



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA
AIREADORES DE PISCINAS CAMARONERAS BASADO EN IOT**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniera en Electrónica

AUTOR: ANGIE MAOLY SANTOS CRUEL

TUTOR: ING. LIVINGTON MIRANDA, MSC.

Guayaquil – Ecuador

2025

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Angie Maoly Santos Cruel con documento de identificación N° 0850328923, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “Diseño y simulación de un sistema de control de velocidad para aireadores de piscinas camaroneras basado en IOT”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera en Electrónica, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

Guayaquil, 11 de febrero del año 2025.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 11 de febrero del año 2025.

Atentamente,



Angie Maoly Santos Cruel

085032892-3

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Angie Maoly Santos Cruel con documento de identificación N° 0850328923, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 11 de febrero del año 2025.

Atentamente,



Angie Maoly Santos Cruel

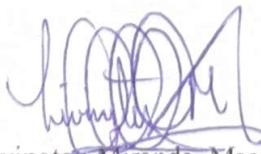
085032892-3

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Livingston Miranda con documento de identificación N° 0930635172, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA AIREADORES DE PISCINAS CAMARONERAS BASADO EN IOT**, realizado por Angie Maoly Santos Cruel con documento de identificación N° 0850328923, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 11 de febrero del año 2025.

Atentamente,



Ing. Livingston Miranda, Msc.

0930635172

DEDICATORIA

A mi madre, quien, a pesar de la distancia y los desafíos, nunca dejó de confiar en mí. Su apoyo incondicional ha sido mi motor, incluso cuando el camino parecía imposible.

A mi abuela Janeth, gracias por esperarme cada noche en la parada del bus y por ser mi compañía en tantas horas de desvelo. Tu calidez y apoyo siempre fueron un refugio en medio de las largas jornadas.

A Edison Intriago, por ser esa voz de aliento. Gracias por recordarme siempre el valor de seguir adelante y no rendirme.

A Bryan Quezada, quien no solo fue un colega, sino mi mejor amigo y una fuente inagotable de fortaleza en los días más oscuros.

Y, por supuesto, a mis compañeros y docentes, que se convirtieron en amigos en el trayecto. Gracias por las risas, los aprendizajes, y por estar a mi lado para celebrar las alegrías y afrontar los desafíos. Sin ustedes, este camino no habría sido igual

Angie Santos C.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi madre, por el sacrificio incondicional desde el primer momento en que decidí dejar nuestro hogar para perseguir mis sueños. Sé que todo lo que soy y seré se lo debo a tu entrega y dedicación.

A mi hermano, mi eterna fuente de inspiración y superación.

A mis compañeros de clase, quienes confiaron en mí para liderar proyectos y quienes, con su paciencia y apoyo, me ayudaron a crecer tanto personal como profesionalmente. A aquellos que se convirtieron en mis mentores a lo largo de esta carrera, mi agradecimiento por compartir su conocimiento y experiencia, siempre impulsándome a ser mejor.

Gracias a cada uno de ustedes por ser parte de este viaje tan significativo. Este logro no sería posible sin su apoyo y presencia en mi vida.

Angie Santos C.

RESUMEN

AÑO	ALUMNO	DIRECTOR DE PROYECTO	TEMA DE PROYECTO DE TITULACIÓN
2025	ANGIE MAOLY SANTOS CRUEL	MSC. LIVINGTON MIRANDA	“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA AIREADORES DE PISCINAS CAMARONERAS BASADO EN IOT”

El propósito de este proyecto de titulación corresponde al diseño y simulación de un sistema de aireación eléctrico con regulación continua a través de un autómata industrial, así como el monitoreo remoto de variables a través del Internet de las cosas. Para la representación de la dinámica de la piscina de camarones se utiliza librería LSIM para simulación de procesos.

Un problema identificado es la falta de proyectos que integren el diseño y simulación de sistemas de control acuícola, lo que limita al estudiante de ingeniería tener oportunidad de poner en práctica conocimientos en automatización y tecnología avanzada, afectando su preparación para enfrentar desafíos en escenarios reales e industriales.

El problema planteado inicialmente se aborda con la utilización de plataformas de software industrial como TIA PORTAL v18 con sus componentes respectivos para la aplicación, así como Node-Red para la configuración del monitoreo remoto. Para la programación del autómata industrial se ha considerado el lenguaje de bobinas y contactos KOP por la facilidad de comprensión que incluye a la hora de interpretar la lógica aplicada; cabe mencionar que se ha considerado la comunicación ETHERNET entre los diferentes componentes del sistema como son el controlador lógico programable S7 1500 (PLC), variador de frecuencia G120 (VDF), Interfaz Humano-Máquina KTP700 (HMI) e Interfaz para Internet de las cosas IOT2040 (IOT).

Palabras Clave: Diseño, Simulación, Automatización industrial, Internet de las cosas, IOT, control de procesos, TIA PORTAL, HMI.

ABSTRACT

YEAR	STUDENTS	PRJ. DIRECTOR	SUBJECT
2025	ANGIE MAOLY SANTOS CRUEL	MSC LIVINGTON MIRANDA	“DESIGN AND SIMULATION OF A SPEED CONTROL SYSTEM FOR SHRIMP POOL AERATORS BASED ON IOT”

The purpose of this degree project is the design and simulation of an electric aeration system with continuous regulation through industrial automation, as well as the remote monitoring of variables through the Internet of Things. For the representation of the dynamics of the shrimp pool, the LSIM library is used for process simulation.

An identified problem is the lack of projects that integrate the design and simulation of aquaculture control systems, which limits engineering students from having the opportunity to put into practice knowledge in automation and advanced technology, affecting their preparation to face challenges in real and industrial scenarios.

The problem initially posed is addressed with the use of industrial software platforms such as TIA PORTAL v18 with its respective components for the application, as well as Node-Red for the configuration of remote monitoring. For the programming of the industrial automation, the KOP coil and contact language has been considered due to the ease of understanding it includes when interpreting the applied logic; It is worth mentioning that ETHERNET communication has been considered between the different components of the system such as the programmable logic controller (PLC), variable frequency drive (VFD), Human Machine Interface (HMI) and Internet of Things Interface (IOT).

Keywords: Design, Simulation, Industrial automation, Internet of things, IOT, process control, TIA PORTAL, HMI.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	11
2	PROBLEMA.....	2
3	OBJETIVOS	3
3.1	Objetivo general.....	3
3.2	Objetivos específicos	3
4	FUNDAMENTO TEÓRICO	4
4.1	Aireadores eléctricos en camarónicas.....	4
4.2	Sistemas de Control	5
4.2.1	Tipos de Control Industrial.....	5
4.3	Motor de inducción.....	6
4.4	Control Lógico Programable - PLC.....	7
4.5	Variador de Frecuencia.....	8
4.6	Librerías LSIM.....	9
4.7	Bloque de control PID_Compact.....	10
4.8	Node RED.....	13
4.9	Interfaz Humano – Máquina (HMI).....	13
5	MARCO METODOLÓGICO.....	15
5.1	Diagrama de Flujo.....	15

5.2	Arquitectura de red	18
5.3	Interfaz Humano – Máquina.	20
5.3.1	Pantalla de Inicio.....	21
5.3.2	Pantalla Principal.	22
5.3.3	Pantalla de alarmas.	25
5.3.4	Pantalla de visualización de tendencias.	26
5.3.5	Pantalla de configuración de control PID.	27
5.4	Aplicación de monitoreo remoto - IOT.	28
6	RESULTADOS OBTENIDOS	43
7	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	53
8	PRESUPUESTO	54
9	CONCLUSIONES	55
10	RECOMENDACIONES.....	56
11	BIBLIOGRAFÍA	57
12	ANEXOS	59

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. AIREADORES DE PALETAS. (DINATEK, S.F.)	4
FIGURA 2. SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS. (CIME, S.F.).....	6
FIGURA 3. MOTOR DE INDUCCIÓN (MOTORBA, S.F.).....	7
FIGURA 4. UNIDAD CENTRAL DE PROCESO (SIEMENS, S.F.).....	7
FIGURA 5. VARIADOR DE FRECUENCIA (INASEL, 2024).....	8
FIGURA 6. BLOQUE PARA SIMULACIÓN LSIM_PT1 (SIEMENS, 2017)	10
FIGURA 7. ESTRUCTURA INTERNA DEL BLOQUE PID_COMPACT (SIEMENS, 2017)	11
FIGURA 8. LLAMADO DE BLOQUE PID_COMPACT (PALLARÉS, 2024).....	12
FIGURA 9. ARQUITECTURA IOT CON NODE-RED (BOURKE, 2022).....	13
FIGURA 10. PANEL DE OPERADOR KTP700 DE SIEMENS. (SIEMENS, S.F.)	14
FIGURA 11. DIAGRAMA DE FLUJO PARA CONTROL.....	16
FIGURA 12. ARQUITECTURA DE RED UTILIZADA.	18
FIGURA 13. VISTA DE REDES EN TIA PORTAL.....	19
FIGURA 14. NAVEGACIÓN ENTRE PANTALLAS DEL HMI.....	20
FIGURA 15. PANTALLA DE INICIO.....	22
FIGURA 16. PANTALLA PRINCIPAL.	24
FIGURA 17. PANTALLA DE ALARMAS Y AVISOS.	26
FIGURA 18. PANTALLA DE VISUALIZACIÓN DE TENDENCIAS.....	27
FIGURA 19. PANTALLA DE CONFIGURACIÓN DE CONTROL PID.	28
FIGURA 20. MENÚ CONFIGURADO EN NODE-RED.....	29

FIGURA 21. MENÚ CONFIGURADO EN NODE-RED.....	30
FIGURA 22. MONITOR DE ESTADO DEL SISTEMA.	31
FIGURA 23. NIVELES DE OXÍGENO DISUELTO	32
FIGURA 24. VELOCIDAD DE OPERACIÓN	33
FIGURA 25. MENÚ CONFIGURADO EN NODE-RED.....	33
FIGURA 26. CONFIGURACIÓN REALIZADA EN NODE-RED.....	34
FIGURA 27. NODOS DE COMUNICACIÓN S7.....	35
FIGURA 28. NODOS LED.....	36
FIGURA 29. CONFIGURACIÓN DE NODOS LED.	36
FIGURA 30. NODO GAUGE.	37
FIGURA 31. CONFIGURACIÓN DE NODO GAUGE.	37
FIGURA 32. NODOS CHART.	38
FIGURA 33. CONFIGURACIÓN DE LOS NODOS CHART.....	38
FIGURA 34. NODO FUNCTION.	39
FIGURA 35. PROGRAMACIÓN DEL ALGORITMO PARA EL NODO FUNCTION.....	40
FIGURA 36. CONEXIÓN DE NODO TEMPLATE.	40
FIGURA 37. PROGRAMACIÓN DEL NODO TEMPLATE.....	41
FIGURA 38. NODO EMAIL.....	42
FIGURA 39. NODO DEBUG.....	42
FIGURA 40. PRUEBA DE CONTROLADOR PID CON CAMBIOS EN LA REFERENCIA.	43
FIGURA 41. CONTROLADOR PID AJUSTADO EN EJECUCIÓN.	44
FIGURA 42. PANTALLA PRINCIPAL EN EJECUCIÓN.	45

FIGURA 43. PANTALLA PRINCIPAL EN EJECUCIÓN.	46
FIGURA 44. DASHBOARD DESARROLLADO, LEDS Y GAUGE.....	47
FIGURA 45. DASHBOARD DESARROLLADO, GRÁFICAS EN EL TIEMPO.....	47
FIGURA 46. PRUEBA DE COMUNICACIÓN ENTRE NODE RED Y GMAIL.....	48
FIGURA 47. MONTAJE DE EQUIPOS.....	49
FIGURA 48. PRUEBAS EN TABLERO ELÉCTRICO.....	50
FIGURA 49. PRUEBAS DE COMUNICACIÓN.....	51
FIGURA 50. PRUEBAS DE LECTURA DE DATOS EN NODE RED.	52
FIGURA 51. ACTIVIDADES POR REALIZAR.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 ACTIVIDADES POR REALIZAR PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO.	53
TABLA 2 PRESUPUESTO ESTIMADO PARA REALIZAR EL PROYECTO DE TITULACIÓN	54

1 INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de titulación se basa en la integración de equipos de automatización para el control y monitoreo de un sistema de aireación para la industria camaronera a través del control de oxígeno disuelto mediante el flujo de aire aplicado por un motor eléctrico precedido por un variador de frecuencia.

Dado que el proyecto de titulación se utilizará en el laboratorio de automatización se consideran equipos de la marca Siemens tales como PLC S7-1500, HMI de 7" táctil a color e Interfaz IOT, así como herramientas de software como TIA PORTAL v18, así como Node-Red.

El uso de Ethernet Industrial como protocolo de comunicación implica la integración de los componentes del sistema, lo que será una excelente oportunidad para que los estudiantes de último semestre profundicen en temas de redes industriales.

La implementación remota del sistema y el uso de software en la nube permitirán a los estudiantes adquirir conocimientos basado en sistemas de monitoreo remoto, lo que es esencial en la automatización de procesos industriales modernos.

En las secciones 1, 2 y 3 se presenta la problemática a resolver y una visión macro del trabajo de titulación; en la sección 4 se ilustran los fundamentos teóricos relacionados al proyecto, en la sección 5 encontraremos el marco metodológico en el cual se detalla la forma en la cual se aborda el problema y se diseña la solución implementada.

2 PROBLEMA

En Ecuador, cerca del 46.5% de las granjas camaroneras emplean sistemas de aireación mecánica, los cuales utilizan motores diésel en ciertos estanques. Estos motores, que accionan aireadores de paletas, han sido una opción popular en la industria debido a su bajo costo y facilidad de acceso. No obstante, el sector camaronero está empezando a incorporar alternativas más eficientes y sostenibles, como la electrificación, que promete generar ahorros importantes y fortalecer la competitividad en el mercado. (Zumba, 2022)

Uno de los principales obstáculos en el crecimiento del camarón es la concentración insuficiente de oxígeno disuelto (O_2D) en el agua de las piscinas de cultivo. Este problema se agrava por la acumulación de metabolitos y compuestos tóxicos, que se generan a partir de la descomposición de materia orgánica, incluyendo restos de alimento no consumido y excretas de los camarones. La acumulación de estos desechos no solo reduce la calidad del agua, sino que también provoca un deterioro progresivo en el fondo de las piscinas, creando un entorno desfavorable para el desarrollo óptimo de los organismos. Estas condiciones pueden ocasionar un aumento en el estrés, mayores índices de mortalidad y, por ende, una disminución en la productividad del sistema de cultivo. (Hernández, 2022)

En la actualidad, en el repositorio de la Universidad Politécnica Salesiana, particularmente en la carrera de Ingeniería en Electrónica y Automatización, carece de proyectos de titulación que aborden el diseño y simulación de sistemas de aireación automática específicamente orientados al sector camaronero, una de las principales actividades económicas del Ecuador. Esto limita la oportunidad de que los estudiantes se involucren en problemáticas reales de la industria, donde podrían aplicar sus conocimientos en automatización y control para proponer soluciones tecnológicas innovadoras.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Simular un sistema de Control de Velocidad para aireadores de Piscinas camaroneras basado en IoT.

3.2 Objetivos específicos

- Desarrollar un algoritmo de control en TIA PORTAL que cumpla con los parámetros operativos del sistema.
- Diseñar una interfaz de monitoreo local en un HMI para supervisar las variables del sistema.
- Desarrollar un sistema para adquisición y visualización de datos en la nube.
- Implementar la programación del PLC y HMI en un módulo del Laboratorio de Automatización Industrial.

4 FUNDAMENTO TEÓRICO

4.1 Aireadores eléctricos en camaroneras

En la acuicultura de camarones, la calidad del agua es importante para el desarrollo y la salud de los camarones. Los aireadores desempeñan un papel crucial al garantizar que el agua esté bien oxigenada y circule de manera efectiva. (VentasGP.com, 2023)

En la Figura 1 se puede observar un diseño de aireador de bajo consumo:

Figura 1

Aireadores de paletas



Nota. La figura representa a un aireador de 4 paletas con alta disolución de oxígeno (Dinatek, s.f.)

A más de una buena alimentación y un manejo adecuado para el cultivo, conservar óptimos niveles de saturación en el agua es esencial para lograr una producción de calidad y con mayor rentabilidad.

Cuando los niveles de oxígeno caen por debajo de 5 mg/L (ppm) el sistema inmunológico del crustáceo se ve afectado, y un animal enfermo reduce su ingesta de alimento, su sobrevivencia es menor y no logran asimilar los nutrientes del alimento. El uso de aireadores en los estanques es esencial para mantener la temperatura y balance del pH del agua, y por consiguiente alcanzar un mayor desarrollo del cultivo. (Vistazo, 2022)

4.2 Sistemas de Control

Es la integración de componentes de hardware y software con capacidad de conexión en red para monitorear, regular y automatizar los procesos de producción en una industria de manera que las operaciones se realicen de manera eficiente, segura y precisa, y minimizando la intervención humana y mejorando la calidad y la eficiencia operativa.

4.2.1 Tipos de Control Industrial

- **Controladores discretos**

Son dispositivos de control que operan con señales discretas en lugar de señales continuas. En lugar de trabajar con variables que pueden asumir cualquier valor dentro de un rango continuo, los controladores discretos manejan señales que sólo pueden tomar valores específicos o "discretos" en intervalos de tiempo definidos.

- **Sistemas de Control Distribuido (DCS)**

Son sistemas de control utilizados en procesos industriales para supervisar y controlar diversas variables de un proceso en tiempo real.

- **Control SCADA**

Son sistemas de control y monitoreo utilizados para supervisar, controlar y automatizar procesos industriales, infraestructuras y maquinaria en tiempo real.

En la Figura 2 se puede observar un sistema de control de Tipo SCADA, permitiendo controlar los equipos, recopilar y registrar información:

Figura 2

Supervisión, Control y Adquisición de Datos.



Nota. La figura representa el diseño de un sistema avanzado para el monitoreo y supervisión de procesos críticos en tiempo real y la gestión de datos de una planta industrial. (CIME, s.f.)

4.3 Motor de inducción

Un motor de inducción es una máquina utilizada para generar energía. Su denominación proviene de su principio de funcionamiento, ya que el voltaje de corriente alterna (CA) se genera

por inducción a partir del campo magnético giratorio del estator hacia el circuito del rotor. Está compuesto principalmente por elementos de cobre, acero y aluminio. (INDUSTRIAS, 2021)

En la Figura 3 se puede observar el diseño exterior de un motor de inducción cuyo uso es muy frecuente en diversas aplicaciones industriales:

Figura 3

Motor de inducción.



Nota: Representación de un motor de inducción que opera por el principio de inducción electromagnética, y tiene aplicaciones para diversos procesos. (MOTORBA, s.f.)

4.4 Control Lógico Programable - PLC

Un PLC o Control Lógico Programable es un dispositivo electrónico que es utilizado en la ingeniería de procesos industriales y, que tienen como propósito automatizar los procesos de operatividad. En la Figura 4 se puede observar la estructura física de un controlador de nivel industrial:

Figura 4

Unidad Central de Proceso.



Nota: Los CPU son la fuente de todo controlador SIMATIC S7-1500, y proporcionan un alto nivel de productividad y eficiencia. (Siemens, s.f.)

4.5 Variador de Frecuencia

Conocidos como Drivers o VDF, son componentes fundamentales en numerosas aplicaciones industriales, ya que ofrecen diversos beneficios, como optimizar el uso del tiempo y los recursos, mejorar la seguridad tanto del equipo como del operador, disminuir los costos energéticos y extender la duración de los motores. El uso de variadores de frecuencia para el control inteligente de los motores tiene muchas ventajas financieras, operativas y medioambientales ya que supone una mejora de la productividad, incrementa la eficiencia energética y a la vez alarga la vida útil de los equipos, previniendo el deterioro y evitando paradas inesperadas que provocan tiempos de inproductividad. (ABB, s.f.)

En la Figura 5 se puede observar un variador del grupo Sinamics G120.

Figura 5

Variador de Frecuencia



Nota. Diseño modular de un Sinamics G120 para aplicaciones estandarizadas, con Unidad de Control y Panel de Operador. (Vignola, 2025)

4.6 Librerías LSIM

La biblioteca “LSim” permite simular sistemas controlados en una CPU S7. Los bloques de la biblioteca simulan distintos componentes de control básicos a través de elementos de transferencia lineal. La correcta conexión en serie o en paralelo de los elementos individuales del sistema permite la simulación de sistemas controlados muy complejos. La biblioteca se puede utilizar, por ejemplo, en los siguientes escenarios:

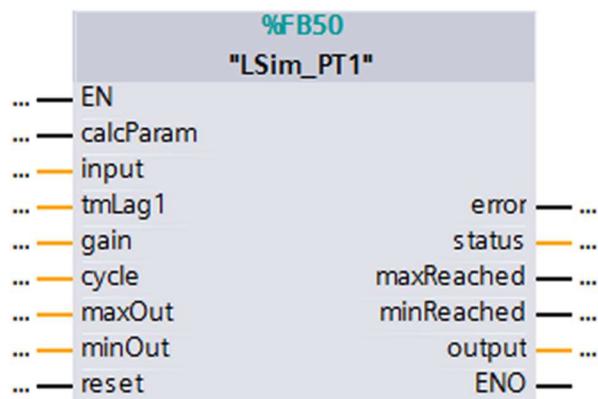
- Optimización de un controlador: simulación del sistema controlado en el que la puesta en servicio en el proceso real es complejo o prácticamente imposible.

- Con fines de formación: simulación de elementos individuales del sistema controlado para una representación clara de los procesos de ingeniería de control y demostración de controladores de software. (Siemens, 2017)

En la Figura 6 se puede apreciar la estructura de un bloque de simulación para un sistema de primer orden. Este bloque es bastante utilizado para representación de sistemas complejos en una expresión más simple como los sistemas térmicos. (Siemens, 2017)

Figura 6

Bloque para simulación LSim_PT1



Nota. Este elemento de primer orden puede ser usado en diversas aplicaciones simuladas para análisis o sistemas dinámicos. (Siemens, 2017)

4.7 Bloque de control PID_Compact

La instrucción PID_Compact ofrece un controlador PID con optimización integrada para actuadores de acción proporcional. Cuenta con los modos de operación siguientes:

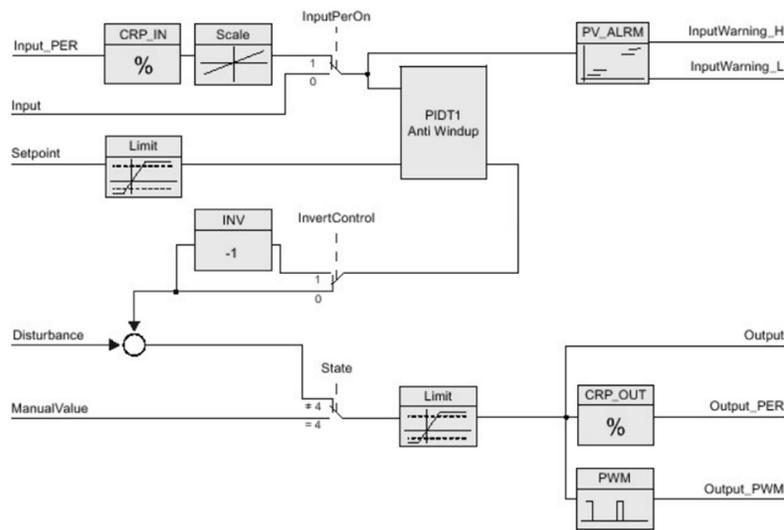
- Inactivo
- Optimización inicial
- Optimización fina
- Modo automático
- Modo manual
- Valor de salida sustitutivo con monitorización de errores

Los modos de operación se describen detalladamente en el parámetro State.

En la Figura 7 se muestra el diagrama de bloques del funcionamiento del algoritmo PID:

Figura 7

Estructura Interna del bloque PID_Compact



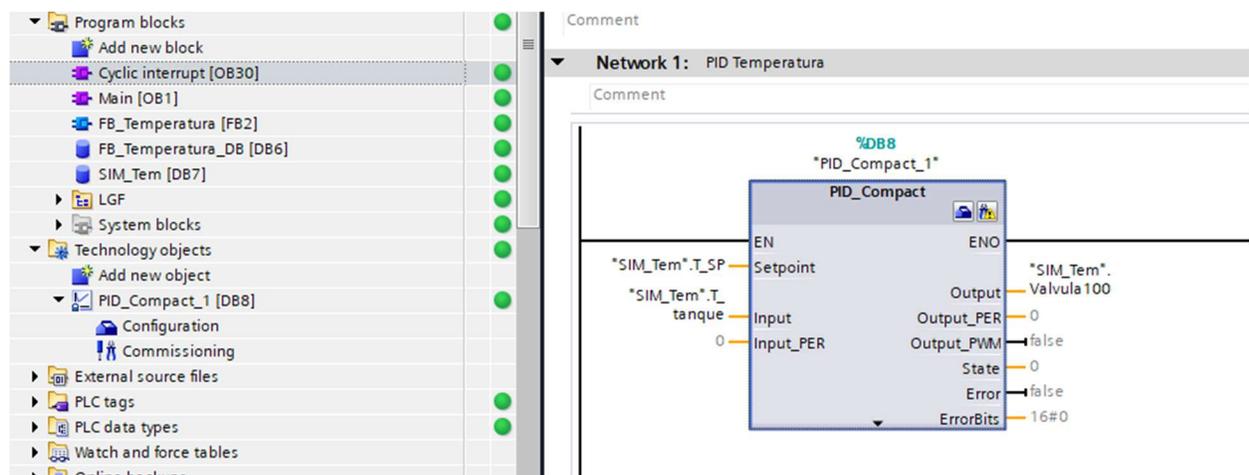
Nota. Su aplicación es esencial en sistemas de control. (Siemens, 2017)

PID_Compact se llama en una base de tiempo constante de un OB de alarma cíclica. Como se puede apreciar en la Figura 8, el bloque tiene terminales importantes para configuración que

definirán la dinámica del sistema; así como diferentes tipos de salidas para la facilidad de conexión con variedad de actuadores. En el caso del bloque PID_Compact se tiene una salida Output con el valor directo proveniente del cálculo realizado por el controlador, se cuenta con una salida Output_PER que refleja el valor de salida del controlador escalado en un rango admisible para salidas normalizadas como 0 a 20mA o 0 a 5 VDC; finalmente cuenta con una salida Output_PWM cuya señal corresponde a una onda periódica con modulación de ancho de pulso del 0 al 100%.

Figura 8

Llamado de bloque PID_Compact.



Nota. El uso del Bloque Cycle Interrupt permite ejecutar el OB en un intervalo de tiempo sin interrumpir otro proceso. (Pallarés, 2024)

4.8 Node RED

Node-RED es una herramienta de desarrollo diseñada para conectar dispositivos de hardware, API's y servicios en línea de forma creativa e innovadora. Su editor gráfico, accesible desde el navegador, facilita la creación y configuración de flujos utilizando diversos nodos disponibles en su paleta. Estos flujos pueden implementarse instantáneamente con un clic, lo que simplifica su uso y mejora la integración entre sistemas. (Foundation)

La Figura 9 presenta una arquitectura basada en IoT diseñada para la gestión de datos en la nube:

Figura 9

Arquitectura IOT con Node-RED.



Nota. Esta herramienta se ha convertido en un estándar para el desarrollo de aplicaciones en IoT Industrial. (BOURKE, 2022)

4.9 Interfaz Humano – Máquina (HMI)

Un sistema HMI es un panel visual capaz de ofrecer información en tiempo real sobre los distintos procesos que se ejecutan en una planta industrial. Estos dispositivos buscan la

comunicación entre las máquinas industriales y quienes las operan. HMI se debe a la abreviatura en inglés de Human Machine Interface o en español, Interfaz Humano-Máquina. (Ingelearn, s.f.)

Entre las pantallas HMI bastante utilizadas en la industria tenemos al modelo KTP700 de Siemens, una pantalla de 7", a colores, con operación táctil, interfaz PROFINET y configurable desde WinCC Basic, este panel básico se puede observar en la Figura 10.

Figura 10

Panel de operador KTP700 de Siemens.



Nota. Este dispositivo configurable e incluye software Open Source. (Siemens, s.f.)

5 MARCO METODOLÓGICO

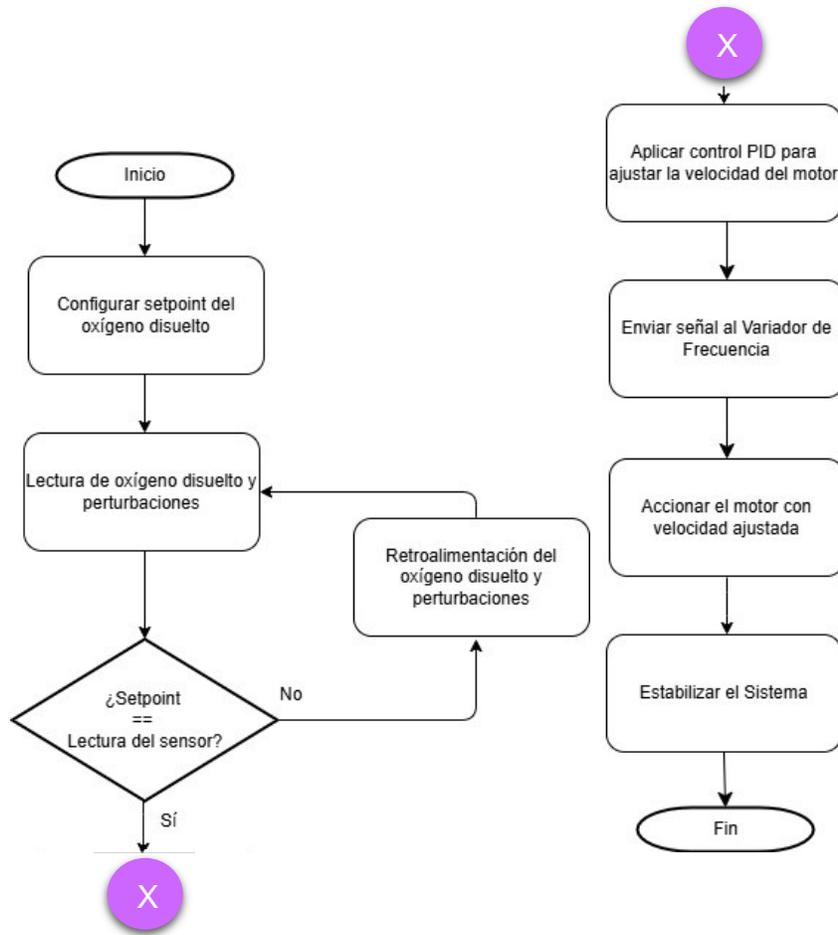
Para el desarrollo de este proyecto, se llevará a cabo la combinación de metodología exploratoria y sistemática con el propósito de diseñar y validar el sistema de control automatizado. La metodología exploratoria se enfoca en una investigación inicial que permite identificar conceptos claves, variables críticas y preguntas fundamentales, mientras que la metodología sistemática se basa en el desarrollo del diseño, simulación y validación del software de control. Además, la implementación de la solución propuesta para el control de oxígeno disuelto a través de aireadores eléctricos con variadores de frecuencia abarca diferentes aristas enfocadas a cada componente de automatización que interviene para la integración de equipos y el trabajo cooperativo. Este enfoque se ve reflejado en los ítems desarrollados en este capítulo.

5.1 Diagrama de Flujo

Como primer punto se puede observar en la Figura 11 un diagrama de flujo relativo a la operación del sistema para controlar el oxígeno disuelto.

Figura 11

Diagrama de flujo para control.



Nota. Se visualiza la lógica del proceso en un diagrama de flujo.

El diagrama de flujo representa el proceso de control del oxígeno disuelto en un sistema automatizado. A continuación, se describe el flujo de trabajo paso a paso:

Paso 1.

Inicio: Se inicia el proceso de control

Paso 2.

Configurar setpoint del oxígeno disuelto: Se establece el valor deseado del oxígeno disuelto.

Paso 3.

Lectura de oxígeno disuelto y perturbaciones: Se mide el nivel actual de oxígeno disuelto.

Paso 4.

Compara ¿Setpoint = Lectura del sensor?

No: Si no es igual, retroalimenta y vuelve a ejecutar el paso 3.

Si: Si es igual, se ejecuta el siguiente paso.

Paso 5.

Aplicar control PID para ajustar la velocidad del motor: Mediante el controlador PID se calcula la velocidad del motor necesaria para mantener el setpoint.

Paso 6.

Enviar señal al variador de frecuencia: El valor calculado se envía al Variador de Frecuencia para ajustar la velocidad del motor.

Paso 7.

Accionar el motor con velocidad ajustada: En este punto, el motor empieza a operar a la velocidad ajustada por el variador de frecuencia.

Paso 8.

Estabilizar el sistema: Se estabiliza el sistema con los valores de oxígeno ajustados en el setpoint.

Paso 9.

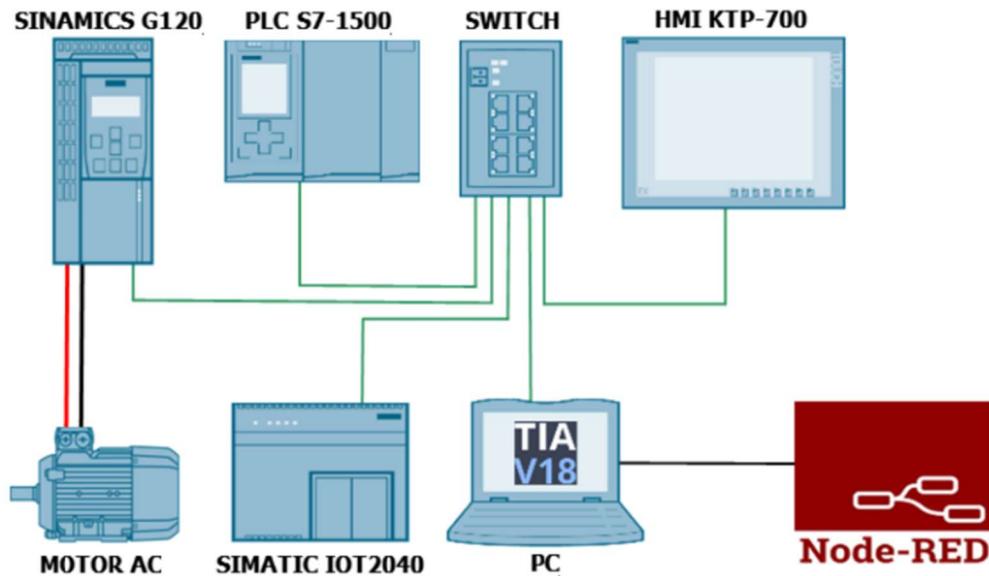
Fin: Termina el proceso

5.2 Arquitectura de red

En este proyecto se ha considerado usar el protocolo Profinet como medio de comunicación, implementando una topología de red en bus de campo basado en Ethernet Industrial. En la Figura 12 se puede observar la arquitectura de red, diseñada para optimizar la compatibilidad e integración de estándares, tanto en hardware como en el software, y también mejorar el flujo de información de los distintos dispositivos para un control más preciso y robusto del sistema automatizado.

Figura 12

Arquitectura de red utilizada.



Nota. Se muestra la arquitectura de red la cual representa la conexión de todos los equipos.

En este ítem se puede mencionar que los equipos utilizados como parte del proyecto tienen la posibilidad de extender las propiedades de conectividad y comunicación. Por ejemplo, como es

el caso del PLC S7 1500 el cual dispone dos puertos de red que permiten la conexión a dos subredes distintas.

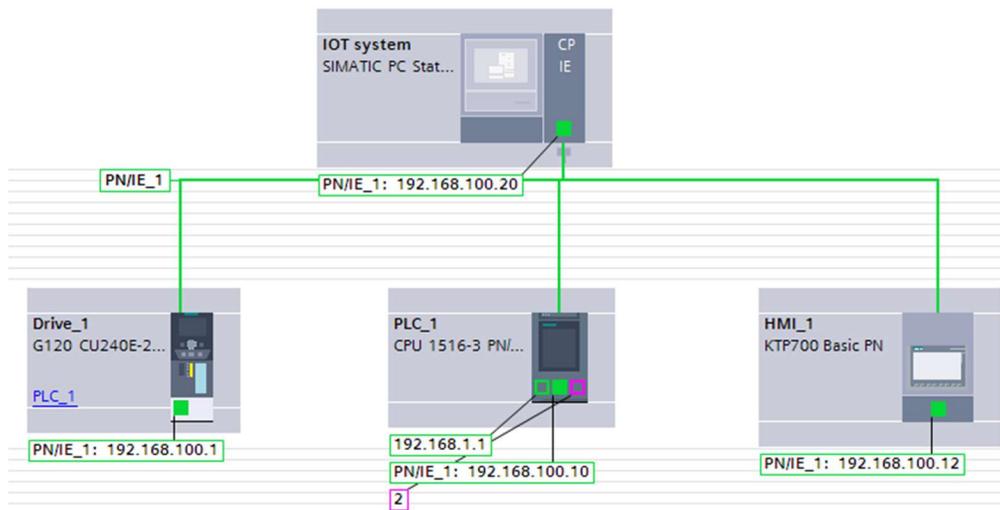
De manera similar, el IOT 2024 presenta la misma característica, de tal forma que se podría tener acceso a una red local de equipos de automatización y por otro lado tener acceso a Internet para interacción remota con los usuarios.

En el caso del Variador de Frecuencia G120, también cuenta con 2 puertos de comunicación, aunque para la comunicación con el PLC, se ha considerado usar el telegrama de comunicación estándar 1, el cual se realiza en la programación detallada en TIA PORTAL

En la Figura 13 se puede observar con más detalle los equipos que se configuran desde el software TIA PORTAL con las respectivas direcciones IP.

Figura 13

Vista de redes.



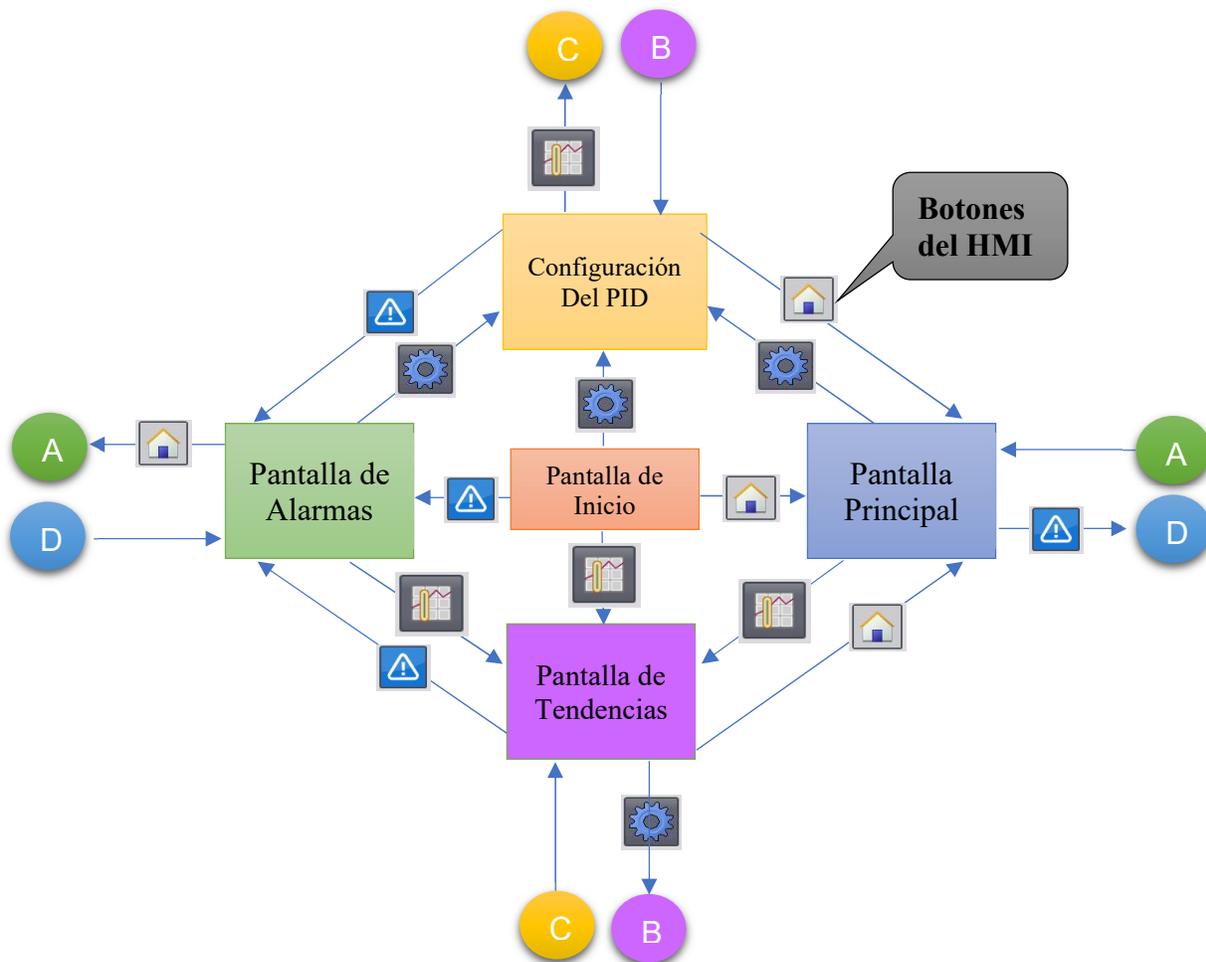
Nota. Se muestra la vista de redes configuradas en TIA PORTAL

5.3 Interfaz Humano – Máquina.

Para el desarrollo del interfaz humano – máquina se ha considerado la creación de varias pantallas enfocadas en los requerimientos y capacidades de equipos. En la figura 14 se puede observar el esquema de navegación entre pantallas según la opción seleccionada a través de los botones disponibles. Se ha diseñado 5 pantallas para la aplicación que se describen con mayor detalle a continuación.

Figura 14

Navegación entre pantallas del HMI.



Nota. Representa la navegación entre las pantallas.

5.3.1 Pantalla de Inicio.

Se cuenta con una pantalla de inicio con información relevante al proyecto de titulación como el autor y logos correspondientes. Como se puede apreciar en la Figura 15, existen elementos que se encuentran en todas las pantallas a modo de plantilla, los cuales se describen a continuación:

1. Fecha y hora: Indicador actual que se encuentra configurado en el HMI.
2. Botón de salida: Permite pausar la ejecución de la programación en el HMI y acceder al entorno de configuración de la pantalla.
3. Botón principal: Acceder a la pantalla principal.
4. Botón configuración: Acceder a la pantalla de configuración.
5. Botón Tendencias: Acceder a la pantalla de visualización de señales principales del proceso como oxígeno disuelto y temperatura.
6. Botón Alarmas: Acceder a la pantalla de visualización de alarmas y eventos.

Figura 15

Pantalla de inicio.



Nota. Se observa la pantalla de inicio del HMI.

5.3.2 Pantalla Principal.

En esta pantalla se puede apreciar de una forma bastante intuitiva de la piscina de camarones con el respectivo aireador mediante motor eléctrico. En la Figura 16 se aprecia un tablero de control con variables analógicas y booleanas del proceso.

Los comandos y elementos utilizados en la pantalla principal se describen a continuación:

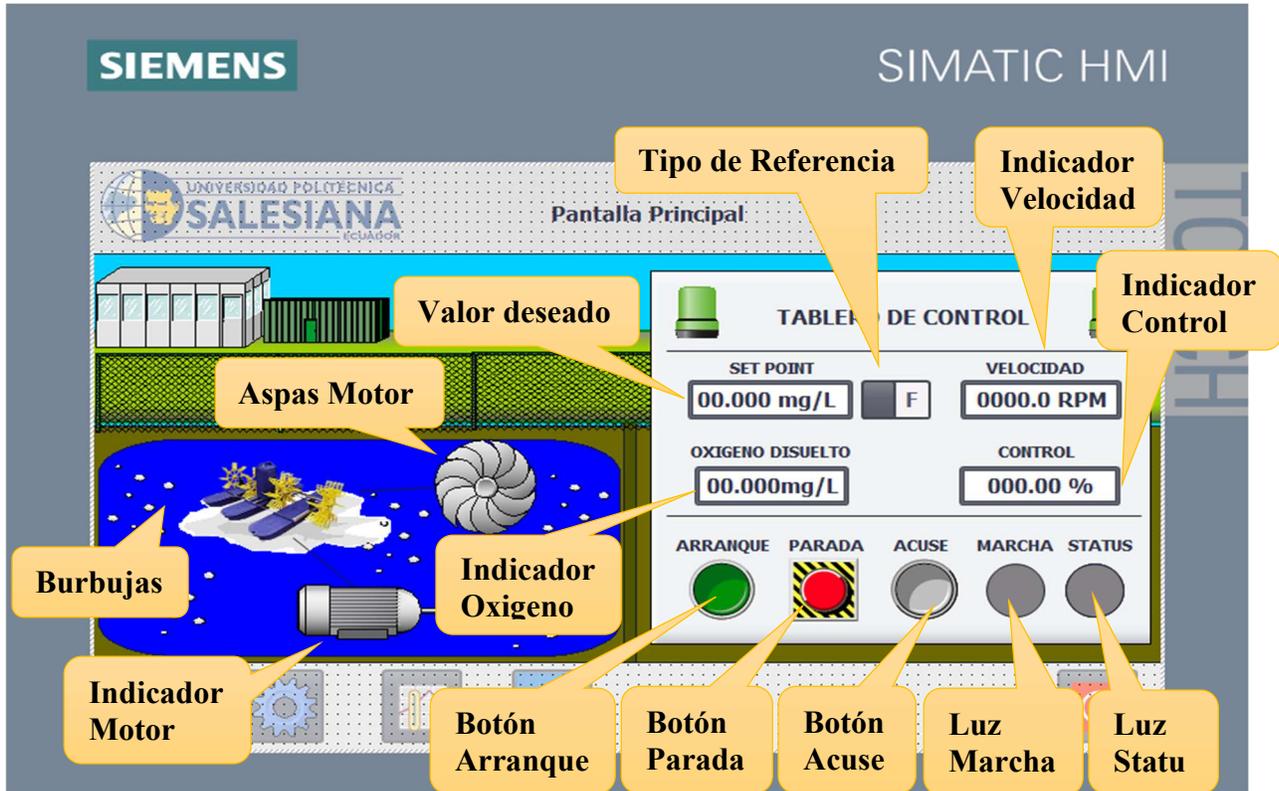
1. Valor deseado: Cuadro de texto para ingreso del punto de referencia de oxígeno disuelto (`set_point`) en mg/L. Este control ha sido limitado entre 2 y 6 mg/L.

2. Indicador Oxígeno: Cuadro de texto vinculado a la lectura del sensor de oxígeno disuelto escalado en el PLC.
3. Velocidad: Visualización de velocidad aplicada al variador de velocidad para incremento o decremento de oxígeno.
4. Indicador Control: Cuadro de texto indicador de la señal del controlador PID expresado en porcentaje (0-100%).
5. Botón de Arranque: Pulsador para dar inicio al control de oxigenación.
6. Botón de Parada: Pulsador de parada para el control de oxigenación.
7. Botón de Acuse: Pulsador para borrar algún error que puede presentarse en el variador de velocidad.
8. Luz Marcha: Indicador de funcionamiento del sistema. Color verde indica encendido y color gris indica apagado.
9. Luz Status: Indicador de estado del sistema. Color rojo indica apagado, color amarillo indica error en el variador y color verde indica acceso correcto al eje para control de motor.
10. Burbujas: Imagen que se visualiza dependiendo del encendido del sistema.
11. Aspas Motor: Animación de imágenes para simular el movimiento de las aspas del motor cuando está en movimiento.
12. Indicador Motor: Indica el estado de la oxigenación del motor mediante varios colores. Color gris indica apagado, color verde indica oxigenación óptima, color amarillo indica bajo nivel de oxígeno y color rojo indica una sobresaturación de oxígeno en la piscina.

13. Tipo de Referencia: Interruptor para seleccionar si la entrada de referencia es un valor fijo o es una señal periódica cambiante en amplitud con un periodo de 30 segundos.

Figura 16

Pantalla principal



Nota: Representación de la pantalla principal del proceso.

5.3.3 *Pantalla de alarmas.*

Como se ilustra en la Figura 17, esta pantalla permite observar las diferentes alarmas o avisos que se han configurado en la pantalla HMI. Estos mensajes pueden vincularse a variables de tipo analógicas y digitales según el caso. Para este proyecto se han configurado las siguientes alarmas:

- “El control de oxígeno está activado”. Aviso tipo advertencia.

Este nivel de advertencia se ha definido para indicar que el control de oxígeno a sido activado y que el sistema está ajustando gradualmente la concentración de oxígeno en función del setpoint.

- “La concentración de oxígeno es excesiva.”. Aviso tipo error.

Este nivel de advertencia se ha definido para identificar condiciones de sobresaturación y se activa cuando el sistema intenta estabilizar la concentración de oxígeno tras alcanzar un nivel superior al setpoint establecido.

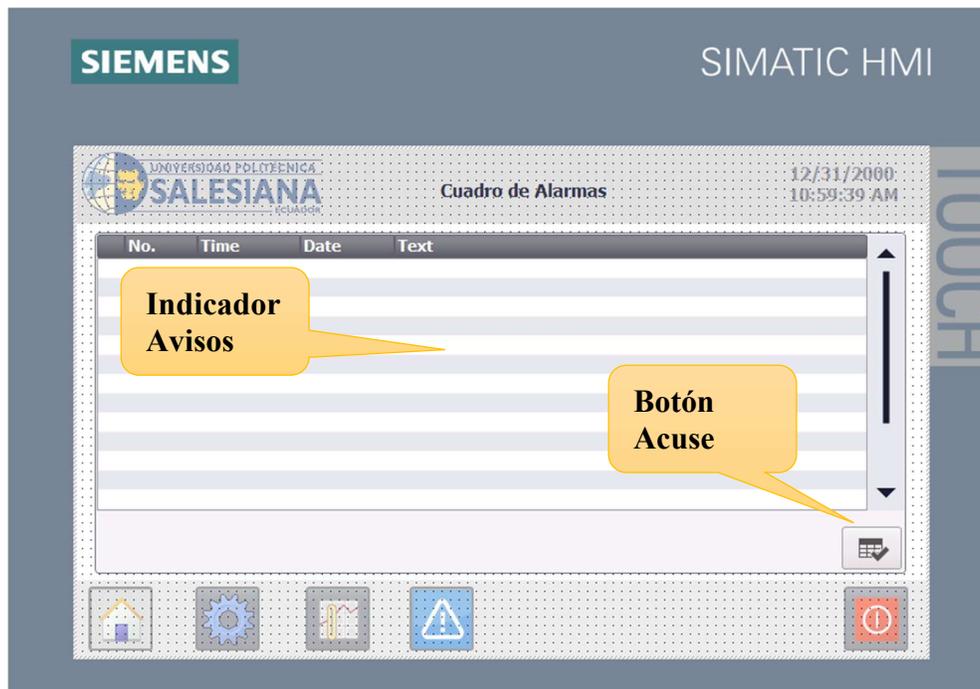
- “La concentración de oxígeno es muy baja.”. Aviso tipo error.

Este nivel de advertencia critica se ha definido para indicar una caída de oxigenación en el agua. Esta alarma se enciende cuando la concentración de oxígeno disuelto alcanza niveles bajos saturación.

Cabe mencionar que en el visor de avisos se tiene un botón para el reinicio o acuse de alarmas y así limpiar el área del indicador.

Figura 17

Pantalla de alarmas y avisos.



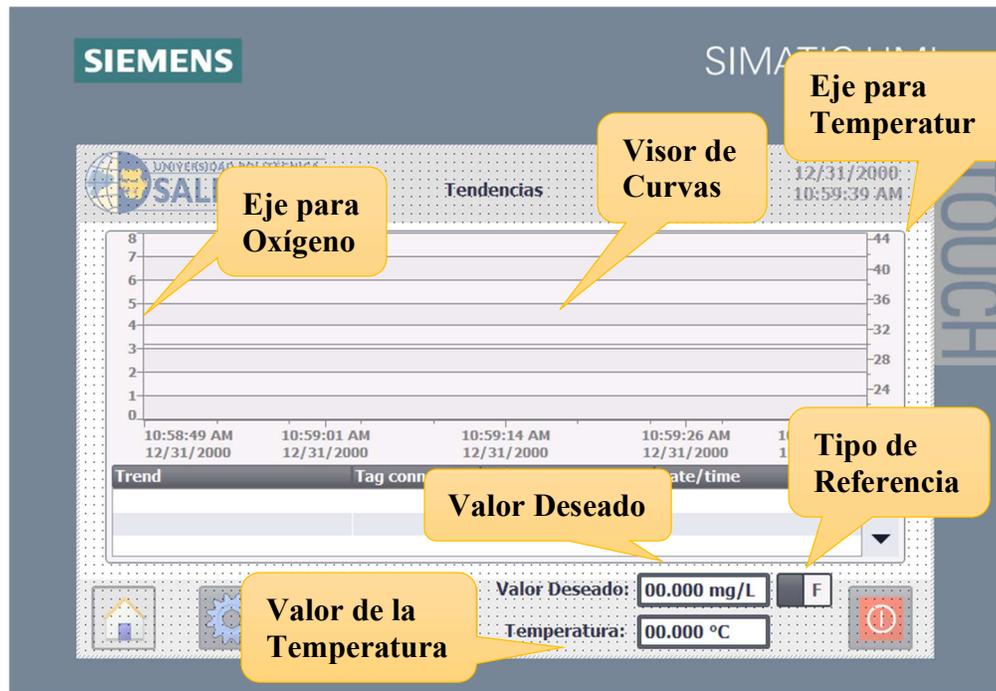
Nota. Representación de la pantalla de alarma y avisos.

5.3.4 Pantalla de visualización de tendencias.

En la Figura 18 se encuentra la pantalla de tendencias donde se observan los cambios de las variables de control de oxígeno (valor deseado y oxígeno disuelto) así como la temperatura del líquido las cuales fueron consideradas ser agregadas en esta pantalla debido a que influyen en la dinámica del sistema. Los componentes de esta sección incluyen cuadros de textos para fijar los valores de referencia de oxígeno y temperatura en mg/L y °C respectivamente. En esta sección también se incluye el interruptor para selección de tipo de valor de referencia para el controlador PID.

Figura 18

Pantalla de visualización de tendencias.



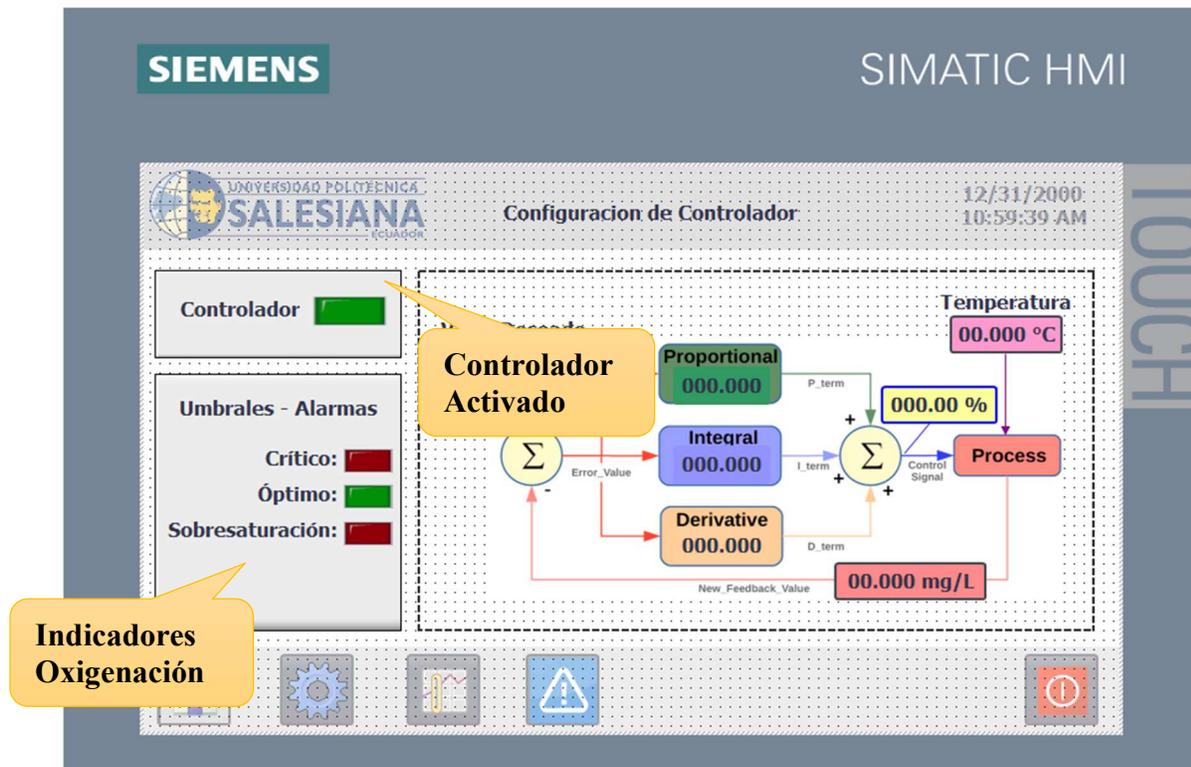
Nota. Se muestra pantalla donde se mostrarán las tendencias.

5.3.5 Pantalla de configuración de control PID.

En esta pantalla se puede observar los valores utilizados en el controlador PID los cuales son producto del proceso de sintonización desde la herramienta existente en TIA PORTAL; en este caso se puede observar los valores de las constantes: Proporcional, Integral y Derivativa. A diferencia de otras pantallas, en esta se cuenta con tres leds indicadores como Alarmas para observar si el nivel de oxígeno disuelto es crítico, óptimo o sobresaturado. En la Figura 19 se puede apreciar lo mencionado previamente incluyendo un diagrama de bloques del sistema para una mejor comprensión.

Figura 19

Pantalla de configuración de control PID.



Nota. Se observa la pantalla de configuración para el controlador

5.4 Aplicación de monitoreo remoto - IOT.

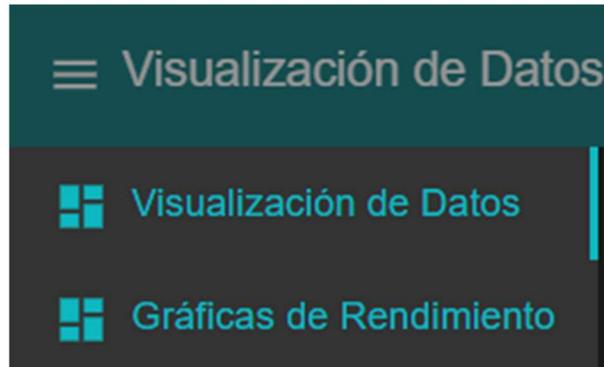
En el diseño propuesto se ha considerado el monitoreo de diversas variables utilizando NODE-RED. Esta plataforma permite la configuración de diferentes operaciones a través de bloques de programación predefinidos llamados nodos, lo cual representa una ventaja importante ya que las operaciones se realizan de una manera intuitiva para usuarios que no son especialistas en software. En la Figura 20 se puede observar 2 partes en el que se ha dividido el dashboard para mejorar el entendimiento al monitorear la planta:

1. Visualización de Datos: estado del sistema y alarmas.

2. Graficas de Rendimiento: monitoreo del comportamiento de las variables a controlar y evolución temporal de la perturbación.

Figura 20

Menú configurado en NODE-RED.



Nota. Se muestra el menú para navegar en el Dashboard.

Como se ilustra en la Figura 21, se puede observar a través de indicadores leds los diferentes niveles de oxígeno disuelto (crítico, óptimo y sobresaturación) así como el estado del sistema (marcha, paro y error del variador de frecuencia).

Figura 21

Menú configurado en NODE-RED.



Nota. Se muestra la primera pantalla asociada al dashboard.

A continuación, se detalla cada una de las secciones principales diseñadas en el dashboard correspondientes a Visualización de Datos. En la Figura 22 se reflejan indicadores del estado general del sistema, cada indicador cambiará de color para mostrar el estado actual.

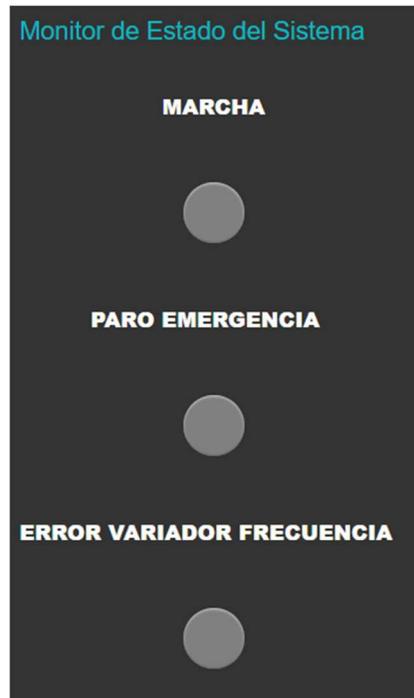
MARCHA: Indica con color verde que el sistema está operando correctamente.

PARO EMERGENCIA: Indica con color rojo si hay un fallo en el sistema.

ERROR VARIADOR DE FRECUENCIA: Indica con color rojo si hay un problema relacionado con el VDF.

Figura 22

Monitor de Estado del Sistema.



Nota. Se muestra el monitor de estado del sistema.

La Figura 23 representa la sección de los Niveles de Oxígeno Disuelto con indicadores de estado que cambiarán de color para mostrar en qué nivel está:

CRÍTICO: Indica con color rojo un nivel bajo de concentración de Oxígeno Disuelto.

ÓPTIMO: Indica con color Verde un nivel adecuado de Oxígeno Disuelto.

SOBRESATURACIÓN: Indica con color Naranja un nivel excesivo de Oxígeno Disuelto.

Figura 23

Niveles de Oxígeno Disuelto.



Nota. Se muestra el monitor correspondiente a los niveles de oxígeno.

La Figura 24 representa el monitoreo en tiempo Real de la velocidad a la que está operando el motor, expresada en unidades de medida RPM e incluye un rango de variación de 0 a 1500 RPM.

Figura 24

Velocidad de Operación.

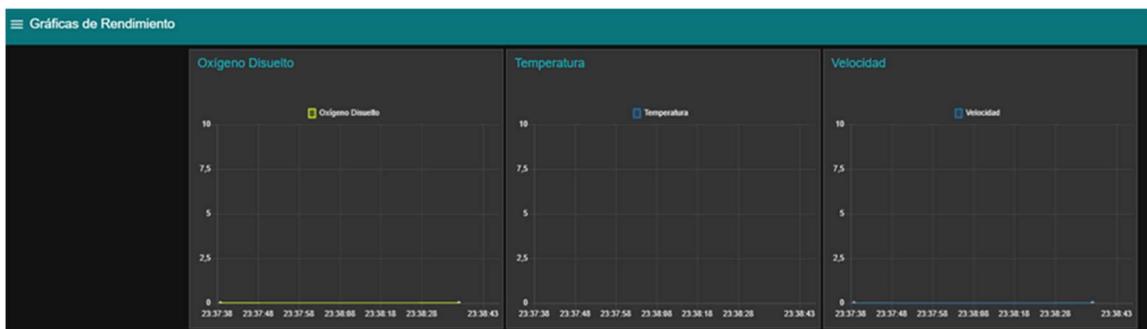


Nota. Representación gráfica de la velocidad de operación para el proceso de aireación.

Como se ilustra en la Figura 25, se muestra de una manera precisa el contenido correspondiente a Gráficas de Rendimiento, donde se destacarán el comportamiento de variables importantes de control: Oxígeno disuelto, Temperatura y Velocidad.

Figura 25

Menú configurado en NODE-RED.

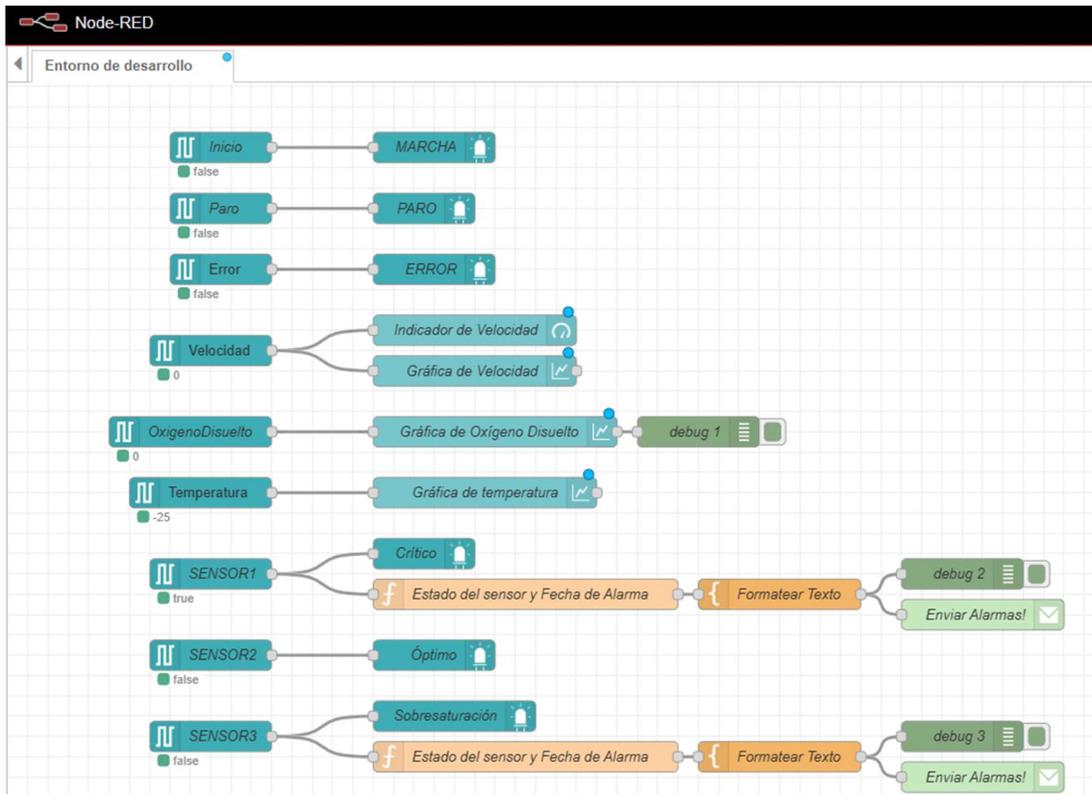


Nota. Se observa solo el diseño de la sección del dashboard solo para ver gráficas.

En la Figura 26 se pueden apreciar los nodos configurados para la aplicación en la cual se puede apreciar entradas digitales y analógicas desde el PLC, visualización de leds, indicadores analógicos (gauge) y gráficas con respecto al tiempo. Adicionalmente se puede tener alertas vía correo electrónico según los niveles críticos de las variables del sistema.

Figura 26

Configuración realizada en NODE-RED.



Nota. Se muestra la representación gráfica de la conexión de los nodos para el dashboard.

Como se puede ver en la Figura 27, los nodos de comunicación **S7 Endpoint** se han marcado en color naranja. En cada uno de ellos, se especifica la dirección de las variables del

Bloque de Datos “data [DB2]” creado en TIA PORTAL, además de configurar el tiempo de ciclo para la lectura de dichas variables.

Figura 27

Nodos de comunicación S7.



Nota. Se muestra los nodos que recibirán información del PLC.

En la Figura 28, se puede apreciar los NODOS LED y en la Figura 29 se puede observar la configuración interna, estos actúan como indicadores que reciben una variable booleana y, según su configuración, se activarán o iluminarán.

Figura 28

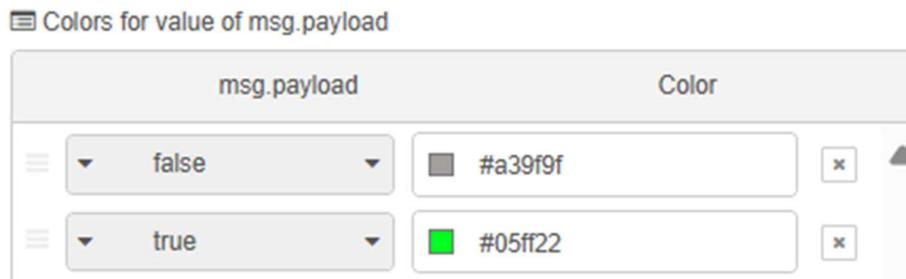
Nodos LED.



Nota. Se observa los nodos que se usan como indicadores.

Figura 29

Configuración de Nodos LED.



Nota. Se observa la configuración que se realiza a los nodos LED's.

En la Figura 30, se muestra el NODO GAUGE el cual proporcionará una representación visual, como un medidor circular, que variará según el valor de la velocidad en tiempo real.

Figura 30

Nodo GAUGE.

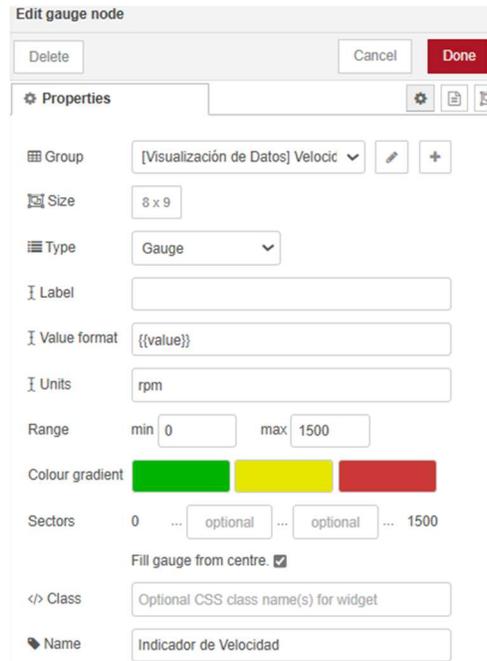


Nota. Se observa como se a declarado el nodo Gauge.

Con relación a lo mencionado anteriormente, se puede apreciar en la Figura 31 la configuración del NODO GAUGE.

Figura 31

Configuración de nodo GAUGE.



The screenshot shows the 'Edit gauge node' configuration window. At the top, there are 'Delete', 'Cancel', and 'Done' buttons. Below is a 'Properties' section with the following settings:

- Group: [Visualización de Datos] Velocid
- Size: 8 x 9
- Type: Gauge
- Label: (empty)
- Value format: {{value}}
- Units: rpm
- Range: min 0, max 1500
- Colour gradient: A gradient bar with green, yellow, and red segments.
- Sectors: 0, optional, optional, 1500
- Fill gauge from centre:
- Class: Optional CSS class name(s) for widget
- Name: Indicador de Velocidad

Nota. Se puede observar la configuración asociada al Nodo Gauge.

En la Figura 32, se encuentran los NODOS CHART que permitirán visualizar los datos en tiempo real mediante una gráfica interactiva para visualizar en el transcurso del tiempo el comportamiento de las variables importantes de control.

Figura 32

Nodos chart.

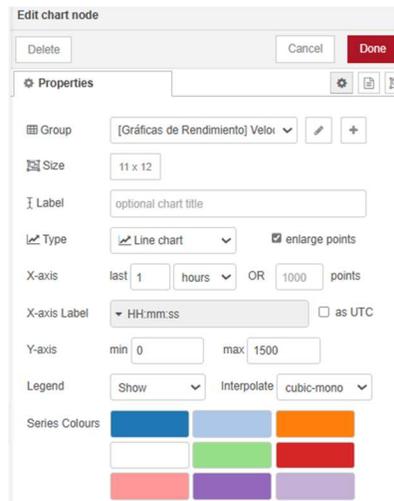


Nota. Representación gráfica de los nodos utilizados.

Así mismo, en la Figura 33 se encuentra la configuración general de este nodo.

Figura 33

Configuración de los Nodos chart.



Nota. Se puede observar la configuración que se a realizado para los NODOS CHART.

En la Figura 34 se ilustra el nodo Function, para este nodo se desarrolló un algoritmo de programación que obtiene la fecha actual del equipo y la concatena con el estado booleano de las variables SENSOR1 y SENSOR3 que recibe de entrada este nodo; esto es evidenciado con más detalle en la Figura 35.

Figura 34

Nodo Function.

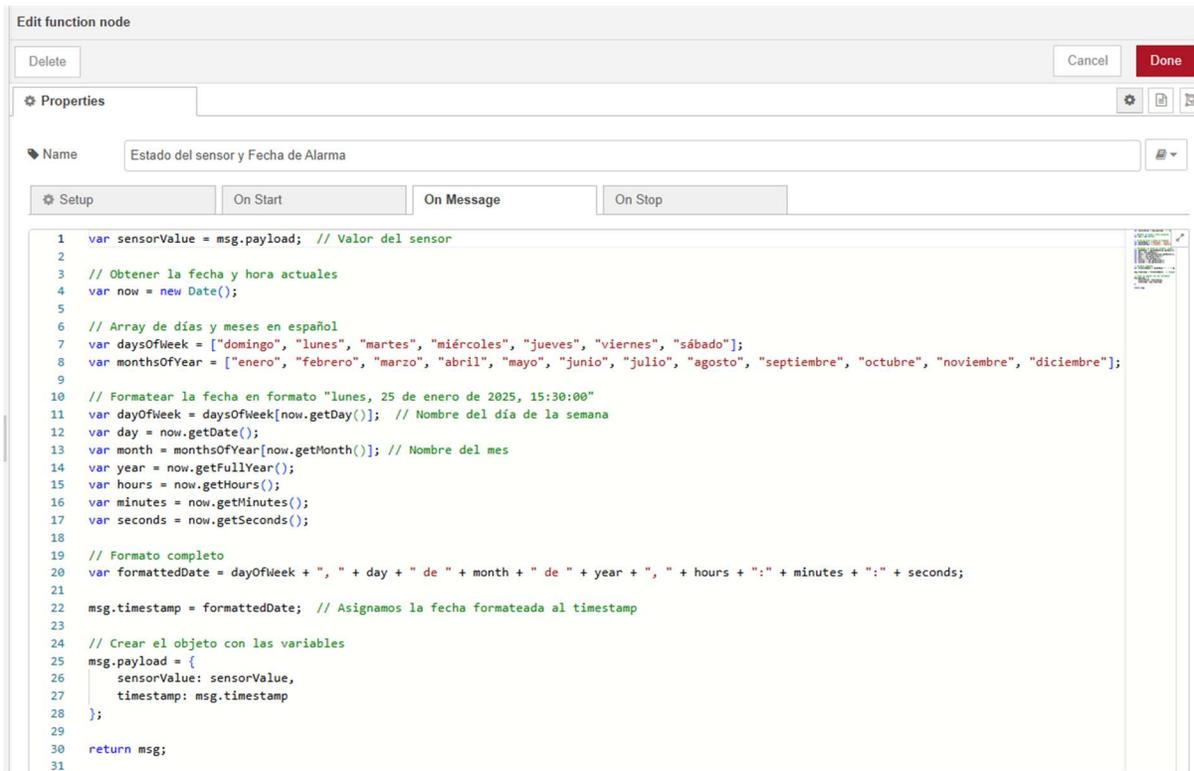


Nota. Se observa el nodo utilizado para enviar información.

Para tener una forma personalizada en la presentación de los datos se utiliza codificación como se muestra en la Figura 35.

Figura 35

Programación del algoritmo para el nodo Function.



Nota. Se muestra la programación del Nodo function.

En la Figura 36 se puede visualizar el nodo Template, el cual se usa para generar contenido dinámico.

Figura 36

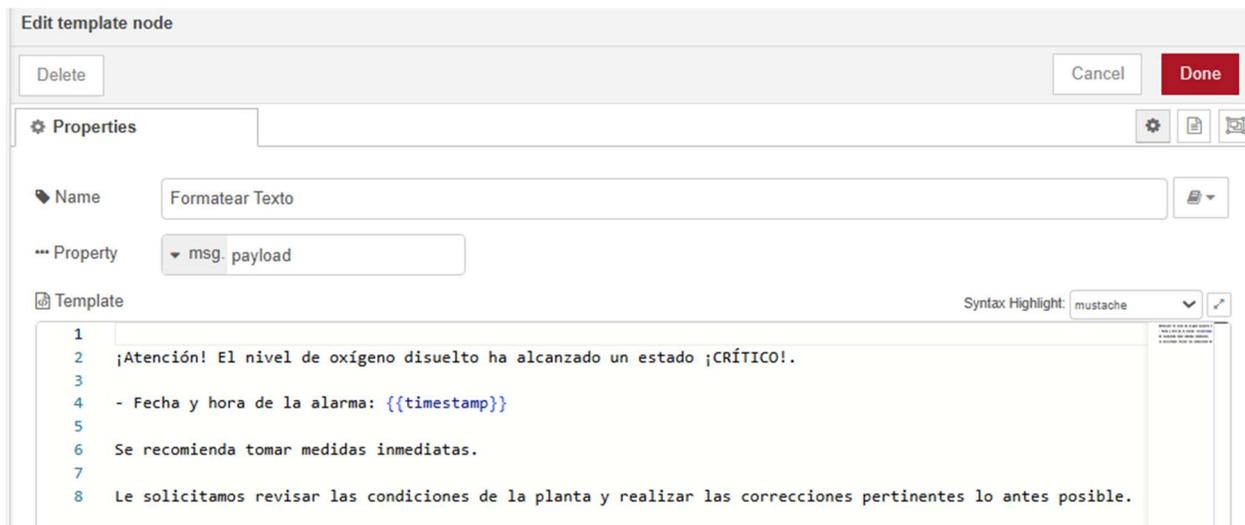
Conexión de nodo Template.



En la Figura 37 se puede visualizar la programación que se desarrolló en el nodo, su función explícita permitirá darle un formato al mensaje que se quiere enviar, tomando la información del nodo Function para convertir esas variables en texto plano.

Figura 37

Programación del nodo Template.

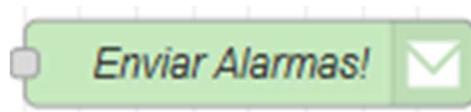


Nota. Se observa la configuración del nodo para convertir en texto plano la información que le envía el nodo Function.

El nodo email permite enviar y recibir correos electrónicos mediante protocolos SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol* - protocolo simple de transferencia de correo), así como se muestra en la Figura 38.

Figura 38

Nodo Email.

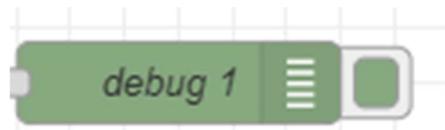


Nota. Representación gráfica del nodo Email.

En la Figura 39, se puede apreciar el nodo Debug que se ha usado con fines de comprobar de que llegue la información deseada, es decir comprobar que la información pasa de un nodo a otro.

Figura 39

Nodo Debug.



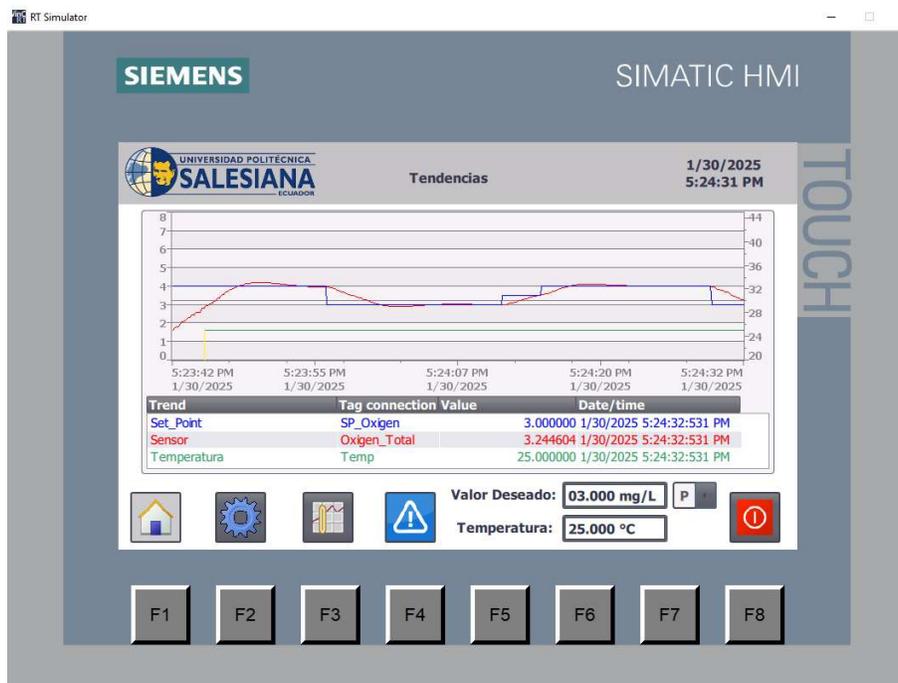
Nota. Se observa el Nodo Debug.

6 RESULTADOS OBTENIDOS

Se realizaron varias pruebas de funcionamiento cambiando el valor deseado de oxígeno disuelto, así como un valor referencial de temperatura para generar perturbaciones y observar que la regulación está trabajando. En la Figura 40 se puede observar la pantalla de tendencias con las gráficas de oxígeno disuelto (Oxigen_Total), valor deseado de oxígeno (SP_Oxigen) y Temperatura (Temp).

Figura 40

Prueba de controlador PID con cambios en la referencia.



Nota. Se observa la acción del controlador PID.

Para este caso se estableció un setpoint de 3mg/L, y una variación de la temperatura como perturbación donde se puede apreciar el comportamiento mediante la curva de color azul en donde cambia su valor en ciertos puntos, y la curva de color rojo que representa la variable a controlar

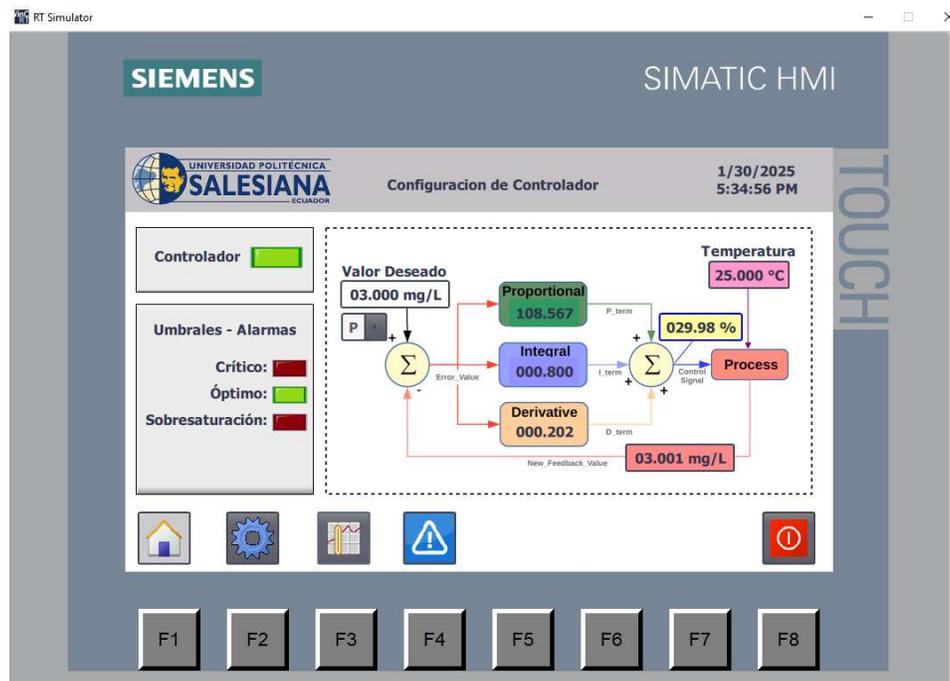
mantiene un comportamiento similar a la perturbación con la diferencia de que llega a estabilizarse en el punto requerido.

Esto es posible gracias a la acción del bloque de control PID_Compact que ha sido sintonizado a través de las herramientas de TIA PORTAL con una configuración tal como se muestra en la Figura 41. Los valores obtenidos luego del ajuste fueron:

- $P = 108.567$ (Proporcional)
- $T_i = 0.8$ (Integral)
- $T_d = 0.202$ (Derivativo)

Figura 41

Controlador PID ajustado en ejecución.

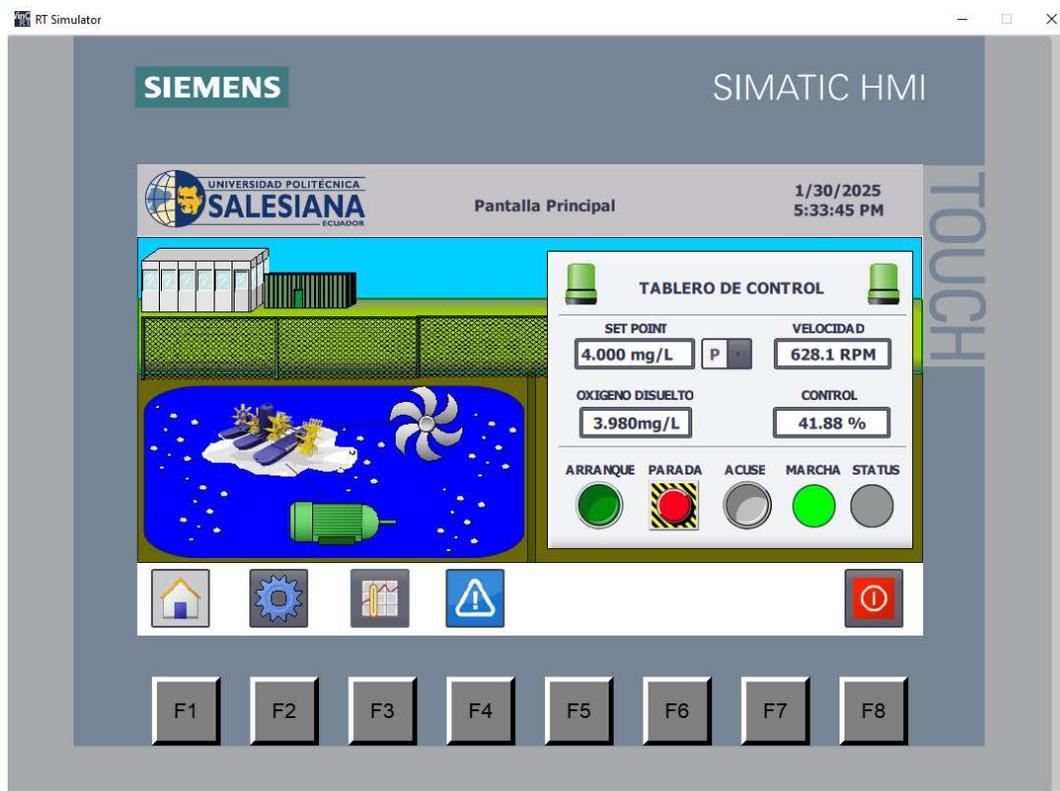


Nota. Se observa el controlador en acción desde la pantalla de configuración.

Se ha puesto a prueba la pantalla principal visualizando las variables principales y controlado la ejecución de controlador, así como el acuse de errores para el variador de frecuencia. En la Figura 42 se puede observar que los cuadros de texto contienen valores desajustados al funcionamiento de proceso, en este caso se está aplicado 628.1 RPM para aumentar la oxigenación en el agua ya que aún existe una ligera diferencia entre el valor deseado (4mg/L) y el valor medido (3.98 mg/L).

Figura 42

Pantalla principal en ejecución.

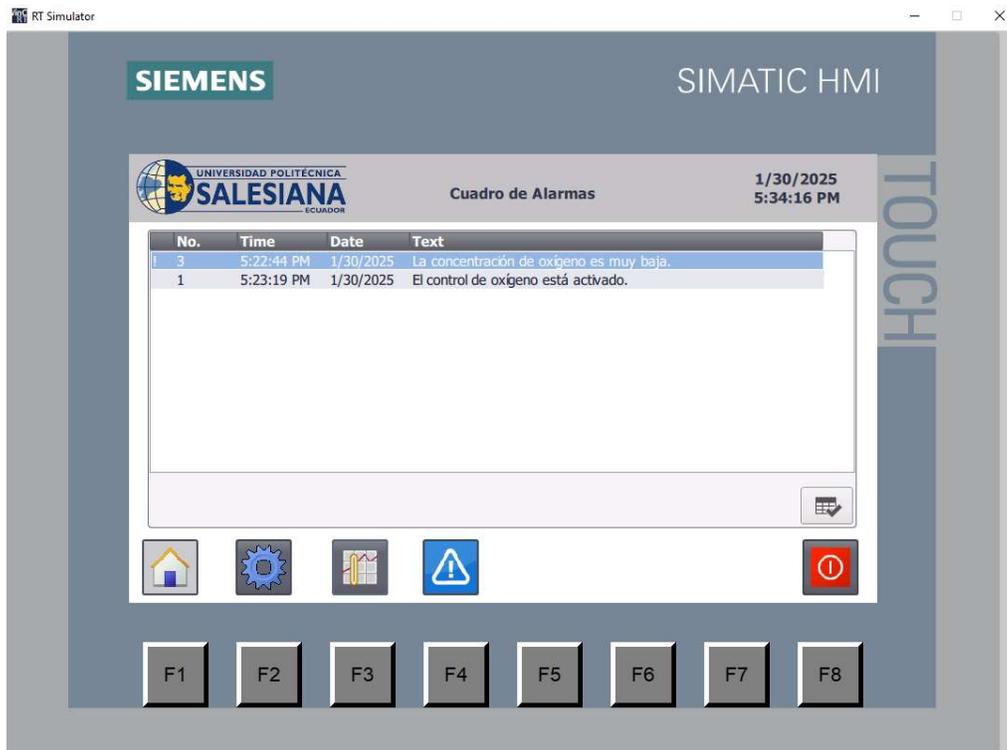


Nota. Se observa la pantalla principal del HMI en acción.

En la Figura 43 se puede apreciar el registro de alarmas y eventos en el cuadro de visualización. Este elemento cuenta con un botón de acuse de alarmas para dar conocimiento de que el operador sabe del evento y ha tomado acción sobre el mismo.

Figura 43

Pantalla principal en ejecución.

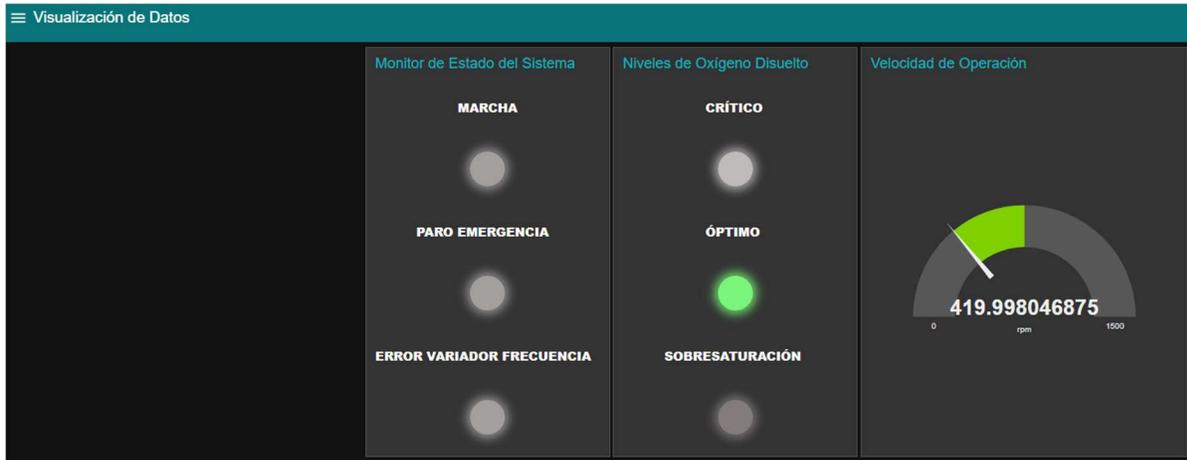


Nota. Se observa la pantalla de alarmas en ejecución.

El monitoreo remoto del proceso se realiza mediante el Dashboard diseñado en Node-Red como se muestra en las Figuras 44 y 45. En este caso se muestran las variables principales del sistema, oxígeno estable con temperatura de 28°C, adicionalmente se permite el aumento de parámetros a monitorear según el requerimiento.

Figura 44

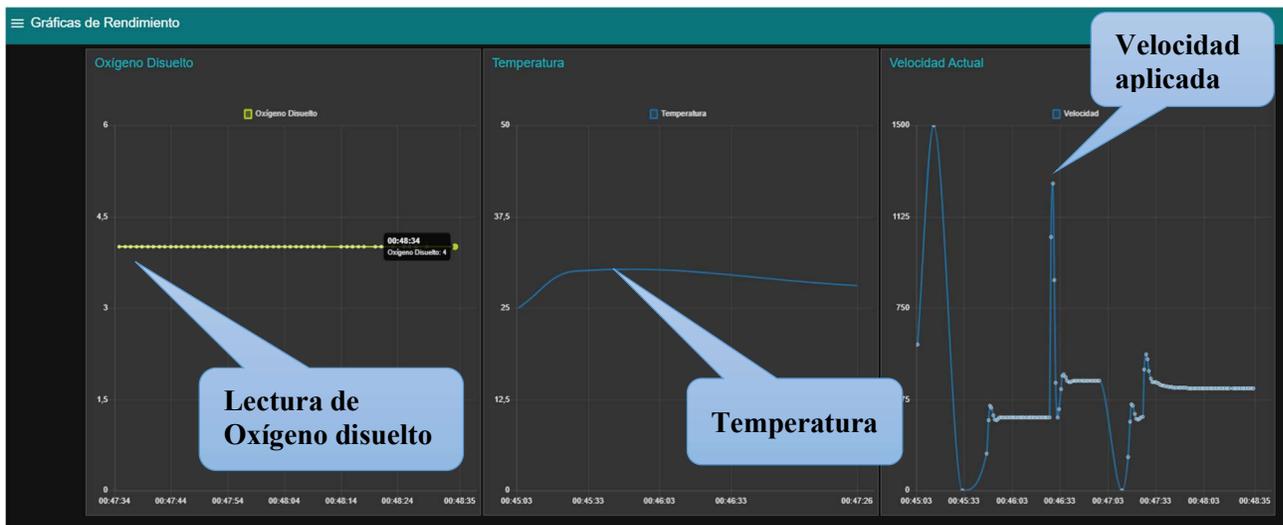
Dashboard desarrollado, leds y gauge.



Nota. Se visualiza la pantalla de navegación en el dashboard.

Figura 45

Dashboard desarrollado, gráficas en el tiempo.

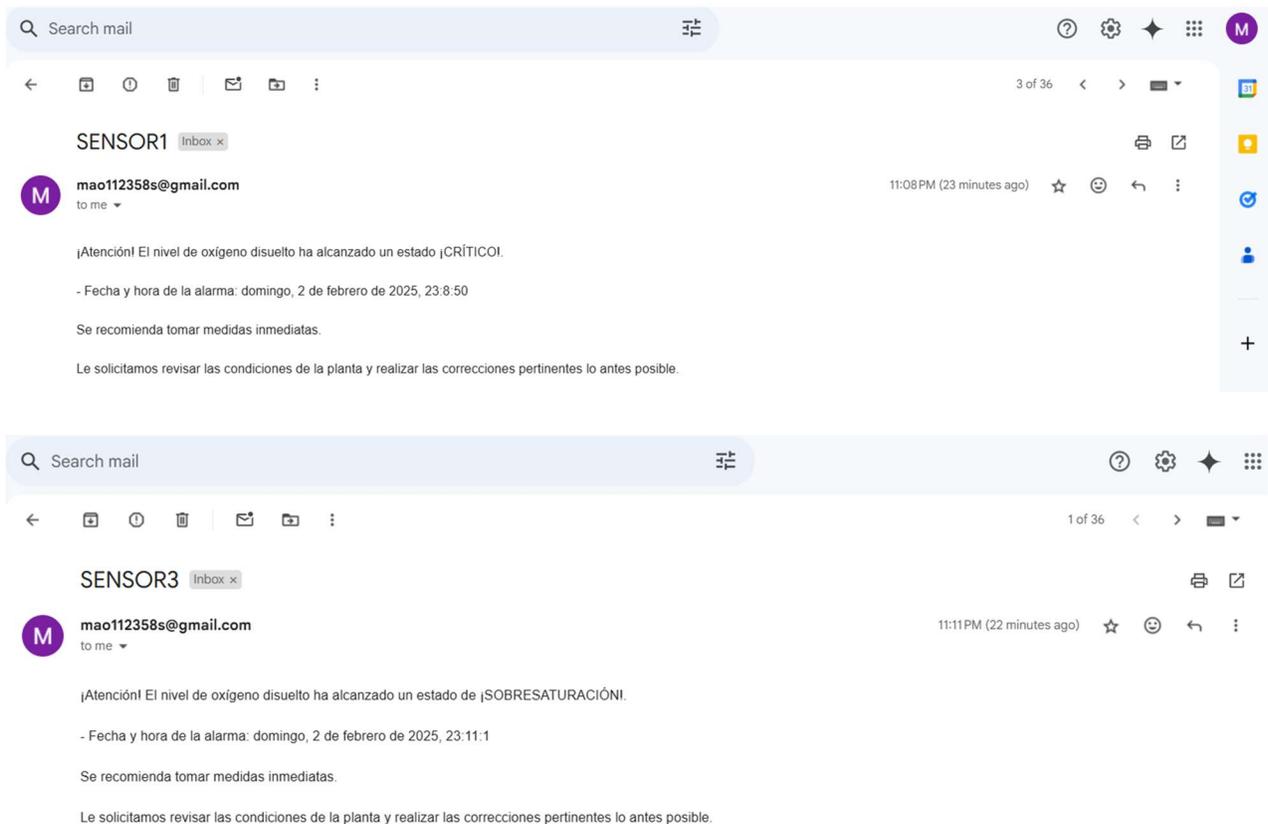


Nota. Se visualiza el comportamiento de las gráficas en el dashboard.

En la Figura 46 se evidencia el envío de correos configurado en los nodos correspondientes a SENSOR1 y SENSOR3 para efectos de prueba se considerado una dirección de correo en Gmail informando sobre el evento, así como el registro de la fecha y hora.

Figura 46

Prueba de comunicación entre Node Red y Gmail.



Nota. Se observa el contenido de los correos generados por las alarmas.

En la Figura 47 se puede observar el montaje de los equipos utilizados en el laboratorio de Automatización Industrial II. integrando dispositivos de manera local y remota, también el funcionamiento del sistema logrado mediante la configuración adecuada.

Figura 47

Montaje de equipos.

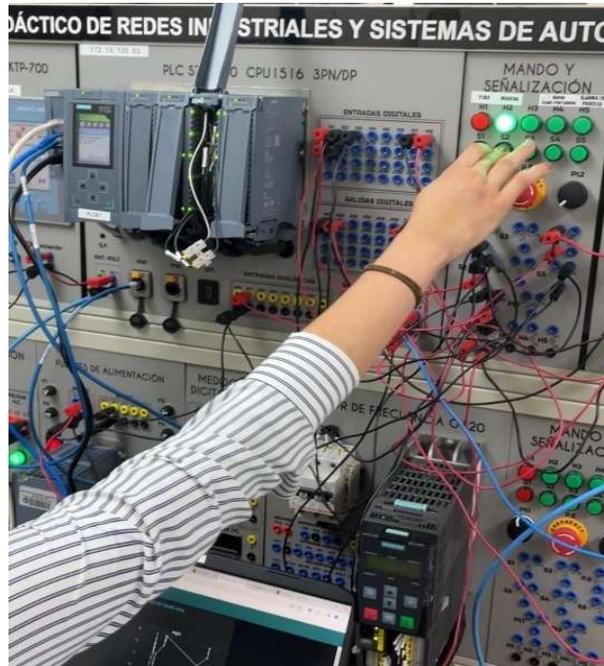


Nota. Se observa la implementación de los equipos en laboratorio.

En la Figura 48 se aprecian las pruebas de la implementación y comunicación en el tablero eléctrico.

Figura 48

Pruebas en tablero eléctrico.



Nota. Se puede visualizar pruebas realizadas en laboratorio.

De la misma manera en la Figura 49 se observa la comunicación e integración entre componentes como PLC, HMI y VDF.

Figura 49

Pruebas de comunicación.

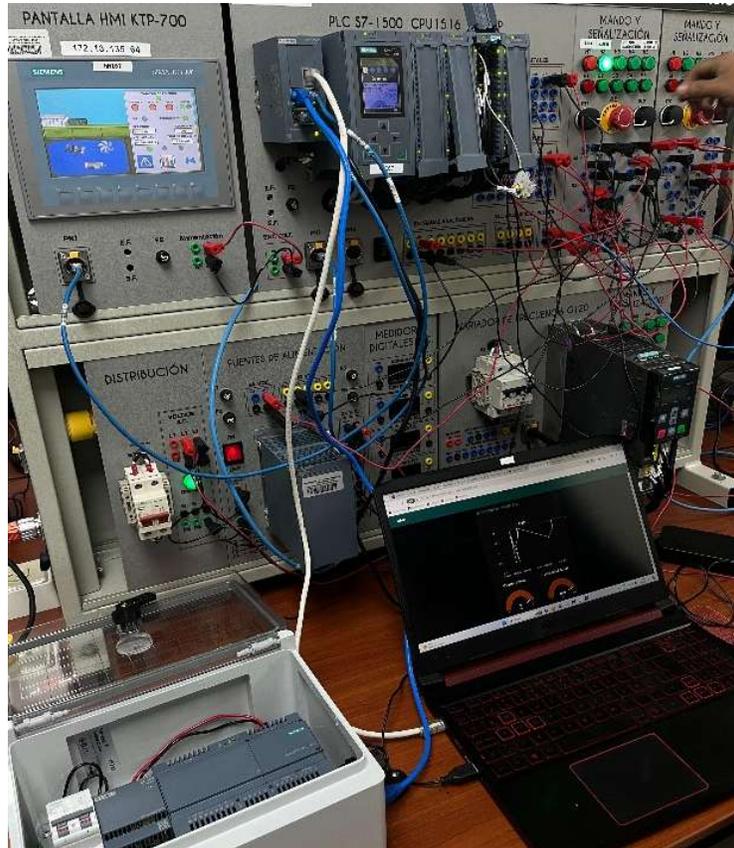


Nota. Se puede observar la implementación realizada en el módulo didáctico de laboratorio.

Y, por último, en la Figura 50 se evidencia el correcto funcionamiento de todo el sistema con el Node Red.

Figura 50

Pruebas de lectura de datos en Node Red.



Nota. Representación gráfica de todos los equipos en ejecución.

7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

A continuación, en la Tabla 1 se presenta un cronograma de actividades que se realizó con el fin de culminar el proyecto de titulación.

Tabla 1

Actividades por realizar para el desarrollo del proyecto.

Actividades	Tiempo de Duración																
	Noviembre				Diciembre					Enero					Febrero		
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3
Investigación de sistemas de aireación en sector acuícola.	X	X															
Definición de objetivos	X	X															
Planificación de diseño y simulación.			X	X	X												
Diseño del sistema de control.					X	X	X										
Diseño de arquitectura de Red.								X	X	X							
Desarrollo de interfaz basada en IoT.											X						
Integración del sistema de control y arquitectura IoT.											X	X					
Análisis de resultados.													X	X	X	X	
Presentación del proyecto.																	X

Nota. Esta tabla muestra el orden cronológico que se llevó a cabo para la ejecución de cada actividad.

8 PRESUPUESTO

Se debe considerar que la mayoría de los elementos utilizados en el desarrollo de este proyecto están disponibles en el laboratorio de Automatización, en la Tabla 2 se detalla el valor estimado.

Tabla 2

Presupuesto estimado para realizar el Proyecto de Titulación.

Detalle	Cantidad	Costo Unitario	Total
Horas de Ingeniería	70h	\$2,87	\$208,6
Total			\$208,6

Nota. Se observa a detalle el presupuesto utilizado en este proyecto.

9 CONCLUSIONES

- Se llevó a cabo la implementación del bloque L_SIM para la simulación del proceso continuo y, de esta manera se logró la incorporación y sintonización de algoritmos de control PID sin tener físicamente la planta o estar en sitio, en este caso se implementó exitosamente mediante el software TIA PORTAL v18.
- Se realizó un interfaz de monitoreo local a través de un panel de operador táctil en el HMI, con un diseño estético y funcional para el usuario, visualizando correctamente las variables del sistema en tiempo real mediante gráficas y alarmas, con el fin de detectar y corregir fallos en el equipo.
- Se desarrolló la interfaz de visualización remota de datos en la nube con el software Node Red, que permitirá monitorear el estado de las operaciones e identificar problemas en el proceso desde cualquier lugar.
- La programación del PLC en lenguaje KOP que se utilizó en este proyecto es de fácil interpretación al usuario debido a la forma modular implementada a través de 4 bloques de función (FC), permitiendo así un orden de ejecución de la lógica del proceso.

10 RECOMENDACIONES

- A la hora de implementar este sistema, se debe verificar el estado de los componentes de la red ethernet (conectores RJ45 y cable par trenzado), ya que esto incide notablemente en el buen funcionamiento del proyecto.
- Para visualizar de forma correcta los datos obtenidos desde el controlador, se debe garantizar que la conexión a la red no tenga muchas interrupciones.
- Como trabajo futuro se podría implementar el envío de correos electrónicos con información relevante para departamentos como Mantenimiento y Producción.

11 BIBLIOGRAFÍA

ABB. (s.f.). Obtenido de Qué es un variador de frecuencia: <https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador>

BOURKE, K. (2022). *REALPARS*. Obtenido de <https://www.realpars.com/blog/node-red>

CIME. (s.f.). Obtenido de <https://cime.com.pe/producto/scada-supervisory-control-and-data-acquisition/>

Dinatek. (s.f.). *Aireadores Zuzu*. Obtenido de <https://dinatek.ec/producto/aireador-paletas-monofasico/>

Foundation, O. (s.f.). *Node-RED*. Obtenido de <https://nodered.org/>

Hernández, J. Z. (Mayo de 2022). *Panorama Acuícola*. Obtenido de <https://panoramaacuicola.com/2022/05/23/beneficios-del-sistema-automatizado-de-alimentacion-aq1-bajo-condiciones-optimas-en-sistemas-de-cultivo-semi-intensivo-de-camaron/>

INDUSTRIAS, G. (4 de Noviembre de 2021). *Motor de Induccion*. Obtenido de <https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/motor-de-induccion#:~:text=Un%20motor%20de%20inducci%C3%B3n%20es,de%20cobre%2C%20acero%20y%20aluminio.>

Ingelearn. (s.f.). Obtenido de ¿Qué es un HMI? Automatización Industrial:

<https://ingelearn.com/que-es-un-hmi-automatizacion-industrial/>

MOTORBA. (s.f.). Obtenido de <https://motorba.com.ar/pares-de-polos-de-un-motor-trifasico/>

Pallarés, P. P. (1 de 05 de 2024). Obtenido de Sistema de control de temperatura (II):

<https://www.plc-hmi-scadas.com/blog/sistema-de-control-de-temperatura-ii/>

Siemens. (s.f.). Obtenido de KTP700:

<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6AV2123-2GB03-0AX0>

Siemens. (03 de 2017). Obtenido de Library for Controlled System Simulation with STEP 7

(TIA Portal):

https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/79047707/79047707_LSim_DOC_V3_0_0_en.pdf

Siemens. (s.f.). *Central processing units*. Obtenido de

<https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-1500/cpus.html>

VentasGP.com. (20 de 10 de 2023). Obtenido de Conoce los Diferentes Tipos de Aireadores para

Camaroneras: <https://ventasgp.com/blog/f/conoce-los-diferentes-tipos-de-aireadores-para-camaroneras>

Vignola. (11 de Febrero de 2025). *Vignola.cl*. Obtenido de

<https://www.vignola.cl/producto/variador-sinamics-g120/>

Vistazo. (19 de 04 de 2022). *Oxigenación, clave en el cultivo de camarón*. Obtenido de

<https://www.vistazo.com/enfoque/oxigenacion-clave-en-el-cultivo-de-camaron-JY1616281>

Zumba, L. (2022). *Diario EL EXPRESO*. Obtenido de

<https://suscripcion.expreso.ec/?limit=true&continue=https://www.expreso.ec/actualidad/economia/electrificacion-sueno-contracorriente-camaron-141652.html>

12 ANEXOS

Tabla de Variables del PLC

Name	Data Type	Logical Address
MARCHA	Bool	%M0.0
PARO	Bool	%M0.1
LIMPIEZA_ERROR	Bool	%I0.2
Start	Bool	%I0.4
Stop	Bool	%I0.5
LUZ_MARCHA	Bool	%Q0.0
LUZ_PARO	Bool	%Q0.1
Motor	Bool	%Q0.2
aspas	Bool	%Q0.5
LIGHT_ERROR	Bool	%Q0.6
PE_LIGHT	Bool	%Q0.7
ACCESO_EJE	Bool	%M10.0
ACK_ERROR_VDF	Bool	%M10.1
DATO_MEMORIA	DWord	%MD50
Frecuencia	Real	%MD16
System_Byte	Byte	%MB100
FirstScan	Bool	%M100.0
DiagStatusUpdate	Bool	%M100.1
AlwaysTRUE	Bool	%M100.2
AlwaysFALSE	Bool	%M100.3
Clock_Byte	Byte	%MB200
Clock_10Hz	Bool	%M200.0
Clock_5Hz	Bool	%M200.1
Clock_2.5Hz	Bool	%M200.2
Clock_2Hz	Bool	%M200.3
Clock_1.25Hz	Bool	%M200.4
Clock_1Hz	Bool	%M200.5
Clock_0.625Hz	Bool	%M200.6
Clock_0.5Hz	Bool	%M200.7
SENSOR1	Bool	%M8.7
SENSOR2	Bool	%M9.0
SENSOR3	Bool	%M9.1
AXIS	Bool	%M9.2
AXIS1	Bool	%I1.1
P_EMERGENCIA	Bool	%M0.2
Oxigen	Real	%MD84
Control	Real	%MD80

Temp	Real	%MD88
Disturb	Real	%MD92
Oxigen_Total	Real	%MD96
SP_Oxigen	Real	%MD102
Modo	Int	%MW106
Modo_PID	Bool	%M101.0
Temp2	Real	%MD108
Sintonizar	Bool	%M101.1
ACK_ERROR_HMI	Bool	%M101.2
FLANCO1	Bool	%M101.3
Periodic_SP	Bool	%M101.4

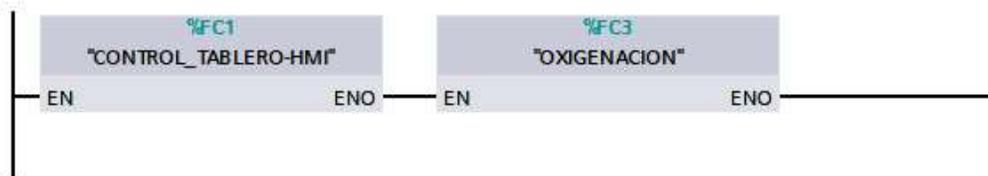
Programación del PLC

▼ **Block title:** Control Local y Remoto de Aireador Eléctrico

Comment

▼ **Network 1:** Etapas de control y verificación de estado de instrumentación

Comment



▼ **Network 2:** Etapas de control PID y actuador eléctrico

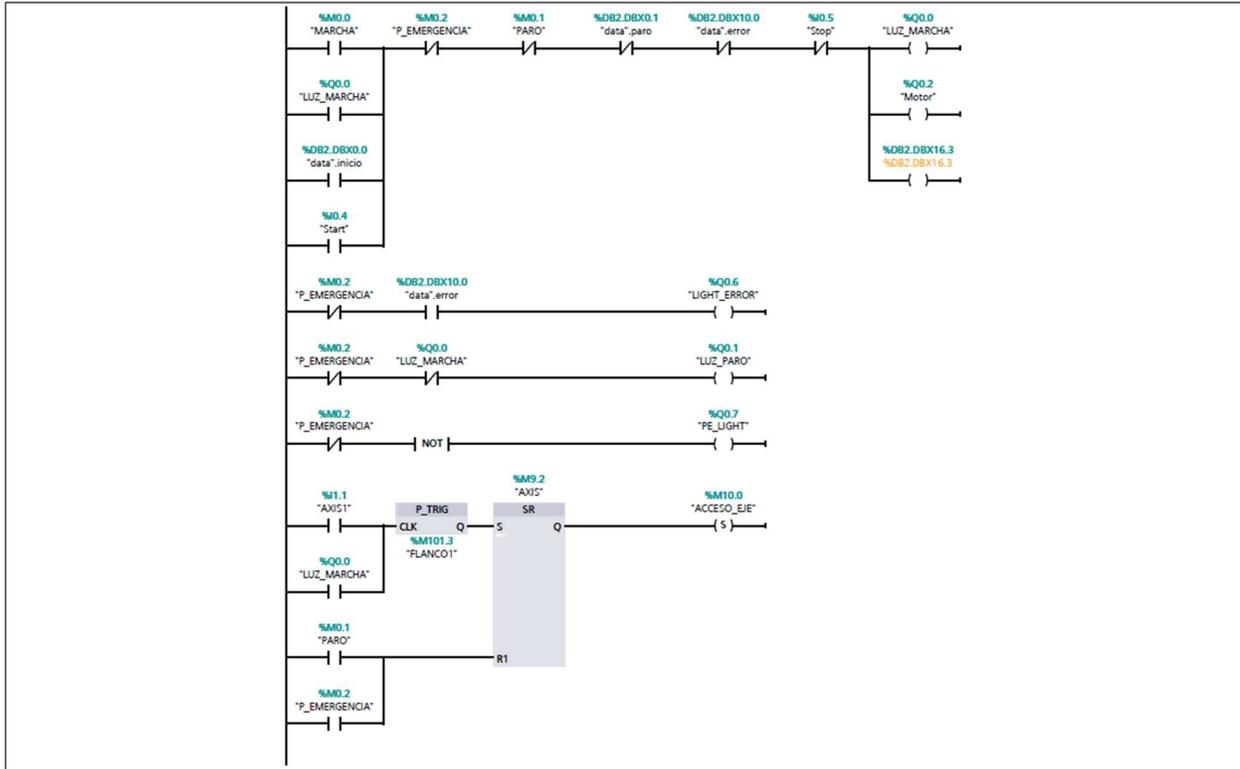
Comment



Bloque de control FC1

Network 1: CONTROL DESDE EL TABLERO ELÉCTRICO Y REMOTO

Para esta sección se indica que la MARCHA del sistema se podrá manejar desde el tablero o desde el HMI, y la lógica de las luces PILOTO. También se tendrá acceso al EJE y enviar esta señal al variador para que lo habilite.



Network 2: ESCALADO DE LAS VARIABLES PARA VISUALIZARLAS EN EL HMI

Se establece un escalado de la variable que se setea en el HMI y habilitar o enviar esa información al Variador



Network 3:

ANIMACIÓN DESDE HMI



Bloque de control FC3

Network 1: Verificación de valores de oxigenación

Esta sección se explica de la siguiente manera:

1. Se realiza la asignación de valor total de oxígeno a la variable respectiva en el bloque de datos. Este valor se ha obtenido a través de los bloques LSIM.

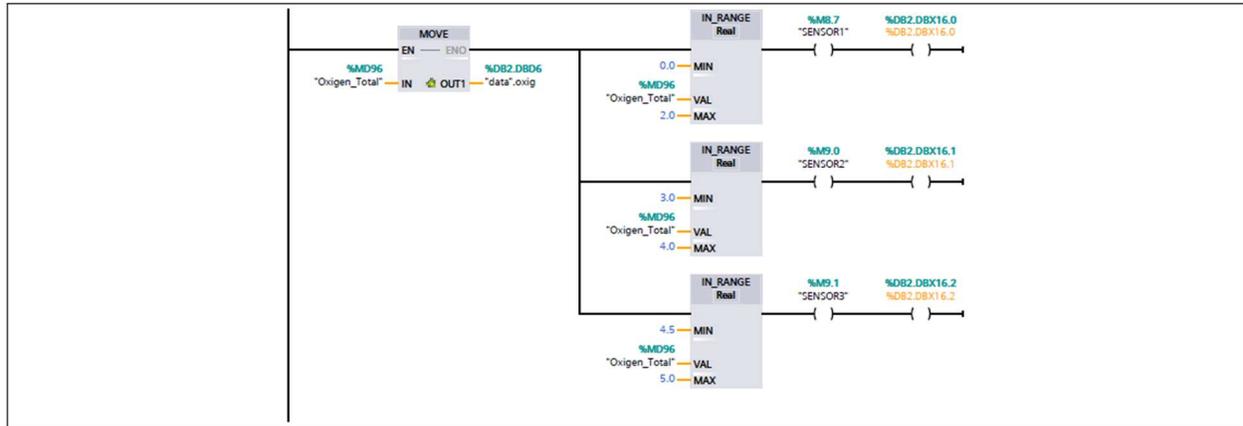
2. Los bloques IN_RANGE se usaron con e fin de llevar a cabo la logica del proceso de oxígeno disuelto en camaroneras:

0 a 2 -> Nivel crítico que activará el SENSOR1.

3 a 4 -> Nivel optimo que activará el SENSOR 2.

4.5 a 5 -> Nivel de sobresaturacion y activará el SENSOR 3.

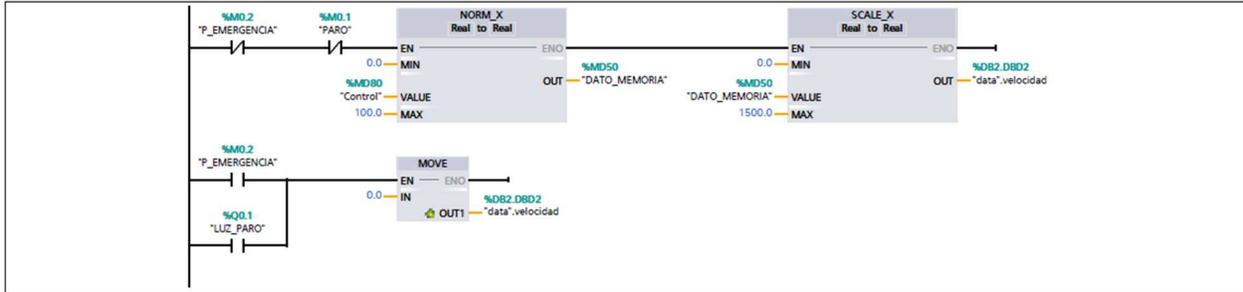
Estas variables SENSOR1, SENSOR2 SENSOR3. Son declaradas para manejarse en un proceso posterior.



Bloque de control FC6

Network 1: Escalamiento de variable para control de velocidad

0...100% corresponde a un valor entre 0...1500RPM.



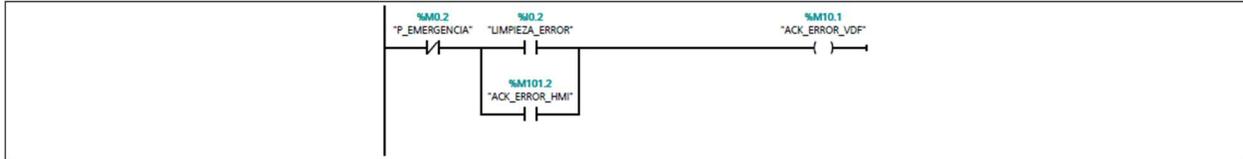
Network 2: Lógica para el PARO del sistema de control del variador

Para esta sección se indica que el caso de presionar PARO en el sistema se encendera una luz piloto ROJA, de la misma forma para el SENSOR3, en caso de leer el nivel de oxigenación muy alto se debe deshabilita el ACCESO AL EJE.



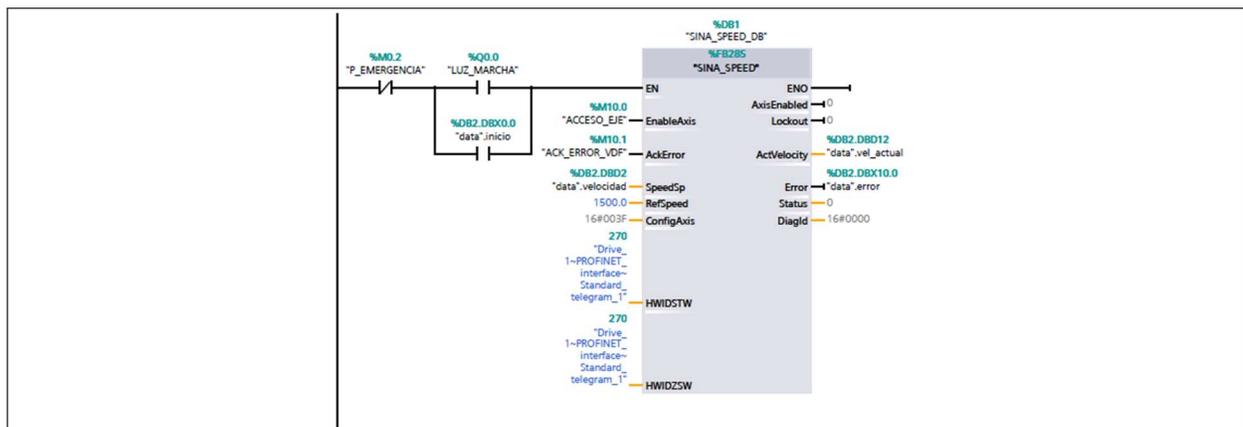
Network 3: Lógica para enviar RESET al variador.

Esta sección es para resetear el error en el variador.



Network 4: Especificaciones de entrada para el SINAMICS G120

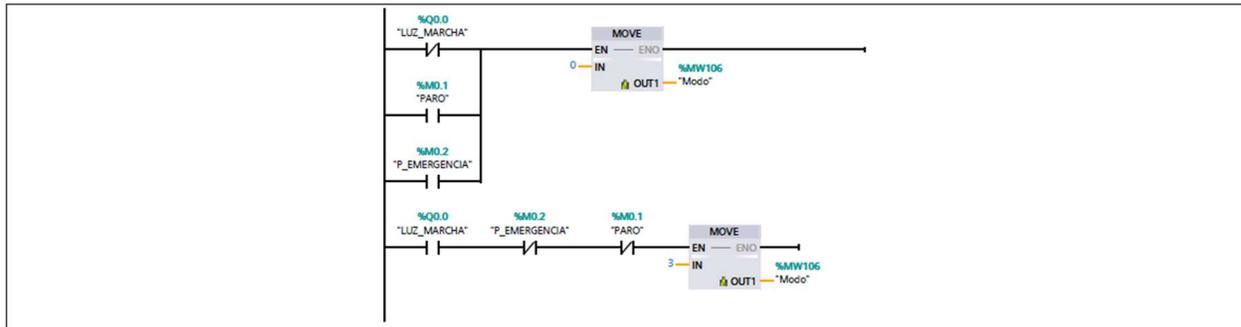
La variable VALOR_BLOQUE es enviado por el bloque FC: SELECTOR, la funcion de esta variable es que captar la velocidad que se le está enviando cuando se ha solicitado mediante el SELECTOR la acción automática, con el fin de simular con el potenciómetro que se le está enviando la oxigenación, o se le está seteando desde el HMI la velocidad manualmente.



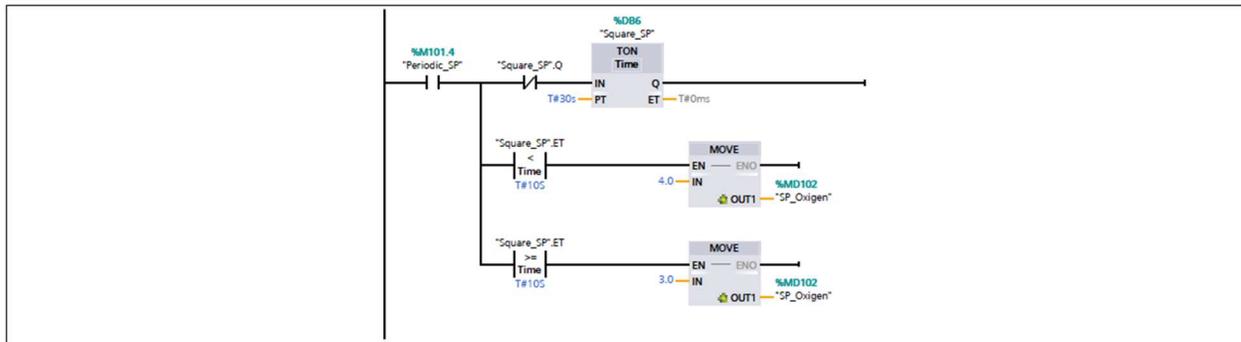
Bloque de control FC2

Network 1: Asignación de modo de trabajo para el controlador PID

- 0: Inactive
- 1: Pretuning
- 2: Fine tuning
- 3: Automatic mode
- 4: Manual mode
- 5: Substitute output value with error monitoring



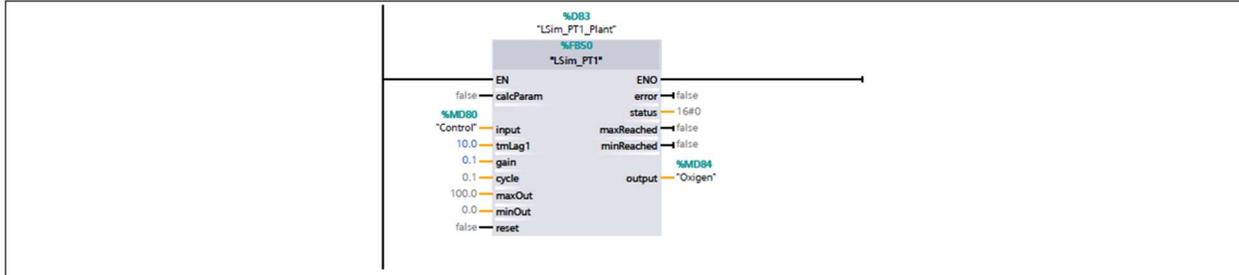
Network 2:



Bloque Cyclic Interrupt OB30

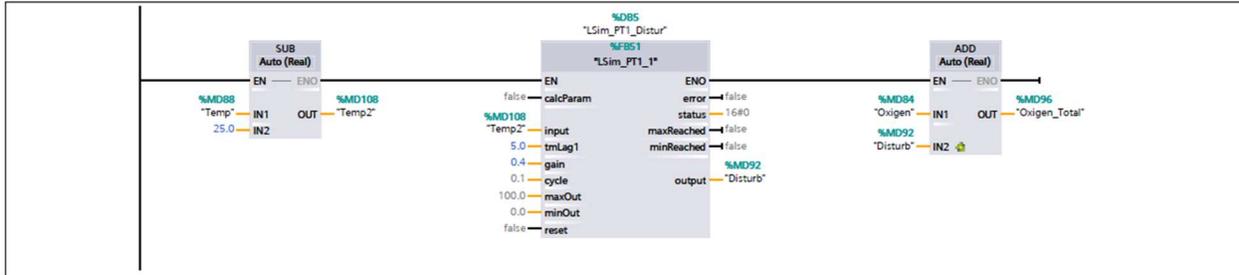
Network 1: Funcion de transferencia principal

Esta función de transferencia corresponde a la relación entre la señal de control y la cantidad de oxígeno disuelto producido en el agua. Cabe mencioanr que la señal de control está expresada en porcentaje para posteriormente ser escalada en unidades de ingeniería según el requerimiento.



Network 2: Funcion de transferencia perturbacion

Se representa una aproximación de los cambios de oxígeno en relación a la temperatura del agua y posteriormente se calcula el valor total de la oxigenación aplicado al camarón.



Network 3: Controlador PID

Control Proporcional - Integral - Derivativo del oxígeno disuelto considerando un tiempo de muestreo de 100ms. El valor de oxígeno deseado se fija a través de la pantalla HMI.

