



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**DESARROLLO DE UN SISTEMA SCADA DE UNA ESTACIÓN
MULTIVARIABLE**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTROMECÁNICO**

AUTORES:

Nelson Sebastián Ante Guamangate
Byron Josué Chango Paredes

TUTOR:

Ing. Luigi Orlando Freire Martínez MSc.

LATACUNGA-ECUADOR
FEBRERO-2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Ante Guamangate Nelson Sebastián**, con cedula de ciudadanía N°:0503310799 y **Chango Paredes Byron Josué**, con cedula de ciudadanía N°:1804805982, estudiantes de la carrea de Ingeniería Electromecánica declaramos ser autores de la presente propuesta tecnológica: **“DESARROLLO DE UN SISTEMA SCADA DE UNA ESTACIÓN MULTIVARIABLE”**, siendo el Ing. Luigi Orlando Freire Martínez MSc., tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en la presente propuesta tecnológica, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, marzo del 2025.



Ante Guamangate Nelson Sebastián

C.I.: 0503310799

nelson.ante0799@utc.edu.ec



Chango Paredes Byron Josué

C.I.: 1804805982


byron.chango5982@utc.edu.ec

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de la Propuesta Tecnológica sobre el título:

“Desarrollo de un sistema SCADA en una estación multivariable”, de Ante Guamangate Nelson Sebastián y Chango Paredes Byron Josué de la carrera Ingeniería Electromecánica, considero que dicha Propuesta Tecnológica es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también han incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, marzo del 2025



.....

Ing. Luigi Orlando Freire Martínez

C.I.: 0502529589

luigi.freire@utc.edu.ec

TUTOR

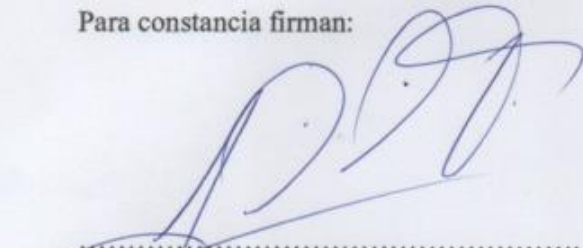
AVAL DE MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban la presente Propuesta Tecnológica de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS; por cuanto, a los postulantes ANTE GUAMANGATE NELSON SEBASTIÁN y CHANGO PAREDES BYRON JOSUÉ con el título del Proyecto: “**DESARROLLO DE UN SISTEMA SCADA EN UNA ESTACIÓN MULTIVARIABLE**”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometidos al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, marzo del 2025

Para constancia firman:



.....
Ing. Porras Reyes Jefferson Alberto MSc.
C.I.:0704400449
jefferson.porras0449@utc.edu.ec
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



.....
Ing. Navarrete López Luis Miguel MSc.
C.I.:1803747284
Luis.navarrete7284@utc.edu.ec
LECTOR 2 (MIEMBRO)



.....
Ing. Vizúete Fiallos Gonzalo Xavier
C.L.: 1714631361
Gonzalo.vizúete1361@utc.edu.ec
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Las palabras que busco no existen, pues mi agradecimiento hacia ustedes no tiene comparación, primeramente, agradecer a Dios por darme el sueño de mi vida de cumplir este objetivo, a la vez a mi amada madre Olga, quien me brindo su apoyo moral y aliento en toda mi etapa universitaria, de igual manera a mi amiga Ing. Pamela y todas las personas que me ayudaron en este proceso, agradecer a la Universidad Técnica de Cotopaxi alma mater de nuestra provincia por permitirme formar dentro de sus aulas, compartiendo grandes ilusiones que ha futuro me servirán de mucho, quiero agradecer al Ing. Luigi Freire, Ing. Jefferson Porras, Ing. Luis Navarrete por su apoyo, dedicación y enseñanza.

Sebastián Ante

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la vida y la fortaleza para superar los desafíos que se han presentado en este recorrido. A mis padres, Beatriz y Luis, por su amor incondicional, su esfuerzo y por ser el motor que me ha impulsado a seguir adelante. Sin su apoyo y enseñanzas, este logro no habría sido posible. A mis hermanos, por su cariño, apoyo incondicional y respaldo en cada paso de este proceso. A mi hermano Luis, por estar siempre presente, brindándome su apoyo inquebrantable y su confianza. A mis docentes y mentores, por compartir sus conocimientos y exigirme siempre dar lo mejor de mí, ayudándome a crecer tanto académica como personalmente. Finalmente, a todas aquellas personas que, de una u otra manera, han contribuido en este camino, mi más sincero agradecimiento.

Josué Chango

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi madre Olga y a mis hermanos Ángel, Joel, Luis y Anthonny, por ser mi apoyo durante mi carrera profesional, este logro fue uno de mis sueños, ustedes fueron mi motivo para no rendirme día tras día, gracias a ustedes lo he logrado, mi madre que siempre me aconsejo en el camino de cada etapa de mi vida me hizo dar cuenta, que el estudio es el primer paso para ser una persona exitosa, sin sus palabras talvez no lo hubiera logrado en ser un profesional, estoy feliz de agradecerles a ustedes mi familia por siempre darme la confianza y sobre todo por la paciencia que tuvieron en toda esta etapa, lo que más he deseado en esta vida es que ustedes se sientan orgullosos de tenerme a su lado.

Sebastián Ante

DEDICATORIA

Con todo mi cariño y gratitud, dedico este trabajo a mis padres, Beatriz y Luis, quienes con su amor, esfuerzo y sacrificio me han guiado en cada paso de mi vida. Gracias por enseñarme con su ejemplo que la perseverancia y la dedicación son claves para alcanzar cualquier meta. A mis hermanos, quienes han sido mi apoyo incondicional en los momentos difíciles, compartiendo alegrías y desafíos a lo largo de este camino. En especial, a mi hermano Luis, por su compañía, sus palabras de aliento y su confianza en mí. A Sam, por el tiempo compartido y por haber sido parte de este proceso, brindando apoyo en distintos momentos de mi vida. Ese logro no es solo mío, sino también de ustedes, quienes han estado a mi lado en cada etapa de este camino.

Josué Chango

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “DESARROLLO DE UN SISTEMA SCADA EN UNA ESTACIÓN MULTIVARIABLE”

AUTORES:

Ante Guamangate Nelson Sebastián

Chango Paredes Byron Josué

RESUMEN

Este estudio desarrolla un sistema SCADA aplicado a una Estación Multivariable con el propósito de supervisar y controlar variables industriales clave como nivel, flujo y presión. Para lograrlo, se realizó un análisis bibliográfico detallado sobre tecnologías SCADA, incluyendo protocolos de comunicación como OPC y MQTT. Posteriormente, se diseñó la arquitectura del sistema integrando sensores, PLC Siemens S7-1200 y el software Ignition SCADA. La implementación del sistema se llevó a cabo en un entorno de laboratorio, configurando dispositivos de adquisición de datos y realizando pruebas de comunicación para garantizar una operación confiable. Se desarrolló interfaces HMI intuitivas para la visualización en tiempo real de las variables monitorizadas. Entre los principales resultados, se destaca la correcta integración del sistema con una latencia de transmisión de datos inferior a 1 segundo y una precisión del 98% en la lectura de sensores. Además, se validó la estabilidad del control PID implementado, logrando una reducción del 20% en la fluctuación de variables críticas. Estos hallazgos confirman que el sistema SCADA desarrollado proporciona una solución eficiente y escalable para la supervisión y control de estaciones multivariables, contribuyendo significativamente a la formación académica y a la investigación en el área de automatización industrial.

Palabras clave: SCADA, Estación Multivariable, Control Industrial, PLC, Supervisión de Variables.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

THEME: “DEVELOPMENT OF A SCADA SYSTEM IN A MULTIVARIABLE STATION”

AUTHOR:

Ante Guamangate Nelson Sebastián

Chango Paredes Byron Josué

ABSTRACT

This study develops a SCADA system applied to a Multivariable Station with the purpose of supervising and controlling key industrial variables such as level, flow, and pressure. To achieve this, a detailed bibliographic analysis was conducted on SCADA technologies, including communication protocols such as OPC and MQTT. Subsequently, the system architecture was designed by integrating sensors, a Siemens S7-1200 PLC, and Ignition SCADA software. The system implementation was carried out in a laboratory environment, configuring data acquisition devices and conducting communication tests to ensure reliable operation. Intuitive HMI interfaces were developed for real-time visualization of the monitored variables. Among the main results, the system's successful integration stands out, achieving a data transmission latency of less than 1 second and a 98% accuracy rate in sensor readings. Additionally, the stability of the implemented PID control was validated, resulting in a 20% reduction in the fluctuation of critical variables. These findings confirm that the developed SCADA system provides an efficient and scalable solution for the supervision and control of multivariable stations, significantly contributing to academic training and research in the field of industrial automation.

Key words: SCADA, Multivariable Station, Industrial Control, PLC, Variable Supervision.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	¡Error! Marcador no definido.
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
AVAL DE MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN....	¡Error! Marcador no definido.
<i>AGRADECIMIENTO</i>	v
<i>AGRADECIMIENTO</i>	vi
<i>DEDICATORIA</i>	vii
DEDICATORIA	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
ÍNDICE DE TABLAS	xx
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN.....	3
2.1 EL PROBLEMA	4
2.1.1 Situación problemática	4
2.1.2 Formulación del problema.....	5
2.2 BENEFICIARIOS.....	5
2.2.1 Beneficiarios directos	5
2.2.2 Beneficiarios indirectos	5
2.3 JUSTIFICACIÓN	5
2.4 OBJETIVOS	6
2.4.1 Objetivo General.....	6
2.4.2 Objetivos Específicos	6
2.4.3 Sistema de tareas	6

3.	MARCO TEÓRICO	8
3.1	ANTECEDENTES	8
3.2	CONCEPTOS	9
3.2.1	Automatización.....	9
3.2.2	Pirámide de automatización.....	10
3.2.3	Sistemas SCADA	12
3.2.4	Componentes de un sistema SCADA.....	14
3.2.5	Objetivos de los Sistemas SCADA	18
3.2.6	Prestaciones de Sistemas SCADA.....	19
3.2.7	Requisitos para Sistemas SCADA.....	20
3.2.8	Ventajas de los Sistemas SCADA	20
3.2.9	Control PID.....	21
3.2.10	Métodos de Sincronización PID	22
3.2.11	Estación Multivariable.....	22
3.2.12	Software SCADA Ignition	25
3.2.13	Comunicación OPC	26
3.2.14	Protocolo de Comunicación MQTT.....	27
3.2.15	Software NODE-RED.....	27
3.2.16	Norma ISA S101	28
3.2.17	MatLab.....	29
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	30
4.1	DIAGRAMA DE FLUJO	30
4.2	DEFINICIÓN DE VARIABLES	31
4.2.1	Variable dependiente.....	31
4.2.2	Variable independiente	31

4.3	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	31
4.3.1	Investigación Analítica	31
4.3.2	Método Cuantitativo.....	32
4.3.3	Método de Simulación.....	32
4.3.4	Método Experimental	32
4.4	TIPOS DE INVESTIGACIÓN	32
4.4.1	Técnica de observación	32
4.4.2	Técnica de medición.....	32
4.5	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	33
4.5.1	Comunicación cable Ethernet.....	33
4.5.2	Comunicación OPC	33
4.5.3	Sensores analógicos (4-20 mA).....	33
4.5.4	Módulo de entradas analógicas SM 1231 pedido 6ES7231-4HD30-0XB0	34
4.5.5	Módulo de Salida analógica SM 1232 6ES7232-4HD32-0XB	34
4.5.6	Válvula proporcional 0-5V 2 vías Modelo TFA20-M-C para el control de modulación del agua.....	35
4.5.7	Variador de frecuencia MICROMASTER 420.....	35
4.6	METODOS Y PROCEDIMIENTOS.....	36
4.6.1	Estación de nivel, flujo y presión desde aquí empieza	36
4.6.2	Sobre impulso (PEM%) en los controles PID	37
4.6.3	Programación.....	38
4.6.4	Configuración de módulos de entradas y salidas analógicas.....	38
4.6.5	Programación PLC subtítulo	41
4.6.6	Programación Variable de Flujo	44
4.6.7	Programación Variable de presión.....	47

4.6.8	Programación HMI – NUBE	51
4.6.9	Programación para la activación de la nube de las variables de control	52
4.6.10	Programación de límites y alarmas de seguridad en nuestro sistema SACADA.	53
4.6.11	Diseño de la interfaz en el software SCADA IGNITION	61
4.6.12	Configuración del protocolo de comunicación MQTT.....	65
4.6.13	Diseño de la interfaz en la nube.....	71
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	75
5.1	MÉTODO MATEMÁTICO Y FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE LOS PROCESOS DE CONTROL	75
5.1.1	Modelo matemático para el proceso de control de nivel	75
5.1.2	Modelo matemático para el proceso de control de Flujo Válvula Proporcional	76
5.1.3	Modelo matemático para el proceso de control de Flujo Variador de Frecuencia... ..	77
5.1.4	Modelo matemático para el proceso de control de presión Válvula Proporcional ..	78
5.1.5	Modelo matemático para el proceso de control de presión Variador de Frecuencia ..	78
5.2	SINTONÍA PID DE LOS PROCESOS AUTORREGULABLES (MÉTODO DE ZIEGLER-NICHOLS).....	79
5.2.1	Sintonía PID método de Ziegler-Nichols en el proceso de control de nivel	79
5.2.2	Sintonía PID método de Ziegler-Nichols en el proceso de control de Flujo Válvula Proporcional.....	80
5.2.3	Sintonía PID método de Ziegler-Nichols en el proceso de control de Flujo Variador de Frecuencia	81
5.2.4	Sintonía PID método de Ziegler-Nichols en el proceso de control de Presión Válvula Proporcional.....	82
5.2.5	Sintonía PID método de Ziegler-Nichols en el proceso de control de Presión Variador de Frecuencia.....	84
5.3	VALIDACION DE DATOS EN LA INTERFAZ DE NIVEL	85

5.4	VALIDACION DE DATOS EN LA INTERFAZ DE FLUJO CON VÁLVULA PROPORCIONAL.....	87
5.5	VALIDACION DE DATOS EN LA INTERFAZ DE FLUJO CON VARIADOR DE FRECUENCIA	89
5.6	VALIDACION DE DATOS EN LA INTERFAZ DE PRESIÓN	91
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
6.1	CONCLUSIONES.....	95
6.2	RECOMENDACIONES.....	96
7.	BIBLIOGRAFÍA	97
ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.	
ANEXO A.....	¡Error! Marcador no definido.	
PROGRAMACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.	
ANEXO B.....	¡Error! Marcador no definido.	
TABLERO PRÁCTICO Y DISPOSITIVOS.....	¡Error! Marcador no definido.	
ANEXO C.....	¡Error! Marcador no definido.	
GUÍA PRÁCTICA Y SOFTWARE MATLAB.....	¡Error! Marcador no definido.	
ANEXO D	¡Error! Marcador no definido.	
DIAGRAMAS DE CONEXIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Sistema de Automatización Básico	10
Figura 3.2 Pirámide de Automatización	12
Figura 3.3 Sistema SCADA.....	13
Figura 3.4 Arquitectura básica de un sistema SCADA	13
Figura 3.5 Comunicación OPC-UA.....	15
Figura 3.6 Monitor Central o MTU	15
Figura 3.7 Red de Comunicación	16
Figura 3.8 Red de Comunicación Industrial.....	17
Figura 3.9 Protocolo MODBUS.....	17
Figura 3.10 Modbus RTU & Modbus TCP/IP.....	18
Figura 3.11 Estación Multivariable.....	23
Figura 3.12 Variable Presión.....	24
Figura 3.13 Variable Flujo.....	25
Figura 3.14 Software SCADA Ignition	25
Figura 3.15 Comunicación OPC.....	26
Figura 3.16 Protocolo de Comunicación MQTT.....	27
Figura 3.17 Node-RED.....	28
Figura 4.1. Diagrama de flujo.....	30
Figura 4.2 Módulo de entradas analógicas SM 1231 pedido6ES7231-4HD30-0XB0.....	34
Figura 4.3 Módulo de Salida analógica SM 1232 6ES7232-4HD32-0XB.....	34
Figura 4.4 Válvula proporcional 0-5V 2 vías Modelo TFA20-M-C.....	35
Figura 4.5 Variador de frecuencia MICROMASTER 420	35
Figura 4.6 Diagrama P&ID ISA estación multivariable de nivel, flujo y presión.....	36
Figura 4.7 PLC S7-1200 con módulos expansión de salidas y entradas analógicas (SM 1232 6ES7232-4HD32-0XB; SM 1231 6ES7231-4HD30-0XB0).....	39
Figura 4.8 Módulos de expansión.....	39
Figura 4.9 Parámetros y configuración.....	40
Figura 4.10 Parámetros y configuración.....	41
Figura 4.11 Sistema SCADA.....	42
Figura 4.12 Sistema SCADA.....	42

Figura 4.13 Ramas de programación.....	42
Figura 4.14 Cyclic interrupt.....	43
Figura 4.15 Automatización de variable.....	43
Figura 4.16 Programación de condición.....	44
Figura 4.17 Programación Main [OB1].....	44
Figura 4.18 Tercer bloque de programación.....	45
Figura 4.19 Encendido y apagado de %Q0.1 en función del estado del control de PID.....	45
Figura 4.20 Bloque PID_Compact.....	45
Figura 4.21 Automatización de la variable de flujo mediante un control PID.....	46
Figura 4.22 Evaluar la salida del control PID.....	46
Figura 4.23 Ajuste de la salida del variador de frecuencia en función del control del flujo.....	47
Figura 4.24 Conversión de los valores del sensor de presión a una escala adecuada.....	48
Figura 4.25 Desactivar la señal de la nueve cuando desaparece o cambie estado.....	48
Figura 4.26 Automatización de la variable de presión mediante un control PID.....	49
Figura 4.27 Evaluar la salida del control PID.....	49
Figura 4.28 Activa y desactiva según señales externas provenientes de SCADA.....	50
Figura 4.29 Evalúa la salida del control PID.....	50
Figura 4.30 Control de la señal del variado y la señal de la válvula proporcional.....	51
Figura 4.31 Actualizar calores en el PLC.....	52
Figura 4.32 Activación del sistema PID.....	52
Figura 4.33 Control de nivel, flujo y nivel.....	53
Figura 4.34 Límites mínimos y máximos de operación.....	53
Figura 4.35 Valores mínimos y máximos de cada variable de control.....	54
Figura 4.36 Configuración de un PLC Siemens versión S7-1200.....	55
Figura 4.37 Crear un nuevo Device.....	55
Figura 4.38 Escoger el tipo de proyecto.....	56
Figura 4.39 Asignación de nombre al dispositivo.....	56
Figura 4.40 Establecer conexión.....	57
Figura 4.41 Verificar la IP.....	57
Figura 4.42 Incorporar los tags pertinentes.....	57
Figura 4.43 Crear los tags en el proyecto.....	58

Figura 4.44 Seleccionar los tags.....	58
Figura 4.45 Definir fuente de datos del tag	59
Figura 4.46 Asignar nombre adecuado al tag	59
Figura 4.47 Seleccionar la variable que se necesita	60
Figura 4.48 Formato del código	60
Figura 4.49 Interfaz principal de SCADA.....	62
Figura 4.50 Monitoreo y regulación optima.....	62
Figura 4.51 Reportes.....	63
Figura 4.52 Control PID de flujo válvula.....	64
Figura 4.53 Control PID de flujo variador	64
Figura 4.54 Control PID de presión.....	65
Figura 4.55 Node red.....	66
Figura 4.56 Instalar o actualizar módulos	66
Figura 4.57 Subir el archivo de modulo descargado	67
Figura 4.58 Instalar en el Ignition SCADA.....	67
Figura 4.59 Configurar parámetros	68
Figura 4.60 Crear topics primarios y secundarios	68
Figura 4.61 Espacio de trabajo Node Red	69
Figura 4.62 Copiar el Path.....	69
Figura 4.63 Pegar el Path en Node Red.....	70
Figura 4.64 Configuración de topic.....	70
Figura 4.65 Agregar un topic mqtt.....	71
Figura 4.66 Entrada de comunicación MQTT.....	71
Figura 4.67 Interfaz de la nube.....	72
Figura 4.68 Interfaz Control PID nivel.....	73
Figura 4.69 Interfaz Control PID flujo	73
Figura 4.70 Interfaz Control PID presión.....	73
Figura 4.71. Cambios de fluctuaciones en tiempo real.....	74
Figura 4.72 Transferencia de los procesos.....	75
Figura 4.73 Ingreso de datos para la función de transferencia	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4.74 Función de transferencia en Matlab	¡Error! Marcador no definido.

Figura 4.75 Función de transferencia en Matlab	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5.1 Proceso de control de nivel	76
Figura 5.2 proceso de control de Flujo Válvula Proporcional.....	77
Figura 5.3 Proceso de control de Flujo Variador de Frecuencia.....	77
Figura 5.4 Proceso de control de presión Válvula Proporcional	78
Figura 5.5 Proceso de control de presión Variador de Frecuencia	79
Figura 5.6 Proceso de control de nivel	80
Figura 5.7 Proceso de control de Flujo Válvula Proporcional.....	81
Figura 5.8 Flujo Variador de Frecuencia	82
Figura 5.9 Control de Presión Válvula Proporcional	83
Figura 5.10 Control de Presión Variador de Frecuencia.....	84
Figura 5.11 Interfaz Ignition SCADA	85
Figura 5.12 Interfaz NODE-RED.....	85
Figura 5.13 Gráfica Ignition	86
Figura 5.14 Gráfica Node-red.....	86
Figura 5.15 Interfaz Ignition SCADA del Control PID de flujo	87
Figura 5.16 Interfaz NODE-RED del Control PID de Flujo	88
Figura 5.17 Gráfica Ignition SCADA Flujo	88
Figura 5.18 Gráfica NODE-RED Flujo.....	89
Figura 5.19 Interfaz Ignition SCADA del Control PID de Flujo.....	90
Figura 5.20 Interfaz NODE-RED del Control PID de Flujo	90
Figura 5.21 Gráfica Ignition SCADA Flujo	91
Figura 5.22 Gráfica NODE-RED Flujo.....	91
Figura 5.23 Interfaz Ignition SCADA del Control PID de Presión	92
Figura 5.24 Interfaz NODE-RED del Control PID de Presión.....	92
Figura 5.25 Gráfica Ignition SCADA Presión.....	93
Figura 5.26Gráfica Ignition SCADA Presión.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Descripción del sistema de tareas y actividades.....	7
Tabla 3.1. Método de Ziegler-Nichols.....	22
Tabla 4.1. Control y monitoreo de procesos.....	31
Tabla 4.2. Parámetros y configuración 231-4HD30-0XB0	40
Tabla 4.3. Parámetros y configuración 232-4HA30-0XB0	41
Tabla 5.1 Parámetros Nivel	80
Tabla 5.2 Parámetros flujo válvula	81
Tabla 5.3 Parámetros Flujo VDF	82
Tabla 5.4 Parámetros Presión Válvula.....	83
Tabla 5.5 Parámetros Presión VDF	84
Tabla 5.6 Errores de lecturas del Interfaz Ignition SACADA y Plataforma NODE-RED	87
Tabla 5.7 Sincronización y Errores de Lectura del Control con Set Point en Ignition y NODE-RED	87
Tabla 5.8 Errores de lecturas del Interfaz Ignition SACADA y Plataforma NODE-RED	89
Tabla 5.9 Sincronización y Errores de Lectura del Control en Ignition SCADA y NODE-RED .	89
Tabla 5.10 Errores de lecturas del Interfaz Ignition SACADA y Plataforma NODE-RED	91
Tabla 5.11 Tiempo sincronización de la variable de control, errores de lecturas del Interfaz Ignition SACADA.....	91
Tabla 5.12 Errores de lecturas del Interfaz Ignition SACADA y Plataforma NODE-RED	93
Tabla 5.13 Set Point establecido.....	94

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del proyecto:

“Desarrollo de un Sistema SCADA de una Estación Multivariable.”

Fecha de inicio: octubre 2024

Fecha de finalización: febrero 2025

Lugar de ejecución: Universidad Técnica de Cotopaxi

Facultad: CIYA

Carrera: Ingeniería Electromecánica.

Equipo de trabajo:

- **Docente tutor de la propuesta tecnológica:**

Ing. Freire Martinez Luigi Orlando MSc.

C.I. 0502529589

Correo electrónico: luigi.freire@utc.edu.ec

- **Ponente 1:**

Ante Guamangate Nelson Sebastián

C.I. 0503310799

Correo electrónico: ante.nelson0799@utc.edu.ec

- **Ponente 2:**

Chango Paredes Byron Josué

C.I. 1804805982

Correo electrónico: byron.chango5982@utc.edu.ec

Área de Conocimiento:

Ingeniería, Industria y Construcción.

Ingeniería y Profesiones Afines.

Electrónica y Automatización.

Línea de investigación:

Energías alternativas y renovables, procesos industriales.

Sub líneas de investigación:

Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos.

2. INTRODUCCIÓN

La automatización en ingeniería no solo se limita al control, sino que representa una cierta filosofía que incluye la instrumentación industrial (sensores, transmisores de campo), sistemas de control y de supervisión, la transmisión y obtención de datos definido como la transmisión y la obtención de datos, y aplicaciones en tiempo real de gestión de procesos industriales y monitoreo de firma.

En la situación actual, la globalización y los avances tecnológicos han contaminado las condiciones en las que los sistemas de producción se modernizan a causa de la necesidad de mejorar la productividad y garantizar los estándares de calidad para las condiciones competitivas en el mercado internacional. De esta forma, la modernización de los sistemas de producción con herramientas emergentes y software para la automatización e integración de procesos, se convierten en los elementos necesarios para la mejora de los sistemas automatizados.

Un ejemplo de esta transición es el uso de los sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), capaces de supervisar y controlar las variables físicas mediante interfaces HMI o computadoras. Tienen la capacidad de ejecutar acciones de supervisión en tiempo real, además de almacenar en bases de datos información histórica de las variables, lo que permite a un analista seguir y analizar la historia del funcionamiento del sistema optimizando la cantidad de decisiones obtenidas por el hombre y la eficiencia operativa [1].

Con base en lo anterior, es crucial resaltar que el mercado actual ofrece una amplia gama de software SCADA adecuados para aplicaciones industriales, cada uno de los cuales varía en términos de capacidad, solidez y seguridad, dependiendo del proceso que se desee controlar. Los que poseen mayor prestigio y son determinados como más utilizados, son WinCC de Siemens, RS View de Allen Bradley, CX Supervisory de Omron e Intouch de Wonderware. Este último software destaca no sólo por su alta fiabilidad, sino también porque es el software más utilizado en la actualidad en cualquier entorno industrial, tanto por la disponibilidad de diferentes marcas de autómatas programables (PLC) o por su capacidad para integrar diferentes protocolos de comunicación permitiendo construir varios sistemas de automatización industrial complejos [2].

En el marco industrial, los equipos de medida eléctrica han padecido la limitación de un escaso número de parámetros que podían medir, pero los numerosos avances científicos y tecnológicos han permitido la llegada de dispositivos mucho más competentes e idóneos para recolectar un mayor número de variables eléctricas. Con la incorporación de sistemas SCADA para el control y la adquisición de datos, se abre la posibilidad de optimizar el uso de la energía, lo que, combinado con la gestión eficiente de procesos, facilita la implementación de estrategias de ahorro, convirtiéndose en una necesidad en el sector industrial.

Esta investigación se basa en el diseño de sistemas SCADA para el control y seguimiento de procesos como la Estación Multivariable, la implementación de un sistema SCADA nos hará posible dilucidar el desarrollo de una herramienta que apoye buenas prácticas industriales e impulse el aprendizaje y la puesta en práctica de los procesos estudiados.

2.1 EL PROBLEMA

2.1.1 Situación problemática

El avance tecnológico y la necesidad de actualización del sector industrial requieren que los expertos obtengan competencias especializadas. En este contexto, la automatización y la gestión de procesos juegan un papel vital al permitir el seguimiento en tiempo real de las operaciones mediante secuencias programadas. La recolección y evaluación de información del sistema no solo mejoran la valoración del desempeño, sino que también promueven la toma de decisiones estratégicas, asegurando la eficacia en las operaciones y el perfeccionamiento constante en los procesos industriales.

La implementación de un sistema de formación, como la Estación Multivariable, trasciende la mera observación y supervisión, puesto que se convierte en un instrumento crucial para consolidar experiencias y tareas. Su puesta en marcha proporciona una visión integral de los procesos, lo que simplifica su evaluación, optimiza la eficacia de los tiempos y favorece el incremento del desempeño global del sistema.

Frente al desafío de la innovación constante en el sector, este proyecto de titulación propone la creación de un sistema SCADA, centrado en superar la falta de competencias para su puesta en marcha y administración. La falta de un control adecuado limita la eficacia de los

procesos industriales. Por ello, la implementación adecuada de protocolos de comunicación y recopilación de datos permitirá una gestión más eficiente del sistema SCADA, favoreciendo la resolución rápida de problemas en la producción y optimizando la toma de decisiones operativas.

2.1.2 Formulación del problema

La ausencia de recursos dinámicos interactivos restringe la capacitación en control industrial. La aplicación de un sistema SCADA en una estación multivariable mejora el seguimiento de variables fundamentales, simplificando el aprendizaje práctico y potenciando la comprensión teórica de procesos industriales a través de una plataforma vanguardista y utilizada en la formación técnica.

2.2 BENEFICIARIOS

2.2.1 Beneficiarios directos

Los alumnos y docentes de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

2.2.2 Beneficiarios indirectos

Comunidad de investigación y el sector industrial de Ecuador.

2.3 JUSTIFICACIÓN

Los Sistemas de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) se han vuelto una de las herramientas tecnológicas más relevantes utilizadas a nivel mundial en el sector industrial, ofreciendo datos en tiempo real acerca del estado y el desempeño de los equipos y sistemas dentro de la fábrica. Esto facilita la optimización y la reacción de los procesos industriales [3].

Este proyecto es de gran importancia al crear un instrumento compuesto por elementos específicos para usos industriales, concebido como un recurso didáctico para la formación de técnicos, tecnólogos y profesionales en campos relacionados. A través de esta plataforma, los alumnos tienen la posibilidad de interactuar con los equipos, llevar a cabo actividades prácticas y simular problemas habituales en ambientes industriales reales, ya que la estación

incluye variables constantes como la presión, el flujo, el nivel, la temperatura, el caudal y la frecuencia de la bomba, entre otras.

Uno de los objetivos esenciales de la Estación Multivariable es desempeñarse como un medio educativo en diversas áreas de la instrumentación, automatización y mecatrónica. Las redes de comunicación industrial se destacan por su compatibilidad con protocolos como HART, RS232 y RS485. Además, comprende la configuración de PLC empleando el lenguaje LADDER (escalera), el uso de varios tipos de sensores y la disposición de transmisores para registrar presión, flujo, nivel y temperatura. Adicionalmente, proporciona la opción de crear interfaces hombre-máquina (HMI) y crear sistemas SCADA mediante Intouch de Wonderware. En resumen, la experiencia adquirida con esta estación brindará a los alumnos un fundamento sólido en control industrial aplicado, potenciará su habilidad para analizar y reflexionar, y les facilitará abordar con más efectividad los desafíos que surgen en contextos industriales reales. Por lo tanto, se fomenta un aprendizaje relevante que simplifica la relación entre el saber académico y las exigencias del sector industrial.

2.4 OBJETIVOS

2.4.1 Objetivo General

Elaborar un sistema SCADA de una estación multivariable para la formación de personas en control industrial, facilitando la monitorización de variables como nivel, flujo y presión. Este sistema sirve como una herramienta didáctica para fortalecer la comprensión práctica y teórica de los procesos industriales.

2.4.2 Objetivos Específicos

- Investigar con un estudio bibliográfico sobre el proceso de creación y desarrollo de sistemas SCADA de una Estación Multivariable.
- Diseñar un sistema SCADA para la supervisión y monitoreo de la Estación Multivariable.
- Implementar la automatización necesaria a una Estación Multivariable en laboratorio con el propósito de medición y control.

2.4.3 Sistema de tareas

Estas actividades se llevan a cabo con el fin de cumplir con cada uno de los objetivos específicos establecidos.

En la Tabla 1.1 se muestran las tareas realizadas para el desarrollo del trabajo.

Tabla 2.1 Descripción del sistema de tareas y actividades.

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Investigar con un estudio bibliográfico sobre el proceso de creación y desarrollo de sistemas SCADA de una Estación Multivariable.	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión de literatura científica y técnica sobre SCADA. • Análisis comparativo de diferentes implementaciones de sistemas SCADA. 	Marco teórico contextualizado	Revisión bibliográfica
Diseñar un sistema SCADA para la supervisión y monitoreo de la Estación Multivariable,	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de diagramas P&ID y esquemas de conexión del sistema. • Definición de arquitectura de comunicación y selección de protocolos. 	Plan de desarrollo del sistema SCADA	Observación directa
Implementar la automatización necesaria a una Estación Multivariable en laboratorio con el propósito de medición y control a través de los protocolos de comunicación OPC y MQTT.	<ul style="list-style-type: none"> • Configuración y programación del PLC y sensores. • Pruebas de integración y ajuste de parámetros en el entorno de laboratorio. 	Sistema SCADA para control y monitoreo	Práctica y diseños de la interfaz del sistema

3. MARCO TEÓRICO

3.1 ANTECEDENTES

En el estudio de Brito y Matute [4], titulada "Diseño de un Sistema de Monitorización para una Planta de Tratamiento y Distribución de Agua Potable como parte de un Sistema SCADA en la ciudad de Cuenca", el principal objetivo fue crear un sistema de monitoreo para medir y transmitir los niveles y caudales de agua en puntos clave. Para lograrlo, se empleó un enfoque cuantitativo y aplicado con un diseño de campo, tomando en cuenta las variables relacionadas con el proceso de distribución y almacenamiento del agua potable. El sistema diseñado recopilaba datos sobre el caudal y el nivel del agua mediante sensores situados en cuatro ubicaciones estratégicas, conectadas por antenas. Los datos obtenidos se monitoreaban y almacenaban en un servidor central. Este sistema de monitoreo gestionaba señales provenientes de 13 caudalímetros y 4 sensores de nivel, supervisados desde 4 centros de monitoreo que enviaban los datos a un centro centralizado. Este centro permitía visualizar alarmas, datos, fallos, gráficos y tablas. El sistema SCADA se desarrolló utilizando el software TIA PORTAL V16, logrando la instalación exitosa del centro de revisión central y los cuatro subsistemas de monitoreo distribuidos en cada zona.

Por otro lado, en el trabajo de Almachi y Naranjo [2], denominada "Desarrollo de un Sistema SCADA para una Estación de Bombeo de Agua a Presión Constante", el objetivo fue diseñar e implementar un sistema SCADA para controlar una estación de bombeo de agua a presión constante, con el fin de abordar la carencia de prácticas en automatización y control de procesos industriales mediante el uso de controladores lógicos programables, así como el análisis de adquisición de datos, tanto a nivel local como remoto, según la configuración definida por el usuario. El proyecto se estructuró en tres fases: la primera consistió en la recopilación de información, la segunda se dedicó al diseño de la planta, utilizando el software Inventor para modelar la estructura y realizando un análisis estructural en función de la tensión máxima permitida y la tensión equivalente. En la tercera fase, se definió el funcionamiento del módulo a través de la programación de un controlador proporcional, integral y derivativo (PID) para gestionar la presión en el PLC, y se integró el sistema SCADA en el software Ignition, el cual supervisa y controla la planta mediante comunicación TCP/IP.

El estudio titulado "Implementación de un Sistema SCADA para la Integración de Procesos Industriales basado en un Ambiente de Programación OPEN SOURCE" [16] detalla el diseño y desarrollo de un sistema SCADA que combina tecnologías de hardware y software de código abierto, con el propósito de crear una solución adaptable a los sistemas de producción de las pequeñas y medianas empresas (PYMES). El trabajo de investigación comenzó por realizar una revisión bibliográfica de los componentes propios de un sistema SCADA, para posteriormente recopilar datos sobre los diferentes procesos industriales.

Seguidamente se eligió el hardware central del proyecto; en este caso, la tarjeta microcontroladora Arduino MEGA 2560, la cual permite controlar los procesos y gestionar la información recolectada. A continuación, se diseñó una arquitectura de comunicación que permita interconectar todos los componentes del sistema. En el transcurso de la construcción de los módulos de actuadores y controladores se iniciaron los trabajos a partir del diseño de los modelos CAD en la aplicación Inventor, para posteriormente continuar con la construcción y ensamblaje de los módulos de actuadores y controladores.

En definitiva, este trabajo concluye que sí es posible realizar un sistema SCADA utilizando herramientas software y hardware open source, facilitando, por tanto, que las PYMES puedan acceder a nuevas tecnologías a un coste contenido y logrando así una notable mejora de su proceso de producción.

3.2 CONCEPTOS

3.2.1 Automatización

La automatización puede ser entendida como el conjunto de métodos y tecnologías que son desarrolladas para ayudar a las personas a llevar a cabo tareas rutinarias y repetitivas; el objetivo es precisamente conseguir un equilibrio entre el trabajo que requieren las personas y el que llevan a cabo las máquinas en distintas actividades. En términos sencillos, la automatización industrial permite tanto a las empresas como a los individuos aumentar su productividad y competitividad, ya que esta tecnología favorece la reducción de costos y mejora la calidad de los productos [5]. Algunas de las características clave de la automatización incluyen:

- Permite una mayor exactitud y consistencia en las tareas, dado que las máquinas pueden ejecutar actividades con mayor rapidez y eficacia, lo que resulta en una mejora en la calidad de los productos.
- Cambia el perfil de la mano de obra, sustituyendo labores manuales por personal especializado en campos tecnológicos particulares.
- Mejora el control de los procesos productivos, permitiendo que las empresas monitoreen y gestionen todos los parámetros de producción, lo que facilita la detección y solución de problemas de manera más eficiente.

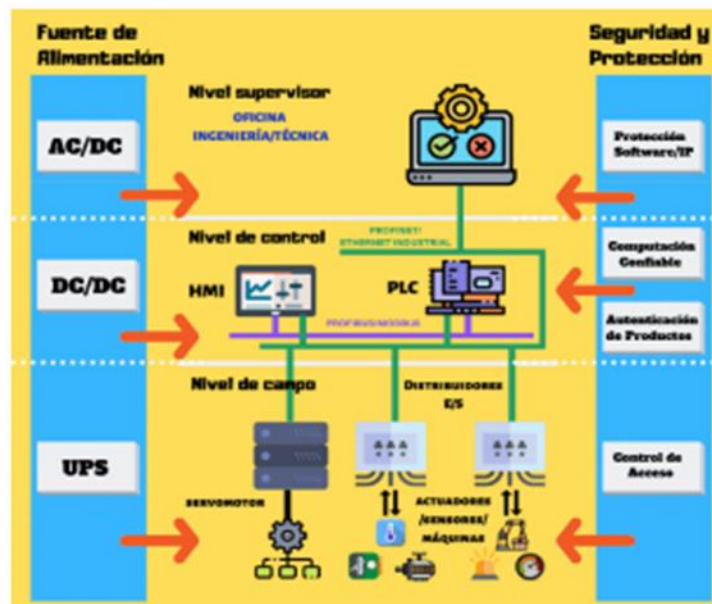


Figura 3.1 Sistema de Automatización Básico
Fuente [5].

La estructura de un sistema de automatización se emplea para detallar los distintos niveles de operación de este. Aunque existen varias formas de representar estos niveles en un proceso de automatización industrial, la más simple y comúnmente empleada es a través del modelo de triángulo jerárquico, el cual muestra los tres niveles típicos presentes en un sistema de automatización industrial [6].

3.2.2 Pirámide de automatización

La pirámide de automatización se utiliza para ilustrar los tres niveles de una aplicación de automatización estándar:

- **Nivel supervisor**

El nivel de supervisión está formado por una unidad central, que puede ser un PC de escritorio, un panel de control o un sistema en formato rack, según los requerimientos específicos de la empresa. Esta unidad central utiliza un sistema operativo convencional junto con un software especializado, generalmente proporcionado por el proveedor, para gestionar el control de los procesos industriales. Su función principal es permitir la visualización y configuración de los procesos [7].

- **Nivel de control**

La presente categoría, correspondiente a un escalón medio de la jerarquía, es la que alberga todos los programas asociados a la automatización. En este sentido, se utilizan controladores lógicos programables (PLC) que otorgan capacidad de procesamiento en tiempo "real" [6]. Normalmente, los PLC incorporan en su interior microcontroladores de 16 o 32 bits y logran trabajar con un sistema operativo por sí mismo que permite cumplir los requisitos de tiempo "real". Por otro lado, los PLC son capaces de realizar conexiones a diversos dispositivos de entrada/salida (E/S) y de comunicarse a través de diferentes protocolos de comunicación industrial [2].

- **Nivel de campo**

El nivel de campo está constituido por los equipos terminales de datos, que establecen la conexión entre los sensores y los actuadores. Los sensores, de hecho, son aquellos dispositivos que permiten medir: temperatura, presión, etcétera; y los actuadores - motores, válvulas, interruptores, etc. Dentro de este nivel los dispositivos generalmente se comunican a través del PLC conectado a un bus campo. La comunicación es directa y se utilizan tanto redes cableadas como redes inalámbricas lo que permite al PLC gestionar no sólo el control, sino que también realizar la gestión de diagnósticos y la parametrización de los diversos componentes [6].



Figura 3.2 Pirámide de Automatización
Fuente: [8].

3.2.3 Sistemas SCADA

Con el constante progreso tecnológico, la globalización y la integración del país en los mercados internacionales, resulta crucial implementar nuevas estrategias de producción que optimicen la productividad y eleven la calidad de los productos, haciendo que estos sean más competitivos. En este marco, las herramientas innovadoras y el desarrollo de software están siendo incorporados en los distintos niveles de los procesos automatizados, lo que contribuye a mejorar tanto su eficiencia como su seguridad [9].

El término SCADA, que corresponde a las siglas en inglés de "Supervisory Control and Data Acquisition" (Control de Supervisión y Adquisición de Datos), hace referencia a un sistema de software diseñado para su funcionamiento en ordenadores, con la finalidad de controlar la producción, permitir la comunicación con los dispositivos de campo y gestionar los procesos de manera automatizada a través de la interfaz de la pantalla del ordenador [2]. Este sistema SCADA también facilita la transmisión de toda la información generada durante el proceso productivo a diversos usuarios, tanto dentro del mismo nivel como a otros supervisores de la empresa, tales como el personal de control de calidad, supervisión y mantenimiento. En este tipo de sistemas, generalmente se dispone de un ordenador encargado de realizar tareas de supervisión, gestión de alarmas y procesamiento de datos. La comunicación entre los dispositivos se establece a través de buses especiales o redes LAN, operando todo en tiempo real. Estos sistemas están diseñados para que el operador de planta pueda supervisar y controlar los procesos de forma eficaz [1]. Las funciones de supervisión y control están estrechamente relacionadas con el software SCADA, que permite al operador visualizar en

la pantalla del ordenador el estado de cada estación remota del sistema, las alarmas activas y tomar medidas físicas sobre equipos ubicados a distancia [2].



Figura 3.3 Sistema SCADA

Fuente: [3].

La estructura fundamental de un sistema SCADA comienza con los controladores lógicos programables (PLC) o las unidades terminales remotas (RTU). Tanto los PLC como las RTU son dispositivos de microcomputación que se encargan de comunicarse con varios equipos, como máquinas, interfaces hombre-máquina (HMI), sensores y otros dispositivos, para luego enviar la información recopilada a los ordenadores que ejecutan el software SCADA. A través de este sistema, el software SCADA procesa, distribuye y presenta los datos, lo que permite a los operadores y demás personal analizar la información y tomar decisiones estratégicas [10].

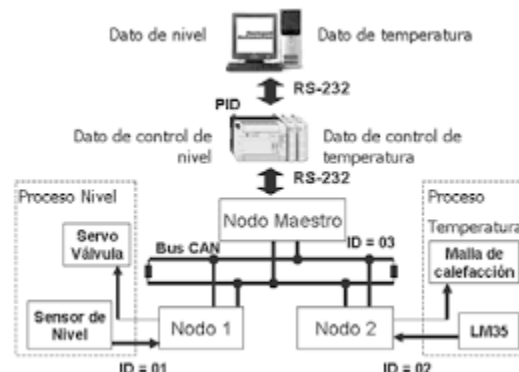


Figura 3.4 Arquitectura básica de un sistema SCADA

Fuente: [1].

Estos sistemas resultan imprescindibles para los procesos industriales, ya que permiten mejorar la eficacia, simplificar el tratamiento de datos para lograr una toma de decisiones más fiable, así como peritar las fallas del sistema para permitir reducir el tiempo de inactividad [9].

Una de sus características más sobresalientes es el de recurrir a gráficos para optimizar su interacción con el usuario. En lugar de usar comandos en el sistema operativo, el sistema SCADA utiliza imágenes e interfaces gráficas que optimizan la ejecución de funciones mediante acciones con un solo clic, selección de opciones en listas desplegables o bien, operar en forma gráfica las aplicaciones en un entorno gráfico de forma intuitiva [9].

3.2.4 Componentes de un sistema SCADA

Los componentes son los elementos físicos que integran un sistema SCADA y se agrupan en dos categorías:

- Software
- Hardware

Software

El software de un sistema SCADA es un programa que se ejecuta en un ordenador y facilita la creación de interfaces entre los operadores y la maquinaria, mejorando la interacción entre los sistemas de control de la planta y los niveles de supervisión. Existen múltiples opciones de software SCADA en el mercado, como Intouch, LabVIEW e Ignition, entre otras. La interfaz HMI puede variar en complejidad, desde simples indicadores luminosos hasta pantallas interactivas detalladas que representan gráficamente el proceso a monitorear, lo que permite una supervisión en tiempo real y más eficiente [10].

- Opc-UA

OPC-UA (Open Platform Communications - Unified Architecture) brinda una interfaz estandarizada para la comunicación que puede realizarse entre productos de diferentes vendedores, y este protocolo proporciona especificaciones estándares para acceso a datos para su utilización en tiempo real (DA), consulta de datos históricos, gestión de alarmas y eventos. Por otro lado, se considera un sistema multiplataforma, ya que no está limitado a funcionar con Windows, lo que promueve el intercambio de información eficiente y uniforme en un abanico de entornos diferentes [4].

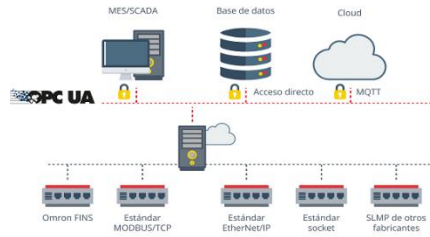


Figura 3.5 Comunicación OPC-UA

Fuente: [4].

Hardware

- Monitor central o MTU

El monitor central, el cual también lleva por nombre MTU (Master Terminal Unit), es el ordenador encargado de supervisar y extraer la información procedente del sistema, ejecutando la función de gestión y control de los procesos automatizados. El sistema incorpora una interfaz HMI, que permite el control completo de la estación desde el SCADA actuando así como el controlador central [2].

Las principales funciones del MTU incluyen:

- Formular interrogaciones periódicas a las RTU y el envío de instrucciones, normalmente dentro de un esquema maestro-operador.
- Servir como interfaz para el operador, mostrando los datos en tiempo real, gestionando las alarmas y extrayendo los datos históricos.
- Correr software específico que ejecute funciones específicas unidas al proceso que se está supervisando por el SCADA [3].



Figura 3.6 Monitor Central o MTU

Fuente: [9].

- Red de comunicación

La red de comunicación es crucial para la transmisión de datos entre la planta y la infraestructura de hardware que respalda el sistema SCADA. Puede estar compuesta por conexiones cableadas o inalámbricas, utilizando diversos protocolos industriales disponibles en el mercado [10]. Además, la comunicación en estos sistemas combina tanto software como hardware, permitiendo la implementación de SCADA sobre redes WAN, lo que facilita el monitoreo y control de procesos en ubicaciones remotas.



Figura 3.7 Red de Comunicación

Fuente: [3].

- Instrumentos de Campo

Los instrumentos de campo son esenciales para la automatización y el control de sistemas, incluyendo actuadores, PLC y otros controladores lógicos programables, los cuales gestionan la información del sistema. La configuración de los sistemas SCADA varía según el fabricante, lo que influye en la selección de componentes como RTU, routers, software de supervisión e interfaces operativas, así como en la gestión de las posibles pérdidas del sistema [1].

- Redes de comunicación industrial

Las redes de comunicación industrial son la base de la automatización, proporcionando la capacidad de poder comunicar de forma eficiente los datos, aumentando la capacidad de control y la flexibilidad de múltiples dispositivos interconectados [8]. En el último período de la década pasada la aplicación de redes digitales de dominio privado en el área industrial ha llegado a mejorar la garantía de la precisión de las señales digitales y la exactitud y la fiabilidad de célula en todo el proceso.

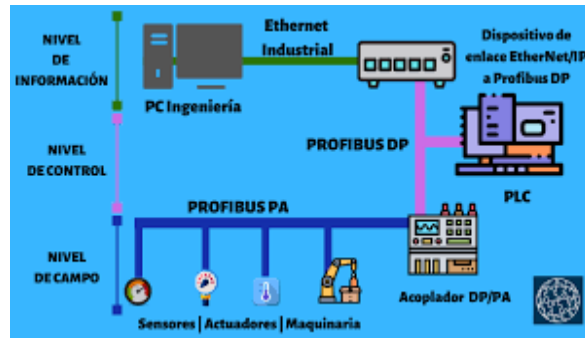


Figura 3.8 Red de Comunicación Industrial.

Fuente: [5].

Las redes de comunicación industrial promueven las tareas de intercambio de sistemas de control, facilitan la conexión de los equipos de campo, establecen la interacción de los distintos PLC entre ellos y facilitan su interacción con los ordenadores personales. Las computadoras personales desempeñarán roles fundamentales proporcionando la interfaz al usuario, además de procesar, almacenar y administrar la información [4].

- Protocolo MODBUS

El MODBUS opera siguiendo una arquitectura maestro-esclavo ya que el maestro envía una petición al esclavo y éste espera la respuesta. Este paradigma permite que el maestro controle totalmente la circulación de la información, y, por tanto, ello es un punto a favor en las antiguas redes seriales multipunto. En resumen, se podría afirmar que el MODBUS es el protocolo de comunicaciones industriales que se utiliza para intercambiar órdenes de lectura y escritura entre dispositivos [1].

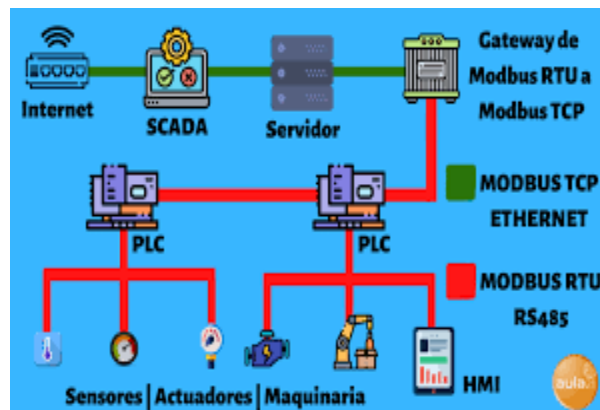


Figura 3.9 Protocolo MODBUS.

Fuente: [11].

- Modbus RTU & Modbus TCP/IP

Modbus RTU y Modbus TCP/IP son protocolos comúnmente usados en medio de la automatización industrial para la comunicación entre dispositivos. El primero de estos protocolos utiliza conexión en serie, por el contrario, el segundo, destaca para el estándar de redes Ethernet. Modbus RTU trabaja con el estándar de comunicación serie RS-485 de la arquitectura maestro-esclavo, y el intercambio de los datos binarios es secuencial para todos los equipos conectados a la red. Modbus TCP/IP utiliza el protocolo Modbus sobre una red IP, en la que estas redes Ethernet y TCP/IP son las que permiten la comunicación, donde la interpretación de los datos binarios se realiza mediante el formato ASCII y se ejecutan por medio del protocolo TCP/IP [12].

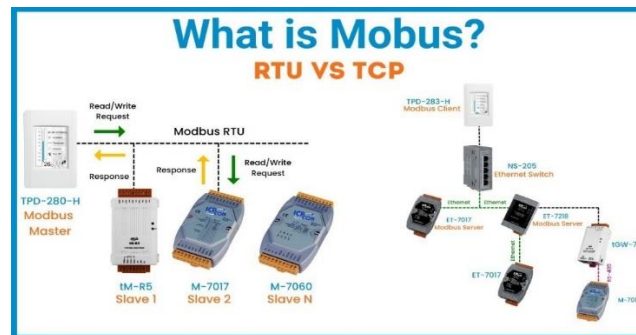


Figura 3.10 Modbus RTU & Modbus TCP/IP.

Fuente: [12].

- Protocolo Internet (IP)

El protocolo Internet (IP) es un conjunto de normas que permite enviar datos de los diferentes equipos que están interconectados a la red. Se trata del protocolo fundamental para la comunicación en la red Internet. Este protocolo es de forma no orientada a la conexión, esto es, que los paquetes de información pueden viajar por diferentes caminos de la red hasta llegar al destino. Se basa en datagramas, es decir, en paquetes de datos que pueden dividirse en fragmentos cuando es necesario [4].

3.2.5 Objetivos de los Sistemas SCADA

Los sistemas SCADA están diseñados principalmente para la supervisión y el control de procesos industriales [4]. Sus principales propósitos incluyen:

- Eficiencia operativa: Permite la supervisión remota de las instalaciones desde una oficina, reduciendo la necesidad de desplazar personal al sitio.
- Control y ajuste: Facilita la modificación de los parámetros de operación de los generadores, desactivando aquellos que presenten anomalías.
- Optimización del mantenimiento: Recopila y almacena datos del proceso para su análisis, presentándolos de manera accesible incluso para usuarios sin experiencia técnica.
- Interacción intuitiva: Mejora la usabilidad del sistema, minimizando dificultades en la relación entre el operador y la interfaz.
- Análisis y gestión de datos: Proporciona herramientas estadísticas y visuales para evaluar la información y optimizar el rendimiento del sistema.
- Adaptabilidad: Permite realizar cambios en la visualización sin modificaciones físicas ni instalación de cableado adicional, agilizando las actualizaciones.
- Interoperabilidad: Fomenta el uso de estándares abiertos que facilitan la integración sin restricciones ocultas para los desarrolladores.
- Visualización en tiempo real: Muestra información relevante para los operadores, como temperatura y velocidad, de manera instantánea.
- Supervisión y adquisición de datos: Monitorea los procesos industriales y ofrece herramientas que respaldan la toma de decisiones estratégicas.
- Seguridad de la información: Garantiza la protección de los datos transmitidos y recibidos, evitando interferencias o accesos no autorizados.

3.2.6 Prestaciones de Sistemas SCADA

Un sistema SCADA debe ser capaz de proporcionar el funcionamiento siguiente:

- Generación de paneles de alarma, que requieren la intervención del operador para indicar interrupciones o estados de alarma, y además debe poder registrar incidencias.
- Generación de datos históricos de las señales de planta y que serán exportables para realizar análisis utilizando herramientas como las hojas de cálculo.
- Ejecución de programas que permiten modificar la ley de control, e incluso eliminar o modificar las funciones relacionadas con el autómatas dadas ciertas condiciones.
- Programación numérica, que permite ejecutar operaciones aritméticas [10].

3.2.7 Requisitos para Sistemas SCADA

Antes de elegir un sistema SCADA, es preciso analizar una serie de requisitos fundamentales:

- **Arquitectura flexible:** Debe tener un diseño abierto que permita su ampliación y adaptación a nuevas características necesarias del proceso y la planta.
- **Facilidad de instalación y programación:** La implementación ha de ser sencilla, con interfaces gráficas sencillas que representen el proceso de forma clara y precisa.
- **Captura y transmisión de datos:** El sistema debe garantizar la recogida de la información proveniente de todos los equipos y la comunicación con el resto de la planta y con el exterior.
- **Usabilidad y eficiencia:** Los programas deben ser de fácil instalación, con bajos requerimientos de hardware y una interfaz amigable para el usuario [9].

3.2.8 Ventajas de los Sistemas SCADA

Un sistema SCADA va más allá de simplemente mostrar el estado de una instalación en una pantalla. Integra funciones de control y regulación, sistemas de comunicación y herramientas de software que aseguran un rendimiento eficaz y seguro [4]. Entre sus principales ventajas se encuentran las siguientes.

- **Desarrollo accesible:** Los actuales paquetes de visualización facilitan la generación de aplicaciones funcionales sin requerir de habilidades técnicas avanzadas en el campo.
- **Alta resistencia:** Los sistemas PLC se han diseñado para funcionar en circunstancias difíciles, asegurando robustez y confiabilidad en el proceso de control.
- **Versatilidad en la integración:** Estos sistemas pueden ser interconectados con una extensa variedad de sensores y actuadores, gracias a tarjetas de adquisición que simplifican su conexión.
- **Diagnóstico eficiente:** Los instrumentos sofisticados para la identificación de errores facilitan la detección rápida de fallos, lo que ayuda a disminuir los periodos de parada y los gastos relacionados con el mantenimiento.

- **Autonomía operativa:** Un sistema de control remoto tiene la capacidad de funcionar de forma autónoma, incluso si se pierde el enlace con la estación central, lo que potencia su eficacia.
- **Documentación clara:** Es posible registrar los programas de control de forma organizada, lo que simplifica su entendimiento y gestión por el personal de mantenimiento.
- **Soporte técnico detallado:** Contamos con manuales de usuario y documentación técnica que aseguran una correcta gestión del sistema por técnicos externos.
- **Acceso remoto:** Gracias a la tecnología web, se puede monitorear y gestionar el sistema desde cualquier sitio, lo que facilita el control y supervisión del sistema desde cualquier sitio, lo que mejora significativamente la flexibilidad operativa [4].

3.2.9 Control PID

El control PID opera mediante un lazo de retroalimentación destinado a controlar velocidades, temperaturas, presiones, flujos y un largo etcétera. Su funcionamiento se basa en la forma de obtener la diferencia entre el valor medido y el valor deseado, ajustándose la salida del correspondiente sistema a tal efecto y con el fin de minimizar esa diferencia [1].

El controlador PID está conformado por tres componentes esenciales:

- **Acción proporcional (P)**

Indica la diferencia entre el valor actual y el valor deseado, realizando el correspondiente cambio proporcional a dicha diferencia.

- **Acción integral (I)**

Acumula el error de regulación durante todo el proceso de manera tal que la correspondiente corrección se realice con mayor precisión.

- **Acción derivativa (D)**

Actúa en la forma predictiva, corrigiendo el correspondiente error antes de que éste se magnifique considerablemente, basándose en la velocidad que adopta el estado de cambio del error.

3.2.10 Métodos de Sincronización PID

Los métodos de sintonización PID se pueden clasificar en dos grupos, el lazo abierto y el lazo cerrado. Los métodos de sintonización PID más utilizados son los siguientes:

- **Método de Ziegler-Nichols**

Permite la sintonización de un regulador PID sin disponer de las ecuaciones sistemáticas del procedimiento.

- **Método de oscilación**

Permite que el sistema o procedimiento oscile hasta llegar al límite de estabilidad.

- **Método de prueba y error**

Se utiliza para modificar los parámetros del controlador PID en un sistema real, a través de la observación y las modificaciones sucesivas.

- **Control interno del modelo**

Emplea un modelo PID para la sincronización del sistema.

- **Variación de sintonización automática**

Es un procedimiento que modifica de manera automática los parámetros del controlador PID de acuerdo con el comportamiento dinámico.

Tabla 3.1. Método de Ziegler-Nichols

CONTROLADOR	K_C	T_I	T_D
P	$K_{CU}/2$	∞	0
PI	$K_{CU}/2.2$	$\tau_u/1.2$	0
PID	$K_{CU}/1.7$	$\tau_u/2$	$\tau_u/8$

Fuente:[13].

3.2.11 Estación Multivariable

Una estación multivariable ofrece un diseño avanzado que permite la incorporación de múltiples sistemas tecnológicos, donde el sistema utiliza instrumentos de marcas reconocidas por su alta fiabilidad, hecho que también incrementa el presupuesto de los equipos. Esta estación multivariable permite la gestión de cuatro variables (temperatura, nivel, caudal y

presión) en forma simultánea o en forma independiente al igual que en las estaciones de tipo industrial, con la utilización de un Controlador Lógico Programable (PLC) o un controlador industrial Foxboro T640. Para el funcionamiento de una estación de esta naturaleza es necesaria una correcta configuración de esta, que a su vez permita la práctica de otros lazos de control desde cualquiera de estos dispositivos [3].

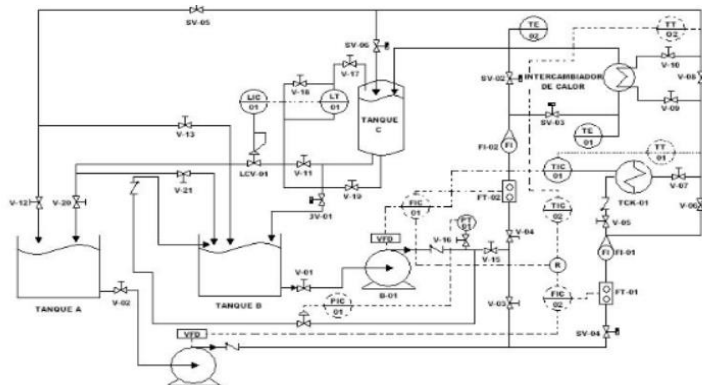


Figura 3.11 Estación Multivariable.
Fuente: [3].

3.2.11.1 Variable Nivel

La determinación del nivel es indispensable en el ámbito industrial, dado que no solo nos garantiza un funcionamiento correcto en la que se lleva el proceso, sino en el equilibrio adecuado de materias primas o productos [1].

La fusión de los instrumentos electrónicos (de microprocesadores) que determinan la presión o la temperatura, le da "inteligencia" a la determinación del nivel, logrando mediciones muy precisas, con una certeza de $\pm 0,2$. Esto es particularmente útil en el control del inventario de materias primas o productos finales almacenados en los tanques del proceso [3].

El transmisor de nivel "inteligente" también mejora la interpretación precisa del nivel real, elimina las alarmas erróneas y permite una calibración fácil en cualquier punto de la línea de transmisión [1].

3.2.11.2 Variable Presión

La presión es la fuerza ejercida sobre una unidad de área y se puede medir en distintas unidades, como pascal, bar, atmósferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi [1]. En el ámbito industrial, los tipos de presión más utilizados en el mundo industrial suele ser:

- Presión absoluta: se mide con la de referencia de cero absoluto de presión.

- Presión atmosférica: aquella que ejerce la atmósfera terrestre y que se mide con un barómetro. En el nivel del mar, la presión atmosférica es de aproximadamente 760 mm de mercurio, y es así como se asigna el valor que se considera el estándar de la presión atmosférica.
- Presión relativa: se denomina comúnmente la diferencia que hay entre la presión absoluta y la presión atmosférica local en el momento que se realiza la medición. Cabe destacar que modificaciones en las medidas presurales del ambiente atmosférico local podrían condicionar en mayor o menor medida la medida en cuestión, si bien este efecto no juega un papel relevante cuando las presiones registradas son elevadas.
- Presión diferencial: se refiere a la diferencia que encontramos entre dos valores de presión.
- Vacío: describe la diferencia que hay entre la presión atmosférica y la presión absoluta, es decir, aquella que se encuentra a medida que se mide por debajo de la atmosférica.

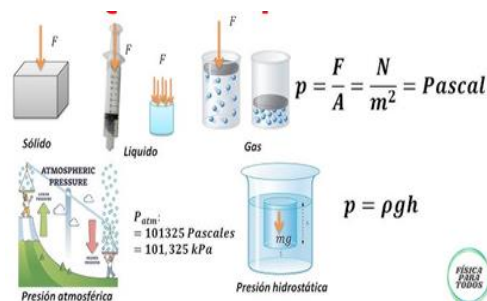


Figura 3.12 Variable Presión.
Fuente: [1].

3.2.11.3 Variable Flujo

La dinámica de fluidos: las imágenes a alta velocidad son fundamentales para la medición y visualización del comportamiento de líquidos, gases y plasmas en movimiento. El flujo se refiere a la forma en que los fluidos se moverán y cómo deberán interactuar con su propio entorno, pudiendo ser en estado constante o ser inestable, siendo laminar o turbulento. El flujo laminar es aquel más suave y estable y el turbulento es más caótico y menos predecible [4].

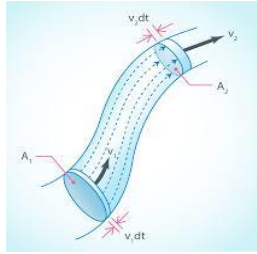


Figura 3.13 Variable Flujo.
Fuente: [1].

3.2.12 Software SCADA Ignition

Ignition es una plataforma de automatización industrial que permite llevar a cabo la integración y supervisión de sistemas industriales de una manera eficiente y escalable. Este software, implementado como solución de tecnología SCADA, se presenta como una herramienta para progresar en materia de productividad y flexibilidad en el ámbito industrial [3].



Figura 3.14 Software SCADA Ignition

Fuente: [10].

Las características principales de este software incluyen:

- Arquitectura orientada a web y abierta: Facilita la integración con distintos sistemas y dispositivos además de permitir el acceso remoto a través de navegadores típicos.
- Escalabilidad ilimitada: Se adapta a proyectos de cualquier tamaño, sin generar costos adicionales por número de clientes o tags.
- Plataforma unificada: Integra funcionalidades de SCADA, HMI, MES (Sistema de Ejecución de Manufactura) e IoT (Internet Industrial de las Cosas) en una única herramienta.
- Compatibilidad multiplataforma: Funciona en sistemas operativos Windows, Linux y macOS.
- Licenciamiento flexible: Ofrece opciones de licenciamiento sencillas y económicas.

Estas características hacen de este software una solución robusta y versátil para la automatización industrial, ayudando a las empresas a optimizar sus procesos y mejorar la toma de decisiones.

3.2.13 Comunicación OPC

El sistema OPC representa un estándar de interfaz de software que facilita la comunicación entre aplicaciones de Windows y dispositivos industriales. Se ha convertido en el protocolo más utilizado para la conectividad de datos, permitiendo así la interacción entre controladores, dispositivos, aplicaciones y otros sistemas basados en servidores para el intercambio de información [10]. En el ámbito de la automatización en fábricas, se emplean una variedad de controladores y dispositivos provenientes de diferentes proveedores, los cuales utilizan protocolos distintos. Estos elementos son fundamentales para la integración con sistemas empresariales o de gestión, como los ERP (Planificación de Recursos Empresariales) y MES (Sistemas de Ejecución de Manufactura) [2]. De esta manera, OPC crea un entorno que facilita el acceso a datos en tiempo real desde la planta, independientemente del fabricante de los dispositivos [2]. Además, este sistema posibilita la comunicación entre equipos de distintas marcas, actuando como un conector entre diversas fuentes de datos, que incluyen controladores lógicos programables (PLCs), sensores, actuadores, sistemas SCADA, aplicaciones HMI (Interfaz Hombre-Máquina), unidades terminales remotas (RTUs) y servidores de bases de datos, entre otros. Por su parte, el software cliente se refiere a cualquier programa que necesite conectarse al hardware, utilizando un servidor OPC para obtener datos o enviar comandos a dicho hardware [1].

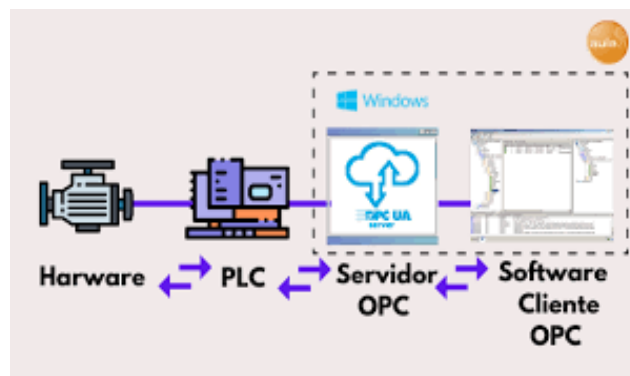


Figura 3.15 Comunicación OPC.

Fuente: [4].

3.2.14 Protocolo de Comunicación MQTT

El protocolo MQTT es una norma de mensajería que sigue unas condiciones y se usa para la comunicación entre dispositivos. Dispositivos como pueden ser sensores inteligentes, dispositivos portables y otros de Internet de las Cosas (IoT) necesitan enviar y recibir datos a través de redes con recursos limitados, y con un ancho de banda muy restringido. Para ello utilizan MQTT, ya que es muy sencillo de implementar y hace posible una transmisión eficiente de datos de IoT [1].

El protocolo MQTT funciona bajo los principios del modelo de publicación y de suscripción. En lugar de comunicarse de forma tradicional cliente-servidor, en el que los clientes solicitan información y en respuesta el servidor remite información directamente, MQTT desacopla al emisor del mensaje (publicador) del receptor (suscriptor). En lugar de una comunicación directa, un tercer componente, conocido como agente de mensajes, gestiona el intercambio de información entre publicadores y suscriptores. Su función precisamente es la de filtrar los mensajes que llegan a través de los publicadores y su distribución a los suscriptores [10].

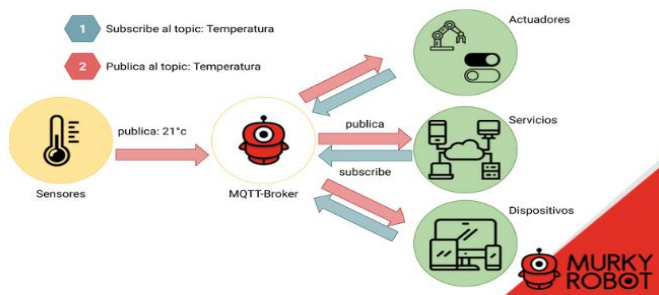


Figura 3.16 Protocolo de Comunicación MQTT.
Fuente: [4].

3.2.15 Software NODE-RED

Node-RED es una plataforma de programación que permite integrar dispositivos de hardware o APIs o servicios en línea de forma fácil. La herramienta ofrece un editor que se invoca desde el navegador & que permite trabajar con "flujos" de los varios componentes. La herramienta incorpora una larga lista de nodos que se pueden introducir "on-the-fly" mientras se ejecuta el software con un simple clic [19]. La herramienta permite conectar bloques de forma visual, conocidos como nodos, que gestionan tareas determinadas. La interacción de nodos de entrada, procesamiento y salida es lo que se conoce con el término "Flow". Los nodos disponibles incluyen protocolos estándar como MQTT, REST, Modbus, OPC-UA,

Bacnet, WebSocket, además de integraciones con APIs de terceros como Microsoft Azure, Amazon web services, Twitter, Facebook, entre otros [19].

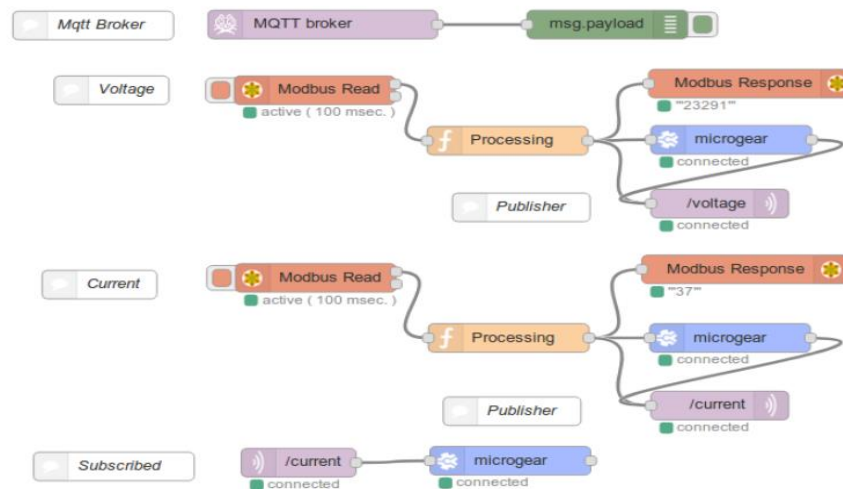


Figura 3.17 Node-RED.
Fuente: [6].

3.2.16 Norma ISA S101

La norma ISA S101 establece un conjunto de recomendaciones para el diseño, desarrollo, implementación y el mantenimiento de interfaces hombre-máquina (HMI) en los sistemas de automatización de procesos industriales. Su objetivo general es proporcionar una interfaz de manera que la interacción entre los operadores y los sistemas de control se realice de forma óptima y que la información se presente de manera clara, estructurada y accesible permitiendo la toma de decisiones operativas en tiempo real [19]. Entre los principales objetivos de la norma se pueden mencionar la mejora de la eficiencia de la operación, el aumento de la seguridad en la operación de los procesos, la reducción del riesgo de errores humanos y garantizar la usabilidad de los sistemas. Para ello la norma define principios básicos que deben cumplir las interfaces gráficas en los entornos industriales asegurando que sean intuitivas, informativas y funcionales [20].

3.2.16.1 Principios Fundamentales de la ISA 101

La norma ISA 101 se sustenta en unos principios admirables, que sirven para desarrollar de una manera adecuada las interfaces hombre-máquina [20]. Entre los principios más destacados se incluyen:

- Jerarquía de la Información: Disposición ordenada de todos los datos, destacando lo más importante y haciéndola asequible mediante un orden y un formato ordenado y convenientemente elaborado.
- Patrones de Navegación: Usar patrones de navegación que ayuden a acceder a la información exigida y a reducir la carga cognitiva de los operadores.
- Retroalimentación Visual: Proporcionar la retroalimentación visual de manera inmediata a partir del estado del sistema, para que los operadores estén al corriente de un cambio que haya tenido lugar o de un error que haya surgido.
- Simplicidad y Claridad: Lo más importante es conseguir que la información se muestre de forma sencilla y clara, para no dar la sensación de abrumar al operador con datos innecesarios, complejos o confusos.
- Personalización: Posibilidad de personalizar y adaptar las interfaces a los operadores según sus preferencias e individualidades, cuando sea necesario.

3.2.17 MatLab

Matlab se ha convertido en una herramienta indispensable para la implementación de sistemas SCADA en la solución de estaciones multivariables, tanto en la creación como en la ejecución de control avanzados, debido a su alta versatilidad, ya que permite la realización de cualquier fase autónoma, desde la modelación hasta el proceso de supervisión en tiempo real [17]. Un ejemplo ilustrativo, en donde se realizó el diseño y la implementación SCADA utilizando la herramienta Matlab App Designer para el diseño de un sistema híbrido de energía. En esta implementación se emplearon terminales remotas (RTU) a partir de Arduino Mega 2560, donde interactuaron actuadores para los diferentes parámetros del sistema y la medición de los parámetros fundamentales del sistema como la corriente y el voltaje. La interfaz principal para el monitoreo se basó en el Matlab App Designer, lo que posibilitó la adquisición, procesamiento de datos y visualización en tiempo real [17]. Matlab también alberga herramientas listas para usar que permiten la puesta a punto automática de controladores multivariables y la implementación de estrategias de control más complejas tales son el control predictivo por modelos, el control robusto y la intervención del sistema de control mediante retroalimentación [18].

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 DIAGRAMA DE FLUJO

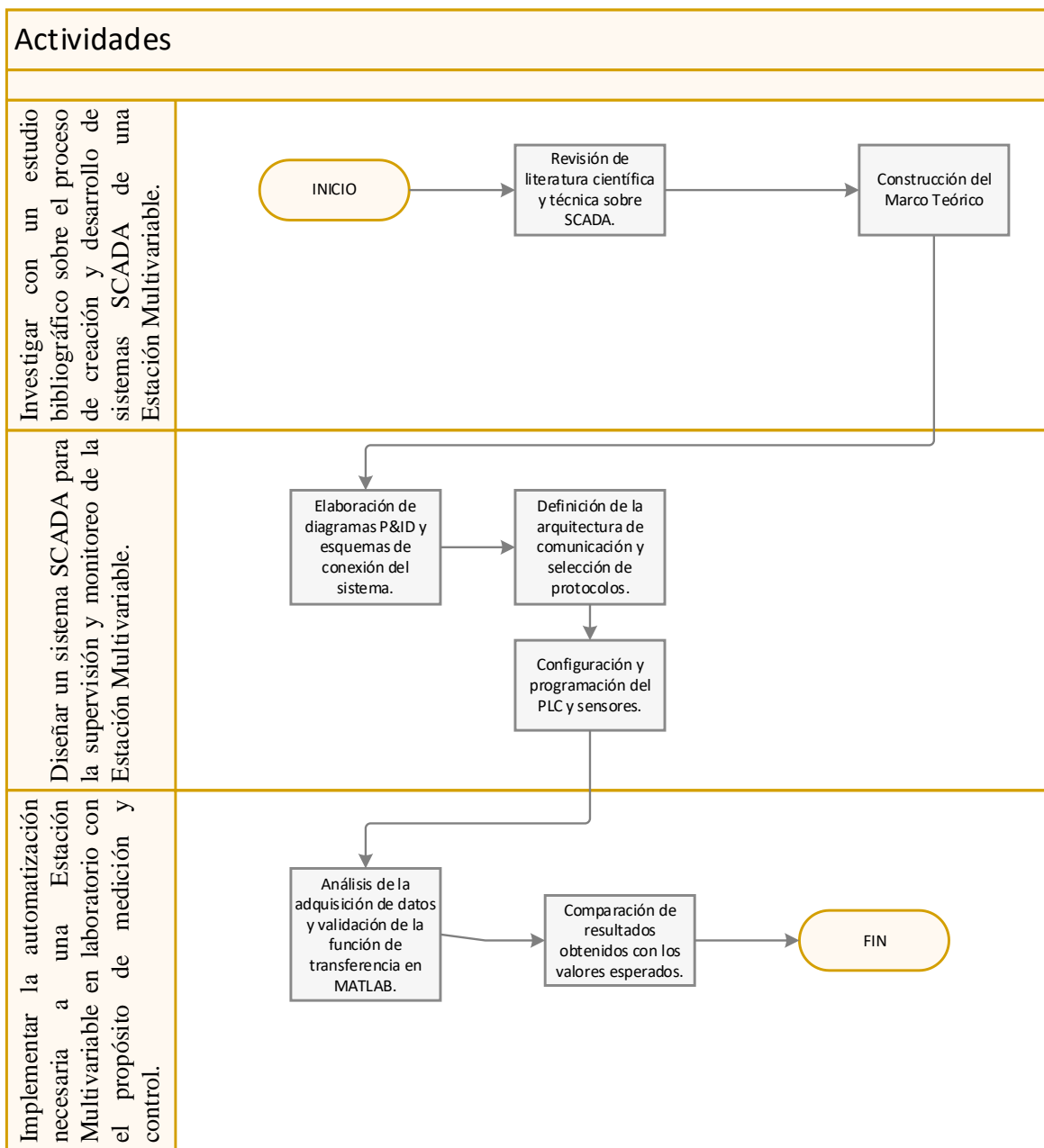


Figura 4.1. Diagrama de flujo

4.2 DEFINICIÓN DE VARIABLES

4.2.1 Variable dependiente

Funcionamiento de un sistema SCADA de una Estación Multivariable, mediante las comunicaciones cable Ethernet, OPC y MQTT.

4.2.2 Variable independiente

Control y monitoreo de varios procesos

Tabla 4.1. Control y monitoreo de procesos

Variables Independientes	Unidad de medida	Instrumento de medición
Nivel	cm	Sensor nivel
Flujo	l/min	Sensor flujo
Presión	Psi	Sensor presión

4.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

En el ámbito de la investigación sobre sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), la elección del método variará según los objetivos específicos del estudio. Para aquellos enfocados en el control de variables como el nivel, flujo y presión, se utilizan enfoques analíticos, cuantitativos, de simulación y experimentales.

4.3.1 Investigación Analítica

Este enfoque se basa en un análisis meticuloso de los datos obtenidos a través del sistema SCADA, utilizando herramientas matemáticas y estadísticas. Su objetivo es identificar patrones, detectar anomalías y anticipar posibles fallas en el sistema de control, lo que resulta en una optimización de su eficiencia y confiabilidad.

4.3.2 Método Cuantitativo

El método cuantitativo se enfoca en la recopilación y el análisis de datos numéricos, los cuales son generados por los sensores de nivel, flujo y presión, así como por otros componentes que forman parte del sistema SCADA. A través de esta evaluación, es posible medir el rendimiento del sistema y ajustar los parámetros necesarios para mejorar su funcionamiento.

4.3.3 Método de Simulación

La simulación es un enfoque que utiliza software especializado, como Ignition, para modelar el comportamiento del sistema SCADA bajo diversas condiciones, sin interferir con su operación real. Este método permite evaluar diferentes estrategias de control y detectar áreas de mejora en la configuración del sistema.

4.3.4 Método Experimental

Este enfoque consiste en llevar a cabo pruebas reales de control y monitoreo de las variables de nivel, flujo y presión, con el fin de evaluar la capacidad del sistema y asegurar una regulación precisa de los niveles y flujos, así como una medición efectiva de la presión. Estas pruebas se realizan de manera individual, siguiendo estrictos protocolos de comunicación a través de cable Ethernet. El PLC se comunica utilizando el protocolo OPC UA para la transferencia de datos entre la interfaz y el sistema SCADA.

4.4 TIPOS DE INVESTIGACIÓN

4.4.1 Técnica de observación

En este tipo de estudio, se analizan y profundizan en los hechos, circunstancias, atributos y elementos del objeto de investigación, o se elaboran productos, modelos, prototipos y manuales. Sin embargo, no se exploran las razones o explicaciones de los fenómenos que se observan.

4.4.2 Técnica de medición

Este procedimiento se enfoca en recopilar y examinar los datos de cada variable para garantizar un correcto control y monitoreo. La evaluación de la variable de nivel se lleva a

cabo en una escala de 0 a 100 cm, la variable de flujo en un rango de 0 a 1 l/min, y la variable de presión en un rango de 0 a 50 psi.

4.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Los tableros de automatización para las variables de nivel, flujo y presión están equipados con sensores y válvulas físicas que generan señales normalizadas de 0 a 5 V y 4 a 20 mA. Estas características permiten la parametrización de las señales para un control preciso del sistema. En este caso, los sensores de los tableros están conectados a entradas de control con corrientes nominales de 0 a 20 mA, mientras que una válvula proporcional opera en un rango de 0 a 5 V. Tanto los sensores como la válvula son gestionados por un PLC, junto con sus cánones de expansión para accesos y salidas analógicas.

4.5.1 Comunicación cable Ethernet

La comunicación mediante cable Ethernet es una de las más utilizadas para la transmisión de datos en entornos industriales, ya que permite la interacción a través de protocolos como PROFINET, Ethernet/IP y Modbus TCP. Estas formalidades permiten un intercambio de información eficiente entre el PLC y otros sistemas en la red, mejorando así la integración con los sistemas SCADA. Gracias a esta conexión, es posible realizar un monitoreo en tiempo real, diagnosticar fallas de manera eficiente y mejorar el control de los procesos industriales.

4.5.2 Comunicación OPC

El protocolo OPC funciona como un enlace para la transferencia de datos entre el PLC, los sensores y software de supervisión como Ignition SCADA. Facilita la obtención de información en tiempo real, permitiendo el monitoreo, análisis y control de variables como nivel, flujo y presión dentro de un sistema SCADA.

4.5.3 Sensores analógicos (4-20 mA)

Los sensores analógicos de 4-20 mA son normalmente utilizados en los sistemas de automatización industrial debido a la capacidad de medir variables físicas como presión, flujo y nivel. Estos sensores son los encargados de convertir magnitudes físicas en señales de corriente, la amplitud de estos está dentro de un rango de 4-20 mA, siendo estos los intervalos de los valores que se quieren medir, los sensores de corriente son menos susceptibles al ruido

en comparación con los del voltaje, lo que ayuda a tener una mejor lectura de la señal y que el sistema SCADA se más eficiente.

4.5.4 Módulo de entradas analógicas SM 1231 pedido 6ES7231-4HD30-0XB0

Este equipo se emplea para mejorar las funcionalidades de los controladores lógicos programables, como el PLC Siemens S7-1200, cuenta con cuatro canales de entradas analógicas, lo que permite la conexión de sensores como presión, flujo y nivel de forma simultánea en el rango de 4-20 mA en corriente o de 0 a10 V en voltaje. Su integración al PLC facilita la adquisición de datos analógicos, así garantizando la operación eficiente en el control y monitoreo de variables físicas como son los sensores.



Figura 4.2 Módulo de entradas analógicas SM 1231 pedido6ES7231-4HD30-0XB0

4.5.5 Módulo de Salida analógica SM 1232 6ES7232-4HD32-0XB

El módulo de salidas es clave para el sistema SCADA, está diseñado para gestionar señales de salidas analógicas, cuenta con cuatro canales de salida configurables de 4 a 20 mA o de 0 a 10 V, permitiendo controlar hasta cuatro dispositivos externos como la válvula proporcional, variador u otro tipo de sensores. Se comunica con el PLC S7-1200 atreves de PROFINET, esto ayuda a la transmisión rápida y confiable de las señales hacia los dispositivos controlados.



Figura 4.3 Módulo de Salida analógica SM 1232 6ES7232-4HD32-0XB.

4.5.6 Válvula proporcional 0-5V 2 vías Modelo TFA20-M-C para el control de modulación del agua.

Calve para el controlar y regular cualquier tipo de variable d control como flujo, presión y nivel. La válvula regula el flujo de agua de manera proporcional a la señal de control recibida, permitiendo así un ajuste fino de la cantidad de agua, se utiliza en sistemas de calefacción o refrigeración, y también en procesos de automatización industrial.



Figura 4.4 Válvula proporcional 0-5V 2 vías Modelo TFA20-M-C.

4.5.7 Variador de frecuencia MICROMASTER 420

EL variador de frecuencia Micromaster 420 se utiliza para el control de motores eléctricos conectándolo con el PLC, tiene un papel importante en el sistema SCADA, dado que desempeña un papel fundamental en la optimización del uso de energía y el incremento del rendimiento del sistema de control, estableciendo comunicación con el sistema mediante el protocolo industrial PROFIBUS, permitiendo supervisar el ajuste remoto de la velocidad de nuestra bomba de agua o motor eléctrico.



Figura 4.5 Variador de frecuencia MICROMASTER 420

4.6 METODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.6.1 Estación de nivel, flujo y presión desde aquí empieza

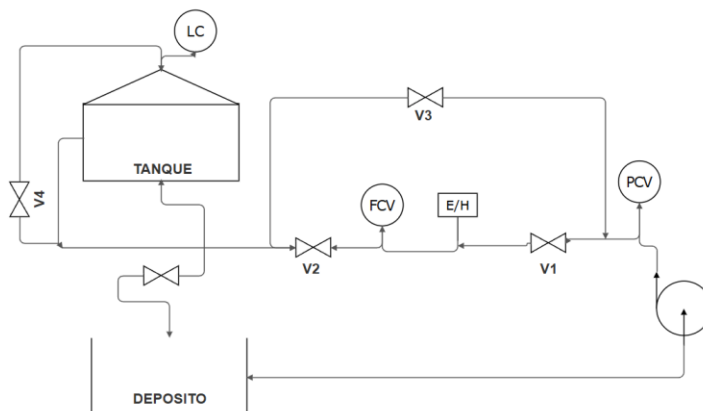


Figura 4.6 Diagrama P&ID ISA estación multivariable de nivel, flujo y presión

Señales Estación de Nivel

- **Señal de control (Control Value):** La señal analógica que interviene el variador en un rango de 0 a 10 V, para poder acelerar o desacelerar la bomba que se encuentra en el tablero práctico.
- **Señal de proceso (Process Value):** Es la señal que corresponde a la lectura del PID de nivel en un rango de 4 a 20 mA, este rango se da por el sensor de nivel físico del tablero práctico.
- **Señal de consigna (Set Point):** Se controla directamente desde la interfaz del sistema SCADA, representa el valor deseado al que debe llegar para mantener el proceso bajo control

Señales Estación de Flujo

- **Señal de control Variador (Control Value):** La señal analógica que interviene el variador en un rango de 0 a 10, para poder acelerar o desacelerar la bomba que se encuentra en el tablero práctico.
- **Señal de control Válvula proporcional (Control Value):** La señal analógica que controla la válvula proporcional en un rango de 0 a 5, para poder abrir y cerrar la misma.

- **Señal de proceso (Process Value):** Es la señal que corresponde a la lectura del PID de flujo en un rango de 4 a 20 mA, este rango se da por el sensor de flujo físico del tablero práctico.
- **Señal de consigna (Set Point):** Se controla directamente desde la interfaz del sistema SCADA, representa el valor deseado al que debe llegar para mantener el proceso bajo control

Señales Estación de Presión

- **Señal de control Variador (Control Value):** La señal analógica que controla el variador en un rango de 0 a 10, para poder acerar o desacelerar la bomba que se encuentra en el tablero práctico.
- **Señal de control Válvula proporcional (Control Value):** La señal analógica que controla la válvula proporcional en un rango de 0 a 5, para poder abrir y cerrar la misma.
- **Señal de proceso (Process Value):** Es la señal que corresponde a la lectura del PID de nivel en un rango de 4 a 20 mA, este rango se da por el sensor de flujo físico del tablero práctico.
- **Señal de consigna (Set Point):** Se controla directamente desde la interfaz del sistema SCADA, representa el valor deseado al que debe llegar para mantener el proceso bajo control.

4.6.2 Sobre impulso (PEM%) en los controles PID

Las técnicas de ajuste y control se diferencian por su eficiencia para equilibrar la respuesta de un sistema, evaluando la magnitud de las oscilaciones iniciales en relación con el valor objetivo. Es crucial comprender la interacción entre el punto de referencia y la amplitud máxima de la oscilación para evitar posibles daños o pérdidas en los procesos industriales. Particularmente en sistemas de control de nivel, un sobre impulso excesivo podría provocar el desbordamiento del líquido contenido.

$$PEM\% = \frac{U(s)}{Y(s)} * 100\% - 100\% \quad (4-1)$$

4.6.3 Programación

El proceso necesita acatar determinados parámetros para que su funcionamiento se adecue.

- Abrir la válvula manual de la tubería secundaria, para la variable de nivel se debe
- Al controlar la variable de nivel la presión se mantendrá constante hasta llegar al nivel deseado, no existirá variación en la variable de flujo ya que la válvula proporcional se encuentra completamente cerrada.
- El variador de frecuencia será el único encargado de regular la velocidad de la bomba basándose en el nivel al que se quiere llegar.
- Al controlar la variable de presión se debe cerrar la válvula manual de la tubería secundaria el nivel y el flujo varían ya que se estará controlando la válvula proporcional y al mismo tiempo el variador.
- En la variable de flujo con la válvula proporcional, esta se deberá encontrar completamente cerrada, el nivel y la presión varían, ya que la válvula se va abriendo y cerrando para controlar el paso del flujo de agua
- La válvula proporcional debe abrirse completamente ya que el variador será quien regule la velocidad de la bomba para llegar al flujo deseado.
- Adquisición de datos todo el tiempo.
- Tener en cuenta las alarmas tanto en la variable de presión, nivel y flujo que encuentran ubicadas en el interfaz del sistema SCADA, se debe apagar el sistema en caso de llegar encenderse las alarmas.

4.6.4 Configuración de módulos de entradas y salidas analógicas

4.6.4.1 Compatible con el PLC S7 1200

Para la configuración de los dispositivos tanto de entradas y salidas analógicas se colocan los módulos SM 1232 6ES7232-4HD32-0XB, SM 1231 6ES7231-4HD30-0XB0, en el PLC como se evidencia en la figura 4. 22.



Figura 4.7 PLC S7-1200 con módulos expansión de salidas y entradas analógicas (SM 1232 6ES7232-4HD32-0XB; SM 1231 6ES7231-4HD30-0XB)

Se inicia la creación de un nuevo proyecto en el software TIA Portal, donde se incorpora el PLC S7-1200 junto con el módulo de expansión de entradas analógicas (SM 1232 6ES7232-4HD32-0XB), el cual se emplea para recibir las señales provenientes de los sensores. Asimismo, se añade el módulo de salidas analógicas (SM 1232 6ES7232-4HD32-0XB), utilizado para controlar el variador de frecuencia y regular la apertura y cierre de la válvula proporcional.

Tanto el PLC como los módulos de expansión (SM 1232 6ES7232-4HD32-0XB; SM 1232 6ES7232-4HD32-0XB) son añadidos al proyecto, tal como se ilustra en la Figura 4.8.

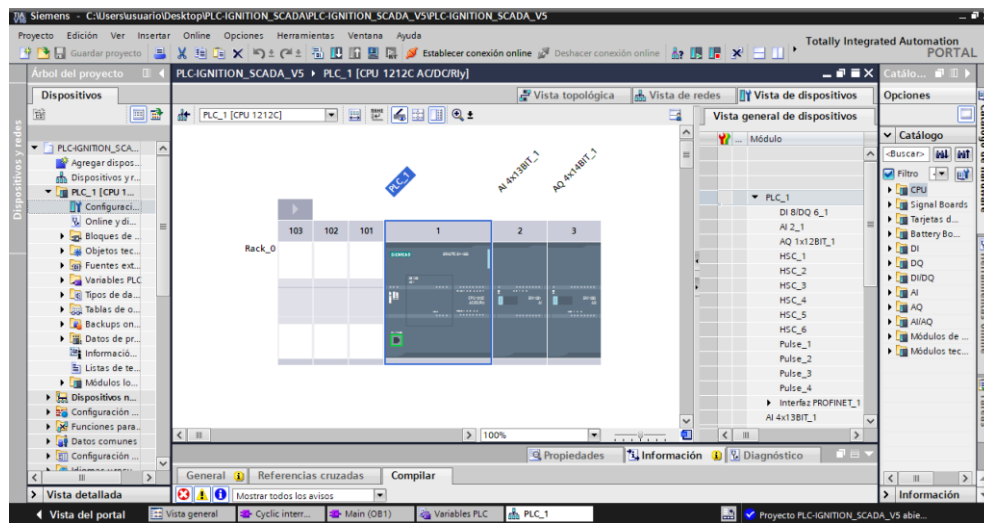


Figura 4.8 Módulos de expansión

Agregamos los parámetros de configuración del módulo expansión de entradas analógicas (231-4HD30-0XB).

Tabla 4.2. Parámetros y configuración 231-4HD30-0XB0

Parámetros	Configuración
Protocolo	PROFINET
Entradas analógicas	4
Rango de entrada	0-20 mA
Resolución	13 bits
Filtrado	Fuerte 32 Ciclos

Los parámetros restantes se pueden dejar por defecto, en caso de otra aplicación se lo puede modificar. Los pasos se muestran en la figura 4.9.

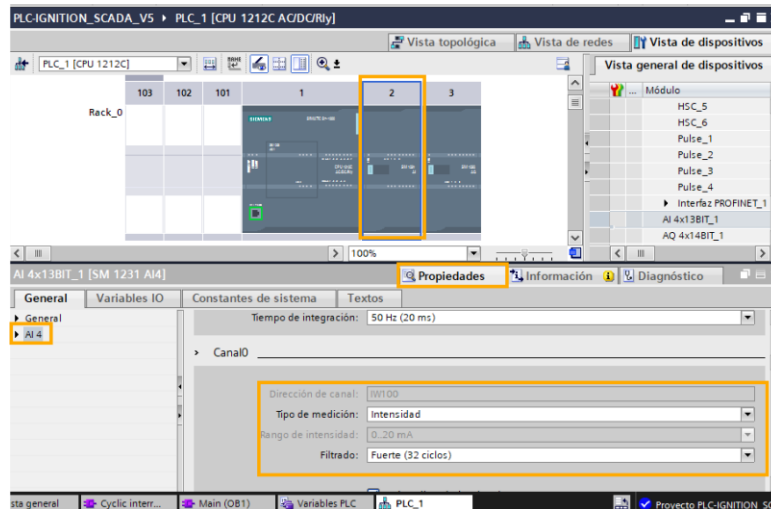


Figura 4.9 Parámetros y configuración

Configuramos los parámetros del módulo de expansión de salidas analógicas (232-4HA30-0XB0).

Tabla 4.3. Parámetros y configuración 232-4HA30-0XB0

Parámetros	Configuración
Protocolo	PROFINET
salidas analógicas	4
Rango de entrada	0 a 10 V
Resolución	14 bits
Filtrado	Fuerte 32 Ciclos

Los parámetros restantes se pueden dejar por defecto, en caso de otra aplicación se lo puede modificar. Los pasos se muestran en la figura 4. 25.

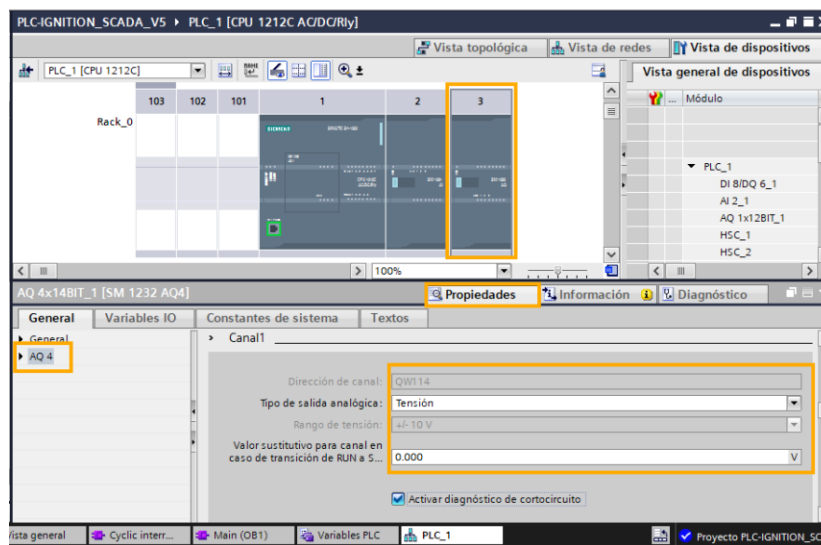


Figura 4.10 Parámetros y configuración

4.6.5 Programación PLC subtítulo

4.6.5.1 Programación Variable Nivel

Dentro del área de trabajo de Tia Portal, utilizamos los bloques NORM_X (Int to Real) y SCALE_X (Real to Real), esto ayuda a convertir los valores del sensor de nivel a una escala adecuada para su interpretación en el sistema SCADA. Esta señal inicialmente pasa por el NORM_X, donde se normaliza en un rango definido de valores. Luego, esta señal ya normalizada se procesa en el bloque SCALE_X, para ajustar la variable de nivel en base al

rango de medición (cm) de la unidad de nivel del tanque. Esto asegura que los valores que sean adquiridos por el PLC se representen correctamente en el sistema SCADA.

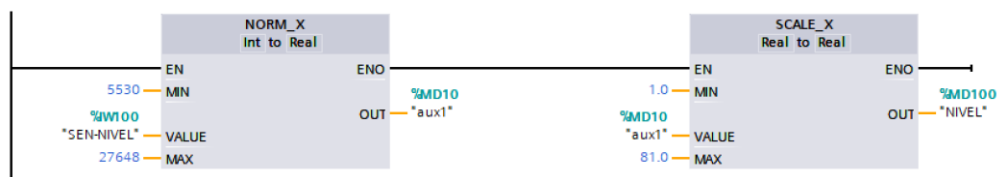


Figura 4.11 Sistema SCADA

Se lleva a cabo el desarrollo y escalado de la señal del PLC para representar el nivel del tanque en una escala del 0 al 100%, lo que mejora la intuitividad del sistema SCADA. Esta configuración permite una visualización más clara y comprensible del nivel en la interfaz, como se muestra en la Figura 4.11



Figura 4.12 Sistema SCADA

Elaborar ramas de programación que permite encender y apagar la salida %Q0.1, en función del estado del control PID de nivel y de una señal que proviene del sistema SCADA o la nube, en donde el Set (S) va a mantener la salida activada cuando se cumplan las condiciones de control y el Reset (R) tiene la función de desactivar la señal de la nube cuando esta desaparece o cambia de estado.

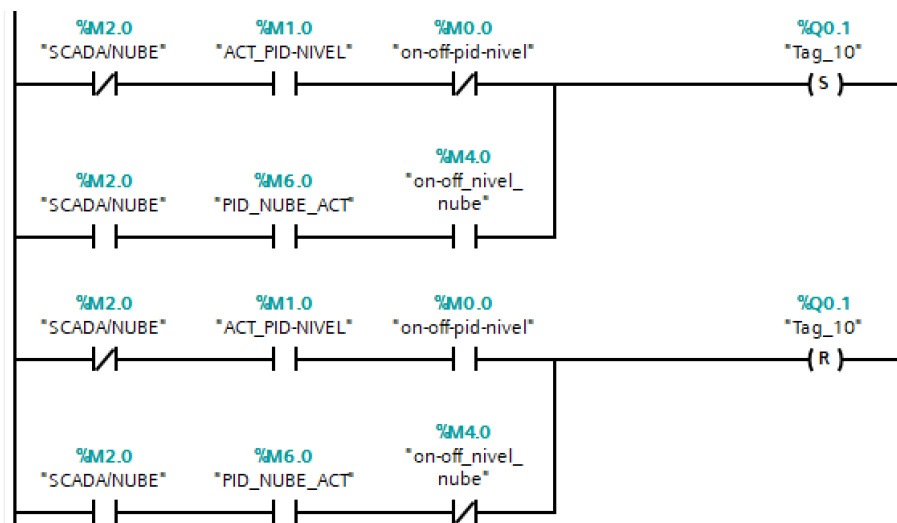


Figura 4.13 Ramas de programación

El software Tia Portal dispone de una función de PID_Compact que se encarga de captar la señal. Para agregar esta función es necesario crear un nuevo bloque de programación Cyclic Interrupt este se puede encontrar en la opción bloques de programación y adjuntarla al área de trabajo y así poder programarla. Los pasos se muestran en la figura 4. 29.

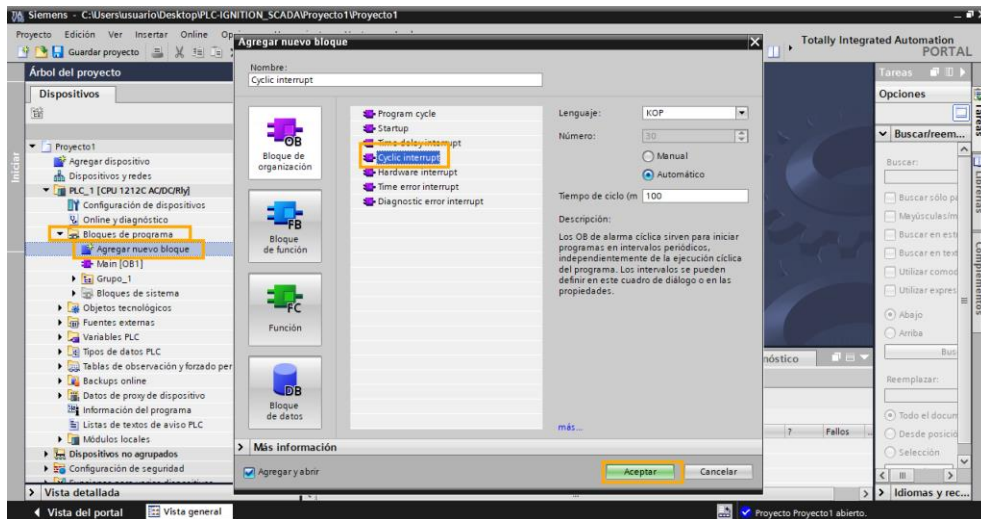


Figura 4.14 Cyclic interrupt

Agoremos la función PID_Compact, aquí se automatiza la variable de nivel mediante un control PID. El que mismo se activa o desactiva según señales externas provenientes del sistema SCADA o la nube. El bloque PID_Compact ajusta automáticamente la salida en función del Set Point y una medición de nivel, enviando una señal de control al variador de frecuencia.

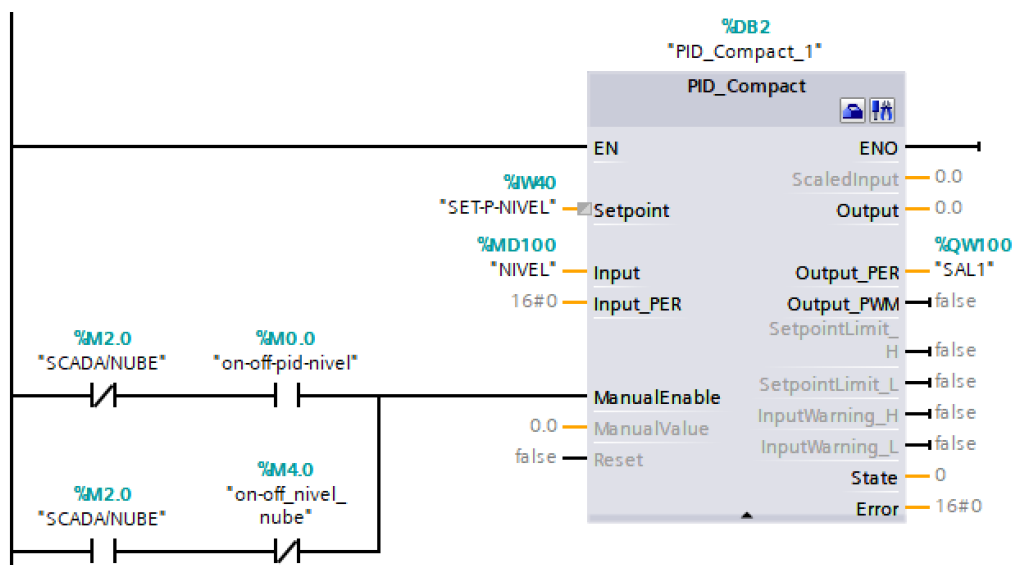


Figura 4.15 Automatización de variable

Se desarrolla otra rama de programación debajo del PID en donde si SCADA/NUBE este habilitado y el control PID de nivel está en función, entonces se va a evaluar la salida del control PID, En cuanto al valor calculado por el PID en %QW100 se mueve directamente a %QW112, esto nos permite controlar la velocidad de la bomba mediante el variado de frecuencia, cuenta también con un límite de nivel, esto ayuda evitar que el sistema no funcione fuera de parámetros seguros.

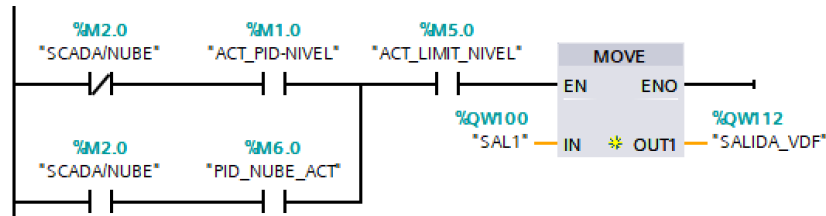


Figura 4.16 Programación de condición

En el segmento del bloque de programación Main [OB1] se agrega un segundo segmento en el cual se desarrolla otra rama de programación para la salida del PID, donde el programa procede a modificar la salida del variador de frecuencia, normalizándola y escalándola antes de utilizarse en el control de nivel. Adicionalmente, se comprueban las condiciones del sistema SCADA y el control PID antes de alterar la salida de la válvula proporcional.

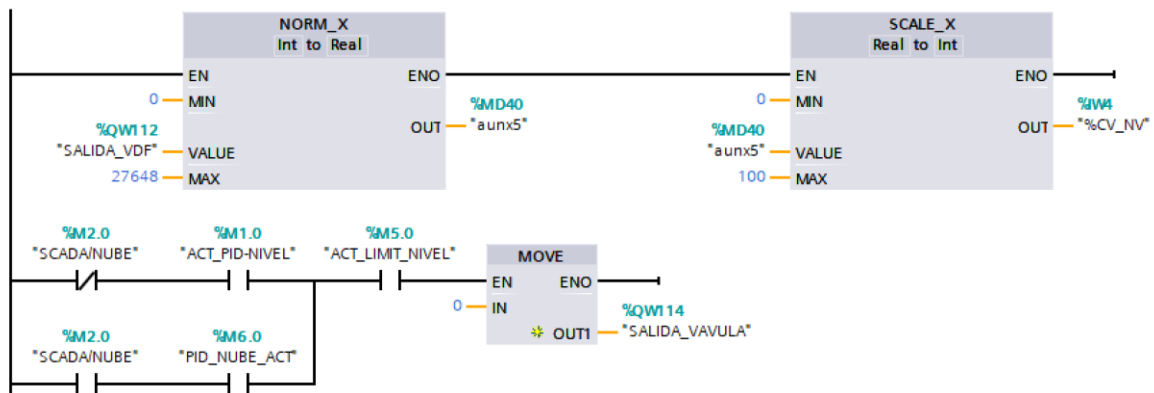


Figura 4.17 Programación Main [OB1]

4.6.6 Programación Variable de Flujo

Agregamos un tercer bloque de programación en la ventana de trabajo del software Tia Portal, utilizamos los bloques NORM_X (Int to Real) y SCALE_X (Real to Real), esto se utiliza para convertir y normalizar la señal del sensor de flujo, ajustándola a las unidades de medición adecuadas para SCADA.

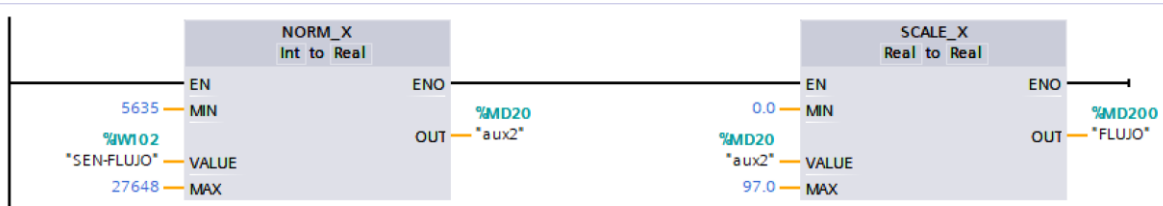


Figura 4.18 Tercer bloque de programación

Se programan ramas para encender o apagar la salida % Q 0.1 según el estado y control PID del flujo y señales externas del SCADA o la nube, también en función del control de PID de flujo del variador de frecuencia.

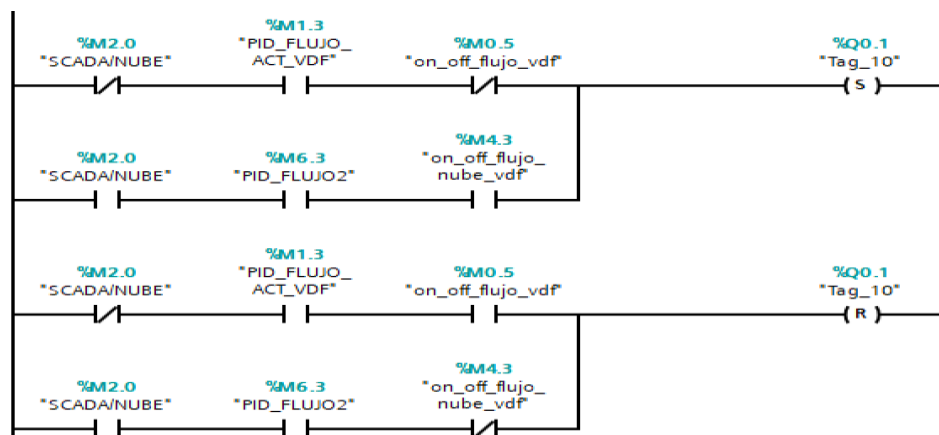


Figura 4.19 Encendido y apagado de %Q0.1 en función del estado del control de PID

Se automatiza la variable de flujo con un bloque PID_Compact, que ajusta la salida en función del Set Point y medición de flujo, enviando señales de control a la válvula proporcional y bomba de agua.

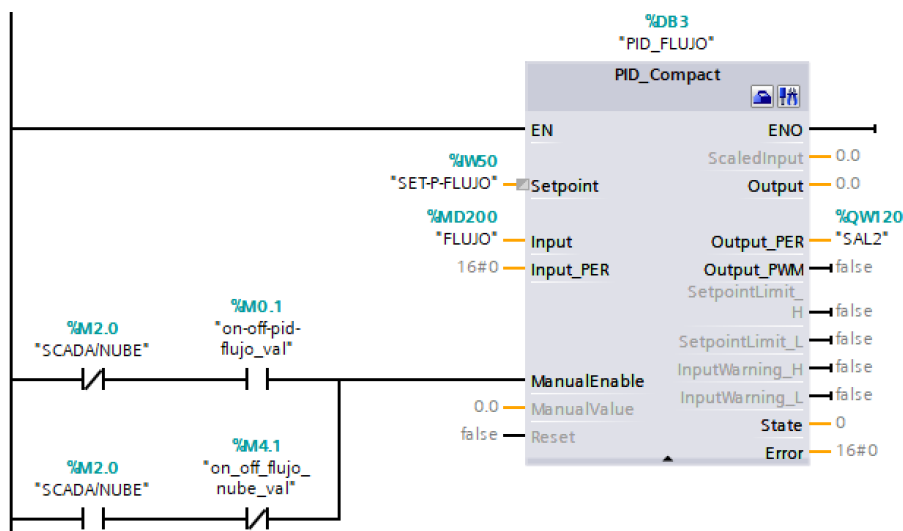


Figura 4.20 Bloque PID_Compact

Se desarrolla una rama de programación debajo del PID de flujo en el bloque Cyclic Interrupt, donde, si el sistema SCADA/NUBE está habilitado y el control PID de nivel está en funcionamiento, se evalúa la salida del control PID. El valor calculado por el PID en %QW120 se mueve directamente a %QW114, lo que permite controlar la apertura y cierre de la válvula proporcional, con un límite de flujo que garantiza el funcionamiento seguro del sistema. Además, en el mismo bloque, se agrega un tercer bloque PID_Compact para automatizar la variable de flujo mediante un control PID, el cual se activa o desactiva según las señales externas del SCADA o la nube. Este bloque ajusta automáticamente la salida en función del Set Point y la medición de flujo, enviando una señal de control al variador de frecuencia para controlar la velocidad de la bomba de agua.

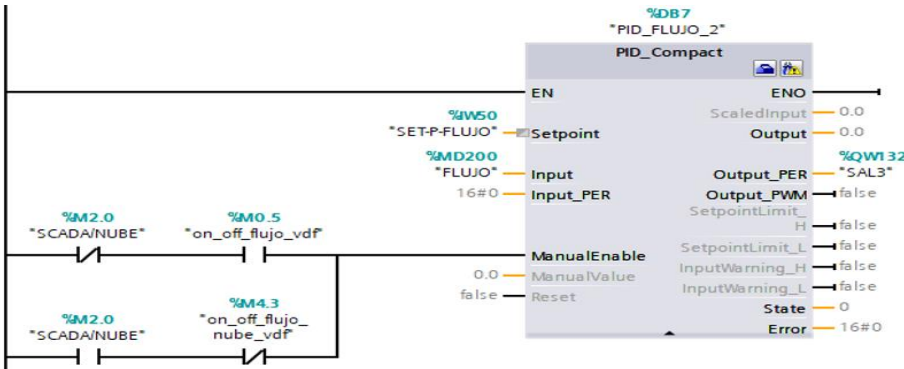


Figura 4.21 Automatización de la variable de flujo mediante un control PID

Se desarrolla otra rama de programación debajo del PID de FLUJO_2 en donde si SCADA/NUBE este habilitado y el control PID de nivel está en función, entonces se va evaluar la salida del control PID. En cuanto al valor calculado por el PID en %QW132 se mueve directamente a %QW112, esto nos permite intervenir la rapidez de la bomba de agua mediante el variador de frecuencia, cuenta también con un límite de flujo, esto ayuda evitar que el sistema no funcione fuera de parámetros seguros.

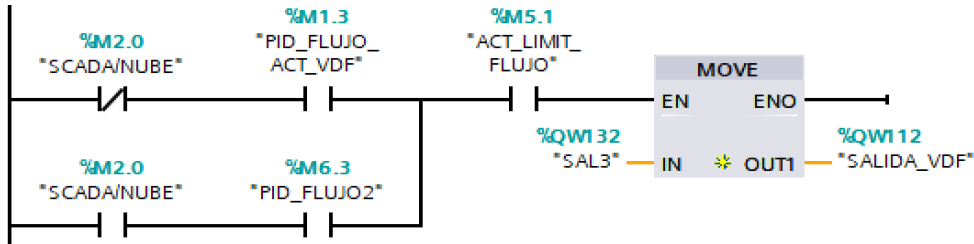


Figura 4.22 Evaluar la salida del control PID

En el segmento del bloque de programación Main [OB1] se agrega un cuarto segmento en el cual se desarrolla otra rama de programación para la salida del PID, donde el programa ajusta la salida del variador de frecuencia en función del control de flujo. Para esto se normaliza y escala antes de utilizarse en el control. El programa ayuda a verificar las condiciones del sistema SCADA y de control PID, comprobando que la salida de la válvula proporcional y el variador de frecuencia solo se cambien cuando las condiciones de operación se cumplan. Si el sistema se encuentra en modo SCADA/NUBE y se encuentran activados los controladores PID_FLUJO_ACT_VAL o PID_FLUJO_VDF, se activa la escritura de las señales de control para SALIDA_VDF (%QW12) y SALIDA_VÁLVULA (%QW14). Este procedimiento asegura una adecuada interpretación y adaptación del flujo en el SCADA, mejorando la gestión del flujo durante el proceso.

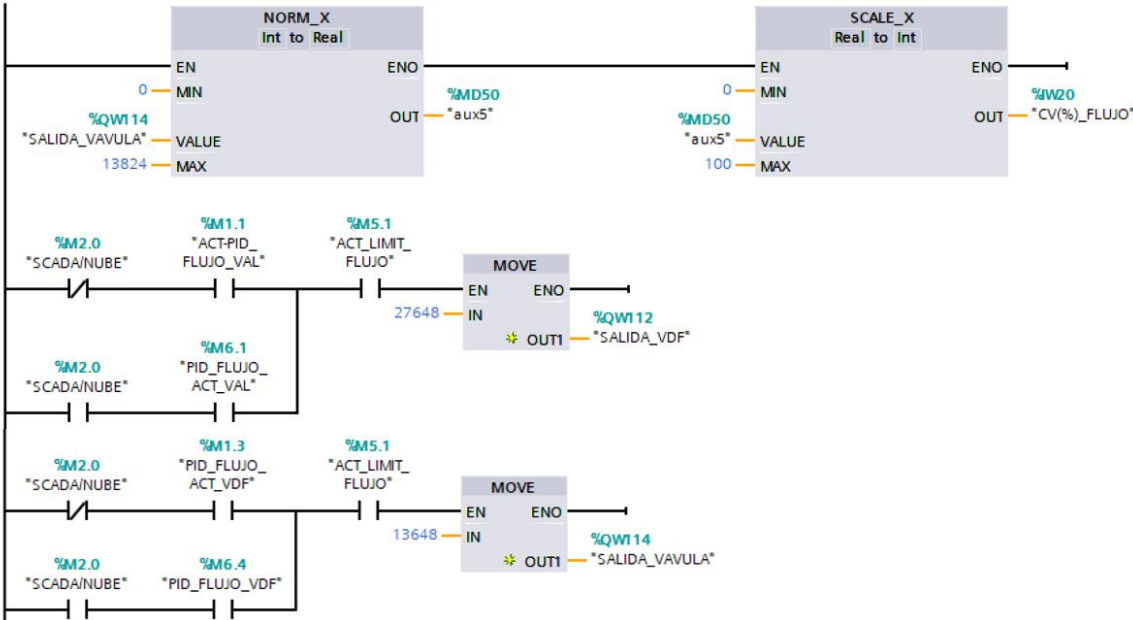


Figura 4.23 Ajuste de la salida del variador de frecuencia en función del control del flujo

4.6.7 Programación Variable de presión

Agregamos un quinto bloque de programación en la ventana de trabajo del software Tia Portal, utilizamos los bloques NORM_X (Int to Real) y SCALE_X (Real to Real), esto ayuda a convertir los valores del sensor de presión a una escala adecuada para su interpretación en el sistema SCADA. Esta señal inicialmente pasa por el NORM_X, donde se normaliza en un rango definido de valores. Luego, esta señal ya normalizada se procesa en el bloque SCALE_X, para ajustar la variable de presión según su unidad de medición (psi). Se

realizado una comparación en la variable de salida, esto se hace para eliminar errores de PID de presión y se asegura que los valores que sean adquiridos por el PLC se representen correctamente en el sistema SCADA.

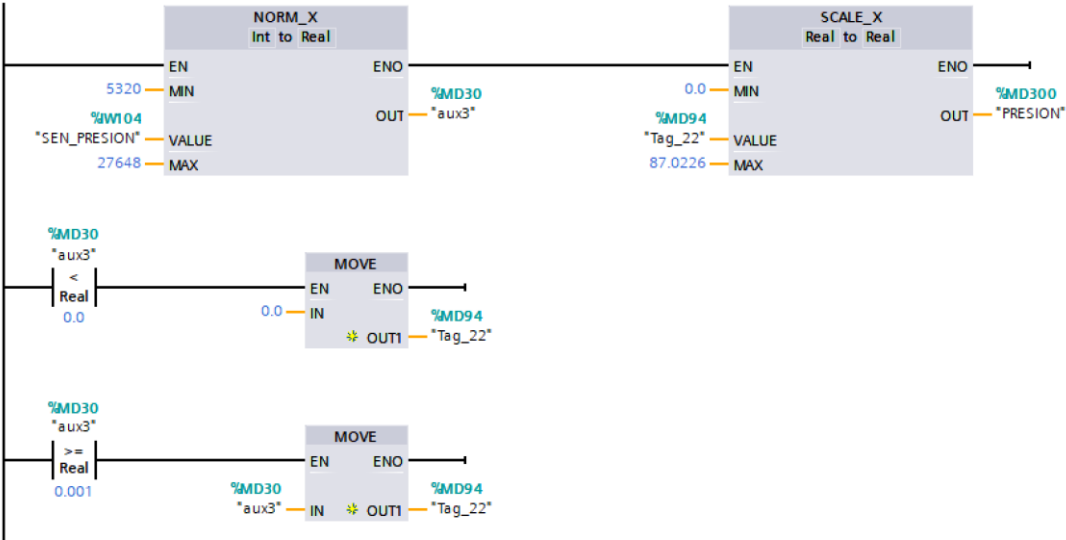


Figura 4.24 Conversión de los valores del sensor de presión a una escala adecuada

Elaborar ramas de programación que permite encender y apagar la salida %Q0.1, en función del estado del control PID de presión y de una señal que proviene del sistema SCADA o la nube, en donde el Set (S) va a mantener la salida activada cuando se cumplan las condiciones de control y el Reset (R) tiene la función de desactivar la señal de la nueva cuando esta desaparece o cambia de estado.

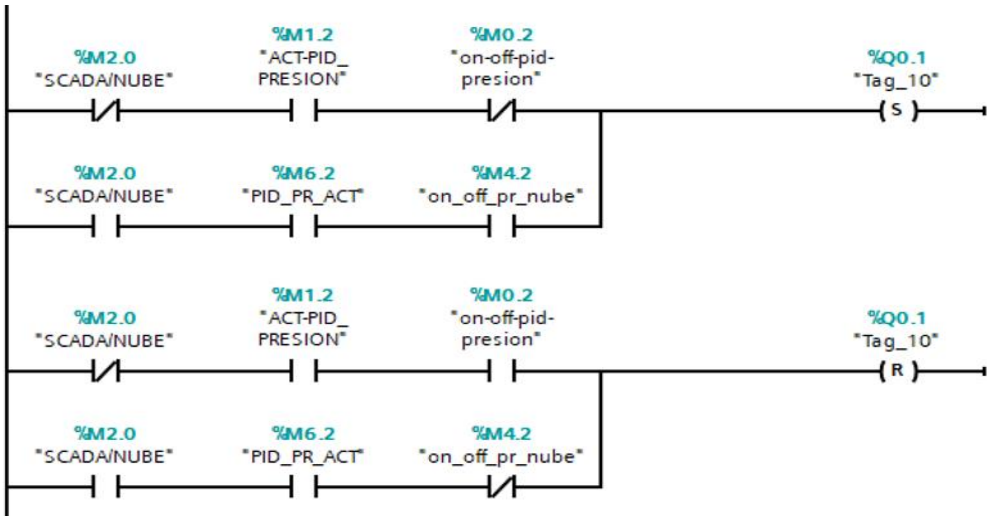


Figura 4.25 Desactivar la señal de la nueva cuando desaparece o cambiade estado

Se agrega un cuarto segmento en el bloque de programación Cyclic Interrupt, se coloca un bloque PID_Compact programable, aquí se automatiza la variable de presión mediante un control PID. El que mismo se activa o desactiva según señales externas provenientes del sistema SCADA o la nube. El bloque PID_Compact ajusta automáticamente la salida en función del Set Point y una medición de presión, enviando una señal de control a la válvula proporcional.

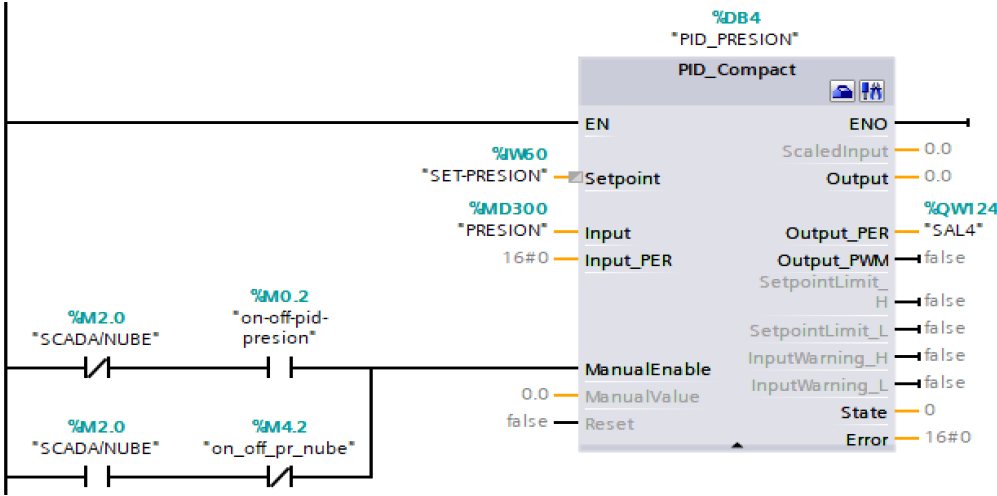


Figura 4.26 Automatización de la variable de presión mediante un control PID

Desarrolla otra rama de programación debajo del PID de presión en donde si SCADA/NUBE este habilitado y el control PID de nivel está en función, entonces se va evaluar la salida del control PID. En cuanto al valor calculado por el PID en %QW124 se mueve directamente a %QW114, esto nos permite controlar la apertura y el cierre de la válvula proporcional, cuenta también con un límite de presión, esto ayuda evitar que el sistema no funcione fuera de parámetros seguros.

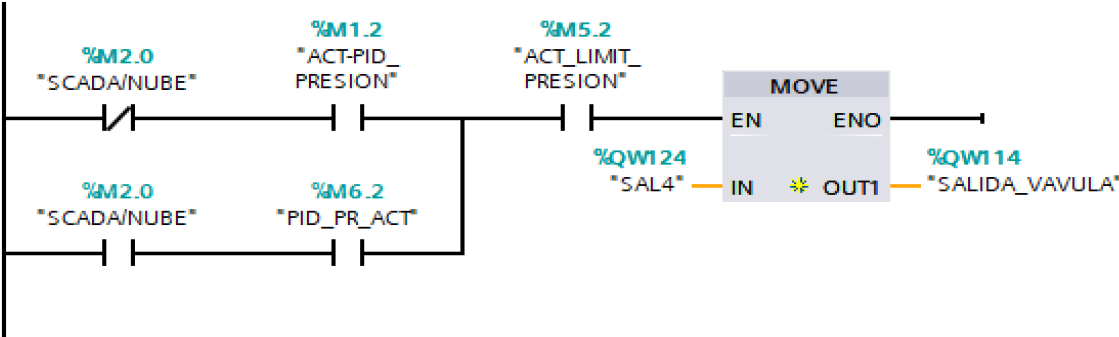


Figura 4.27 Evaluar la salida del control PID

En el mismo bloque de programación Cyclic Interrupt, se agrega un cuarto bloque que programación, se coloca un bloque PID_Compact, aquí se automatiza la variable de presión mediante un control PID. El que mismo se activa o desactiva según señales externas provenientes del sistema SCADA o la nube. El bloque PID_Compact ajusta automáticamente la salida en función del Set Point y una medición de presión, enviando una señal de control al variador de frecuencia y así controlando la velocidad de nuestra bomba de agua.

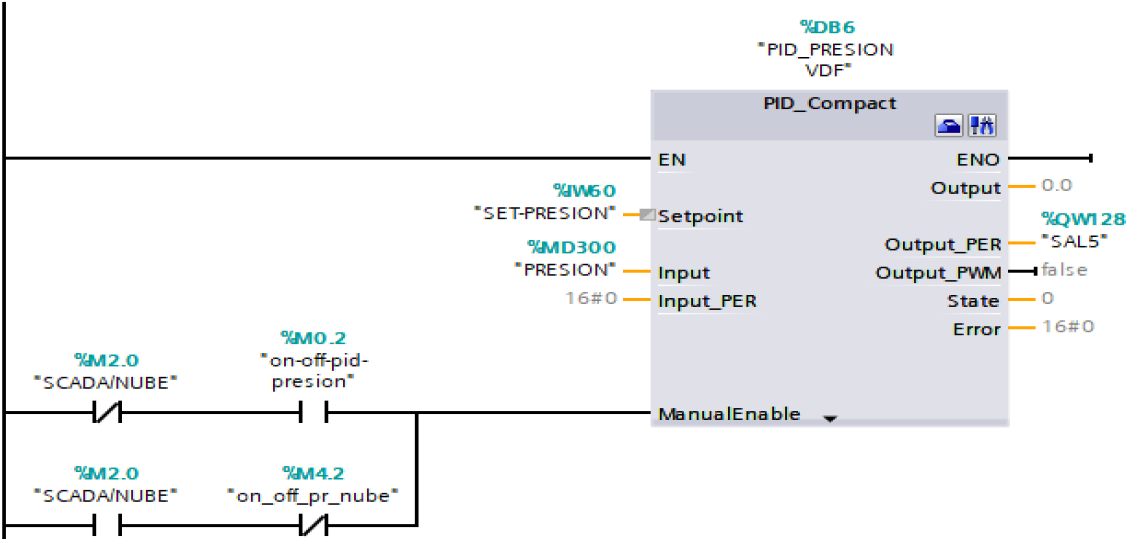


Figura 4.28 Activa y desactiva según señales externas provenientes de SCADA

Se desarrolla otra rama de programación debajo del PID de PRESION VDF en donde si SCADA/NUBE este habilitado y el control PID de nivel está en función, entonces se va evaluar la salida del control PID. En cuanto al valor calculado por el PID en %QW128 se mueve directamente a %QW112, esto nos permite controlar la velocidad de la bomba de agua mediante el variador de frecuencia, cuenta también con un límite de flujo, esto ayuda evitar que el sistema no funcione fuera de parámetros seguros.

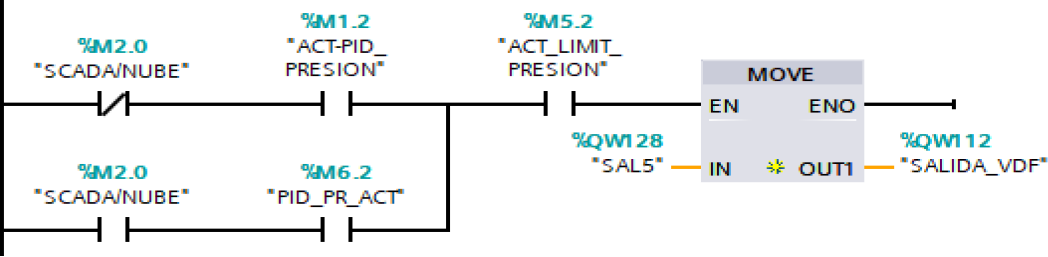


Figura 4.29 Evalúa la salida del control PID

En el segmento del bloque de programación Main [OB1] se agrega un sexto segmento en el cual se desarrolla otra rama de programación para la salida del PID. En donde se controla tanto la señal del variado y la señal de la válvula proporcional en diferentes ramas de programación, cada una de estas trabaja de forma independiente normalizando y escalando los valores tanto del variador de frecuencia y de la válvula proporcional, para su visualización y control en el sistema SCADA.

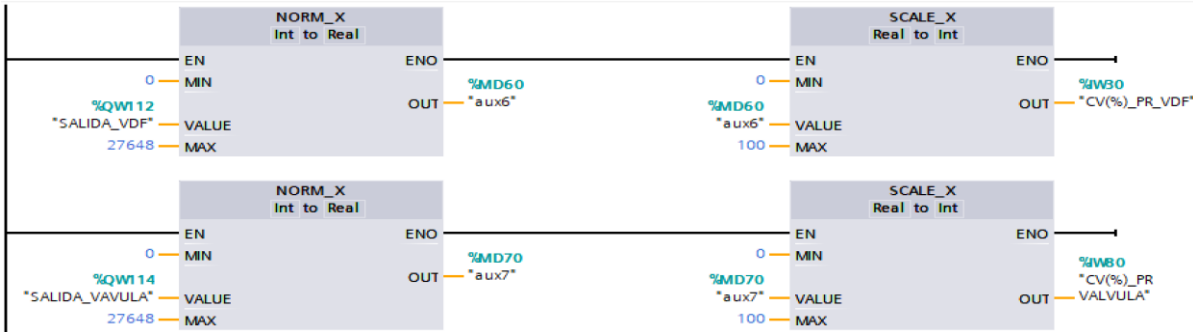


Figura 4.30 Control de la señal del variado y la señal de la válvula proporcional

4.6.8 Programación HMI – NUBE

En otro segmento de programación se realiza la sincronización y transferencia de valores desde el sistema SCADA o la nube, para los parámetros de nivel, flujo y presión. para esto se utilizó el bloque de programación MOVE, que ayuda actualizar los calores en el PLC y envía los mismos a las salidas especificativas.

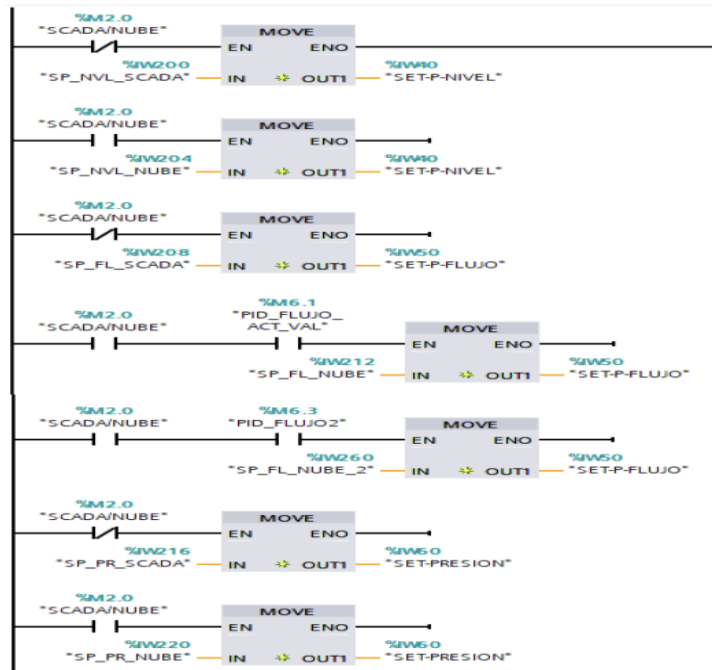


Figura 4.31 Actualizar calores en el PLC

4.6.9 Programación para la activación de la nube de las variables de control

En este segmento de código de programación Ladder se establece una condición en donde se activa el sistema PID en la nube. La activación va a depender de diferentes combinaciones en las señales relacionadas con los PID de nivel flujo y presión, dependiendo de las condiciones estas deben estar activadas y otras desactivadas.

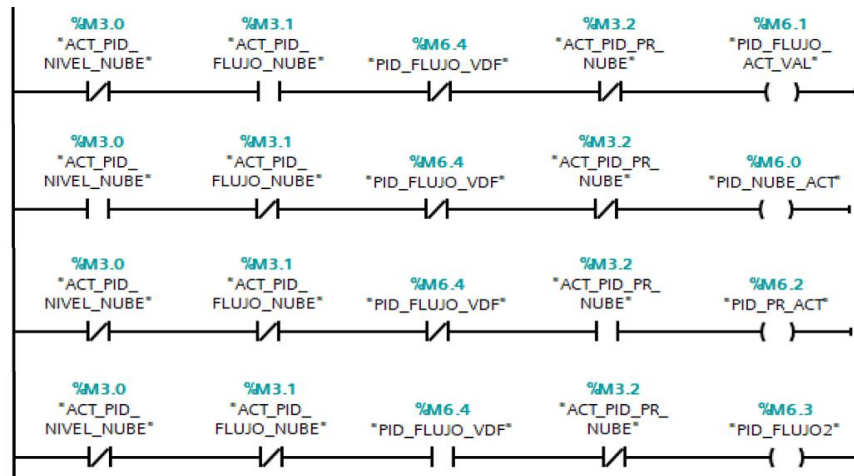


Figura 4.32 Activación del sistema PID

4.6.10 Programación de límites y alarmas de seguridad en nuestro sistema SACADA

Se crea un segmento de programación que valida los valores de las variables de control (nivel, flujo y presión). Si los valores del Set Point están dentro de los límites permitidos, el sistema activa señales de funcionamiento seguro; de lo contrario, se enciende una alarma de la interfaz SACADA.

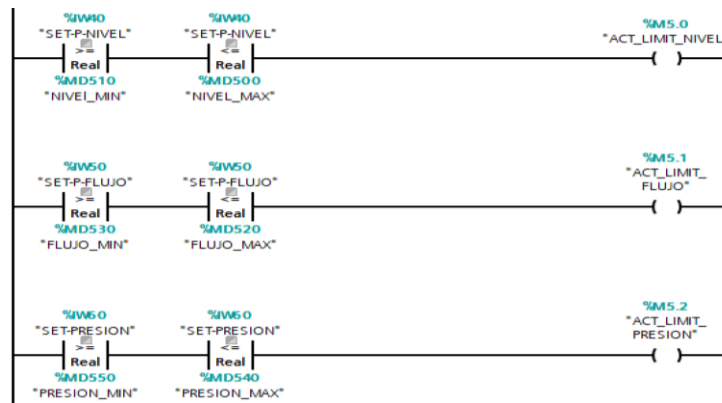


Figura 4.33 Control de nivel, flujo y nivel

Se coloca en otro segmentó con los límites de operación tanto mínimos como máximos en los cuales deberán trabajar las variables de control de nivel, flujo y presión. Los valores se utilizan posteriormente para realizar las comparaciones y así poder activar las alarmas y limitaciones del sistema SACADA.

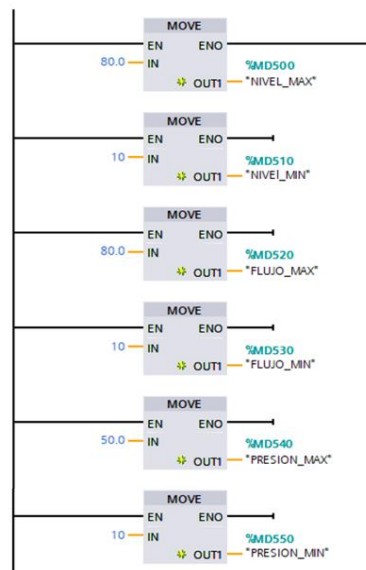


Figura 4.34 Límites mínimos y máximos de operación

Creamos otro segmento para las alarmas de seguridad que colocaremos en la interfaz de nuestro sistema SCADA. En donde se va a supervisar los valores mínimos y máximos de cada variable de control, utilizando compradores lógicos, con esto se garantiza que el sistema funcione correctamente y de manera segura.



Figura 4.35 Valores mínimos y máximos de cada variable de control

4.6.10.1 Configuración del protocolo de comunicación OPC

El software Ignition SCADA ya tiene incluido por defecto el protocolo de comunicación OPC UA dentro de su paquete de instalación, permitiendo así configurar e integrar diversos dispositivos de automatización industrial, de distintas marcas, entre ellas las más conocida como es Siemens. Este sistema es compatible con diferentes versiones de PLC Siemens, como; S7-1200, S7-1500, S7-300 y S7-400.

Para establecer la comunicación con los controladores Siemens, el software Ignition SCADA emplea el protocolo de comunicación OPC UA, esta se realiza a través de una canal de Ethernet TPC/IP. Esta comunicación también se puede realizar de forma inalámbrica, a través del enlace a un router Wi-Fi, al cual deberá vincular el PLC y la computadora. En el presente proyectó, la comunicación del PLC y la interfaz del sistema SCADA se dará a acabo sin el uso de cables, facilitando la integración del sistema. La figura que se expone a continuidad se pude observar el procedimiento que se debe seguir para agregar el PLC en el software Ignition SCADA con el cual se realizó el proyecto, en este caso será la versión S7-1200.

Al ingresar a la página del Software Ignition SCADA y realizar toda la configuración previa, lo primero es acceder al apartado de configuraciones, deslice hasta encontrar la opción OPC UA, dentro de esta se debe seleccionar la opción Drive Connections. Es importante seguir cada uno de los procedimientos, debido que el protocolo de comunicación OPC UA funciona

a través de una dirección IP, esta corresponderá con el modelo del PLC utilizado, como ya se mencionó antes se utilizó un PLC Siemens versión S7-1200. Estos ajustes tienen el propósito de establecer una comunicación eficiente y rápida, mejorando un procedimiento que antes era complicado de llevar a cabo. Adicionalmente el software Ignition SCADA divide la configuración de comunicación y la delineación de la Interfaz en dos aplicaciones separadas, facilitando una administración del sistema más ordenada y estructurada.

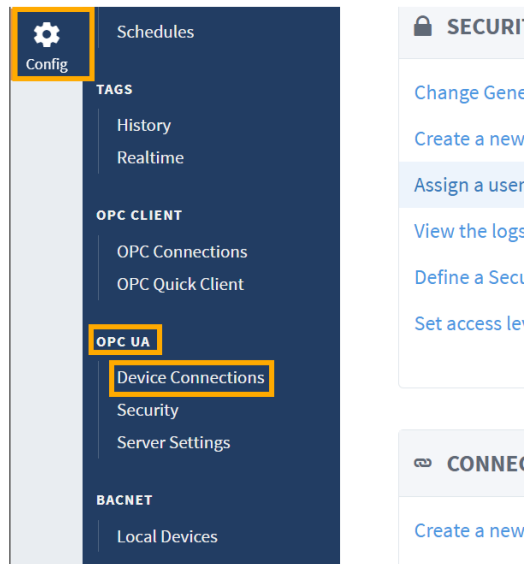


Figura 4.36 Configuración de un PLC Siemens versión S7-1200

Ya dentro de la opción Device Connections, se debe seleccionar Create new Device, lo que hará que aparezca una nueva pantalla de opciones.

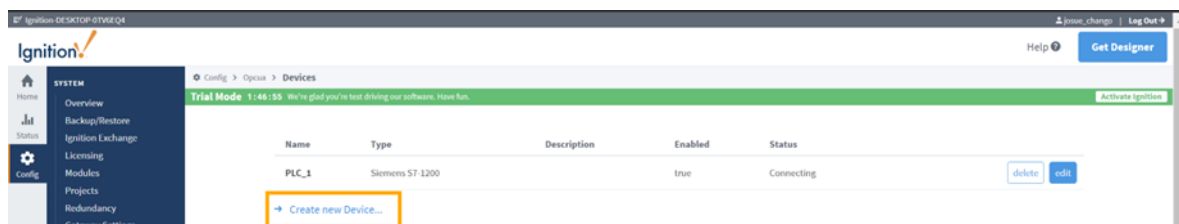


Figura 4.37 Crear un nuevo Device

Al acceder a la opción Create new Device se desplegará una interfaz en la pantalla. En esta interfaz, se requiere elegir el PLC con el que se llevara a cabo el proyecto, en este caso se opta por un modelo Siemens S7-200. Des pues de haber seleccionado en el PLC presionamos la opción Next para continuar, los pasos pueden observar en la figura... Esta elección es crucial, pues facilita la carga de los parámetros vinculados al CPU de cada versión de los PLC's. Hay que resaltar que los modelos como el PLC S7-1200 y el PLC S-1500 son del

mismo fabricante, pero muestran diferencias notables en términos de tipo de variables, seguridad interna, entradas y salidas analógicas, protección contra escritura, marcas de reloj, contadores y temporizadores, por la configuración de estos dispositivos no va a ser similar.

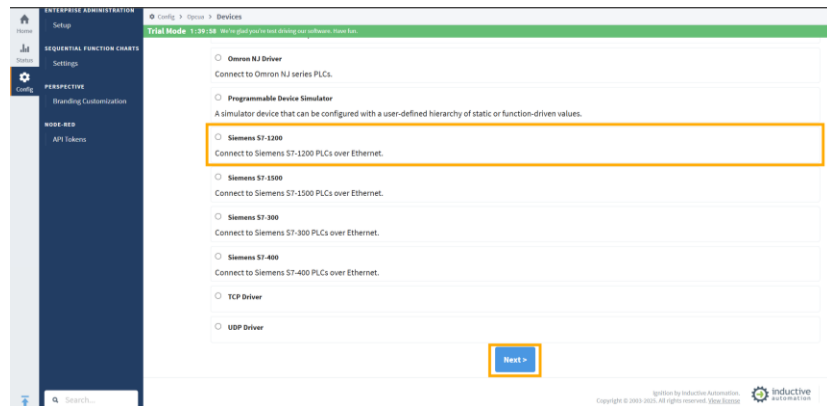


Figura 4.38 Escoger el tipo de proyecto

Una vez escogido el PLC Siemens S7-1200, es necesario asignarle un nombre al dispositivo en el campo Name (El nombre es opcional), para este proyecto se le nombro como PLC_1. El campo Hostname, se proporciona la dirección IP del PLC con el que se establecerá la conexión, en el presente proyecto, la dirección IP del PLC que se utiliza es 192.168.100.66. Finalmente se selecciona la opción Create New Device para finalizar el proceso.

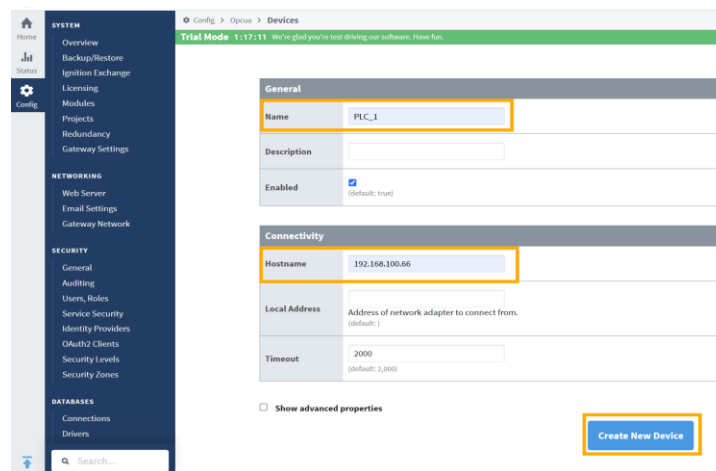


Figura 4.39 Asignación de nombre al dispositivo

Tras finalizar todos los procedimientos, se requiere establecer una nueva conexión. El estado de conexión se visualiza en la parte derecha de la pantalla, donde se indica si el PLC está conectado o desconectado, como se muestra en la Figura 4.40. Si el PLC se encuentra adecuadamente conectado a través de un Cable Ethernet a la computadora o al router Wi-Fi

al que esta última está conectada, el estado de la conexión (Status) debería indicarse como Connecting.

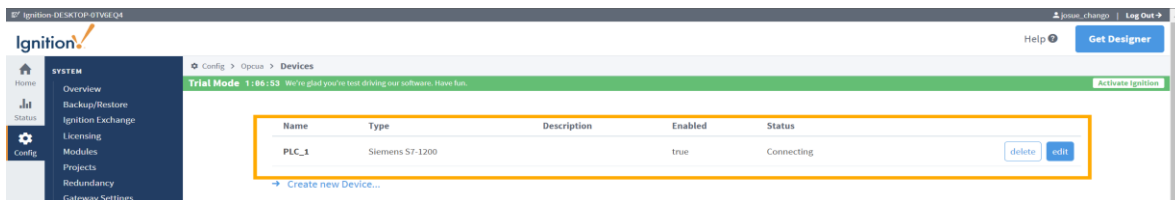


Figura 4.40 Establecer conexión

Después de crear el dispositivo, es fundamental comprobar en el software Tia Portal que el PLC posea la misma dirección IP establecida en el software Ignition SCADA. Es este proyecto des tesis, el proyecto de tesis el PLC utilizado posee la dirección IP 192.168.100.66, que debe ser la que se indique en el campo de Hostname de Ignition, tal como se expone en la figura 4.41.

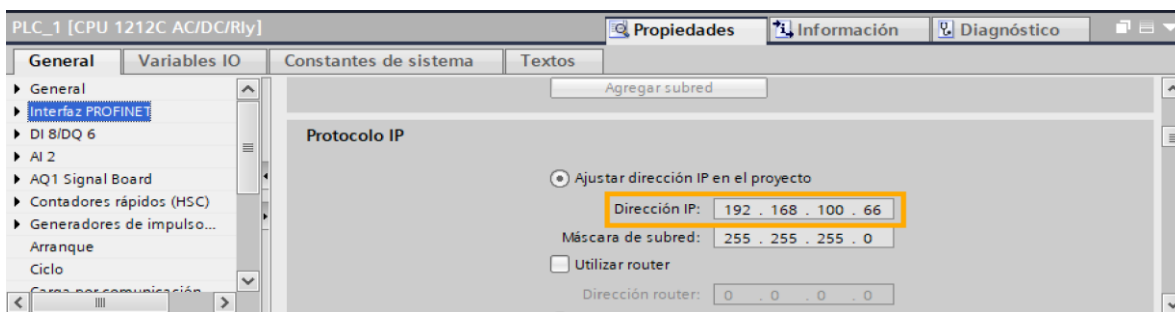


Figura 4.41 Verificar la IP

Posteriormente, ya establecida la conexión, se realiza la incorporación de los tags pertinentes a través de la interfaz Ignition Designer. Las variables deben organizarse en un Tipo de datos (Data Type), que engloba todas las variables del procedimiento. Para poder crear los tags, se debe seleccionar la opción Tags, se hace clic en el símbolo + y se elige la opción New Folder. Los pasos se evidencian en la figura 4.42.

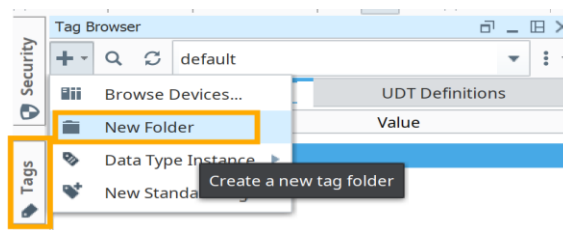


Figura 4.42 Incorporar los tags pertinentes

Asignamos nombre a New Folder, en este proyecto se le ha llamado PLC_SIEMENS (este puede ser opcional) y presionamos en la opción Aceptar, esto se hace para poder crear diferentes tags dentro de la capeta.

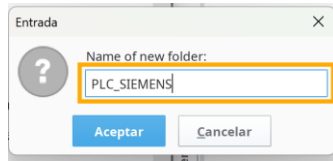


Figura 4.43 Crear los tags en el proyecto

Después damos clic derecho en PLC_SIEMENS, presionamos en la opción New Tag y damos clic en New Standard Tag. Escogemos la opción OPC Tag, como se evidencia en la figura 4.44.

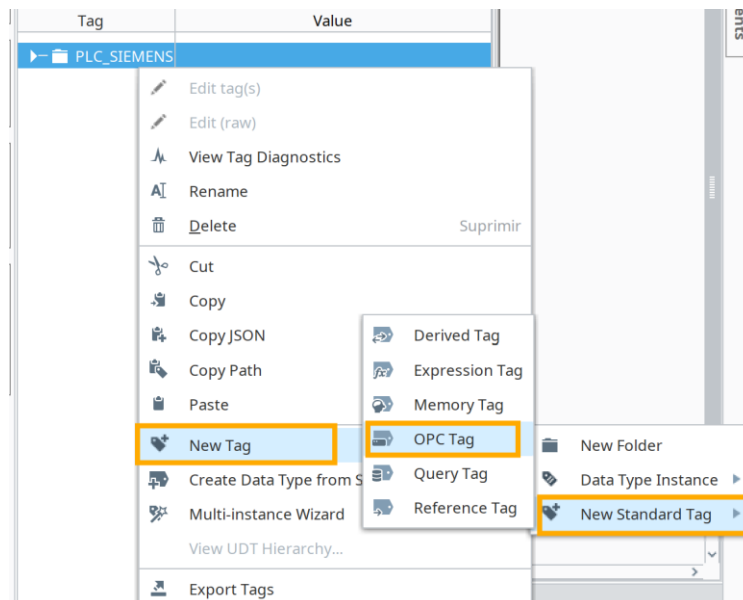


Figura 4.44 Seleccionar los tags

Al seleccionar la opción OPC tag, se genera un nuevo tag o variable, donde se muestra un interfaz en donde se configura el tag, el cual tiene la función de lectura o escritura de datos. Para ello en el apartado de OPC Item Path se selecciona PLC_1 para definir la fuente de datos del tag. Los pasos se evidencian en la figura 4.45.

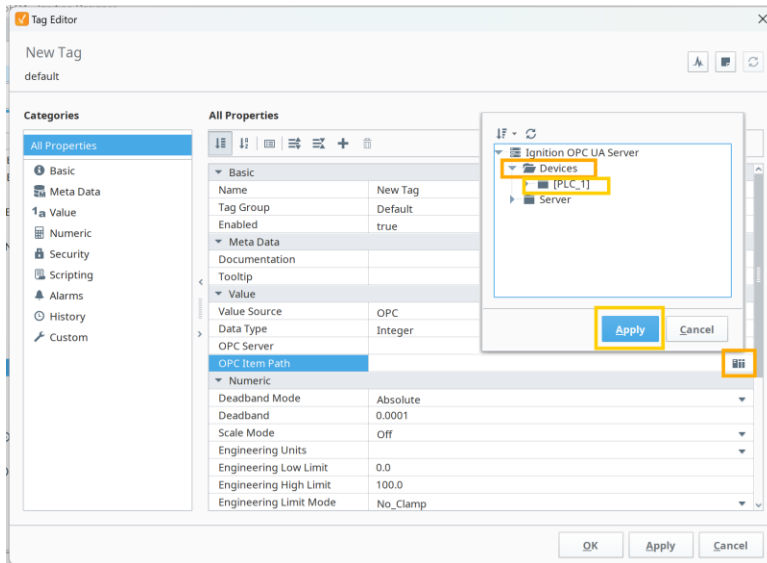


Figura 4.45 Definir fuente de datos del tag

Una vez ya configurado el apartado OPC Item Path, se le asigna un nombre adecuado al tag, en este caso dicho tag se utilizará para obtener la variable de flujo que esta almacenado en la programación del PLC como un valor de tipo real. En el campo Name se debe ingresar un nombre identificado para la variable (Este nombre es opcional), en Data Type se especifica el tipo de dato que maneja el PLC, en este caso será un valor flotante (Float) y finalmente en OPC Server, se selecciona Ignition OPC UA Server como se evidencia la figura 4.46

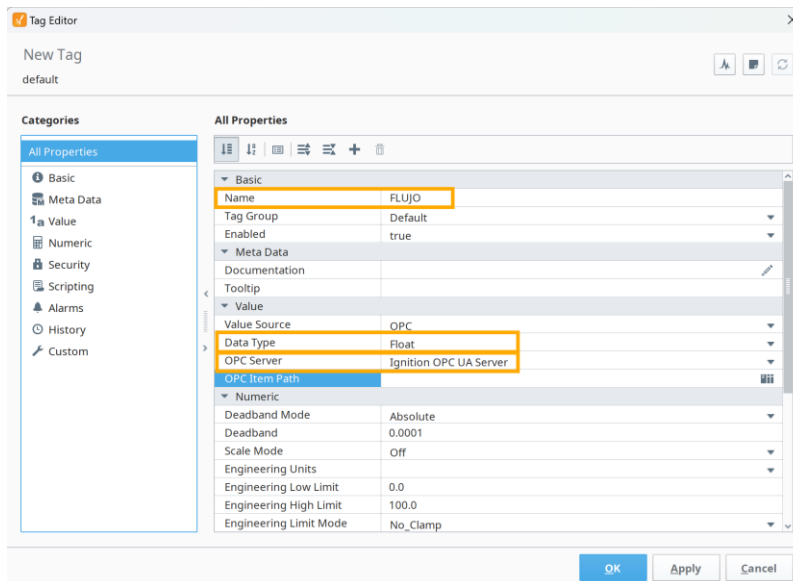


Figura 4.46 Asignar nombre adecuado al tag

Se verifica en el software TIA Portal la tabla donde se almacenan las de variables, con esto poder configurar la variable que se necesita. En este caso configuraremos la variable de Flujo, esta se encuentra en la tabla de variables, con una dirección %MD200 y su tipo de dato es real. Este parámetro se debe ingresar en el capo OPC Item Path durante la configuración del tag en EL software Ignition SACADA.

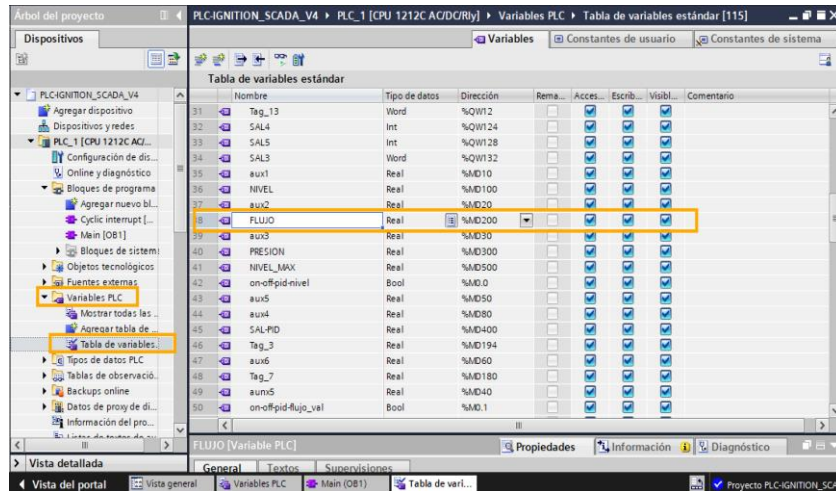


Figura 4.47 Seleccionar la variable que se necesita

Por último, la escritura del código tiene como estructura el siguiente formato: [NombreDelDispositivoOPC-UA]TipodeVariable, DirecciónDeMemoria. En caso más específico:

- **Nombre del dispositivo OPC UA:** [PLC_1]
- **Tipo de variable:** MReal
- **Dirección de memoria:** 200

Esto se observa a continuación en la figura 4. 63.


▼ Value	
Value Source	OPC ▼
Data Type	Float ▼
OPC Server	Ignition OPC UA Server ▼
OPC Item Path	[PLC_1]MReal200 
▼ Numeric	

Figura 4.48 Formato del código

De esta forma se configuran todas las variables ya seas de tipo entero, booleano o Word, ya que serán monitoreadas y controladas desde la interfaz del sistema SCADA, esto ayuda a tener una correcta comunicación con el PLC y el sistema de supervisión.

4.6.11 Diseño de la interfaz en el software SCADA IGNITION

La interfaz de control se realizó en el software Ignition SCADA con el objetivo de optimizar la navegación y el acceso a los distintos procesos de monitorio y control que se realizó en el proyecto. La estructura del interfaz cuenta con una pantalla principal, desde la cual el operario puede acceder de manera eficiente a diversas ventanas secundarias, cada una asociada a un proceso de control específico. En la pantalla principal tenemos un aportada, donde se podrá visualizar los botones con los nombres de los procesos de control, a través de estos botones el operario puede seleccionar el proceso que desea controlar o monitorear. Esto permite una navegación clara y fluida, evitando la sobrecarga de información y permitiendo al operario centrarse en el proceroso que necesita gestionar.

4.6.11.1 Diseño del menú principal para el control y monitorio de variables

En el diseño del menú principal para el control y monitoreo de variables del sistema SCADA, se empleó como fondo una imagen de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en la parte superior se ubica el título con el nombre de la universidad en letras blancas, también se incluyeron los logotipos tanto de la institución como de la carrera en las esquinas superiores izquierda y derecha, consecutivamente se ubica el título del proyecto de tesis en letras blancas, el cual indica el propósito del sistema SCADA. También se ubicó también los nombres de los autores y el tutor del proyecto en color verde, diferenciándolos visualmente. En el lado derecho organizados en columna se ubican los botones, estos tienen un diseño rectangular con un fondo blanco y un borde oscuro, asegurando su visibilidad y facilidad de uso para el operador, cada botón tiene una función relaciona con el control PID de las diferentes variables que se controla en el sistema SACDA. En la Figura 4.49 se muestra la interfaz del menú principal del sistema SCADA, diseñada para el control y monitoreo de las variables de nivel, flujo y presión.



Figura 4.49 Interfaz principal de SCADA

4.6.11.2 Diseño interfaz para el proceso de control de nivel

La interfaz del sistema SCADA para el control PID de nivel facilita la supervisión y ajuste del nivel de líquido en un tanque. Presenta un esquema visual que incluye el tanque, sensores de nivel, flujo y presión, así como las válvulas, la bomba y el tanque de depósito. Incluye indicadores visuales en tiempo real de nivel (cm), flujo (l/min) y presión (PSI), además de una configuración para ingresar el Set Point, activar o desactivar el control PID y sincronizar con la nube. También tiene una alarma de seguridad por límites de nivel, una gráfica de seguimiento en tiempo real y botones para acceder al menú principal o generar reportes. Esto facilita el control y análisis del proceso.

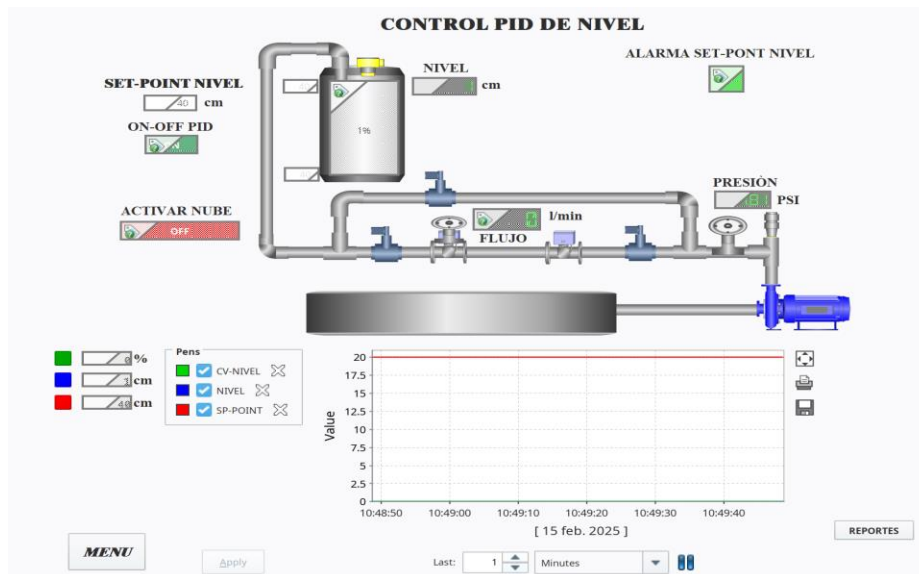


Figura 4.50 Monitoreo y regulación óptima



Figura 4.51 Reportes

4.6.11.3 Diseño interfaz para el proceso de control de flujo.

Se creó una segunda interfaz similar a la de nivel, para monitorear y regular el flujo en el sistema de tuberías. Esta interfaz incluye el tanque, sensores de nivel, flujo y presión, la bomba, y el tanque de depósito, junto con indicadores visuales para observar los datos actualizados de las variables en tiempo real. A la izquierda, tiene un control numérico para ingresar el Set Point de flujo, botones para activar/desactivar el control PID y la sincronización con la nube, y una alarma de seguridad si el flujo excede los límites establecidos. También cuenta con un gráfico en tiempo real para mostrar fluctuaciones y botones para regresar al menú principal o generar reportes. Cabe señalar que hay dos interfaces para el control del flujo: una a través de una válvula proporcional y otra mediante un variador de frecuencia, el cual regula la aceleración de la bomba, tal como se observa en las figuras 4.52 y 4.53.

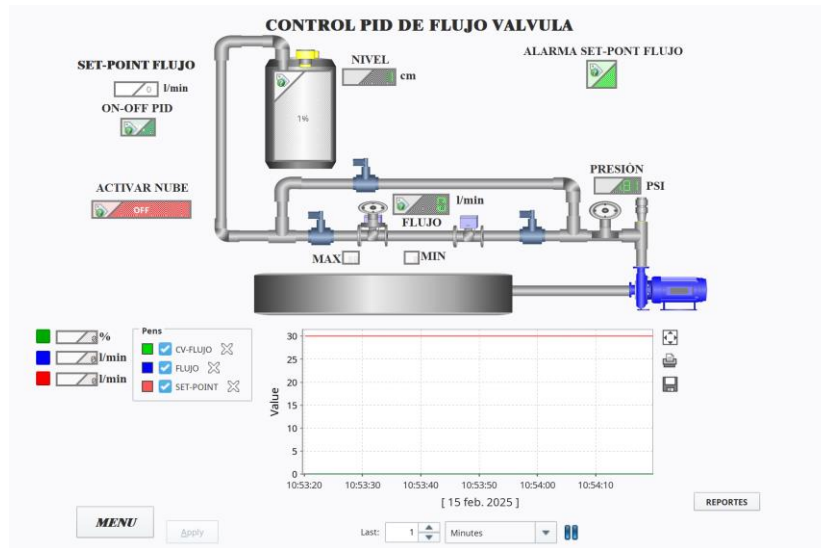


Figura 4.52 Control PID de flujo válvula

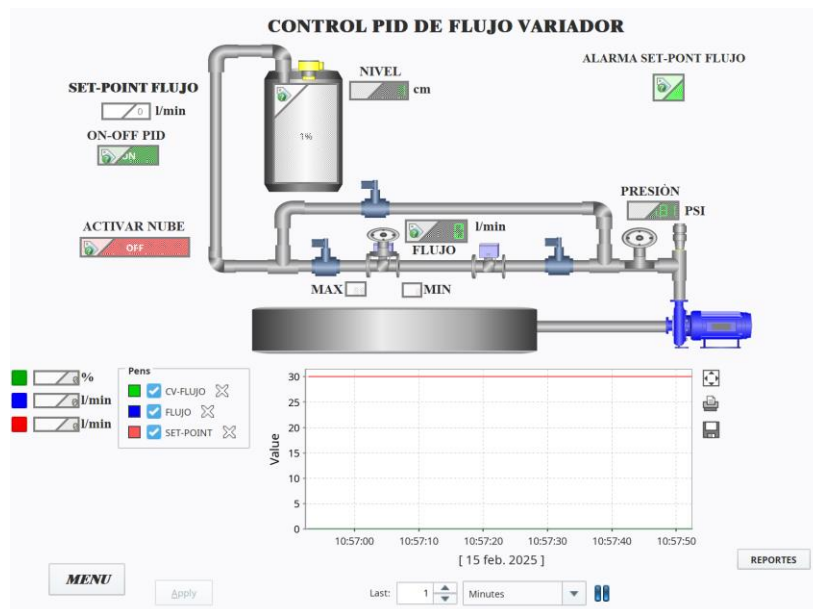


Figura 4.53 Control PID de flujo variador

4.6.11.4 Diseño interfaz para el proceso de control de presión.

Se crea una cuarta interfaz similar a las anteriores, pero destinada a monitorear y regular la presión en el sistema de tuberías. Incluye el tanque, sensores de nivel, flujo y presión, la bomba y el tanque de depósito, junto con indicadores visuales para ver los valores de las variables en tiempo real. A la izquierda, tiene un control numérico para ingresar el Set Point de presión, botones para activar/desactivar el control PID y la sincronización con la nube, y una alarma de seguridad si la presión excede los límites establecidos. También presenta un

gráfico en tiempo real para mostrar fluctuaciones y botones para regresar al menú principal o generar reportes. Esto permite una gestión más eficiente del proceso y facilita la toma de decisiones fundamentadas en el análisis de las variables de control, como se muestra en la figura 4.54.

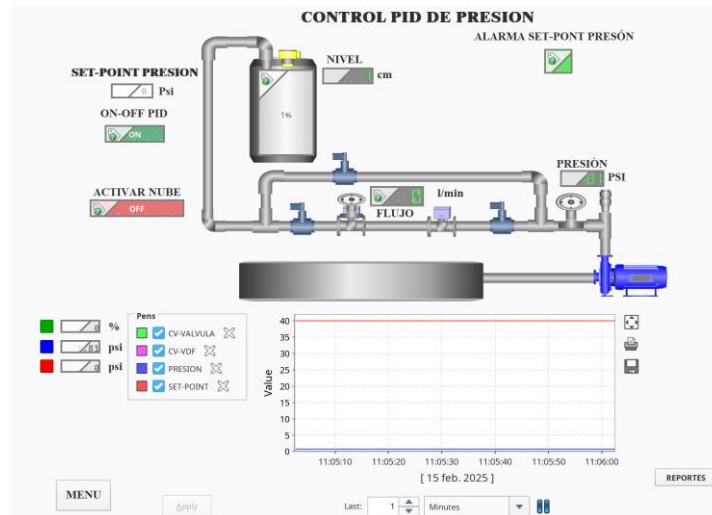


Figura 4.54 Control PID de presión

4.6.12 Configuración del protocolo de comunicación MQTT

Permite enviar datos a la nube desde nuestro software Ignition SACADA al software Node - Red mediante el protocolo de comunicación MQTT, se basa en el modelo de publicador - suscriptor a través de un broker, este puede estar de manera local o instalado en la nube. Las variables de nivel, flujo y presión actuarán como los publicadores ya que estos recolectan los datos que se van a controlar en el sistema, para este proyecto nuestro bróker se encontrará instalado en la nube a través del servidor Amazon Web Services (AWS), por último, tenemos al suscriptor, este puede ser un o un dispositivo tecnológico (celulares, computadoras o laptop), en este caso el suscriptor será una laptop o también puede ser un celular. Hay que tener en cuenta que la comunicación MQTT es bidireccional, como ejemplo esto quiere decir que el celular o laptop que en este caso es el suscriptor también debe poder configurarse como publicadores y posteriormente los sensores también deben poder configurarse como suscriptores.

Para realizar la comunicación MQTT de Ignition SACADA a Node red. Ingresar a la página del software Node red, dentro del página diríjase a la opción Flows, en esta opción buscar la

palabra Ignition, descargar el módulo que nos permitirá leer y escribir datos de Ignition SACADA. Como se evidencia en la figura 4.55.

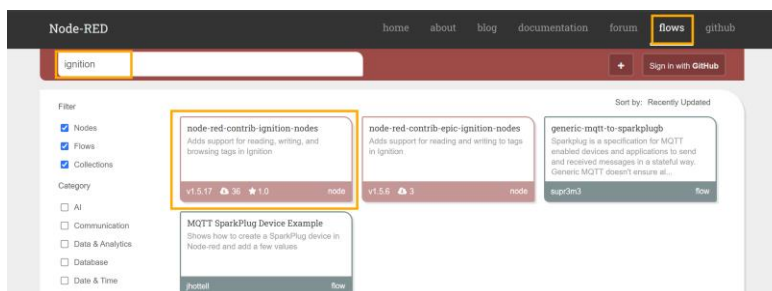


Figura 4.55 Node red

Terminada la descarga el paquete del módulo, abrir el software Ignition SCADA, diríjase a al apartado de configuración, presione en la opción Modules, deslizar hasta encontrar el apartado de Ignition Module Development Community y presionar en la opción Install or Upgrade a Module. Los pasos se muestran en la figura 4.56.

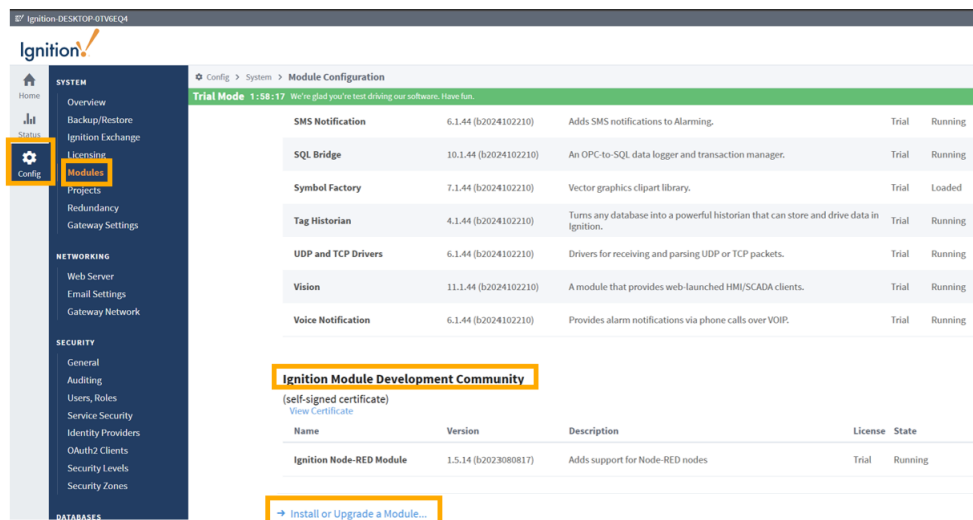


Figura 4.56 Instalar o actualizar módulos

Posteriormente se nos abre en la pantalla en donde se debe subir el archivo de modulo descargado como se muestra en la figura 4.56. es de fundamental importancia realizar cada uno de los pasos, para evitar problemas con la comunicación entre los softwares.

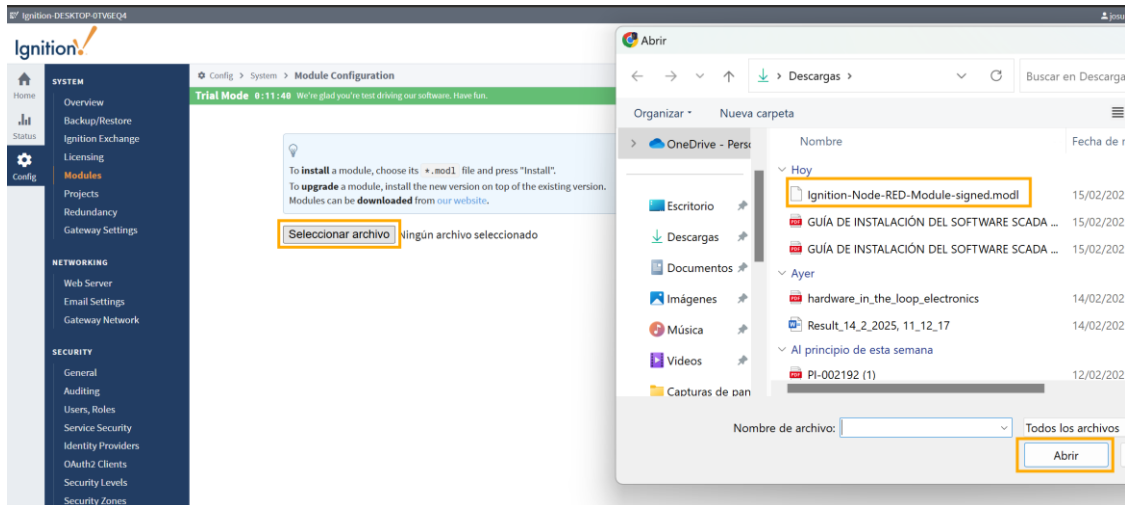


Figura 4.57 Subir el archivo de modulo descargado

Ya seleccionado el archivo se procede a instalar en el Ignition SCADA, el estado de la conexión (Status) debería indicarse como Connecting, como se puede observar en la figura 4. 73. Esto ayuda a que el Node red lea y escriba datos en Ignition SACADA, como también ayuda a enviar los datos desde Node Red a la nube AWS y este vuelve enviar al Node Red que se instaló en la nube.

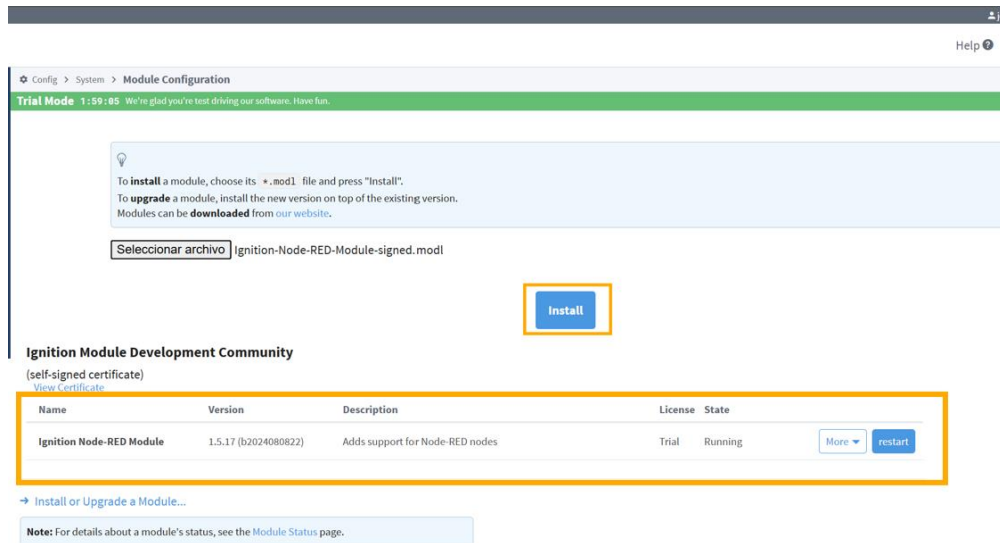


Figura 4.58 Instalar en el Ignition SCADA

En la opción de configuraciones, se busca el apartado NODE-RED y se debe presionar en API tokens, presioné en la opción Create new Node-Red API token, ya dentro de la misma se tiene que configurar parámetros como su nombre (Este es de preferencia) y el API token

que viene dado por el módulo que se instaló anteriormente, esto se puede evidenciar en la figura 4.59.

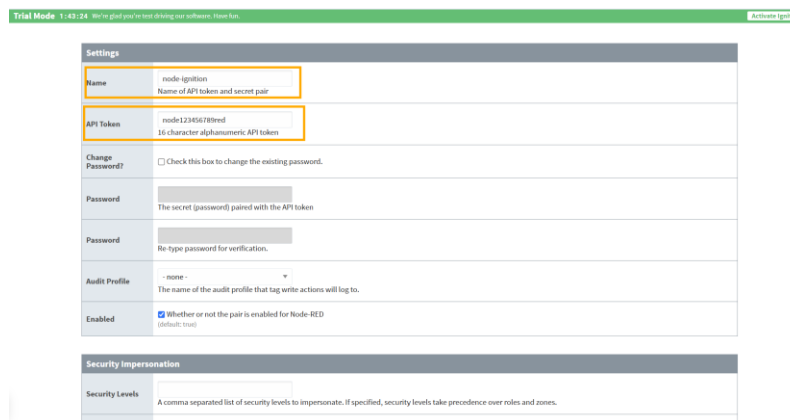


Figura 4.59 Configurar parámetros

Una vez establecida la conexión, se debe abrir el software Node Red, aquí vamos a crear Topics, primarios y secundario para poder añadir las variables de control del sistema, para abrir el software Node Red, primero se debe abrir la simbología del sistema de la laptop, en donde se escribe node-red y posteriormente podrá abrir el panel de trabajo del software, esto se puede apreciar en la figura 4.60.

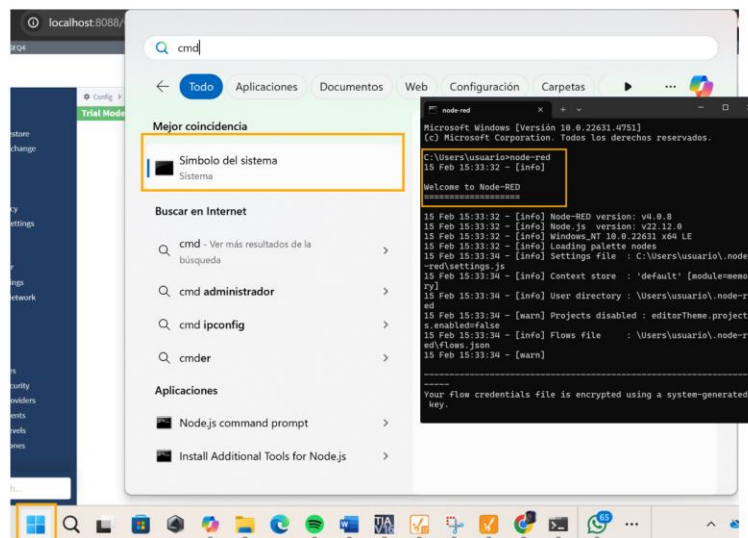


Figura 4.60 Crear topics primarios y secundarios

Se procede a abrir el programa en el navegador con la dirección <http://localhost:1880> , ya dentro de la ventana de trabajo se crea topics y subtopics, los cuales tienen la función de almacenar los tag de las variables que vamos a llamar desde el software Ignition SCADA, para esto llamaremos a la variable de Nivel como ejemplo, en la ventana de trabajo del Node

Red nos dirigimos a la opción common, se agrega un Topic principal y se da doble clic para configurarlo en un intervalo de 2 segundos, como se muestra en la figura 4.61.

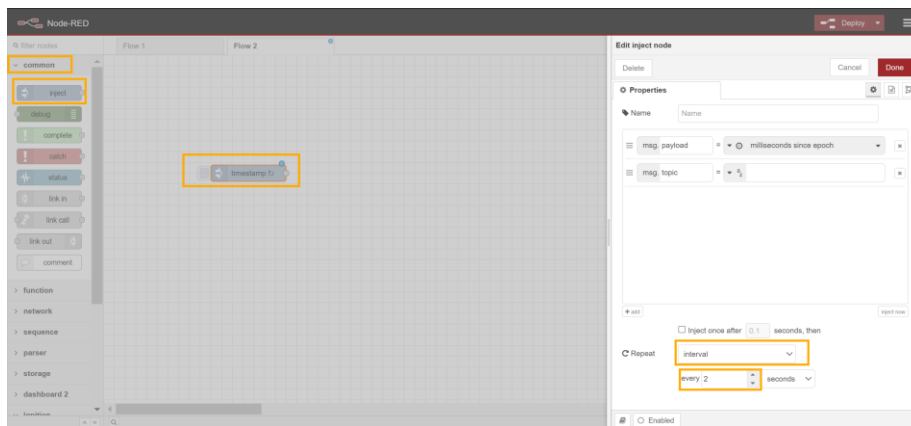


Figura 4.61 Espacio de trabajo Node Red

Antes de crear el subtopic, se tiene que abrir el software SACADA Ignition, ya dentro del software dirijase al apartado donde se creó los tags para las variables de control, dar clic en la carpeta de PLC_SIEMENS y buscar el tag de la variable de nivel. Finalmente, se hace clic derecho y se selecciona la opción "Copy Path", tal como se muestra en la figura 4.62.

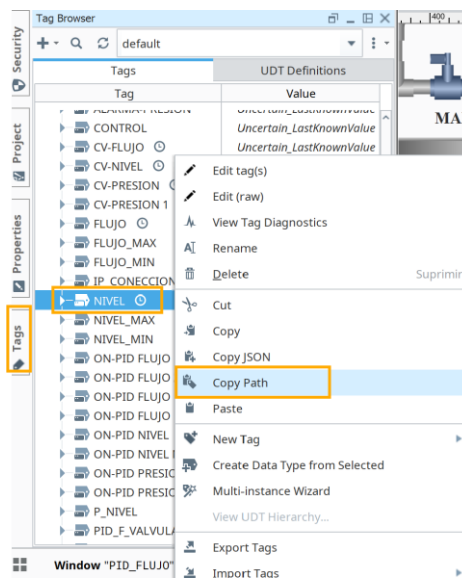


Figura 4.62 Copiar el Path

Se debe ingresar nuevamente a la ventana de trabajo del software Node Red, en donde se crea un subtopic, aquí se va a pegar el Path de la variable que se desea configurar, que en este caso será de Nivel, para ello se presiona en la opción Ignition, se coloca el topic Ignition tag read, luego se debe configurar el topic, en Ignition Server se debe elegir IGNITION y en Tag

Path se pega el Path de la variable de Nivel, los demás parámetros se deja por defecto, por último se conecta el subtopic al topic principal, como se apreciar en la figura 4.63.

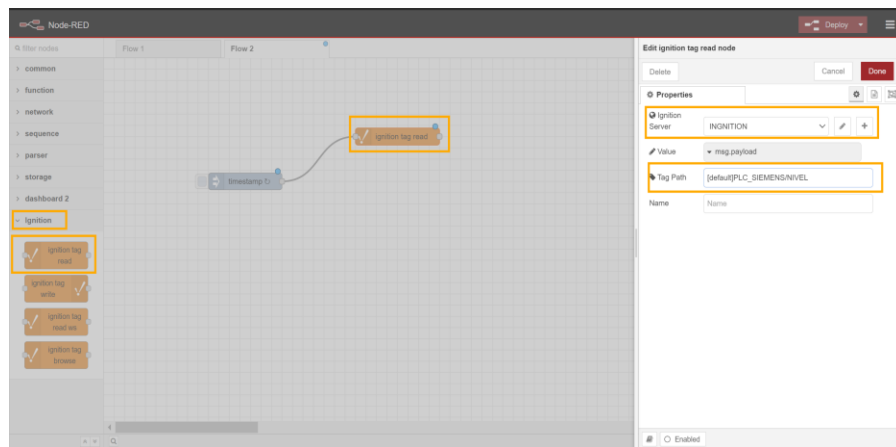


Figura 4.63 Pegar el Path en Node Red

Por último, presioné la opción function y se debe agregar un topic de function al área de trabajo del software, para configurarla se tiene que hacer dos líneas de código que es repetitiva también para las demás variables, esto se puede evidenciar en la figura 4.64.

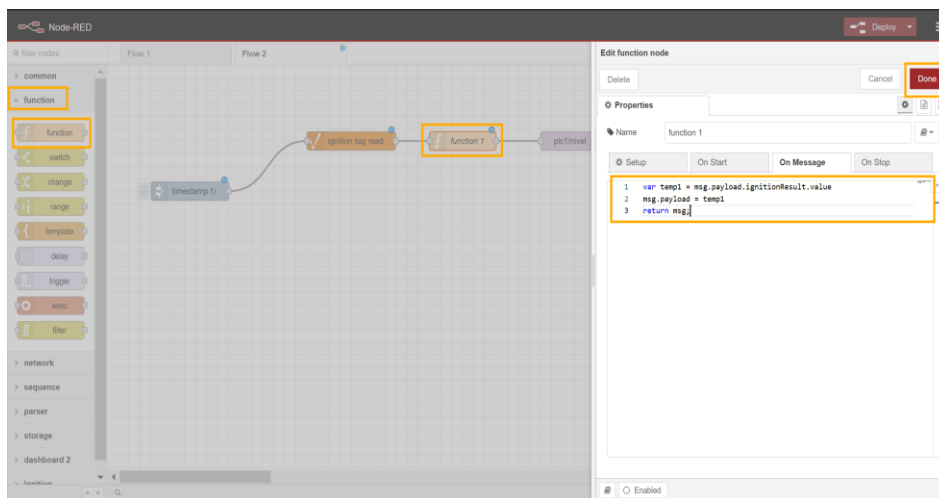


Figura 4.64 Configuración de topic

Seguido presioné en la opción network, agregar un topic mqtt in, dar doble clic en el topic para configurarlo, en sever se elige BROKER IOT, en topic se coloca el nombre del PLC y la variable de Ignition y se nombra al Topic (el nombre es de preferencia). Esto se puede observar en la figura 4. 80.

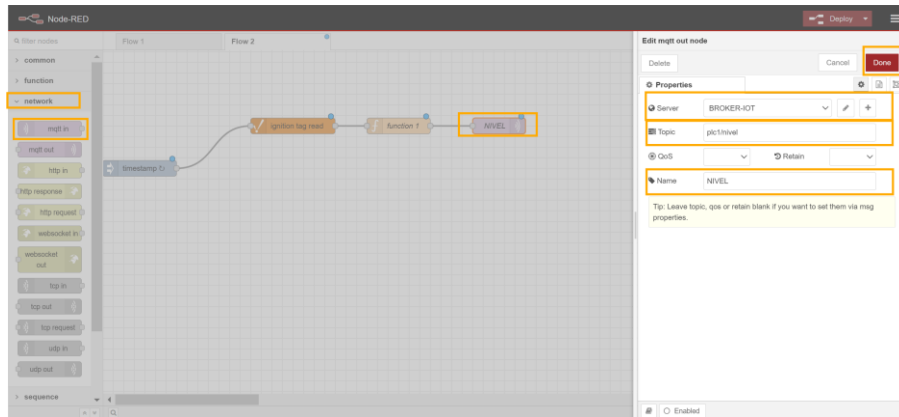


Figura 4.65 Agregar un topic mqtt

Por último, para la entrada de comunicación MQTT, se sigue el mismo procedimiento de configuración de Path y configuración de topics, la única diferencia es que en la entrada no va a ver un topic principal solo se va a tener los topics de las variables que viene dadas por el Path que se copia de Ignition SCADA, esto se puede evidenciar en la figura 4.66.

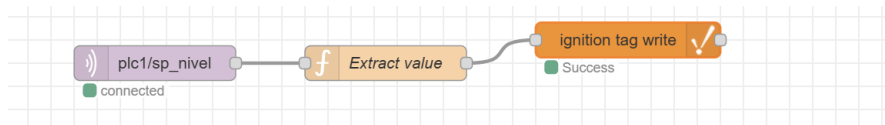


Figura 4.66 Entrada de comunicación MQTT

De esta manera configuramos todas las variables del sistema SCADA, es muy importante seguir todos los procedimientos de la comunicación MQTT para no tener ningún problema con al momento de realizar el control de las variables establecidas.

4.6.13 Diseño de la interfaz en la nube

4.6.13.1 Diseño del menú principal para el control y monitorio de variables

Para el diseño del menú principal en la interfaz de la nube se siguió la misma lógica de la interfaz del Ignition, en este caso en la parte superior tenemos un título con el nombre de la Universidad, en letras azules. También se pusieron los logotipos institucionales de la carrera y de la Universidad, luego del encabezado se colocó el título del proyecto de tesis, destacando el propósito del sistema SCADA, posteriormente se colocaron los autores y el tutor del proyecto de tesis con diferentes colores de letra para hacer más fácil la visibilidad de estos, en la parte derecha en columna de forma rectangular, con un fondo azul y letras blancas, tenemos los botones con los nombres respectivos de cada uno de los controles PID que se va

a llevar a cabo, dependiendo de que variable quiera controlar el operador. Esto se puede apreciar en la figura 4.67.



Figura 4.67 Interfaz de la nube

4.6.13.2 Diseño de las interfases en la nube para los procesos de control de nivel, flujo y presión.

En cuanto al diseño de los menús o interfases secundarios del sistema SCADA para el control PID de las variables de nivel, flujo y presión, en la parte superior tenemos un encabezado con el nombre de la universidad y sus respectivos logotipos, en la mitad se colocó un esquema en donde se puede observar el tanque con el sensor de nivel en la parte superior, el cual se conecta a un sistema de tuberías que contienen componentes como; la bomba, el tanque de depósito, sensores de flujo y presión, válvula proporcional y las válvulas Manueles, en la parte inferior del esquema tenemos la opción para activar el PID de control de cada variable. En parte superior izquierda esta la opción para poner activar o desactivar nuestro sistema SCADA, también tenemos un indicador numérico en don podemos ingresar el Set Point. Es importante resaltar que la nube solo se puede activar desde la interfaz en Ignition SCADA, si esta opción no está activa el sistema SCADA de la nube no se pondrá en marcha. Las figuras 4. 68, 4. 69, y 4. 70 representan los diseños de las interfases realizadas en la nube del sistema SCADA.



Figura 4.68 Interfaz Control PID nivel

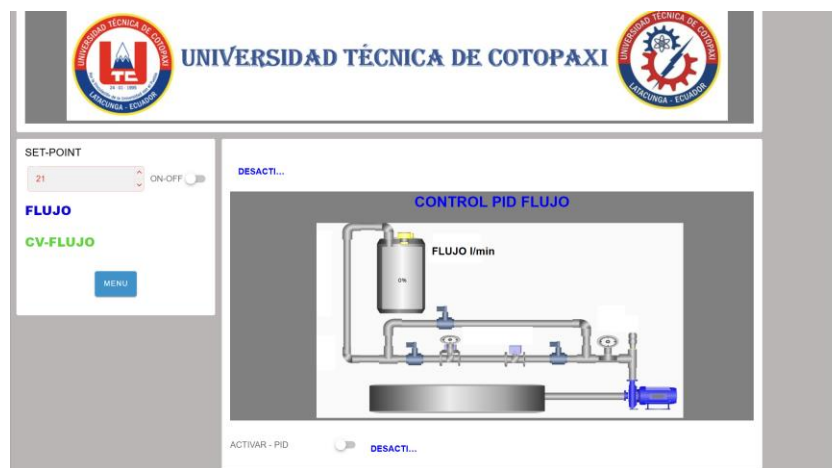


Figura 4.69 Interfaz Control PID flujo



Figura 4.70 Interfaz Control PID presión

Cada una de estos menus cuenta con una grafica de seguimiento, en donde se pueden observar los cambios de fluctuaciones de las curvas en tiempo real de cada una de las variables que se esta controlando. Esta grafica se puede evidenciar en la figura 4.71.

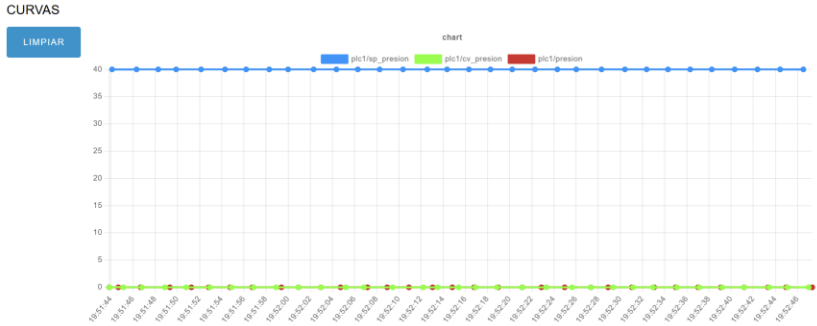


Figura 4.71. Cambios de fluctuaciones en tiempo real

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El siguiente capítulo versa sobre los resultados obtenidos cuando se ha realizado el seguimiento y regulación de las variables, verificando el comportamiento de estas después de la puesta en marcha del controlador PID ajustado. Esta señal generada entra a formar parte de la Interfaz SCADA, aunque las variables son distribuidas a cada uno de los menús correspondientes de los que se componen la plataforma SCADA para ejecutar las acciones correspondientes en el PLC, lo que facilita un control eficiente a escala local. Asimismo, se harán chequeos para validar que la información presentada en el entorno SCADA sea congruente con la visualizada en los menús virtuales, a efectos de asegurar que el sistema está funcionando correctamente y de forma fiable.

5.1 MÉTODO MATEMÁTICO Y FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE LOS PROCESOS DE CONTROL

El modelo matemático de los diferentes procesos de control seguirá la siguiente estructura.

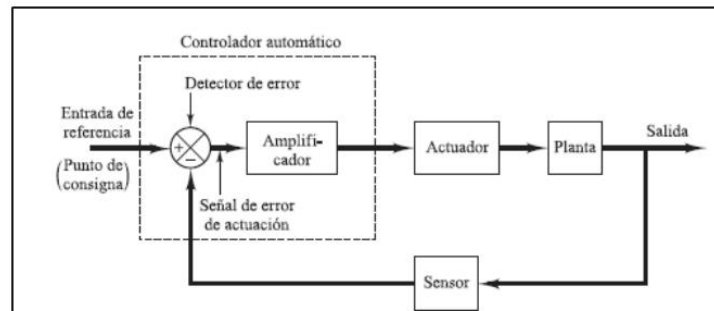


Figura 5.1 Transferencia de los procesos

Fuente: [14]

5.1.1 Modelo matemático para el proceso de control de nivel

El modelo matemático del proceso de control de nivel resulta de los datos experimentales obtenidos en el módulo práctico. Para poder obtenerlo es necesario tener conectado todos los elementos que conforman el sistema, esto es, el sistema PLC y sus expansiones, el variador de frecuencia y los sensores responsables del control de las variables.

A continuación, se establece un valor que da un 70 % de potencia al motor, el cual es regulado mediante el variador de frecuencia. Posteriormente, se lleva a cabo la recogida de datos de la

variable de control de nivel. Luego, los datos son procesados en MATLAB para obtener la función de transferencia del sistema, tal y como se muestra en la figura 5.1.

$$Gp(s) = \frac{K}{1+(Ts)} e^{Ts} \quad (5-1)$$

$$Gp(s) = \frac{1.5552}{1 + (39.827 * s)} e^{(1.6409*s)}$$

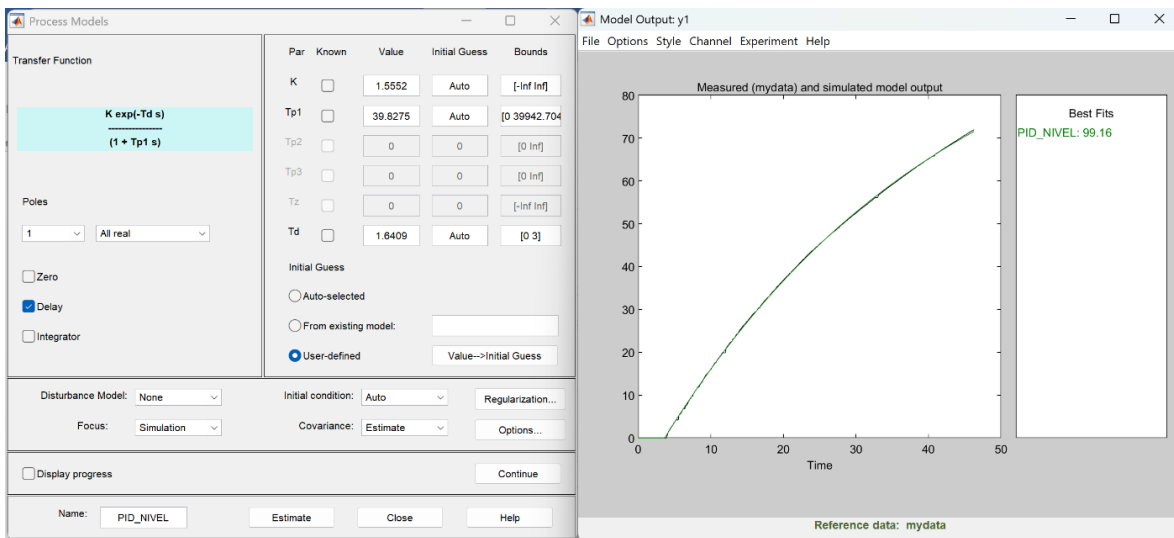


Figura 5.2 Proceso de control de nivel

5.1.2 Modelo matemático para el proceso de control de Flujo Válvula Proporcional

El modelo matemático se obtiene a partir de los datos experimentales recopilados en el módulo práctico. En este proceso, la válvula proporcional se abre al 60 % en la entrada de control, mientras que la bomba opera a su potencia máxima (60 Hz). Posteriormente, se lleva a cabo la adquisición de datos de la variable de flujo, registrando los valores obtenidos. Finalmente, estos datos son ingresados en MATLAB para determinar la función de transferencia del sistema, como se muestra en la figura 5.2.

$$Gp(s) = \frac{1.1796}{1+(4.5989*s)} e^{(3*s)} \quad (5-2)$$

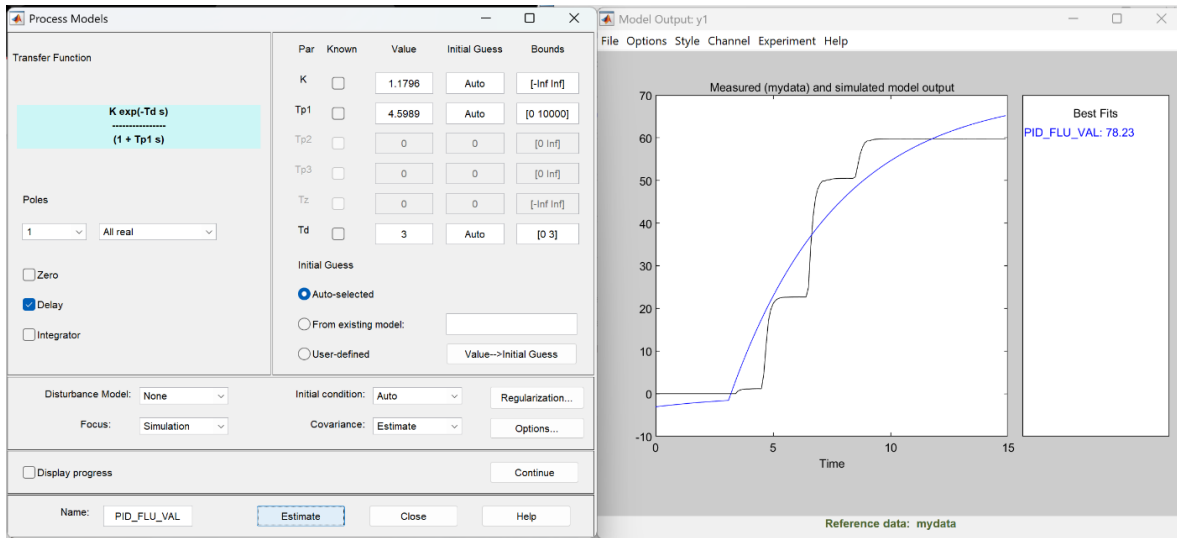


Figura 5.3 proceso de control de Flujo Válvula Proporcional

5.1.3 Modelo matemático para el proceso de control de Flujo Variador de Frecuencia

El modelo matemático se obtiene a partir de los datos experimentales recopilados en el módulo práctico. En este proceso, el variador opera al 100 % en la entrada de control, regulando la velocidad de la bomba de agua. Simultáneamente, se lleva a cabo la adquisición de datos de la variable de flujo, registrando los valores obtenidos. Finalmente, los datos se introducen en MATLAB para calcular la función de transferencia del sistema, tal como se presenta en la figura 5.3.

$$Gp(s) = \frac{1.6458}{1+(0.82697*s)} e^{(1.6096*s)} \quad (5-3)$$

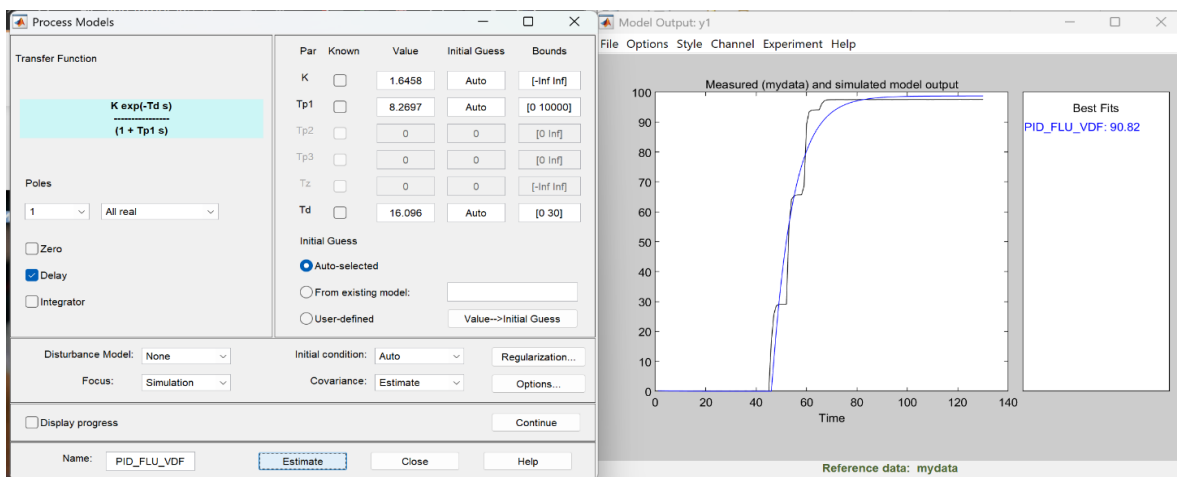


Figura 5.4 Proceso de control de Flujo Variador de Frecuencia

5.1.4 Modelo matemático para el proceso de control de presión Válvula Proporcional

El modelo matemático se obtiene a partir de los datos experimentales, los cuales se adquieren en el módulo práctico, en este caso se abre el variador proporcional al 50% en la entrada de control, adicionalmente se realiza la adquisición de datos de la variable de presión y se obtienen los datos. Por último, se ingresan los datos adquiridos al Matlab para obtener la función de transferencia como se observa en la figura 5.4.

$$Gp(s) = \frac{0.15197}{1+(1.8684*s)} e^{(2.7683*s)} \quad (5-4)$$

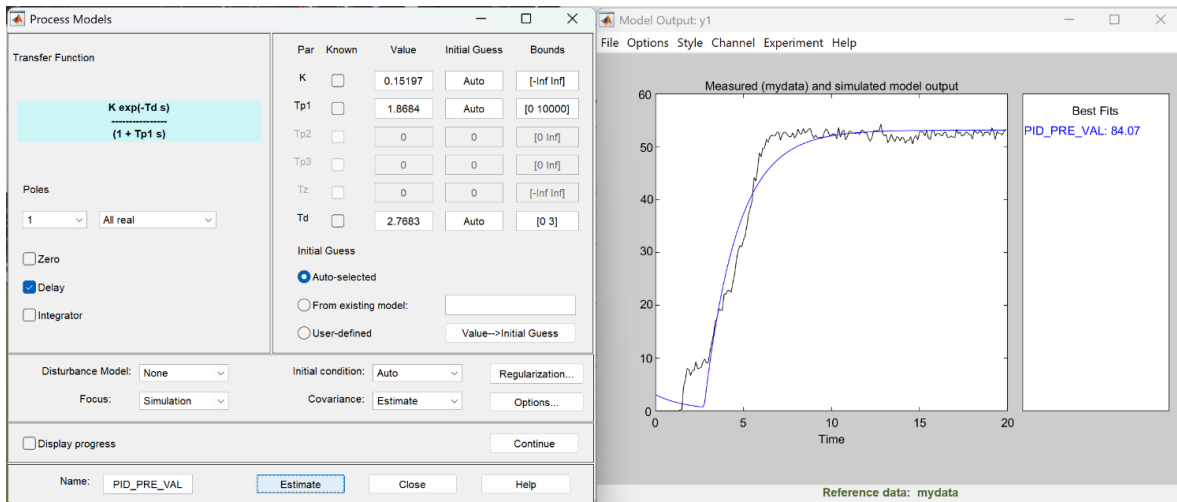


Figura 5.5 Proceso de control de presión Válvula Proporcional

5.1.5 Modelo matemático para el proceso de control de presión Variador de Frecuencia

El modelo matemático se obtiene a partir de los datos experimentales recopilados en el módulo práctico. En este proceso, el variador de frecuencia opera al 80 % en la entrada de control, regulando la velocidad de la bomba de agua. Adicionalmente, se realiza la obtención de datos de la variable de presión, registrando los valores obtenidos. Finalmente, estos datos son ingresados en MATLAB para determinar la función de transferencia del sistema, como se evidencia en la figura 5.5.

$$Gp(s) = \frac{0.11143}{1+(9.9411*s)} e^{(25.821*s)} \quad (5-5)$$

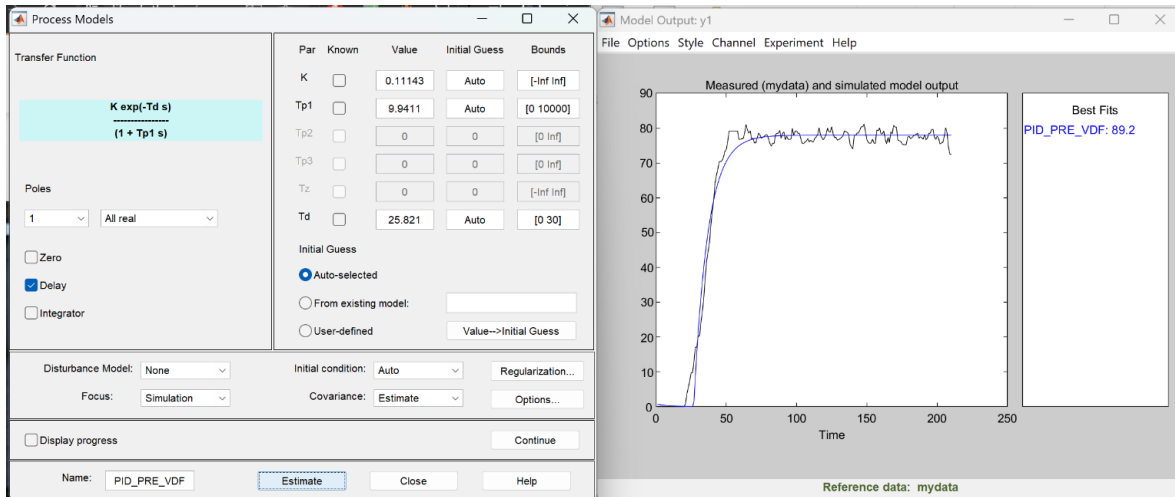


Figura 5.6 Proceso de control de presión Variador de Frecuencia

5.2 SINTONÍA PID DE LOS PROCESOS AUTORREGULABLES (MÉTODO DE ZIEGLER-NICHOLS)

La sintonización PID de los procesos autorregulables en las interfaces de control de nivel, flujo y presión se realizó mediante el método de Ziegler-Nichols. En cada caso, se comenzó con una función de transferencia de primer orden y se aplicó un modelo matemático previamente establecido para cada variable de control.

$$Gp(s) = \frac{K}{1+(Ts)} e^{-Ts} \quad (5-6)$$

5.2.1 Sintonía PID método de Ziegler-Nichols en el proceso de control de nivel

Los resultados obtenidos del proceso de control de nivel, basados en los valores calculados, se muestran en la Figura 5.6. Para la determinación de las medidas de control, se aplicó este método utilizando la función de transferencia previamente desarrollada, la cual se fundamenta en los datos adquiridos de la variable de control de nivel en el tablero práctico.

$$Gp(s) = \frac{1.5552}{1+(39.827*s)} e^{(1.6409*s)} \quad (5-7)$$

A partir de este modelo matemático, se determinan las constantes de sintonía y se generan las curvas de respuesta al ingresar un Set-Point de 40 cm.

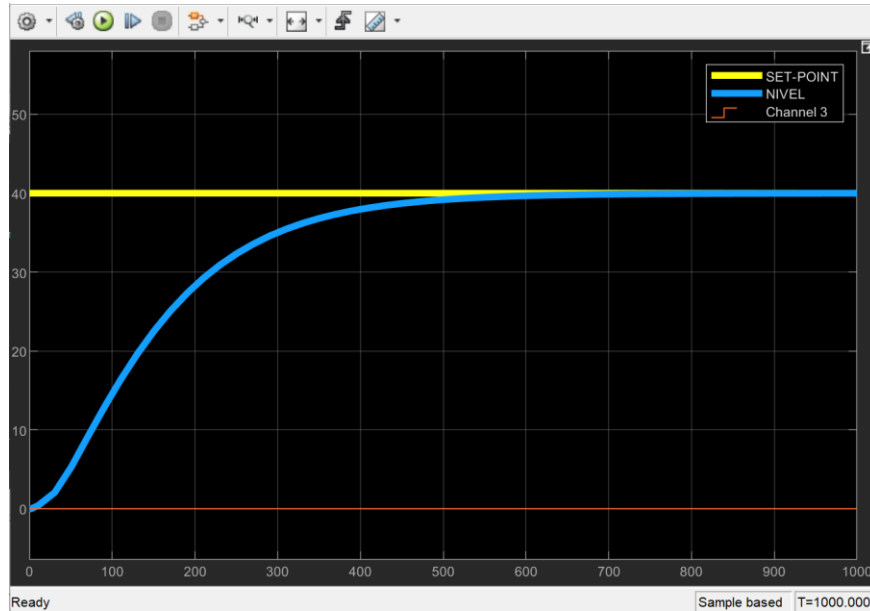


Figura 5.7 Respuesta proceso de control de nivel

En la tabla 5.1 se detallan los parámetros de sintonía K_p , K_d y K_i , calculados para optimizar el control del sistema. Además, se incorporó una columna que muestra el sobre impulso observado, que en este caso no lo hay, el cual se visualiza en la figura 5.6.

Tabla 5.1 Parámetros de sintonía variable de Nivel

Método	Parámetros variables de Nivel			
	K_p	K_i	K_d	(PEM)%
Ziegler-Nichols	0.0318	3.9911e-03	0.6331	0%

5.2.2 Sintonía PID método de Ziegler-Nichols en el proceso de control de Flujo Válvula Proporcional

Los resultados obtenidos del proceso de control de flujo, basados en los valores calculados, se muestran en la Figura 5.7. Para determinar los parámetros de control, se aplicó este método utilizando la función de transferencia desarrollada en el capítulo 4, la cual se fundamenta en la adquisición de datos de la variable de control en el tablero práctico.

$$Gp(s) = \frac{1.1796}{1+(4.5989*s)} e^{(3*s)} \quad (5-8)$$

A partir de este modelo matemático, se calcularon las constantes de sintonía y se generaron las curvas de respuesta al establecer un Set-Point de 30 l/min.

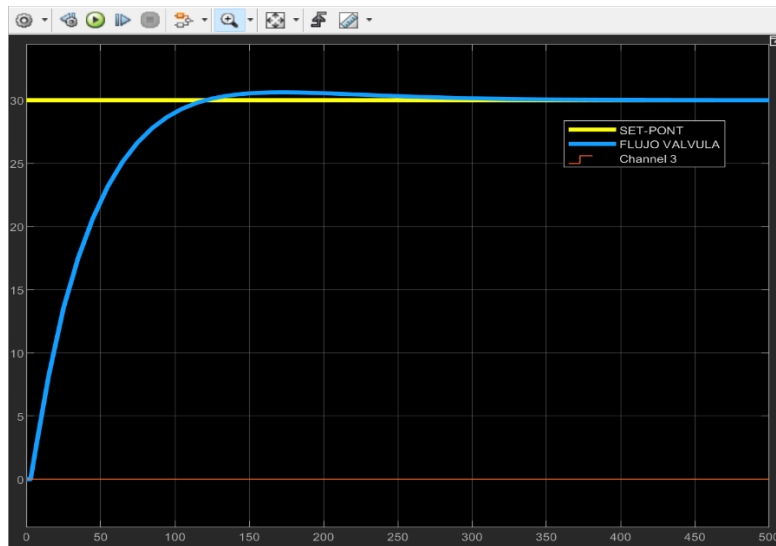


Figura 5.8 Respuesta proceso de control de Flujo Válvula Proporcional

En la tabla 5.2 se presentan los parámetros de sintonía K_p , K_d y K_i . Con el objetivo de analizar las respuestas obtenidas según las constantes calculadas, se incluyó una columna adicional que muestra el sobre impulso observado en la figura 5.7.

Tabla 5.2 Parámetros de sintonía variable de control de flujo con válvula proporcional

Método	Parámetros variables de Flujo con válvula proporcional			
	K_p	K_i	K_d	(PEM)%
Ziegler-Nichols	0.6636	0.0721	1.5259	5%

5.2.3 Sintonía PID método de Ziegler-Nichols en el proceso de control de Flujo Variador de Frecuencia

Los resultados obtenidos del proceso de control de flujo, según los valores calculados, se muestran en la Figura 5.8. Para determinar los parámetros de control, se aplicó este método utilizando la función de transferencia desarrollada en el capítulo 4, la cual se fundamenta en los datos adquiridos de la variable de control en el tablero práctico.

$$Gp(s) = \frac{1.6458}{1+(0.82697*s)} e^{(1.6096*s)} \quad (5-9)$$

De este modelo matemático se calculan las constantes de sintonía y se grafican las curvas de respuesta egresando un Set-Point de 40 l/min.

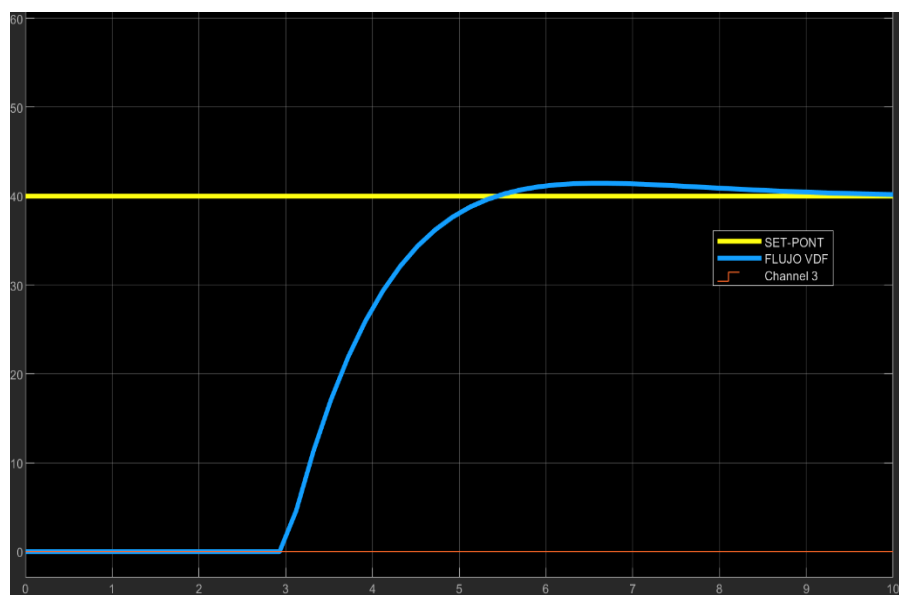


Figura 5.9 Respuesta Flujo Variador de Frecuencia

En la tabla 5.3 se presentan los parámetros de sintonía K_p , K_d y K_i . Con el fin de analizar el comportamiento del sistema, se incluyó una columna adicional que muestra el sobreimpulso correspondiente, el cual se visualiza en la figura 5.8.

Tabla 5.3 Parámetros sintonía variable de control de flujo con variador de frecuencia

Método	Parámetros Flujo VDF			
	K_p	K_i	K_d	(PEM)%
Ziegler-Nichols	1.4192	0.8581	0.5868	5%

5.2.4 Sintonía PID método de Ziegler-Nichols en el proceso de control de Presión Válvula Proporcional

Los resultados derivados de los valores calculados para el proceso de control de flujo se muestran en la Figura 5.9. Para la determinación de los parámetros de control, se empleó este método utilizando la función de transferencia desarrollada en el capítulo 4, basada en la adquisición de datos de la variable de control en el tablero práctico.

$$Gp(s) = \frac{0.15197}{1+(1.8684*s)} e^{(2.7683*s)} \quad (5-10)$$

A partir de este modelo matemático, se calculan las constantes de sintonización y se trazan las curvas de respuesta, estableciendo un Set-Point de 60 cm.

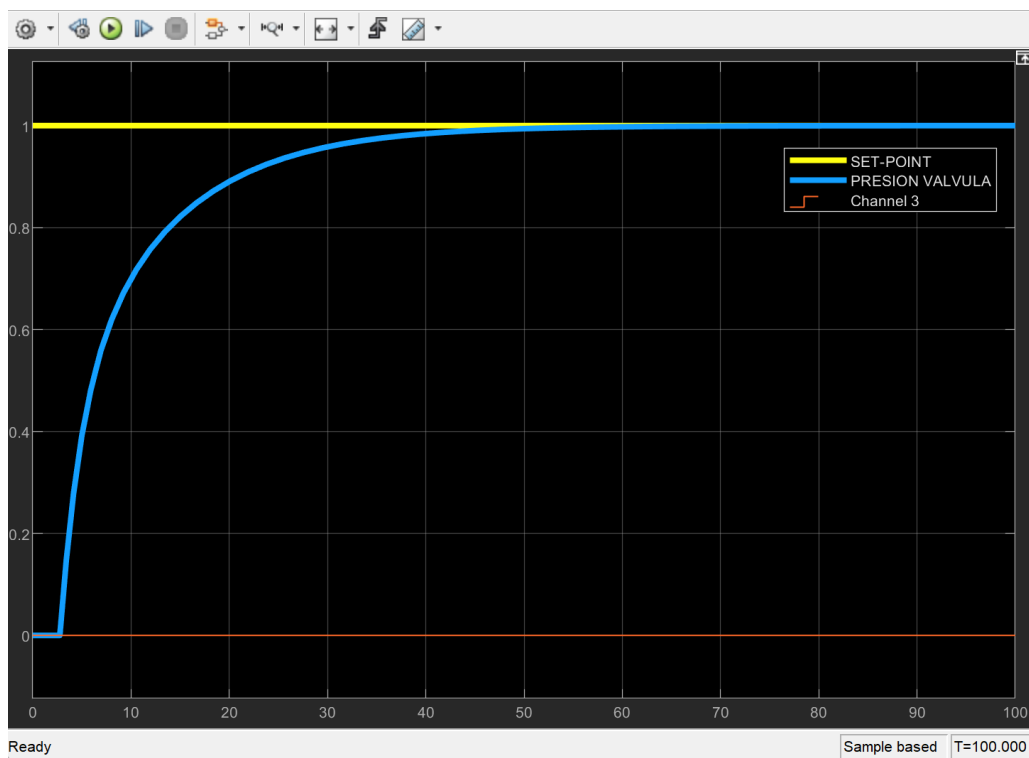


Figura 5.10 Respuesta control de Presión Válvula Proporcional

En la tabla 5.4 se detallan los parámetros de sintonía K_p , K_d , K_i , Para obtener respuestas según las constantes que se calcularon, se agregó una columna en donde se muestra el sobre impulso que se ve en la figura 5.9.

Tabla 5.4 Parámetros sintonía y tiempo de sincronización variable de control de presión con válvula proporcional

Método	Parámetros Presión Válvula			
	K_p	K_i	K_d	(PEM)%
Ziegler-Nichols	4.6805	0.8454	6.4785	5%
Tiempo de sincronización	52 segundos			

5.2.5 Sintonía PID método de Ziegler-Nichols en el proceso de control de Presión Variador de Frecuencia

En la figura 5.10 se evidencian los resultados derivados a partir de los valores calculados para el proceso de control de flujo. Para la determinación de los parámetros de control, se empleó este método utilizando la función de transferencia desarrollada en el capítulo 4, la cual se basa en la obtención de datos de la variable de control en el tablero práctico.

$$Gp(s) = \frac{0.11143}{1+(0.9411*s)} e^{(2.5821*s)} \quad (5-11)$$

A partir de este modelo matemático, se determinan las constantes de sintonización y se trazan las curvas de respuesta utilizando un Set-Point de 60 cm.

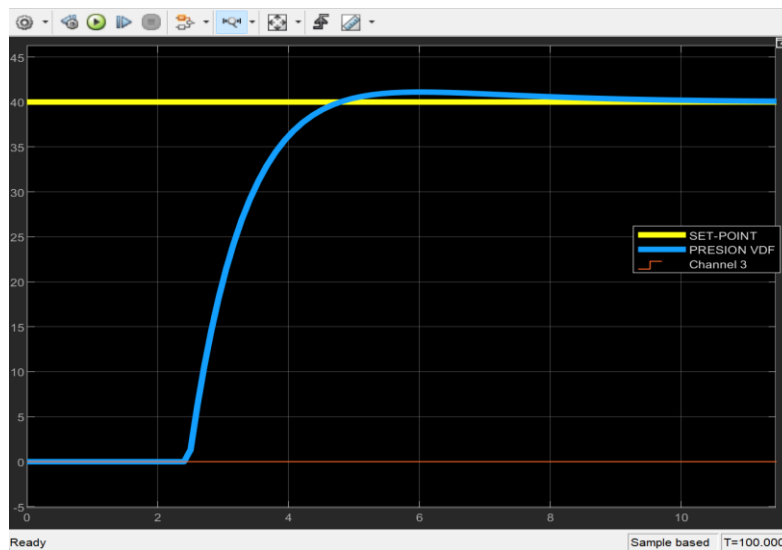


Figura 5.11 Respuesta control de Presión Variador de Frecuencia

En la tabla 5.5 se detallan los parámetros de sintonía K_p , K_d y K_i . Para evaluar las respuestas obtenidas según las constantes calculadas, se incluyó una columna adicional que muestra el sobre impulso observado en la figura 5.10.

Tabla 5.5 Parámetros sintonía variable de control de presión con variador de frecuencia

Método	Parámetros Presión VDF			
	K_p	K_i	K_d	(PEM)%
Ziegler-Nichols	29.5472	15.6982	13.9034	1.7 %

5.3 VALIDACION DE DATOS EN LA INTERFAZ DE NIVEL

La validación de datos para la interfaz de nivel se realiza a través de la comparación de los datos mostrados en la plataforma Ignition SCADA y en la interfaz en la nube (NODE-RED). Dado que ambas plataformas cuentan con un sistema de monitoreo integrado, se verifica la coherencia de los datos en tiempo real. Este proceso se ilustra en las figuras correspondientes.

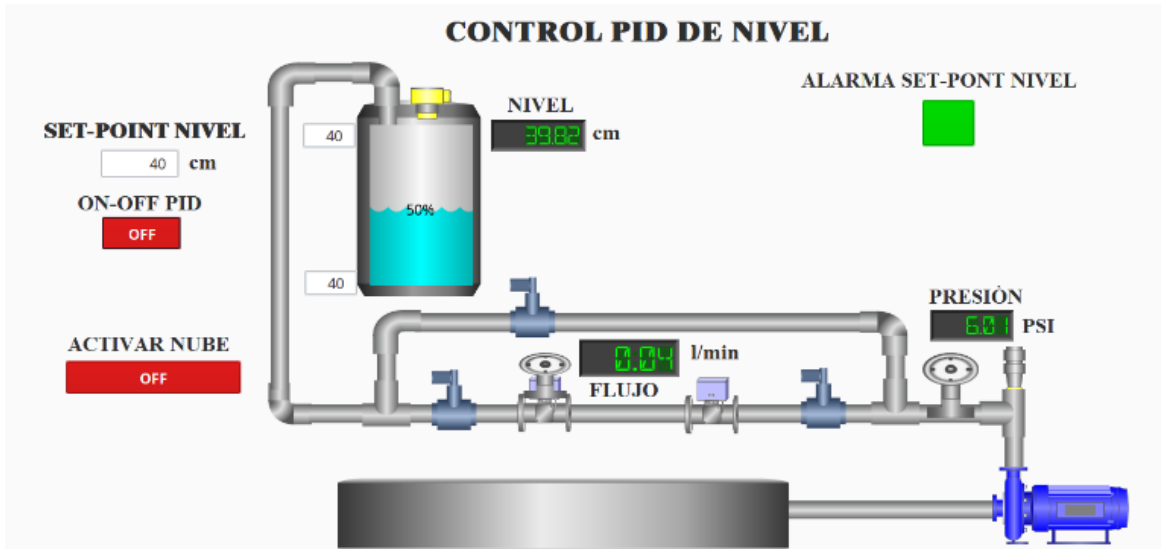


Figura 5.12 Interfaz Ignition SCADA

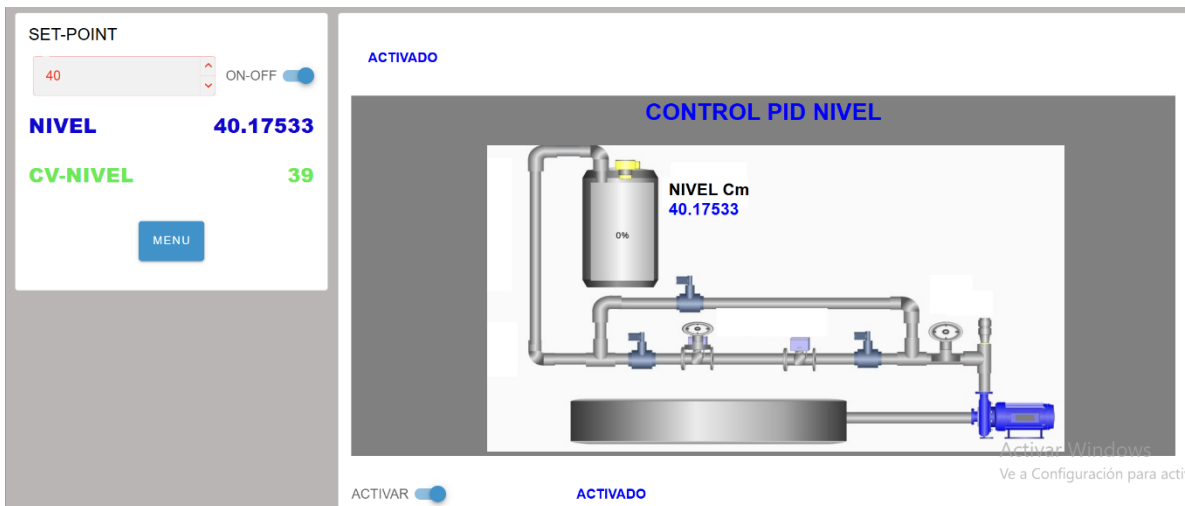


Figura 5.13 Interfaz NODE-RED

Las figuras muestran las gráficas del valor de control (Control Value), el cual regula la velocidad de la bomba hasta alcanzar el punto de consigna (Set Point). En este caso, se ha establecido un Set Point de 40 cm en el valor de proceso (Process Value), lo que provoca que el variador de frecuencia opere inicialmente a su máxima potencia de 60 Hz. Al llegar al Set Point deseado, el variador de frecuencia comienza a reducir la velocidad de la bomba, y el valor de control se ajusta al 37% de su frecuencia, es decir, 22.2 Hz. Es importante destacar que el valor de control continuará variando, aumentando y disminuyendo la frecuencia, para conservar el nivel de agua en el Set Point establecido.

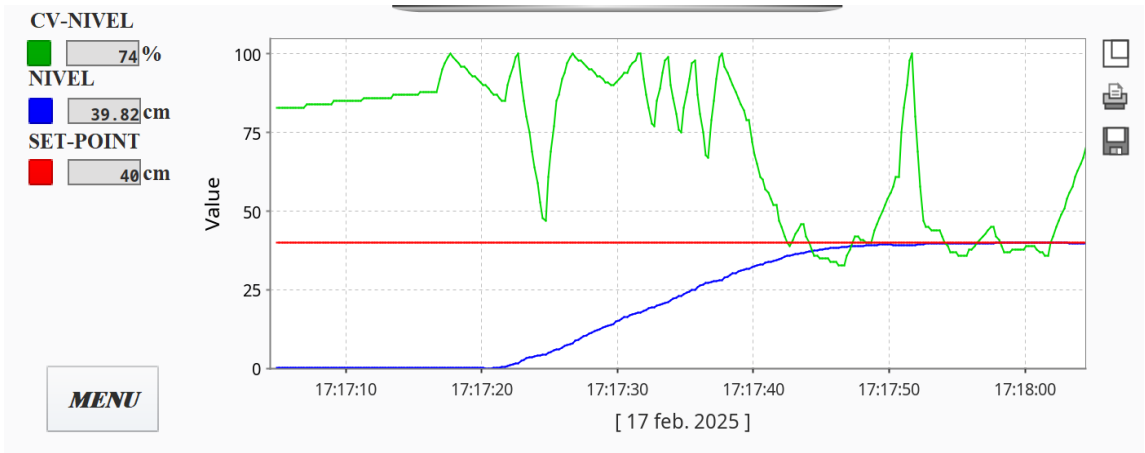


Figura 5.14 Gráfica Ignition

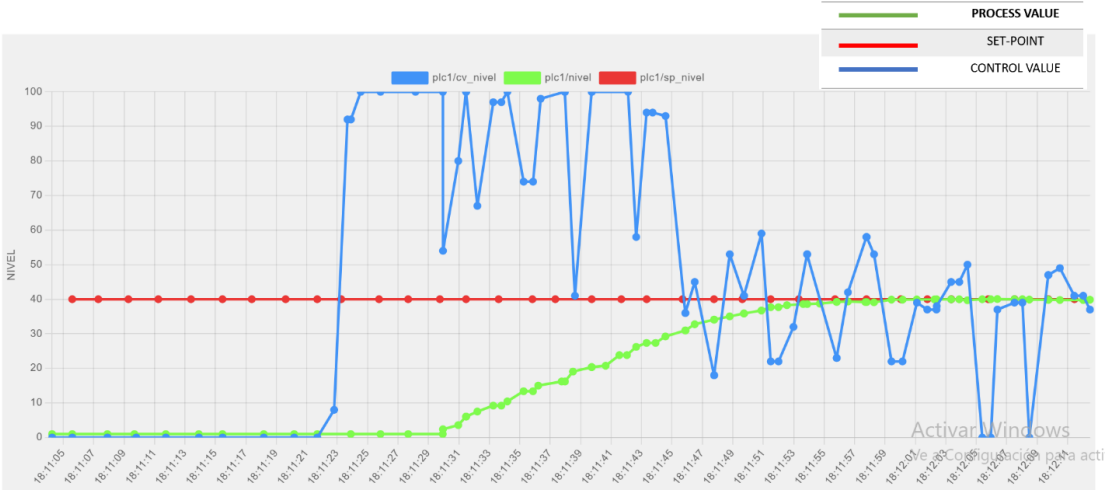


Figura 5.15 Gráfica Node-red

Tabla 5.6 Errores de lecturas del Interfaz Ignition SACADA y Plataforma NODE-RED

Variables	Plataforma Ignition SCADA	Plataforma NODE-RED	Variación
Porcess Value	39.82 cm	40.17 cm	0,35cm
Control Value	32%	37%	5%

Tabla 5.7 Errores de lecturas del Interfaz Ignition SACADA y Plataforma NODE-RED entre Set Point establecido

SET-POINT	40 cm	Variación	
		Plataforma Ignition SCADA	Plataforma NODE-RED
		0.18 cm	0,17 cm
Tiempo de sincronización	50 segundos		

5.4 VALIDACION DE DATOS EN LA INTERFAZ DE FLUJO CON VÁLVULA PROPORCIONAL

La validación de datos para la interfaz de flujo de la válvula se realiza en las plataformas Ignition SCADA y NODE-RED, mediante la comparación de los valores mostrados en sus respectivas interfaces de flujo, las cuales cuentan con un sistema de monitoreo integrado. Esta validación se puede observar en las figuras presentadas.

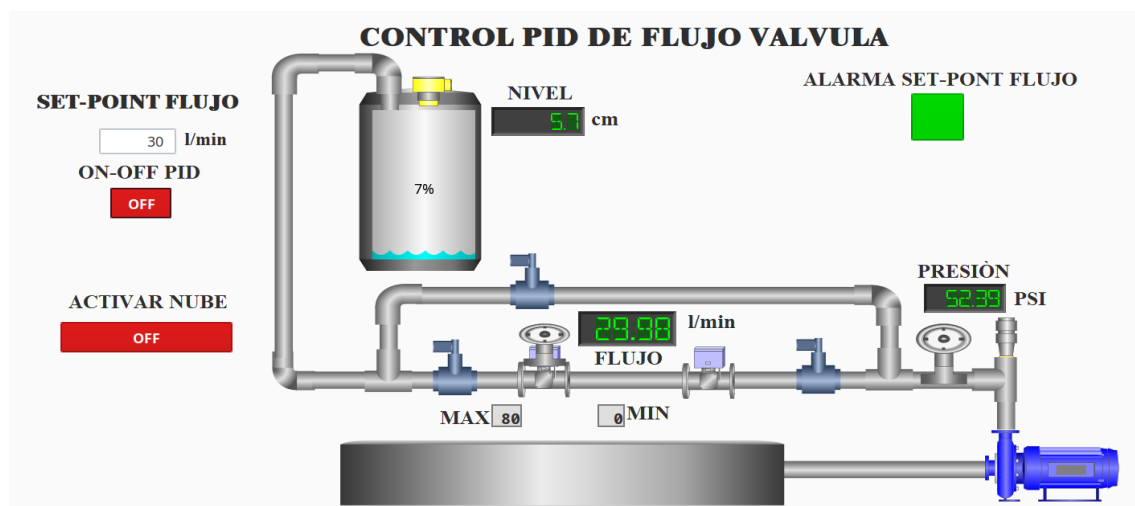


Figura 5.16 Interfaz Ignition SCADA del Control PID de flujo

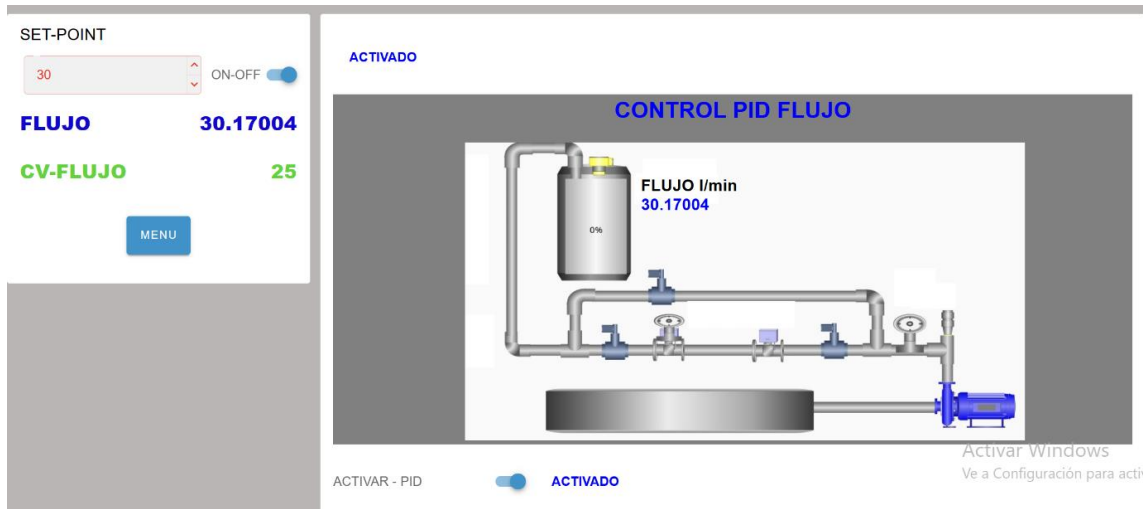


Figura 5.17 Interfaz NODE-RED del Control PID de Flujo

Las figuras muestran las gráficas del Control Value, que regula la apertura de la válvula proporcional para alcanzar el Set Point. En este caso, se ha establecido un Set Point de 30 l/min, y el variador de frecuencia opera al 100% (60 Hz). Conforme el flujo se acerca al valor deseado, la válvula ajusta continuamente su apertura, abriéndose y cerrándose de manera constante para equilibrar el paso del agua a través de las tuberías.

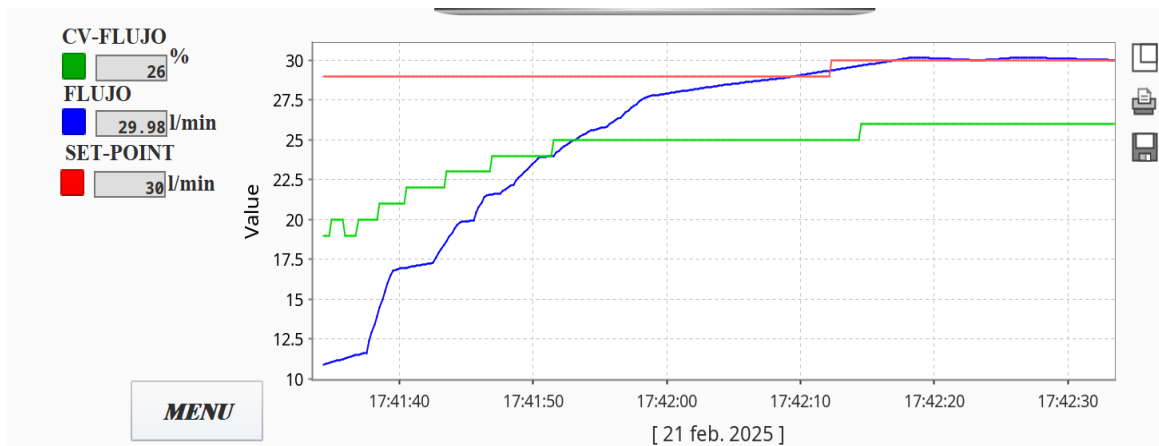


Figura 5.18 Gráfica Ignition SCADA Flujo

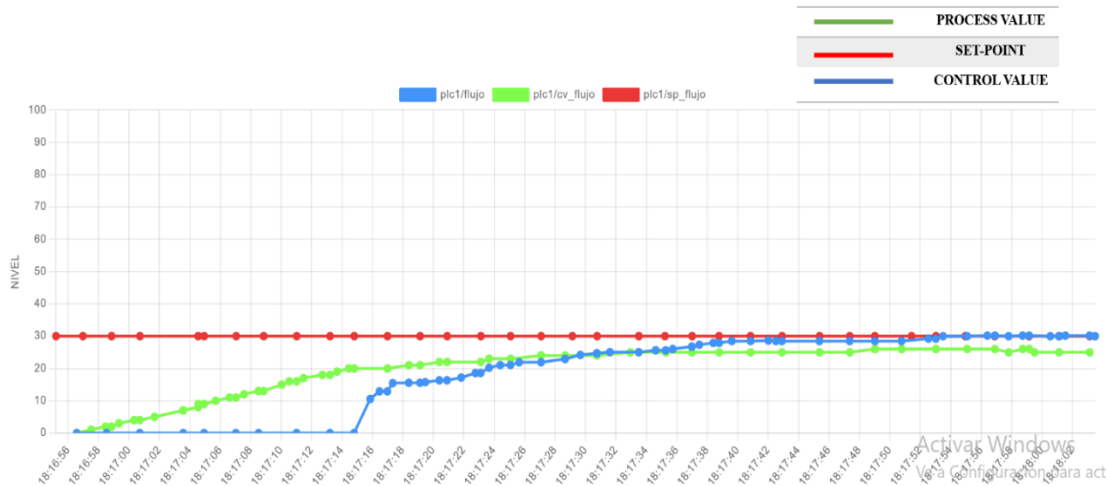


Figura 5.19 Gráfica NODE-RED Flujo

Tabla 5.8 Errores de lecturas del Interfaz Ignition SACADA y Plataforma NODE-RED

Variables	Plataforma Ignition SCADA	Plataforma NODE-RED	Variación
Porcess Value	29.98 l/min	30.17 l/min	0.19 l/min
Control Value	25,5 %	26,2%	0.7%

Tabla 5.9 Errores de lecturas del Interfaz Ignition SACADA y Plataforma NODE-RED entre Set Point establecido

SET-POINT	30 cm	Variación	
		Plataforma Ignition SCADA	Plataforma NODE-RED
		0.02 l/min	0.17 l/min
Tiempo de sincronización	53 segundos		

5.5 VALIDACION DE DATOS EN LA INTERFAZ DE FLUJO CON VARIADOR DE FRECUENCIA

La ratificación de datos de la interfaz de flujo del variador se realiza en las plataformas Ignition SCADA y NODE-RED mediante la comparación de los valores mostrados en sus interfaces de flujo, las cuales cuentan con monitoreo integrado. Este proceso se puede observar en las figuras presentadas.

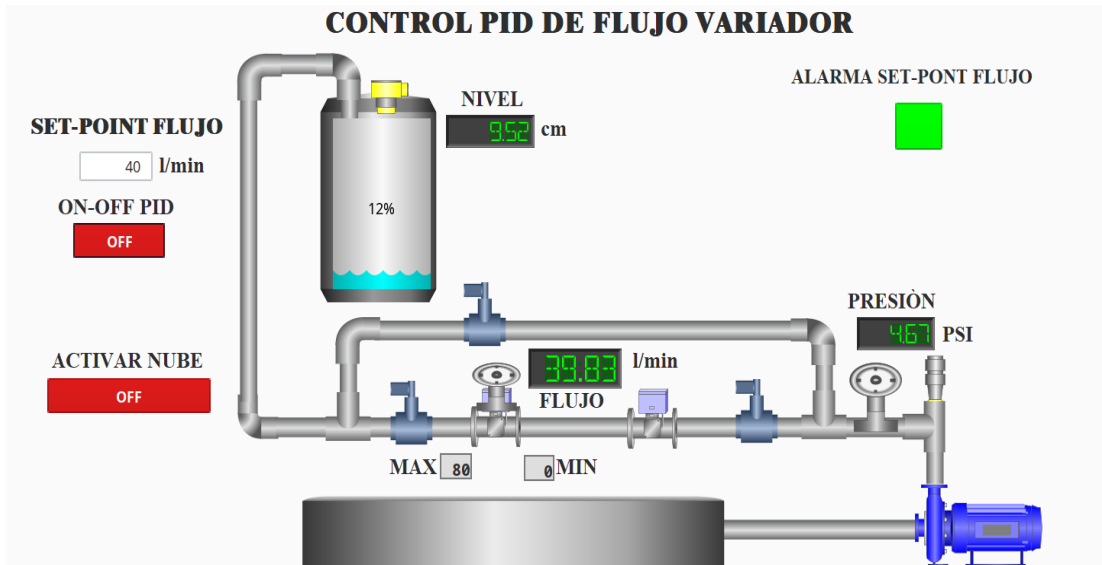


Figura 5.20 Interfaz Ignition SCADA del Control PID de Flujo

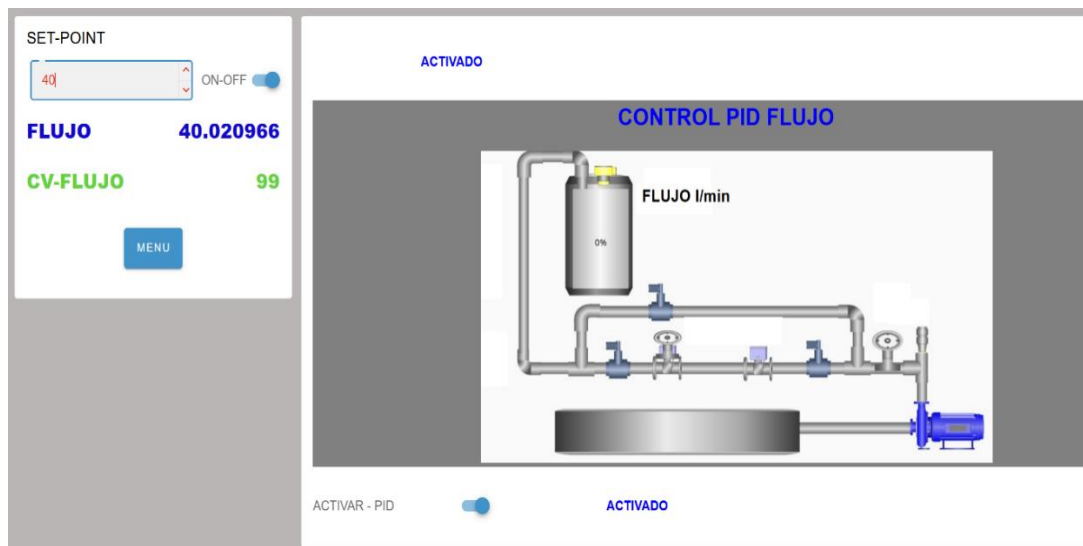


Figura 5.21 Interfaz NODE-RED del Control PID de Flujo

Las figuras muestran las gráficas del Control Value, que regula la frecuencia de operación de la bomba para alcanzar el Set Point. En este caso, se ha establecido un Set Point de 40 l/min, manteniendo la válvula proporcional completamente abierta. A medida que el flujo se aproxima al valor deseado, el variador de frecuencia ajusta la velocidad de la bomba, regulando el flujo de agua a través de la tubería.

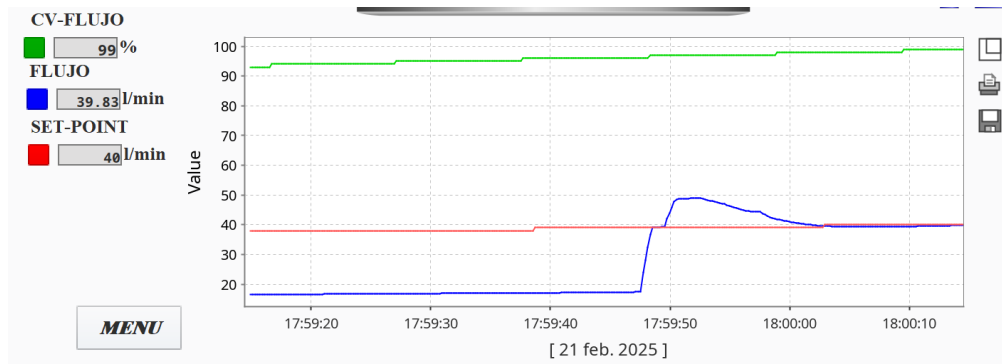


Figura 5.22 Gráfica Ignition SCADA Flujo

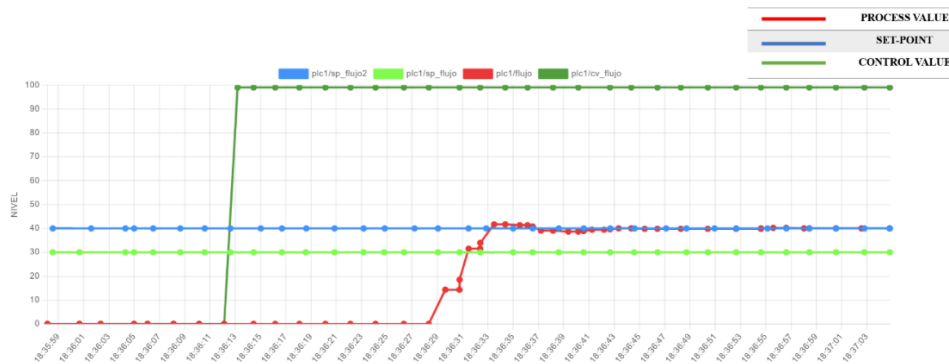


Figura 5.23 Gráfica NODE-RED Flujo

Tabla 5.10 Errores de lecturas del Interfaz Ignition SACADA y Plataforma NODE-RED

Variables	Plataforma Ignition SCADA	Plataforma NODE-RED	Variación
Porcess Value	39.83 l/min	40.02 l/min	0.19 l/min
Control Value	25.5 %	26.2%	0.7%

Tabla 5.11 Errores de lecturas del Interfaz Ignition SACADA y Plataforma NODE-RED entre Set Point establecido

SET-POINT	40 cm	Variación	
		Plataforma Ignition SCADA	Plataforma NODE-RED
		0.17 l/min	0.02 l/min
Tiempo de sincronización	50 segundos		

5.6 VALIDACION DE DATOS EN LA INTERFAZ DE PRESIÓN

La validación de datos en la interfaz de presión se lleva a cabo en las plataformas Ignition SCADA y NODE-RED, comparando los valores registrados en sus respectivas interfaces de

presión. Dado que ambas plataformas cuentan con un procesamiento o con un monitoreo integrado; es posible verificar si la información que se va a ingresar es y puede ser correctamente registrado. Esto se puede observar claro en las figuras que se muestran.

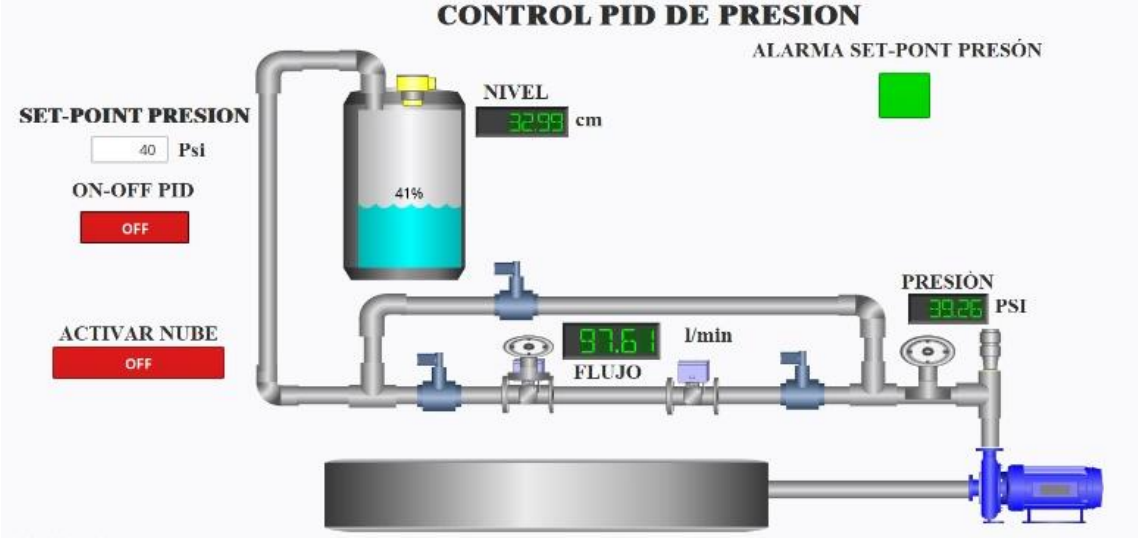


Figura 5.24 Interfaz Ignition SCADA del Control PID de Presión



Figura 5.25 Interfaz NODE-RED del Control PID de Presión

Las figuras representan las gráficas del Control Value, que regula la apertura de la válvula proporcional y el variador de frecuencia para alcanzar el Set Point, fijado por el usuario en este caso en 40 psi, de modo que la válvula proporcional va continuamente abriendo o cerrando en función la presión establecida al igual que el variador de frecuencia va ajustando la velocidad de la bomba. A su vez, el controlador PID del variador de frecuencia y el del

control de la válvula proporcional son puestos en marcha mejorando así la precisión de los controles de la variable de presión.

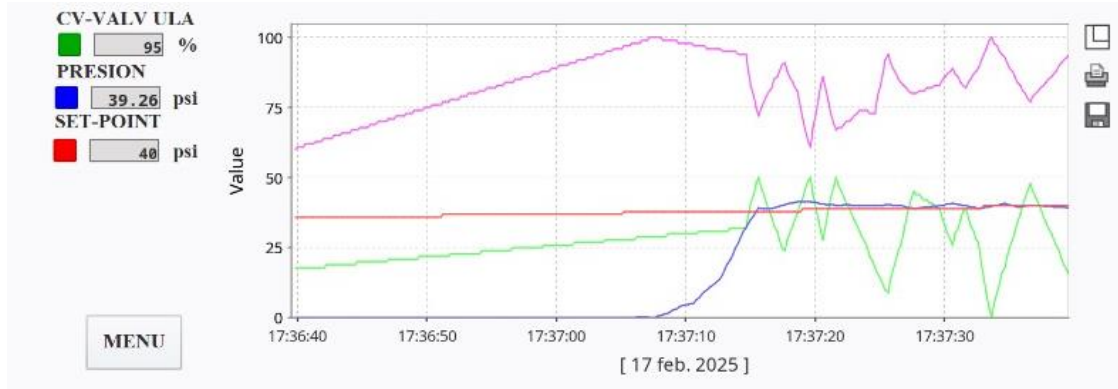


Figura 5.26 Gráfica Ignition SCADA Presión

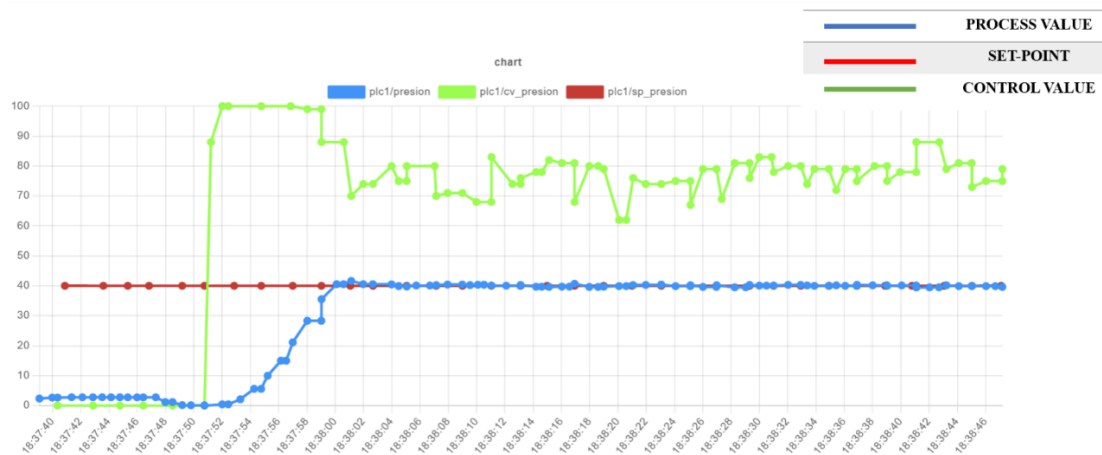


Figura 5.27 Gráfica Ignition SCADA Presión

La tabla 5.12 Muestra la comparación de valores de proceso y control entre Ignition SCADA y NODE-RED. Se evidencia una variación en la medición de presión y en el valor de control, lo que permite evaluar la precisión y sincronización entre ambas plataformas.

Tabla 5.12 Errores de lecturas del Interfaz Ignition SACADA y Plataforma NODE-RED

Variables	Plataforma Ignition SCADA	Plataforma NODE-RED	Variación
Porcess Value	39.26 psi	40.28 psi	1.02 psi
Control Value	54.5 %	55%	0.5%

Mientras que, la tabla 5.13, Contiene el valor de referencia para el control del sistema y la variación registrada en cada plataforma. Además, incluye el tiempo de sincronización, que representa el tiempo necesario para alcanzar el valor deseado en ambas plataformas.

Tabla 5.13 13 Errores de lecturas del Interfaz Ignition SACADA y Plataforma NODE-RED entre Set Point establecido

SET-POINT	40 cm	Variación	
		Plataforma Ignition SCADA	Plataforma NODE-RED
		0.74 psi	0.28 psi
Tiempo de sincronización	53 segundos		

Los resultados obtenidos durante la instalación del sistema de control reflejan el desempeño efectivo en la regulación de nivel, déficit y presión mediante la optimización de un controlador PID. A partir de datos experimentales se crearon modelos matemáticos precisos que permiten determinar funciones de transferencia representativas para cada proceso.

El ajuste del controlador PID realizado mediante el método Ziegler-Nichols permite determinar los parámetros óptimos (K_p , K_i y K_d), asegurando la estabilidad de la respuesta del sistema y reduciendo la pérdida de las variables monitoreadas. La comparación de los valores en las plataformas SCADA y NODE-RED mostró una desviación mínima con un tiempo de sincronización de 50 segundos, confirmando la precisión y confiabilidad del sistema.

En general, la validación de datos asegura que el sistema de control desarrollado cumple con los criterios de monitorización y automatización establecidos, permitiendo así una gestión eficiente de los procesos industriales en tiempo real.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

El estudio bibliográfico permitió afianzar un conocimiento holístico acerca de los sistemas SCADA, abordando esta temática desde la evolución histórica del mismo hasta sus aplicaciones más actuales en la automatización industrial. En este sentido, el trabajo realizado ofrece distintas estrategias de implementación, y se identifican las ventajas y los inconvenientes de diferentes plataformas y protocolos de comunicación como OPC y MQTT. También se analizaron casos de éxito en la práctica del SCADA en los sectores industrial, que permitió definir los criterios más idóneos para la conformación de un SCADA eficiente. La comparación de herramientas de software llevó a escoger Ignition SCADA como el software más adecuado para el proyecto ya que este tipo de SCADA se caracteriza por su flexibilidad, compatibilidad con los distintos protocolos y posibilidad de interoperar con PLCs industriales.

La arquitectura del sistema SCADA diseñado incluía la comunicación con un PLC Siemens S7-1200, incluyendo módulos de expansión de entradas/salidas analógicas (SM 1231 y SM 1232) para la adquisición de datos provenientes de sensores industriales de nivel, flujo y presión. Para la implementación del sistema se diseñó una arquitectura de comunicación en la que se integraba un protocolo OPC UA, con una transmisión de datos caracterizada por una latencia de 1 segundo como máximo. La interfaz HMI desarrollada en Ignition SCADA permitió la visualización en tiempo real de las variables a ser monitorizadas, la gestión de alarmas y la generación de reportes históricos para el análisis de la tendencia de las variables. Para el ajuste del cambio, se realizaron las pruebas de los simuladores con el método de Ziegler-Nichols obteniendo valores óptimos de K_p , K_i y K_d que mejoraron la estabilidad del sistema y redujeron la oscilación de las variables de las que se dispone en un 20%.

La incorporación del sistema SCADA en el laboratorio ha permitido validar su eficacia en la adquisición y control de variables críticas en el ámbito industrial, tales como el nivel, el flujo y la presión. Se constató una estabilidad notable en la comunicación entre los sensores y el PLC, logrando tiempos de respuesta que no superan el segundo y una exactitud del 98% en la interpretación de datos. La correcta configuración y programación del PLC aseguraron un

control preciso, mientras que la implementación del control PID facilitó una optimización considerable en la regulación de las variables monitorizadas, disminuyendo en un 20% las fluctuaciones de valores críticos. Adicionalmente, las pruebas de integración confirmaron la fiabilidad del sistema en la gestión de alarmas y en la representación de tendencias históricas de las variables, lo que simplifica un análisis exhaustivo del comportamiento del proceso.

6.2 RECOMENDACIONES

Se sugiere mantener una revisión continua del marco teórico, analizando los avances en la tecnología SCADA y su implementación en diferentes sectores industriales. Esto permitirá incorporar mejoras en la estructura del sistema y explorar nuevas estrategias para optimizar el procesamiento de datos y la comunicación en tiempo real.

Es aconsejable validar el diseño en escenarios de operación industrial reales, lo que posibilitará la identificación de ajustes necesarios en la configuración del sistema y mejorará su rendimiento en condiciones de trabajo más rigurosas. Además, se recomienda implementar medidas de redundancia en la comunicación para fortalecer la confiabilidad y prevenir posibles fallos en la transmisión de datos.

Finalmente, se propone replicar la implementación en un entorno industrial real para evaluar el funcionamiento del sistema bajo condiciones operativas más complejas. Esto facilitará la calibración de los sensores y la configuración del sistema, asegurando un rendimiento óptimo. También se sugiere incorporar herramientas de análisis predictivo para anticiparse a posibles fallos y optimizar la eficiencia del sistema en la toma de decisiones.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. Gañán y J. Castañeda, «Diseño e implementación de un sistema Scada para una Estación Multivariable didáctica,» Pereira, 2016.
- [2] J. Almachi y E. Naranjo, «Desarrollo de un sistema SCADA para una estación de bombeo de agua a presión constante,» Latacunga, Ecuador, 2021.
- [3] M. Hernández y D. Ledesma, «Desarrollo de un sistema SCADA para la medición de voltajes con sistemas embebidos para el laboratorio de Mecatrónica de la Facultad de Mecánica,» Riobamba, Ecuador, 2010.
- [4] G. Brito y E. Matute, «Diseño de un sistema de monitorización para una planta de tratamiento y distribución de agua potable como parte de un sistema SCADA en la ciudad de Cuenca,» Cuenca, Ecuador, 2023.
- [5] Autexopen , «La automatización industrial: ¿Qué es? Sus características más relevantes,» Rosario, Santa Fé, Argentina, 2023.
- [6] A. Reyes , «Implementación de un sistema automatizado para la mejora y control de la producción en el área de operaciones en una empresa cartonera,» Guayaquil, Ecuador, 2024.
- [7] H. Luna y P. Guerra , «Diseño, automatización e implementación de sistemas trampas para una arena de batalla de robots,» Riobamba, Ecuador, 2024.
- [8] Centro de Formación Técnica para la Industria , «Automatización Industrial: Qué es y cómo funciona,» Barcelona, 2025.
- [9] Á. Servilón, «Telecontrol,» Florencia, 2019.
- [10] M. Hernández y D. Ledesma, «Desarrollo de un Sistema SCADA para la medición de voltajes con sistemas embebidos para el laboratorio de mecatrónica de la Facultad de Mecánica,» Riobamba, Ecuador, 2019.
- [11] Centro de Formación Técnica para la Industria , «Modbus: Qué es y cómo funciona,» Barcelona, 2025.
- [12] ALOT CER, «Modbus RTU vs Modbus TCP/IP,» Jimei Distric, 2024.
- [13] Universidad Nacional de Tucumán, «Métodos de Sincronización de Controladores,» UNT, 2024.
- [14] L. M. Paucar-Menacho, C. Moreno-Rojo, S. R. Chuqui-Diestra, L. M. Paucar-Menacho, C. Moreno-Rojo, y S. R. Chuqui-Diestra, «Tecnologías emergentes no térmicas en la industria alimentaria: Avances y potenciales aplicaciones en el procesamiento de alimentos», *Sci. Agropecu.*, vol. 15, n.º 1, pp. 65-83, ene. 2024, doi: 10.17268/sci.agropecu.2024.006.
- [15] G. López, «Modelado, Simulación y Control de procesos,» Tecnológico Nacional de México, Ciudad de México, 2023.
- [16] C. X. Romero, «Implementación de un Sistema SCADA para la integración de procesos industriales basado en un ambiente de programación open source», Escuela

- Superior Politécnica de Chimborazo, 2023. Accedido: 23 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/20136>
- [17] A. F. Saransari, F. Dehghanisani, y M. T. Iqbal, «Design and Implementation of SCADA Architecture Based on MATLAB App Designer for a Hybrid Power System», *J. Electron. Electr. Eng.*, pp. 474-487, nov. 2024, doi: 10.37256/jeee.3220245261.
- [18] R. Muñoz Verdú, «Diseño de un sistema SCADA para el control de procesos de laboratorio», abr. 2016, Accedido: 23 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/87879>
- [19] «Low-code programming for event-driven applications: Node-RED», Node RED. Accedido: 25 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://nodered.org/>
- [20] International Society of Automation, «ANSI/ISA-101.01-2015, Human Machine Interfaces for Process Automation Systems», isa.org. Accedido: 25 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.isa.org/products/ansi-isa-101-01-2015-human-machine-interfaces-for>