

NOMBRE DEL TRABAJO

RECUENTO DE PALABRAS

17301 Words

RECUENTO DE PÁGINAS

117 Pages

FECHA DE ENTREGA

Apr 18, 2024 10:09 AM GMT-5

RECUENTO DE CARACTERES

92105 Characters

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.2MB

FECHA DEL INFORME

Apr 18, 2024 10:10 AM GMT-5

● **13% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 12% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Base de datos de trabajos entregados
- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado



**FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA
PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN
EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTELS
(Art. 45° de la ley N° 30220 – Ley)**

Autorización de la propiedad intelectual del autor para la publicación de tesis en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (<https://repositorio.unfels.edu.pe>), de conformidad con el Decreto Legislativo N° 822, sobre la Ley de los Derechos de Autor, Ley N° 30035 del Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, Art. 10° del Rgto. Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales en las universidades – RENATI Res. N° 084-2022-SUNEDU/CD, publicado en El Peruano el 16 de agosto de 2022; y la RCO N° 061-2023-UNTELS del 01 marzo 2023.

TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

- 1). TESIS () 2). TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL ()

DATOS PERSONALES

Apellidos y Nombres: Sicha Garcia Bruce Luis
D.N.I.: 47971033
Otro Documento:
Nacionalidad: Peruana
Teléfono: 929353027
e-mail: sichabruce_@hotmail.com

DATOS ACADÉMICOS

Pregrado

Facultad: INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
Programa Académico: TESIS
Título Profesional otorgado: INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

Postgrado

Universidad de Procedencia:
País:
Grado Académico otorgado:

Datos de trabajo de investigación

Título: "Implementación de un módulo didáctico de presión constante basado en un sistema SCADA para mejorar el control y monitoreo de bombas de agua de uso residencial"
Fecha de Sustentación: 05 de diciembre del 2023
Calificación: Aprobado por unanimidad
Año de Publicación: 2024



AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN VERSIÓN ELECTRÓNICA

A través de la presente, autorizo la publicación del texto completo de la tesis, en el Repositorio Institucional de la UNTELS especificando los siguientes términos:

Marcar con una X su elección.

- 1) Usted otorga una licencia especial para publicación de obras en el REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR.

Si autorizo No autorizo

- 2) Usted autoriza para que la obra sea puesta a disposición del público conservando los derechos de autor y para ello se elige el siguiente tipo de acceso.

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO ABIERTO 12.1(*)	info:eu-repo/semantics/openAccess (Para documentos en acceso abierto)	(x)

- 3) Si usted dispone de una **PATENTE** puede elegir el tipo de **ACCESO RESTRINGIDO** como derecho de autor y en el marco de confiabilidad dispuesto por los numerales 5.2 y 6.7 de la directiva N° 004-2016-CONCYTEC DEGC que regula el Repositorio Nacional Digital de CONCYTEC (Se colgará únicamente datos del autor y el resumen del trabajo de investigación).

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO RESTRINGIDO	info:eu-repo/semantics/restrictedAccess (Para documentos restringidos)	()
	info:eu-repo/semantics/embargoedAccess (Para documentos con períodos de embargo. Se debe especificar las fechas de embargo)	()
	info:eu-repo/semantics/closedAccess (para documentos confidenciales)	()

(*) <http://renati.sunedu.gob.pe>



UNIVERSIDAD NACIONAL
TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

Rellene la siguiente información si su trabajo de investigación es de acceso restringido:

Atribuciones de acceso restringido:

Motivos de la elección del acceso restringido:

SICHA GARCIA BRUCE LUIS

APELLIDOS Y NOMBRES

47971033

DNI

Firma y huella:



Lima, 25 de marzo del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES



**“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE PRESIÓN
CONSTANTE BASADO EN UN SISTEMA SCADA PARA MEJORAR EL
CONTROL Y MONITOREO DE BOMBAS DE AGUA DE USO RESIDENCIAL”**

TESIS

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR EL BACHILLER

SICHA GARCIA, BRUCE LUIS
ORCID: 0009-0000-6358-1402

ASESOR

LEZAMA CALVO, JINMI GREGORY
ORCID:0000-0003-2906-9741

Villa El Salvador
2023



DECANATO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

En Villa El Salvador, siendo las **9:00** horas del día 5 de diciembre de 2023, en la Facultad de Ingeniería y Gestión, los miembros del Jurado Evaluador, integrado por:

PRESIDENTE: DR. MARK DONNY CLEMENTE ARENAS DNI N° 41962207 C.I.P. N° 181400
SECRETARIO: MG. PABLO ANDRÉS VILLEGAS CHUNGA DNI N° 09694556 C.I.P. N° 199274
VOCAL : MG. EDGARD OPORTO DÍAZ DNI N° 09352077 C.I.P. N° 106881

ASESOR : DR. JINMI GREGORY LEZAMA CALVO DNI N° 42294872 C.I.P. N° 97712

Designados mediante Resolución de Decanato N° 336-2023-UNTELS-R-D de fecha 15 de agosto de 2023 quienes dan inicio a la Sesión Pública de Sustentación y Evaluación de Tesis.

Acto seguido, el (la) aspirante al: Grado de Bachiller Título Profesional

Don: BRUCE LUIS SICHA GARCIA identificado con D.N.I. N° 47971033 procedió a la sustentación de:

Trabajo de investigación Tesis Trabajo de suficiencia Artículo científico

Titulada: "IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE PRESIÓN CONSTANTE BASADO EN UN SISTEMA SCADA PARA MEJORAR EL CONTROL Y MONITOREO DE BOMBAS DE AGUA DE USO RESIDENCIAL".

Aprobado mediante Resolución de Decanato N° 963-2023-UNTELS-R-D de fecha 27 de noviembre de 2023, de conformidad con las disposiciones del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales vigentes, sustentó y absolvió las interrogantes que le formularon los señores miembros del Jurado Evaluador.

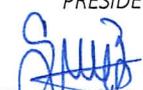
Concluida la Sustentación se procedió a la evaluación y calificación correspondiente, resultando el aspirante APROBADO por **unanimidad** con la nota de: **Quince** (letras) **15** (números), de acuerdo al Art. 65° del Reglamento General para optar el Título Profesional.

CALIFICACIÓN		CONDICIÓN	EQUIVALENCIA
NÚMERO	LETRAS		
15	Quince	Aprobado por unanimidad	Bueno

Siendo las **10:00** horas del día 5 de diciembre de 2023, se dio por concluido el acto de sustentación, firmando el jurado evaluador el Acta de Sustentación, que obra en el Decanato de la Facultad de Ingeniería y Gestión.


MG. PABLO ANDRÉS VILLEGAS CHUNGA
SECRETARIO


DR. MARK DONNY CLEMENTE ARENAS
PRESIDENTE


BRUCE LUIS SICHA GARCIA
BACHILLER


MG. EDGARD OPORTO DÍAZ
VOCAL

RESUMEN

El presente proyecto de titulación IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE PRESIÓN CONSTANTE BASADO EN UN SISTEMA SCADA PARA MEJORAR EL CONTROL Y MONITOREO DE BOMBAS DE AGUA DE USO RESIDENCIAL tiene como objetivo diseñar e implementar un módulo didáctico a escala real que simule un sistema de presión constante con fines de capacitar a personas en el rubro de automatización, así como presentar de manera accesible el funcionamiento del sistema al público.

El proyecto presenta cuatro etapas, la primera etapa detalla la definición de parámetros principales de la bomba para la supervisión del usuario en el sistema SCADA como voltaje, corriente, frecuencia, potencia, velocidad nominal y presión. La segunda etapa detalla la selección de los equipos industriales y accesorios sanitarios para la implementación de un módulo de presión constante en la que se rige a normas como: Seguridad eléctrica NEMA, norma IEC para equipos eléctricos, norma I.S.010 para instalación sanitaria. La tercera etapa detalla el desarrollo de la implementación del módulo didáctico, desde el diseño 3D del módulo, programación del sistema SCADA hasta la implementación física del módulo didáctico que simula a escala real un sistema de presión constante. La cuarta etapa es la validación de sistema SCADA, en la que el usuario monitorea y controla de forma práctica el sistema de presión constante teniendo como aval resultados obtenidos en el módulo implementado.

La operación del sistema se basa en un sistema SCADA con un protocolo de comunicación Modbus RTU, utilizando un puerto de comunicación RS-485 entre el PLC y los variadores de frecuencia. Se emplea un monitor conectado al puerto Ethernet del switch del PLC para visualizar el proceso de presión en PSI y supervisar la operatividad de las dos bombas. Este sistema presenta dos modalidades de operación: el modo manual, que prescinde de un transmisor de presión, y el modo automático, que hace uso de dicho transmisor. Esto posibilita la configuración del tiempo de alternancia entre la bomba 1 y la bomba 2, facilita la variación de la presión del sistema y permite la sintonización de los parámetros PID con el objetivo de lograr una presión estable.

Palabras Claves: Módulo, SCADA, Presión Constante, PLC, PID.

ABSTRACT

This degree project IMPLEMENTATION OF A CONSTANT PRESSURE DIDACTIC MODULE BASED ON A SCADA SYSTEM TO IMPROVE THE CONTROL AND MONITORING OF WATER PUMPS FOR RESIDENTIAL USE aims to design and implement a real-scale teaching module that simulates a constant pressure system for the purposes of training people in the field of automation, as well as presenting the operation of the system to the public in an accessible manner.

The project presents four stages, the first stage details the definition of main pump parameters for user supervision in the SCADA system such as voltage, current, frequency, power, nominal speed and pressure. The second stage details the selection of industrial equipment and sanitary accessories for the implementation of a constant pressure module that is governed by standards such as: NEMA electrical safety, IEC standard for electrical equipment, I.S.010 standard for sanitary installation. The third stage details the development of the implementation of the teaching module, from the 3D design of the module, programming of the SCADA system to the physical implementation of the teaching module that simulates a constant pressure system on a real scale. The fourth stage is the validation of the SCADA system, in which the user practically monitors and controls the constant pressure system, having as endorsement results obtained in the implemented module.

The operation of the system is based on a SCADA system with a Modbus RTU communication protocol, using an RS-485 communication port between the PLC and the frequency converters. A monitor connected to the Ethernet port of the PLC switch is used to display the pressure process in PSI and monitor the operation of the two pumps. This system has two operating modes: manual mode, which does not require a pressure transmitter, and automatic mode, which uses said transmitter. This makes it possible to configure the alternation time between pump 1 and pump 2, facilitates the variation of the system pressure and allows the tuning of the PID parameters with the objective of achieving a stable pressure.

Keywords: Module, SCADA, Constant Pressure, PLC, PID.

ÍNDICE

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Motivación	1
1.2. Estado del arte.....	1
1.3. Descripción del problema	2
1.4. Formulación del problema	3
1.4.1. Problema general.....	3
1.4.2. Problemas específicos	3
1.5. Objetivo de la investigación	3
1.5.1. Objetivo general	3
1.5.2. Objetivos específicos.....	4
1.6. Justificación	4
II. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes de la investigación	5
2.1.1. Nacionales	5
2.1.2. Internacionales	6
2.2. Bases teóricas	8
2.2.1. Sistema de presión constante de agua.....	8
2.2.2. Sistema de presión constante en edificios multifamiliares.	9
2.2.2.1. Variador de frecuencia.	10
2.2.2.2. Transductor de presión.....	15
2.2.2.3. Controlador lógico programable	17
2.2.2.4. Fuente de alimentación industrial.	18

2.2.2.5. Dispositivos eléctricos	19
2.2.2.6. Bomba centrífuga.....	21
2.2.2.7. Válvula check	24
2.2.2.8. Válvula de alivio	25
2.2.2.9. Tanque hidroneumático	26
2.2.2.10. Manómetro	27
2.2.3. Sistema de control	28
2.2.3.1. Sistema de lazo cerrado.....	29
2.2.3.2. Sistema de control automático	29
2.2.3.3. Control proporcional integral.....	30
2.2.3.4. Supervisión, Control y Adquisición de Datos.....	31
III. METODOLOGÍA	40
3.1. Descripción de la metodología	40
3.1.1. Etapas del desarrollo de la tesis	40
3.1.1.1. Definición de parámetros para la supervisión y control del sistema.....	40
3.1.1.2. Selección de equipos industriales para la implementación	44
3.1.1.3. Desarrollo del módulo didáctico de presión constante	59
3.1.1.4. Validación del sistema SCADA.....	60
3.2. Implementación del sistema	60
3.2.1. Desarrollo del prototipo del sistema de presión constante para la demostración del funcionamiento a escala real.....	60
3.2.2. Diseño eléctrico del sistema	63
3.2.3 Configuración de variadores de frecuencia de frecuencia	67
3.2.4. Comunicación Modbus del PLC y variador de frecuencia	70

3.2.4.1 Control desde la pantalla HMI	72
3.2.5. Sistema automático de alternancia de bombas	73
3.2.5.1. Control de bombas alternadas desde HMI	74
3.2.6. Sistema PID	75
3.2.6.1 Control PID desde HMI	76
3.2.7. Implementación del módulo didáctico	78
3.2.8. Aplicación del sistema SCADA	81
IV. RESULTADOS	83
V. CONCLUSIONES	104
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	105
ANEXOS	109
Anexo 1. Matriz de concistencia	109
Anexo 2. Glosario de términos	110

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Motivación

Los sistemas de presión constante son equipos que mantienen presurizados de agua potable a varios de puntos de consumo, aplicado en edificios multifamiliares que operan las 24 horas del día. Por lo cual requiere de sistemas de monitoreo constante, sin embargo, actualmente el soporte técnico y personal técnico trabaja en horarios laborales establecidos, por lo que, ante la presencia de fallas en los sistemas, estos quedan desatendidos debido a que el especialista técnico no puede trasladarse de forma inmediata para solucionar el problema. El presente trabajo tiene como objetivo aplicar un sistema SCADA en un módulo didáctico para el control eficiente de las bombas de agua. La importancia del proyecto está enfocada desarrollar un módulo didáctico a escala real que permitirá aplicar un sistema SCADA para capacitar de manera eficaz y didáctica al personal técnico, así como informar de las ventajas de estos sistemas a futuros clientes.

1.2. Estado del arte

En el trabajo de (Torres, Pérez, 2019) se enfoca en el diseño y simulación de un módulo didáctico de un sistema de bombeo a presión constante. El trabajo de se basa en el diseño y simulación de un módulo didáctico de un sistema de presión constante con fines de capacitación a la escuela profesional de la carrera de ingeniería electrónica. Donde se diseñó el módulo en 3D y se simuló mediante el software LabVIEW el sistema de control. Por otro lado (Velásquez, 2019) implementación un Sistema SCADA Usado en Sistemas de Bombeo para Interceptación de Agua de Relaves. En donde se logró automatizar las aguas de relaves mediante un sistema SCADA, este sistema controla y monitorea el proceso para evitar que las aguas de relaves filtren al campamento minero.

En el trabajo de (López, Vallejo, 2021), tuvo como objetivo el diseño e implementación de un módulo portátil que simula un sistema de presión constante. El funcionamiento del sistema se desarrolla utilizando variador de frecuencia, PLC, motor, donde se comunican por un protocolo de comunicación MODBUS para la puesta en marcha del motor simulando una bomba

de agua. Así mismo, (SG Jiménez Reyes – 2018) ha diseñado un sistema de automatización y enlace a la red SCADA de Petroperú para realizar el control automático de las motobombas de la estación Andoas del Oleoducto Norperuano. El objetivo es controlar las bombas de agua para tener una presión constante y adquirir datos de curvas de características utilizando red de comunicación Modbus RTU.

1.3. Descripción del problema

Los sistemas de presión constante tradicionales aplicados en edificios multifamiliares u otras industrias contiene un tablero eléctrico que consta de PLC, variador de frecuencia y dispositivos eléctricos para así tener el control de las bombas de agua y garantizar que la presión sea constante. El tablero eléctrico no es monitoreado por un personal capacitado que pueda resolver fallas menores en una sala de bomba de agua, la forma tradicional de solucionar fallas eléctricas, hidroneumáticos y mecánicas del sistema es con presencia del personal técnico.

Las fallas que se presentan comúnmente son la falta de presión en los últimos departamentos, cortes de agua por la bomba inoperativa, ruptura de tuberías de agua en la que las bombas de agua siguen operando generando inundaciones. Esto conlleva a que el especialista tenga que trasladarse cuando esté ejecutando otro servicio. La problemática no es exclusiva de nuestro país sino también se notifica noticias internacionales como del vecino país del sur República de Chile, en donde una problemática de cañería inundó 60 departamentos en sector Puerta Sur de puerto Mont (31 de mayo del 2023, soychile.cl)

Una forma para monitorear y controlar el tablero eléctrico de control de la sala de bombas de agua es tener acceso desde la red para supervisar el funcionamiento del sistema y anteceder posibles fallas como falta de presión o cortes de agua por bombas de aguas sobrecargadas de funcionamiento y ausencia de mantenimiento.

La implementación de estos sistemas de monitoreo requiere de entrenamiento del personal para el adecuado mantenimiento de los sistemas de monitoreo de bombas de agua. La empresa Automática Control Industrial S.A.C no tiene un módulo de presión constante para brindar capacitación interna e externa a los miembros de la empresa como también al público en general. Esto genera que el personal nuevo al no estar bien instruido en las problemáticas que

ocurre en una sala de bombas se tome mucho tiempo en solucionar o en peor de los casos empeorar más el sistema.

El plan de mantenimiento de bombas de agua y tableros eléctricos propuestas por la gran mayoría de empresas no incluyen un sistema SCADA ya que la programación de su mantenimiento se trabaja de forma semestral y anual. Una alternativa de mejorar el plan es la instalación de un sistema SCADA que monitore las bombas de agua.

1.4. Formulación del problema

Tomando en cuenta la problemática anteriormente expuesta se plantea el problema general y sus correspondientes problemas específicos.

1.4.1. Problema general

¿Cómo usar un sistema SCADA para el monitoreo y control de bombas de agua en sistema de presión constante?

1.4.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son los parámetros principales, a fin de mejorar el control, monitoreo y mantenimiento de bombas de agua?
- ¿Qué equipos industriales son necesarios para la implementación del módulo de presión constante con sistema SCADA?
- ¿Es posible desarrollar un prototipo del sistema de presión constante a escala real para demostrar el funcionamiento del sistema?
- ¿Cómo validar el sistema SCADA?

1.5. Objetivo de la investigación

1.5.1. Objetivo general

Implementar un módulo didáctico de presión constante de agua potable aplicando el sistema SCADA para mejorar el control, monitoreo y mantenimiento de bombas agua de uso residencial.

1.5.2. Objetivos específicos.

- Definir los parámetros principales del sistema de presión constante, a fin de mejorar el control, monitoreo y mantenimiento de bombas de agua.
- Seleccionar los equipos industriales para implementar un módulo de presión constante aplicando sistema SCADA.
- Desarrollar un prototipo del sistema de presión constante para demostrar a escala real el funcionamiento del proyecto.
- Validar el sistema SCADA para el control y monitoreo de presión constante.

1.6. Justificación

La sala de bombas de agua de edificios multifamiliares, se encuentran en ambientes húmedos, La falta de mantenimiento en las bombas de agua y la ausencia de personal técnico pueden dar lugar a situaciones imprevistas, como emergencias de escasez de agua. El consumo de agua potable durante el día implica que las bombas de agua estén en constante funcionamiento, a mayor consumo de agua potable se tiene que monitorear la sala de bombas. El sistema SCADA aplicado para un sistema de presión constante mejorará el mantenimiento de la sala de bombas haciendo un monitoreo y control para así evitar desabastecimiento de agua, así como realizar mantenimiento predictivo.

El sistema a desarrollar permite ser una alternativa de aprendizaje para la capacitación profesional al personal de la empresa porque permitirá acceder a los parámetros de control de un sistema de presión constante y permitir desarrollar pruebas de ensayo de motores para controlar aplicaciones en la industria.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

A continuación, se muestra trabajos de investigación relacionados con la tesis propuesta, destacar concisamente, el valor destacable con la investigación.

2.1.1. Nacionales

Un trabajo de investigación revisado (Torres, Pérez, 2019) se enfoca en el diseño y simulación de un módulo didáctico de un sistema de bombeo a presión constante, presentado en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Del Gallo. Este proyecto de tesis tiene como objetivo presentar el diseño y simulación de un módulo didáctico de sistema de bombeo a presión constante para la enseñanza de los estudiantes de la escuela profesional de ingeniería electrónica de la UNPRG. El proyecto realizado diseñó un sistema automatizado de presión constante utilizando lenguaje Ladder en la programación del PLC Modicon BMXP342020 donde la comunicación con el variador de frecuencia ABB ACS 310 es por señal análoga que es activado desde un tablero eléctrico de control en modo automático haciendo que la bomba de agua entre en funcionamiento de acuerdo a la disposición de los aparatos sanitarios y también trabaje modo manual haciendo variar gradualmente la velocidad de la bomba por medio de un potenciómetro, la simulación es llevada por la aplicación de Labview donde se representa gráficamente el proceso del sistema. Se concluye que el diseño del sistema es para competir laboralmente en el ámbito de la automatización por medio del diseño dejado para la Universidad.

Este segundo trabajo de investigación revisado (Jiménez, 2018) Diseño del sistema de automatización y enlace a la red SCADA de Petroperú para realizar el control automático de las motobombas de la estación Andoas del Oleoducto Norperuano, presentado la Universidad Nacional de Piura. Realizó un diseño automatizado enlazado con la red SCADA para tener el control de las tres motobombas tipo tornillo para así tener una presión constante ya que normalmente las presiones son variables haciendo que las bombas sufran desgaste mecánico dañando a los accesorios del sistema. La forma de operación del sistema consta de tener una supervisión, control y adquisición de datos, con eso se obtiene el control de presión de las

motobombas mediante el PLC para a su vez este controle la presión de carga y descarga que se requiere, accionando las motobombas en paralelo, las lecturas de medición de campo por señal analógica y protocolo de red Modbus RTU.

Este tercer trabajo de investigación revisado (Velásquez Santillán, A.2019) Diseño e Implementación de un Sistema SCADA Usando Comunicación Ethernet y Devicenet en Sistemas de Bombeo para Interceptación de Agua de Relaves, presentado por la Universidad Universidad Católica de Santa María de Arequipa. El proyecto de tesis muestra el diseño e implementación de un sistema SCADA, donde existía un sistema eléctrico que se accionaba de forma manual, el cual no contaba con un sistema automatizado en la que se pueda monitorear el agua del relave para que no filtre a los valles adyacentes de la minera. Como resultado se tiene el proyecto realizado mediante un tablero eléctrico de control, el agua del relave es devuelta a un pozo donde esto evita que filtre. La interpretación del sistema se representa mediante una pantalla HMI desde el tablero eléctrico como también de una sala de control desde un monitor, el monitoreo e introducción de valores es de forma entendible para cualquier usuario.

2.1.2. Internacionales

De las diversas revisiones realizadas tenemos un primer trabajo de investigación relacionado (López, Vallejo, 2021). Este proyecto se centra en el diseño e implementación de un módulo portátil de simulación de un sistema de presión constante, la cual se basa el prototipo incorporado en una maleta. Básicamente se centra en la operatividad del sistema utilizando variador de frecuencia, PLC, motor, Lo cual se comunican por un protocolo de comunicación MODBUS para la puesta en marcha del motor simulando una bomba de agua. Tiene como el fin desarrollar múltiples prácticas en los laboratorios. Con todo esto el autor pudo concluir que con su diseño e implementación logró hacer un uso eficiente para el aprendizaje de los estudiantes.

Las revisiones dadas un segundo trabajo investigación relacionado (Gallegos, Toaquiza, 2022) Diseño de un sistema SCADA para la adquisición de datos en la determinación de curvas características en bombas de torbellino conectadas en serie y en paralelo, presentado Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).Este proyecto se dirige a la implementación de un sistema SCADA tiene como propósito obtener un óptimo banco, permitiendo desarrollar

conocimientos sobre las características de los sistemas de bombeo en serie y paralelo, obteniendo resultados y graficas de las curvas del sistema. La implementación consta de etapas de medición como la presión, que va en la succión como en la descarga de la bomba y el caudal que va en la descarga de la bomba, para la adquisición y supervisión de datos realizado desde el software PLC LOGO Siemens y pantalla delta HMI donde se incluyeron ecuaciones obtenidas de su calibración para cada uno de los sensores. Desarrollándose pruebas con la válvula de salida en diferentes posiciones en donde se ajusta el flujo del agua obteniendo variables físicas como presión, caudal, voltaje y corriente. Que son registradas y visualizadas en el PLC. Los registros permitieron la realización de las curvas características y estos determinan un sistema de bombeo conectado en serie, obteniendo el rendimiento del sistema en un 6 %, además que en un sistema de bombeo en conectado en paralelo da como resultado mejorable de un rendimiento del sistema en un 14 %.

Un tercer trabajo de investigación relacionado (Luis Marcelo Barrionuevo Paredes, Steven Javier Villamarín German-Latacunga Ecuador 2021) Diseño de un módulo de entrenamiento para un sistema de bombeo de agua a presión constante para el centro de capacitación “CEPROIN” en la ciudad de Latacunga, presentado Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC). La propuesta tecnológica muestra el diseño un módulo de presión constante para los estudiantes del área de automatización. Donde se pueda involucrar con la configuración y programación del controlador Proporcional, Integral y Derivativo (PID) en un sistema de presión constante, ejecutado mediante una pantalla HMI. Se concluye el diseño estructural del módulo mediante AutoCAD y el funcionamiento de la programación es mediante el software Tia portal del S7-1200. La implementación del módulo en base al diseño contribuirá en la capacitación de la configuración y programación e variadores de frecuencia y PLC en sistema de PID.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Sistema de presión constante de agua

El sistema de presión constante es un sistema de bombeo de agua diseñado para garantizar un suministro de agua con presión constante, ofreciendo un nivel óptimo de comodidad en aplicaciones residenciales, industriales y comerciales. Un sistema de presión constante se compone de varios elementos, que incluyen una bomba centrífuga, un variador de velocidad, un sensor de presión y un tanque hidroneumático precargado. En la siguiente figura 1 se ilustra el sistema de presión constante.

Figura 1

Sistema de presión constante



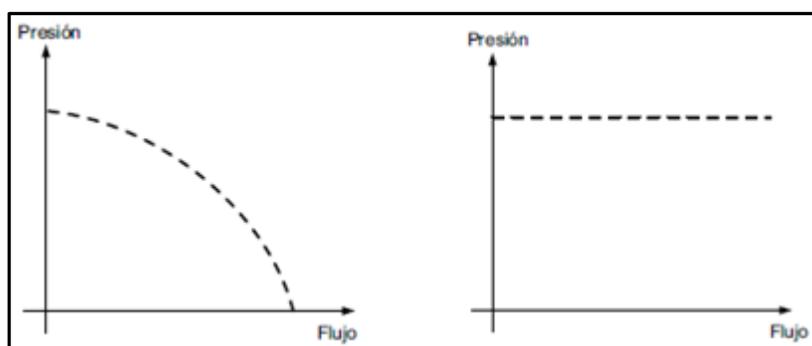
Fuente propia

Tiene como objetivo abastecer el paso de agua a una red, a medida que la presión del agua en la red disminuye debe haber un sistema que compense el desabastecimiento del agua. Este método es muy utilizado en edificios multifamiliares, la ejecución del sistema consta de un transmisor de presión instalado en la tubería de descarga de la bomba de agua; este dispositivo envía señales

análogas a un controlador de la bomba de agua para su regulación de velocidad, la variación de velocidad depende del ingreso de señal análoga convertida en presión de consumo. Cuando no se requiere agua, las bombas de agua permanecen en modo de espera. En caso de demanda de suministro de agua, las bombas funcionan de acuerdo a la cantidad necesaria. En la figura 2 muestra dos gráficos, el gráfico izquierdo representa la presión controlada por un presostato y el gráfico del lado derecho muestra la presión controlada por el transmisor de presión haciendo que se mantenga constante. (M. Vega, 2011)

Figura 2

Comparación de un sistema de presión



Fuente: Obtenida de (Vega, 2011)

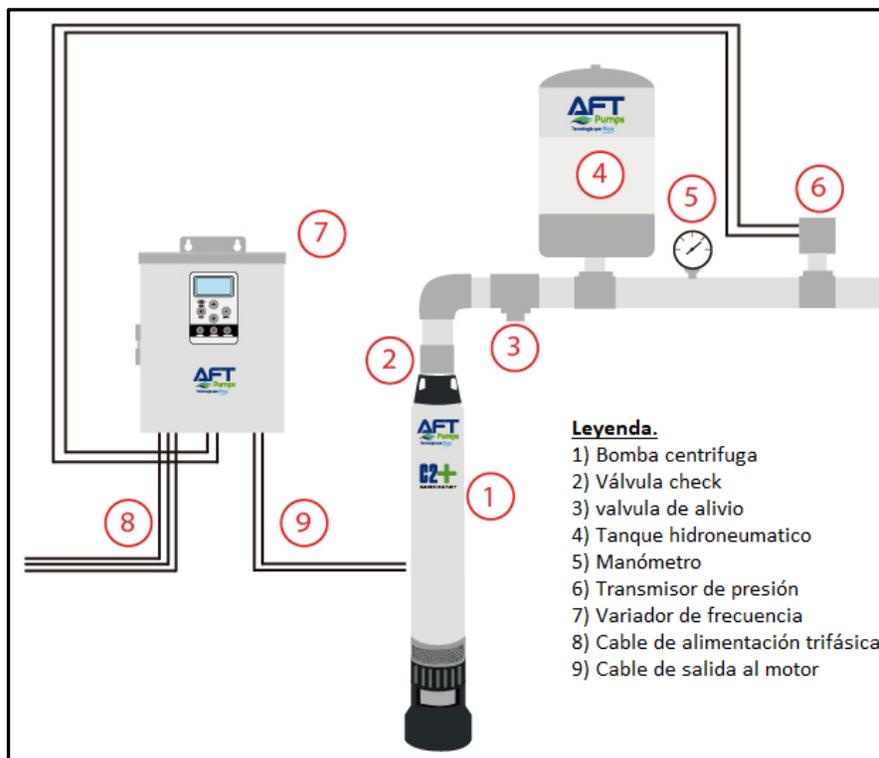
2.2.2. Sistema de presión constante en edificios multifamiliares.

El sistema empleado es un sistema moderno para bombeo de agua residencial. Proveyendo un mejor nivel de confort y económico comparados con equipos tradicionales. los sistemas de presión constante están al alcance de los usuarios, anteriormente estaba disponible para sectores industriales y edificaciones a gran escala. (AFTpumps, 2023)

De esta manera eficiente se suministra agua a los residentes, generando ahorro energético en los arranques del motor, poseyendo protección al motor, configuración al alcance y visualización de parámetros del motor en funcionamiento desde el variador de frecuencia. En la figura 3 se esquematiza los componentes que conforman un sistema de presión constante tradicional. (AFTpumps, 2023)

Figura 3

Partes de un sistema de presión constante tradicional



Fuente: Obtenida de (AFTpums, 2023)

2.2.2.1. Variador de frecuencia.

Es dispositivo electrónico que convierte la energía eléctrica en mecánica para controlar proporcionalmente la velocidad de un motor. Permitiendo tener una mejor precisión a la velocidad, teniendo progresivamente un mejor arranque y parada del motor. Como principales funciones se obtiene aceleración y desaceleración, regulación de velocidad, variación de velocidad, inversión de giro, frenado, protecciones del dispositivo. (Clenet, Daniel, 2003)

Existen tipos de variadores para motores asíncronos y de corriente continua. Para la aplicación de sistema de presión constante se emplea motores asíncronos, donde la alimentación es de una red de corriente alterna trifásica. También tiene alimentación monofásica para pequeñas potencias y aceptan indistintamente tensiones trifásicas. La tensión de salida del

variador es siempre trifásica. De hecho, los motores asíncronos monofásicos no son idóneos para ser alimentados por medio de variadores de frecuencia. (Clenet, Daniel, 2003)

En la figura 4 muestra al variador de frecuencia de alimentación monofásico para pequeñas potencias de 1HP, teniendo protocolos de comunicación Modbus RTU. (ATV12 Manual del usuario, 2018)

Figura 4

Variador de frecuencia de Schneider ATV 12



Fuente: Obtenida de (ATV12 Manual de usuario, 2018)

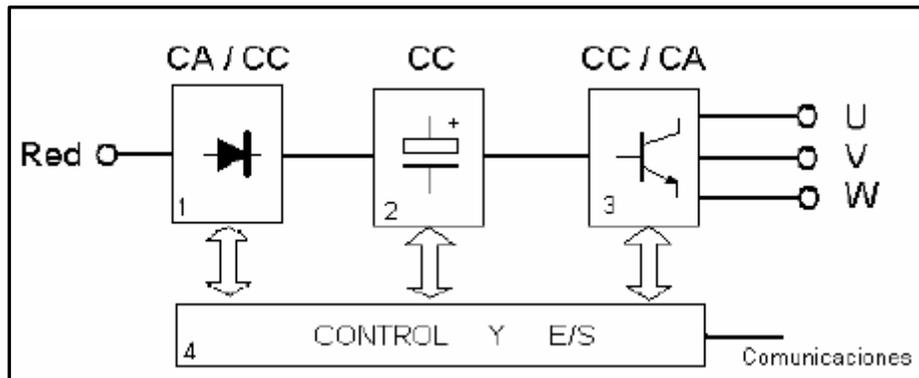
- **Especificaciones técnicas:**
 - Voltaje de entrada: 200-250VAC trifásica
 - Corriente de entrada: 10A
 - Potencia nominal: 0.75KW/1HP
 - Frecuencia de entrada: 60-65hz
 - Voltaje de salida: Voltaje de entrada
 - Corriente de salida: 4A
 - Frecuencia de salida: 500hz

- **Composición del variador de frecuencia**

El variador de frecuencia se divide en cuatro bloques. En la figura 5 se representa esquemáticamente su composición. (Sevillano, 2011)

Figura 5

Diagrama de bloques del variador de frecuencia



Fuente: Obtenida de (Sevillano, 2011)

1.-Rectificador: Se alimenta de manera trifásica o monofásica en voltaje alterno, los diodos rectificadores convierten la corriente alterna a corriente continua (c.c).

2.-Bus de continua: Almacenan y filtran la c.c. rectificada obteniendo la tensión estable.

3.-Etapa de salida (inversor): La tensión de salida de la etapa bus de continua es convertida en energía trifásica AC y frecuencia de salida por componentes IGBT, SCR, BJT.

4.-Control y E/S: Circuitos de control de entrada e salida de señal digital y analógica. También interfaz de comunicaciones.

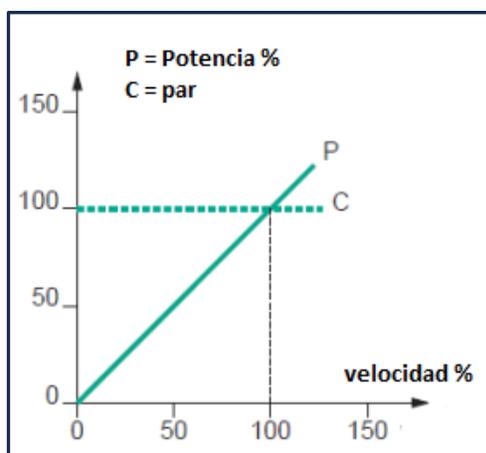
- **Cargas típicas**

A) Par de carga constate

T(torque)= constante; cuando se tiene el mismo par de funcionamiento, aplicados en fajas transportadoras, molinos, grúas. En la figura 6 representa el comportamiento del par constante(C) de forma teórica. Donde la carga se mantiene de forma lineal. (Sevillano, 2010)

Figura 6

Par de arranque de forma teórica

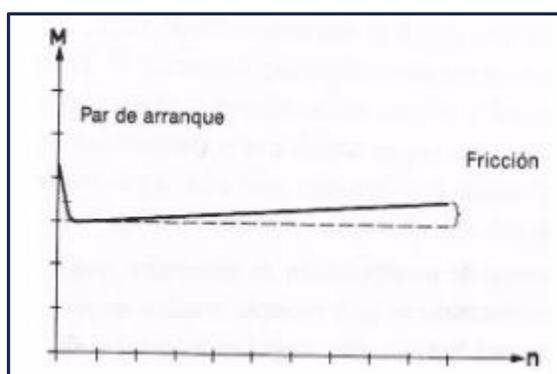


Fuente: Obtenida de (SCHNEIDER, Manual de variadores, 2012)

En la figura 7 representa el par constante (M). Donde la carga lineal tiene una ligera diferencia con la figura 5 y la velocidad (n). (Sevillano, 2010)

Figura 7

Par de arranque de forma real



Fuente: Obtenida de (Sevillano, 2010)

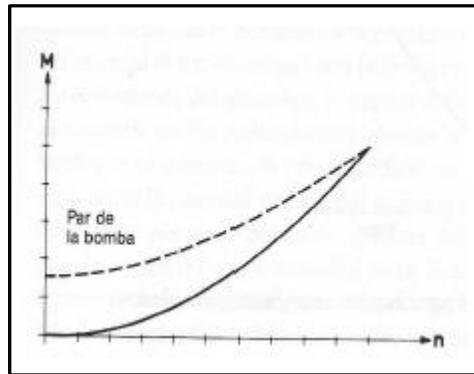
B) Par de carga variable

Es el par de carga cuadrático: $T = n^2$; par es proporcional a la velocidad elevada al cuadrado. Es decir, inicialmente muy bajo, va creciendo al aumentar la velocidad en forma

cuadrática. La Aplicación se da en ventiladores, bombas de agua, etc. En la figura 8 representa la curva de comportamiento de una bomba de agua. Donde el par cuadrático esta graficado con una curva en condiciones iniciales y la otra curva de forma punteada que es en condiciones finales. (Calvo, 2010)

Figura 8

Par de carga cuadrática

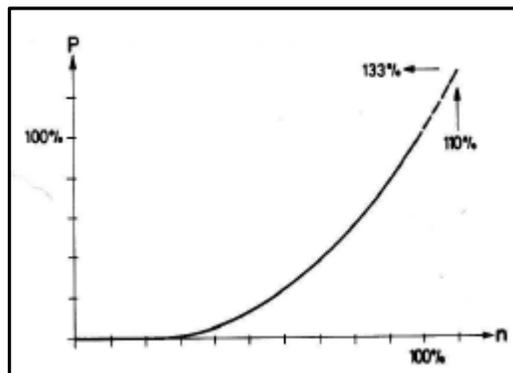


Fuente: Obtenida de (Sevillano, 2010)

La figura 9 representa la curva de comportamiento en base a su potencia. Donde la curva va en paralelo a la curva del par de cuadrático. (Sevillano, 2010)

Figura 9

Par demanda de potencia



Fuente: Obtenida de (Sevillano, 2010)

- **Modos de configuración.**

A) Manual: Desde el panel integrado del variador se ejecuta la operación para una puesta en marcha.

B) Consola de configuración: Dispositivo electrónico auxiliar, dotado de pantalla y teclado, que accede a los parámetros por medio de una interfaz de comunicación RS485, RS232, RJ45, USB.

C) Operaciones externas: Su configuración determina entradas y salidas de señales analógicas como digitales, y se instalan accesorios eléctricos como: pulsadores, interruptores, potenciómetros para su puesta en marcha.

D) Bus industrial: El variador es conectado al ordenador, donde es controlado y monitoreado desde un software, bus más utilizados tenemos: Profibus, Modbus, Profinet. (Sevillano, 2010)

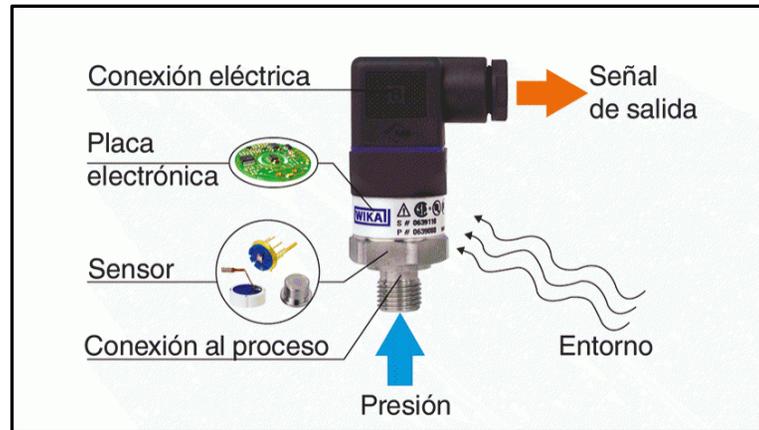
2.2.2.2. Transductor de presión

Mide la fuerza generada por el fluido del agua sobre un elemento elástico. Recibe en cantidades físicas en unidades de presión psi, bar, pascal y la convierte en señales analógicas de unidades de voltaje 0- 10vdc ó 4-20mA. La forma de medición se da por diferencias de fuerzas y medición por absolutos, donde la fuerza del fluido contra un vacío de presión nula. (Sanchis, Romero, Ariño, 2010)

En la figura 10 representa el transductor presión. Donde indica las partes del dispositivo de manera práctica. (Doria, 2022)

Figura 10

Transductor de presión diferencial



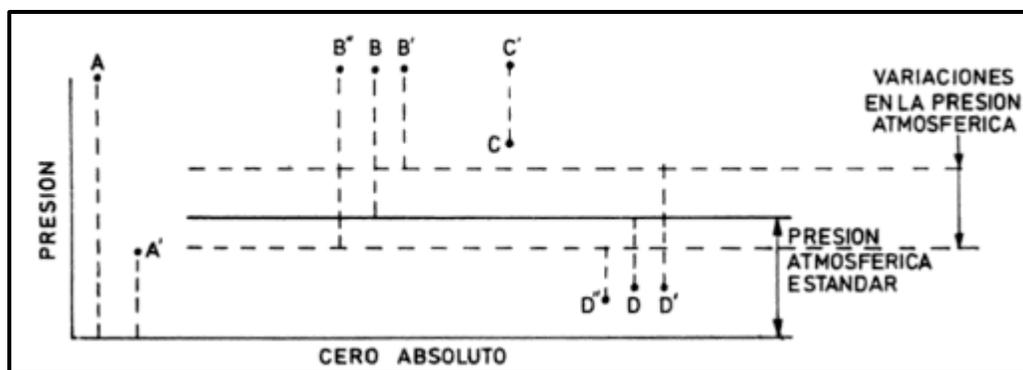
Fuente: Obtenida de (Doria, 2022)

- **Presión diferencial**

La presión obtenida se da cuando hay diferencia entre dos presiones, el proceso se da cuando mide la caída de presión en el punto más alto hasta el punto más bajo dentro de una tubería de agua. En la figura 11 representa la presión diferencial dentro de las clases de presión. Donde muestra los puntos de diferencia de C como presión baja y C' como presión alta. (Creus, 2011)

Figura 11

Clases de presión (Creus, 2011)



Fuente: Obtenida de (Creus, 2011)

2.2.2.3. Controlador lógico programable

Es un equipo electrónico programable, diseñado para controlar máquinas y procesos industriales en tiempo real. El controlador lógico programable es conocido por las siglas PLC, es un computador donde se programa en algunos equipos desde el hardware y software de manera más práctica. En el software, la programación se desarrolla en lenguajes como: Diagrama de bloques, Ladder (escalera) y grafcet, para que el programa implemente el algoritmo de control de procesos secuenciales y al ser ejecutada de forma periódica en un ciclo es lo bastante simple para poder controlar los procesos a escala real (Sanchis, Romero, Ariño, 2010)

En la siguiente figura 12 representa el controlador lógico programable.

Figura 12

Controlador lógico programable



Fuente: Obtenida de (SIMATIC S7-1200, 2023)

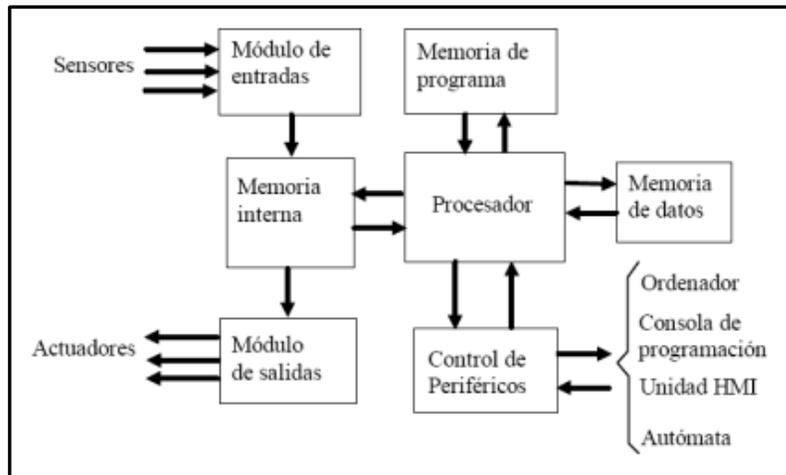
- **Características técnicas**
 - CPU: 1214C DC/DC/DC
 - Voltaje de entrada: 24VDC
 - Corriente nominal: 1.5A
 - DI (entradas digitales): 14

- DO (salidas digitales): 10
- AI (entrada analógica): 2

En la figura 13 representa esquemáticamente la arquitectura del hardware, en la que contiene componentes resistentes para soportar condiciones de trabajo, en ambientes industriales (polvo, temperatura, vibraciones, etc.), y porque su arquitectura física está diseñada para conectar los sensores y actuadores del proceso de forma directa. (Sanchis, Romero, Ariño, 2010)

Figura 13

Arquitectura del PLC



Fuente: Obtenida de (Sanchis, Romero, Ariño, 2010)

2.2.2.4. Fuente de alimentación industrial.

Es un dispositivo electrónico tipo riel, tiene como objetivo suministrar tensión de 24VDC, minimiza el espacio en tableros eléctricos. El alto rendimiento reduce el consumo de carga, disponen de reservas suficientes para conectar cargas capacitivas y durante el funcionamiento, la intensidad constante se encarga que la alimentación no se corte en caso de sobrecarga. (SIEMENS, 2017).

La ventaja de este dispositivo es que tiene alta eficiencia energética, de un 90% de rendimiento en los rangos de carga, apto para funcionar en ámbitos industriales en rangos de temperatura de $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ (SIEMENS, 2017)

En la siguiente figura 14 se representa el dispositivo.

Figura 14

Fuente de alimentación DIN LOGO POWER



Fuente: Obtenida de (SIEMENS, 2017)

- **Especificaciones técnicas**
 - Voltaje de entrada: 220VAC/60HZ monofásico
 - Conexión de entrada: L, N, PE (tierra)
 - Voltaje de salida: 24VDC
 - Corriente: 2A
 - Frecuencia nominal de red: 50/60hz
 - Temperatura ambiente: $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $70\text{ }^{\circ}\text{C}$

2.2.2.5. Dispositivos eléctricos

- **Interruptor termomagnético**

Dispositivo electromecánico, que interrumpe el paso de la corriente eléctrica, tiene como función proteger ante sobrecargas y cortocircuitos, generando la abertura del circuito cuando se produce una sobre corriente. Su funcionamiento se desarrolla en dos partes: Cortar la corriente por corte magnético, producido por un electroimán que esta a su vez genera una fuerza de apertura, y el otro es por corte térmico, que pasa la corriente a través de una lámina bimetálica. De esta forma la lámina eleva su temperatura, provocando una deformación abre el circuito. (Cabello, Sánchez, 2020)

En la siguiente figura 15 representa el dispositivo.

Figura 15

Interruptor termomagnético de 2 polos de la marca SIEMENS



Fuente: Obtenida de (SIEMENS, 2023)

– **Características técnicas:**

- Número de polos: 2
- Tensión asignada: 400VAC
- Corriente asignada: 16A
- Corriente de sobrecarga: $1.45I_n$
- Corriente convencional de desconexión: $(5I_n-10I_n)$
- Tiempo de disparo: 100ms
- Tipo de curva de disparo: C

- Poder de corte asignado:6KA

2.2.2.6. Bomba centrífuga.

Son máquinas hidráulicas que transforman un trabajo mecánico en hidráulico. Tiene como objetivo mover volúmenes de líquido por dos niveles diferentes. Dependiendo del impulsor, turbina o rodete que bombean el fluido. (Fernández, 2011). La siguiente figura 16 representa la bomba centrífuga.

Figura 16

Bomba centrífuga de la marca LEO



Fuente: Obtenida de (LEO, 2023)

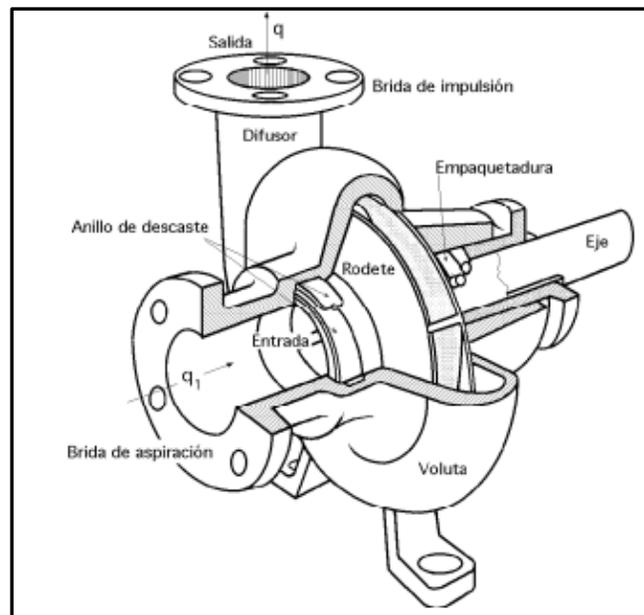
- **Características técnicas**
 - Tipo alimentación: Trifásica
 - Voltaje nominal:220VAC
 - Intensidad nominal:1.6A
 - Velocidad nominal:3600rpm
 - Potencia: 0.8Hp
 - Caudal(Q):10-90 l/min

- Altura (H): 10-26.5m
- Protección: IPX4 (protección efectiva contra las salpicaduras de agua según la norma IEC).

El impulsor o rodete, formado por un conjunto de álabes que pueden adoptarse de distintas formas, dependiendo la objetividad que vaya a ser destinada la bomba. El impulsor es accionado por un motor. El líquido ingresa axialmente por la tubería de succión hasta la entrada del rodete, produciendo un cambio de dirección en ocasiones bruscas, acelerándose y absorbiendo un trabajo. Los álabes someten al líquido a un movimiento rotacional muy rápido, debido a la fuerza es llevada al exterior, generando una altura que abandonan el rodete hacia la voluta a gran velocidad, aumentando su presión en el impulsor según la distancia donde está el eje. El ascenso del líquido se ocasiona por la reacción entre éste y el rodete que este sujeto al movimiento de rotación. En la figura 17 representa las partes de una bomba de agua. Donde q_1 : Succión del fluido y q : Descarga del fluido. (Fernández, 2011)

Figura 17

Partes de la bomba centrífuga



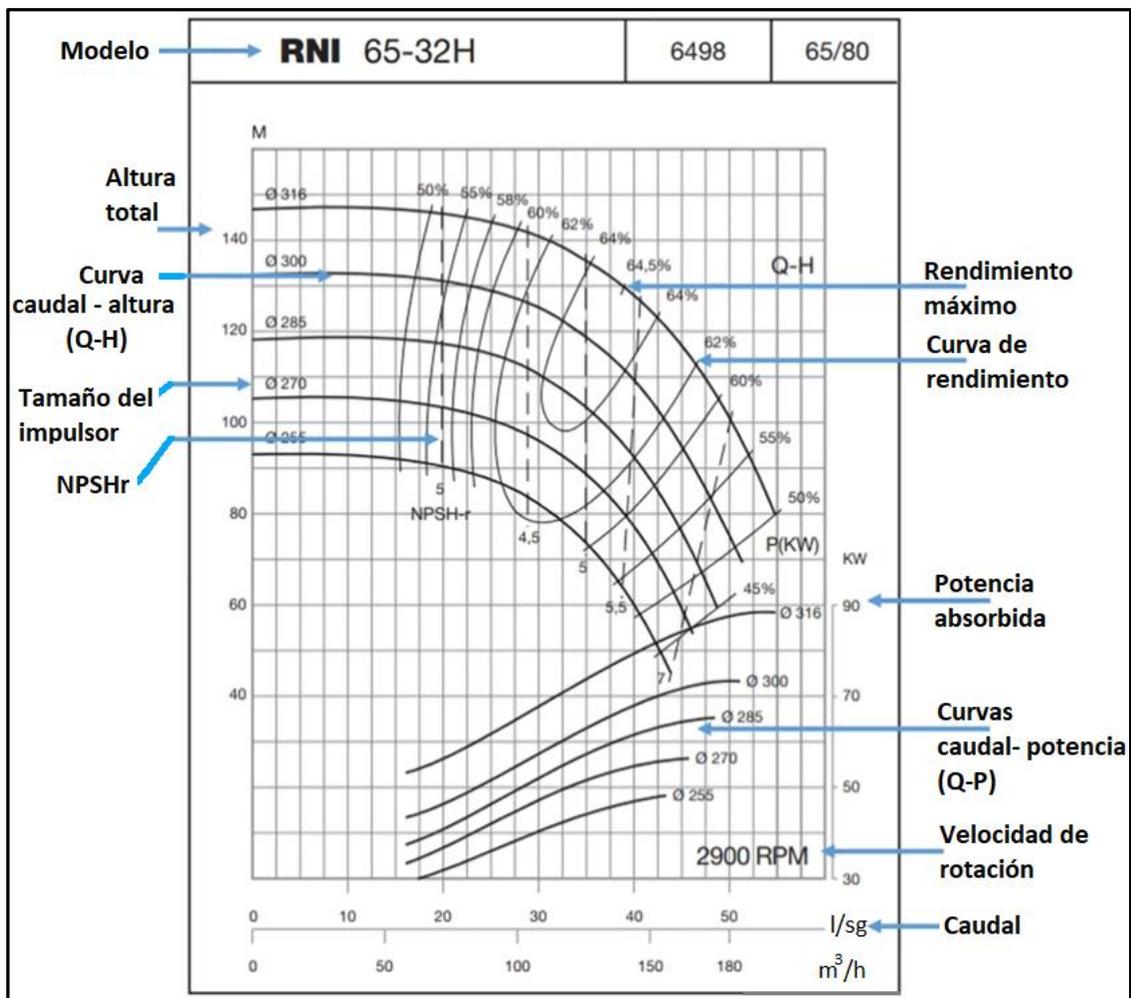
Fuente: Obtenida de (Arthur, Bell, 2023)

- **Curva de operación**

La representación de los valores de la bomba centrífuga se grafica mediante las curvas de rendimiento. Donde se detallan la altura(H), potencia (KW), eficiencia(n) y NPSHr (altura neta de posición positiva) en función del caudal(Q). LA variable destacada es la altura en función del caudal, donde caudal está en las unidades en l/sg (litros por segundos) o m³/h (metros cúbicos por hora). En la figura 18 se señala las variables dentro de la curva de operación. (GRUNDFOS, 2023)

Figura 18

Curva de características de la bomba



Fuente: Obtenida de (CECAHIDRA, 2023)

2.2.2.7. Válvula check

Conocida como válvula antirretorno del agua, este dispositivo se utiliza en sistemas hidráulicos con el objetivo de que el flujo del agua vaya en un solo sentido, aplicado en instalaciones de calefacción, climatización, agua, higiénico-sanitarias, vapor y en general con cualquier fluido no agresivo.

La operación de esta válvula en un sistema de presión constante se cumple cuando las bombas centrífugas de agua dejan de operar y ese fluido tiende a regresar por lo que la válvula check retiene ese fluido. (Cimberio, 2021)

La siguiente figura 19 ilustra la válvula check.

Figura 19

Válvula check de la marca Cim



Fuente: Obtenida de (Cimberio, 2023)

- **Características técnicas**
 - Aplicación: Anti-retorno
 - Material: Bronce y latón
 - Temperatura: -10°C a 150°C
 - Presión nominal: Hasta 16 bar

- Diámetro: 1"
- Sistema de cierre: Paleta
- GRMS (peso en gramos): 500 gr

2.2.2.8. Válvula de alivio

Válvula diseñada para liberar presión cuando sobrepasa la presión del diseño, esta retorna al tanque de almacenamiento el caudal sobrante para mantener la presión diseñada en la red de agua. El proceso se da por medio de una tubería de retorno al tanque para así asegurar que la conducción de fluidos no esté a presión alta. En la figura 20 se representa la forma física del elemento. (W&A, 2004)

Figura 20

Válvula alivio de la marca VALTEC



Fuente: Obtenida de (VALTEC, 2023)

- **Características técnicas**
 - Diámetro: 1"
 - Presión: 150psi
 - Longitud: 18cm
 - Accionamiento: Resorte

2.2.2.9. Tanque hidroneumático

Son tanques presurizados donde el agua y el aire están separados por una membrana flexible dejando que el agua se distribuya y succione los picos de presión. Este tanque se usa generalmente en la tubería de descarga para presurizar la red de tubería en posiciones de baja demanda donde el sistema de presión constante podría presentar deficiencias. Acorta el tiempo de operación de los equipos de presión, haciendo más eficiente el sistema. En la figura 21 se representa el estado físico del tanque hidroneumático. (WDM PUMPS, 2020)

Figura 21

Tanque hidroneumático esférico de 24 L



Fuente: Obtenida de (BERKLIN, 2023)

- **Características técnicas**
 - Característica especial: Membrana
 - Capacidad: 25 lts
 - Posición: vertical
 - Diámetro de conexión: 1 pulg.
 - Presión máxima: 150 psi
 - Temperatura máxima del agua: 40°C
 - Material: lámina de acero calibre 14

2.2.2.10. Manómetro

Instrumento de medición utilizado para medir presión del fluido de agua, mide la diferencia de presiones que existen entre un fluido interior y exterior. El manómetro más empleado es Bourdon, consta de tubo metálico, hermético, cerrado por un extremo y enrollado en espiral que se endereza gradualmente al incremento de presión. (Domínguez, 2016).

Manómetro de glicerina, contienen líquidos de glicerina, agua y aceite de silicona. Está adecuada para temperaturas de ambientes industriales y aplicaciones en procesos como choques y vibraciones. Donde el líquido cubre a 80% - 90% de su capacidad para mitigar el movimiento de la aguja. En la figura 22 se representa el manómetro de glicerina. (WIKA, 2020)

Figura 22

Manómetro de glicerina



Fuente: Obtenida de (WIKA, 2023)

- **Características técnicas**
 - Elemento: Tubo de bourdon de bronce
 - Rango de presión: 0 – 10bar
 - Exactitud: +/- 2%
 - Conexión: bronce 1/4" posterior.
 - Ventana: Acrílico

- Temperatura: -20°C a 60°C
- Mecanismo: Bronce

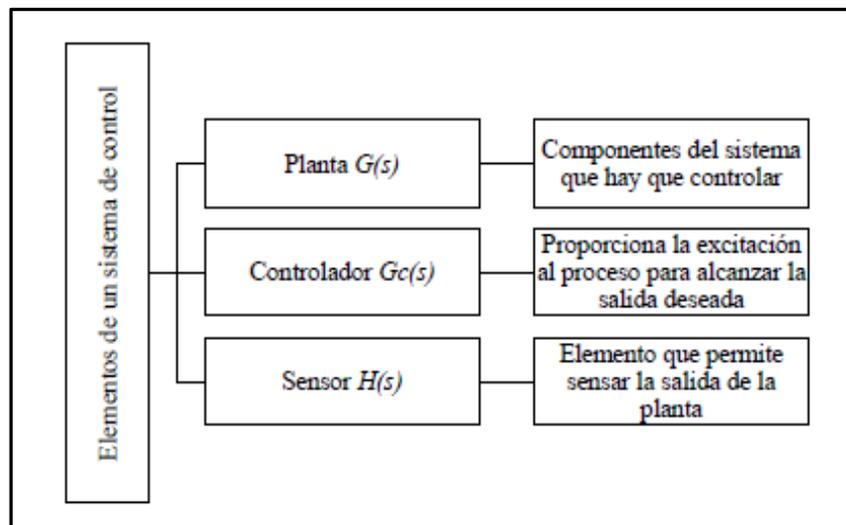
2.2.3. Sistema de control

Los automatismos y robots tienen la capacidad de aperturar y detener los procesos sin la involucración del hombre. Reciben información externa que es procesada para posteriormente emitir una respuesta. La diferencia que existe entre automatismos y robots es que los robots tienen diferentes comportamientos según las circunstancias mientras que los automatismos tienen siempre la misma respuesta. (Ñeco, Reinoso, García, Aracil, 2003)

Tiene como objetivo estudiar un proceso de cualquier índole, determinar la arquitectura y parámetros de un regulador que durante el proceso presentan cambios en su operatividad, pudiendo acoplarse de manera automática. En la figura 23 se representa los elementos que constituyen un sistema de control. (Angulo, Raya, 2004)

Figura 23

Elementos de control



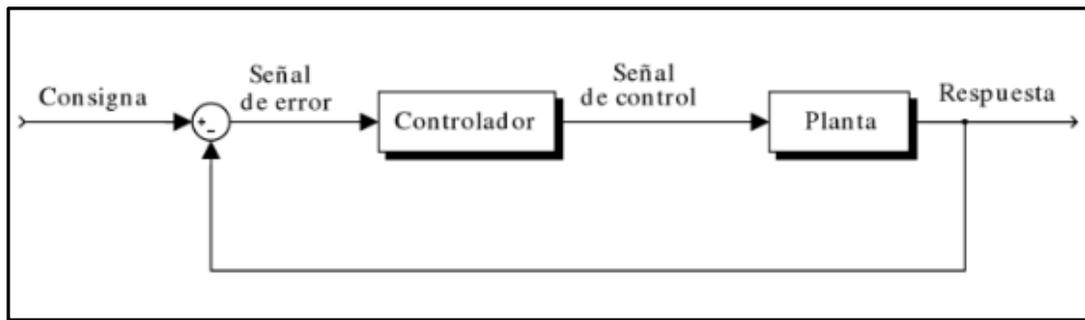
Fuente: Obtenida de (Angulo, Raya, 2004)

2.2.3.1. Sistema de lazo cerrado

También denominados como sistemas de control realimentados. Donde el controlador es alimentado por la señal de error, que vendría ser la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación, con el fin de disminuir el error y enviar la salida del sistema a un valor requerido. En la figura 24 se representa esquemáticamente el sistema de control de lazo cerrado. (Ogata, 2010)

Figura 24

Sistema de control simplificado en lazo cerrado



Fuente: Obtenida de (Angulo, Raya, 2004)

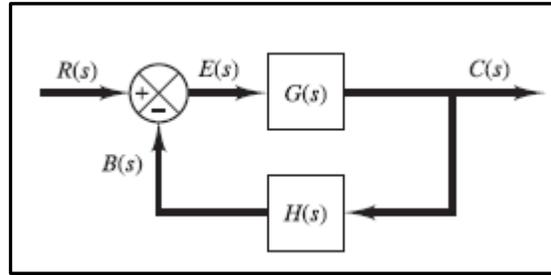
2.2.3.2. Sistema de control automático

La función del elemento de realimentación es corregir la salida $C(s)$ antes de asimilarse con la entrada $R(s)$. Por lo general, el elemento de realimentación es un sensor que mide la

salida de la planta. Este sensor se compara con la entrada y se genera la señal de error. la señal de realimentación que retorna al punto de suma para compararse con la entrada es $B(s)=H(s)C(s)$. En la siguiente figura 25 se representa en diagrama de bloques. (Ogata, 2010)

Figura 25

Diagrama de lazo cerrado



Fuente: Obtenida de (Ogata, 2010)

- **Función de transferencia en lazo cerrado.** Para el sistema que aparece en la Figura 25, la salida $C(s)$ y la entrada $R(s)$ se relacionan del siguiente modo. (Ogata, 2010)

$$C(s) = G(s)E(s)$$

$$E(s) = R(s) - B(s)$$

$$= R(s) - H(s)C(s)$$

Donde la función de transferencia de la trayectoria directa es:

$$G(s) = \frac{C(s)}{E(s)}$$

Para luego reemplazar en la ecuación $E(s)$ y tener la siguiente forma.

$$C(s) = G(s)[R(s) - H(s)C(s)]$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

2.2.3.3. Control proporcional integral

Es un sistema adecuado para todos los procesos. Donde un error tiene que ser necesario para tener un control proporcional distinto a cero. Con la acción integral, teniendo un error pequeño positivo nos brindara un control creciente y si fuera negativo el control sería de manera

adversa. Controlador PI es aplicado para sistemas de presión constante ya que el derivativo (D) generaría oscilaciones en el sistema, haciendo el sistema inestable. (Mazzone, 2002)

$$u(t) = (Kp)e(t) + \frac{Kp}{Ti} \int_0^t e(t)dt$$

Donde:

- ❖ $u(t)$ es la salida del controlador
- ❖ Kp es la ganancia del controlador
- ❖ Ki es la ganancia integral
- ❖ Ti es el tiempo integral
- ❖ $e(t)$ es el error

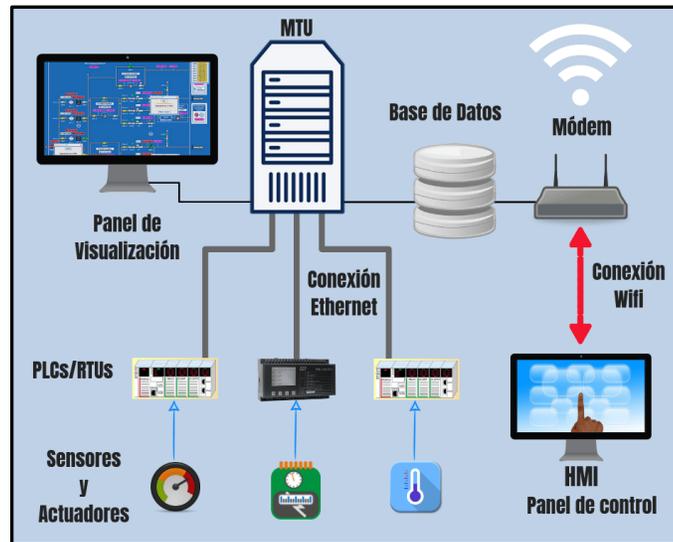
2.2.3.4. Supervisión, Control y Adquisición de Datos

Es un sistema donde se comunica el ordenador con los equipos que controlan un proceso, básicamente autómatas programables, con el objetivo supervisar desde el ordenador todo un proceso por el usuario. Desde la red de comunicación se recibe los datos de los equipos. De esta manera, el programa muestra desde el monitor los gráficos, estado de las múltiples variables del proceso. Como ventaja para el usuario puede ordenar y parar el proceso para los distintos equipos del proceso. (Sanchis, Romero, Ariño, 2010).

En la siguiente figura 26 representa el diagrama de comunicación del sistema SCADA, la comunicación empieza del PLC y RTU el bus de comunicación con los equipos en el proceso como máquinas y sensores. Donde esto pasa por interfaces humano -máquina (HMI). Esta pantalla se utiliza para comunicarse con el SCADA. (Sanchis, Romero, Ariño, 2010)

Figura 26

Diagrama SCADA



Fuente: Obtenida de (Curso Aula 21, 2010)

- **Aplicación del SCADA**

- Ventana de presentación.
- Ventana de definición del proceso.
- Ventana de definición de elementos del proceso.
- Ventana de configuración de parámetros.
- Ventana de alarmas.

- **Componentes de un sistema SCADA**

- A) Software**

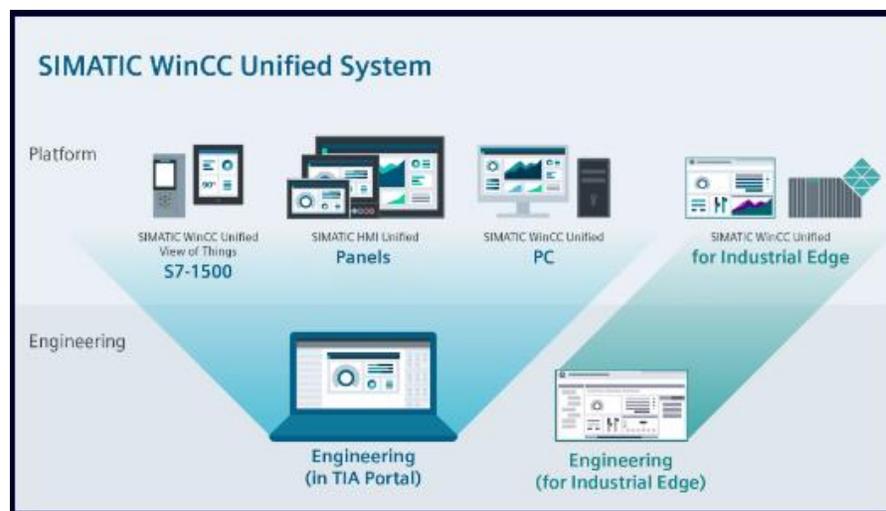
El programa ejecutado desde el ordenador, elabora el diseño interfaz humano (HMI) que establece la comunicación de dispositivos del proceso y la supervisión. En la industria existe varios softwares para este sistema como:

- SIMATIC WinCC

Es un sistema de visualización que permite mejorar la construcción de máquinas e instalaciones de un proceso. La modernidad, combinadas con interfaces abiertas, que permiten demostrar sus conocimientos de forma manejable y según los requisitos específicos de la aplicación. Se representa en la siguiente figura 27. (SIEMENS,2023).

Figura 27

Aplicación del WinCC (SIEMENS, 2023)



Fuente: Obtenida de (Productos SIEMENS, 2023)

B) Hardware

- Switch industrial

Conocido como switch Ethernet industrial, es un dispositivo utilizado para proporcionar una transmisión de datos eficientes para redes industriales. Normalmente, un Ethernet industrial es una forma rentable y eficaz de gestionar la comunicación entre varios tipos de equipos industriales. (SIEMENS, 2022). En la siguiente figura 28 representa el dispositivo.

Figura 28

Switch ethernet



Fuente: Obtenida de (SIEMENS, 2022)

Características técnicas

- ❖ Tensión de alimentación: 24VDC
- ❖ Tasa de transferencia: 10 Mbit/s, 100 Mbit/s
- ❖ Terminal: RJ45
- ❖ Corriente de consumo: 0.07A
- ❖ Número de puertos: 5
- ❖ Temperatura de funcionamiento: -10°C hasta 60°C
- ❖ Grado de protección: IP20

- Router VPN

Dispositivo diseñado para el monitoreo remoto y la recopilación de datos permitiendo la capacidad de acceder a nuestro proceso desde cualquier lugar del mundo, en cualquier momento. Este dispositivo facilita la entrada a una plataforma que permite la creación de un sistema de monitoreo SCADA en la nube sin incurrir en ningún costo.

La conectividad de este dispositivo es a través de Ethernet, Wifi y 4G, acceda a su proceso solo con una conexión a Internet o a través de un chip de datos. (WECOM, 2023). En la siguiente figura 29 representa el dispositivo.

Figura 29

Router VPN de la marca WECOM



Fuente: Obtenida de (WECOM, 2023)

Características técnicas

- ❖ Marca/ modelo: WECOM / V-BOX
- ❖ Tensión de alimentación: 24VDC
- ❖ Serial port: RS-232/RS-485
- ❖ Temperatura de trabajo: -10°C~60°C
- ❖ Potencia: 10W
- ❖ RAM: DDRIII 128MB
- ❖ Puertos Ethernet: 3LAN + 1WAN
- ❖ CPU: Cortex A7

• Protocolo de comunicación industrial

A) Protocolo Modbus RTU

También llamado Modbus binario es el más utilizado debido a que los datos son más cortos y por lo tanto la comunicación más simple, siendo un protocolo estándar en la industria. En el modo ASII, es más utilizado para desarrollar prácticas. Este protocolo está basado en la

arquitectura maestro /esclavo, donde se conectan los dispositivos electrónicos industriales. (Sanchis, Romero, Ariño, 2010)

Características del Modbus RTU

Características principales para el protocolo de comunicación (Briceño, 2005).

- ❖ La transferencia dúplex o half dúplex asíncrona.
- ❖ Carácter básico de información de 8 dígitos.
- ❖ Un Maestro llega a controlar hasta 247 remotas.
- ❖ Topología en estrella
- ❖ Interfaces de Capa Física: RS-232D, RS-422A, RS-485, o lazo de 4-20 mA
- ❖ Velocidades de Transmisión: 1200 a 19200 bps
- ❖ Medios de Transmisión: Par trenzado, cable coaxial, radio.

B) Protocolo Ethernet/IP

Protocolo de comunicación que utiliza medios físicos y tarjetas con Ethernet para aplicaciones industriales. Se basa en el Protocolo de transmisión y al Protocolo de internet. Permite el intercambio de datos binarios entre ordenadores, asegurando eficacia en la recepción y emisión donde la IP direcciona y enruta. (Acromag, 2005)

- **Enlace estándar**
 - **RS-485**

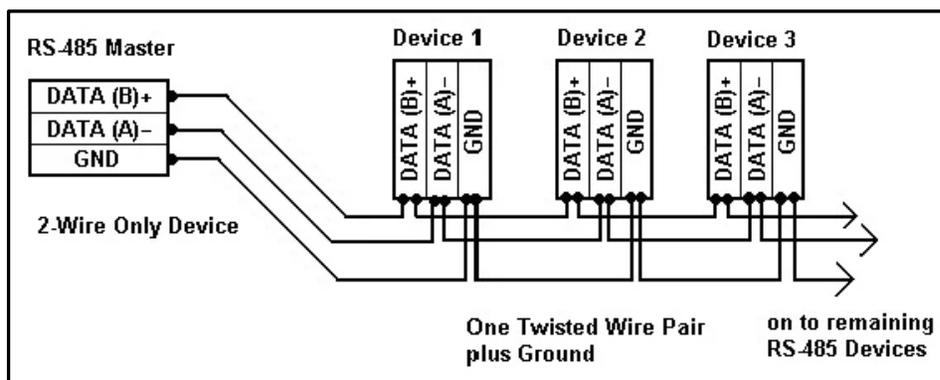
Enlace físico que permite conexión hasta 32 elementos entre sí. Define solo las características eléctricas de la transmisión, se realiza a través de 2 hilos en modo positivo (+) y negativo (-). El estado lógico 1 queda definido por un voltaje de 5V mayor en un hilo que en el otro. El voltaje total respecto de masa de los hilos puede variar entre -7 V y $+12\text{ V}$, pero no afecta a la señal transmitida. Los dos hilos suelen ir trenzados. De esta forma son inmunes al ruido, permiten transmisiones largas hasta 1.2km, velocidad máxima de transmisión de 10Mbit/seg. (Sanchis, Romero, Ariño,2010)

En la figura 30 representa la conexión serial establecida del RS-485 como maestro y como esclavos a los demás dispositivos. Donde el RS-485 es un convertidor que después de

conexión serial es llevada como puerto ethernet. (Weis, 2021)

Figura 30

Enlace del RS-485



Fuente: Obtenida de (Weis, 2021)

- **Lenguaje Ladder**

Generalmente es el lenguaje de programación más requerido, debido a su similitud con el automatismo eléctrico. Está basado en lógica cableada de contactores que se representa en líneas verticales largas separadas. Teniendo tres tipos de elementos fundamentales. (Sanchis, Romero, Ariño, 2010)

- ❖ **Contacto normalmente abierto (NA):**

Representa con dos líneas separadas de forma vertical y estado lógico es 0.

- ❖ **Contacto normalmente cerrado (NC):**

Representa con dos líneas separadas en paralelo con intersección de línea y de estado lógico 1.

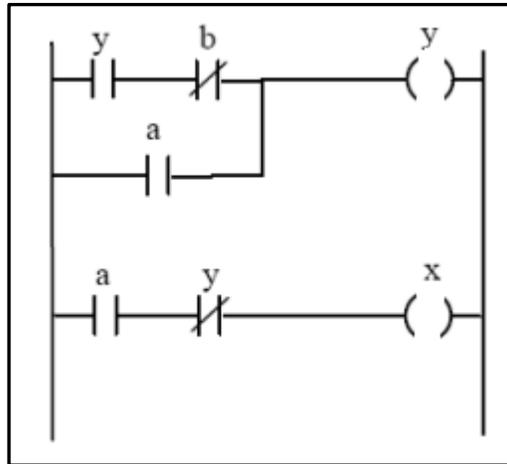
- ❖ **Bobina(Q):**

Representada en forma de paréntesis que al estar activada en estado lógico 1 cambia de color.

En la siguiente figura 31 representa el grafico del lenguaje ladder.

Figura 31

Programa en lenguaje Ladder



Fuente: Obtenida de (Sanchis, Romero, Ariño,2010).

- **PID COMPACT**

El bloque PID, automatiza el proceso de la planta para una mejor eficiencia de control. El bloque de configuración presenta visualmente parámetros PID, los cuales se ajustan automáticamente al sistema regulado durante el proceso de optimización. No es requerido ingresar manualmente estos parámetros PID. El algoritmo PID opera conforme a la siguiente fórmula. (SIEMENS, 2014)

$$y = Kp[(b * w - x) + \frac{1}{Ti * s}(w - x) + \frac{Td * s}{a * Td * s + 1}(c * w - x)]$$

Se describe los siguientes símbolos de la fórmula PID.

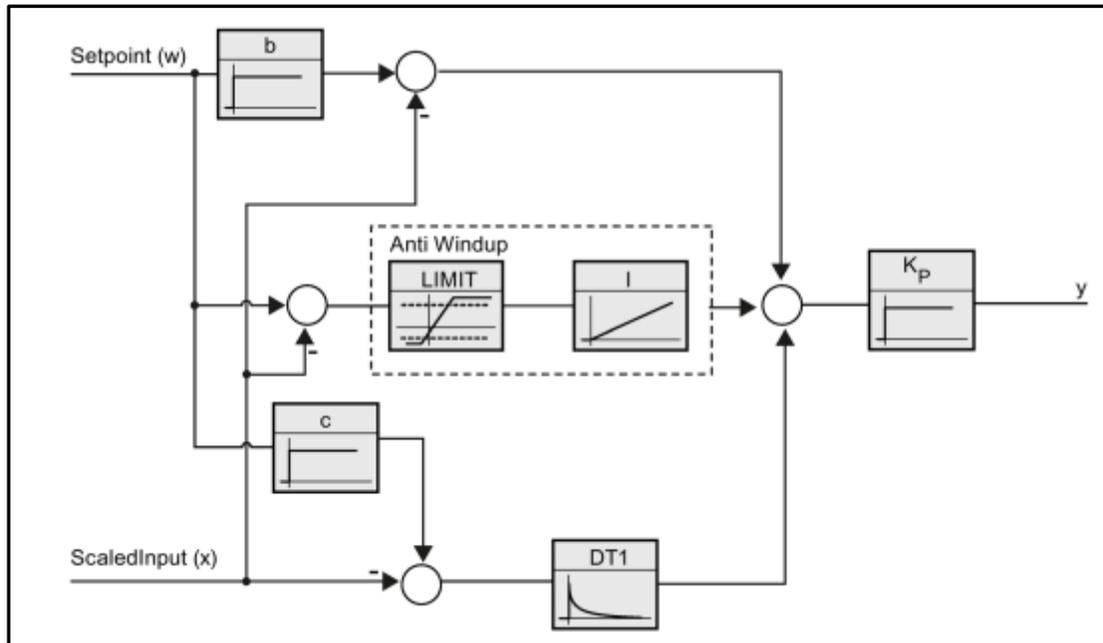
- ❖ Y: Salida del algoritmo PID
- ❖ Kp: Ganancia proporcional
- ❖ Ti: Tiempo de integración
- ❖ Td: Tiempo derivativo

- ❖ b: Ponderación de la acción P
- ❖ w: Setpoint
- ❖ x: variable del proceso
- ❖ a: Coeficiente de retardo de la acción derivada $T1 = a * Td$
- ❖ c: Ponderación de la acción D

La Figura 32 ilustra la entrada manual de los parámetros setpoint y scaledinput en el algoritmo PID, completando así la carga total del PID Compact.

Figura 32

Introducción manual de parámetros PID



Fuente: Obtenida de (SIEMENS, 2014)

III. METODOLOGÍA

3.1. Descripción de la metodología

El trabajo de investigación es de modo cuantitativo teniendo como objetivo cuantificar la recopilación y análisis de datos involucrando el desarrollo del mismo basado en la realización de experimentos.

3.1.1. Etapas del desarrollo de la tesis

Las etapas del desarrollo de la tesis están enfocados a los objetivos planteados en la presente tesis, por lo tanto, está dividido en 4 etapas, desde la definición de los parámetros característicos hasta la implementación del sistema.

3.1.1.1. Definición de parámetros para la supervisión y control del sistema

Para garantizar un control efectivo en un sistema de presión constante utilizado en edificios residenciales, resulta fundamental establecer los parámetros clave de la bomba de agua. Este sistema está configurado con diversos elementos diseñados específicamente para mantener una presión constante.

Primero tomamos como referencia un sistema de presión constante aplicado en edificios residenciales, teniendo en cuenta parámetros específicos a edificios y cantidad de presión según estándares como reglamento nacional de construcción IS.010, para el diseño de sistemas de presión constante en edificios implica considerar varios parámetros para poder garantizar un funcionamiento eficiente y seguro del sistema. Algunos de los parámetros clave que se tienen en cuenta son:

Demanda de Agua: Debe realizarse un análisis detallado de la demanda de agua en el edificio, teniendo en cuenta el número de usuarios, los dispositivos de agua (grifos, duchas, inodoros, etc.) y las actividades diarias, con esta información se determina la capacidad requerida del sistema.

Tabla 1

Asignación de agua potable de la red troncal pública hacia la cisterna

Número de dormitorios por departamentos	Asignación de por departamentos l(litros)/d(días)
1	500
2	850
3	1200
4	1350
5	1500

Fuente: obtenida de (Reglamento nacional de edificaciones, 2006)

Cisterna: En el dimensionamiento de la cisterna, la norma establece que cuando solo se disponga de una cisterna, su capacidad debe ser como mínimo igual a la dotación diaria, con un volumen no inferior a 1,000 litros. Se le adhiere el 10% del volumen total como seguridad. Por ejemplo, considerando la tabla 1, se tiene un edificio residencial de 5 pisos con 5 departamentos de 5 dormitorios por lo que el volumen (V) de la cisterna a condiciones normales es $V = 5 \times 5 \times 1500 = 37,500$ l/d, ahora se le agrega el 10% obteniendo $V = 41,250$ l/d convertida a metros cúbicos es 41.25 m^3 .

Tamaño de Tuberías: Se determina el diámetro adecuado de las tuberías para garantizar un flujo suficiente de agua y minimizar las pérdidas de presión. Se toma en cuenta la velocidad mínima $V = 0.60$ m/s indicada por el Reglamento Nacional de Edificaciones. Tomando como ejemplo anterior se halla el diámetro: $D = \sqrt{\frac{4 \times Ql/s}{\pi \times 1000 \times V \text{ m/s}}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.477}{3.14 \times 1000 \times 0.60}} = 0.0318m$

Altura Dinámica: La altura dinámica del sistema se refiere a la diferencia de elevación entre los puntos más altos y más bajos del edificio.

Presión Mínima Requerida: Se establece la presión mínima necesaria para satisfacer las necesidades de los usuarios y para garantizar que los dispositivos, como grifos y duchas,

funcionen correctamente. Se detalla la siguiente fórmula, h = Altura desde el tanque subterráneo hasta el último piso, $\sum hf$ = sumatoria de todas las pérdidas, h_r = presión residual.

$$P_{min} = h + \sum hf + h_r$$

Siguiendo con el ejemplo anterior de un edificio de 5 pisos, se designa 2.75 m de piso a piso si en caso no precisa la medida, como sumatoria de pérdidas se estima 10% de la altura del edificio más 7 metros de perdidas en piso y se estima 7 metros de presión residual del tanque.

$$P_{min} = (6 \times 2.75) + ((6 \times 2.75) \times 10\% + 7) + 7 = 32.15 \text{ m} = 45.7 \text{ PSI}$$

Sistemas de Bombeo: Se incorporan sistemas de bombeo para mantener la presión constante, especialmente en edificios de gran altura.

Sistemas de Control y Monitoreo: Se implementan sistemas de control y monitoreo para ajustar automáticamente la presión según las demandas del sistema y para detectar y resolver problemas en tiempo real.

Al considerar estos parámetros de diseño, se pueden crear sistemas de presión constante que proporcionen un suministro de agua eficiente, confiable y seguro para los ocupantes del edificio.

De acuerdo a los parámetros mencionados se realiza un análisis de consideración para definir parámetros de supervisión de la bomba de agua y control del sistema, se considera bajo a qué condiciones físicas estará expuesto teniendo en cuenta condiciones adversas como polvo, humedad, calor y frío. Con base en esta evaluación, se procede a diseñar un módulo trasladable específico para cada ambiente. En relación con las condiciones hidráulicas necesarias para el funcionamiento del sistema, se establecen requisitos clave del cual se garantiza que la presión y el caudal de agua no comprometan el espacio de operación ni generen salpicaduras indeseadas por parte de la tubería de descarga. Esto implica que se ha considerado altura, caudal para llevar a cabo las diferentes pruebas, lo que abarca desde sistemas de baja presión hasta aplicaciones que demandan altos caudales. Considerando los siguientes rangos como: Presión máxima 40 PSI, 1.5m de altura del módulo para la obtención de mayor presión en condiciones bajas y caudal 13.3/min. De acuerdo a estas condiciones hidráulicas se determina los parámetros de supervisión que se adecuen al control del sistema.

- **Voltaje de la bomba**, el voltaje de corriente alterna (AC) indica si el variador de frecuencia suministra tensión al motor cuando el sistema requiere activación de la bomba por demanda de caída de presión. Este parámetro permite señalar el voltaje AC de trabajo de la bomba de agua durante el proceso. Considerando que en instalaciones peruanas la tensión nominal es de 220 V con variaciones entre +- 10% de la tensión nominal.
- **Corriente de la bomba**, el consumo de amperaje determinará si la bomba entra en sobrecarga, lo cual ocasionará el paro de la bomba de agua. Este parámetro permite señalar la corriente de consumo de la bomba de agua, que no exceda la corriente nominal de la placa de características de la bomba.
- **Potencia de la bomba**, muestra el consumo de energía de la bomba de agua. Este parámetro permitirá determinar su eficiencia semestral. las unidades que se expresa son en kilowatts (KW).
- **Frecuencia de la bomba**, Es el primer valor para poder identificar la presión del sistema, la frecuencia es directamente proporcional a la presión. Por lo tanto, a medida que la frecuencia aumenta la presión aumentará.
- **Velocidad de la bomba**, Comprueba si la bomba de agua está trabajando a sus revoluciones indicadas según su placa de características. La velocidad representada en unidades de revoluciones por minuto (rpm).
- **Consigna de presión (set point)**, La consigna de presión ingresada al sistema por el usuario se realiza a través de la pantalla HMI o SCADA, dentro de un rango predefinido por el transmisor de presión, el cual abarca desde 0 hasta 40 PSI.

La Figura 33 ilustra los parámetros principales del sistema de presión constante desde la ventana inicial del sistema SCADA en la que detalla al lado derecho los parámetros de la bomba de agua para su supervisión.

Figura 33

Parámetros de supervisión y control



Fuente propia

3.1.1.2. Selección de equipos industriales para la implementación

Siguiendo los parámetros previamente definidos, se han seleccionado los equipos industriales y accesorios sanitarios necesarios para llevar a cabo de manera eficaz la implementación de un módulo didáctico de sistema de presión constante basado en SCADA, teniendo en consideración normativas de grados de protección contra polvo, chorros de agua y temperaturas ambiente adecuada para toda industria IP 54, 55, 64; norma IEC (International Electrotechnical Commission) para equipos eléctricos; norma NEMA para seguridad eléctrica y reglamento nacional de construcción IS.010 para instalación sanitaria. Se selecciona los equipos en base al diseño del módulo didáctico que consta de las siguientes condiciones.

Suministro de red eléctrica monofásica 220VAC/60HZ.

El diseño del módulo se fundamenta en un sistema de presión constante aplicado a un edificio de 5 pisos. Se han tomado como referencia parámetros de presión, caudal y altura para llevar a cabo una simulación a escala real.

$P =$ Presión, $g =$ Gravedad, $h =$ Altura, $Pe =$ Peso específico, se desarrolla la presión a $h = 1.5m$ de alto del módulo. Se halla la presión.

$$P = h \times g \times Pe = 1.5m \times 9.8 \frac{m}{s^2} \times 1000 \frac{kg}{m^3} = 14.7 \frac{kgm^2}{s^2l} = 2.132 PSI$$

Se desarrolla la presión a H= 16.5m como medida de la altura del edificio de 5 pisos más sótano a 2.75m de piso a piso.

$$P = h \times g \times \rho = 16.5m \times 9.8 \frac{m}{s^2} \times 1000 \frac{kg}{m^3} = 161.7 \frac{kgm^2}{s^2l} = 23.45 PSI$$

Con referencia al edificio de 5 pisos, a un Q (caudal) = 37500l/d, se toma ese valor en litros /minuto para el diseño del módulo, obteniendo lo siguiente:

$$Q = 26.04l/min$$

Para la determinación del diámetro de tubería PVC, se considera velocidad mínima (V) = 0.6 m/s por norma del reglamento nacional de edificaciones, obteniendo lo siguiente:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Ql/s}{\pi \times 1000 \times V m/s}} = \sqrt{\frac{4 \times (26.04/60)l/s}{\pi \times 1000 \times 0.6 m/s}} = 0.0302 m = 1 \text{ pulgada}$$

De acuerdo a los requisitos previos y rangos establecidos se selecciona los equipos ideales para la correcta implementación del módulo didáctico.

- **Variador de frecuencia**, La elección del variador de frecuencia se basa en la aplicación en un sistema de bombeo de agua a baja potencia y en la capacidad de comunicación serial RS-485. Al implementar un sistema de presión constante, se logra una mayor eficiencia y un control óptimo, debido a las cualidades que presenta se adapta a las normas de seguridad y características del equipo que son lo siguiente:
 - Marca: LS
 - Modelo: iG5A
 - Potencia: 1HP
 - Voltaje de entrada: 200 – 250VAC/60HZ
 - Corriente de salida: 4A
 - Grado de protección: IP 54

En la siguiente figura 34 se representa el variador de frecuencia

Figura 34

Variador de frecuencia de la marca LS



Fuente propia

- **Transductor de presión**, debido a la presión del sistema, se requiere controlar la velocidad de la bomba de agua según la demanda de los usuarios residenciales y tiene como ventaja poder visualizar y calibrar los rangos de presión. Es debido a esas cualidades que pone en ventaja para su elección ya que al ser módulo didáctico permite poder calibrar los rangos de presión. El transmisor a utilizar tiene las siguientes características técnicas y normas de seguridad que se adaptan de acuerdo a las necesidades requeridas:
 - Marca: Foxboro
 - Alimentación: 30 +/- 0.5 VDC
 - Salida analógica: 4 – 20 mA
 - Rango de presión: 0 – 40 psi
 - Precisión: 0.5%, temperatura: -40°C a 75°C
 - Grado de protección: IP64

La siguiente figura 35 muestra el equipo a utilizar.

Figura 35

Transmisor de presión de la marca Foxboro



Fuente propia

- **PLC SIEMENS S7-1200**, La elección del dispositivo se debe a que este permite controlar y adquirir datos de los variadores de frecuencia. El PLC se comporta como maestro, utilizando el interfaz de comunicación RS- 485 para la comunicación con los variadores de frecuencia y como fin de la programación ejecutar la alternancia de bombas de agua para un sistema de presión constante. El equipo a utilizar contiene las siguientes características.
 - Marca: Siemens
 - Modelo: S7-1200
 - Voltaje de entrada: 24VDC
 - Corriente nominal: 1.5A
 - Entradas digitales: 14
 - Salidas digitales: 10
 - Entrada analógica: 2
 - Grado de protección: IP65

la siguiente figura 36 muestra el equipo a utilizar.

Figura 36

Siemens S7-1200



Fuente propia

- **Módulo de comunicación RS -485**, la elección de optar este módulo de comunicación tiene como ventaja el puerto común serial de los variadores de frecuencia, donde la transferencia de datos entre PLC y variadores de frecuencia se realiza por este dispositivo por medio del protocolo de comunicación Modbus RTU. El equipo a utilizar contiene las siguientes características.
 - Marca: Siemens
 - Número de interfaces: 1
 - Valor nominal DC: 24 V
 - Longitud de cable max: 1000 m
 - Temperatura de servicio: -20 °C a 60 °C
 - Grado de protección: IP 65

En la siguiente figura 37 muestra el módulo de comunicación.

Figura 37

Módulo CM 1241 con conector hembra DB9



Fuente propia

- **Switch industrial**, La elección del dispositivo se debe a que permite establecer la comunicación de datos de la pantalla HMI y el router VPN hacia el PLC. El equipo a utilizar contiene las siguientes características.
 - Marca: Siemens
 - Tensión de alimentación: 24VDC
 - Tasa de frecuencia: 10 Mbit/s
 - Corriente de consumo: 0.07A
 - Número de puertos: 5
 - Temperatura: -10°C – 60°C
 - Grado de protección: IP 54

La siguiente figura 38 muestra el equipo a utilizar.

Figura 38

Switch industrial de la marca siemens



Fuente propia

- **Conector serial macho DB9 RS- 485**, la elección del conector se realiza por el tipo de conexión que emplea el módulo de comunicación, la transferencia de datos entre el PLC y los variadores de frecuencia se da por este enlace físico. La siguiente figura 39 muestra el equipo a utilizar.

Figura 39

Conector DB9 macho



Fuente propia

- **Pantalla HMI**, mediante este dispositivo se visualizará el proceso del sistema de presión constante. Donde el usuario se podrá controlar los parámetros del variador de frecuencia. Las características técnicas del equipo.

- Marca: Siemens,
- Modelo: KTP 700
- Pantalla: LCD táctil
- Interfaz: Profinet
- Alimentación: 24VDC
- Corriente de consumo: 0.5A
- Memoria de configuración: 12 Mbyte
- Grado de protección: IP64

La siguiente figura 40 muestra el equipo a utilizar.

Figura 40

Pantalla HMI de la marca SIEMENS y modelo KTP 700



Fuente propia

- **Fuente de alimentación**, La elección de la fuente se basa en la evaluación del consumo de amperaje y tensión del sistema. Este dispositivo se utiliza para proporcionar voltaje continuo a componentes electrónicos como HMI y switches industriales. A continuación, se detallan las especificaciones técnicas del equipo:

- Marca: Siemens
- Voltaje de entrada: 220VAC monofásico
- Voltaje de salida: 24VDC
- Corriente: 2A
- Temperatura ambiente: 10°C – 70°C.
- Grado de protección: IP 65

La siguiente figura 41 muestra el equipo a utilizar.

Figura 41

Fuente de alimentación siemens



Fuente propia

- **Laptop**, se emplea para poder monitorear y controlar desde la red al módulo didáctico de presión constante y también poder realizar las programaciones del sistema SCADA.

Características técnicas del equipo.

- Marca: ACER
- Modelo: Aspire 5
- Memoria RAM: 8GB
- Disco duro: 1TB
- Sistema operativo: Windows 10

La siguiente figura 42 muestra el equipo a utilizar.

Figura 42

Laptop de la marca ACER

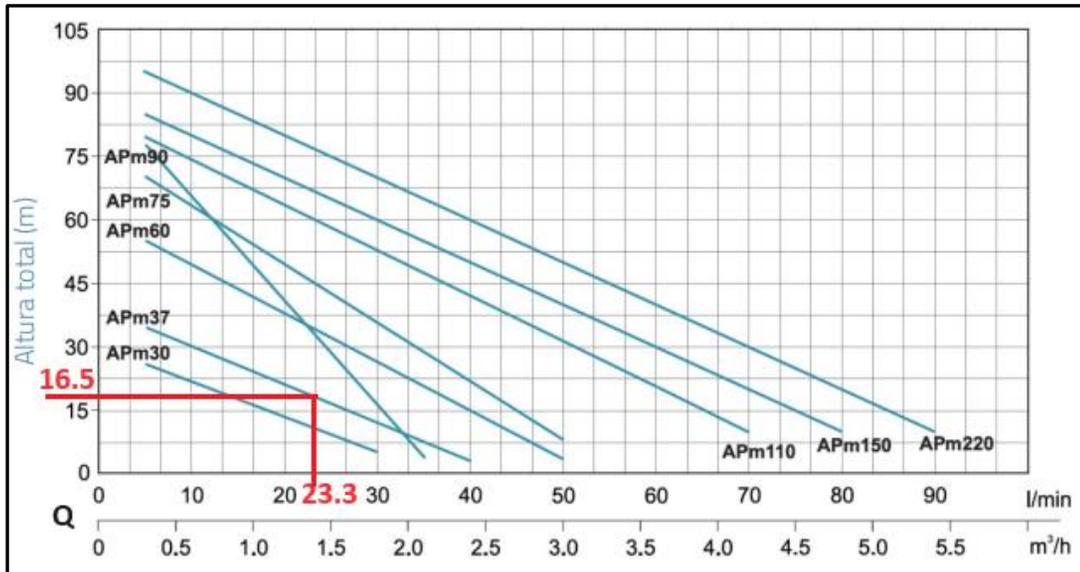


Fuente propia

- **Bomba periférica**, la elección se basa en una evaluación de curva de característica y especificaciones técnicas. Estas curvas de características ilustran la variación del caudal y la presión generados por la bomba a lo largo de su operación. Se ha analizado estas curvas para asegurar que se alineen de manera precisa a las necesidades de las pruebas. La bomba desempeña un papel fundamental en el sistema de bombeo a presión constante, abasteciendo de agua a la red de tuberías al transportar el flujo desde la cisterna. En la figura 43 se presenta la curva de operación resaltada en color rojo, que exhibe un caudal de 23.3 litros por minuto (l/min) obtenido a una presión de prueba de 23,43 PSI, equivalente a 16.5 metros de columna de agua (mca). Estos valores se sitúan dentro del rango de caudal (Q) especificado para la bomba periférica, que va de 5 a 35 l/min.

Figura 43

Curva de operación de la bomba de la marca LEO



Fuente propia

Los datos técnicos de la bomba de agua:

- Marca: LEO
- Modelo: APm37
- Tipo alimentación: Trifásica
- Voltaje nominal: 220VAC/60HZ
- Intensidad nominal: 1.6A
- Velocidad nominal: 3600rpm
- Potencia: 0.37KW
- Caudal(Q): 5-35 l/min
- Altura (H): 35-5m
- Protección: IPX4 (protección efectiva contra las salpicaduras de agua según la norma IEC).

Válvula check cimbal 1"



Fuente propia

- **Codo PVC 1"**, en la instalación sanitaria, se utilizan codos de PVC de 1 pulgada tanto para unir las tuberías como para crear resistencia al flujo de agua producido por la bomba centrífuga. Características técnicas del accesorio.
 - Material: Poli Cloruro de Vinilo (PVC)
 - Medida: 1 pulgada
 - Presión de roturas: 10 Mpa (1440 Psi)
 - Mínimo y máximo espesor: 3.8 mm/ 4.22 mm

La siguiente figura 46 muestra el accesorio a utilizar.

Figura 46

Codo de PVC de 1"



Fuente propia

- **Válvula esférica PVC 1”**, este accesorio facilita el flujo del agua hacia la tubería de descarga y se emplea específicamente para crear una prueba de sobrepresión. A continuación, se detallan las características técnicas del accesorio:
 - Marca: Sanking
 - Modelo: Bola sin rosca
 - Tipo: Válvula
 - Temperatura máxima de funcionamiento: 45°C
 - Presión máxima de trabajo: 145 psi

La figura 47 ilustra el aspecto del accesorio que debe utilizarse en esta aplicación.

Figura 47

Válvula esférica PVC 1” de la marca sanking



Fuente propia

- **Tubo de PVC 1”**, En el contexto de instalaciones sanitarias, los tubos de PVC se destacan comúnmente empleados para el transporte del agua hasta su punto de destino. A continuación, se presentan las especificaciones técnicas de estos tubos:
 - Marca: Tuboplast
 - Material: PVC

- Tipo: Agua
- Espesor: 1.8mm
- Medida: 1 pulgada

La figura 48 ilustra el aspecto del accesorio que debe utilizarse en esta aplicación.

Figura 48

Tubo PVC 1" de la marca Tuboplast



Fuente propia

- **Manómetro**, Este dispositivo se utiliza para medir la presión del agua en unidades de bar/psi cuando la bomba de agua está en funcionamiento. A continuación, se detallan las especificaciones técnicas de este instrumento:
 - Marca: VAE
 - Rango de presión: 0 – 10 bar
 - Exactitud: +/-2%
 - Ventana: Acrílico
 - Temperatura: -20°C a 60°C
 - Mecanismo: Bronce

La figura 49 ilustra el aspecto del accesorio que debe utilizarse en esta aplicación

Figura 49

Manómetro de glicerina de la marca VAE



Fuente propia

3.1.1.3. Desarrollo del módulo didáctico de presión constante

Se desarrollará de las siguientes etapas para la elaboración del módulo.

- **Diseño del sistema eléctrico y mecánico**, se desarrolló el plano eléctrico de control, fuerza y plano mecánico de la estructura del módulo didáctico de presión constante en AutoCAD.
- **Configuración de variadores de frecuencia y programación del PLC**, se desarrolló la configuración PID en los variadores de frecuencia y para el PLC se programará lo siguiente: Control de bombas alternadas, bomba de apoyo ante caída de presión, reemplazar bomba por otra ante una falla, señalización de alarmas
- **Gráfico del proceso en la pantalla HMI**, Graficar lo siguiente: El proceso en una ventana del HMI, parámetros de visualización, parámetros de control del variador, alarmas.
- **Comunicación Modbus RTU entre el PLC y variadores de frecuencia**, comunicación entre PLC y variadores de frecuencia. Donde el PLC controlará los parámetros de los variadores.
- **Controlar desde el HMI los variadores de frecuencia**, desde los gráficos realizados

se requiere controlar los variadores de frecuencia. Donde se podrá configurar sus parámetros desde una ventana de la pantalla HMI.

- **Monitorear y controlar desde la red**, como programación final es realizar el monitoreo y control desde la red.
- **Presentación de la estructura metálica del módulo didáctico**, montaje de la estructura metálica que es la base del sistema de presión constante.
- **Montaje de la bomba e instalación sanitaria**, montaje de la bomba junto a la instalación sanitaria del módulo didáctico de presión constante.
- **Instalación eléctrica de fuerza y control del sistema**, instalación eléctrica de fuerza y control de los equipos seleccionados. Donde los equipos estarán al alcance.

3.1.1.4. Validación del sistema SCADA

Teniendo el módulo didáctico de presión constante habilitado a escala se procederá a monitorear y controlar los parámetros del proceso y de los variadores de frecuencia.

3.2. Implementación del sistema

3.2.1. Desarrollo del prototipo del sistema de presión constante para la demostración del funcionamiento a escala real.

Al determinar los parámetros, se elabora el diseño tridimensional del módulo didáctico en plano mecánico. La implementación comprende una instalación mecánica de dos bombas de agua que incluye estructura metálica, así como una parte sanitaria que consiste en tuberías y accesorios de PVC. Además, la cisterna está equipada con ventanas de acrílico.

El plano mecánico diseñado es para una implementación de dos bombas de agua. El funcionamiento del sistema inicia cuando la bomba succiona agua a través de la tubería de succión. Para permitir que el flujo de agua salga, es necesario abrir la llave de paso. La presión del sistema se controla a través de un transductor de presión. A medida que el agua sigue su recorrido, regresa a la base rectangular, que funciona como una cisterna, a través de la tubería

de descarga. De esta manera, se establece un sistema de retroalimentación que evita el desperdicio de agua. A continuación, se detallan las especificaciones técnicas del módulo didáctico.

- Material de la estructura: Acero de tubo cuadrado de 1 pulgada.
- Módulo transportable: Con ruedas.
- Altura: 150 cm
- Volumen de la cisterna: 50cm x 40cm x 30cm
- Tuberías y accesorios: PVC de 1 pulgada.

La figura 50 ilustra el prototipo diseñado de una estructura metálica de acero e instalación sanitaria, en la que enumera las partes que conforman el diseño como se detalla de la siguiente manera:

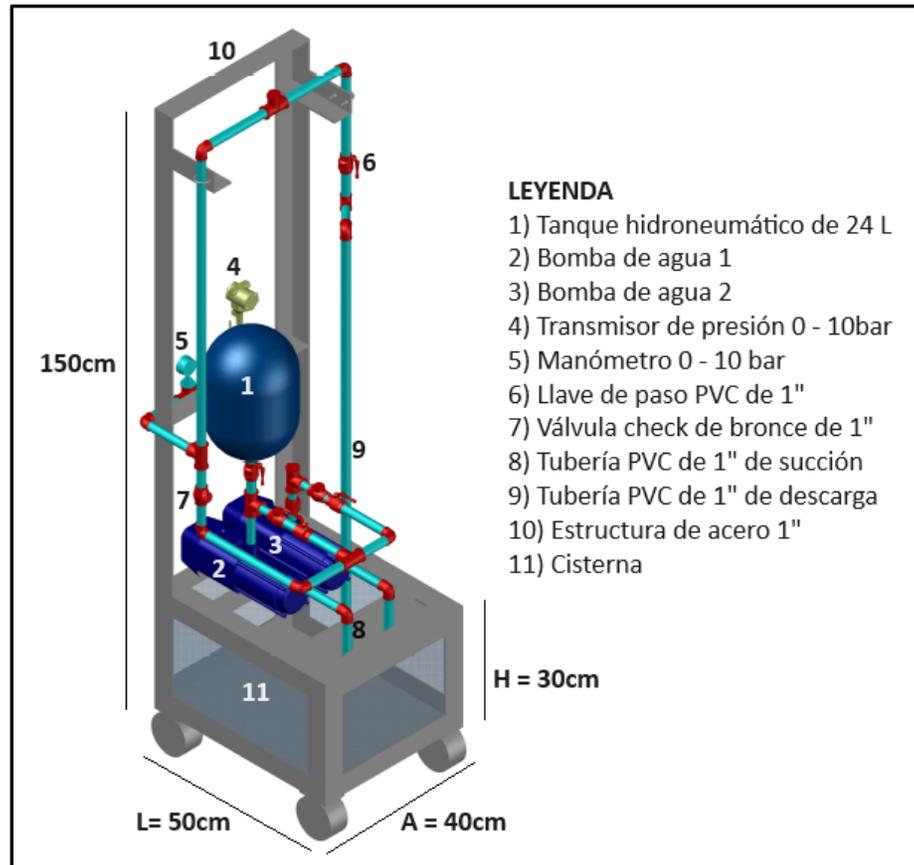
- Tanque hidroneumático de 24 L: Inyecta aire para mantener la presión.
- Bombas de agua 0.37 KW: Inicia el bombeo de agua dentro del módulo de forma alternada.
- Tuberías de PVC 1 ": transporta la circulación del agua.
- Transductor de presión 0 – 10bar: Mide la presión y convierte las unidades de presión en señal analógica de 4 – 20mA.
- Manómetro de 0- 10bar: Mide la presión del sistema aplicado.
- Llave de paso PVC 1 ": Permite el paso de la corriente de agua, ubicados en la descarga de la bomba conectado al tanque hidroneumático y en la tubería de descarga.
- Válvula check de bronce 1 ": Ubicado en la descarga de la bomba cumpliendo el rol de evitar el retorno del agua cuando la bomba este modo descanso.
- Tubería de PVC 1 " de succión: Una vez iniciando la puesta en marcha de la

bomba de agua, la bomba succiona agua por medio de la tubería aplicada.

- Tubería de PVC 1 " de descarga: Es la parte donde culmina el recorrido del flujo del agua.

Figura 50

Prototipo de la estructura metálica y instalación sanitaria



Fuente propia

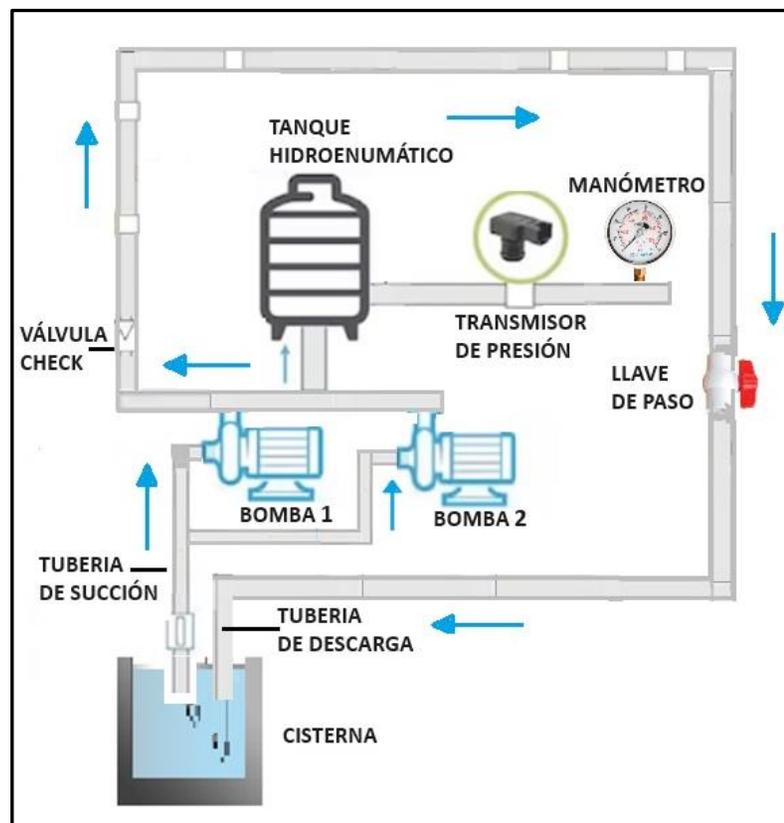
En la siguiente figura 51 representa el diagrama sanitario del sistema de presión constante en la que indica el recorrido del flujo del agua en el módulo didáctico. Detallando lo siguiente:

El sistema inicia cuando la bomba absorbe agua por medio de la tubería de succión y descarga el agua hacia arriba según indicaciones de las flechas, en la que el tanque hidroneumático inyecta aire para mantener la presión del agua al tener la bomba en modo

descanso, siguiendo el recorrido el flujo del agua pasa por la válvula check que este evita el retorno del agua hacia abajo, el flujo del agua recorre por dos caminos en la que el principal recorrido es hacia la llave de paso que es como un caño de domicilio para el apertura de agua del usuario y el otro camino es para medir la presión ejercida en el módulo dado por el transmisor de presión y manómetro.

Figura 51

Recorrido del flujo del agua en el módulo didáctico.



Fuente propia

3.2.2. Diseño eléctrico del sistema.

Se desarrolló el diseño eléctrico de control y fuerza para un sistema automático de alternancia de dos bombas de agua aplicado en un sistema de presión constante, con la facultad del usuario de controlar el proceso del sistema, teniendo en consideración que el circuito de control es como respaldo si en caso la comunicación Modbus reporta fallas.

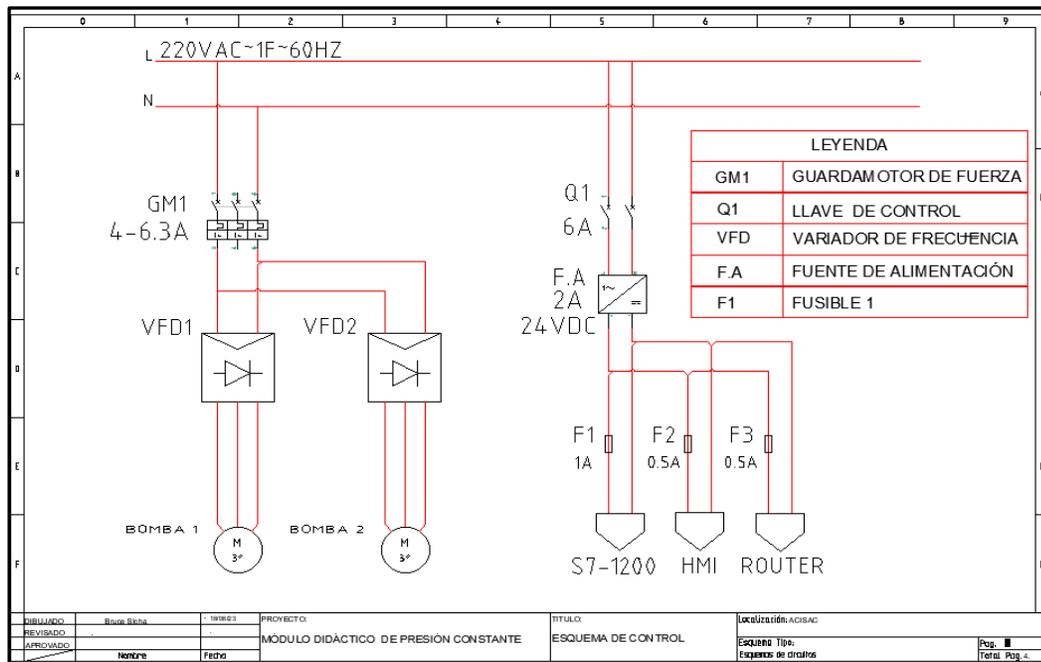
- **Diagrama de fuerza**

El sistema eléctrico se encuentra dividido en dos circuitos, cada uno de ellos controlado por interruptores. El primer circuito está protegido por un guardamotor termomagnético de fuerza (GM1) y se encarga de suministrar los variadores de frecuencia. El segundo circuito, destinado a la distribución de control, está controlado por una llave termomagnética (Q1).

La habilitación de la etapa de fuerza empieza por el GM1 (guardamotor de fuerza) en la que mantiene energizado a los variadores de frecuencia VFD 1 y VFD 2 a una red monofásico de 220VAC, las bombas entran en servicio de forma alternada por medio de los variadores cuando reciba una señal de control desde el PLC, cada variador activa una bomba de forma independiente. Q1 (llave de control), energiza a una red eléctrica monofásica de 220VAC a la F.A (fuente de alimentación). En la siguiente figura 52 ilustra el diagrama.

Figura 52

Diagrama de fuerza del sistema



Fuente propia

- **Diagrama de control**

Se diseñó la etapa de control como medida de respaldo si en caso se registra pérdida de comunicación Modbus. El sistema está diseñado para ser iniciado de manera local del cual se ejecuta de manera presencial, utilizando selectores eléctricos que permiten la selección manual para el funcionamiento de equipos electrónicos como PLC, variador de frecuencia y el transmisor de presión. Se detalla lo siguiente:

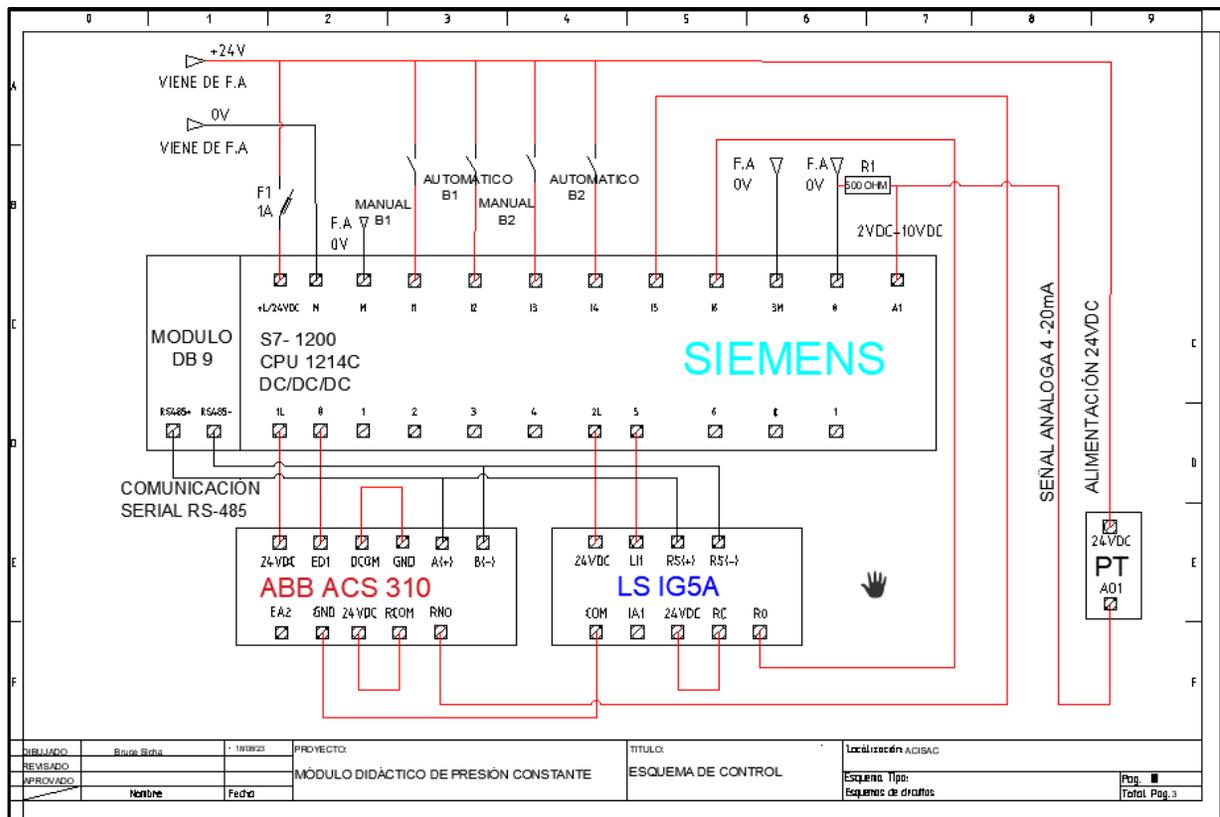
- ❖ PT: Transmisor de presión
- ❖ AO1: Salida analógica del transmisor (4-20mA)
- ❖ R1: Resistencia de 500 ohm.
- ❖ LI1: Entrada digital 1 del variador LS
- ❖ COM: Común analógico
- ❖ RCOM: Relé común
- ❖ RNO: Relé normalmente abierto
- ❖ RC: Relé normalmente cerrado
- ❖ RO. Relé normalmente abierto
- ❖ A1: Entrada analógica1 PLC (2VDC- 10VDC)
- ❖ DCOM: Digital común
- ❖ M: Común negativo del PLC
- ❖ I1: Entrada digital del PLC
- ❖ MOA: Conmutador de A(automático) y M(manual)

En la figura 53 se expone el funcionamiento de la etapa de control, donde el suministro eléctrico se origina a partir de una Fuente de Alimentación (F.A.) con una salida de voltaje de 24 VDC y una corriente de 2 amperios.

1. Se tiene dos conmutadores MOA para el funcionamiento individual de cada bomba, para la puesta en marcha de alternancia de bombas se selecciona en A(automático) los dos conmutadores MOA.
2. Una vez habilitado los conmutadores, esa señal eléctrica es direccionada a las entradas digitales I2 y I4 del PLC S7-1200 por lo que se ejecuta la programación de alternancia de bombas, habilitando así las salidas digitales Q0 y Q5 que de acuerdo al tiempo de programación uno de ellos ingresa primero.
3. Las salidas digitales del PLC son direccionadas a las entradas digitales de los variadores ED1(Variador de frecuencia ABB) y LI1 (variador LS). La dirección es de la siguiente manera: Q0 habilita ED1 y Q5 habilita LI1 del cual permite la puesta en marcha de los variadores para la activación de las bombas.

Figura 53

Diagrama de control en AutoCAD



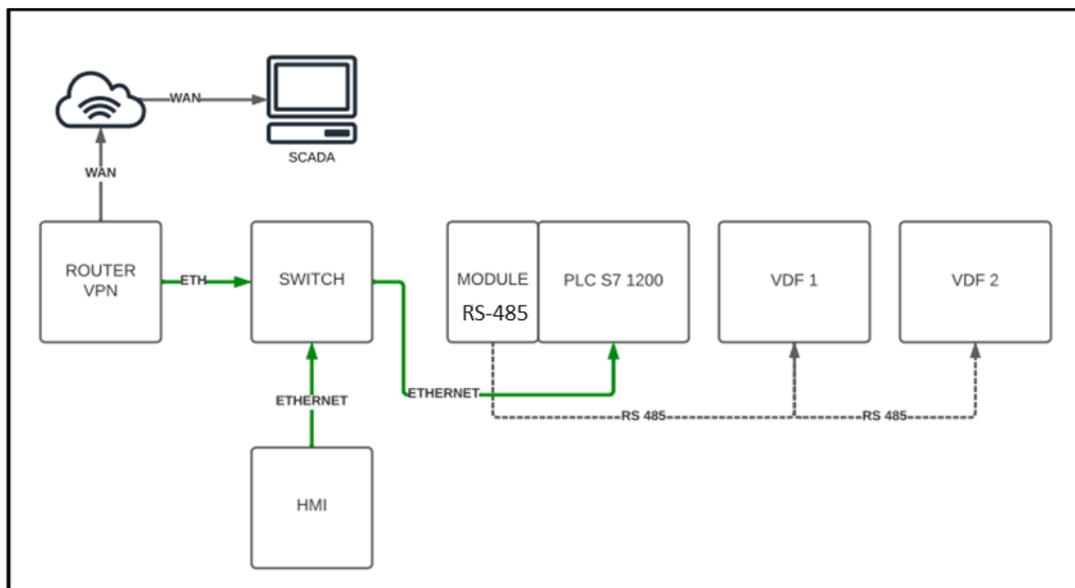
Fuente propia

- **Diagrama de comunicación**

El diagrama de comunicación está diseñado para que el PLC se comuniqué con dos variadores de frecuencia, utilizando el protocolo de comunicación Modbus RTU con una interfaz RS-485, de esta manera se tendrá el control de dos bombas de agua en la que se detalla lo siguiente: El usuario puede ordenar desde el sistema SCADA o de la pantalla HMI la activación del sistema de presión constante, en la interviene la protocolo de comunicación Ethernet para transmitir la data al PLC y este por un módulo de comunicación DB9 emplea una comunicación serial RS-485 para la activación de los variadores de frecuencia que a su vez permite la puesta en marcha de las bombas de agua. La siguiente figura 54 ilustra el diagrama de comunicación.

Figura 54

Diagrama de comunicación MODBUS RTU



Fuente propia

3.2.3. Configuración de variadores de frecuencia

La configuración de los variadores de frecuencia se realizó a través del panel de control de manera manual para dos aplicaciones diferentes: La primera, aplicación estándar en la que se parametrizó los datos de placa de características del motor, y la segunda, aplicación Modbus

en la que se parametrizó la comunicación de conexión RS-485 para el enlace hacia el programador controlador lógico (PLC).

- **LS iA5G**

Tabla 1

Parámetros en aplicación estándar

Parámetro	Descripción	Función
H93	Reset del variador	1 (habilitado)
drc	Selección de giro	F(horario)
F31	Números de polos = $(120 \times f / n)$	4
F33	Corriente nominal del motor	1.5A
H30	Potencia del motor	0.37KW
H36	Eficiencia del motor	0.96
F4	Tipo de parada del motor	0(rampa)
F21	Frecuencia máxima del motor	60HZ
F24	Activación para frecuencia límite	1
F25	Frecuencia máxima del variador	60HZ
F26	Frecuencia mínima del variador	0HZ
F30	Tipo de torque	1(cuadrático)
H20	Selección de arranque start/stop	0(activado)

Tabla 2

Parámetros en aplicación modbus

Parámetro	Descripción	Función
Frq	Definición de frecuencias	7(Comunicación RS-485)
dru	Sentido de giro	F(horario)
I 59	Selección de protocolo de comunicación	0(Modbus)
I 60	Número de variador	1
I 61	Velocidad en baudios	19200bps
I 62	Modo de accionamiento al perder el comando de frecuencia	0(operación continua)
I 65	Definición del bit de paridad/parada	2

- **ABB ACS 310**

Tabla 3

Parámetros en aplicación estándar

Parámetro	Descripción	Función
P9902	Tipo de aplicación	1(básica)
P9905	Tensión nominal del motor	220 VAC
P9906	Intensidad nominal del motor	1.5 A
P9907	Frecuencia nominal del motor	60 HZ
P9908	Velocidad nominal del motor	3600 RPM
P9909	Potencia nominal del motor	0.37 KW
P2008	Frecuencia Máxima variador	60 HZ
P2202	Aceleración	5 seg
P2203	Desaceleración	5seg

P2102	Función de paro	2(rampa)
P1805	Salida digital	7(activación)

Tabla 4

Parámetros Modbus

Parámetro	Descripción	Función
9802	Seleccionar Protocolo de Comunicación	1(Habilitación)
5302	Velocidad de transmisión	19200bps
5304	Paridad BCI	2 (Define uso de bits pares)
1001	Selección de control	10(Modbus)
1103	Selección de frecuencia	8(Modbus)
1102	Seleccionar puesta en marcha	8(Modbus)

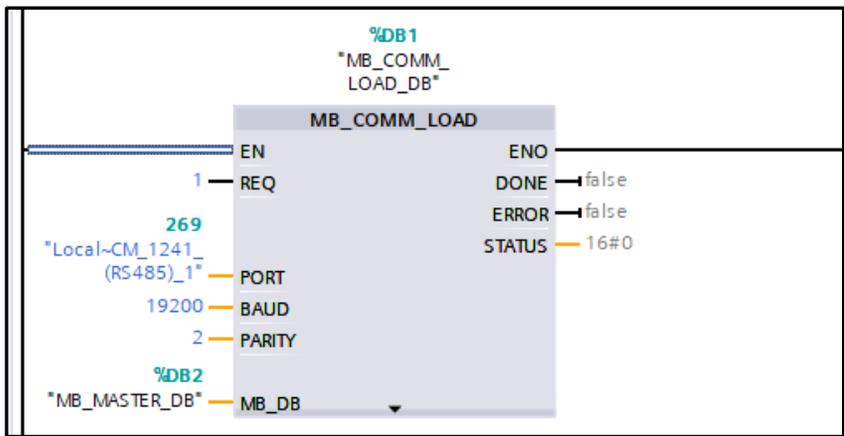
3.2.4. Comunicación Modbus del PLC y variador de frecuencia

la comunicación entre ambos dispositivos es por medio del interfaz físico RS-485, llevado a cabo el protocolo de comunicación Modbus RTU para el control y adquisición de datos. La programación del PLC S7-1200 se ejecutó utilizando el software TIA PORTAL. En este contexto, el PLC opera como maestro, emitiendo y adquiriendo datos del variador de frecuencia, que a su vez desempeña el papel de esclavo. La siguiente figura 55 muestra a continuación la programación de comunicación de ambos dispositivos en la que se detalla de la siguiente manera:

MB_COM_LOAD_DB, bloque de programación que es definido como maestro, quedando habilitado el puerto del serial del PLC S7-1200.

Figura 55

Programación del puerto serial del S7-1200

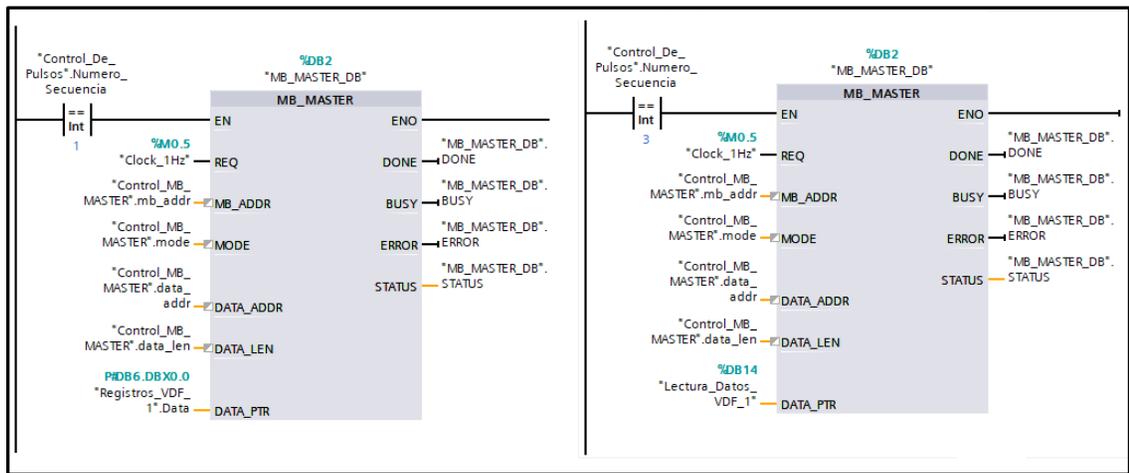


Fuente propia

La siguiente figura 56 representa la programación en modo esclavo de los variadores de frecuencia LS y ABB. Definidos por los bloques MB_MASTER_DB.

Figura 56

Programación MB_MASTER_DB como esclavos

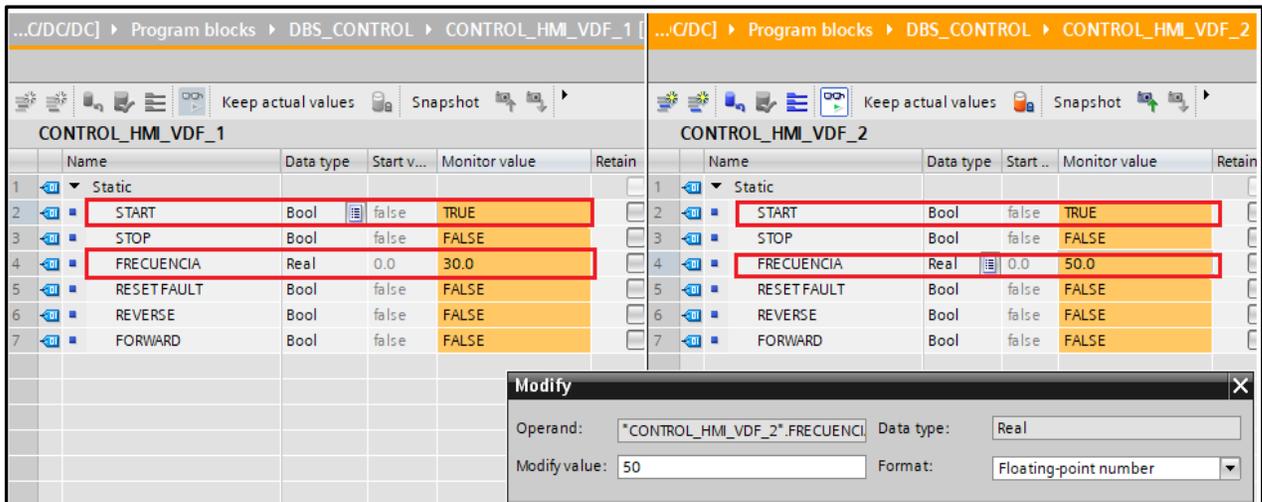


Fuente propia

La figura 57, exhibe la comunicación de PLC como maestro ejecutando órdenes de marcha y escrituras de la siguiente manera: START = TRUE, FRECUENCIA = Modify value.

Figura 57

Ejecución de ordenes editables desde el PLC



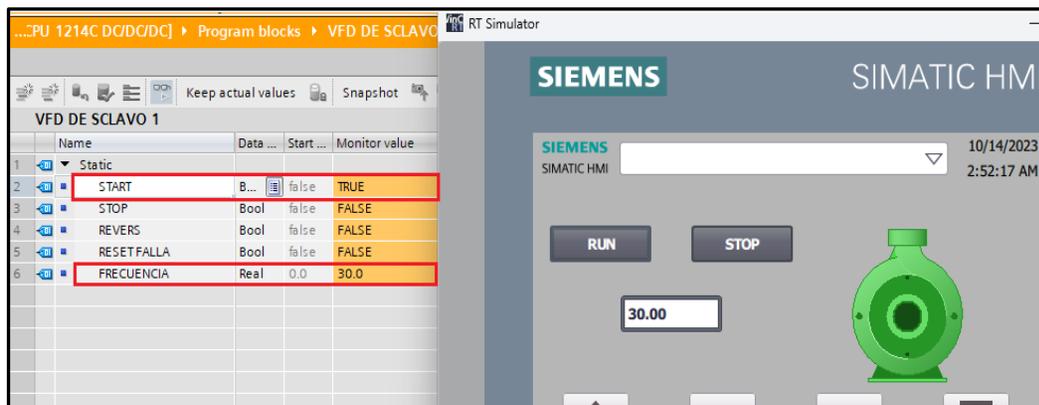
Fuente propia

3.2.4.1. Control desde la pantalla HMI

El interfaz humano maquina (HMI) permitió la interacción del usuario para el control del módulo didáctico. La siguiente figura 58 ilustra la ejecución de marcha y frecuencia de los variadores de frecuencia desde la pantalla HMI, RUN= Marcha, STOP= Parada.

Figura 58

Prueba de control desde la pantalla HMI.



Fuente propia

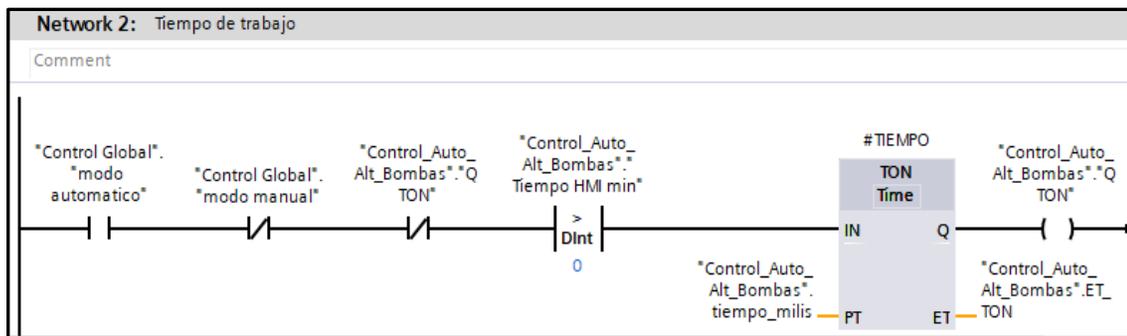
3.2.5. Sistema automático de alternancia de bombas

La automatización de alternancia de bombas muestra una mejor operatividad de acuerdo a los tiempos programados en orden secuencial. La figura 59 detalla la operatividad de la programación de la siguiente manera.

La ejecución de la lógica se desarrolla en lenguaje ladder (escalera), dando como prioridad al temporizador (TON tim), en la que asigna el tiempo de trabajo de las bombas de agua de acuerdo a las condiciones lógicas de contactos abiertos (NO) y cerrados (NC).

Figura 59

Lógica de alternancia de bombas

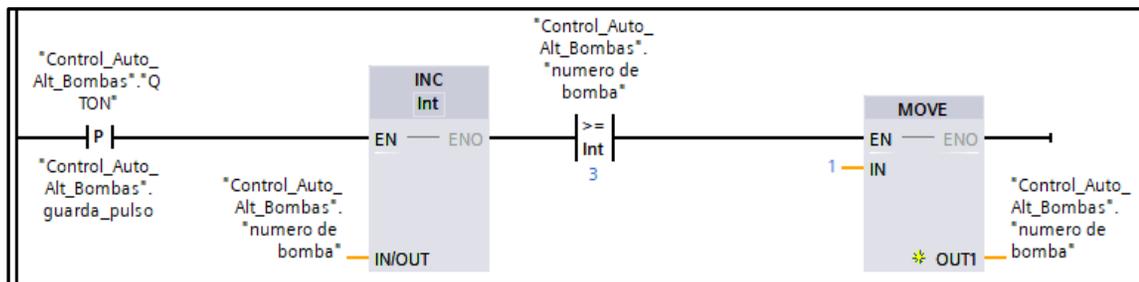


Fuente propia

La figura 60 ilustra la continuación de la programación en la que indica la activación de las bombas por medio de flacos de pulsos positivos “P” definido con el nombre de “control_auto_alt_bombas”, cada pulso emitido representa la activación de bombas ya al llegar al pulso 3 la programación se restablece en la activación de la bomba 1.

Figura 60

Activación de bombas mediante pulsos



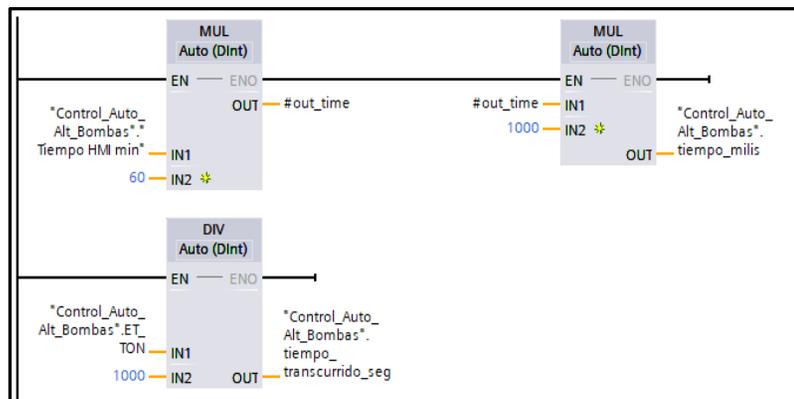
Fuente propia

3.2.5.1. Control de bombas alternadas desde HMI

El control de las bombas es ejecutado desde la pantalla HMI. La figura 61 ilustra las operaciones matemáticas de multiplicación (MUL) y división (DIV) para la conversión de números decimales a valores enteros.

Figura 61

Operadores matemáticos para la conversión de decimales a enteros

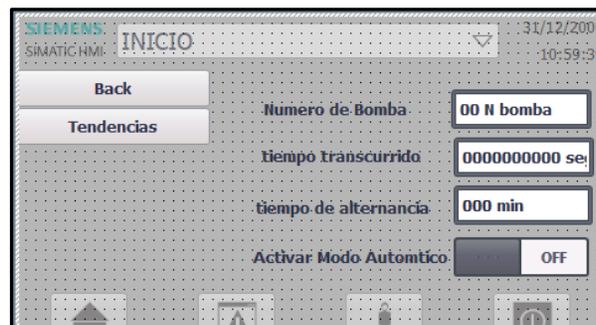


Fuente propia

La figura 62 define los comandos de funcionamiento del sistema, se detalla lo siguiente: Numero de bomba (introducir que número de bomba funcione), tiempo transcurrido (indica el tiempo que va operando), tiempo de alternancia (introducir el tiempo), activar modo automático (activa o desactiva).

Figura 62

Presentación del modo automático



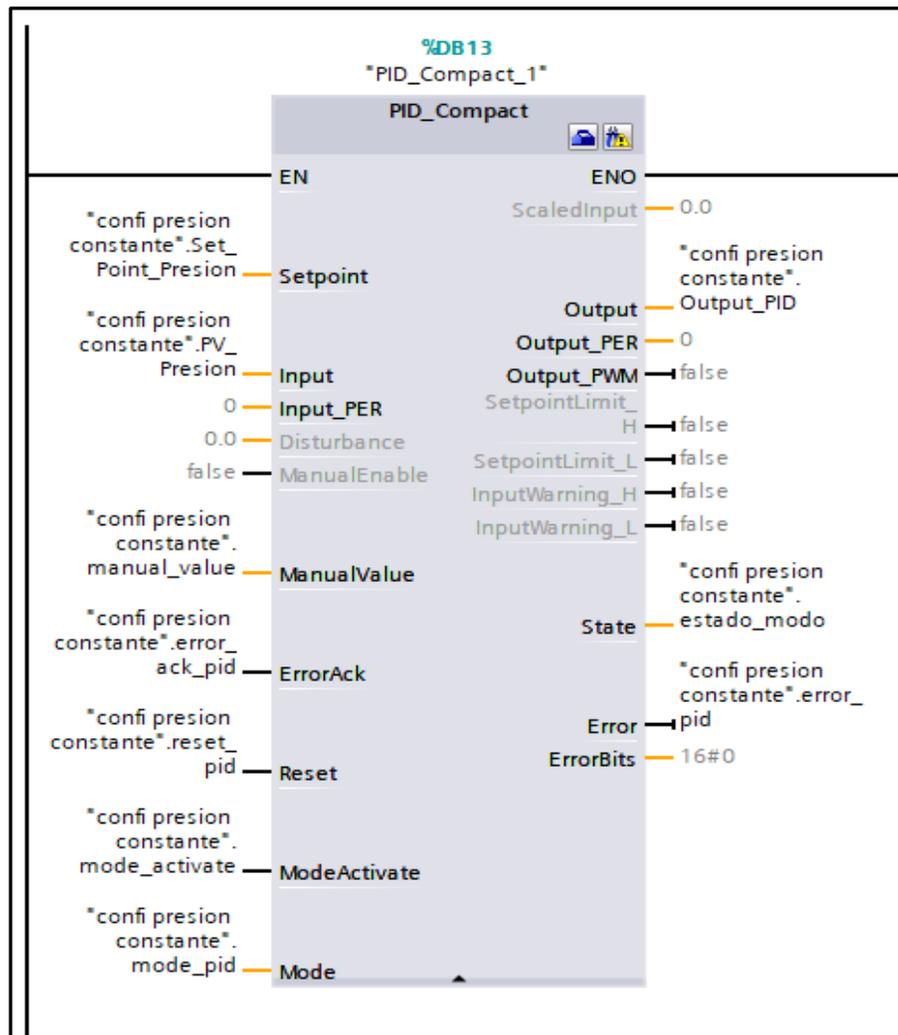
Fuente propia

3.2.6. Sistema PID

La programación PID ayuda a tener el sistema automatizado con la variable del sensor de campo. La figura 63 desarrollo la definición de parámetros para su uso optimo, destacando las siguientes variables para un mejor proceso: Setpoint (introducir la presión deseada), input (ingreso directo de la presión real de campo), output (opera la frecuencia de acuerdo a la presión), manual value (introducir la frecuencia a gusto si no hay sensor).

Figura 63

Bloque de programación PID



Fuente propia

3.2.6.1. Control PID desde HMI

El transmisor de presión convierte la magnitud física de unidades de presión a señal eléctrica análoga de 4 mA – 20 mA, esa señal será transformada en voltaje de 2VDC a 10VDC por una resistencia de 500ohm colocada en paralelo a la entrada analógica del PLC y el común negativo del PLC, por el método de la ley de Ohm, se reemplaza la ecuación:

$$1) V = I \times R = 4mA \times 500ohm = 2VDC$$

$$2) V = I \times R = 20mA \times 500ohm = 10VDC$$

Rango de presión del transmisor: 0 – 40 PSI. Ahora las unidades de presión lo representamos en unidades de voltaje y valores límites del PLC se relacionan de la siguiente forma:

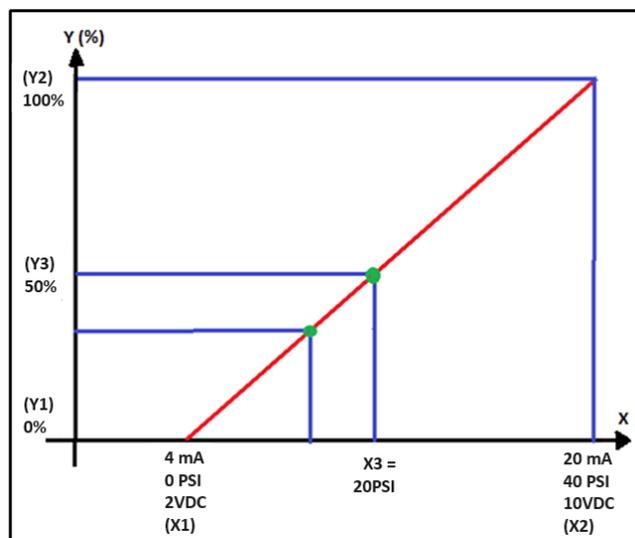
$$1) 0 \text{ PSI} = 2VDC = 5530$$

$$2) 40 \text{ PSI} = 10VDC = 27648$$

EL escalamiento de señal análoga para convertir en porcentaje, utilizando la ecuación de la recta $Y = mx + b$, $b = 0$. En la figura 64 se representa en un plano cartesiano la conversión de presión a señal análoga.

Figura 64

Escalamiento de señal análoga del transmisor

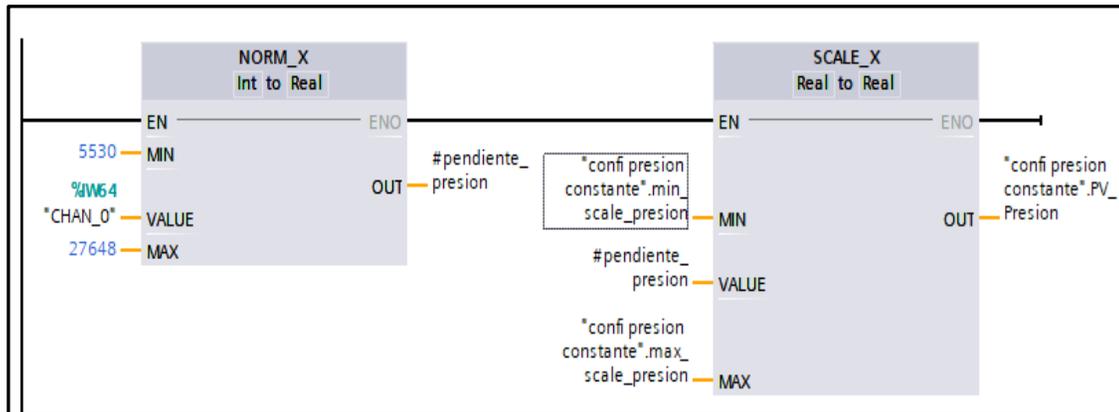


Fuente propia

En la figura 65 representa los bloques de escalamiento NORM_X y SCALE_X del PLC, ya haber tenido interpretado el escalamiento desde el transmisor de presión, se introduce en valores limites enteros de 5530 (2VDC) y 27648 (10VDC).

Figura 65

Escalamiento de señal análoga en el PLC

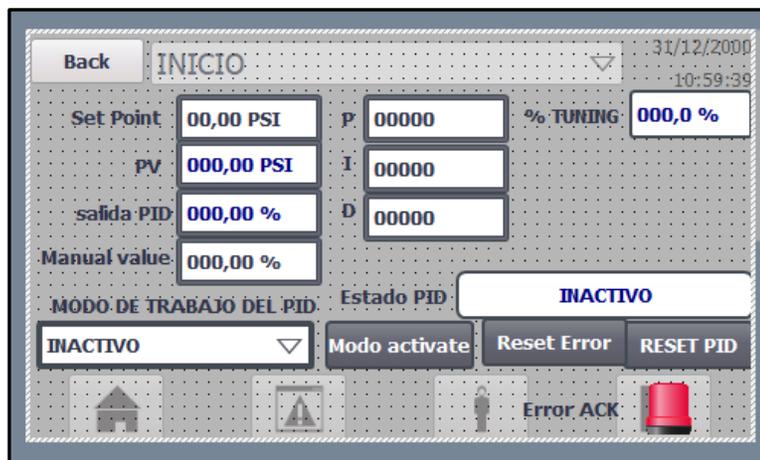


Fuente propia

La figura 66 ilustra los parámetros de control del sistema de la siguiente manera: setpoint (introducción de la presión deseada), PV (variable del proceso real), salida PID (muestra la frecuencia de salida de acuerdo a la presión), P (ganancia proporcional), I (tiempo integral), D (tiempo derivativo). La activación del sistema se ejecuta por modo de trabajo del PID (automático). Si se en caso no hay transmisor de presión el usuario puede modificar el modo de trabajo del PID (manual), utilizando el manual value introduce la frecuencia en relación a porcentaje.

Figura 66

Presentación de control PID del HMI



Fuente propia

3.2.7. Implementación del módulo didáctico

Montaje de la bomba centrífuga e instalación sanitaria

- **Montaje de bomba periférica**

En la siguiente figura 67 y 68 muestra el montaje y acoplamiento de tuberías dentro de la estructura metálica.

Figura 67

Acoplamiento de tuberías PVC para la bomba de agua



Fuente propia

Figura 68

Montaje de la bomba de agua en la estructura metálica



Fuente propia

- **Instalación sanitaria de la estructura metálica**

En la siguiente figura 69, 70, 71 muestra la instalación sanitaria de tuberías PVC, tanque hidroneumático, transmisor de presión, manómetro.

Figura 69

Instalación sanitaria de vista frontal



Fuente propia

Figura 70

Instalación sanitaria de vista posterior



Fuente propia

Figura 71

Instalación sanitaria de vista diagonal



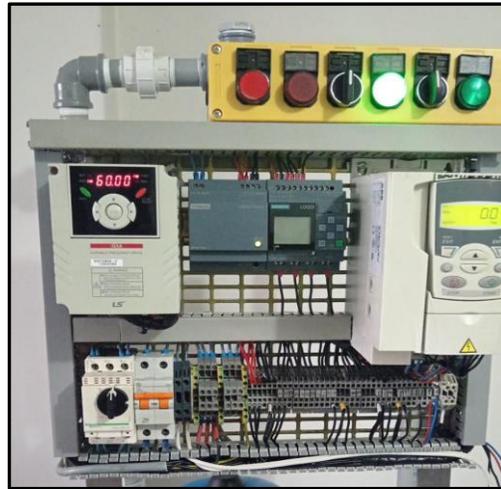
Fuente propia

- Instalación del módulo eléctrico de control

La figura 72 ilustra los siguientes componentes: Guardamotor, disyuntor monofásico, caja de botonera amarilla y variadores de frecuencia LS, ABB

Figura 72

Módulo eléctrico del sistema



Fuente propia

La figura 73 ilustra los componentes en un módulo adicional: PLC, HMI, router VPN.

Figura 73

Módulo adicional



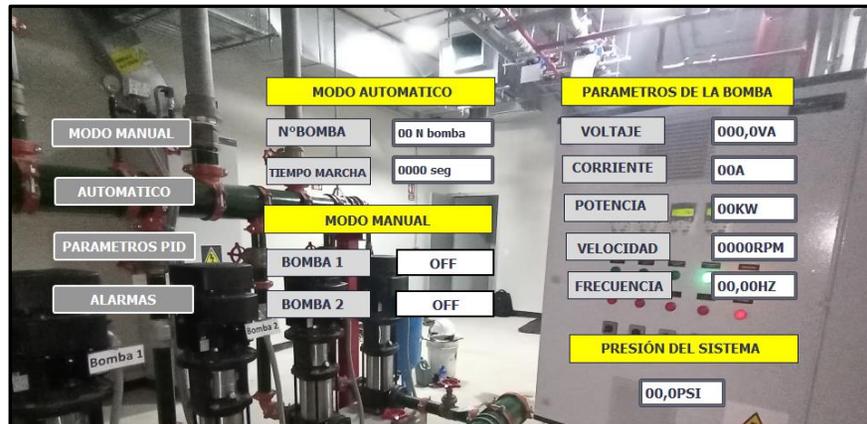
Fuente propia

3.2.8. Aplicación del sistema SCADA

En la siguiente figura 74 ilustra los parámetros del control y supervisión del sistema de presión constante.

Figura 74

Pantalla de inicio del sistema SCADA



Fuente propia

En la siguiente 75 indica los equipos de la implementación del módulo didáctico de presión constante.

Figura 75

Módulo didáctico de presión contante a sistema SCADA



Fuente propia

IV. RESULTADOS

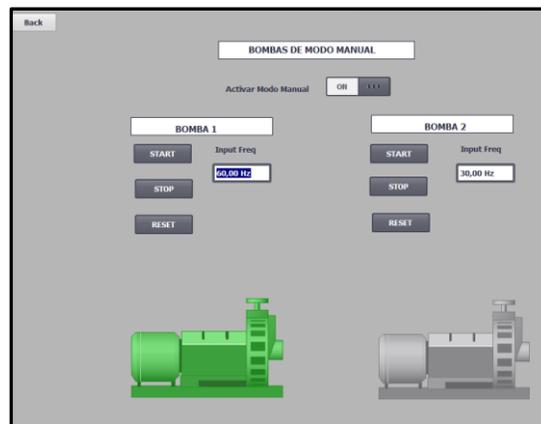
Pruebas desarrolladas de la bomba de agua del sistema, obtenido lo siguiente:

- **Bomba de servicio**

Figura 76 ilustra la activación del variador de frecuencia LS, que posibilita el funcionamiento de la bomba, fue llevada a cabo desde el sistema SCADA.

Figura 76

Puesta en marcha desde SCADA

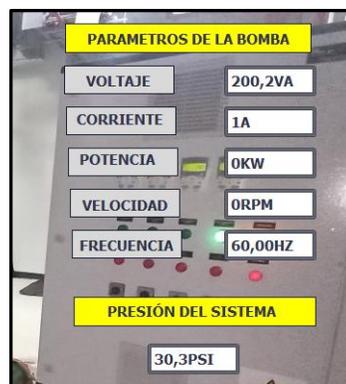


Fuente propia

La figura 77 ilustra los datos de la bomba a escala real de la puesta en marcha como: Voltaje, corriente, potencia, frecuencia, velocidad y presión del sistema.

Figura 77

Registros de valores de la bomba de agua.



Fuente propia

Tabla 5

Valores del motor registrados por Modbus.

Item	Descripción	Valor
1	Voltaje	202.2VAC
2	Corriente	1A
3	Frecuencia	60HZ
4	Potencia	0KW
5	Velocidad	3600rpm
6	Presión	30PSI

La figura 78 muestra la supervisión del panel del variador de frecuencia los siguientes valores según el orden de izquierda a derecha: Voltaje, potencia, velocidad nominal.

Figura 78

Registro de valores del motor en marcha



Fuente propia

La figura 79 ilustra la presión del sistema a 30PSI, a una frecuencia de 60HZ.

Figura 79

Presión del sistema de acuerdo a la frecuencia



Fuente propia

La siguiente figura 80 ilustra la ejecución de mediciones de corriente y voltaje a plena carga en el módulo didáctico. Se registró los siguientes valores: Corriente: 1A, voltaje: 233VAC.

Figura 80

Medición de corriente y voltaje



Fuente propia.

Tabla 6

Valores registrados desde el panel del variador

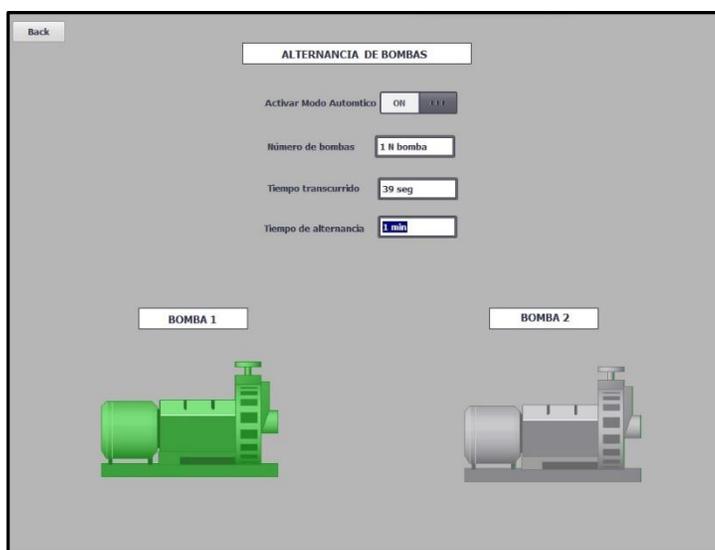
Item	Descripción	Valor
1	Voltaje	220.2VAC
2	Corriente	1A
3	Frecuencia	60HZ
4	Potencia	0KW
5	velocidad	3600rpm
6	presión	30PSI

- **Puesta en marcha del sistema automático**

La figura 81 muestra la ventana de alternancia de bombas en modo automático, el usuario tiene la facultad de configurar el tiempo de alternancia y que número de bomba entra en servicio.

Figura 81

Ventana de alternancia de bombas

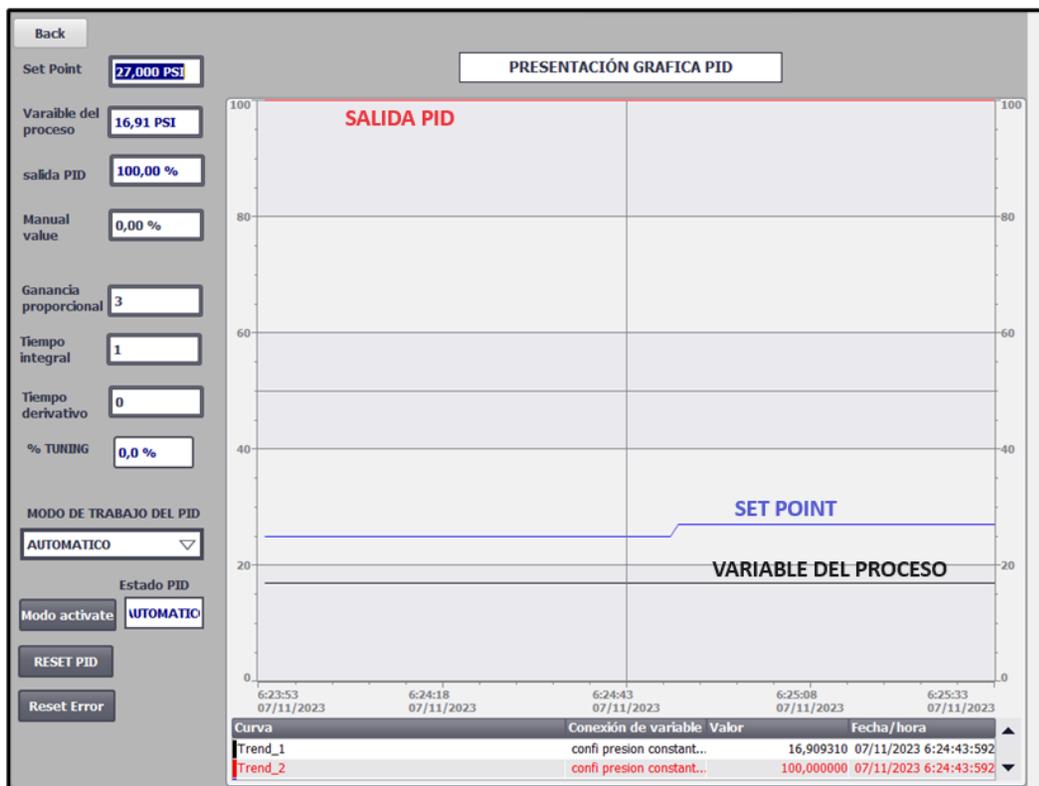


Fuente propia

El sistema automático es llevado a cabo cuando este habilitado el transmisor de presión para que el variador de frecuencia opere de acuerdo a la señal del transmisor, se definió parámetros editables en sistema PID. La siguiente figura 82 ilustra la ventana de parámetros PID, su proceso empieza desde la selección de “modo de trabajo de PID” y la activación del “modo activado”, las curvas de operación varían de acuerdo a la P (ganancia proporcional), I (tiempo integral), D (Tiempo derivativo) representados en la gráfica. la línea roja muestra la señal de salida PID, línea azul muestra el set point, línea negra muestra el variable del proceso.

Figura 82

Parámetros PID



Fuente propia

- **Pruebas de sintonización PID.**

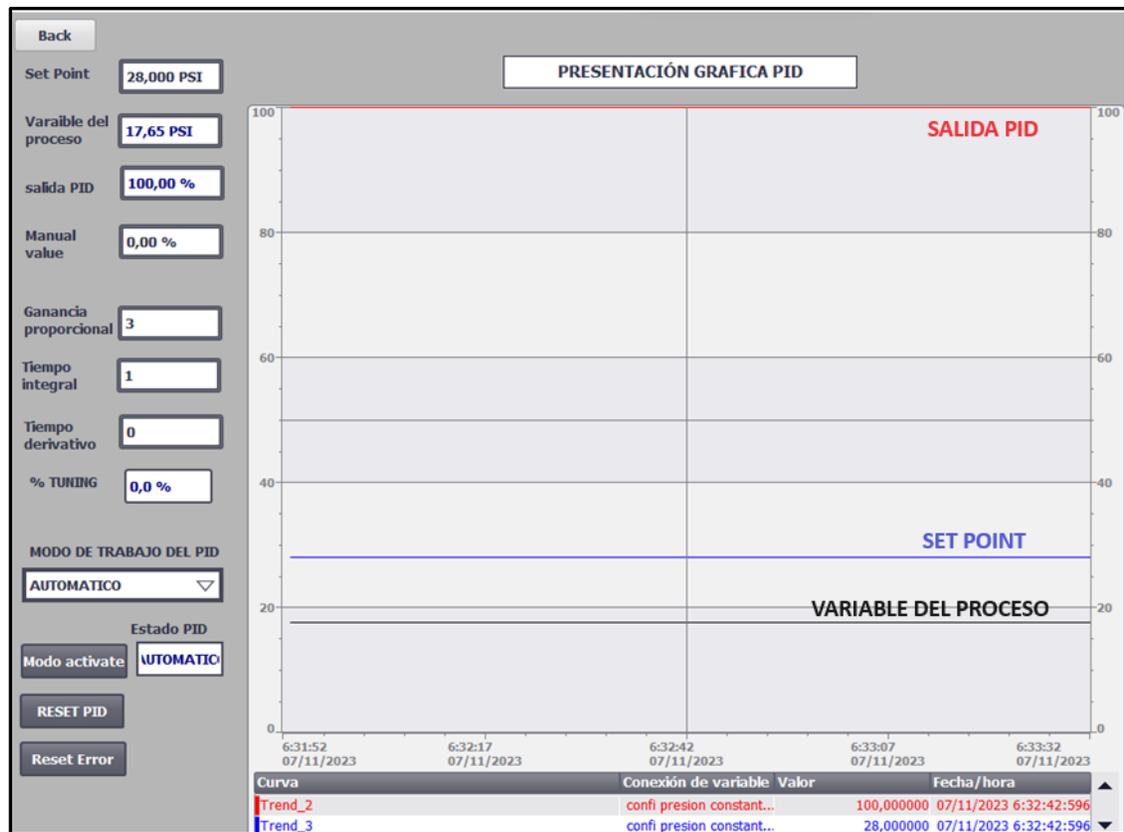
Se ejecutó las siguientes pruebas para una mejor eficiencia de presión del sistema.

Set point= 28 PSI, KP= 3, Ti= 1, Td= 0.

La figura 83 ilustra la presión deseada en el set point= 28 PSI, de manera inmediata la variable del proceso muestra la presión real en 17.65 PSI y se introdujeron los valores de ganancia proporcional= 3, tiempo integral= 1, tiempo derivativo= 0, la salida PID= 100%(60HZ) muestra la frecuencia de operación representada en porcentaje.

Figura 83

Grafica inicial del proceso

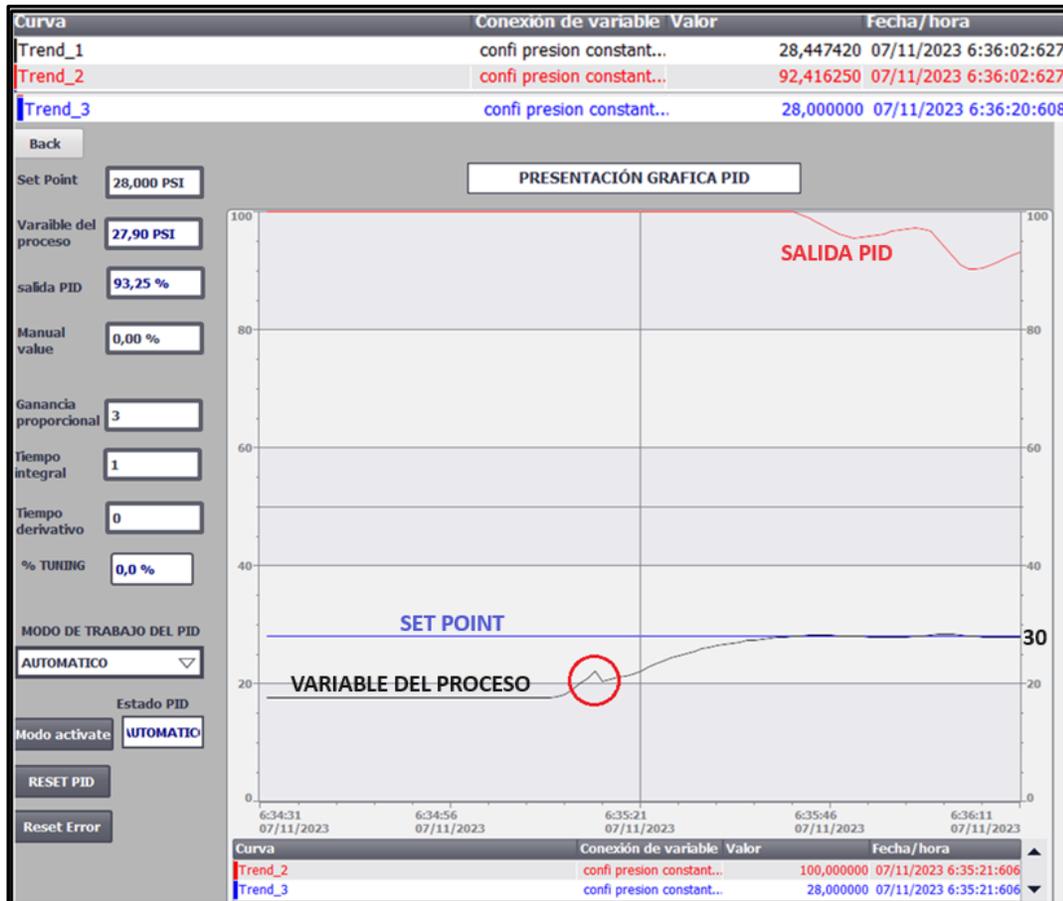


Fuente propia

La Figura 84 representa la variable del proceso al alcanzar la presión deseada de 28 PSI a una salida PID 93.25% (55.95 HZ), mostrando un pico de presión en la inicialización de la curva de la variable de proceso.

Figura 84

Curva de la variable de proceso a 27.90PSI



Fuente propia

La siguiente figura 85 ilustra la presión de 28 PSI registrada en el SCADA, esta es comparada con la presión del transmisor de presión (25.32PSI) y salida PID (55.41HZ).

Figura 85

Presión y frecuencia del sistema



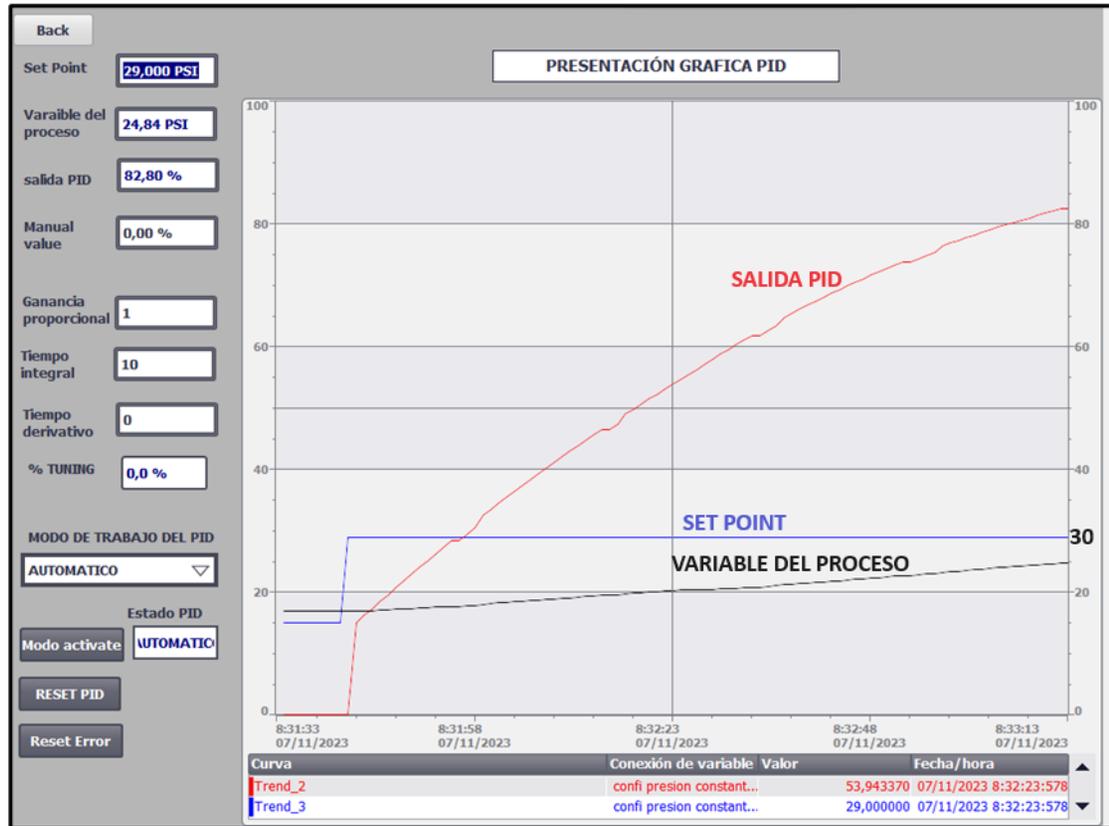
Fuente

Set point: 29PSI, P= 1, I= 10, D= 0

La Figura 86 representa la presión objetivo establecida en el punto de ajuste de 29 PSI. La variable del proceso inicial indica una presión real de 24.84 PSI, mientras que se ingresaron los parámetros de ganancia proporcional (P) = 1, tiempo integral (T_i) = 10, y tiempo derivativo (T_d) = 0 al sistema PID. La salida del controlador PID es del 82.80% (49.68 Hz), reflejando la frecuencia de operación expresada en porcentaje.

Figura 86

Proceso de la curva de presión

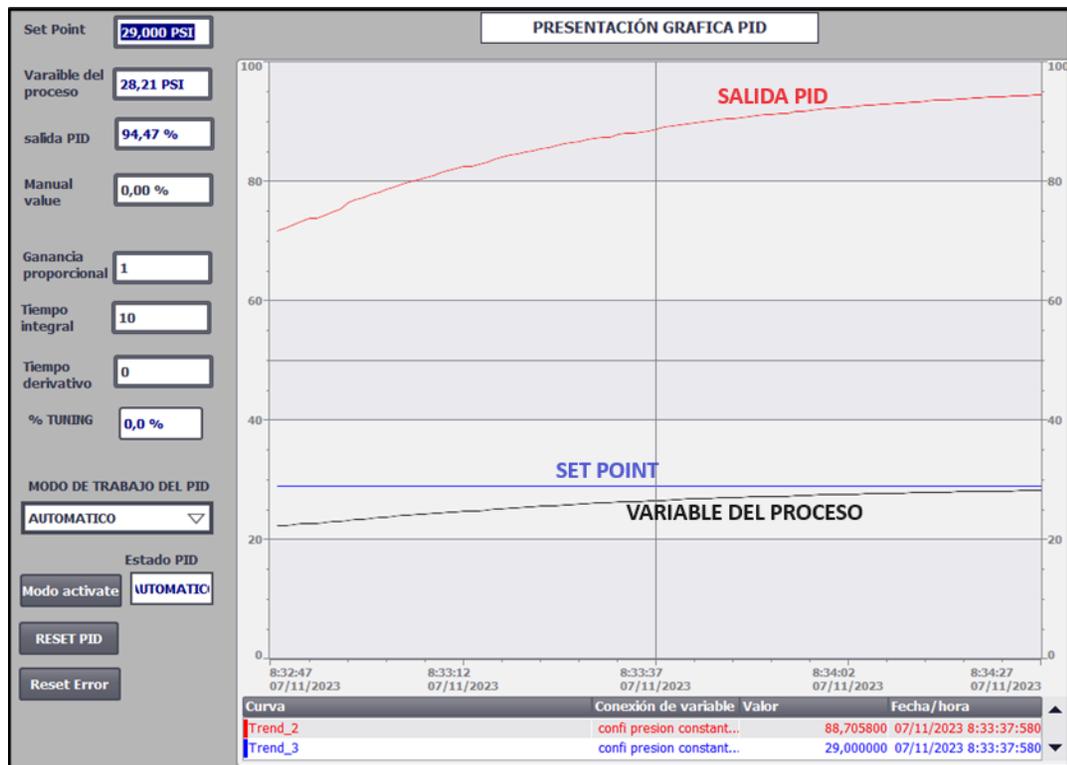


Fuente propia

La Figura 87 muestra cómo la variable real del proceso aumenta gradualmente de 28.24 PSI para alcanzar la presión deseada de 29 PSI. En comparación con la Figura 84, que tenía los parámetros de $K_p = 3$ y $T_i = 1$ presentaba una respuesta más inmediata en ese contexto. La curva en esta gráfica se desplaza de manera más extensa, indicando un mayor tiempo para llegar al objetivo de presión deseada a una salida PID de 94.47% (56.82 HZ).

Figura 87

Curva de la variable de proceso a 28.12 PSI

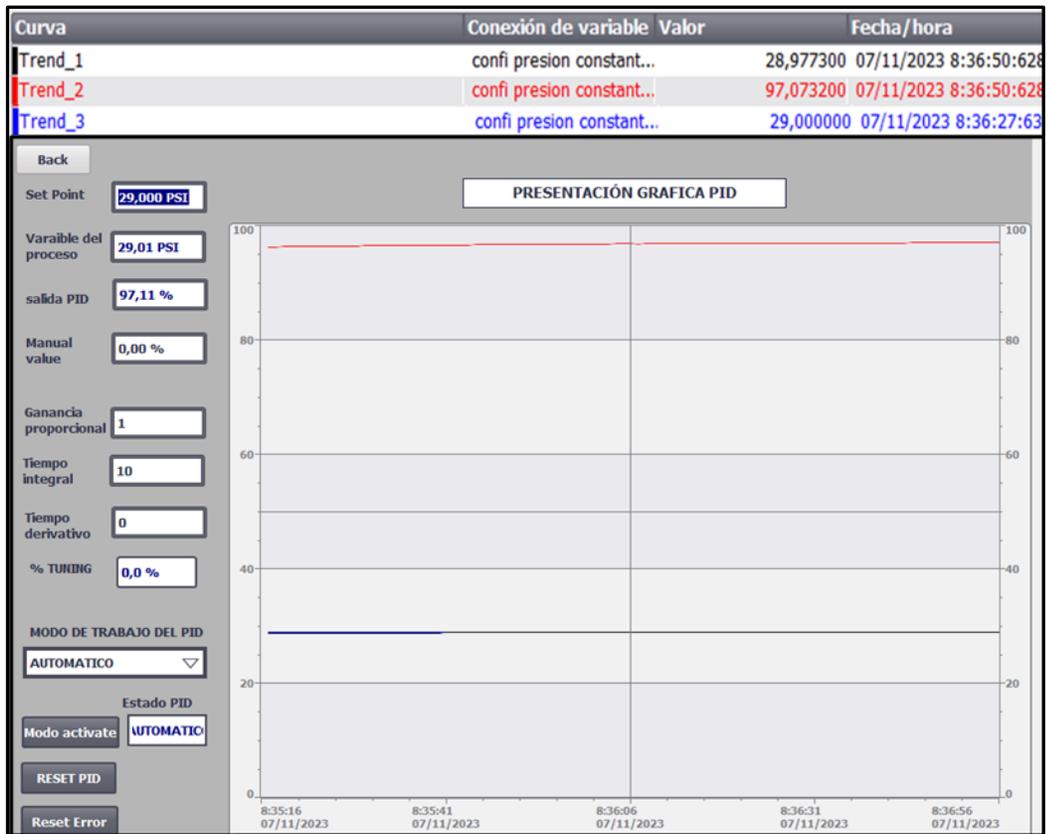


Fuente propia

La Figura 88 ilustra cómo la variable real del proceso ha alcanzado su objetivo con una presión de 29.01 PSI, cumpliendo así con la presión deseada de 29 PSI. Se representaron los siguientes parámetros mediante curvas de colores: Tren 1, que corresponde a la variable de proceso 29.01 PSI, se muestra en color negro; Tren 2, que representa la salida PID 97.11% (58.27HZ), se visualiza en color rojo; y Tren 3, que refleja el set point 29 PSI, se representa en color azul.

Figura 88

Curva de la variable del proceso a 29.01 PSI



Fuente propia

Figura 89

La presión de 29.01PSI registrada en el SCADA es comparada con la presión del transmisor de presión (27.49PSI) y salida PID (58.27HZ)



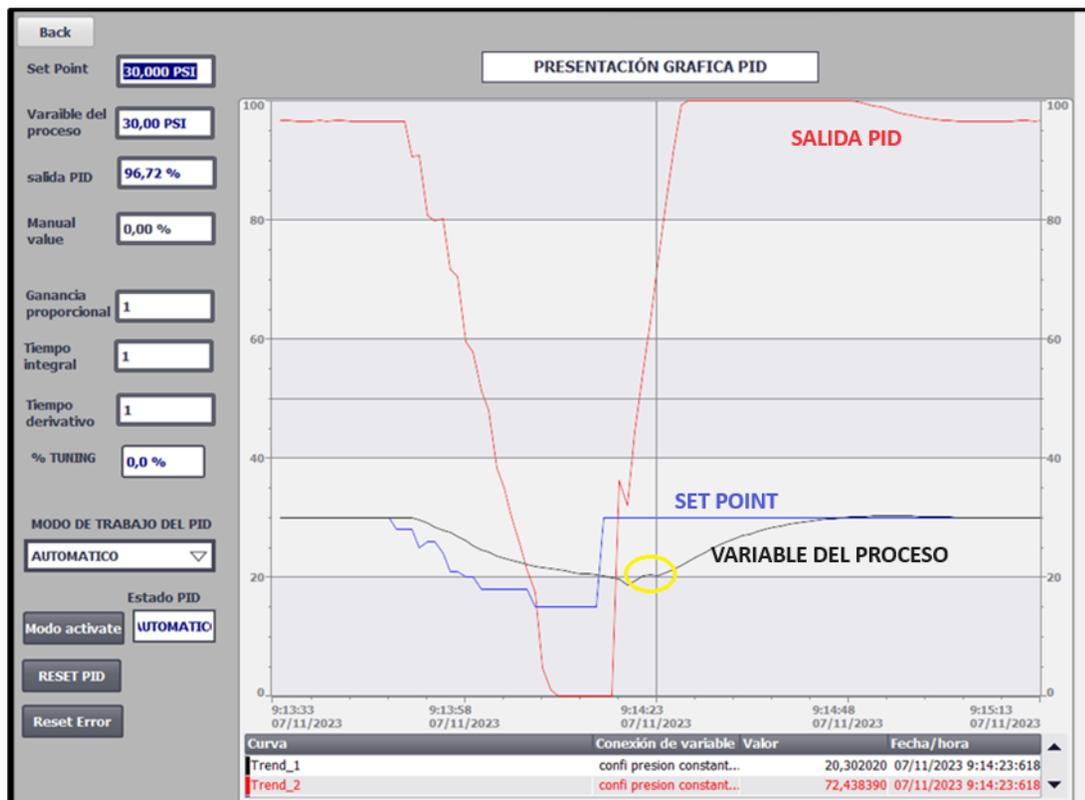
Fuente propia

Set point. 30PSI, KP= 1, Ti= 1, Td= 1

La Figura 90 destaca la reducción del sobre impulso en el inicio de la variable del proceso, resaltada con un círculo amarillo en comparación con las figuras previas obtenidas en los procesos anteriores. Esta mejora fue el resultado de la incorporación del tiempo integral en el controlador ($T_d = 1$). Los parámetros registrados incluyen set point de 30 PSI, una variable del proceso de 30 PSI y una salida PID del 96.72% (58.03Hz).

Figura 90

Reducción de sobre impulso en la curva de proceso



Fuente propia

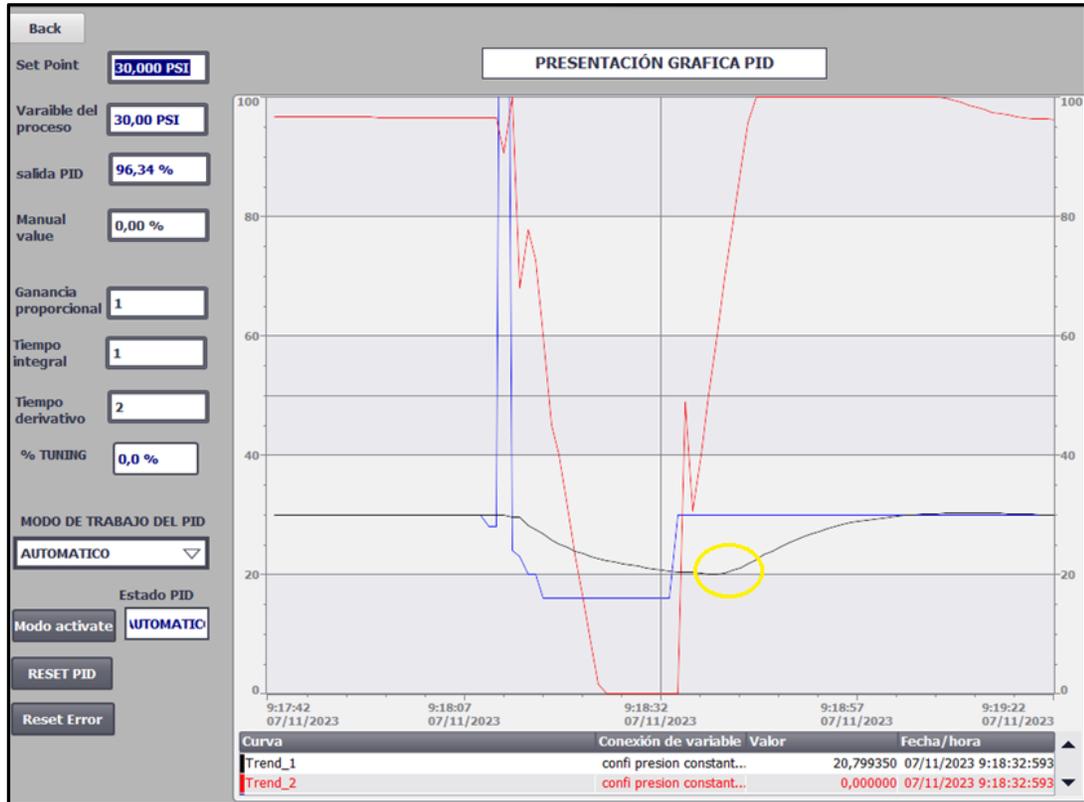
Set point. 30PSI, KP= 1, Ti= 1, Td= 2

La Figura 91 ilustra una mejora significativa en la reducción del sobre impulso al inicio de la variable del proceso, en comparación con la Figura 90. Esta mejora fue el resultado de la incorporación del tiempo integral en el controlador ($K_D = 2$). Los parámetros

registrados incluyen set point de 30 PSI, una variable del proceso de 30 PSI y una salida PID del 96.34% (58.80Hz).

Figura 91

Mejora significativa en la reducción del sobre impulso en la curva de proceso



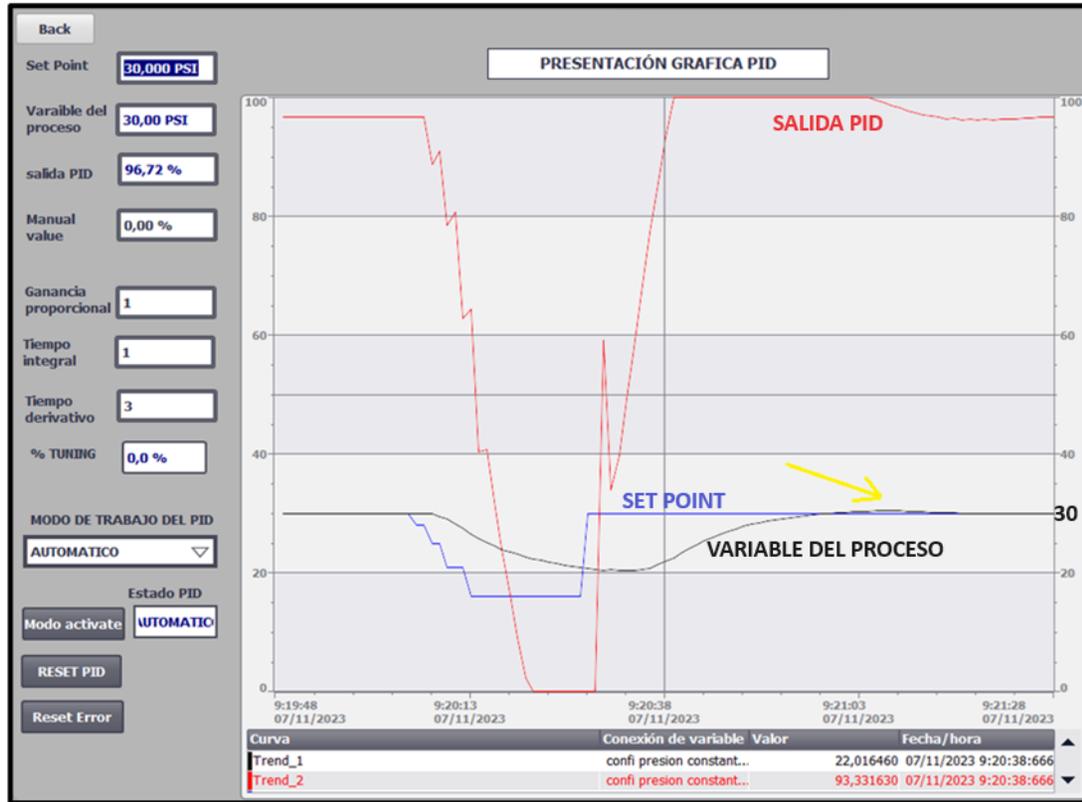
Fuente propia

Set point. 30PSI, Kp= 1, Ti= 1, Td= 3

La Figura 92 ilustra el inicio de la variable del proceso sin sobre impulso a diferencia de la figura 90, se presentó un minúsculo sobre impulso en la presión deseada como en las demás graficas anteriores. El resultado de la incorporación del tiempo integral en el controlador ($KD = 3$). Los parámetros registrados incluyen set point de 30 PSI, una variable del proceso de 30 PSI y una salida PID del 96.72% (58.03Hz).

Figura 92

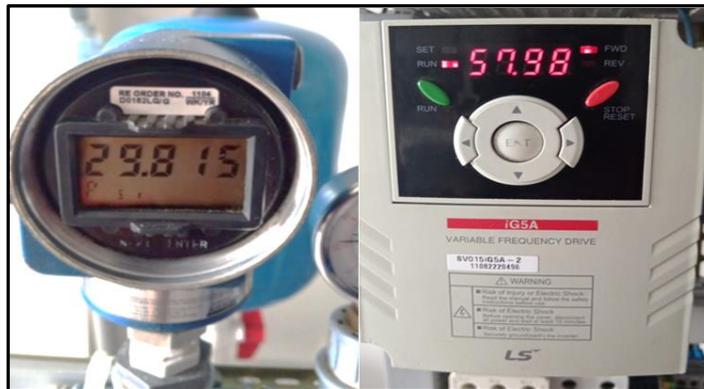
Curva de la variable del proceso sin sobre impulso desde el inicio



Fuente propia

Figura 93

La presión de 29.81PSI registrada en el SCADA es comparada con la presión del transmisor de presión (29.81PSI) y salida PID (57.98HZ).



Fuente propia

Tabla 7*Registro obtenido de la sintonización de parámetros PID*

Ítem	Set point	Kp	Ki	Kd	Salida PID	Salida PID variador	Variable del proceso	Presión registrada por el transmisor
1	28 PSI	3	1	0	55.95 HZ	55.41 HZ	27.90 PSI	25.32 PSI
2	29 PSI	1	1	0	58.27 HZ	58.27 HZ	29.01 PSI	27.49 PSI
3	30 PSI	1	1	1	58.03 HZ	57.98 HZ	30 PSI	29.81 PSI
4	30 PSI	1	1	2	58.03 HZ	57.98 HZ	30 PSI	29.81 PSI
5	30 PSI	1	1	3	58.03 HZ	57.98 HZ	30 PSI	29.81 PSI

- **Comparación matemática del proceso PID**

Los parámetros PID del bloque PID compact del PLC se ejecutaron de manera manual como la ganancia proporcional (P), tiempo integral(I), tiempo derivativo (I).

Debido a eso se desarrolló la sintonización PID por el primer método de Ziegler-Nichols utilizando el modelo matemático del PLC SIEMENS referida en las bases teóricas.

$$y = Kp[(b * w - x) + \frac{1}{Ti * s}(w - x) + \frac{Td * s}{a * Td * s + 1}(c * w - x)]$$

- ❖ Y: Salida del algoritmo PID
- ❖ Kp: Ganancia proporcional
- ❖ Ti: Tiempo de integración
- ❖ Td: Tiempo derivativo
- ❖ b: Ponderación de la acción P
- ❖ w: Set point

- ❖ x: variable del proceso
- ❖ a: Coeficiente de retardo de la acción derivada $T1= a * Td$
- ❖ c: Ponderación de la acción D

El PLC asigna valores de 0 o 1 a las ponderaciones de la acción proporcional (b) y la acción derivativa (c). Al simplificar la ecuación, se define el error como $e(t)$, y se obtiene la ecuación general.

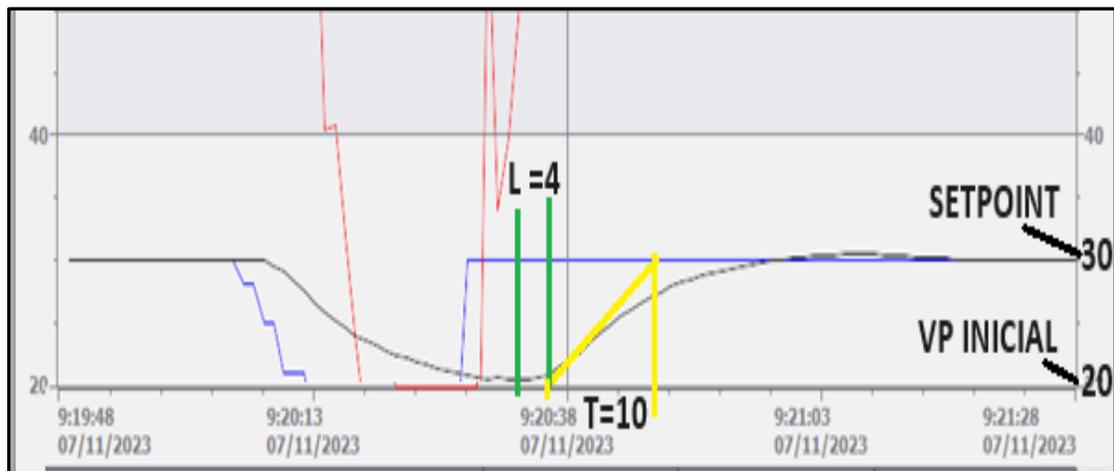
- ❖ $e(t) = (b * w - x)$, error

$$u(t) = (Kp)e(t) + Ki \int_0^t e(t)dt + Kd \frac{d}{dt} e(t)$$

Se implementó el primer método de Ziegler-Nichols, tomando como referencia la gráfica 94, ya que la curva del proceso se representa gráficamente en forma de "S", se obtiene retardo del proceso ($L= 4$), constante de tiempo en el sistema ($T= 10$), recalando que la curva de la gráfica se introdujeron los valores de $Kp= 1$, $Ti= 1$, $Td=3$. En la siguiente figura ilustra la obtención de datos.

Figura 94

Obtención de L y T

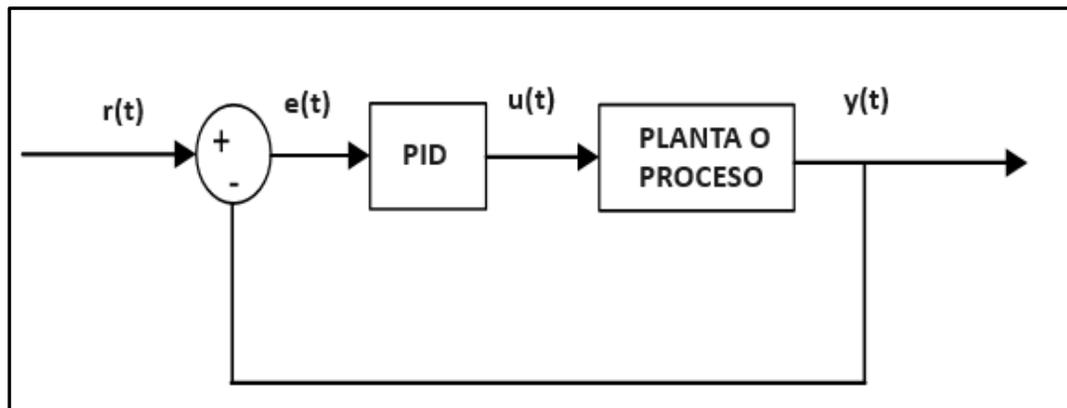


Fuente propia

En la figura 95 se presenta el diagrama de bloques con sus respectivas variables a controlar

Figura 95

Diagrama de bloques PID



Fuente obtenida (Ogata, 2010)

Para la obtención los siguientes valores como ganancia proporcional (K_p), tiempo integral (T_i) y tiempo derivativo (T_d) se toma como referencia la tabla 8 de Ziegler-Nichols que presenta las siguientes fórmulas en el cuadro PID.

Tabla 8

Fórmulas para la sintonización

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{KL}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{KL}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{KL}$	2 L	0.5L

$K= 30$, es el valor actual de la presión, $L= 4$, $T=10$ son los datos se muestran en la figura 94, de acuerdo a ese dato se ejecuta las fórmulas de la tabla 8 para la siguiente obtención de K_p , T_i , T_d .

$$K_p = 1.2 \frac{10}{(30)(4)} = 0.1$$

$$T_i = 2(4) = 8$$

$$T_d = 0.5(4) = 2$$

Con los valores ya obtenidos se desarrolló la ecuación de la transferencia para el $G_c(S)$ (controlador PID) y $G_p(S)$ (proceso) aplicando la transformada de Laplace.

$$1) G_c(S) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i S} + T_d S \right)$$

$$G_c(S) = 1.2 \frac{T}{L} \left(1 + \frac{1}{2LS} + 0.5LS \right) = 0.6T \frac{(S + 1/L)^2}{S}$$

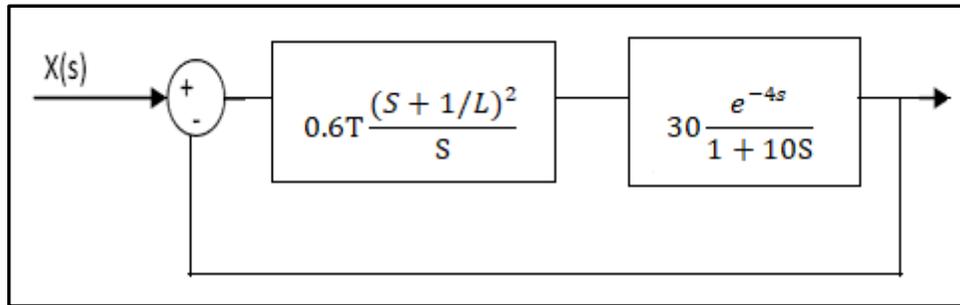
$$2) G_p(S) = K \frac{e^{-Ls}}{1 + 10S}$$

$$G_p(S) = 30 \frac{e^{-4s}}{1 + 10S}$$

En la siguiente figura 96 se representa el diagrama de bloques de la ecuación de transferencia.

Figura 96

Diagrama de bloques del controlador PID y proceso



Fuente propia

Figura 97 representa la introducción de ecuación de la transferencia del controlador PID y proceso en MATLAB.

Figura 97

MATLAB

```

prueba .m x +
/MATLAB Drive/prueba .m
4
5 %Datos
6 k = 3; %Vf=30 A=10 k=Vf/A
7 T = 10;
8 L = 4;
9 %Kp=0.1;
10 %Ki=8;
11 %Kd=2;
12
13 s=tf('s')
14
15 %Función de transferencia de tu proceso
16 Gp = k/((T*s+1));
17
18 %Función de transferencia de tu controlador
19 Gc = 0.6*T*(((s+(1/L))^2)/s);
20
21 %Función de transferencia del sistema
22 A=Gp*Gc
23
24 %Función de transferencia
25
26 G = 1/(((A)^-1)+1)
27

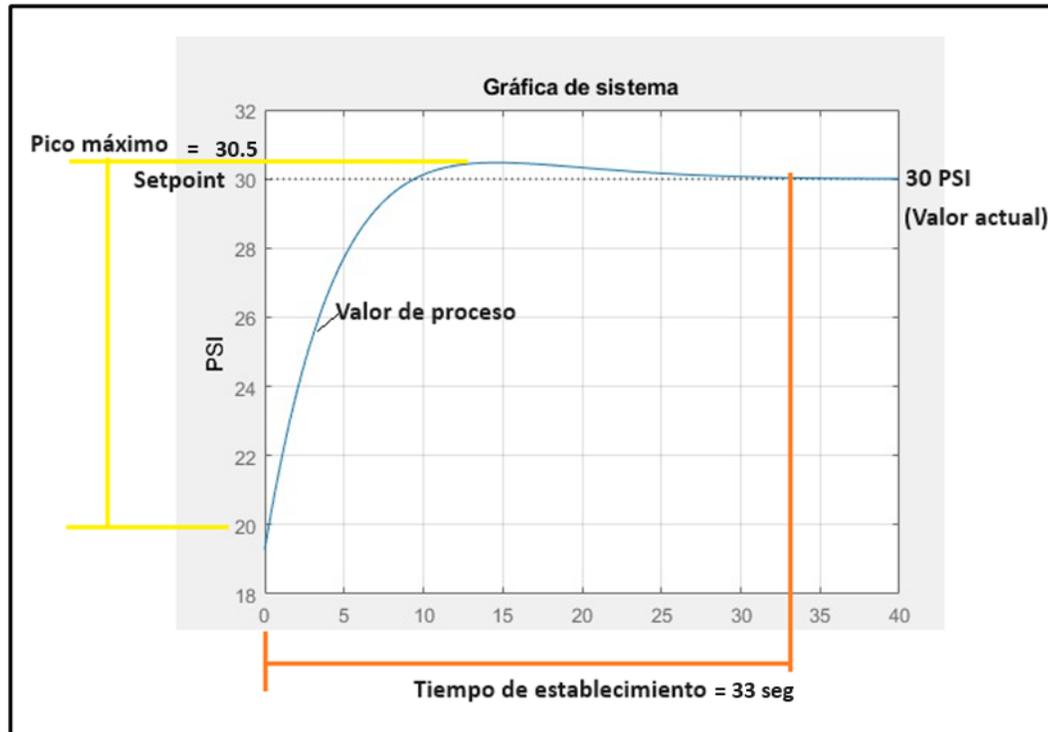
```

Fuente propia

En la siguiente figura 98 ilustra la curva de proceso según la ecuación de transferencia obtenida por MATLAB, Se detalla lo siguiente: Pico máximo= 30.5 PSI, tiempo de respuesta= 33segundos, valor de proceso real= 30 PSI.

Figura 98

Gráfica del proceso de la presión

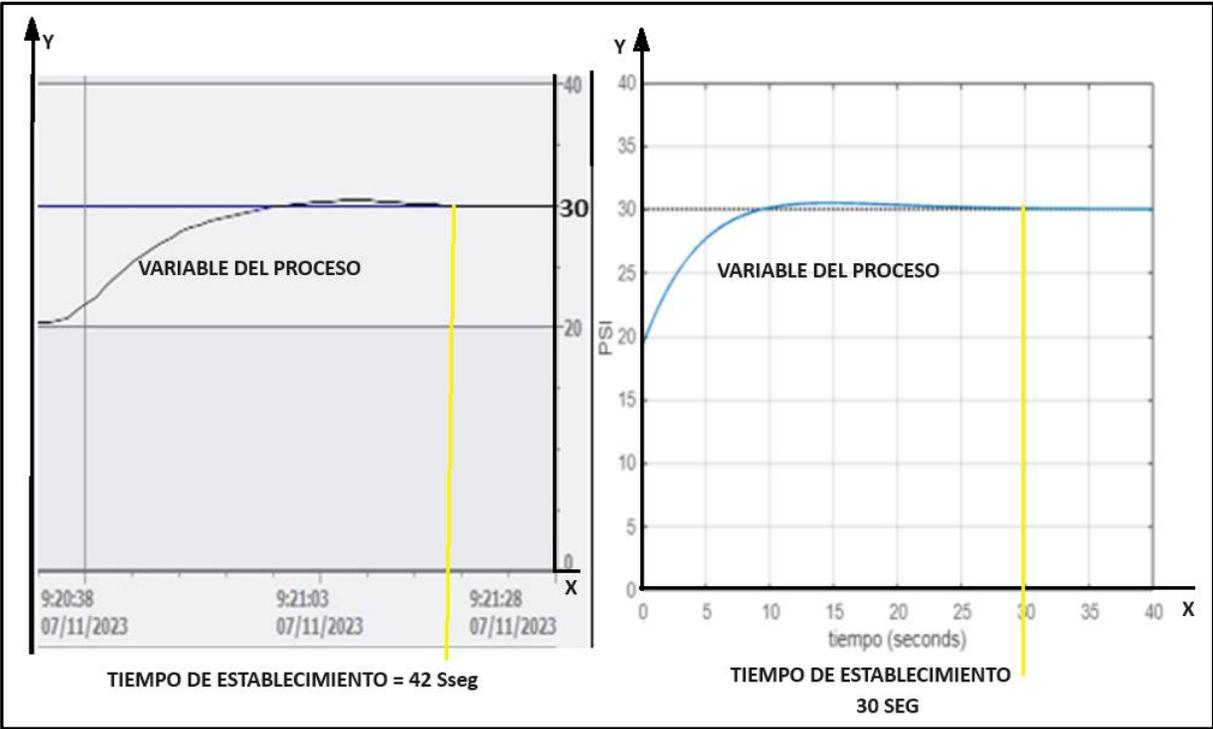


Fuente propia

La figura 99 ilustra la comparación del modelo matemático PID y del PID Compac del PLC. En la que demuestra la similitud en ambos procesos.

Figura 99

Semejanza de los resultados obtenidos



Fuente propia

V. CONCLUSIONES

- 1) Se definió parámetros principales de la bomba de agua que bajo a condiciones necesarias del sistema eléctrico y hidráulico se tiene un mejor resultado en cuanto al control y eficiencia de las bombas de agua.
- 2) Se seleccionó equipos industriales para la implementación correcta del módulo didáctico cómo: Variadores de frecuencias de las marcas ABB ACS 310 y LS, transmisor de presión de la marca foxboro, PLC de la marca SIEMENS, pantalla HMI SIEMENS, router VPN de la marca V-BOX, bomba de agua de la marca LEO.
- 3) Se ejecutó la implementación de manera satisfactoria el módulo didáctico de presión constante basado a un sistema SCADA de escala real. El diseño integral del sistema, abarca los aspectos hidráulicos, eléctricos y de comunicación, se realizó con la rigurosidad para cumplir con los estándares de calidad. Además, se aseguró que el sistema no solo cumpla eficazmente con los objetivos establecidos, sino que también esté preparado para futuras mejoras sin inconvenientes a nivel de hardware ni software.
- 4) En el módulo didáctico se validó con éxito la aplicación del sistema SCADA, la automatización del sistema de presión constante presenta dos modos de operación, modo manual PID si en caso no presenta transmisor de presión y modo automático PID que en base a la señal del transmisor de presión el variador de frecuencia varia la velocidad de la bomba , ofreciendo así la facilidad de variar la presión del sistema junto a parámetros de sintonización PID, siendo el proceso representado en una gráfica y registrando resultados eficientes acordes con los requisitos del sistema.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- López Cando, S. A., & Vallejo Izurieta, C. M. (2021). *Diseño e Implementación de un Módulo Portátil de Simulación de un Sistema de Presión Constante* (Bachelor's thesis).
- Torres Guerrero, P. S., & Pérez Castillo, F. R. (2019). *Diseño y simulación de un módulo didáctico de un sistema de bombeo a presión constante para la capacitación de los alumnos de Ingeniería Electrónica de la UNPRG*.
- Jiménez Reyes, S. G. (2018). *Diseño del sistema de automatización y enlace a la red SCADA de Petroperú para realizar el control automático de las motobombas de la estación Andoas del Oleoducto Nor-Peruano*.
- SoyChile. (2023, 31 mayo). *Falla en cañería anegó 60 departamentos en sector Puerta Sur de Puerto Montt*. SoyChile. <https://www.soychile.cl/PuertoMontt/Sociedad/2023/05/31/814098/falla-caneria-anego-departamentos.html>
- Vega Morillo, A. M. (2011). *Diseño e implementación de un sistema de control de variadores de velocidad para obtener presión constante en un edificio de la Universidad Simón Bolívar* (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2011).
- Velásquez Santillán, A. (2019). *Diseño e Implementación de un Sistema Scada Usando Comunicación Ethernet y Devicenet en Sistemas de Bombeo para Interceptación de Agua de Relaves*.
- AFT Pumps. (2022). *Boletín No.9 Sistemas de presión constante* | AFT Pumps. *AFT Pumps / Technology that flows*. <https://aftpumps.com/es/2022/02/03/boletin-no-9-sistemas-de-presion-constante/>
- Clenet, D. (2003). *Cuaderno Técnico N 208. Arrancadores y variadores de velocidad electrónicos*. Francia: Schneider Electric.
- Schneider Electric. (s. f.). (2018) / *ATV12 Manual del usuario Schneider Electric*. <https://www.se.com/es/es/download/document/BBV28583/>

Fernando Sevillano Calvo. (2010). Dto. ELECTRICIDAD-ELECTRÓNICA – Modulo 5 –
VARIADORES DE FRECUENCIA (Sistemas de Regulación y Control Automáticos).

Sanchis Llopis, R., Romero Pérez, J. A., & Vicent Ariño, C. (2010). *Automatización industrial.*
Universitat Jaume I.

Doria, S. (2023, 23 noviembre). *¿Cómo funciona un transmisor de presión?* - blog de WIKA.
Blog de WIKA. https://www.bloginstrumentacion.com/productos/como-funciona-un-transmisor-de-presion/?doing_wp_cron=1701917538.7599759101867675781250

Solé, A. C. (2011). *INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL*, 8va edición. Marcombo, S.A

SIEMENS. (2017). *Pequeña. Inteligente. LOGO! Power.* Siemens.com/sitop.

SIEMENS. (2023). *Regulación PID.* support. industry. siemens

SIMATIC S7-1200. (2023) *-Take control of communication.* (s. f.). siemens.com Global
Website.<https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/s7-1200.html>

Manuel Cabello, Miguel Sánchez. (2020). *INSTALACIONESELECTRICAS.INTERIORES.*
EDITEX. Madrid.

SIEMENS. (2023). *Hoja de datos 5SL62017MB.* <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/co/Catalog/Product/5SL6201-7MB>

Juan Carlos Martín, María Pilar García. (2009). *AUTOMATISMO INDUSTRIALES.* EDITEX.
Pozuelo de Alarcón, Madrid.

P. Fernández Díez. (2011). *BOMBAS CENTRÍFUGAS Y VOLUMÉTRICAS,* Cantrabia

- Grundfos. (2023). *Las curvas de las bombas*. (s. f.). <https://www.grundfos.com/co/learn/ecademy/all-courses/basic-principles-and-pump-types/about-pump-curves>
- Juan Suárez Castro. (2022). *Interpretación de las curvas de bombas centrífuga*. CECAHIDRA.
- Cimberio. (2021). *Válvula cimberio cim 80*. Italia.
- J. W. J. de Wekker V. (2004). “*Sistema de bombeo*”. Wekker & Asociados.
- VALTEC SAC. (2023). *VALVULA ALIVIO DE PRESION ACCION DIRECTA BRONCE DE 30 a 165PSI STONE L3P – VALTEC SAC*. <https://valtecsac.com/producto/valvula-alivio-de-presion-accion-directa-bronce-de-30-a-165psi-stone-l3p/>
- WDM PUMPS. (2020). *SISTEMAS DE PRESIÓN*. México.
- García, R. P., Reinoso García, O., García Aracil, N., & Aracil Santonja, R. (2003). *Apuntes de Sistemas de Control*. Alicante: Editorial Club Universitario.
- Cecilio Angulo Bahón, Cristóbal Raya Giner. (2004). *Tecnología de sistemas de control*. Ediciones UPC. Barcelona, España
- Virginia Mazzone. (2002). *Controladores PID*. Universidad Nacional de Quilmes. Argentina.
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna (5ta ed.)*. Perason.
- Sanchis Llopis, R., Romero Pérez, J. A., & Vicent Ariño, C. (2010). *Automatización industrial*. Universitat Jaume I.
- Weis, O. (2021, 20 octubre). *Qué es RS485 - Guía de la Comunicación RS485*. Electronic Team, Inc. <https://www.eltima.com/es/article/rs485-communication-guide/>

Briceño, J. (2005). *Transmisión de Datos. (3ed)*. Mérida, Venezuela: Publicaciones de la Facultad de Ingeniería, ULA.

V-BOX H SERIES. (2022).—*Making Better Automation to build your success.* (s. f.-b).

https://www.we-con.com.cn/en/product_page/244.html

Acromag. (2005). *INTRODUCCIÓN A MODBUS TCP/IP*. Wison, U.S.A.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: IMPLMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE PRESIÓN CONSTANTE BASADO EN UN SISTEMA SCADA PARA MEJORAR EL CONTROL Y MONITOREO DE BOMBAS DE AGUA DE USO RESIDENCIAL

PROBLEMAS	OBJETIVOS	METODOLOGÍA
<p>Problema General ¿Cómo utilizar SCADA en un sistema de presión constante?</p> <p>Problema Específico 1 ¿Cuáles son los parámetros principales, a fin de mejorar el control, monitoreo y mantenimiento de bombas de agua?</p> <p>Problema Específico 2 ¿Cómo validar el sistema SCADA?</p>	<p>Objetivo General Implementar un módulo didáctico de presión constante de agua potable aplicando SCADA.</p> <p>Objetivo Específico 1 Definir y caracterizar los parámetros principales, a fin de mejorar el control, monitoreo y mantenimiento de bombas de agua.</p> <p>Objetivo Específico 2 Validar el sistema SCADA para el control y monitoreo de presión constante.</p>	<p>Tipo investigación Cuantitativa</p> <p>Diseño de investigación Experimental donde se observará el efecto causado por la variable.</p> <p>Enfoque de investigación Cuantitativa, teniendo como objetivo cuantificar la recopilación y análisis de datos</p>

Anexo 2. Glosario de términos

- **Consigna:** Valor numérico requerido para la presión del sistema.
- **Variador de frecuencia**
Controla la velocidad de motores trifásicos eficazmente.
- **PLC**
Ejecuta programación desarrollada por el usuario.
- **Transductor de presión**
Convierte la magnitud física a señal análoga en miliamperios.
- **Tanque hidroneumático**
Mantiene la presión del sistema, inyecta aire a las tuberías para que la presión del agua no decaiga de manera rápida.
- **Modbus RTU**
Comunica la comunicación entre el PLC y variador de frecuencia.
- **RS-485**
Realiza el enlace físico para la conexión de PLC y variador de frecuencia.
- **SCADA**
Sistema que permite monitorear y controlar el proceso aplicado en la industria.
- **Switch industrial**
Puertos de conexiones ethernet.
- **Pantalla HMI**
Permite visualizar y manipular manualmente el estado del proceso.
- **Bomba centrífuga de agua**
Está acoplado a un motor, sirve para distribuir el líquido a largas distancias
- **Curva de operación**
Determina el caudal y altura de la bomba como máxima operación.
- **Válvula check**
Retiene el retorno del agua para evitar que el impulsor de las bombas trabaje en sentido inverso.

