



UNIVERSIDAD PÓLITECNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA MECATRÓNICA

REPOTENCIACIÓN DE MÓDULO DIDÁCTICO DE LOS 3 TANQUES PARA
DESARROLLO DE PRÁCTICAS DIDÁCTICAS DE CONTROL APLICANDO
LÓGICA DIFUSA

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTOR: Alex Jacinto Gonzalez Coello

TUTOR: Ing. Franklin Illich Kuonquí Gaínza

Guayaquil - Ecuador

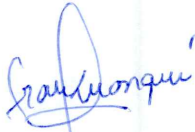
2023 - 2024

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Franklin Illich Kuonquí Gaínza**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **Repotenciación de módulo didáctico de los 3 tanques para desarrollo de prácticas didácticas de control aplicando lógica difusa**, realizado por **Alex Jacinto Gonzalez Coello**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Artículo Científico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 06 de marzo del 2024

Atentamente,



Ing. Franklin Illich Kuonquí Gaínza, Mg.
0909627432

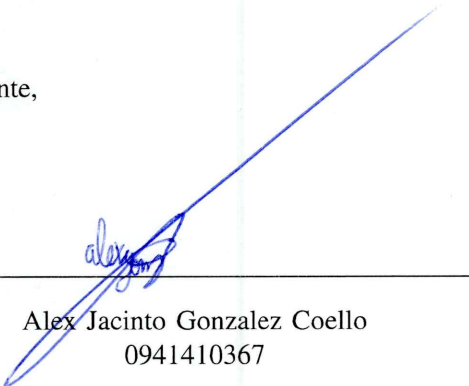
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, **Alex Jacinto Gonzalez Coello** con documento de identificación N° **0941410367**, y expresamos nuestra 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 **Repotenciación de módulo didáctico de los 3 tanques para desarrollo de prácticas didácticas de control aplicando lógica difusa**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Guayaquil, 06 de marzo del 2024

Atentamente,



Alex Jacinto Gonzalez Coello
0941410367

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **ALEX JACINTO GONZALEZ COELLO** con documento de identificación N° **0941410367**; 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.

Guayaquil, 06 de marzo del 2024

Atentamente,



Alex Jacinto Gonzalez Coello
0941410367



REPOTENCIACIÓN DE MÓDULO DIDÁCTICO DE LOS 3 TANQUES PARA DESARROLLO DE PRÁCTICAS DIDÁCTICAS DE CONTROL APLICANDO LÓGICA DIFUSA

Alex Jacinto Gonzalez Coello 

Resumen

Este proyecto contiene un análisis exhaustivo del proceso del módulo didáctico de 3 tanques por lo cual se centra en estrategias de control avanzadas, con la mejora adicional de incorporar lógica difusa. En particular, se destaca la implementación de la comunicación OPC, diseñada específicamente para integrar perfectamente LabVIEW y TiaPortal. Consiste en profundizar el diseño y la implementación del sistema, el programa PLC y la integración con LabVIEW, proporcionando una comprensión profunda. En este módulo de enseñanza, la planta de 3 tanques sirve como un laboratorio interactivo donde los estudiantes pueden participar en experimentaciones prácticas con varias estrategias de control y ser testigos de los resultados inmediatos. Al incorporar lógica difusa, la complejidad del sistema aumenta y ofrece una representación más auténtica de las condiciones operativas del mundo real. Se inspecciona detalladamente el diseño e implementación de estas mejoras, destacando cómo la comunicación OPC con LabVIEW se convierte en un puente esencial entre la teoría y la práctica.

Palabras clave: Automatización, Control de Sistema, Planta de 3 Tanques, PLC Programa, Protocolo de comunicación OPC, LabVIEW, Lógica Difusa, Estrategias de Control, Integración de Sistemas, Transferencia de Datos.

Abstract

This project contains a comprehensive analysis of the 3-tank didactic module process and therefore focuses on advanced control strategies, with the additional enhancement of incorporating fuzzy logic. In particular, it highlights the implementation of OPC communication, specifically designed to integrate seamlessly LabVIEW and TiaPortal. It consists of deepening the design and implementation of the system, the PLC program and the integration with LabVIEW, providing an in-depth understanding. In this teaching module, the 3-tank plant serves as an interactive laboratory where students can engage in hands-on experimentation with various control strategies and witness the immediate results. By incorporating fuzzy logic, the complexity of the system increases and provides a more authentic representation of real-world operating conditions. The design and implementation of these enhancements is inspected in detail, highlighting how OPC communication with LabVIEW becomes an essential bridge between theory and practice.

Keywords: Automation, System Control, 3-Tank Plant, PLC Program, OPC Communication Protocol, LabVIEW, Fuzzy Logic, Control Strategies, System Integration, Data Transfer.

1. Introducción

En el campo de la automatización y el control se requiere la adaptación continua de los entornos educativos para seguir el ritmo de los últimos avances tecnológicos. Esta iniciativa es una respuesta directa a la demanda de una experiencia de aprendizaje más holística para ingenieros, que abarque no solo principios teóricos sino también la implementación en el mundo real de estrategias de control de vanguardia en entornos industriales modernos [1]. En este módulo de enseñanza, la planta de 3 tanques sirve como un laboratorio interactivo donde los estudiantes pueden participar en experimentaciones prácticas con varias estrategias de control y ser testigos de los resultados inmediatos. Al incorporar lógica difusa, la complejidad del sistema aumenta y ofrece una representación más auténtica de las condiciones operativas del mundo real [2]. Se inspecciona detalladamente el diseño e implementación de estas mejoras, destacando cómo la comunicación OPC con LabVIEW se convierte en un puente esencial entre la teoría y la práctica. Esta investigación no solo contribuye al avance en la enseñanza de control y automatización, sino que también prepara a los futuros ingenieros para los desafíos y complejidades de la industria moderna. El proyecto no es simplemente una mejora técnica, sino un paso adelante hacia una educación más inmersiva y aplicada, cultivando ingenieros capacitados y listos para enfrentar los retos del mañana.

1.1. Trabajos previos

En sistemas de control ofrece una amplia gama de aplicaciones y enfoques. Se han realizado numerosos estudios sobre la implementación de controladores difusos en sistemas de tanques [3], que representan un sistema dinámico clásico para la enseñanza de conceptos de control. Varios trabajos previos se centran en la enseñanza de la lógica difusa mediante módulos didácticos interactivos. Estos módulos suelen incluir software y hardware diseñado específicamente para simular sistemas de control difuso y permitir a los estudiantes experimentar con diferentes configuraciones y parámetros [4].

El uso de sistemas de tanques en módulos didácticos permite a los estudiantes comprender conceptos como el modelado de sistemas dinámicos, la respuesta temporal, la estabilidad y el control de sistemas a través de ejemplos concretos y visualmente intuitivos. En la comunicación en el entorno de programación TIA Portal, se emplean tanto variables booleanas como variables de punto flotante [5]. Las variables booleanas representan valores lógicos que pueden ser verdaderos o falsos, mientras que las variables de punto flotante representan números con decimales.

Dentro de la comunicación TIA Portal, las variables

booleanas son comúnmente utilizadas para representar estados lógicos, tales como encendido/apagado, activado/desactivado, o abierto/cerrado. Estas variables son cruciales para el envío de señales de control o estado entre diferentes dispositivos o módulos. Por ejemplo, en un sistema de control de planta, una variable booleana podría indicar si una válvula está abierta (verdadero) o cerrada (falso), permitiendo así la supervisión y el control remoto de la planta.

Por otro lado, las variables de punto flotante son esenciales para representar valores numéricos con decimales en la comunicación TIA Portal, tales como temperaturas, niveles de fluidos, velocidades o caudales. Estas variables son fundamentales para la transmisión de datos precisos y detallados entre diferentes dispositivos o sistemas en un entorno de automatización. Por ejemplo, en un sistema de monitorización y control de temperatura, una variable de punto flotante podría representar la temperatura actual de un horno o una caldera, permitiendo la supervisión y el ajuste remotos de la temperatura a través de la comunicación TIA Portal.

Al diseñar sistemas de comunicación en TIA Portal, es importante considerar la precisión y la fiabilidad de la transmisión de datos, especialmente al utilizar variables de punto flotante para valores numéricos críticos. Además, es fundamental establecer protocolos de comunicación robustos y seguros para garantizar la integridad de los datos y la operación confiable del sistema en su conjunto. La selección adecuada de variables booleanas y variables de punto flotante en la comunicación TIA Portal contribuye a un diseño eficiente y efectivo de sistemas de control y automatización, proporcionando una supervisión y control precisos de los procesos industriales [6].

2. Materiales y Métodos

2.1. Planta de 3 tanques

Se ideó un sistema para la ejecución de la instalación de tres tanques, que abarca la integración de tanques, bombas y sensores para controlar eficazmente los niveles de líquido. El sistema consta de tres tanques interconectados, cada uno equipado un sensor de presión para monitorear su nivel [7]. Adicionalmente, hay 2 bombas para alimentar 2 tanques con las que se modula el nivel de los tanques.

Mediante un sistema de interconexión, los tanques son capaces de facilitar el movimiento del líquido, regulando este flujo las bombas asociadas. El PLC Siemens S7-1200 se encarga de controlar estas bombas, para lo cual emplea varias estrategias de control, incluido el control proporcional integral derivativo (PID) y la lógica difusa, para garantizar que se mantengan los niveles de líquido deseados en los tanques.

El sistema de control de los tanques incluye sensores de presión que ofrece información valiosa. Estos sensores permiten que el PLC monitoree continuamente los niveles de líquido y realice los ajustes necesarios en las bombas para alcanzar y mantener los niveles deseados [8].

Autotuning en el PID es importante en TIA Portal, ya que puede contribuir significativamente a mejorar el rendimiento y la eficiencia de los sistemas de control en la automatización industrial. Al utilizar herramientas y funciones específicas disponibles en el entorno de programación, así como módulos adicionales de control avanzado, es posible realizar el autotuning del PID de manera eficiente y efectiva, optimizando así el funcionamiento de los procesos industriales [9].

Agregando el driver L298 que contiene 15 terminales de alto voltaje y alta modernidad diseñada para aceptar niveles de los motores de corriente continua (DC). Se realizaron estudios de la eficacia de los controladores PID para mantener una velocidad de motor deseada y corregir errores en tiempo real, lo que es crucial en aplicaciones donde se requiere precisión y respuesta rápida [10].

2.2. PLC

En el contexto de esta configuración, el controlador lógico programable (PLC) Siemens S7-1200 posee cualidades inherentes que lo hacen apropiado tanto para fines industriales como de control. Su estructura adaptable le permite atender diversos requerimientos, ofreciendo versatilidad en la ejecución de soluciones de automatización.

Con su capacidad para procesar datos en tiempo real y su memoria incorporada para almacenar programas y datos, el S7-1200 es un controlador lógico programable (PLC) destacado [11]. Ofrece una amplia gama de módulos de entrada y salida digitales y analógicos, lo que permite una conectividad perfecta con una variedad de dispositivos y sistemas periféricos.

En lo que respecta a la comunicación, el S7-1200 es capaz de integrarse perfectamente en redes industriales gracias a su compatibilidad con Ethernet. El proceso de programación se lleva a cabo dentro del entorno TIA Portal, que brinda soporte para varios lenguajes como Ladder, FBD (Diagrama de bloques de funciones) y SCL (Lenguaje de control estructurado). Esto garantiza que la programación sea eficiente y adaptable [12].

2.3. Desarrollo del Sistema de Control

El proceso de creación del sistema de control para los tres tanques se dividió en múltiples fases cruciales, que abarcaron tareas como establecer la configuración de comunicación PLC-LabVIEW y validar y probar minuciosamente todo el sistema. Sintonización

de controladores PID, diseño del sistema difuso para la selección de ganancias.

2.4. Implementación del Control PI

La implementación del control PI en el PLC S7-1200 se realizó a cabo utilizando el entorno de desarrollo TIA Portal V18. Se definieron los parámetros PI, incluyendo las ganancias proporcional, integral y derivativa, para cada uno de los tanques del sistema [13]. Estos parámetros fueron ajustados cuidadosamente mediante pruebas iterativas para ajustar el rendimiento del controlador PI en condiciones reales. Además, como el sistema de los 3 tanques es no lineal, se realizó la sintonización para diferentes niveles del líquido [14].

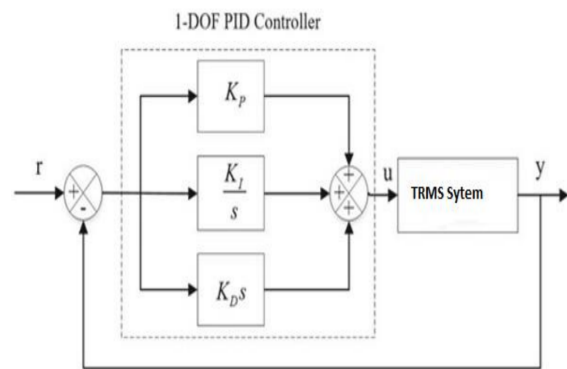


Figura 1. Estructura de controladores de PID.

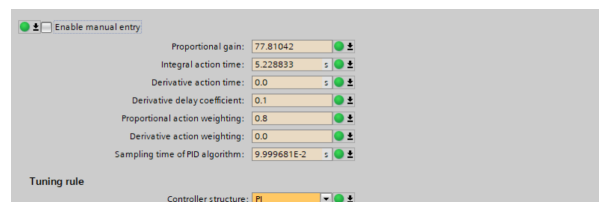


Figura 2. Obtención de Datos del nivel 20%.

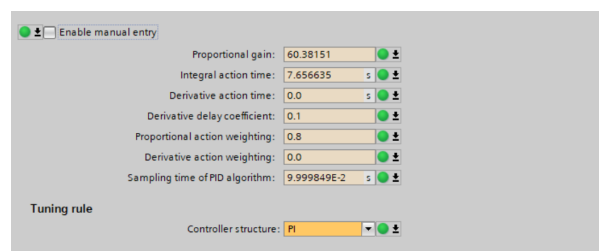


Figura 3. Obtención de Datos del nivel 30%.

2.5. Desarrollo del Sistema de Adquisición de Datos en LabVIEW

Para garantizar una retroalimentación precisa y en tiempo real al controlador PID y la lógica difusa, se desarrolló un sistema de adquisición de datos en LabVIEW para recopilar datos de los sensores de presión en los tanques del sistema figura 4. El sistema incorporó un multiplexor (MUX) que obtenía datos secuencialmente de los sensores de presión.

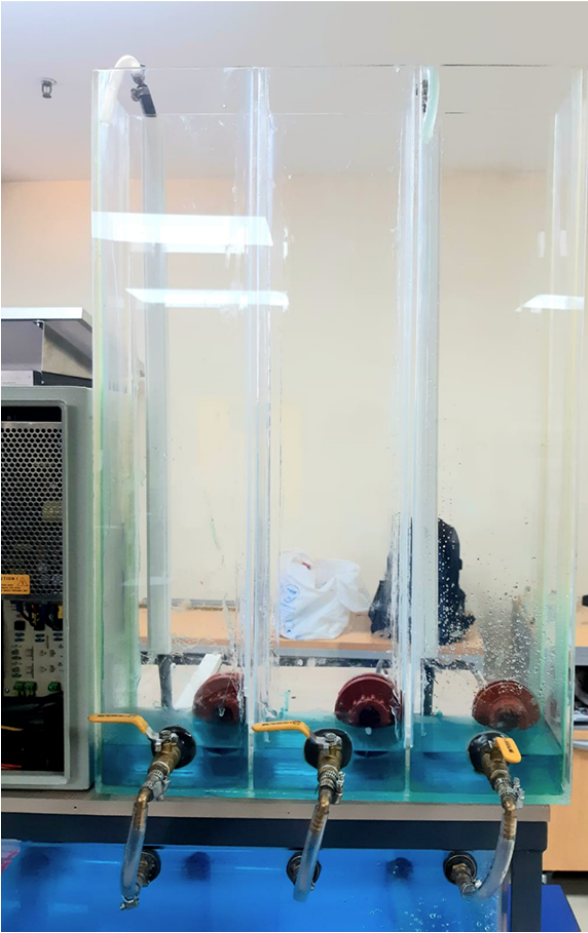


Figura 4. Módulo Didáctico de los 3 tanques.

2.6. IMPLEMENTACION LÓGICA DIFUSA

2.6.1. Definición de variables y conjuntos difusos

Se determina las variables relevantes para el sistema del nivel del tanque, el coeficiente de flujo y los parámetros del controlador (KP, KI). Para cada una de estas variables, se definió variables difusos que representen posibles rangos de valores para niveles de tanque como Bajo, Medio y Alto y conjuntos difusos en ciertos rangos. En la tabla 1 se muestran las ganancias del PID obtenidas en el autotuning. Luego en las

tablas 2,3 y 4 se presentan las funciones de membresía utilizadas para la lógica difusa.

Tabla 1. Ganancias del PI.

Nivel	Kp	Ti
20	77.81	5.21
30	60.38	7.66
40	43.99	11.37

Tabla 2. Funciones de membresía de la variable nivel.

Nivel	Tipo	Valores
Bajo	Triaangular	20/20/28
Medio	Triaangular	22/30/38
Alto	Triaangular	32/40/40

Tabla 3. Funciones de membresía de la variable Kp.

Kp	Tipo	Valores
Kp1	Triaangular	43/43/57
Kp2	Triaangular	46/60/74
Kp3	Triaangular	60/77/77

Tabla 4. Funciones de membresía de la variable Ti.

Ti	Tipo	Valores
Ti1	Triaangular	5.23/5.23/6.17
Ti2	Triaangular	5.72/7.66/10.63
Ti3	Triaangular	8.4/11.37/11.37

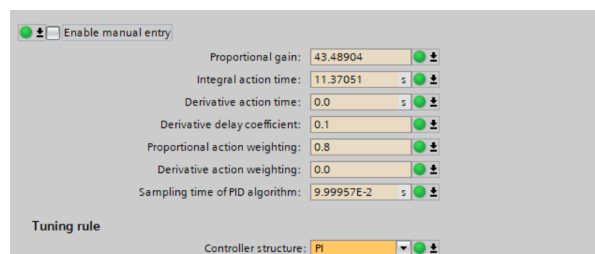


Figura 5. Obtención de Datos del nivel 40%

2.6.2. Reglas difusas

Se definen la relación entre las entradas del sistema y la acción de control. Las funciones para deducir la lógica difusa evalúan cada regla difusa para determinar su grado de activación, como se muestra tabla 5.

Tabla 5. Funciones de membresía de la variable Ti

Reglas Difusas
Si nivel = bajo entonces kp = kp3, Ti = Ti1
Si nivel = medio entonces kp = kp2, Ti = T2
Si nivel = alto entonces kp = kp1, Ti = T3

2.6.3. Pruebas y ajustes

Las pruebas del sistema de control se realizó en 3 etapas. La primera prueba, se realizó cambiando la referencias de 0 a 20 cm. Luego, se vació el sistema y se movió la referencia de 0 a 30 cm. finalmente, se volvió a vaciar el sistema para realizar el cambio de referencia de 0 a 40 cm.

2.6.4. Datos Obtenidos

Cuando el sistema trabajó desde 0 cm hasta 20 cm con el controlador PI del PLC pero variando sus ganancias K_p y T_i usando Lógica Difusa se obtuvo el desempeño mostrado en la figura 6. Cuando cambió de 0 a 30 cm varía en la figura 7 en la tercera prueba se realizó de 0 a 40 cm como muestra en la figura 8.

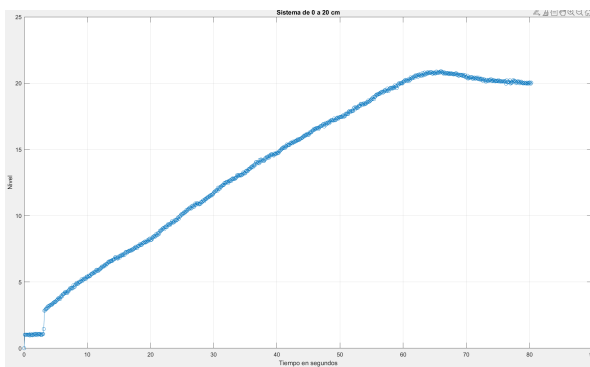


Figura 6. Desempeño cuando la referencia cambia de 0 a 20 %.

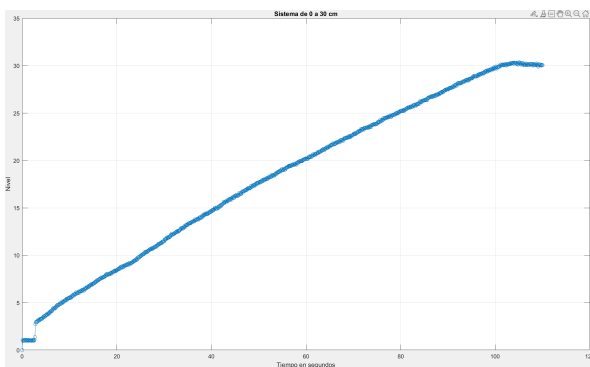


Figura 7. Desempeño cuando la referencia cambia de 0 a 30 %.

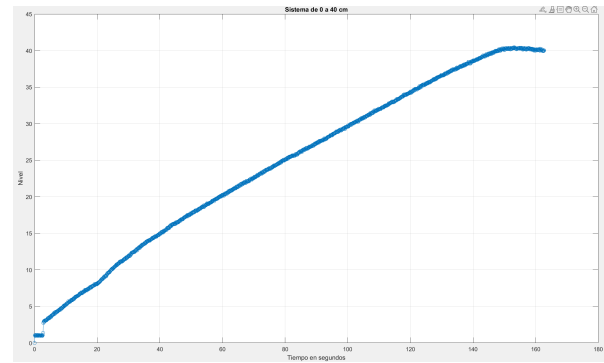


Figura 8. Desempeño cuando la referencia cambia de 0 a 40 %.

3. Resultados y Discusión

Autotuning del PID en el PLC S7-1200 se obtuvo que las ganancias del controlador cambiaban dependiendo del punto de operación. Este comportamiento sugiere que la planta es no lineal. En consecuencia al usar Lógica Difusa es una buena idea para el desempeño del sistema varíe de manera menos significativa cuando se cambia el punto de operación. Adicionalmente, se comprobó que el uso del OPC Servers de LabVIEW permitió conectar de manera eficiente el LabVIEW con el Tia Portal para realizar el control usando Lógica Difusa [15] [16].

Se presento analisis de datos en tiempo real para predecir los parametros optimos en el controlador Fuzzy.

4. Conclusiones

- El uso del driver L298N permitió un comportamiento más eficiente de la bomba.
- El uso combinado del Tia Portal, OPC y LabVIEW permitió la implementación en entornos similares al industria.

Agradecimientos

Quiero especialmente expresar mi gratitud a Dios, que con su bendición llena siempre mi vida, a mis padres quienes, con su amor, paciencia, esfuerzo me han permitido hoy cumplir un sueño más y mi sincero agradecimiento al director de carrera ingeniero Jorge Bladimir Fariño Cedeño. y mi tutor Franklin Illich Kuonquí Gaínza por el conocimiento, enseñanza permitió el desarrollo de este trabajo ya que me permitió crecer día a día a ser profesional.

Referencias

- [1] C. V. Kien, N. N. Son, and H. P. H. Anh, “Adaptive MIMO Fuzzy Controller for Double Coupled Tank System optimizing by Jaya Algorithm.” pp. 495–499, 2020. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9303140>
- [2] R. A. Hituraj Sahu, “Interval Fuzzy Type-II Controller for the Level Control of a Three Tank System,” vol. 49, no. 1, pp. 561–566, 2016. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896316301148>
- [3] L. Cervantes and O. Castillo, “Type-2 fuzzy granular approach for intelligent control: The case of three tank water control,” pp. 1–6, 2012. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6290987>
- [4] V. C and E. C, “Fuzzy PI and Fuzzy PID Controller Based Hopper Tank Level Control System.” *Computer Science and Network Security*, pp. 1–5, 2021. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9392451>
- [5] L. Mastacan and C.-C. Dosoftei, “Level Fuzzy Control of Three-Tank System,” pp. 30–35, 2013. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6569240>
- [6] S. Howimanporn, S. Chookaew, and C. Silawatchananai, “Implementation of Real Time Data Collection Process Automation Control Using IIoT Applications ,” *Journal of Advances in Information Technology*, vol. 13, pp. 117–124, 2022. [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:247919585>
- [7] T. A. H. AL-Qutami and R. Ibrahim, “Design of a Fuzzy Logic process Controller for flow applications and implementation in series tanks Pilot Plant,” pp. 450–455, 2015. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7150784>
- [8] Y. Zhao, “Research on Application of Fuzzy PID Controller in Two-Container Water Tank System Control,” pp. 679–682, 2010.
- [9] S. B.Nagaraj, B.Rampriya, “Tuning Algorithms for PID Controller Using Soft Computing Techniques.” *Computer Science and Network Security*, pp. 278–281, 2008. [Online]. Available: <https://n9.cl/kta74>
- [10] STMicroelectronics, “L298 datasheet,” <https://n9.cl/3t0l8>.
- [11] J. Pampamallco-Jara and A. Rojas-Moreno, “Real-Time Implementation of Fuzzy Control Blocks for Process Contro,” pp. 1–4, 2022. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9870048>
- [12] S. P. U. Kruthika, “Improved Adaptive PSO-based Gain Tuning for PID Controllers in Utility Boilers, *Procedia Computer Science*,” vol. 230, pp. 183–192, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050923020781>
- [13] S. Galichet, L. Foulloy, M. Chebre, and J. Beauchene, “Fuzzy logic control of a floating level in a refinery tank,” vol. 3, pp. 1538–1542, 1994.
- [14] D. Abel., “Calculating All KP Admitting Stability of a PID Control Loop,” *Electric Power Systems Research*, vol. 41, pp. 5802–5807, 2008. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3182/20080706-5-KR-1001.00978>
- [15] X. Jiang, Y. Zhu, L. Wang, and Y. Wang, “Cooperative control for automatic towing operation by multiple DP tugboats with fully unknown model parameters.” *Journal of Ocean Engineering and Science*, vol. 18, 2018. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468013323000906>
- [16] A. H. József Dombi, “A new approach to fuzzy control using the distending function,” *Process Control*, vol. 86, pp. 16–29, 2020. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959152419304767>