



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN PROCESO DE CONTROL DE CALIDAD
EN CAMARONERAS USANDO TIA PORTAL Y PLCSIM.**

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

AUTORES:

DANIEL FERNANDO SÁNCHEZ HUILCAPI
ANDY NICHOLAS MANRIQUE TORRES

TUTOR:

Ph.D. VICTOR MANUEL HUILCAPI SUBIA

Guayaquil – Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Daniel Fernando Sánchez Huilcapi con documento de identificación N° 0952134153y, Andy Nicholas Manrique Torres con documento de identificación N° 0955757166, manifestamos que:

Somos las autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos 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

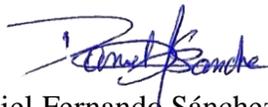
Guayaquil, 06 de febrero del 2025.

Atentamente,



Andy Nicholas Manrique Torres

095575716-6



Daniel Fernando Sánchez Huilcapi

095213415-3

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

Nosotros, Daniel Fernando Sánchez Huilcapi con documento de identificación N° 0952134153 y, Andy Nicholas Manrique Torres con documento de identificación N° 0955757166, manifestamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN PROCESO DE CONTROL DE CALIDAD EN CAMARONERAS USANDO TIA PORTAL Y PLCSIM.”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónica y Automatización, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Guayaquil, 06 de febrero del 2025.

Atentamente,



Andy Nicholas Manrique Torres

095575716-6



Daniel Fernando Sánchez Huilcapi

095213415-3

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Víctor Manuel Huilcapi Subia con documento de identificación N° 0917206294, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN PROCESO DE CONTROL DE CALIDAD EN CAMARONERAS USANDO TIA PORTAL Y PLCSIM.”, realizado por Daniel Fernando Sánchez Huilcapi con documento de identificación N° 0952134153 y, Andy Nicholas Manrique Torres con documento de identificación N° 0955757166, 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, 06 de febrero del 2025.

Atentamente,



Ph.D. Víctor Manuel Huilcapi Subia

0917206294

DEDICATORIA

A mi madre querida,

Tú, mi fuente inagotable de inspiración, has sido la fuerza que me ha guiado en cada paso de este trayecto académico. Tus sacrificios, tu dedicación incansable y tu amor incondicional, son la base sobre la cual he construido cada palabra de este trabajo.

Y también a ti, mi abuela María del Rosario, mi segunda madre, quien desde el cielo me acompaña con su amor eterno. Aunque ya no estés aquí físicamente, sé que sigues siendo mi guía y mi fuerza en cada momento. Las enseñanzas de ambas, sus valores y su amor son el corazón de este logro.

Daniel Fernando Sánchez Huilcapi.

Este proyecto de titulación va dedicado a mi madre, por su amor y apoyo incondicional, por la motivación que me brinda para seguir adelante. Le quiero dedicar este y todos mis futuros logros a mi padre, lamentablemente tuviste que partir durante el proceso de este trabajo de titulación, pero sé que me estás dando el apoyo y fuerzas necesarias como siempre lo hiciste, pero ahora desde el cielo.

Andy Nicholas Manrique Torres.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios, por brindarme la fuerza y la determinación para seguir adelante, a mis padres, quienes estuvieron a mi lado en todo momento, brindándome su amor y apoyo incondicional.

A mis hermanos, quienes con su energía y motivación fueron el motor que me impulsó a seguir adelante. A mis abuelos, que siempre me ofrecieron su apoyo, consuelo y sabiduría en los momentos que más lo necesitaba. Y, finalmente, una mención especial a mi tutor, cuyo conocimiento, paciencia y, sobre todo, su invaluable ayuda, fueron clave para el desarrollo de este proyecto.

Daniel Fernando Sánchez Huilcapi.

A Dios por la fortaleza y demostrarme que todo tus objetivos con dedicación los puedes cumplir, a mi madre por siempre guiarme por el camino del bien, por todos los consejos y enseñanzas de vida que me brindó, a mis hermanos los cuales siempre pude contar con su apoyo y lealtad, a mi abuela por ser como mi segunda madre cuidándome y dándome su cariño, a mi padre por todo la ayuda y atención que me brindo en esta etapa universitaria, por permitirme saber lo que es el verdadero amor de un padre a hijo, a todos mis compañeros y amigos que a lo largo de estos 4 años me permitieron una estancia más amena y divertida llena de aprendizajes.

Andy Nicholas Manrique Torres.

Resumen

Este trabajo de titulación tiene como propósito realizar el diseño y la simulación de un sistema automatizado orientado al control de calidad en piscinas destinadas a la cría de camarón, empleando las herramientas TIA Portal y PLCSIM. La implementación de la automatización en este proceso permite mejorar la supervisión de parámetros fundamentales, los cuales son determinantes para el desarrollo óptimo del camarón. Mediante la simulación de sensores y la integración de un controlador lógico programable, se busca reducir la dependencia de inspecciones manuales y mejorar la eficiencia en la gestión del estado del agua en estos ambientes acuícolas.

El desarrollo del proyecto incluye la automatización de un proceso de cultivo y cosecha en piscinas camaroneras, se realizó el monitoreo y supervisión de diferentes variables que intervienen como por ejemplo oxígeno, temperatura, entre otras. Así también se aplicó una estrategia de control PID, con el fin de optimizar y garantizar una de las variables críticas como es el uso de oxígeno las piscinas camaroneras. La metodología empleada abarca la automatización del proceso mediante la implementación en un módulo con el PLC S7-1500, así como la simulación del control PID usando como herramienta TIA Portal, lo que permite validar el sistema diseñado.

Los resultados obtenidos confirman la practicidad del uso de tecnologías de automatización en la industria camaronera, contribuyendo a la modernización del sector y al incremento de la productividad. Finalmente, Esta investigación enfatiza la relevancia de implementar herramientas digitales en los sistemas acuícolas y cómo estas influyen en la sostenibilidad de las prácticas productivas.

Palabras clave: Automatización, Control de calidad, TIA Portal, PLCSIM, Sensores, Control PID, Industria camaronera.

Abstract

The purpose of this graduation project is to design and simulate an automated system aimed at quality control in shrimp farming pools, using TIA Portal and PLCSIM tools. The implementation of automation in this process allows for enhanced supervision of fundamental parameters, which are crucial for the optimal development of shrimp. By simulating sensors and integrating a programmable logic controller, the dependence on manual inspections is reduced, and the efficiency in managing water conditions in these aquaculture environments is improved.

The development of the project includes the automation of a cultivation and harvest process in shrimp farming pools, with the monitoring and supervision of various variables such as oxygen and temperature, among others. A PID control strategy was also applied to optimize and ensure one of the critical variables, which is the use of oxygen in the shrimp farming pools. The methodology employed encompasses the automation of the process through implementation in a module with the PLC S7-1500, as well as the simulation of PID control using TIA Portal as a tool, which allows for the validation of the designed system.

The results obtained confirm the practicality of using automation technologies in the shrimp farming industry, contributing to the modernization of the sector and the increase in productivity. Finally, this research emphasizes the relevance of implementing digital tools in aquaculture systems and how they influence the sustainability of productive practices.

Keywords: Automation, Quality control, TIA Portal, PLCSIM, Sensors, PID control, Shrimp industry.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
I PROBLEMA.....	2
1.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
II FUNDAMENTO TEÓRICO	4
2.1 PLC (CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE)	4
2.2 HMI (HUMAN-MACHINE INTERFACE)	5
2.3 SENSORES.....	7
2.4 SENSOR DE PH.....	7
2.5 SENSOR DE OXÍGENO	8
2.6 SENSOR DE TEMPERATURA RESISTENTE AL AGUA	9
2.7 AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS ACUÍCOLAS	10
2.8 CONTROL DE CALIDAD EN PISCINAS CAMARONERAS	11
2.9 SISTEMAS DE CONTROL INDUSTRIAL ACUÍCOLA	12
2.10 SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO	13
2.11 SISTEMA DE CONTROL DE LAZO ABIERTO	13
2.12 SISTEMA DE CONTROL DE LAZO CERRADO	14
2.13 CONTROLADOR	14
2.14 EL USO DE TIA PORTAL EN LA AUTOMATIZACIÓN	14

2.15	CONTROLADOR PID	15
2.16	ACCIÓN DE CONTROL PROPORCIONAL	16
2.17	ACCIÓN DE CONTROL INTEGRAL	16
2.18	CONTROLADORES PID EN SISTEMAS ACUÍCOLAS	17
2.19	FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA.....	18
2.20	FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE PRIMER ORDEN	19
2.21	FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA EN UN CONTROLADOR PID	19
III	MARCO METODOLÓGICO.....	21
3.1	METODOLOGÍA DE DISEÑO DEL CONTROLADOR PID.....	23
IV	ANÁLISIS DE RESULTADOS	24
4.1	DISEÑO DE LA INTERFAZ.....	24
4.2	HMI DE LAS ETAPAS DE LA SIMULACIÓN	25
5.2.1	ACOPIO DEL CAMARÓN A LA TOLVA	25
5.2.2	LLENADO DEL CAMARÓN A LA PISCINA	26
5.2.3	CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA.....	27
5.2.4	CLASIFICACIÓN DEL CAMARÓN.....	27
5.2.5	ENSACADO DEL CAMARÓN	29
4.3	PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR PID.....	30
5.3.1	RED 1: SIMULACIÓN DE DATOS DEL SENSOR	30
5.3.2	RED 2: REPRESENTACIÓN DE LUCES DEL SENSOR	31

5.3.3 RED 3: PID COMPACT	32
5.3.4 RED 4: SISTEMA DE SIMULACIÓN DEL SENSOR	33
5.3.5 RED 5: CONVERSIÓN DE VALOR DE SALIDA_PWM DEL PID	34
4.4 VISUALIZACIÓN DE GRÁFICAS DEL CONTROLADOR PID	34
CRONOGRAMA	42
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	42
PRESUPUESTO	43
CONCLUSIONES	44
RECOMENDACIONES	45
BIBLIOGRAFÍA	46
ANEXOS	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. PLC S7-1500	4
Figura 2. HMI KTP 700 del laboratorio de automatización 2 de UPS-GYE.....	6
Figura 3. Ejemplo de un sensor de pH.....	8
Figura 4. Ejemplo de un sensor de oxígeno.....	9
Figura 5. Ejemplo de un sensor de temperatura.....	10
Figura 6. Ejemplo de un entorno de automatización acuícola.....	11
Figura 7. Lazo de control retroalimentado.....	15
Figura 8. Diagrama de flujo de Controlador.....	23
Figura 9. HMI Presentación del trabajo de titulación.....	24
Figura 10. HMI de los procesos a simular.....	25
Figura 11. Etapa del acopio del camarón.....	26
Figura 12. Etapa del llenado de camarón a la piscina.....	26
Figura 13. Etapa del control y visibilidad de parámetros del agua.....	27
Figura 14. HMI de la clasificación del camarón.....	28
Figura 15. Simulación de la clasificación de camarones mediante Factory IO.....	28
Figura 16. Etapa de ensacado de camarón por categorías.....	29
Figura 17. Programación de la Red 1.....	30
Figura 18. Programación de la Red 2.....	31
Figura 19. Programación de la Red 2 P2	31
Figura 20. Programación de la Red 3.....	32
Figura 21. Programación de la Red 4.....	33
Figura 22. Programación de la Red 4 P2	33
Figura 23. Programación de la Red 5.....	34

Figura 24. Input del sensor llegando al Setpoint.....	35
Figura 25. Sistema encontrándose en el Setpoint ideal.....	35
Figura 26. Respuesta del controlador PID	36
Figura 27. Parámetros de sintonización del PID.....	36
Figura 28. Segunda representación del paso tiempo y sus señales de salida	37
Figura 29. Afectación de perturbación de temperatura al Controlador PID	38
Figura 30. Tercera representación del paso del tiempo al tener perturbación de temperatura.....	38
Figura 31. Comportamiento de la gráfica a un valor bajo de oxigenación	39
Figura 32. Demostración de la salida output al llegar al Setpoint	40
Figura 33. Comportamiento de la gráfica a un valor alto de oxigenación	41
Figura 34. Cuarta representación del paso del tiempo detectando valor bajo de mg/l	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Causas y efectos del problema de estudio.....	2
Tabla 2. Cronograma de actividades para la elaboración del Proyecto de Titulación	42
Tabla 3. Tabla de costos y presupuesto.....	43

INTRODUCCIÓN

Este trabajo de Titulación se enfoca en el desarrollo y la simulación de un sistema de control de calidad destinado a piscinas de cultivo de camarón, utilizando las plataformas TIA Portal y PLCSIM. La iniciativa busca optimizar los procesos productivos en el ámbito acuícola, un sector de gran importancia económica para naciones con una fuerte orientación hacia la acuicultura, como es el caso de Ecuador.

Como objetivo principal se planteó desarrollar una simulación integral que permita supervisar y controlar parámetros esenciales en las piscinas camaroneras, tales como pH, temperatura y niveles de oxígeno. Este sistema automatizado enfrenta problemas comunes de la industria, como la falta de monitoreo continuo y el uso de procedimientos manuales. Mediante el uso de TIA Portal y la simulación en PLCSIM, se busca replicar condiciones reales de operación para validar y optimizar el diseño propuesto.

En el Capítulo 1 se presenta el marco contextual y la problemática asociados al control de calidad en piscinas de cultivo de camarón, resaltando las limitaciones existentes y la importancia de este proyecto para impulsar la eficiencia y productividad en este sector. En el Capítulo 2 se presenta el fundamento teórico y principios técnicos que sustentaron el desarrollo del trabajo de titulación. En el Capítulo 3 se detalla los pasos de la metodología aplicada para el diseño y simulación del proceso automatizado. En el Capítulo 4 se expone el análisis de resultados obtenidos durante las simulaciones, evaluando el rendimiento del sistema diseñado.

Con este trabajo, se busca demostrar la capacidad de las herramientas de automatización industrial para optimizar los procesos acuícolas, contribuyendo al desarrollo, productividad y a la sostenibilidad de la industria camaronera.

I PROBLEMA

La industria camaronera enfrenta retos significativos en el monitoreo de parámetros fundamentales, que afectan directamente a la prosperidad de los camarones y la productividad en las etapas de siembra, crecimiento y cosecha [1].

Además de aspectos como la alimentación, clasificación por peso y tamaño, y el control de las condiciones del cultivo son críticos para optimizar el desarrollo y la supervivencia de los camarones [2].

Estos aspectos, además los métodos manuales, influyen directamente en la supervivencia, el desarrollo óptimo y la eficiencia productiva de las camaroneras, teniendo un impacto negativo en el proceso de calidad del camarón [3].

Según se muestra en la tabla 1, esta describe las causas y efectos más relevantes asociados al problema de investigación. En esta tabla se enfatizan las fallas presentes en los sistemas automatizados utilizados para la supervisión y control de calidad en el proceso de cría de camarones.

Deficientes sistemas automatizados para el control de calidad y monitoreo del proceso de cultivo de camarones en industrias camaroneras del litoral.	
CAUSAS	EFFECTOS
Infraestructura técnica antigua.	Daños permanentes en equipos y pérdidas económicas en empresas productoras de camarón.
Control y monitoreo manual de equipos.	Incapacidad de ajustar el ambiente de las piscinas de manera oportuna y óptima, lo que resulta en estrés o enfermedades en los camarones, haciendo que el crecimiento de este se vea afectado de una manera negativa.
Ausencia de un proceso continuo de recolección de datos para monitorear parámetros clave como temperatura y oxígeno del agua.	Incapacidad de poder anticipar fallos en el sistema, lo que provoca pérdidas repentinas en la producción.

Tabla 1. Causas y efectos del problema de estudio.

OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y simular un sistema automatizado de un proceso de control de calidad en camarónicas usando TIA PORTAL y PLCSIM.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Simular y demostrar, la programación de un sistema de control automatizado, usando TIA PORTAL y PLCSIM para monitorear variables críticas de un proceso de control de calidad en camarónicas.

- Diseñar y demostrar, una interfaz HMI, que visualice en tiempo real distintos parámetros críticos que permitan una interacción al sistema de control de calidad.

- Implementar la simulación mediante un módulo del laboratorio de Automatización un control PID para regular, en la piscina, el nivel de oxígeno del proceso de producción de camarón.

II FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 PLC (CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE)

Según se muestra en la Figura 1, el controlador lógico programable (PLC) que se selecciono es el modelo S7-1500. diseñado especialmente para la automatización industrial, reconocido por su modularidad y flexibilidad [4].

Este PLC sobresale por su avanzada capacidad de comunicación, permitiendo la interacción entre varios protocolos como Profinet, lo cual facilita su integración con otros dispositivos y sistemas de control. Además, incorpora funciones avanzadas, como contadores de alta velocidad y regulación PID, transformándolo en una opción adaptable para diversas aplicaciones en el ámbito industrial, donde se requiere precisión y conectividad eficiente [5].



Figura 1. PLC S7-1500 [6].

El modelo S7-1500 es un tipo de controlador lógico programable (PLC) orientado a aplicaciones de automatización industrial, destacando por su diseño modular y su capacidad para integrarse fácilmente en sistemas complejos. Este dispositivo ofrece una plataforma de programación accesible mediante un software intuitivo, lo que simplifica el control y monitoreo de procesos. Su flexibilidad permite adaptarlo a una variedad de soluciones personalizadas, respondiendo de manera eficiente a las necesidades específicas de diferentes entornos industriales [7].

Están contruidos para ser resistentes y funcionar de manera fiable en entornos difíciles, soportando vibraciones intensas y temperaturas extremas. Su programación utiliza operaciones lógicas y secuenciales, permitiendo realizar funciones avanzadas sin requerir complejas conexiones, lo cual simplifica la implementación y mantenimiento de procesos complejos [8].

2.2 HMI (HUMAN-MACHINE INTERFACE)

Según se muestra en la Figura 2, el modelo de interfaz hombre-máquina (HMI) que se usará será el HMI KTP 700 Basic, creado por Siemens, el cual es un panel de interfaz humano-máquina diseñado para simplificar la interacción entre el operador y los sistemas de automatización industrial. Equipado con una pantalla touchpad de 7", este dispositivo permite la visualización y manipular procesos, ofreciendo una experiencia de uso intuitiva que optimiza la supervisión y gestión en tiempo real [9].



Figura 2. HMI KTP 700 del laboratorio de automatización 2 de UPS-GYE.

La interfaz hombre-máquina (HMI) combina tanto hardware como software para recopilar información relevante del proceso, mostrar el estado actual de las máquinas, emitir alertas en situaciones de riesgo y realizar análisis de datos. [10].

Este sistema suministra información instantánea y optimiza la administración eficaz de los procedimientos, optimizando la operatividad y la facilidad de uso en entornos industriales [11].

La función principal de un HMI es ofrecer a los usuarios un medio intuitivo para supervisar y gestionar procesos automatizados, presentando información en tiempo real a través de gráficos y paneles de control interactivos [12].

2.3 SENSORES

Los sensores son aparatos diseñados para detectar variaciones en el entorno y convertirlas en señales procesables e interpretables por sistemas electrónicos o informáticos. Estos dispositivos permiten medir diversas variables físicas y se emplean en una gama extensa de sectores, incluyendo la automatización industrial [13].

Existen varios tipos de sensores, dependiendo del fenómeno que detectan, como los de temperatura, proximidad, movimiento o gases. La selección del sensor adecuado depende de las necesidades del proceso o la aplicación en cuestión. Los avances tecnológicos han mejorado la precisión, el tamaño y la eficiencia de los sensores, lo que ha facilitado el desarrollo de sistemas más avanzados e inteligentes [14].

2.4 SENSOR DE PH

Los sensores de pH más comúnmente empleados en la industria son los electroquímicos, que operan a través de la conversión de la reactividad química de los iones de hidrógeno en una señal eléctrica cuantificable. Estos sensores facilitan una medición exacta de los niveles de acidez o de alcalinidad de una solución específica a través de la medición exacta de la cantidad de iones específicos presentes [15].

La información proporcionada por el sensor permite a los acuicultores efectuar los ajustes necesarios en la calidad del agua, lo que ayuda a prevenir problemas que podrían impactar negativamente en la producción. [16]. El sensor proporciona una estimación cuantitativa del pH, que se muestra en una pantalla, permitiendo un seguimiento preciso y constante del estado del agua en múltiples aplicaciones [17].

Los niveles de pH que están fuera del rango ideal pueden impactar negativamente en la salud y crecimiento de los camarones. La incorporación de sensores de pH en sistemas automatizados permite gestionar de manera eficaz el entorno acuático, promoviendo así una producción más sostenible y eficiente [18].

En la Figura 3 se muestra un ejemplo de un sensor de medición del nivel de pH.



Figura 3. Ejemplo de un sensor de pH [19].

2.5 SENSOR DE OXÍGENO

Es capaz de procesar tanto señales analógicas como digitales obtenidas durante la medición, permitiendo una transmisión inteligente de los datos y una conexión del tipo "plug and play" para facilitar su integración en sistemas automatizados [20].

Este sensor, ya sea galvánico u óptico, proporciona información instantáneamente sobre las concentraciones de oxígeno, facilitando a los productores la regulación de las condiciones del agua para evitar problemas como la hipoxia, la cual va afectando de manera adversa tanto el desarrollo como la viabilidad de los camarones. Una medición precisa del oxígeno es esencial para optimizar el suministro de alimento y mejorar la eficiencia productiva en los estanques de camarones [21].

Mantener niveles adecuados de oxígeno contribuye a prevenir el estrés y disminuye la probabilidad de que los organismos contraigan enfermedades [22].

En la Figura 4 se muestra un ejemplo de un sensor para medir el nivel de oxígeno disuelto.



Figura 4. Ejemplo de un sensor de oxígeno [23]

2.6 SENSOR DE TEMPERATURA RESISTENTE AL AGUA

Este permite monitorear y regular de manera continua las condiciones térmicas a las que están expuestas las piscinas camaroneras, asegurando que se mantengan dentro de un rango óptimo [24].

En un sistema de monitoreo que permite enviar datos de temperatura a una interfaz de usuario, los operadores pueden tomar decisiones bien fundamentadas sobre la gestión del agua y la alimentación. Esto contribuye a mantener un entorno adecuado que favorezca el crecimiento óptimo de los camarones[25].

Estos sensores son cruciales en aplicaciones donde el agua está presente de manera constante, como en la monitorización del estado del agua, sistemas de calefacción y refrigeración, y en diversos procesos industriales, permitiendo un control eficiente y fiable de las condiciones térmicas en estos entornos [26].

Los sensores de temperatura son esenciales en sistemas acuícolas para monitorear el estado del agua, ya que tiene un impacto directo en el crecimiento y bienestar de los seres acuáticos [27].

En la Figura 5 se ilustra un ejemplo de un sensor de temperatura a prueba de agua.



Figura 5. Ejemplo de un sensor de temperatura [28].

2.7 AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS ACUÍCOLAS

La automatización de procesos en acuicultura posibilita el monitoreo constante de parámetros críticos, asegurando de este modo condiciones óptimas para la salud y el desarrollo de las especies cultivadas, lo que conlleva a una mayor eficiencia y productividad en las granjas acuícolas [29].

La incorporación de sistemas automatizados para la alimentación de peces optimiza el aprovechamiento de los recursos y promueve el desarrollo de los organismos acuáticos.. Estos sistemas programar raciones exactas, lo que minimiza desperdicios y asegura una nutrición adecuada [30].

La automatización en acuicultura incorpora tecnologías de información que mejoran la administración y el procesamiento instantáneo de datos, lo que permite que las decisiones se fundamenten en información exacta sobre el manejo del cultivo. Esto ayuda a aumentar la sostenibilidad y la rentabilidad del sector. [31].

La automatización en la industria acuícola permite mejorar la gestión de parámetros como temperatura y oxígeno. un sistema automatizado nos puede optimizar la producción piscícola, garantizando condiciones ideales para el desarrollo de los peces [32].

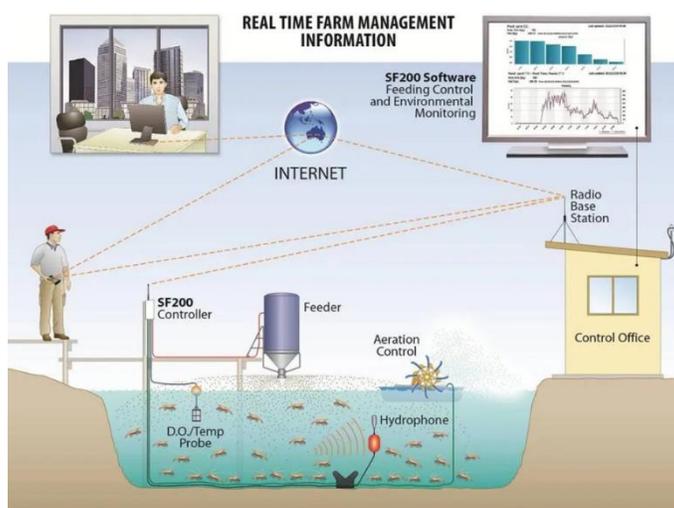


Figura 6. Ejemplo de un entorno de automatización acuícola [33].

2.8 CONTROL DE CALIDAD EN PISCINAS CAMARONERAS

El estado del agua y del sustrato en los estanques de cría de camarones es fundamental para asegurar una producción sostenible. Analizar parámetros físicos y químicos asegura condiciones óptimas durante todo el ciclo de producción, favoreciendo la salud y el crecimiento adecuado de los camarones [34].

El control de calidad en la acuicultura abarca directrices para garantizar el estado del agua, la sanidad de los peces y los requisitos esenciales para implementar sistemas efectivos de control en la producción [35].

Este depende de factores sanitarios, infraestructurales y tecnológicos, fundamentales para cumplir con los estándares internacionales y garantizar un producto de exportación competitivo [36].

Resultan cruciales en las piscifactorías para asegurar el bienestar de los peces, recomendándose prácticas de monitoreo y automatización que optimicen las condiciones del entorno acuático [37].

2.9 SISTEMAS DE CONTROL INDUSTRIAL ACUÍCOLA

Busca optimizar el control y monitoreo de parámetros esenciales como temperatura, flujo de oxigenación y caudal de agua. Este sistema integra tecnología avanzada para gestionar de manera eficiente las condiciones necesarias en entornos acuícolas, garantizando estabilidad en los procesos y reduciendo la intervención manual. Asimismo, permite la recopilación y el análisis de datos a tiempo real, favoreciendo una gestión con más precisión y adaptable de los recursos. Su implementación representa un avance en la automatización y sostenibilidad de las actividades acuícolas [38].

Los sistemas de control en la acuicultura industrial son indispensables para la gestión eficiente de los recursos acuáticos y para garantizar el bienestar de los organismos acuáticos. Herramientas como el SCADA permiten seguimiento instantáneamente de parámetros esenciales. A través de algoritmos de control avanzados y redes de comunicación, se logra optimizar el estado del agua y optimizar las condiciones de producción. La implementación de estas tecnologías favorece una mayor automatización y precisión en los procesos acuícolas, posicionando a los sistemas SCADA como una herramienta esencial en la gestión moderna de la acuicultura [39].

Los sistemas SCADA aplicados a la acuicultura permiten un monitoreo eficiente de variables fundamentales como el flujo y el estado del agua, esenciales para el bienestar de los organismos acuáticos. Estos sistemas, adaptados de su uso en agricultura y otras industrias, facilitan la automatización y optimización de los procesos acuícolas a través de la obtención instantánea de datos. La integración de tecnologías de vanguardia como redes inalámbricas y algoritmos de control permite gestionar de manera precisa los recursos hídricos y optimizar la calidad del entorno acuático. Así, los sistemas SCADA son herramientas clave para una acuicultura más sostenible y productiva [40].

Su implementación incrementa la efectividad, la adopción de procesos automatizados y el procedimiento de toma de ideas en los sistemas de gestión acuícolas, favoreciendo una administración más sostenible de los recursos hídricos [41].

2.10 SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO

Este sistema utiliza sensores y algoritmos para regular procesos sin intervención humana, garantizando eficiencia, precisión y respuesta oportuna ante variaciones en las condiciones. Estos sistemas son ampliamente aplicados en la industria, optimizando recursos y mejorando el desempeño en tareas críticas [42].

Estos tipos de sistemas se dividen en dos clases principales: aquellos con control de lazo abierto y los que cuentan con control de lazo cerrado.

2.11 SISTEMA DE CONTROL DE LAZO ABIERTO

Este opera sin retroalimentación, lo que significa que la salida no influye en las acciones de regulación. En sistemas de este tipo, las decisiones se toman únicamente con base en las

condiciones iniciales y el diseño planificado, sin considerar posibles cambios en la salida o en el entorno [43].

2.12 SISTEMA DE CONTROL DE LAZO CERRADO

Este se distingue por emplear retroalimentación para medir la salida y compararla con un valor objetivo, ajustando la acción de control según sea necesario. Esto permite corregir desviaciones y garantizar que el sistema funcione dentro de parámetros establecidos, respondiendo a cambios en el entorno [44].

2.13 CONTROLADOR

Un controlador es un dispositivo o algoritmo que regula el comportamiento de un sistema, ajustando las variables de entrada para lograr el valor deseado en la salida. Su objetivo principal es reducir la desviación entre la salida real y la referencia, respondiendo ante los cambios del sistema [45].

2.14 EL USO DE TIA PORTAL EN LA AUTOMATIZACIÓN

El uso de TIA Portal en la automatización del proceso de purificación del agua programación eficiente del PLC, facilitando el monitoreo/control de parámetros fundamentales y el estado del agua. Este método no solo optimiza el rendimiento del sistema, sino que además garantiza que se cumplan los estándares requeridos para la acuicultura, demostrando la flexibilidad del software en entornos industriales [46].

El TIA Portal se destaca por sus capacidades en el diseño y simulación de interfaces HMI, lo cual es fundamental para la automatización industrial. Al permitir la creación de simulaciones

interactivas, este software ayuda a los ingenieros a visualizar y probar sistemas antes de su implementación, garantizando una integración fluida y eficiente en procesos productivos, como los utilizados en la fabricación de lubricantes [47].

En el ámbito de la acuicultura, TIA Portal ofrece herramientas robustas para la automatización de procesos, destacando su capacidad para integrar diferentes dispositivos y sistemas. Este software facilita la implementación de soluciones personalizadas que mejoran el control y monitoreo ambiental, lo que resulta esencial para maximizar la producción y garantizar la sostenibilidad en los sistemas de acuicultura [48].

2.15 CONTROLADOR PID

Este es un sistema de control que funciona mediante un lazo de retroalimentación para modificar una variable de proceso. Integra tres componentes principales: la acción proporcional, que actúa sobre el error presente; la acción integral, que arregla los errores que se van acumulando a lo largo del tiempo; y la acción derivativa, que prevé posibles errores futuros. Este método garantiza un control preciso y estable, siendo ampliamente utilizado en aplicaciones industriales para mantener condiciones óptimas en diferentes procesos [49], [50].

La figura 7 nos representa el diagrama de un controlador PID en lazo cerrado, se puede observar cómo el error $e(t)$, determinado como la diferencia entre la referencia $r(t)$ y la salida $y(t)$, se envía al controlador PID. Este emite una señal de regulación $u(t)$ que ajusta el proceso y regula la salida [51], [52].

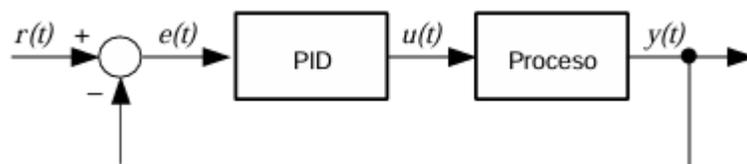


Figura 7. Lazo de control retroalimentado [53].

2.16 ACCIÓN DE CONTROL PROPORCIONAL

La acción de regulación proporcional produce una señal que guarda una relación directa con el error presente en el sistema. Esto permite que permita una respuesta más ágil del sistema, aunque puede dejar un error residual dependiendo de las características del proceso [54], [55].

Esta modifica la señal de mando en función de la magnitud del error, buscando reducirlo de manera inmediata, pero sin garantizar su eliminación total.

$$u(t) = Kp \cdot e(t)$$

En esta ecuación:

$u(t)$ es la señal de control en el tiempo t .

Kp refleja el factor de amplificación proporcional.

$e(t)$ refleja el error en el tiempo t .

2.17 ACCIÓN DE CONTROL INTEGRAL

Produce una señal de control que se basa en la suma del error durante un período de tiempo, lo que contribuye a corregir el error constante en el sistema. Este método es eficaz en procesos que requieren alta precisión, pero puede ralentizar la respuesta y generar oscilaciones si no se ajusta correctamente [56], [57].

$$u(t) = Ki \int e(t) dt$$

En esta ecuación:

$u(t)$ representa la señal de control en el instante de tiempo t .

Ki es la constante de ganancia integral.

$e(t)$ refleja el error en el tiempo t que corresponde a la discrepancia entre el valor objetivo y la salida actual.

$\int e(t)dt$ se trata de la acumulación del error a lo largo del tiempo.

Esta fórmula demuestra que ajusta la señal de mando en función de la acumulación del error a lo largo del tiempo.

2.18 CONTROLADORES PID EN SISTEMAS ACUÍCOLAS

Los controladores PID son fundamentales en sistemas acuícolas para regular parámetros críticos como el oxígeno disuelto en piscinas camaroneras. Su capacidad para ajustar de manera precisa las variables en tiempo real permite mantener condiciones óptimas para los organismos acuáticos. Este enfoque es fundamental para aumentar la productividad y elevar la calidad del entorno acuático en los sistemas de acuicultura [58], [59].

Permite regular eficientemente parámetros clave en el agua. Estos sistemas, que pueden estar basados en tecnología IoT, permiten la recopilación instantánea de información, mejorando el control del estado del agua en los procesos acuícolas. La aplicación de controladores PID ayuda a mantener condiciones ideales para los organismos acuáticos, mejorando tanto la productividad como la sostenibilidad de las operaciones acuícolas [60], [61].

El controlador PID difuso es una herramienta eficaz para regular el pH en sistemas acuícolas, particularmente en situaciones donde el agua es ácida. Su implementación permite mantener condiciones óptimas en las piscinas acuícolas, mejorando la calidad del ambiente para los organismos acuáticos.

Al adaptar el controlador PID a un sistema difuso, se logra una regulación más precisa y flexible, ideal para enfrentar las variaciones en los parámetros del agua [62].

Permite la regulación del nivel de agua de manera eficiente y la temperatura en estanques de alevinos, optimizando las condiciones del hábitat acuático. Este sistema automático asegura que las variables críticas se mantengan dentro de rangos ideales, promoviendo el bienestar y el crecimiento de los alevinos. La implementación de controladores PID mejora la eficiencia y la estabilidad en el manejo de sistemas acuícolas, favoreciendo la productividad y la salud de los organismos acuáticos [63].

2.19 FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

Se trata de una descripción matemática que caracteriza el funcionamiento de un sistema dinámico, representando su comportamiento en el ámbito de la frecuencia o mediante la variable compleja "s" [66].

Se define como la relación entre las transformadas de Laplace de la señal de salida y la señal de entrada, asumiendo que las condiciones iniciales del sistema son inexistentes:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)}$$

Donde:

$G(s)$ Representa función de transferencia.

$Y(s)$ Denota la salida del sistema.

$U(s)$ Indica la entrada del sistema.

Esta función permite el análisis de la estabilidad, respuesta y comportamiento del sistema sin tener que solucionar las ecuaciones diferenciales en el dominio temporal [67].

2.20 FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE PRIMER ORDEN

Una función de transferencia de primer orden representa un sistema cuya dinámica está gobernada por una ecuación diferencial de primer grado [68].

Se expresa generalmente en la forma:

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1}$$

Donde K representa la ganancia estática del sistema y τ es la constante de tiempo, que señala la velocidad con la que el sistema reacciona ante un cambio en la entrada. Este tipo de sistemas exhiben un comportamiento exponencial en su respuesta temporal, acercándose gradualmente al estado estacionario sin oscilaciones [69].

2.21 FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA EN UN CONTROLADOR PID

Los coeficientes del regulador PID en la representación matemática del sistema son fundamentales para definir el comportamiento integral del sistema de control. Estos incluyen (K_p), que ajusta la respuesta en función del error actual; (K_i), que corrige los errores acumulados con el tiempo; y (K_d), que anticipa los cambios en el error para mejorar la estabilidad y minimizar las oscilaciones. Estos parámetros actúan de manera conjunta para optimizar la precisión y la respuesta del sistema frente a variaciones en la entrada o perturbaciones [70].

En un controlador PID, la función de transferencia es:

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d \cdot s$$

Donde:

K_p (Ganancia Proporcional): Afecta la rapidez y la estabilidad del sistema, aumentando la respuesta ante errores.

K_i (Ganancia Integral): Ajusta lo acumulado del error con el paso del tiempo, removiendo cualquier discrepancia persistente en el equilibrio.

K_d (Ganancia Derivativa): Mejora la estabilidad y la respuesta del sistema al prever las fluctuaciones del error.

El ajuste de estos parámetros permite optimizar el rendimiento del sistema en lo que respecta a estabilidad, rapidez y precisión [71].

III MARCO METODOLÓGICO

El presente proyecto adoptó una metodología inductiva, experimental y sistemática para el desarrollo y modelado de un sistema de control automatizado en piscinas camaroneras. A través del uso de software especializado como TIA Portal y PLCSIM, se buscó desarrollar un programa que gestione y optimice los parámetros críticos del agua, asegurando condiciones ideales para la cría de camarones.

A lo largo de este marco metodológico, se garantizó las condiciones para simular y analizar de manera integral el impacto del sistema automatizado, sentando las bases para una posible implementación física y contribuyendo al desarrollo tecnológico en la industria camaronera. A continuación, se describen las etapas efectuadas durante el proceso del proyecto de titulación.

ETAPA 1: PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE ACOPIO

En la primera fase, se llevó a cabo la programación en lenguaje Ladder utilizando TIA Portal para el control del acopio del camarón en una tolva. Esta tolva se llenará hasta alcanzar un número determinado de camarones antes de proceder a la siguiente etapa. La programación considera sensores de nivel que detectan la capacidad máxima y activan la siguiente fase del proceso.

ETAPA 2: TRANSFERENCIA DE CAMARONES A LA PISCINA

En esta fase, los camarones son transportados desde la tolva hasta la piscina camaronera a través de ductos. Mediante la interfaz HMI, el operario podrá visualizar el nivel de camarones en la tolva y en la piscina a través de una barra de nivel ("bar"), lo que facilita el monitoreo del proceso en tiempo real.

ETAPA 3: ALIMENTACIÓN AUTOMÁTICA

Para garantizar un ambiente óptimo para el crecimiento de los camarones, se implementó la programación del sistema de alimentación automática. Se utilizó un temporizador TON en TIA Portal para controlar el tiempo de activación del alimentador, asegurando una distribución regular del alimento y optimizando las condiciones del ecosistema acuático.

ETAPA 4: CONTROL DE CALIDAD DE LA PISCINA

En esta fase, se realizó la supervisión de variables críticas del agua. A través de la interfaz HMI, los operadores pueden monitorear estos datos en tiempo real. Además, se implementó un controlador PID para ajustar el nivel de oxígeno en el agua, según las condiciones del sistema.

ETAPA 5: CLASIFICACIÓN DE CAMARONES

En esta fase, se realizó la programación del sistema de clasificación de camarones según tres categorías: Premium, Medium y Local. Se utilizó Factory IO para simular una banda transportadora en la que los camarones son pesados y clasificados automáticamente. Dependiendo de su peso, cada camarón es dirigido a diferentes áreas de almacenamiento según su categoría.

ETAPA 6: Proceso de ensacado y exportación

Finalmente, se desarrolló la programación del proceso de ensacado. Dependiendo de la categoría del camarón, el sistema dirige los productos a los sacos correspondientes, asegurando un proceso eficiente para su exportación.

3.1 METODOLOGÍA DE DISEÑO DEL CONTROLADOR PID

En la etapa de desarrollo del diseño del controlador PID, se realizó la programación para simular un control para seguimiento de una referencia y mantener un nivel estable de oxigenación en la piscina. También se muestra el comportamiento del sistema mediante gráficas para una experiencia visual más clara, de los distintos escenarios de la piscina, es decir para el nivel de oxigenación estable, si hay un nivel bajo o si el nivel de oxigenación esta algo con respecto a lo normal. A continuación, la Figura 8 ilustra un diagrama del flujo del proceso de diseño del PID.

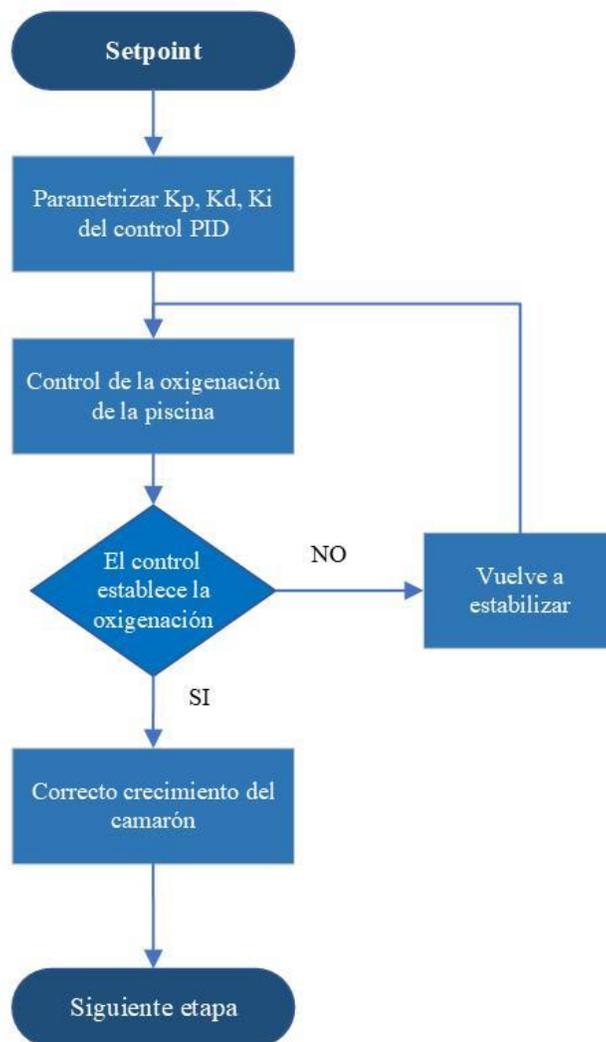


Figura 8. Diagrama de flujo de Controlador PID

IV ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 DISEÑO DE LA INTERFAZ

Para la demostración de la simulación mediante PLCSIM se decidió usar una interfaz interactiva HMI para poder usar a modo de operador y poder gestionar y analizar datos a tiempo real.

La Figura 9 presenta la pantalla de inicio con el título del proyecto de titulación con el nombre de los autores y mediante el botón de “INICIO” nos direccionará a la pantalla donde se mostrarán los procesos a demostrar.



Figura 9. HMI Presentación del trabajo de titulación.

La Figura 10 ofrece una vista general de los procesos a simular en el control de calidad a una piscina camaronera. Estos se dividen como se detalla a continuación.

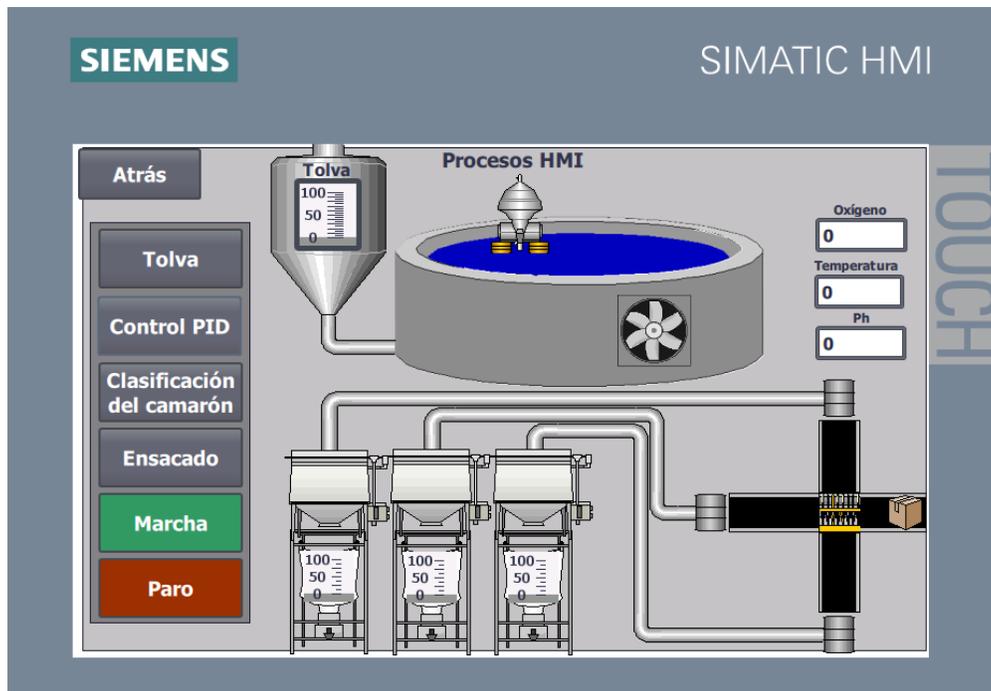


Figura 10. HMI de los procesos a simular.

4.2 HMI DE LAS ETAPAS DE LA SIMULACIÓN

5.2.1 ACOPIO DEL CAMARÓN A LA TOLVA

El acopio de camarón consiste en el conjunto de acciones dedicadas a la recolección, almacenamiento y manejo apropiado del camarón. Un manejo adecuado en esta fase es esencial para evitar el deterioro del camarón, garantizando que el producto alcance los estándares de calidad establecidos necesarios para su comercialización o su transformación en productos derivados [72].

En esta etapa, los camarones mediante el botón de “LLENAR TOLVA” son recolectados y almacenados en la tolva hasta alcanzar un nivel predefinido. La supervisión del llenado se realiza mediante una interfaz HMI, que muestra el nivel actual y permite controlar el proceso de manera automática como se observa en la Figura 11.

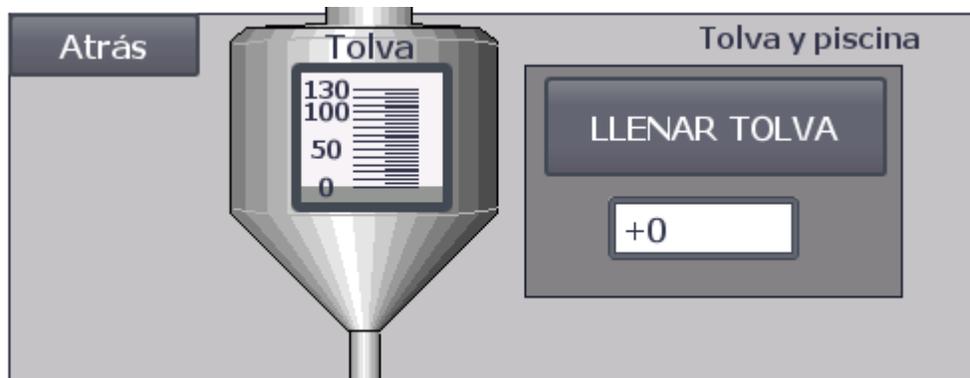


Figura 11. Etapa del acopio del camarón.

5.2.2 LLENADO DEL CAMARÓN A LA PISCINA

Es el proceso mediante el cual se transfiere el camarón desde su área de acopio hacia las piscinas de cultivo. Un correcto procedimiento realizado con precisión y control garantiza la adecuada distribución de camarón en las piscinas, evitando el estrés o daño al producto [73].

En la Figura 12, el camarón es transferido desde la tolva hacia la piscina a través de ductos controlados. La interfaz HMI presenta en tiempo real el nivel de llenado de la piscina, asegurando una distribución adecuada para mantener condiciones óptimas de cultivo.

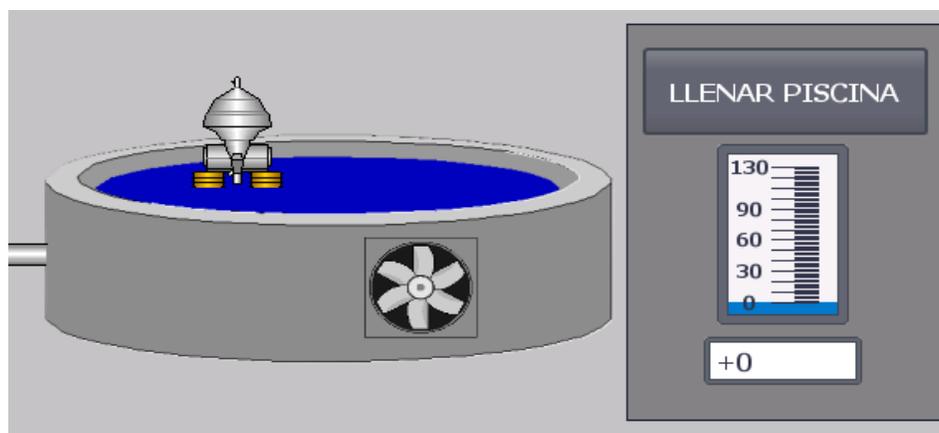


Figura 12. Etapa del llenado de camarón a la piscina.

5.2.3 CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA

Se lleva a cabo el monitoreo de los parámetros críticos del agua, mediante un sistema HMI. Se implementó un controlador PID para regular el nivel de oxígeno y garantizar condiciones óptimas para el cultivo del camarón.

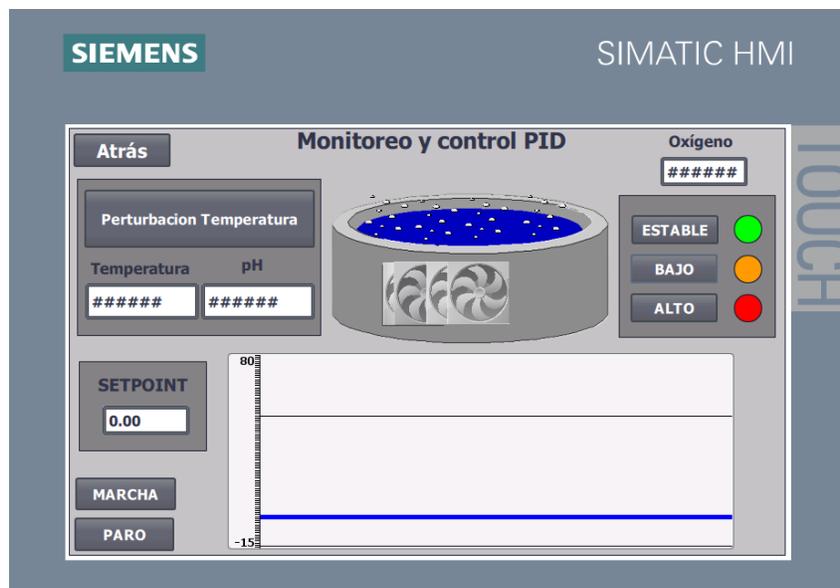


Figura 13. Etapa del control y visibilidad de parámetros del agua

5.2.4 CLASIFICACIÓN DEL CAMARÓN

La clasificación del camarón es el proceso mediante el cual se agrupan los camarones según su tamaño, peso o calidad. Sirve para que el producto permanezca en los estándares de comercialización y que sea adecuado para los diferentes mercados o procesos de transformación [75].

El camarón es clasificado en categorías (Premium, Medium y Local) según su peso, utilizando un sistema automatizado con una banda transportadora. La interfaz HMI permite visualizar y controlar el proceso, asegurando una distribución eficiente para su comercialización.

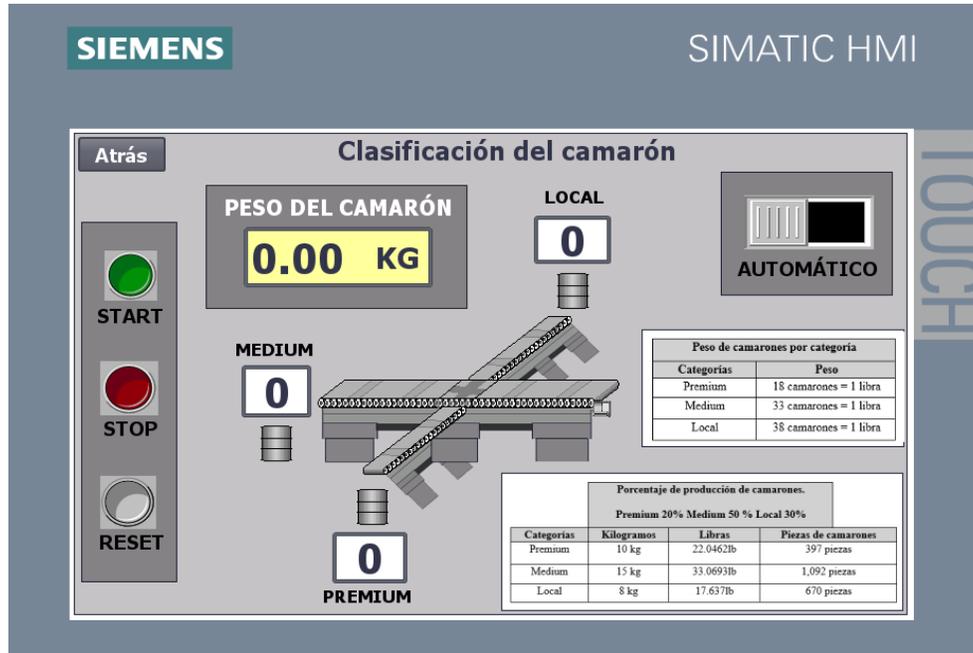


Figura 14. HMI de la clasificación del camarón.

Se utiliza Factory IO para simular el proceso de clasificación del camarón, replicando el funcionamiento de la banda transportadora y el sistema HMI. Esta simulación permite validar la lógica de control y optimizar el rendimiento antes de una implementación real.



Figura 15. Simulación de la clasificación de camarones mediante Factory IO.

5.2.5 ENSACADO DEL CAMARÓN

Es el proceso en el cual el camarón clasificado y listo para su comercialización se coloca en sacos o envases adecuados para su transporte y venta [76].

Una vez clasificado, el camarón se dirige al sistema de ensacado automático, donde se agrupa según su categoría. Cada bolsa se llena con la cantidad programada y/o requerida, asegurando precisión en el pesaje y eficiencia en el proceso de empaquetado.

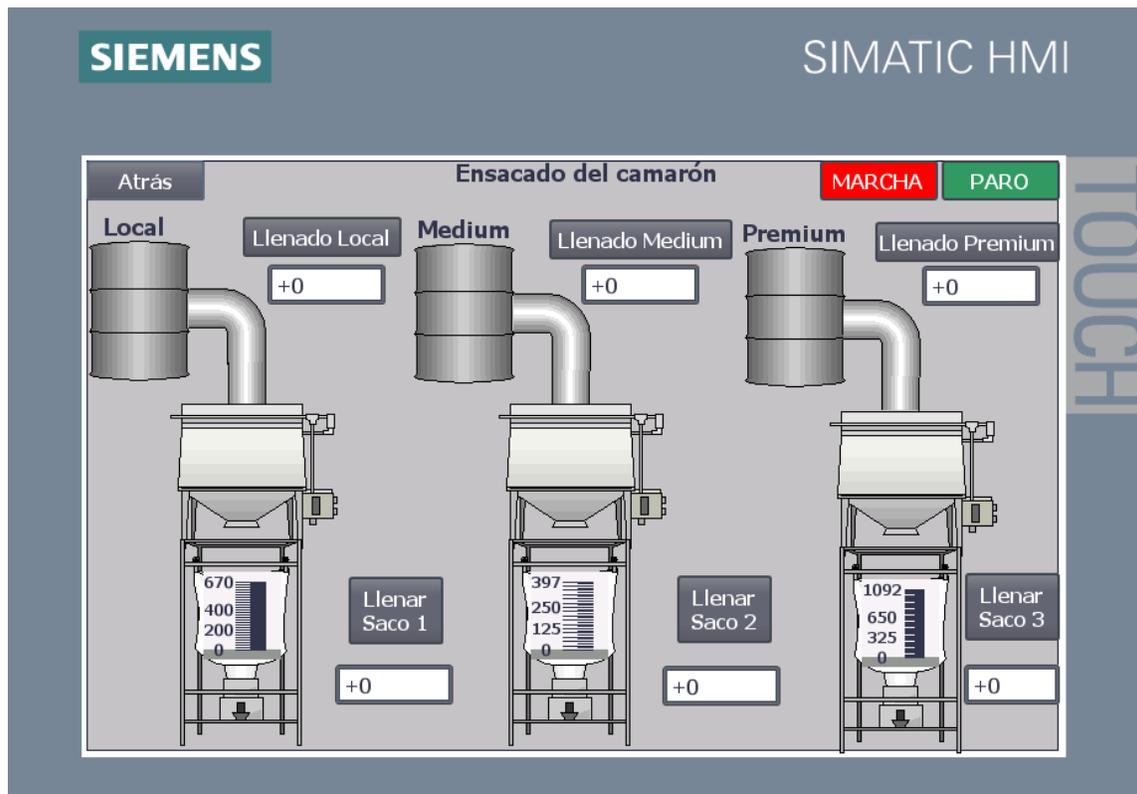


Figura 16. Etapa de ensacado de camarón por categorías.

4.3 PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR PID

5.3.1 RED 1: SIMULACIÓN DE DATOS DEL SENSOR

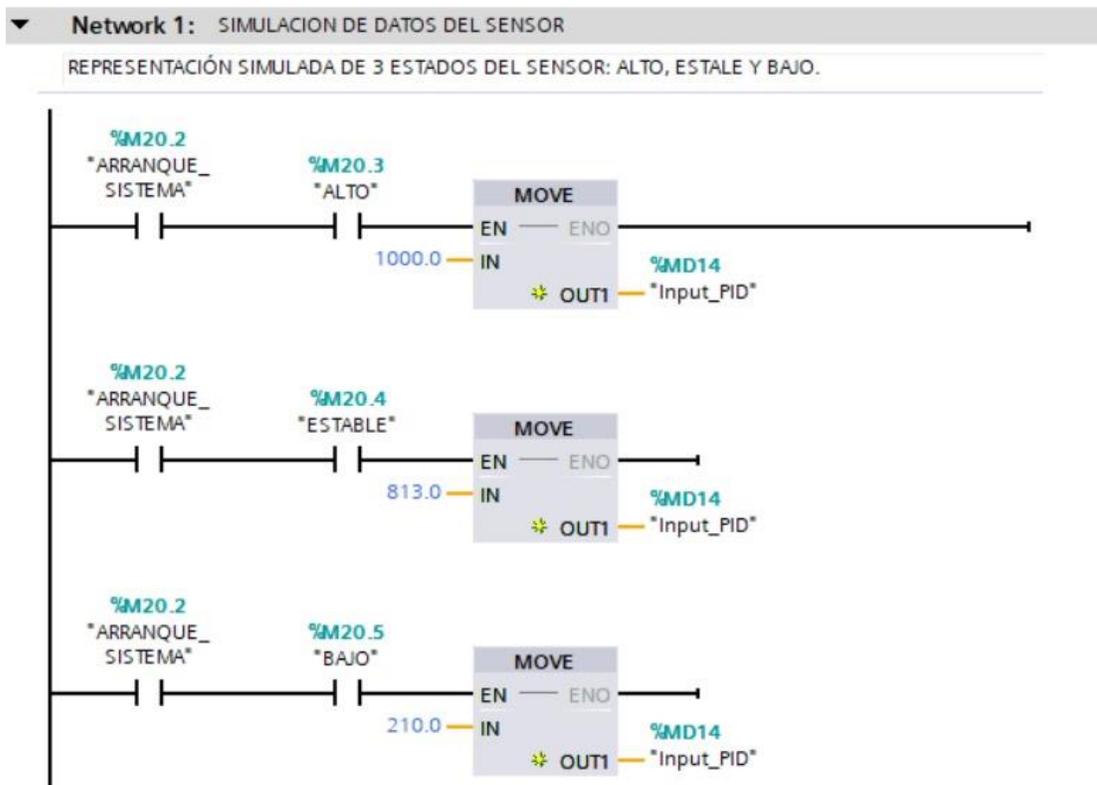


Figura 17. Programación de la Red 1

Simulación del dato tomado por el sensor de oxígeno.

Se programaron 3 escenarios:

- Alto.
- Estable.
- Bajo.

Cada uno de estos bloques, representa la salida del sensor de oxigenación, dependiendo cuanto mg/l "detecta", el sensor antes mencionado, en este caso, la detección es la simulación con el bloque "move".

5.3.2 RED 2: REPRESENTACIÓN DE LUCES DEL SENSOR

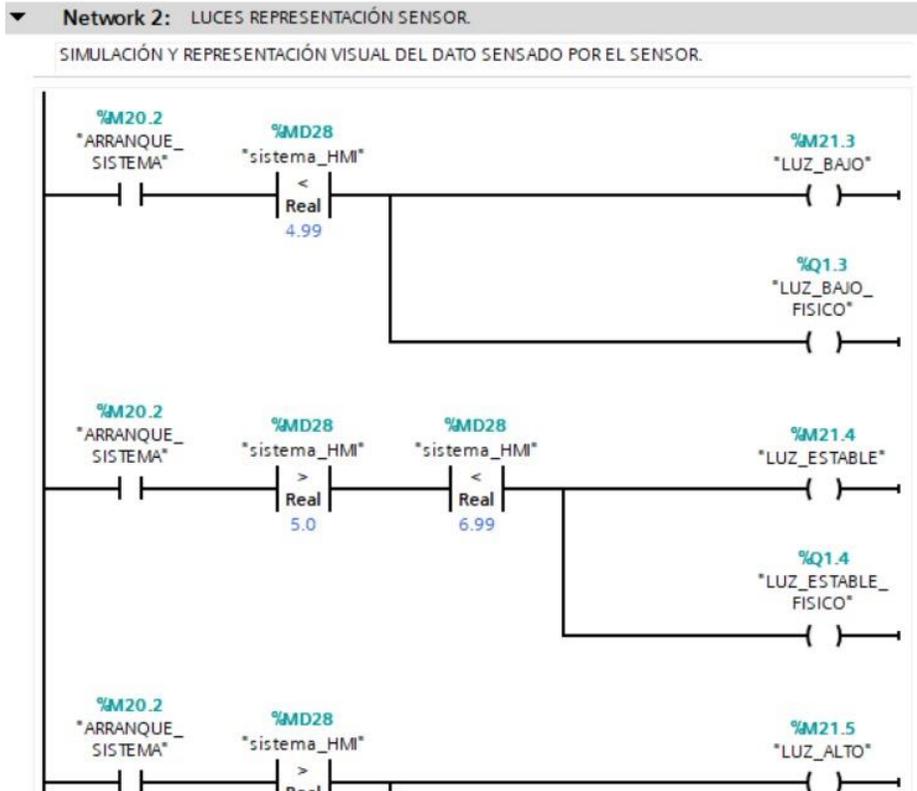


Figura 18. Programación de la Red 2

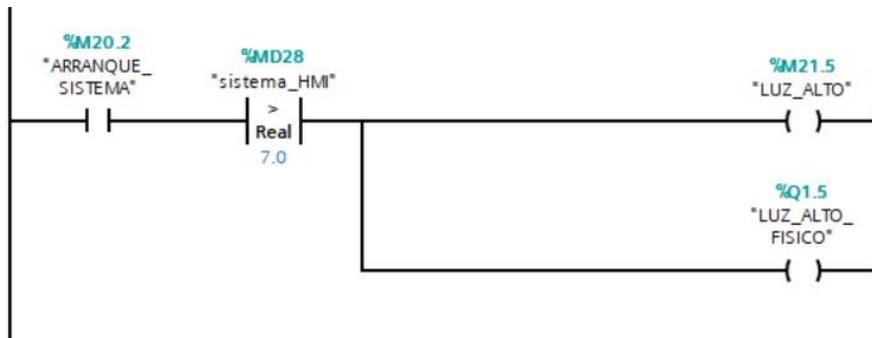


Figura 19. Programación de la Red 2 P2

Representación, con luces pilotos indicadores, el dato que está recibiendo el sensor. Cuenta la representación de la luz tanto en el sistema HMI, como un indicador físico en el tablero de pruebas del laboratorio AUTOMATIZACIÓN II.

5.3.3 RED 3: PID COMPACT

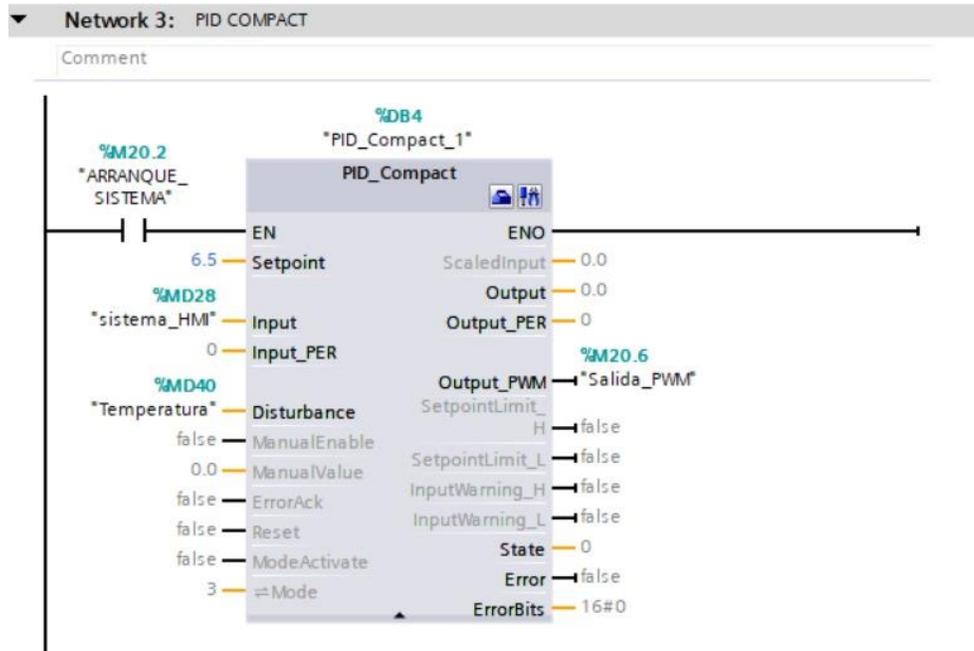


Figura 20. Programación de la Red 3

Bloque PID Compact. Bloque donde se hará toda la simulación, sintonización y estabilización de nuestro controlador PID.

5.3.4 RED 4: SISTEMA DE SIMULACIÓN DEL SENSOR

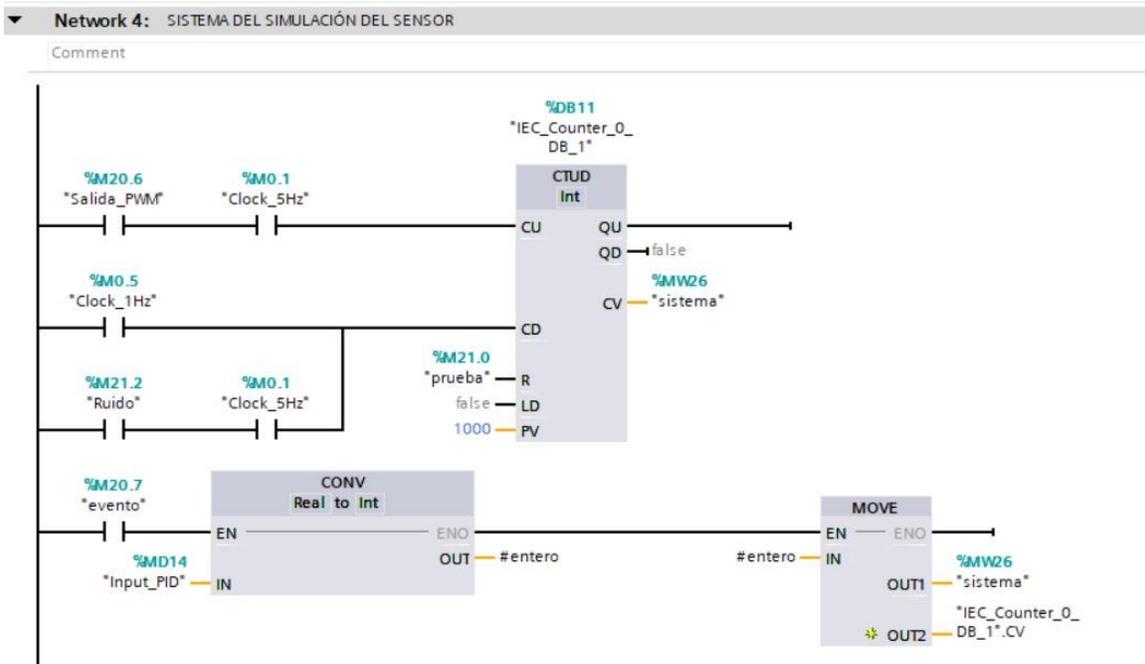


Figura 21. Programación de la Red 4



Figura 22. Programación de la Red 4 P2

Sistema del sensor. Programación del funcionamiento de nuestro sensor de oxigenación simulado.

5.3.5 RED 5: CONVERSIÓN DE VALOR DE SALIDA_PWM DEL PID

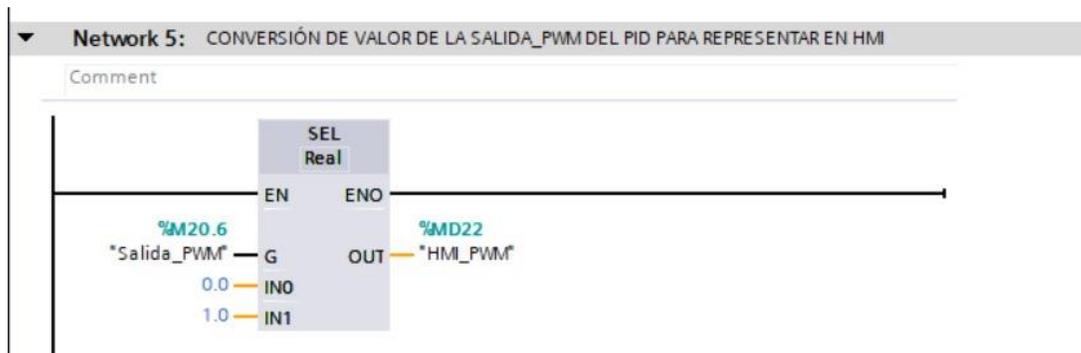


Figura 23. Programación de la Red 5

Bloque de conversión de una variable 'bool' a una variable 'real' para representar en nuestro HMI.

4.4 VISUALIZACIÓN DE GRÁFICAS DEL CONTROLADOR PID

En la Figura 24 se aprecia en nuestro sistema de PID, una vez cuando el "input" del sensor, este llegando a su punto de setpoint, empezará nuestra salida de nuestro controlador, a decrecer poco a poco, simulando así, que el motor del aireador de nuestra piscina camaronera debe empezar a bajar sus (RPM) para que la oxigenación de la piscina se mantenga en su estado óptimo, es decir en su setpoint de 6.5mg/l (referencia de oxigenación normal).

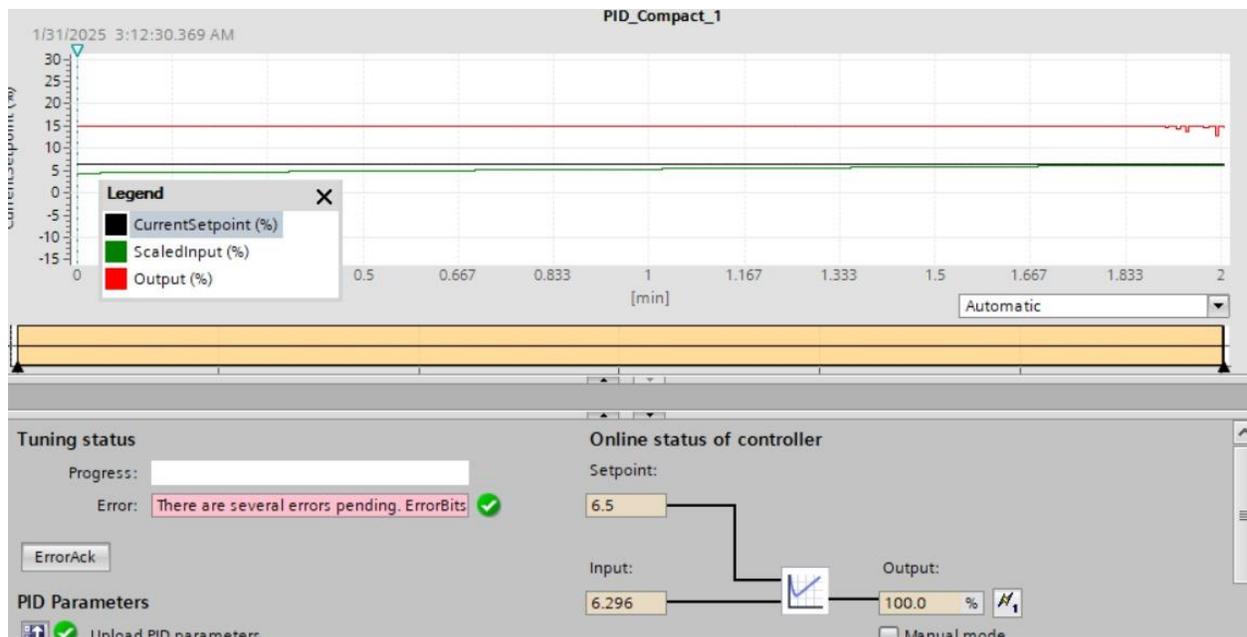


Figura 24. Input del sensor llegando al Setpoint

A continuación, se muestra la Figura 25, como nuestro sistema se encuentra en su setpoint ideal, formando así, una señal PWM entre 1 y 0, simulando que el motor está girando de una manera constante y estable, generando la oxigenación óptima.

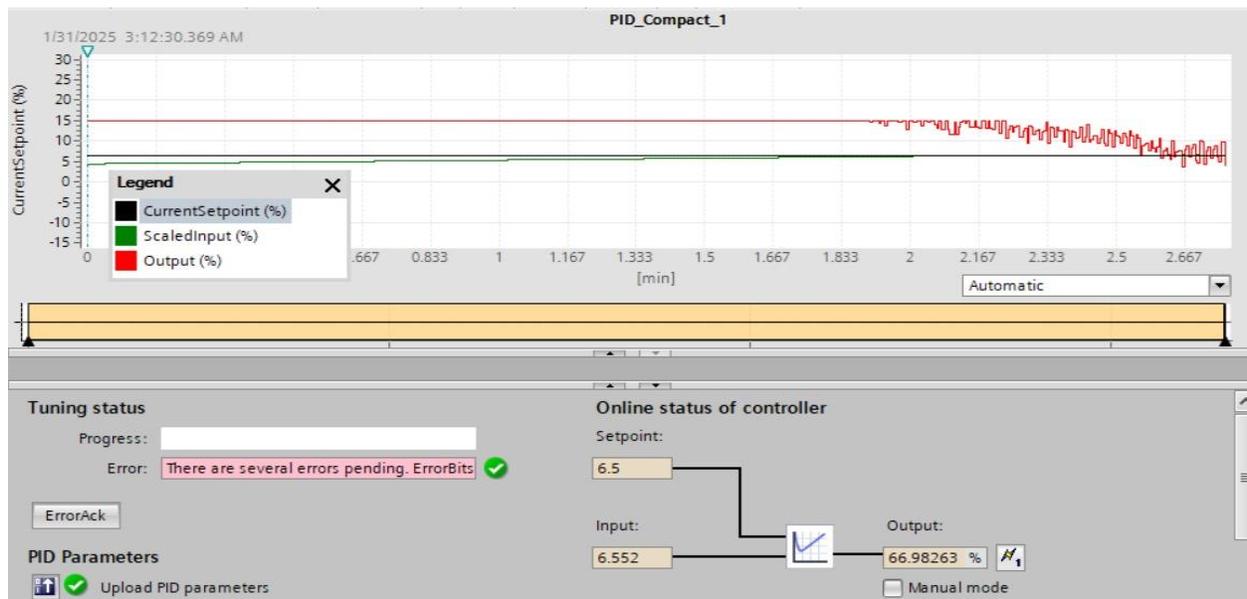


Figura 25. Sistema encontrándose en el Setpoint ideal

Representación, del paso del tiempo, del controlador PID y sus señales de salida. Sistema estable, y sin perturbaciones externas.

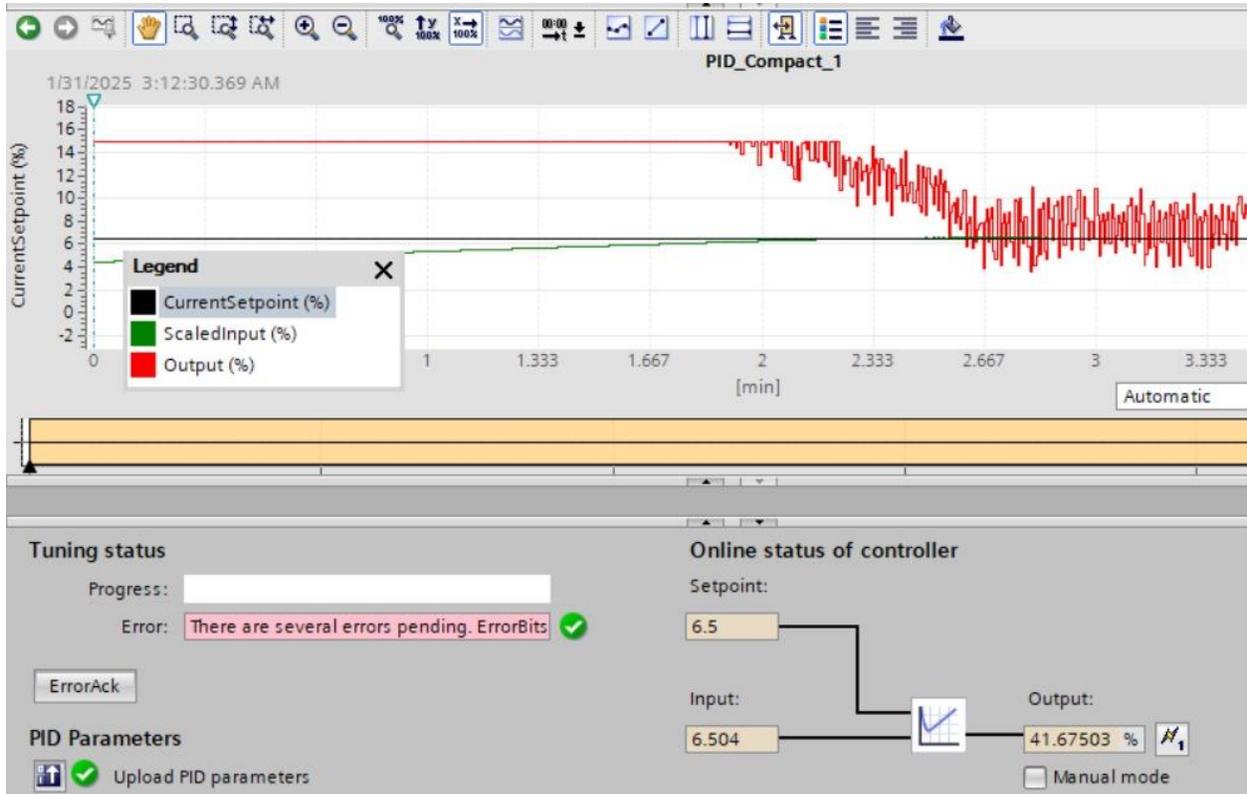


Figura 26. Respuesta del controlador PID

Parámetros de sintonización Del controlador PID

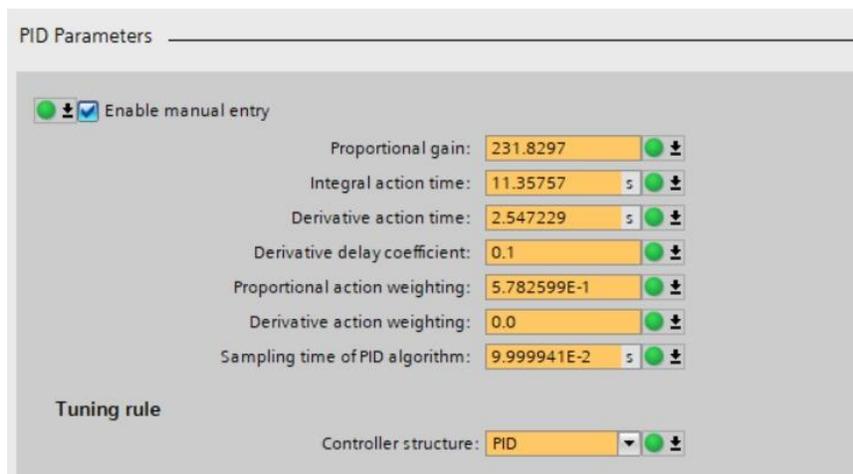


Figura 27. Parámetros de sintonización del PID

Representación, del paso del tiempo, del controlador PID y sus señales de salida. Sistema estable, y sin perturbaciones externas.

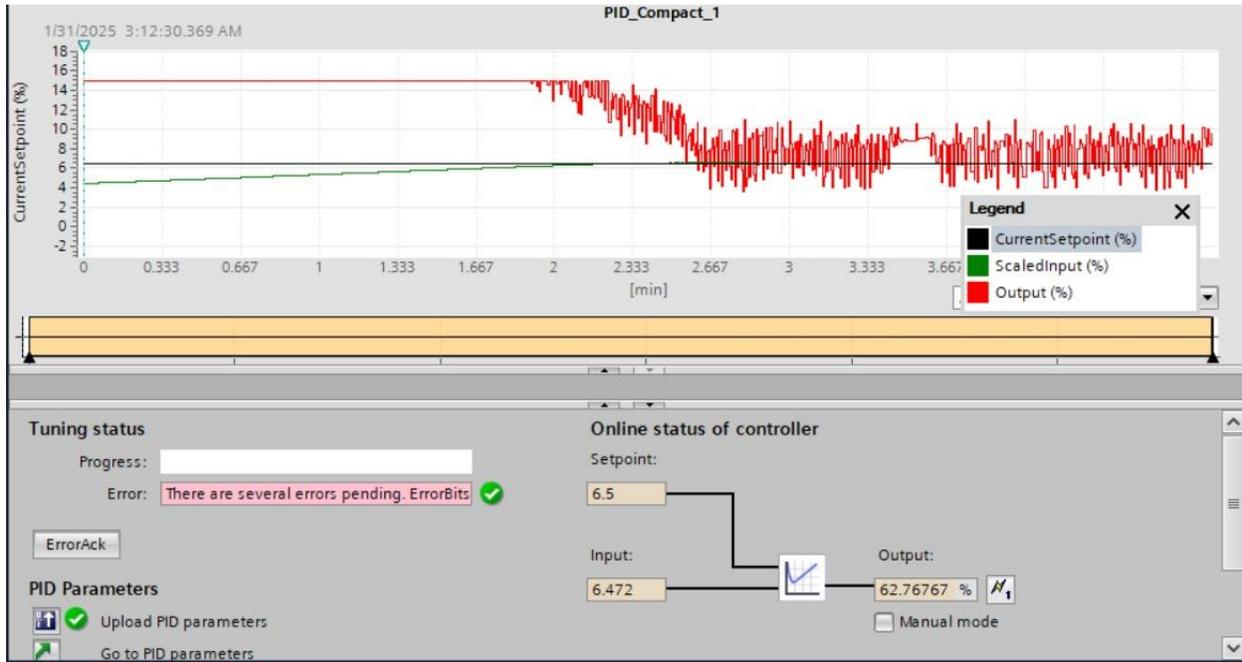


Figura 28. Segunda representación del paso tiempo y sus señales de salida

Al agregarle una perturbación, como lo es la temperatura, el controlador debe estabilizar el sistema, de una manera adecuada, al corto plazo, siendo reflejado en la figura 30. Luego de un tiempo en el que el controlador detecta la perturbación de la temperatura, este vuelve a estabilizar la velocidad de los aireadores, y estabilizando el sistema.

La Figura 29 ilustra cómo la perturbación de temperatura afecta el sistema del controlador PID. Al momento de que, al controlador PID Compact, le llega el dato de la temperatura elevada en su entrada “perturbación” el sistema tendrá un desnivel en su estabilización, viéndose reflejado en como la curvatura de su salida, la cual se aleja de su setpoint.

El controlador, a lo largo del tiempo, empezaría nuevamente a estabilizar el sistema, haciendo que su salida llegue nuevamente a su valor de setpoint deseado.

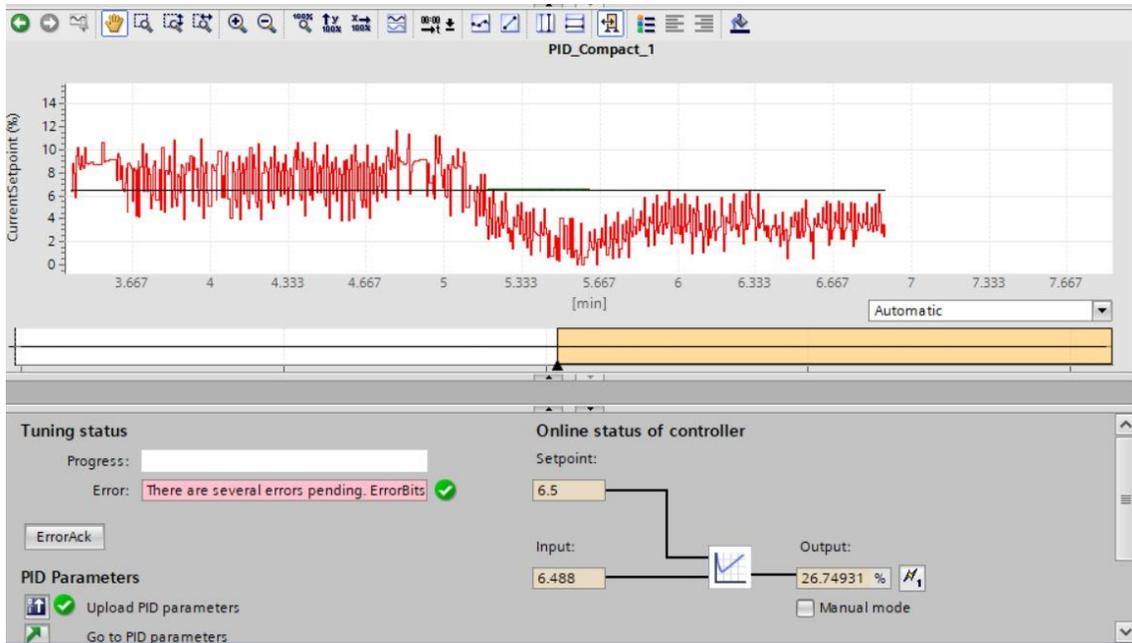


Figura 29. Afecación de perturbación de temperatura al Controlador PID

Representación, del paso del tiempo, del controlador PID al tener una perturbación.

Sistema con perturbaciones externas (temperatura).

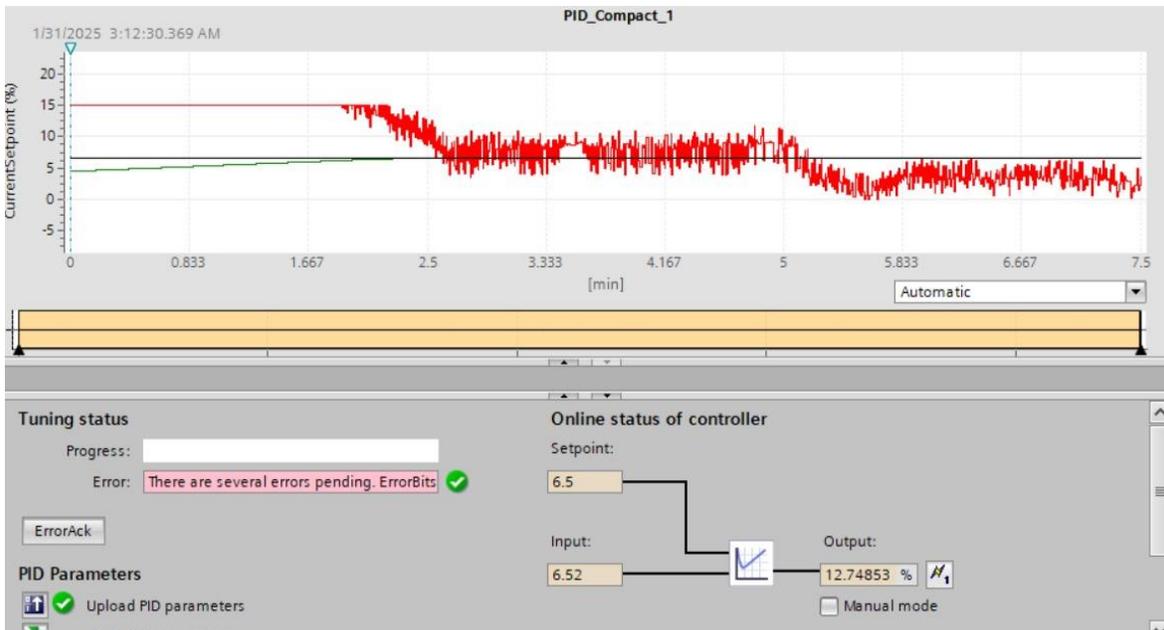


Figura 30. Tercera representación del paso del tiempo al tener perturbación de temperatura

Accionamiento y comportamiento del sensor al detectar un valor 'bajo' de oxigenación. La Figura 31 muestra la activación de la línea de programación, donde simula que el sensor detecta un nivel de oxigenación bajo. Entonces, el controlador PID lo que genera es que su salida output sea un '1' lógico, representando que el motor del aireador está trabajando en su punto máximo, generando así, la oxigenación que la piscina necesita para preservar el producto y la calidad de vida del camarón.

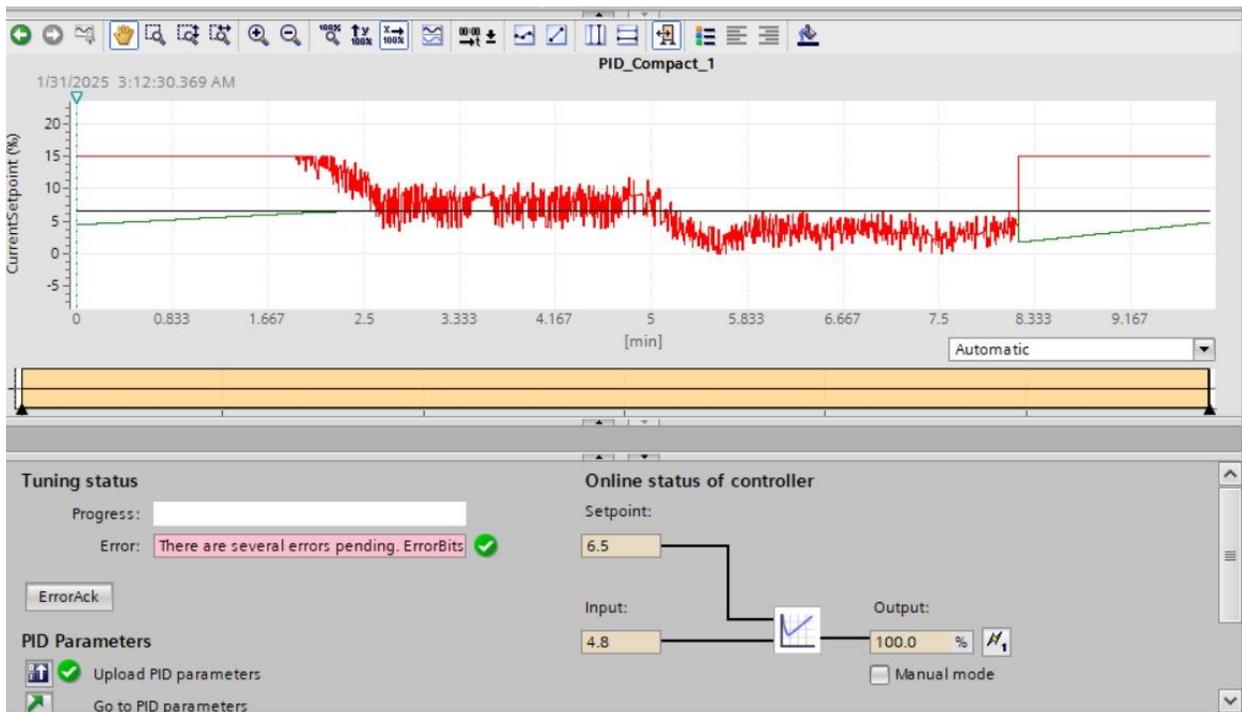


Figura 31. Comportamiento de la gráfica a un valor bajo de oxigenación

Accionamiento y comportamiento del sensor al detectar un valor 'bajo' de oxigenación. La Figura 32 muestra la activación de la línea de programación, donde simula que el sensor detecta un nivel de oxigenación bajo. Entonces, el controlador PID lo que genera es que su salida output sea un '1' lógico, representando que el motor del aireador.

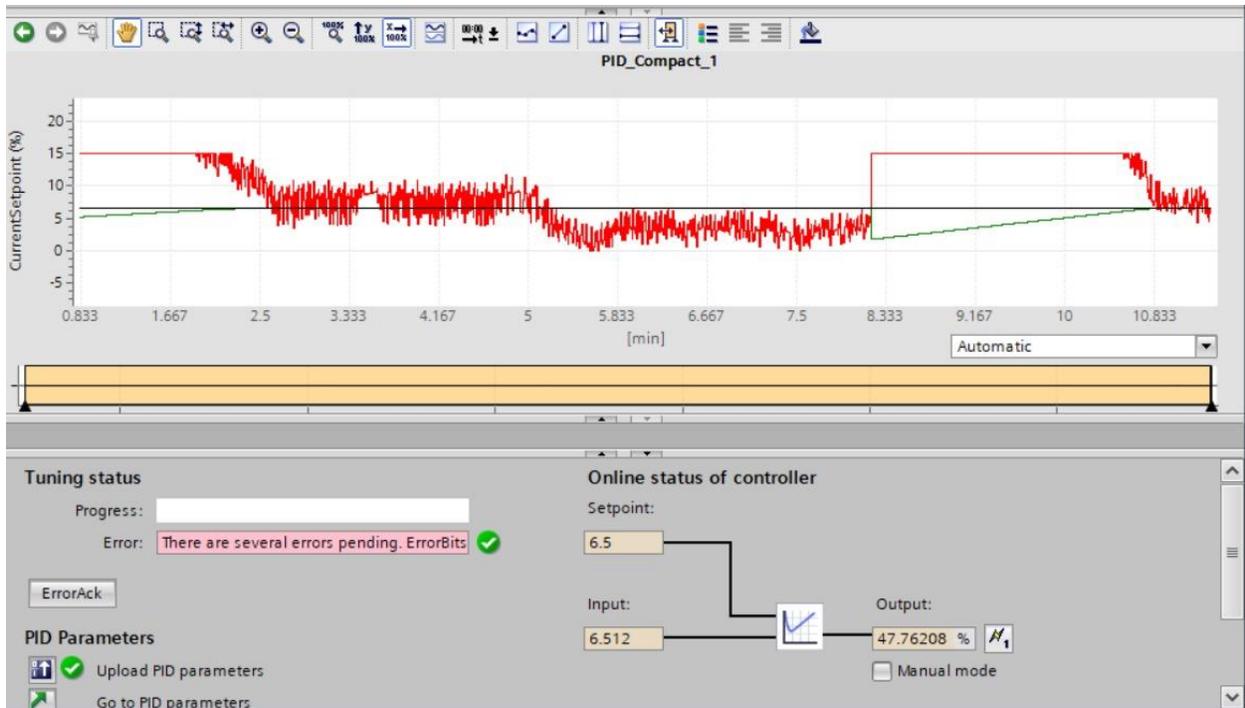


Figura 32. Demostración de la salida output al llegar al Setpoint

Accionamiento y comportamiento del sensor al detectar un valor 'alto' de oxigenación. La Figura 33 muestra la activación de la línea de programación, donde simula que el sensor detecta un nivel de oxigenación alto.

El controlador PID, al detectar la gran cantidad de oxígeno disuelto (mg/l), el controlador hará que el motor del aireador deje de accionarse, haciendo que la oxigenación del sistema se vaya regulando y bajando hasta llegar a su nivel óptimo, representado en la curvatura de línea roja, que representa el accionamiento del aireador.

Cuando el controlador detecta nuevamente que el nivel de oxígeno disuelto ha alcanzado el Setpoint establecido, comenzará a estabilizar el sistema, ajustando el accionamiento del motor de manera óptima para mantener dicho nivel.

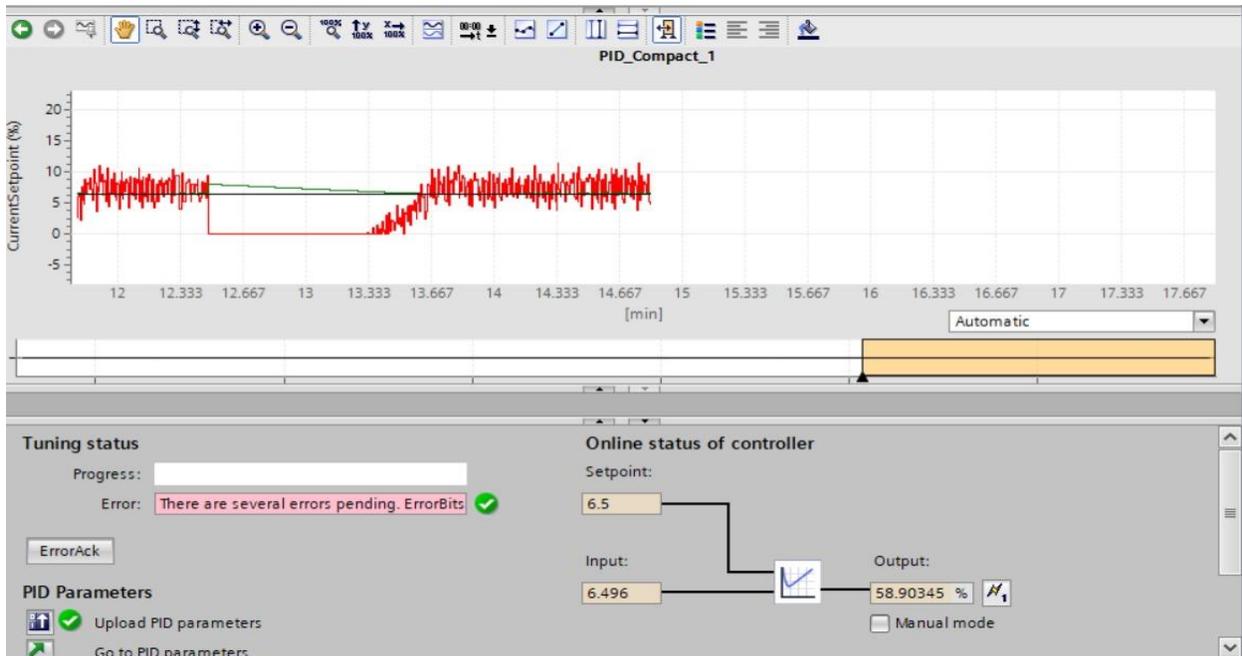


Figura 33. Comportamiento de la gráfica a un valor alto de oxigenación

Representación, del paso del tiempo, del controlador PID y estabilización del sistema, luego de detectar un valor bajo de mg/l.

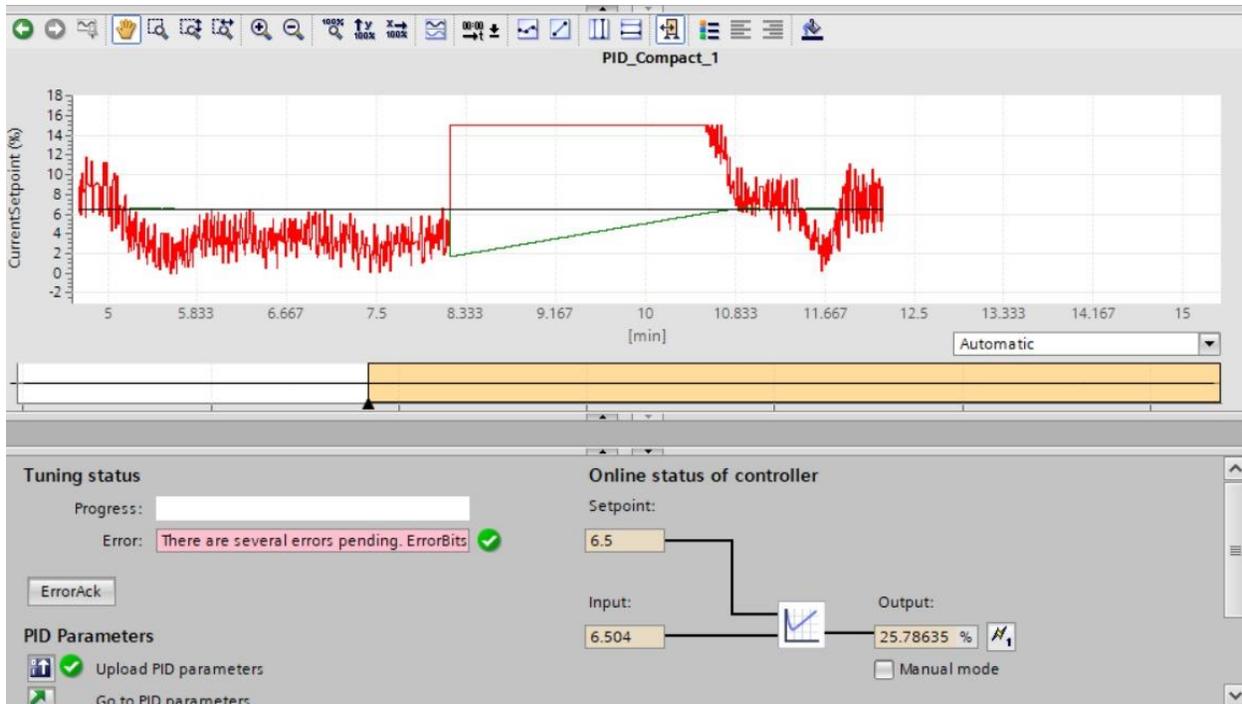


Figura 34. Cuarta representación del paso del tiempo detectando valor bajo de mg/l

CRONOGRAMA

Dentro del marco del Proyecto de Titulación, se ha elaborado un plan pormenorizado de actividades distribuidas semanalmente. Este cronograma abarca un lapso de 10 semanas, comenzando en octubre y concluyendo en diciembre, de acuerdo con el ciclo académico 65.

El calendario actual se presenta como una herramienta clave para coordinar y estructurar el avance del proyecto en sus distintas fases. Su objetivo principal es garantizar una ejecución eficiente y exitosa de las tareas previstas. Como se indica en la Tabla 2, la fase que requiere más tiempo es la implementación del proyecto. Por lo tanto, se espera que, siguiendo rigurosamente este plan, se logren completar todas las actividades planificadas, cumpliendo con la fecha fijada para la entrega del trabajo.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES												
ACTIVIDADES	OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Exposición del tema y avance del proyecto de titulación												
Reuniones con el tutor y aprobación del tema de titulación												
Ejecución del proyecto de titulación												
Entrega del primer borrador al tutor para su evaluación												
Cumplimiento del documento de titulación												

Tabla 2. Cronograma de actividades para la elaboración del Trabajo de Titulación

PRESUPUESTO

La Tabla 3 desglosa los costos y el presupuesto estimado para el proyecto, incluyendo el desglose de las horas de ingeniería necesarias y su costo total. Dado que la implementación del proyecto se llevará a cabo utilizando un módulo disponible en el laboratorio de Automatización de la Universidad Politécnica Salesiana, los costos contemplados en el presupuesto se basan en diferentes aspectos necesarios y básicos para el desarrollo adecuado del proyecto los cuales serán reflejados como horas de ingeniería y alcanzarían un valor estimado de \$156,8 dólares norteamericanos.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
Horas de ingeniería	60h	\$2,87	156,8
TOTAL			156,8

Tabla 3. Tabla de costos y presupuesto.

CONCLUSIONES

-Se observó que el controlador PID logró mantener los niveles de oxígeno disuelto en la piscina dentro del rango ideal establecido (6.5 mg/L). A medida que el sistema se acercaba al Setpoint, la señal de salida del controlador ajustaba gradualmente la velocidad del aireador, evitando oscilaciones innecesarias y permitiendo un control estable y eficiente del proceso.

-Se evidenció que la introducción de perturbaciones, como variaciones en la temperatura del agua, afectó temporalmente la estabilidad del sistema. Sin embargo, el controlador PID demostró su capacidad de adaptación, compensando las fluctuaciones y logrando restablecer el equilibrio en un tiempo razonable. Esto confirma la importancia de ajustar correctamente los parámetros PID para garantizar una respuesta eficiente frente a modificaciones en las condiciones ambientales.

-El sistema de control reaccionó de manera adecuada cuando se detectaron niveles de oxígeno por debajo del umbral establecido, aumentando la velocidad del aireador hasta alcanzar nuevamente el Setpoint. De manera similar, cuando los niveles de oxígeno eran superiores al óptimo, el controlador reducía progresivamente la activación del aireador, permitiendo que el sistema se estabilizara sin generar un exceso de oxigenación. Este comportamiento garantiza una mejor calidad del agua y optimiza el consumo energético del proceso.

-La programación en TIA Portal permitió desarrollar una interfaz HMI intuitiva para supervisar y controlar cada etapa del proceso, facilitando el control del operador sobre el sistema. La simulación en PLCSIM validó el correcto funcionamiento antes de su posible implementación real, demostrando la viabilidad del sistema automatizado en la industria camaronera.

RECOMENDACIONES

- Previo a la implementación del sistema de control en una camaronera real, es fundamental realizar simulaciones exhaustivas en TIA Portal y PLCSIM. Esto permitirá validar el desempeño del controlador PID y ajustar sus parámetros para garantizar un control óptimo del oxígeno en el agua, evitando fluctuaciones que puedan afectar la producción.

-Se recomienda integrar gráficos adicionales en la interfaz HMI para proporcionar una visualización más intuitiva de los parámetros monitoreados. Esto facilitará la supervisión del sistema y permitirá detectar de manera rápida cualquier anomalía en los valores de las variables críticas.

-La selección del controlador PID debe basarse en las necesidades específicas de la camaronera y en las condiciones ambientales del sistema. Se recomienda realizar pruebas comparativas con diferentes configuraciones para determinar la mejor sintonización que garantice una respuesta estable y eficiente, evitando sobreajustes o tiempos de respuesta prolongados.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] RUBÉN DARÍO VACA SÍMBALA, “IMPLEMENTACIÓN DE INTERFAZ ELECTRÓNICA PARA LA MEDICIÓN Y REGISTRO DE TEMPERATURA EN UNA PISCINA CAMARONERA MEDIANTE APLICACIÓN WEB,” MACHALA, Oct. 2023. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/5034/2/INFORME%20FINAL%20RUBEN%20DARIO%20VACA%20SIMBALA.pdf>
- [2] KERWIN MIGUEL RODRÍGUEZ FREIRE and KEVIN ANTONIO VILLAMAR RODRÍGUEZ, “DISEÑO DE UN SISTEMA DE SENSORES DEDICADO AL CONTROL Y MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN PISCINAS DE CRIANZA DE CAMARONES UBICADA EN LA ISLA SANTA ROSA - GUAYAQUIL,” GUAYAQUIL, 2022. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/44718/1/D-CD106462.pdf>
- [3] NATHALY SIMUY SÁNCHEZ CHAN and ALEXIS FERNANDO LEMA ORDÓÑEZ, “IDENTIFICACIÓN Y CONTROL DE PH PARA PISCINAS DE CAMARÓN,” ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, GUAYAQUIL, 2023. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/37202/1/T-103509%20SANCHEZ-LEMA.pdf>
- [4] L. C. Espinoza Endara and K. A. P. T. Loja Rodas, “Análisis de la herramienta Unity 3D para la creación de procesos virtuales y su automatización con el PLC SIMATIC S7-1500,” 2024. Accessed: Jan. 25, 2025. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28501/1/UPS-CT011593.pdf>
- [5] Grupo DAP, “SIMATIC S7-1200,” 2020. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: http://www.grupdap.es/ficheros/descrip-tecnicas/SIMATIC_%20S7-1200_Junio_2010.pdf
- [6] L. P. Belmonte, *Programación de controladores avanzados SIMATIC S7 1500 con TIA Portal, AWL/KOP y SCL*. Marcombo, 2020.
- [7] OSWALDO XAVIER MALDONADO QUEZADA, “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO SIMULADOR PARA PLC SIEMENS

- S7-1200 Y DESARROLLO DE GUÍAS DE PRÁCTICAS,” UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA, LOJA, 2023. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11850/1/Maldonado%20Quezada,%20Oswaldo%20Xavier.pdf>
- [8] HILARIONA MARTÍNEZ, “MODULO DIDÁCTICO PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO CON CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES,” NUEVO LEÓN, Apr. 2024. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <http://eprints.uanl.mx/9535/1/1080214939.pdf>
- [9] Siemens AG, “WinCC Basic mit KTP700 und S7-1200,” 2021. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/tia-portal/visualization-s7-1200/sce-041-101-wincc-basic-ktp700-s7-1200-r1709-es.pdf>
- [10] J. Cobo, “Interfaz Humano Máquina (HMI). En Capítulo 1: Introducción a las HMIs,” 2021. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <http://repositorio.upsin.edu.mx/Fragmentos/Capitulo1capitulo12064.pdf>
- [11] J. González, “Human-Machine Interface Design: A Practical Guide,” London, 2020. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-15253-3>
- [12] Ruíz Lizama, Inche Mitma, Edgar, Jorge Luís, Chung Pinzás, and Alfonso Ramón, “Desarrollo de una interfaz hombre máquina orientada al control de procesos,” Universidad Nacional Mayor de San Marcos Perú, Lima, 2020. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/816/81611211010.pdf>
- [13] M. Wendling, “Sensores,” *Universidade Estadual Paulista. São Paulo*, vol. 2010, p. 20, 2020.
- [14] R. C. R. Estrada, A. L. Hernández-Sánchez, D. A. Aguilar-Díaz, J. M. Pérez-Sánchez, and others, “Sensores y tipos de sensores,” *TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del R\`io*, vol. 11, no. 21, pp. 50–52, 2024, Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/tepexi/article/view/11779/10803>

- [15] Jorge Montiel Saenz, Ignacio Raúl Matías Maestro, and M. Maestro, “Medidor de pH,” Universidad publica de Navarra, Pamplona, 2024. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/33748418.pdf>
- [16] BORBOR VILLÓN RENÉ ADRIÁN, “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN CON ACCESO REMOTO A LA NUBE PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUA EN PISCINAS CAMARONERAS UTILIZANDO TECNOLOGÍA IOT Y PROTOTIPO DE ALIMENTADOR AUTOMÁTICO.,” UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA, LA LIBERTAD, 2023. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/10307/1/UPSE-TEA-2023-0004.pdf>
- [17] D. H. Orlando Martínez, J. C. Alejandra Mera, C. B. Córdoba, and J. Orlando Ruiz, “Sistema optoelectrónico de medida de pH para sensores de película delgada,” Jul. 2020. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: [file:///C:/Users/nicom/Downloads/Dialnet-SistemaOptoelectronicoDeMedidaDePHParaSensoresDePe-5038426%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/nicom/Downloads/Dialnet-SistemaOptoelectronicoDeMedidaDePHParaSensoresDePe-5038426%20(1).pdf)
- [18] LAKERS LEONEL CONFORME BRIONES and FIDEL JAZMANI SALAVARRÍA BAYONA, “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROLADOR EMBEBIDO PARA REGULAR EL PH DE UNA PLANTA QUE SIMULA UNA PISCINA CAMARONERA,” GUAYAQUIL, 2021. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/39092/1/T-106181.pdf>
- [19] MSur, “Sensor de pH para calidad de agua.” Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <https://msur.com/productos/sensor-de-ph-para-calidad-de-agua>
- [20] A. T. , B. J. S. , G. J. A. D. , & B. O. J. GÓMEZ, “Camino al sensor inteligente de oxígeno disuelto en la acuicultura,” 2024. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: https://www.cinergiaug.org/Revista/VI_2021/RIE_V4_N1_Dic2021.12.pdf
- [21] JULIO ROMERO CAVAGNARO and SAMANTHA PAOLA SOTO MOLINA, “Diseño e implementación de un prototipo de sistema automático de adquisición de variables de temperatura y oxígeno disuelto para tanques de criaderos de camarón,” UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, GUAYAQUIL, 2024. Accessed:

- Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/27747/1/UPS-GT005246.pdf>
- [22] M. B. , & E. J. M. Timmons, *Aquaculture Production Systems*. New York, 2020. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118250105>
- [23] ProMinent, “ Sensores de oxígeno disuelto DULCOTEST.” Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.prominent.es/es/Productos/Productos/Sistemas-de-medicion-y-regulacion-y-sensores/Sensores/p-sensors-dissolved-oxygen.html>
- [24] CARRION RAMIREZ CRISTHIAN JAVIER, “IMPLEMENTACIÓN DE UN TERMOMETRO DIGITAL PARA MEDIR LA TEMPERATURA DE UNA PISCINA CAMARONERA UTILIZANDO UN MICROCONTROLADOR TIPO PIC 16F84A,” UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA, MACHALA, 2023. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/4927/1/TTUAIC_2015_ISIST_CD0020.pdf
- [25] VALAREZO MACAS JEFFERSON ALEXSIS, “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA DE AGUA EN UNA PISCINA CAMARONERA,” UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA, MACHALA, 2021. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/7659/1/TCUAIC_2016_ISIST_CD0022.pdf
- [26] DAVID ANDRES SILVA TORRES and JAFFET ISAAC COELLO HURTADO, “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO EN TIEMPO REAL DE SENSORES DE TEMPERATURA, TURBIDEZ, TDS Y PH PARA LA CALIDAD DEL AGUA UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA LORAWAN,” UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA, GUAYAQUIL, 2020. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19627/1/UPS-GT003087.pdf>
- [27] M. , & M. J. Pérez, *Temperature Control in Aquaculture Systems*. Madrid: Universitaria, 2021. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.editorialuniversitaria.com/lander>

- [28] ElectroStore, “SENSOR DE TEMPERATURA Sonda LM35 A PRUEBA DE AGUA INOXIDABLE.” Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <https://grupoelectrostore.com/shop/sensores/temperatura/sensor-de-temperatura-sonda-lm35-a-prueba-de-agua-inoxidable/>
- [29] JHONATAN ARTURO GARCÍA FLORES and MARCEL RAMÍREZ ARREDONDO, “AUTOMATIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LA TILAPIA,” D.F, 2021. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/12545/1/automatizacion.pdf>
- [30] M. B. , & E. J. M. Timmons, *Aquaculture Production Systems*. New York: Wiley-Blackwell, 2023. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118250105>
- [31] M. , & M. J. Pérez, *Temperature Control in Aquaculture Systems*. Universitaria, 2020. Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.editorialuniversitaria.com/temperature-control-in-aquaculture-systems>
- [32] A. F. Estrella Quispe, G. P. Segura Núñez, J. A. Cárdenas Carrión, C. F. Mendoza Vélez, and J. O. Obregón Gutiérrez, “Diseño de un Sistema Automatizado para la Producción Piscícola en el Instituto Superior Tecnológico Tsa´Chila,” *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 7, Oct. 2023, doi: 10.37811/cl_rcm.v7i5.8314.
- [33] Ph. D. C. U. M. S. M. R. M. S. R. N. A. S. Allen Davis, “Sistemas automatizados de alimentación en la producción en estanques de camarón blanco del Pacífico.” Accessed: Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.globalseafood.org/advocate/sistemas-automatizados-de-alimentacion-en-la-produccion-en-estanques-de-camaron-blanco-del-pacifico/>
- [34] GALO JAVIER MUÑOZ BAZURTO, “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA Y SEDIMENTO DE PISCINAS CAMARONERAS DURANTE UN CICLO PRODUCTIVO DEL CULTIVO SEMINTENSIVO EN LA PARROQUIA COJIMIES, CANTON PEDERNALES, PROVINCIA DE MANABÍ, ECUADOR.,” UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPÍRITU SANTO, SAMBORONDÓN, 2020. Accessed: Jan. 13, 2025. [Online]. Available:

http://repositorio.uees.edu.ec/bitstream/123456789/2181/1/Paper_Final_Galo_Mu%C3%B1oz.pdf

- [35] Dr. Nelson Avdalov, “Manual de control de calidad de los productos de la acuicultura,” Lima, 2022. Accessed: Jan. 13, 2025. [Online]. Available: <https://www.infopesca.org/sites/default/files/complemento/publilibreacceso/320/manual-de-control-de-calidad-de-los-productos-de-la-acuicultura.pdf>
- [36] M. F. Alcívar-Zambrano and X. A. Cobeña-Andrade, “Factores críticos de la gestión de la calidad en la industria del camarón congelado para la exportación de la provincia de Manabí, 2022,” *593 Digital Publisher CEIT*, vol. 7, no. 4–1, pp. 395–403, Aug. 2022, doi: 10.33386/593dp.2022.4-1.1283.
- [37] Katerina Marinou, Douglas Waley, Alessia Virone, and Sophie Aylmer, “GUÍA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA Y EL MANEJO PARA EL BIENESTAR DE LOS PECES DE PISCIFACTORÍA,” 2023. Accessed: Jan. 13, 2025. [Online]. Available: https://food.ec.europa.eu/document/download/b94c2fe0-2c04-48c9-801b-281778bc716c_es?filename=aw_platform_plat-conc_guide_farmed-fish_es.pdf
- [38] Edwin William Trejo Ponte, “Diseño de automatización del laboratorio de acuicultura del IMARPE mediante un SCADA,” PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, 2021. Accessed: Jan. 13, 2025. [Online]. Available: <https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/44ddfa64-6adb-4a0d-a958-cfaaed898a9f/content>
- [39] Daniel Salazar Velarde and Adolfo Villacreses Pita, “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA PARA MONITOREO DE FLUJO Y TEMPERATURA DEL SISTEMA DE LLENADO ASÉPTICO DE JUGO DE MARACUYÁ EN LA AGRO – INDUSTRIA FRUTAS DE LA PASIÓN C. LTDA.,” 2022. Accessed: Jan. 13, 2025. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10430/1/UPS-GT001516.pdf>
- [40] A. Gómez, J. Camilo, ; Archila Díaz, J. Faber, G. Flórez, and L. Carlos, “Modelo SCADA de un sistema de monitoreo del recurso hídrico aplicado a Smart Farming,” 2020. Accessed: Jan. 13, 2025. [Online]. Available: <https://www.revistaespacios.com/a19v40n43/a19v40n43p05.pdf>

- [41] Silvana Gamboa, “ARQUITECTURA DE LOS SISTEMAS DE CONTROL INDUSTRIAL (ICS),” 2023. Accessed: Jan. 13, 2025. [Online]. Available: https://cea.epn.edu.ec/images/HOJAS_GUIAS_22B/SCADA/P1_Scada.pdf
- [42] C. Schugurensky and F. Capraro, “Control automático de riego agrícola con sensores capacitivos de humedad de suelo. Aplicaciones en vid y olivo,” in *Actas de XVIII Congreso de la Asociación Chilena de Control Automático (ACCA)*. Santiago, Chile, 2008. Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available: <http://unsjcuencas.com.ar/pdf/evento33.pdf>
- [43] R. Navarro *et al.*, “Ingeniería de control,” *Univ. San Carlos*, p. 9, 2021, Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57748397/CONTROLENGINEERING.pdf?1542034027=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIngenieria_de_control.pdf&Expires=1737750112&Signature=Px1vdmwY81eojg69IygLuVf4m7~zYw11K4WJ8oLn16bTdgbEG0UNnjejQTshHZ2G~~x9bsIeO0FyyPYoswOcbxX5hHBwOGagAGBYufcHkOsDuabm5GUUdqSC5tC6s-N2Y5MTeM0Rgus46~ZTddS8wUeQ1aXH6Tiw-s2pQL1~ygdITXj2nEBCIJ4i9a-KCIsLXfGSXr6jIhmD6r4YbtVr0AMzOgSbbGFalK--v6CKXvzX2Vr5yINi9S3eGicUGmcjqDIMPUR1B4RXs6IFr1uvHu0tqa1FJIS-h6qxXLnc4I7E7H94A0EBNMQyR7XPEN9f5lohZPO8Gw-Yv4jEnTvY0A__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- [44] K. Ogata, “Introducción a los Sistemas de Control,” *Ingeniería de control moderna*, pp. 4–7, 2022, Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available: <https://ingenierovizcaino.com/material/libros/sd/ingenieria-de-control-moderna-ogata-5ed.pdf>
- [45] B. Acuña, A. Ibarra, and V. Proaño, “Diseño e implementación de un sistema controlador de temperatura PID para la unidad Air Flow Temperature Control System mediante la Utilización de la herramienta RTW (Real Time Workshop) de Matlab,” *MASKAY*, vol. 2, no. 1, pp. 27–32, 2020, Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available: <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/maskay/article/view/144/138>

- [46] L. Barreiro and J. Molina, “Diseño e Implementación de un Control de Planta de Nivel Gunt RT450 del Laboratorio de Instrumentación Industrial utilizando un Plc Simatic S7 1200 con Automatización Total Integrada (TIA PORTAL) e Implementación de una Interfaz para Usuario diseñada en Labview con Comunicación mediante OPC,” GUAYAQUIL, 2024. Accessed: Jan. 13, 2025. [Online]. Available: [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/29948/1/Dise%C3%B1o%20e%20Implementaci%C3%B3n%20de%20un%20Control%20de%20Planta%20de%20Nivel%20Gunt%20RT450%20utilizando%20un%20Plc%20Simatic%20S7%201200%20con%20\(TIA%20PORTAL\)%20e%20Implementaci%C3%B3n%20de%20una%20Interfaz%20para%20Usuario%20dise%C3%B1ada%20en%20Labview%20con%20Comunicaci%C3%B3n%20mediante%20OPC.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/29948/1/Dise%C3%B1o%20e%20Implementaci%C3%B3n%20de%20un%20Control%20de%20Planta%20de%20Nivel%20Gunt%20RT450%20utilizando%20un%20Plc%20Simatic%20S7%201200%20con%20(TIA%20PORTAL)%20e%20Implementaci%C3%B3n%20de%20una%20Interfaz%20para%20Usuario%20dise%C3%B1ada%20en%20Labview%20con%20Comunicaci%C3%B3n%20mediante%20OPC.pdf)
- [47] Á. A. E. F. M. M. Darío Orive, “GENERACIÓN AUTOMÁTICA DEL PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN TIA PORTAL PARA MÁQUINAS MODULARES,” EISKAL HERRIKO, 2023. Accessed: Jan. 13, 2025. [Online]. Available: https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/25777/2017_Orive_Dario_Generacion_automatica_proyecto_automatizacion_TIA_portal_maquinas_modulares.pdf
- [48] K. V.-A. E. T. Mireya Zapata, *Eficiencia y productividad: aplicaciones industriales con autómatas programables*, Hugo Arias Flores. 2024. Accessed: Jan. 13, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/6884>
- [49] V. Huilcapi, X. Blasco, J. M. Herrero, and A. Pajares, “Aplicación de una metodología de selección de bucles y ajuste de controladores mediante optimización multiobjeto,” in *XLII Jornadas de Automática*, 2021, pp. 317–324. Accessed: Jan. 20, 2025. [Online]. Available: https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/28328/2021_Huilcapi_Victor_Aplicacion_de_una_metodologia_de_seleccion_de_bucles_y_ajuste_de_controladores.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- [50] V. Huilcapi, B. Lima, X. Blasco, and J. M. Herrero, “Multi-objective optimization in modeling and control for rotary inverted pendulum,” *RIAI-Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, pp. 363–373, 2018.

- [51] V. Huilcapi, E. Ghia, C. Rivera, K. Rodriguez, and M. Briones, “Educational Prototype for Teaching Automatic Control. Application to Speed Control of a Direct Current Motor,” in *2024 IEEE ANDESCON*, 2024, pp. 1–6. doi: 10.1109/ANDESCON61840.2024.10755881.
- [52] B. Lima, R. Cajo, V. Huilcapi, and W. Agila, “Modeling and comparative study of linear and nonlinear controllers for rotary inverted pendulum,” *J Phys Conf Ser*, vol. 783, no. 1, p. 12047, Jan. 2017, doi: 10.1088/1742-6596/783/1/012047.
- [53] Ing. Walter J. D. Cova, “CONTROL PID UN ENFOQUE DESCRIPTIVO,” Dec. 2023. Accessed: Jan. 14, 2025. [Online]. Available: <https://ria.utn.edu.ar/server/api/core/bitstreams/7ebf9387-a082-47cf-b030-9a3aea68e1ee/content>
- [54] A. E. Barrientos Huamaní, “Sistema De Control Proporcional Integrador Y Derivativo, Como Alternativa Para Mejorar La Precisión De Temperatura, Aplicado Al Proceso De Elaboración De Pinturas, Para La Empresa Mara SA.,” 2022, Accessed: Jan. 23, 2025. [Online]. Available: https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/493/1/Barrientos_Arturo_Trabajo_Suficiencia_2017.pdf
- [55] V. Huilcapi, J. M. Herrero, X. Blasco, and M. Martínez-Iranzo, “Non-linear identification of a Peltier cell model using evolutionary multi-objective optimization,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 50, no. 1, pp. 4448–4453, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.372>.
- [56] L. A. Paz, “Control proporcional integral derivativo anticipativo con acción anticipativa automatica,” *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, vol. 23, no. 3, pp. 49–55, 2019.
- [57] V. Huilcapi, X. Blasco, J. M. Herrero, and G. Reynoso-Meza, “A Loop Pairing Method for Multivariable Control Systems Under a Multi-Objective Optimization Approach,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 81994–82014, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2923654.
- [58] G. and G. E. and S. B. Huilcapi Víctor and García, “Modeling and Control of a Peltier Thermoelectric System Applying a Multi-objective Optimization Approach,” in *Information and Communication Technologies*, R. and Z.-M. J. L. and

- H.-T. J. Berrezueta-Guzman Santiago and Torres, Ed., Cham: Springer Nature Switzerland, 2025, pp. 303–317. Accessed: Jan. 20, 2025. [Online]. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-75431-9_20#citeas
- [59] R. and O. J. and C. A. Huilcapi Víctor and Cajo, “Nonlinear Identification and Position Control of a Pneumatic System,” in *Intelligent Technologies: Design and Applications for Society*, J. and R.-M. G. Robles-Bykbaev Vladimir and Mula, Ed., Cham: Springer Nature Switzerland, 2023, pp. 127–138. Accessed: Jan. 20, 2025. [Online]. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-24327-1_11
- [60] V. Huilcapi Subia, “Desarrollo de una metodología para la selección de lazos de control en sistemas multivariables mediante técnicas de optimización multiobjetivo,” Universidad Politècnica de València, Valencia (Spain), 2021. doi: 10.4995/Thesis/10251/165014.
- [61] V. Huilcapi, X. Blasco, J. M. Herrero, and G. Reynoso-Meza, “A Loop Pairing Method for Non-Linear Multivariable Control Systems Under a Multi-Objective Optimization Approach,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 41262–41281, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2976774.
- [62] V. Huilcapi, R. Cajo, V. Ponguillo, and G. Gómez, “Educational Platform for Teaching Automation and Control Engineering: A Pneumatic Levitation System,” in *2023 IEEE World Engineering Education Conference (EDUNINE)*, 2023, pp. 1–6. doi: 10.1109/EDUNINE57531.2023.10102909.
- [63] V. Huilcapi, X. Blasco, J. M. Herrero, A. Pajares, and G. Reynoso-Meza, “Application of an input-output pairings selection methodology to control multivariable systems based on multi-objective optimization,” in *2021 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*, 2021, pp. 443–449. doi: 10.1109/CSCI54926.2021.00144.
- [64] G. Morales-Luna, “Introducción a la lógica difusa,” *Centro de Investigación y Estudios Avanzados. México*, 2021.
- [65] D. Guzmán and V. M. Castaño, “La lógica difusa en ingeniería: principios, aplicaciones y futuro,” *Revista de Ciencia y Tecnología*, vol. 24, no. 2, 2020.

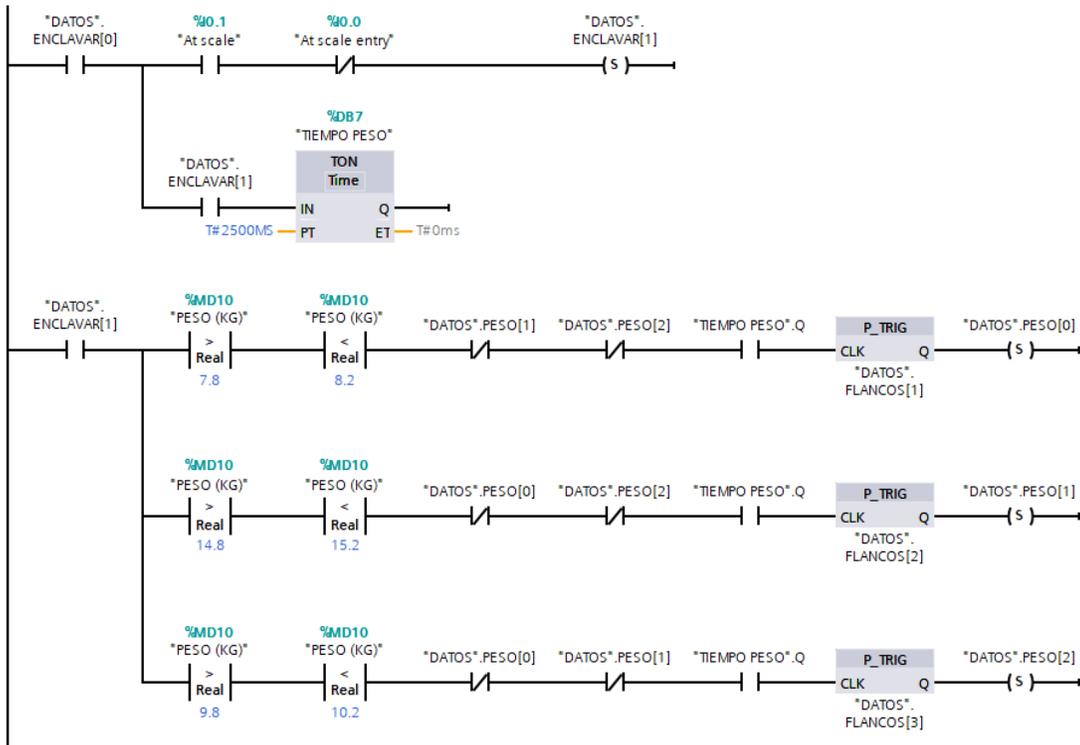
- [66] C. Merino Moreno, A. Verde Cordero, and L. Villar Mártel, “La función de transferencia tecnológica en las OTRIs,” *Revista Madrid*, vol. 47, 2008, Accessed: Jan. 29, 2025. [Online]. Available: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/83479249/La_funcin_de_transferencia_tecnologica_en20220408-31758-78dweu.pdf?1649454110=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DLa_funcion_de_transferencia_tecnologica.pdf&Expires=1738222879&Signature=UfJ5NQtlHSNZfU0RyhFdmfJp~2jbHUFOSG6LAlr7-jTdnb16fkXyQTUIIdCKlg19nZESme7Ege-ya5fefM0tmG06NQwRgedD81vmDiiK5XqThn6VV7UyJFxm6-38Z6njAREUdkR07LwZF~XAcxq3FIJ6HGkAoxcpZQuFazIgzlaZw~wiq8QYnbuQC-JMONPX74ISDGyS2wS9pgC6ZpFxuHse5ELPtKLJsK8ErRmSdsG9~FMEMCqpJMjt08ycXU4UQnfPBnyMMABmJzJ0XqS-YscFhwiOvKFoP3p67-sJD7pqnzMOnxZTmJR7FLMnfwu9agupKzjBsQLYSDBDSWT9Q9A__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- [67] A. de Juan Fernández, “Modelos de Función de Transferencia,” *Universidad Autónoma de Madrid. España*, 2006, Accessed: Jan. 29, 2025. [Online]. Available: https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/Funcion_de_Transferencia_I.pdf
- [68] A. VERGARA-BETANCOURT, E. SALAZAR-HIDALGO, and O. ZAPATANA, “Obtención de la función de transferencia de un motor de DC mediante el análisis de la curva de reacción,” *Revista de Aplicación científica y Técnica*, 2017.
- [69] H. Franco, “Función de transferencia y sistemas de primer orden,” 2018.
- [70] M. G. NABOA, “DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE UN CONTROLADOR PID PARA UNA PLANTA CON FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA CONOCIDA,” UNIVERSIDAD VERACRUZANA, 2012. Accessed: Jan. 29, 2025. [Online]. Available: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/36954155/parametros_de_un_controlador_PID-libre.pdf?1426190274=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DParametros_de_un_Controlador_PID_para_un.pdf&Expires=1738224243&Signature=VJP5g8qrPVfuVJwfWQtUQBCwFU0Ttf

HOsA-msKxchQe5mZrSSg6sFkZrWjJ2wVhGzSoLaaJ5iO-
5A4jB7fJf97XErSVBHInL~FGZsipaSY2gceSpjWVVKS2PmNIu3z2aZGcnL8C0z
X27EPOBM1kPVmyCGhbI6V4AMz-
cQ3t9cYOQVarC2SHOEEsdqN2jay0PYsDsAQINlJuGjb0ZtfmWrhJAInXAABPje
JY5fZthd1iifYUViLNPidFfdPviniP8F7YbihLATaMydNmfZEcBfEvxp99gR1j3AF
x61FpMZCsxwwA4ZuTKVNg4LiDLmKNbAj5BDWnFP0MGS6qD1ifPFg__&Ke
y-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

- [71] V. Srdanovic, O. B. Henao, and S. H. Ruiz, “Modelado e identificación de un sistema electromecánico y diseño del control PID para gobernar inalámbicamente el desplazamiento de un objeto móvil,” *Revista Cintex*, vol. 22, no. 1, pp. 25–46, 2017.
- [72] O. L. Hurtado Grijalva, “Estudio de factibilidad para la implementación de una empacadora de camarón en la provincia de Manabí y su posterior comercialización de la ciudad de Quito,” QUITO/EPN/2006, 2021. Accessed: Jan. 29, 2025. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/490/1/CD-0423.pdf>
- [73] D. A. Aldaz Chacho, K. F. Quinte Alcoser, and others, “Sistema de monitoreo y control remoto de una bomba sumergible para el llenado de un reservorio en un sector camaronero de Santa Priscila,” *ESPOL. FIEC*, 2023, Accessed: Jan. 29, 2025. [Online]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/60557/1/T-114067-INGE-2365.pdf>
- [74] M. F. Cevallos Sumba and F. M. Plúas Huacón, “Desarrollo de un sistema de dispersión homogéneo de balanceado para camarón,” 2024.
- [75] X. I. Toala Peña and D. J. Zambrano Yagual, “Sistema de reconocimiento y clasificación de camarón utilizando visión artificial,” 2023. Accessed: Jan. 29, 2025. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25774/1/UPS-GT004503.pdf>
- [76] A. E. M. Vera and D. R. Andrade, “Proceso de Empaque del camarón y su impacto en el Costo Unitario de Producción,” *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, no. 4, p. 102, 2019, Accessed: Jan. 29, 2025. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9168894>

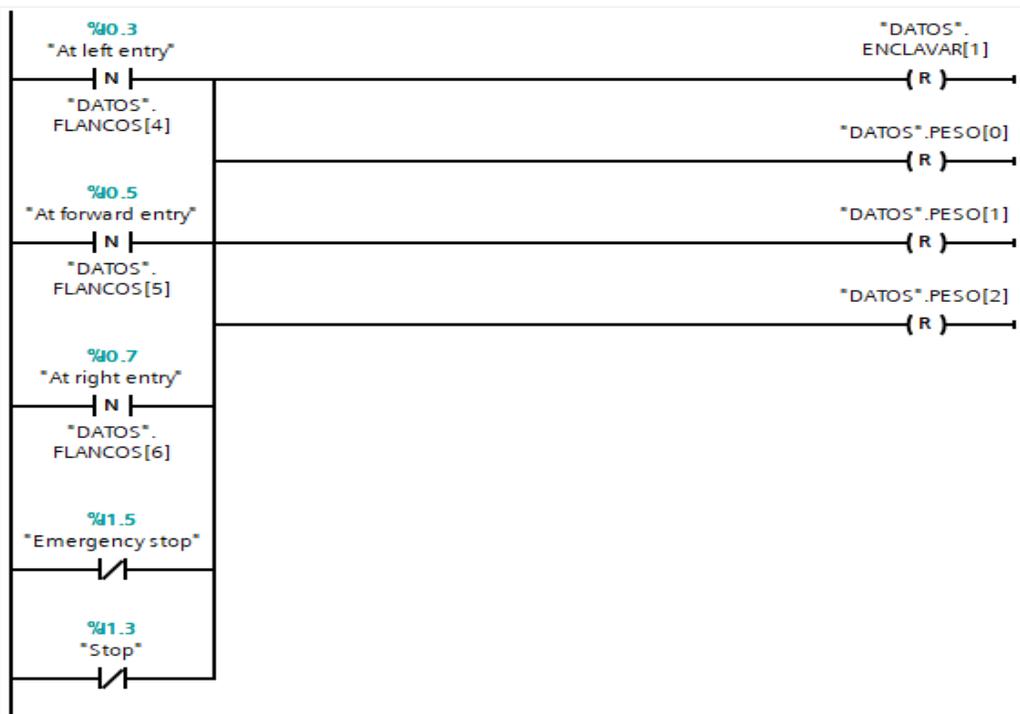
Network 4:

Comment



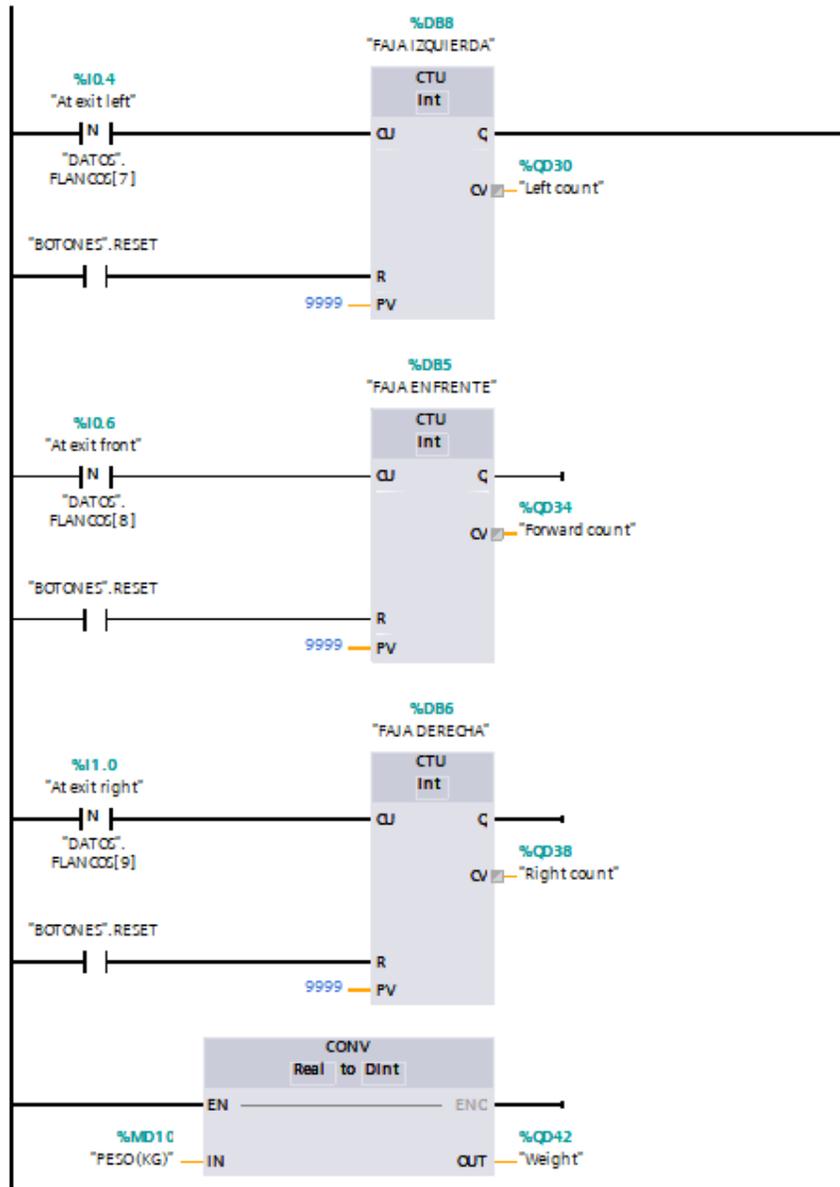
Network 5:

Comment



Network 6:

Comment



Network 7:

Comment

