



Diseñar e implementar un algoritmo de control difuso para un tanque cónico

Chaquina Cortés, Carlos Xavier

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Automatización

Trabajo de unidad de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero
en Electrónica y Automatización

Ing. Llanos Proaño, Jacqueline del Rosario. PhD

28 de febrero del 2024

Latacunga

Reporte de verificación de contenido

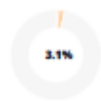


TESIS CARLOS CHAQUINGA_FINAL.pdf

Scan details

Scan time: March 4th, 2024 at 18:20 UTC	Total Pages: 27	Total Words: 6670
--	--------------------	----------------------

Plagiarism Detection



Types of plagiarism	Words
Identical	0.5% 34
Minor Changes	0.4% 30
Paraphrased	2% 134
Omitted Words	4.9% 325

AI Content Detection



Text coverage

- AI text
- Human text

Plagiarism Results: (4)

- Repositorio de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE: Diseño de algori...** 2.6%

<https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/37175>

Skip navigation ...
- 2711** 1.4%

http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/feed/rss_1.0/21000/2711

DSpace Comunidad : <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2711> 2024-03-04T18:23:21Z Control Bidireccional de una Batería Impleme...
- download** 0.3%

<https://repositorio.uicm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/w88753d3-9cf5-4ff9-84cb-8e18d9480631/content>

EDGAR

Universidad Católica de Santa María Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica ...
- Diseño de Un Sistema de Control Difuso para Un Tanque | PDF | Lógica di...** 0.2%

<https://www.scribd.com/document/457625502/ig-caps-1-2-3-4>

Mayrelibis Fajardo

Download to read ad-free. ad Open navigation menu Close suggestions Search Search en Change Language close menu Language English...



About this report
help.copyleaks.com



Firma:

.....

Ing. Llanos Proaño, Jacqueline del Rosario, PhD

Director



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Electrónica y Automatización

Certificación

Certifico que el trabajo de unidad de integración curricular: **“Diseñar e implementar un algoritmo de control difuso para un tanque cónico”** fue realizado por el señor **Chaquina Cortés, Carlos Xavier**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 28 de febrero del 2024

Firma:

.....
Llanos Proaño, Jacqueline del Rosario

C. C.: 0502527039



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Electrónica y Automatización

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Chaquina Cortes, Carlos Xavier**, con cédula de ciudadanía n° 1804364592, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de unidad de integración curricular: **"Diseñar e implementar un algoritmo de control difuso para un tanque cónico"** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 28 de febrero del 2024



Chaquina Cortés, Carlos Xavier

C. C.: 1804364592




Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Electrónica y Automatización

Autorización de Publicación

Yo, **Chaquina Cortés, Carlos Xavier**, con cédula de ciudadanía n° 1804364592, autorizó a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de unidad de integración curricular: **"Diseñar e implementar un algoritmo de control difuso para un tanque cónico"** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad

Latacunga, 28 de febrero del 2024



Chaquina Cortés, Carlos Xavier

C. C.: 1804364592

Dedicatoria

Para mi querido padre **Carlos Chaquinga**, por enseñarme valores como el respeto, el orden y lealtad además que has sido mi sustento en las más difíciles situaciones, a mi madre **Diana Cortés**, aunque ya no estés físicamente presente, tu amor y sacrificio me han incentivado a seguir siendo una gran persona. Este logro lleva tu legado y refleja el amor y la fuerza que en los tiempos difíciles me enseñaste. A mi hermano menor **Andrés** que con su ánimo e inocencia impulsa a cumplir todos mis objetivos. Ustedes me han enseñado como poder afrontar la vida y sobre todo a crecer como persona para poder cumplir cada objetivo planteado.

Para mi querida esposa **Heidi**, que la vida nos unió y ha podido ser mi sostén en los obstáculos, mi compañía en tiempos difíciles y gran compañera de vida. Para mi pequeña gran razón **Dianita**, has sido mi luz en los momentos más oscuros, recordándome por qué todo este trajín vale la pena. Con ustedes puedo caminar este difícil camino llamado vida.

Imposible no nombrar a mi abuelito **Luchin**, por estar presente en cada etapa de mi vida, sin usted nada de esto sería posible. A mi abuelita **Mashita**, por el apoyo incansable en mi diario vivir. A mis tíos **Ruthiar y Paquita, Soraya, Xavier y Paulina**, que han cuidado de mí como si de un hijo se tratase. A mis primos **Erika y Cesar, Jorge Luis, Sebastián, Daniel. Erick, Emily y Paula** que han sido como mis hermanos y sin duda un constante aliento.

A mi abuelito "**Papito**" que, aunque ya no se encuentra conmigo me enseñó hasta el último de los días a luchar por y para la familia, además que inculcó en mí el amor por el deporte y el amor por la vida. A mi abuelita "**Mamita**" que, con disciplina y carácter ha forjado mi personalidad. A mis tíos **Roberto e Ivonne** que, han sido mis confidentes en cada situación por las que juntos hemos pasado. A mis primos **Elyan, Emilio y Alondra** gracias por ser parte de mi vida.

Carlos Chaquinga

Agradecimiento

Para mis amados padres **Carlos Chaquinga** y en especial a mi madre **Diana Cortes**, vivirás por siempre en mi memoria, te quiero infinitamente, tus enseñanzas me hicieron una gran persona y para ti es este logro mamá

Para mi esposa **Heidi** que con paciencia y amor ha estado en toda esta etapa de mi vida y mi hija **Dianita**, eres mi mayor inspiración, mi fuente de energía que me incentiva a sacar lo mejor de mí, gracias por ser el soporte que da sentido a mi vida.

A mi hermano **Andrés**, eres mi apoyo incondicional que de forma discreta siempre me demuestras el lado bueno de las cosas.

A mis **abuelitos, tíos y primos** que han estado al pendiente de mí y mostraban preocupación constante por mi bienestar y crecimiento académico y sobre todo personal.

Por último, pero no menos importante quiero agradecer a todos los Ingenieros que han sido una parte fundamental en mi vida académica ya que cada uno formo parte de esta etapa, en especial a la Ingeniera **Jacqueline Llanos** por ser una excelente profesional, que gracias a su guía, apoyo y grandes conocimientos se logró obtener un excelente resultado en el trabajo.

CARLOS CHAQUINGA

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Índice de contenido	8
Índice de figuras	11
Índice de tablas	12
Índice de ecuaciones	13
Resumen.....	14
Abstract	15
Capítulo I: Introducción.....	16
Antecedentes.....	16
Planteamiento del problema y justificación	17
Objetivos.....	18
<i>Objetivo general</i>	<i>18</i>
<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>19</i>

Hipótesis	19
Capítulo II: Estado del arte	20
Descripción del tanque cónico.....	20
<i>Tanques de almacenamiento de acero inoxidable</i>	<i>20</i>
Algoritmos de control para un tanque cónico	21
<i>Control PID</i>	<i>21</i>
<i>Control FUZZY</i>	<i>21</i>
Capítulo III: Características del tanque cónico a escala de laboratorio.....	23
Especificaciones del tanque cónico y estructura de la planta.....	23
Especificaciones técnicas de equipos principales.....	24
Capítulo IV: Modelamiento del tanque cónico	27
Modelo matemático de un tanque cónico	27
Modelo por identificación de sistemas.....	30
Capítulo V: Diseño de la interface inmersa de la planta del tanque cónico.....	31
<i>Interfaz para el control PI.....</i>	<i>31</i>
<i>Interfaz para el control Difuso</i>	<i>32</i>
Capítulo VI: Diseño de algoritmos de control para el tanque cónico.....	34
Diseño del control PI.....	34
<i>Método de COHEN COON</i>	<i>35</i>
Diseño del control difuso.....	37
Capítulo VII: Resultados	42

Resultados Experimentales	42
Resultados experimentales ante perturbaciones	43
Capítulo VIII: Conclusiones y Recomendaciones.....	46
Bibliografía	48
Anexos.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Diagrama del tanque cónico</i>	21
Figura 2 <i>Esquema eléctrico de control para la planta de nivel</i>	25
Figura 3 <i>Planta del tanque cónico a escala de laboratorio</i>	26
Figura 4 <i>Interfaz general del proceso</i>	31
Figura 5 <i>Interfaz del tanque cónico en LabVIEW para el control PI</i>	32
Figura 6 <i>Interfaz del tanque cónico en LabVIEW para el control difuso</i>	33
Figura 7 <i>Diagrama del Control PI – Lazo cerrado</i>	35
Figura 8 <i>Diagrama del algoritmo de control difuso</i>	38
Figura 9 <i>Función de membrecía para la entrada de error</i>	39
Figura 10 <i>Función de membrecía para la entrada de la derivada del error</i>	40
Figura 11 <i>Función de membrecía de entrada de error diferencial</i>	40
Figura 12 <i>Comportamiento del proceso real para el control de nivel</i>	42
Figura 13 <i>Comportamiento de las acciones de control del proceso real</i>	43
Figura 14 <i>Señal de la variable del proceso experimental ante perturbaciones</i>	44
Figura 15 <i>Señal de las acciones de control ante perturbaciones</i>	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Tabulación de conjunto de reglas</i>	22
Tabla 2 <i>Características técnicas de los equipos que componen la planta del tanque cónico</i>	23
Tabla 3 <i>Características técnicas de equipos principales</i>	24
Tabla 4 <i>Parámetros del tanque cónico del laboratorio de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones</i>	27
Tabla 5 <i>Reglas de lógica difusa</i>	41
Tabla 6 <i>Desempeño del sistema de nivel del tanque cónico real</i>	43
Tabla 7 <i>Desempeño del control a la planta del tanque cónico ante perturbaciones</i>	45

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 <i>Balance de materia</i>	28
Ecuación 2 <i>Volumen del cono circular</i>	28
Ecuación 3 <i>Volumen del aire</i>	28
Ecuación 4 <i>Diferencia de alturas</i>	28
Ecuación 5 <i>Balance de materia en términos globales</i>	29
Ecuación 6 <i>Semejanza de triángulos</i>	29
Ecuación 7 <i>Área del cono</i>	29
Ecuación 8 <i>Modelo matemático no lineal</i>	29
Ecuación 9 <i>Función de transferencia que representa la dinámica del tanque cónico</i>	30
Ecuación 10 <i>Salida del controlador</i>	34
Ecuación 11 <i>Constante Alpha</i>	36
Ecuación 12 <i>Constante Tao</i>	36
Ecuación 13 <i>Valor de la ganancia proporcional</i>	36
Ecuación 14 <i>Valor del tiempo integrativo</i>	37
Ecuación 15 <i>Ganancia proporcional por sintonía fina</i>	37
Ecuación 16 <i>Tiempo integral por sintonía fina</i>	37

Resumen

En la industria actualmente los tanques de almacenamiento son muy diversos en formas, material, tamaño y características físicas que van acorde al proceso en el que se va a usar. Por esta razón, el tanque con una forma cónica resulta una opción adecuada ya que permite la disminución de bacterias en el momento de almacenamiento porque con su forma cónica existe poca probabilidad que en la superficie queden residuos del material almacenado. No obstante, el controlar el nivel de un tanque cónico resulta muy complejo por su alta no linealidad, en la industria se lleva a cabo bajo controles tradicionales lo que da como resultado estados transitorios poco eficientes en ciertos puntos de operación. Mientras que en el campo de investigación son muy pocos los trabajos que presentan un control inteligente para la planta de nivel de un tanque cónico implementados. Frente a esta problemática, el diseño e implementación de un algoritmo de control difuso para un tanque cónico permite dar soluciones de control de procesos altamente no lineales, además que se evidencia una nueva forma de control que las industrias pueden optar para mejorar sus procesos automatizados. El contar con una planta a escala del tanque cónico para uso investigativo permite probar nuevos métodos de control inteligente con el objetivo que los estudiantes se asocien con procesos industriales. Por lo tanto, en esta tesis se diseña e implementa un algoritmo de control difuso para un tanque cónico, junto con una interfaz que permita al usuario interactuar directamente con la planta a escala de laboratorio, se ha creado un simulador interactivo y dinámico para evaluar algoritmos de control de este proceso. Para evaluar el desempeño del controlador propuesto se implementa y compara con un control tradicional PI dando como resultado que el control difuso presenta una rápida respuesta a cambios de referencia y perturbaciones, con poca o nula presencia de sobre impulsos al realizarse distintas pruebas en varios puntos de operación.

Palabras Clave: control difuso, sobre impulsos, control tradicional, tanque cónico.

Abstract

In the industry currently, storage tanks are very diverse in shapes, material, size and physical characteristics that are according to the process in which they will be used. For this reason, the tank with a conical shape is a suitable option since it allows the reduction of bacteria at the time of storage because with its conical shape there is little probability that residues of the stored material will remain on the surface. However, controlling the level of a conical tank is very complex due to its high non-linearity. In the industry, it is carried out under traditional controls, which results in inefficient transient states at certain operating points. While in the research field there are very few works that present an intelligent control for the level plant of a conical tank implemented. Faced with this problem, the design and implementation of a fuzzy control algorithm for a conical tank allows for highly non-linear process control solutions, in addition to demonstrating a new form of control that industries can choose to improve their automated processes. Having a conical tank scale plant for research use allows testing new intelligent control methods with the objective that students associate themselves with industrial processes. Therefore, in this thesis a fuzzy control algorithm for a conical tank is designed and implemented, along with an interface that allows the user to interact directly with the plant on a laboratory scale, an interactive and dynamic simulator has been created to evaluate algorithms. . control of this process. To evaluate the performance of the proposed controller, it is implemented and compared with a traditional PI control, resulting in the fuzzy control presenting a rapid response to reference changes and disturbances, with little or no presence of over-impulses when different tests were carried out at various points of reference. operation.

Keywords: fuzzy control, impulse control, traditional control, conical tank

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

En la mayoría de las industrias de proceso, el tanque cónico es altamente implementado debido a que permite menos deposición de restos de alta viscosidad de fluidos en su base (Acura, 2021). Un sistema de tanque cónico tiene alta aplicabilidad en procesos industriales, es utilizado principalmente en molinos coloidales, extracción de lixiviación en la industria farmacéutica y química, industrias de procesamiento de alimentos, industrias petroleras, tanques de mezclas, procesamiento de biodiesel, tanques de reactores, elaboración de cerveza, producción de sidra, producción de vino, tanque de agua de lluvia vertical, tanques de almacenamiento de fertilizantes y químicos. Su importancia radica en que los tanques permiten la sedimentación y el drenaje de las impurezas (Saravanakumar, 2017).

Las técnicas de control del nivel de líquido en tanques cónicos es una tarea desafiante debido a su dinámica no lineal en donde aplicar controles tradicionales o lineales no garantizan un estado transitorio eficiente y ocasiona deterioro de los elementos de control final a largo plazo, sin embargo, el control tradicional es usado en la industria por su fácil aplicabilidad limitando los controles inteligentes.

En la literatura especializada se ha reportado el control de tanques cónicos con técnicas tradicionales basados en controles PID con PSO Tuning (Mercy, 2017). También por técnicas de control más avanzadas como controles PID difuso adaptable, un control adaptativo Neuro-Fuzzy compacto (Omran, 2018) o PIDs Fraccionarios (George, 2020). Los trabajos anteriormente mencionados han sido validados por simulación. Trabajos como (Ina Rose) trabajan con una planta real como parte de sus laboratorios de control inteligente, en donde se diseñan controles PIDs difuso adaptativos y neuro-difusos.

Los laboratorios de la carrera de Electrónica y Automatización de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga, recientemente cuenta con un proceso de tanque

cónico en escala de laboratorio. Por lo que actualmente se podrá estudiar procesos no lineales, el prototipo permite ejecutar prácticas para control de sistemas con dinámica no lineal, los cuales son importantes dentro de la formación profesional de los estudiantes de la carrera. En esta planta se ha diseñado una estrategia de control predictivo basado en modelos MPC, y aun no se han reportado resultados de otras técnicas de control.

El desarrollo de esta nota conceptual permitirá generar nuevas opciones para prácticas experimentales en donde puedan los estudiantes enlazar sus conocimientos teóricos con los prácticos, en tópicos de control automático, cumpliendo con los perfiles del egresado de sus carreras. Por lo tanto, profesionales del área de automatización deberían estar capacitados en estos algoritmos de control para poder proponer en la industria técnicas de control que mejore el rendimiento en sistemas con dinámica no lineal.

Planteamiento del problema y justificación

Procesos como la captación de agua de lluvia, la producción de cerveza, la extracción de melaza, el almacenamiento de líquidos fertilizantes y procesos químicos, enfrentan un desafío común: la necesidad de utilizar tanques versátiles que puedan preservar adecuadamente diversos productos químicos, como ácido acético, aceite vegetal y animal, alcohol metílico, butano, glicerina, así como productos como agua potable, sólidos livianos y granos. Estos tanques deben minimizar la exposición a bacterias, facilitar la sedimentación y la eliminación de impurezas. En este contexto, los tanques cónicos se presentan como una solución altamente aplicable. Sin embargo, en un enfoque de control tiene retos de diseño. Por lo tanto, los controles inteligentes que incluyan el conocimiento o entrenamiento son una opción adecuada.

Actualmente en los laboratorios de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones se ha creado una planta para control de nivel de un tanque cónico a escala de laboratorio, por ser una planta nueva únicamente se ha diseñado un algoritmo de control MPC, por lo tanto, a esta planta se le puede sacar su máximo potencial proponiendo

más algoritmos de control sofisticados que permita generar investigaciones y con ellos resultados que puedan ser difundidos.

Además, para cumplir con los requisitos del perfil de egreso de la carrera de Electrónica y Automatización, es necesario llevar a cabo actividades teórico-prácticas para lo cual se requiere contar con experimentos que potencien el aprendizaje. Se sabe que la inteligencia artificial cada vez está tomando fuerza y como futuros profesionales es necesario que se adquiera conocimientos aplicativos en el área de control, en este contexto el uso de redes neuronales y lógica difusa en el diseño de controladores permitirá reducir esa brecha entre la automatización y la inteligencia artificial.

Hoy en día, las herramientas computacionales, como los simuladores virtuales o las interfaces interactivas para estudiantes, son fundamentales para el aprendizaje. Estas herramientas se basan en modelos fenomenológicos que deben reflejar la dinámica real de los procesos. Sin embargo, obtener modelos que se ajusten a la realidad es un desafío especialmente cuando no se dispone del proceso real, gracias a que se dispone de la planta real la validación de simuladores, plantas virtuales, sistemas Hardware in the loop HIL podrán ser más certeros y confiables.

En este trabajo de investigación se diseña e implementa algoritmos de control basados en conocimiento para un tanque cónico. Primero se modela y simula el tanque cónico, posteriormente se diseña una interfaz gráfica de aprendizaje con aplicación a los controles diseñados. Finalmente, los algoritmos de control se implementan a la planta real y al simulador dinámico y se compara el desempeño con cada uno de ellos.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar e Implementar un Algoritmo de Control Difuso para un Tanque Cónico

Objetivos específicos

Diseñar e implementar por simulación un algoritmo de control tradicional para controlar el nivel de líquido en un tanque cónico.

Diseñar e implementar experimentalmente un algoritmo de control tradicional para controlar el nivel de líquido en un tanque cónico.

Diseñar e implementar por simulación un algoritmo de control difuso para controlar el nivel de líquido en un tanque cónico.

Diseñar e implementar experimentalmente un algoritmo de control difuso para controlar el nivel de líquido en un tanque cónico.

Hipótesis

¿El algoritmo de control difuso mejorará el desempeño de un controlador PID convencional en términos de tiempo de respuesta, precisión del control y rechazo a perturbaciones?

Capítulo II

Estado del arte

En la sección se describe los fundamentos teóricos importantes para el aprendizaje básico y desarrollo del trabajo a implementar, se incluye el estado del arte en literatura específica respecto a algoritmos de control difuso orientado a tanques cónicos.

Descripción del tanque cónico

Un tanque cónico se distingue principalmente por tener una base de diámetro menor en comparación con la amplitud de su tapa. Su cubierta externa los hace ideales para resistir la radiación solar y prevenir la proliferación de algas y bacterias.

Tanques de almacenamiento de acero inoxidable

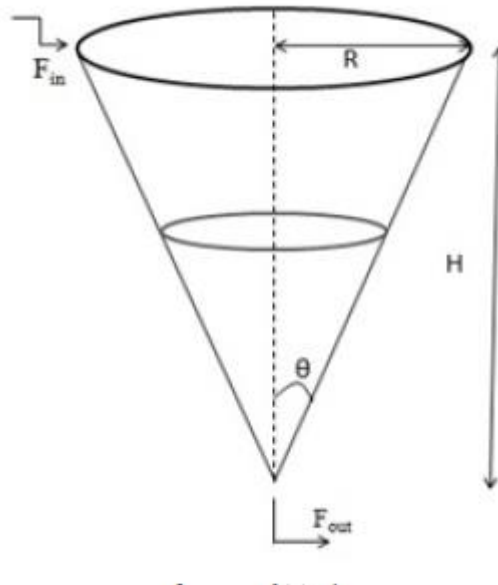
El tanque cuando es diseñado con el material de acero inoxidable contendrá en él una mezcla de hierro, cromo y carbono, lo cual resulta menos reactiva y garantiza una alta resistencia a la oxidación y corrosión. Además, tiene ventajas como alta resistencia a la oxidación y corrosión, resiste altas y bajas temperaturas y facilidad en su limpieza, no se adhiere bacterias ni residuos de materiales (Acura, 2021). Sin embargo, su costo de construcción resulta ser elevado y necesita para su control sensores inteligentes debido a la no linealidad presente en la planta.

Tanque cónico – Planta no lineal

Las características propias del tanque cónico es la variación de su área, lo que implica la no linealidad, resultando un control complejo de la planta. La principal ventaja del almacenamiento en tanques cónicos radica en el área de superficie reducida por unidad de volumen, como se ilustra en la **Figura 1**.

Figura 1

Diagrama del tanque cónico



Nota. Representa la figura geométrica cónica y sus parámetros.

Algoritmos de control para un tanque cónico

El control del tanque cónico es un caso de gran investigación debido a su no linealidad de tal manera que se evidencia en tesis, investigaciones y trabajos, obteniendo los siguientes controles que muestran mejores resultados:

Control PID

Para un sistema no lineal con un controlador PID y diversos métodos de ajuste, se considera que el método de Chien, Hrones y Reswick (con un sobreimpulso del 20%) es el más apropiado. Este enfoque exhibe un mínimo sobreimpulso y un tiempo de establecimiento reducido. No obstante, es importante señalar que esta conclusión se basa exclusivamente en simulaciones y no contempla perturbaciones en el sistema. (G.Sreenivasulu, 2016).

Control FUZZY

El control difuso muestra un buen rendimiento para controlar sistemas no lineales. Según (K Ashutha, Eadala Sarath Yadav, Thirunavukkarasu Indiran, Shreesha.C, 2017)

demuestra que en el diseño del controlador Fuzzy, la variable de proceso es la salida del controlador, mientras que el error y cambio en el error son las entradas. Mientras que, las variables de entrada y salida se convierten en variables lingüísticas definidas como:

Negativamente grande (NB) – Negativamente mediano (NM) - Negativamente pequeño (NS)-
 cero (Z)- Positivamente pequeño (PS))- Positivamente mediano (PM)- Positivamente Grande
 (PB), como se muestra en la **Tabla 1** que representa la tabulación de conjunto de reglas para el controlador de lógica difusa. **Además**, el trabajo usa como función de pertenencia un tipo triangular que le permite obtener mejor rendimiento, tiempo de establecimiento más rápido y errores mínimos de estado estacionario.

Tabla 1

Tabulación de conjunto de reglas

de/e	PB	PS	AZ	NS	NB
PB	PB	PB	PB	PS	AZ
PS	PB	PS	PS	AZ	NS
AZ	PB	PS	AZ	NS	NB
NS	PS	AZ	NS	NS	NB
NB	AZ	NS	NB	NB	NB

Nota. La tabla representa la tabulación de reglas lógicas para control Fuzzy. Tomado de (K Ashutha, Eadala Sarath Yadav, Thirunavukkarasu Indiran, Shreesha.C, 2017)

Capítulo III:

Característica del tanque cónico a escala de laboratorio

En esta sección se describe las características físicas y técnicas principales del tanque cónico a escala de laboratorio de Control Inteligente de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE- Latacunga, así como también características principales de cada componente eléctrico y electrónico presentes en la planta.

Especificaciones del tanque cónico y estructura de la planta

De acuerdo con (Montaluisa K, Vargas L, 2023) establecen los siguientes equipos para la elaboración de la planta real a escala del laboratorio de Control Inteligente como se muestra en la **Tabla 2**.

Tabla 2

Características técnicas de los equipos que componen la planta del tanque cónico

EQUIPOS	DETALLES
Tanque Cónico	<ul style="list-style-type: none"> - Material de acero inoxidable - Altura es de 80 cm, diámetro superior es de 35.5 cm, diámetro inferior es de 7.64 cm reducido a 2.54 cm y su espesor es de 1.5 mm
Válvula de perturbación	<ul style="list-style-type: none"> - La válvula de bola como perturbación es de 1 pulgada niquelada
Válvulas de llenado del tanque	<ul style="list-style-type: none"> - Válvulas de PVC, niquelada de 1 pulgada
Tubería	<ul style="list-style-type: none"> - La tubería de PVC que cuenta con una medida de 1 pulgada
Tanque de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> - Altura de 34,5 cm, un ancho de 61 cm y una superficie de 40 cm.

EQUIPOS	DETALLES
Bomba	<ul style="list-style-type: none"> - Marca Paolo - 1/2 HP, 115V a 230 V, 2.5 Amp, 3400 RPM, Q.MAX = 40 l/m
Componentes eléctricos	<ul style="list-style-type: none"> - Fusibles, resistencia - Cable electrico, - Transformador 220 V a 110 V - Convertidor de I/V
Variador de Frecuencia	- SIEMENS 220V / 240 V
Fuente de alimentación 24V	- SIEMENS SITRANS LR140
Sensor de nivel por radar	- SIEMENS – SITRANS LR140

Nota. La tabla representa las características técnicas de los equipos que constituyen la planta del tanque cónico. Tomado de (Montaluisa K, Vargas L, 2023)

Por lo tanto, el conocer las dimensiones y características de la planta que se va a controlar garantiza obtener un control eficiente por tal razón la **Tabla 2** nos permite tener un panorama general de cada equipo perteneciente a la planta a escala de laboratorio.

Especificaciones técnicas de equipos principales

En la **Tabla 3** se muestra características técnicas de importancia para conocer los valores nominales en los que trabaja cada equipo y poder controlarlo.

Tabla 3

Características técnicas de equipos principales

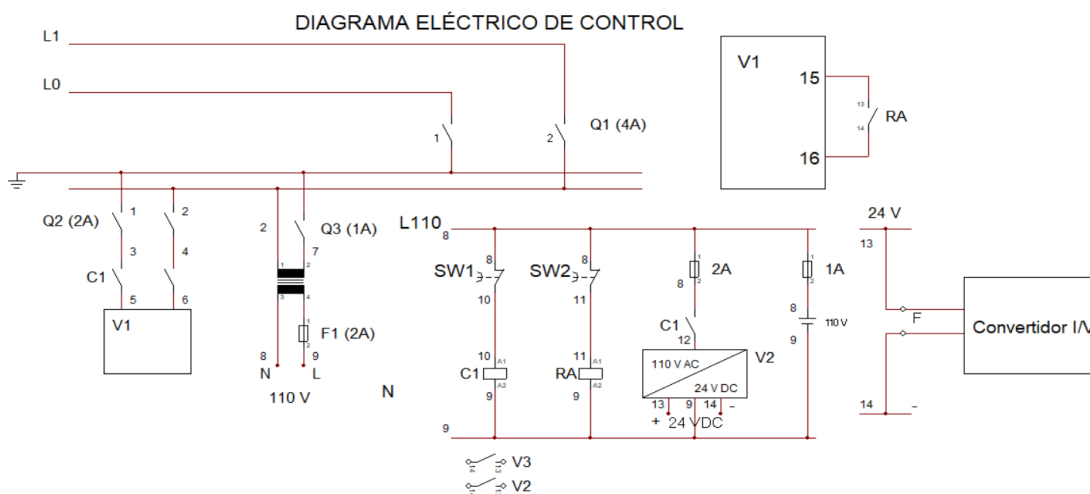
EQUIPOS	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
Bomba centrífuga	<ul style="list-style-type: none"> - Monofásica rebobinada - Potencia = 1 Hp; Corriente =230 V

EQUIPOS	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
Variador de Frecuencia	<ul style="list-style-type: none"> - Potencia = 1 Hp - Entrada monofásica / salida trifásica
Sensor SITRANS LR140	<ul style="list-style-type: none"> - Altura máxima = 8 m - Salida = 4- 20 mA - Tensión: 12 .. 35 V DC
DAQ USB 6008	<ul style="list-style-type: none"> - Resolución de 12 bits diferencial y 11 bits single-ended - Corriente máxima: 200 mA - 32 terminales

Además, para un mejor panorama eléctrico se establece el esquema eléctrico del control para la planta de nivel como se muestra en la **Figura 2**, que permite conocer el funcionamiento de la planta a escala de laboratorio y sus conexiones internas.

Figura 2

Esquema eléctrico de control para la planta de nivel

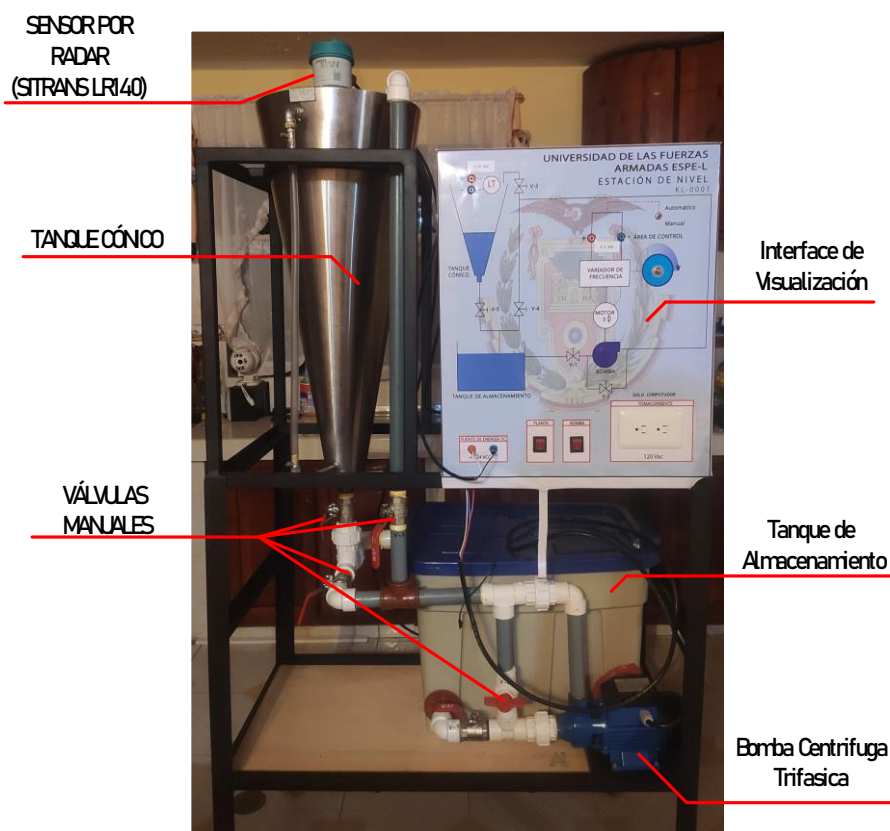


Nota. La figura representa el esquema eléctrico de control de nivel. Tomado de (Montaluisa K, Vargas L, 2023)

Finalmente se muestra la planta a escala de laboratorio que recientemente se adquirió para el curso de Control Inteligente de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE -Latacunga como se muestra en la **Figura 3**, la misma que es usada para aplicar el control difuso.

Figura 3

Planta del tanque cónico a escala de laboratorio



Nota. La figura representa la planta a escala de laboratorio. Tomado de (Montaluisa K, Vargas L, 2023)

Capítulo IV

Modelamiento del tanque cónico

En esta sección se describe el modelamiento matemático con presencia de perturbaciones obteniendo dos modelos del tanque cónico, el primero netamente matemático mientras que el segundo se obtiene mediante datos de entrada y salida recopilados de la planta real y aplicando sistemas de identificación. Es de relevancia obtener modelos que representen al proceso real ya que son usados en la interfaz.

Modelo matemático de un tanque cónico

En el modelo matemático del nivel de líquido de un tanque cónico se establece parámetros como se muestra en la **Tabla 4**, estos son los parámetros de los modelos fenomenológicos o matemático, que represente la dinámica del proceso mediante nomenclatura.

Tabla 4

Parámetros del tanque cónico del laboratorio de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Nomenclatura	Unidades	Descripción
R_{\max}	35cm	Radio mayor superior del cono
H_{\max}	70cm	Altura máxima del cono
F_{\max}	800LPH	Capacidad máxima de flujo
K_v	55cm ² / s	Constante de viscosidad Cinemática
$F_c(t)$	400LPH	Flujo de entrada
F	-	Flujo de salida
r	-	Radio del nivel del líquido
h	-	Nivel del líquido

Nomenclatura	Unidades	Descripción
h_c	70cm	Altura del vacio

Primero se asocia entradas y salidas atreves de un balance de materia como se observa en la **Ecuación 1**.

Ecuación 1

Balance de materia

$$\frac{d}{dt}(\text{Volumen Total} - \text{Volumen aire}) = F_c(t) - F$$

Luego, se usa el volumen del cono circular **Ecuación 2**, el volumen que ocupa el aire **Ecuación 3** y la diferencia de alturas con la **Ecuación 4**.

Ecuación 2

Volumen del cono circular

$$V_{Total} = \frac{1}{3} \pi R_{max}^2 H_{max}$$

Ecuación 3

Volumen del aire

$$V_{aire} = \frac{1}{3} \pi r^2 h_c$$

Ecuación 4

Diferencia de alturas

$$h_c = H_{max} - h$$

Reemplazando Ecuaciones 2, 3 y 4 en la Ecuación 1, obtendremos la **Ecuación 5**:

Ecuación 5*Balance de materia en términos globales*

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{3} \pi R_{\max}^2 H_{\max} - \frac{1}{3} \pi r^2 h_c \right) = F_c(t) - K_v \sqrt{h}$$

Usando semejanza de triángulo con un mismo ángulo, se relaciona el radio con el nivel.

Ecuación 6*Semejanza de triángulos*

$$r = \frac{R_{\max}}{H_{\max}} h$$

Ecuación 7*Área del cono*

$$A = \pi h^2 \left(\frac{R_{\max}^2}{H_{\max}^2} \right)$$

Reemplazando el valor de r y la **Ecuación 7** en la **Ecuación 5** se obtiene la **Ecuación**

8:**Ecuación 8***Modelo matemático no lineal*

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{F_c(t) - K_v \sqrt{h(t)}}{A}$$

Por lo tanto, el modelo matemático del tanque cónico es una ecuación no lineal

Ecuación 8 es por eso que la respuesta del proceso tiene una dinámica no lineal que resulta ser a difícil de controlar con métodos de control tradicionales. Cabe destacar que la no linealidad radica en la variación de los radios superior e inferior del cono por tal razón el modelo ira variando de acuerdo con altura y tiempo específico.

Modelo por identificación de sistemas

Para la obtención del modelo por función de transferencia a través de un modelo de identificación de sistemas se recopila datos de entrada y salida a lazo abierto de la planta a escala de laboratorio con un tiempo de muestreo de $T_s = 0,1$ [s], por medio del software de Matlab y la herramienta del Ident. Para obtener la función de transferencia que represente a la planta real se siguió el siguiente procedimiento:

1. Recopilación de datos a lazo abierto de la planta del tanque cónico
 2. Determinar variables tanto de entrada y de salida que contenga datos tomados a un tiempo de muestreo
 3. Uso de la herramienta del Ident de Matlab
 4. Uso de la herramienta Time-Domain Signal de Matlab para establecer las variables de entrada y salida anteriormente guardadas, así como el tiempo de muestreo
 5. Finalmente, se obtiene la FT mediante la herramienta Process Model de Matlab.
- Como se puede evidenciar en la **Ecuación 9** la FT es de primer orden con retardo en el tiempo donde k es ganancia del sistema, T_p constante del tiempo y L es el retardo del sistema, donde p es una constante de perturbación.

$$G(s) = \frac{k * e^{-Ls}}{1 + T_p s}$$

Ecuación 9

Función de transferencia que representa la dinámica del tanque cónico

$$G(s) = \frac{1.6181 * e^{-3s}}{1 + 30.195s} + p$$

Se concluye, que al establecer la Función de Transferencia que represente la dinámica del proceso de nivel del tanque cónico, obtengo un modelo que es de gran importancia para la implementación de métodos de control tanto tradicional como inteligente. Es importante destacar que este modelo de la **Ecuación 9** es una aproximación a la planta real.

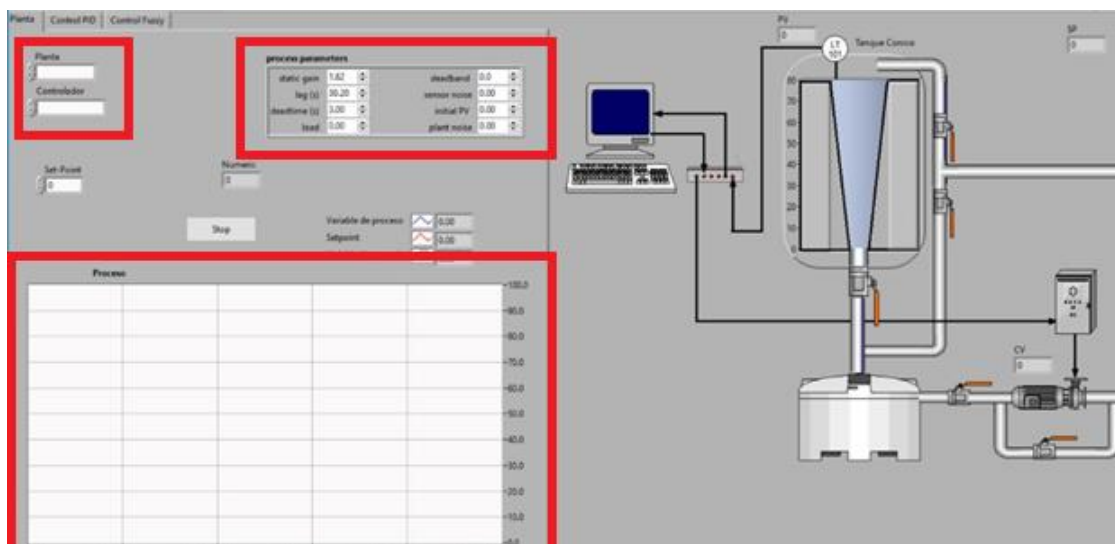
Capítulo V

Diseño de la interfaz para control del tanque cónico

En esta sección se describe el diseño de dos interfaces que permita interactuar al usuario en ámbitos como cambio de set point, parámetros de sintonía además muestra la respuesta de señales de control y la dinámica a tiempo real semejante con la planta a escala de laboratorio como se muestra en la **Figura 4**. La primera interfaz muestra el control tradicional, así como sus parámetros de control mientras que la segunda interfaz evalúa el comportamiento del control difuso.

Figura 4

Interfaz general del proceso



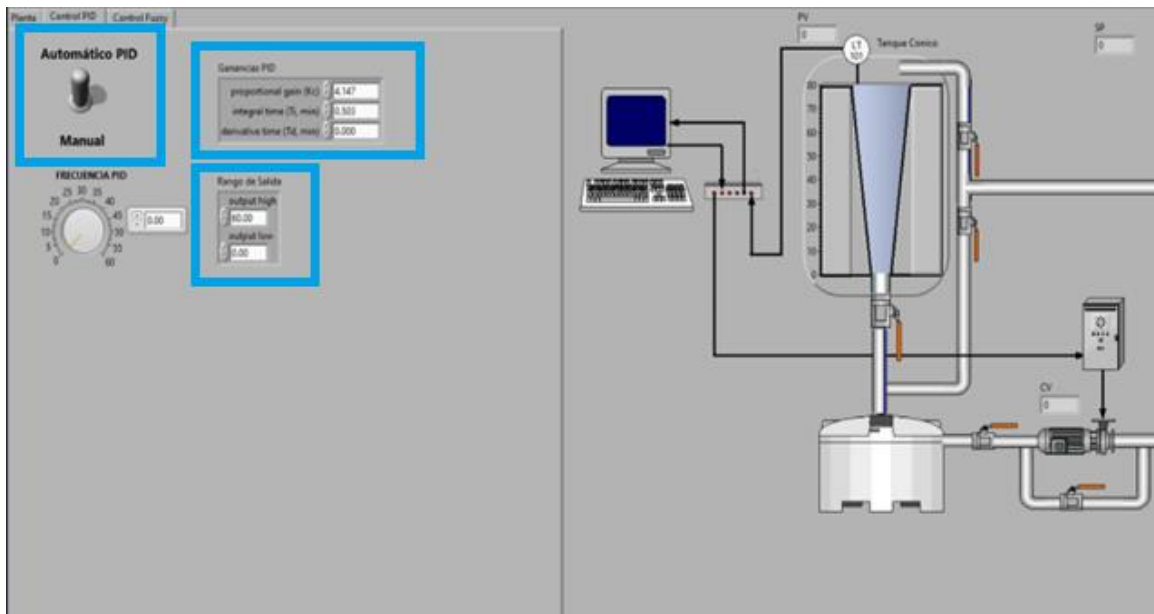
Nota. La figura representa el Interfaz principal del tanque cónico en LabVIEW

Interfaz para el control PI

En la **Figura 5** se muestra los componentes para configurar el control tradicional, parámetros como el bloque de las ganancias, un interruptor para cambiar la planta de un control manual a uno automático. Los parámetros son manipulados por el usuario de tal manera que permita una interacción dinámica con el proceso.

Figura 5

Interfaz del tanque cónico en LabVIEW para el control PI



Nota. La figura representa el Interfaz del tanque cónico en LabVIEW para el control PI.

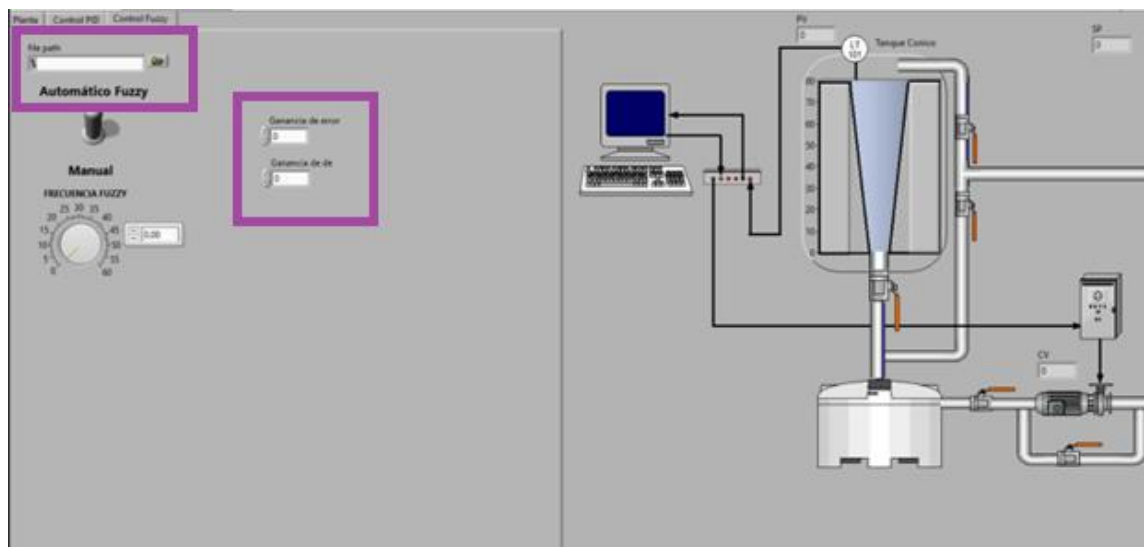
Interfaz para el control Difuso

En la **Figura 6**, se evidencia la interface realizada en el software de LabVIEW que para el desarrollo se necesitó de bloques específicos para el diseño del control difuso tales como:

- Bloque **file path** que permite cargar el archivo .fs de las reglas para el control difuso
- Bloque **Ganancias de error** en el cual se establece la constante para la sintonización
- Bloque **Ganancias de la derivada del error**, se ubica una constante derivativa para la sintonización

Figura 6

Interfaz del tanque cónico en LabVIEW para el control difuso



Nota. La figura representa el Interfaz del tanque cónico en LabVIEW para el control difuso

Capítulo VI

Diseño de algoritmos de control para el tanque cónico

En esta sección se diseña dos estrategias de control, una tradicional basada en PID y otro inteligente empleando un control difuso. Ambas técnicas de control son aplicadas para el control de nivel de la planta del tanque cónico a escala de laboratorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE- Latacunga, por medio de la interfaz en el software de LabVIEW que permita al usuario ubicar parámetros de control.

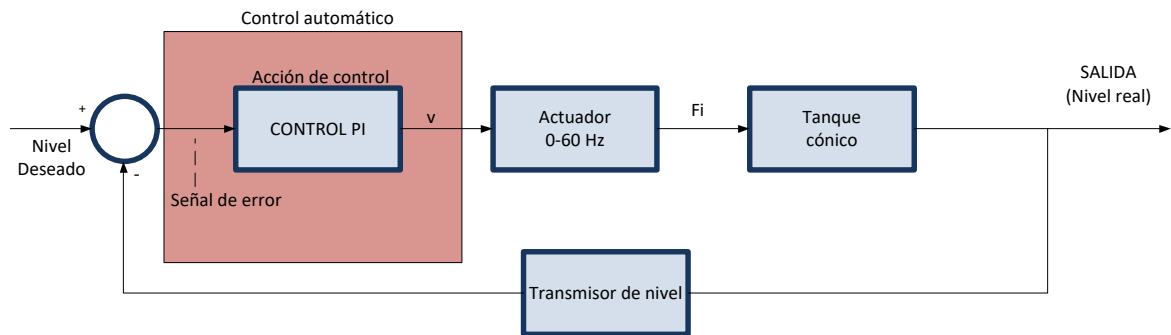
Diseño del control PI

El diseño del control PI se compone en determinar parámetros como, K_p = Ganancia proporcional T_i = tiempo integral (min) , y T_d = tiempo derivativo (min) y $u(t)$ = salida del controlador descrita en la **Ecuación 10**. Además, el control PI permite por medio del diagrama a lazo cerrado conocer el proceso y el control como se muestra en la **Figura 7**. En donde se evidencia una realimentación que asocia entrada y salida formando una señal de error que entra al control PI y limita acciones de control que se dirigen al variador de frecuencia que manipula el control de velocidad de bombeo, entrando al proceso para obtener el nivel deseado.

Ecuación 10

Salida del controlador

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{d(e(t))}{dt} \right]$$

Figura 7**Diagrama del Control PI – Lazo cerrado**

Nota. La Figura hace referencia al diagrama en bloques de la configuración del control PI

En la determinación de las constantes descritas en la **Ecuación 10**, la obtención de la función de transferencia de primer orden con retardo en el tiempo en la **Ecuación 9**, es relevante porque sus constantes permiten identificar las ganancias del control.

En técnicas de sintonía hay diversas para este tipo de comportamiento, sin embargo, la sintonía de Cohen Coon, proporciona mejores resultados.

Método de COHEN COON

$$G(s) = \frac{1.6181 * e^{-3s}}{1 + 30.195s}$$

$$L = 3$$

$$k = 1.6181$$

$$T = 30.195$$

- Determinar los parámetros a y τ , estos valores son fundamental para los cálculos del método a usar.

$$a = \frac{k * L}{T}$$

$$a = \frac{1.6181 * 3}{30.195}$$

Ecuación 11*Constante Alpha*

$$a = 0.1608$$

$$\tau = \frac{L}{L+T}$$

$$\tau = \frac{3}{3+30.195}$$

Ecuación 12*Constante Tao*

$$\tau = 0.0904$$

- Luego, con la **Ecuación 11** y **Ecuación 12** se establece los valores para las constantes proporcional e integrativo.

$$ak = 0.9 \left(1 + \frac{0.092\tau}{1-\tau} \right)$$

$$ak = 0.9 \left(1 + \frac{0.092(0.0904)}{1-0.0904} \right)$$

$$ak = 0.9082$$

$$k = \frac{0.9082}{0.1608}$$

Ecuación 13*Valor de la ganancia proporcional*

$$k = 5.6480$$

$$\frac{Ti}{L} = \frac{3.3 - 3.0\tau}{1 + 1.2\tau}$$

$$\frac{Ti}{L} = \frac{3.3 - 3.0(0.0904)}{1 + 1.2(0.0904)}$$

$$\frac{T_i}{L} = 3.1373$$

$$T_i = 3.1373 (3) = 9.412 \text{ (seg)}$$

Ecuación 14

Valor del tiempo integrativo

$$T_i = 0.1569(\text{min})$$

- Finalmente, con la **Ecuación 13 y Ecuación 14** se realiza una sintonía fina y en base a (Montaluisa K, Vargas L, 2023) se obtiene las **Ecuación 15 y Ecuación 16** que ayuda a obtener ganancias de control ideales mostrando respuestas eficientes tanto para el tiempo transitorio como el estacionario.

Ecuación 15

Ganancia proporcional por sintonía fina

$$K_p = 4.1468$$

Ecuación 16

Tiempo integral por sintonía fina

$$T_i = 0.50325(\text{min})$$

Diseño del control difuso

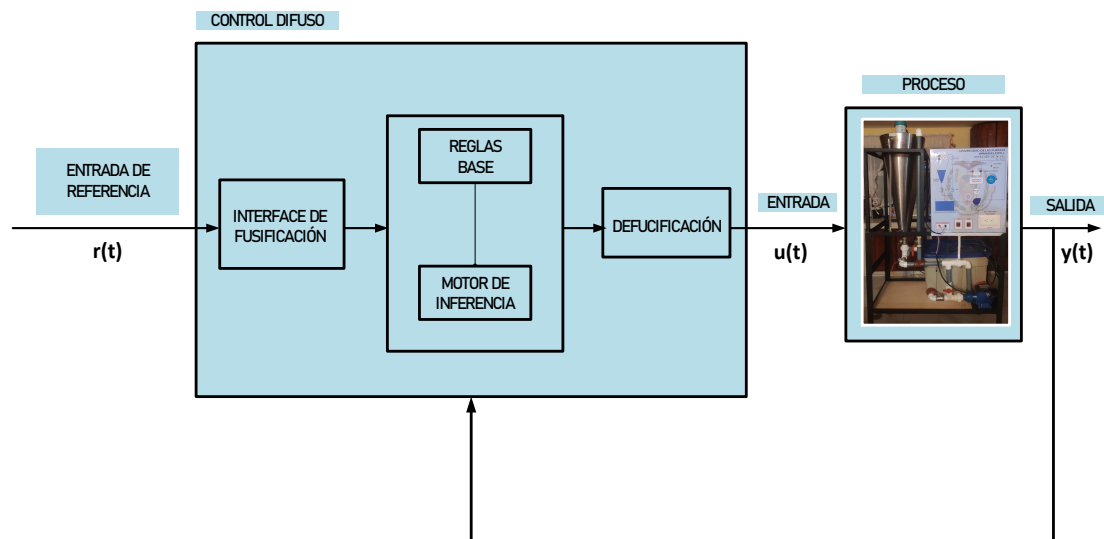
Para el diseño del controlador difuso se inicia en un razonamiento lógico y se asocia con la aplicación de acciones de lógica difusa. Industrialmente es utilizada por su principal ventaja que es realizar las acciones de control como un humano volviéndose simple de interpretar. La arquitectura del control difuso del tanque cónico se ejemplifica en la **Figura 8**, la misma muestra el proceso que realiza el control, inicia con una entrada $r(t)$ que entra a la etapa de fusificación ahí se designa rangos, numero de conjuntos difusos y variables lingüísticas, luego pasa a las reglas de conocimiento que de la mano del motor de inferencia internamente realiza operaciones que verifica la regla, define grados de pertenencia, y da respuesta difusa, luego

pasa a la defucificación que transforma el mundo difuso al mundo real, envía entradas denominadas $u(t)$ al sistema a controlar y realiza una realimentación.

La estructura del controlador a lazo cerrado se muestra en la **Figura 8** en donde se identifica los componentes del controlador difuso.

Figura 8

Diagrama del algoritmo de control difuso



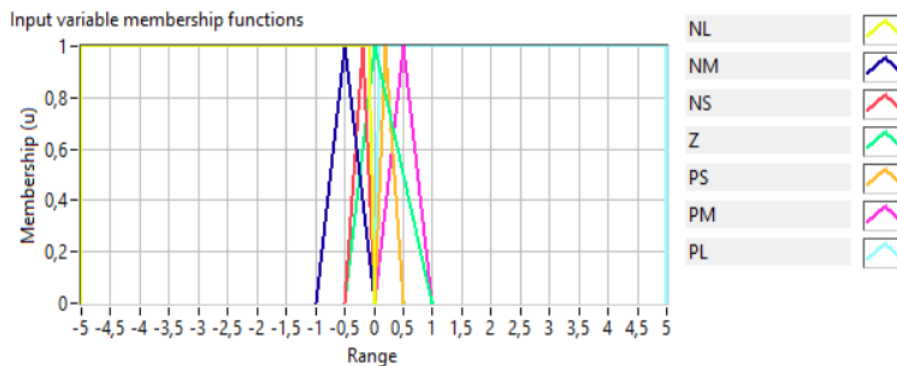
Al manipular un sistema no lineal como es el control del nivel del tanque cónico obtiene mejores resultados la aplicación del control difuso por esta razón, en el diseño del control difuso se estableció los siguientes pasos:

- **Definir I/O:** Se definieron 2 entradas y 1 salida, donde la primera entrada pertenece al error, la segunda entrada corresponde a la derivada del error y la salida del controlador es el voltaje del variador de frecuencia.
- **Función de membresía o Variables lingüísticas:** Se establece las funciones de membresía para la entrada y la salida, que constan de 7 funciones tanto a la entrada como la salida como se muestra en la **Figura 8**, **Figura 9** y **Figura 10**. Cabe destacar que según (C. Dinesh*, V. V. Manikanta, H. S. Rohini and K. R.

Prabhu, 2015) se toman los siguientes rangos de referencia: el rango de la entrada del error es de $[-5;5]$ mientras que para la entrada de la derivada del error es de $[-1;1]$ y para el rango de la salida se considera de $[0;5]$.

Figura 9

Función de membresía para la entrada de error



Las variables lingüísticas son:

NL = error negativo grande

NM = error negativo mediano

NS = error negativo pequeño

Z = no hay error

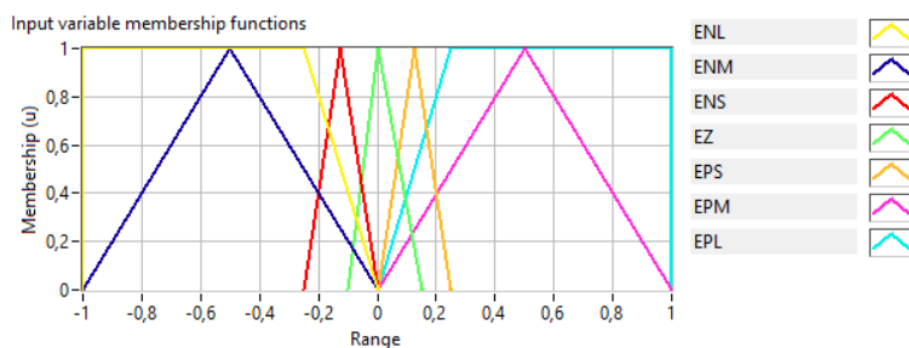
PS = error positivo pequeño

PM = error positivo mediano

PL = error positivo grande

Figura 10

Función de membrecía para la entrada de la derivada del error



Las variables lingüísticas son:

ENL = derivada del error negativo grande

ENM = derivada del error negativo mediano

ENS = derivada del error negativo pequeño

EZ = no hay derivada del error

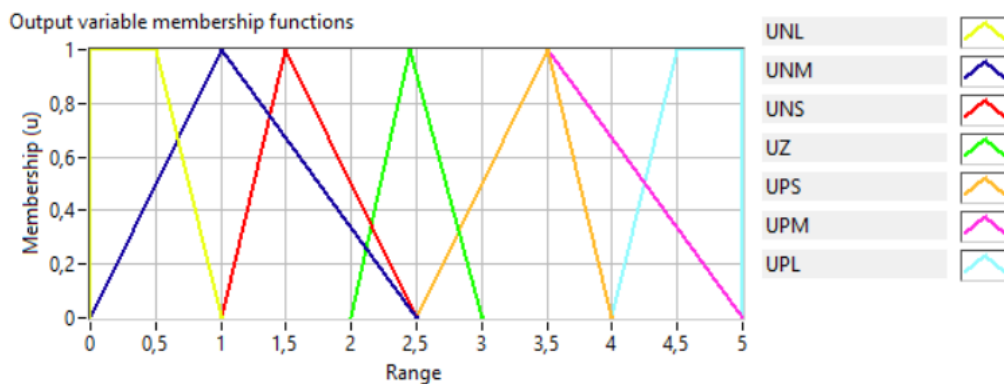
EPS = derivada del error positivo pequeño

EPM = derivada del error positivo mediano

EPL = derivada del error positivo grande

Figura 11

Función de membrecía de salida de error diferencial



Las variables lingüísticas son:

UNL = error negativo grande

UNM = error negativo mediano

UNS = error negativo pequeño

UZ = no hay error

UPS = error positivo pequeño

UPM = error positivo mediano

UPL = error positivo grande

- **Función de Pertenencia:** Fue considerada funciones típicas como es la trapezoidal y el método del centro de gravedad.
- **Base de conocimiento:** En esta etapa se establece las 49 reglas que va a suceder, las mismas usan la lógica de premisas y consecuencias basadas en las combinaciones posibles de entradas como se muestra en la **Tabla 5**. Cabe destacar que se obtiene 49 reglas debido a sus 7 funciones de membresía.

Tabla 5

Reglas de lógica difusa

<i>ce</i> \ <i>e</i>	<i>NL</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>Z</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PL</i>
<i>ENL</i>	UNL	UNL	UNB	UNM	UZ	UPM	UPL
<i>ENM</i>	UNL	UNL	UNB	UNM	UPS	UPM	UPL
<i>ENS</i>	UNL	UNL	UNM	UNS	UPS	UPM	UPL
<i>EZ</i>	UNL	UNM	UNS	UZ	UPS	UPM	UPL
<i>EPS</i>	UNL	UNM	UNS	UPS	UPM	UPL	UPL
<i>EPM</i>	UNL	UNM	UNS	UPM	UPL	UPL	UPL
<i>EPL</i>	UNL	UNM	UZ	UPM	UPL	UPL	UPL

Nota. Tomado de (C. Dinesh*, V. V. Manikanta, H. S. Rohini and K. R. Prabhu, 2015)

Capítulo VII

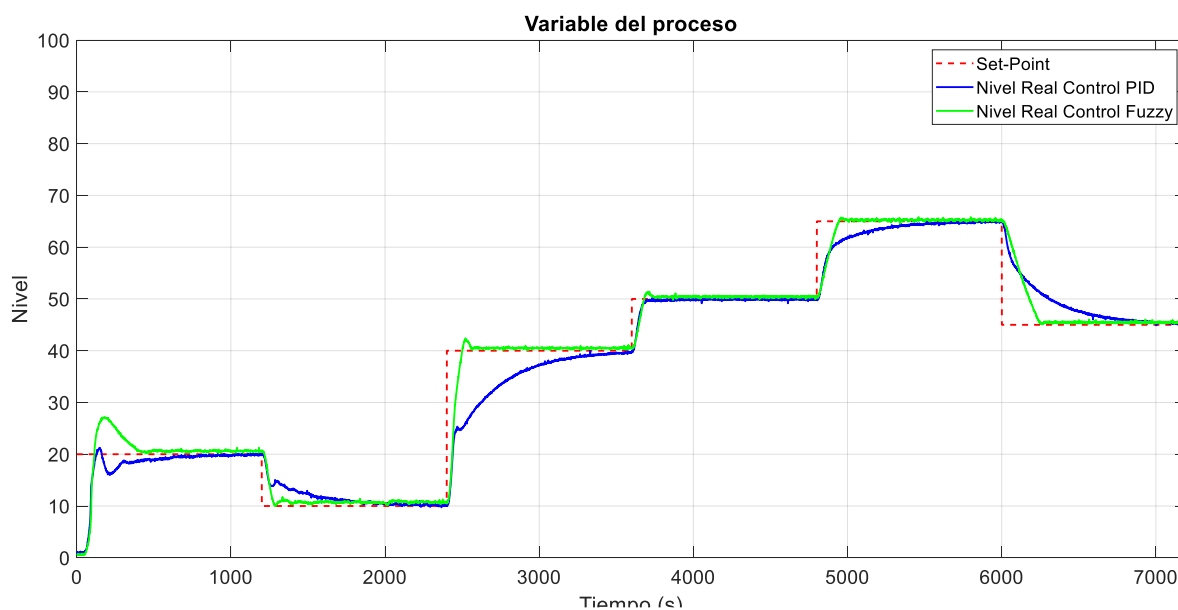
Resultados

Resultados Experimentales

En los resultados experimentales el análisis se realiza bajo la misma premisa, se designa cinco set point de diferentes rangos de tal manera que se conozca el comportamiento de la planta en diferentes consignas, estos cambios se realizan cada 1000 [s]. La **Figura 12**, representa la señal de la respuesta de la variable de proceso usando un control PI y un control difuso, como resultado obtenemos que la señal verde que representa el uso del control difuso llega a estabilizarse mucho más rápido y no presenta sobre impulso.

Figura 12

Comportamiento del proceso real para el control de nivel



Mientras, que en la **Tabla 6**, se evidencia que al implementar en la planta real el tiempo de establecimiento crece sin embargo el control difuso sigue siendo el mejor control, debido a su buen tiempo de subida, establecimiento y bajo sobre impulso a comparación del control PID. Por otro lado, las señales de las acciones de control demuestran que al usar un control difuso

suaviza las acciones de control lo que proporciona un mejor tratamiento a los elementos de control final, como se muestra en la **Figura 13**.

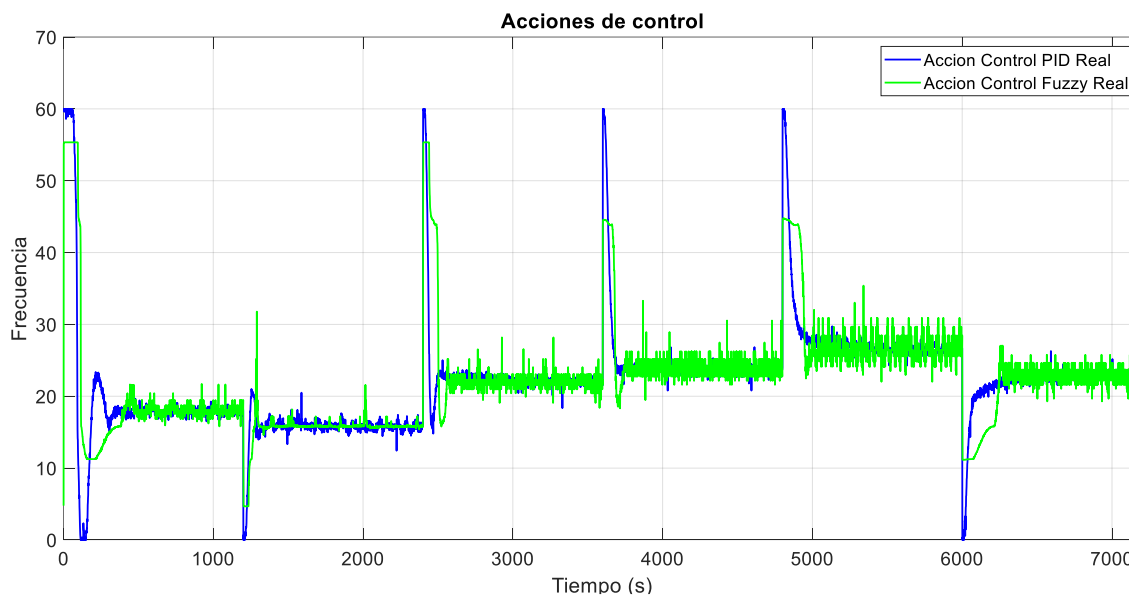
Tabla 6

Desempeño del sistema de nivel del tanque cónico real

MÉTODO	T_r (tiempo de subida) (s)	% de sobre impulsó	Tiempo de asentamiento (s)
Control PID (Real)	243.33	1.25 %	516.67
Control Difuso (Real)	98	5 %	190

Figura 13

Comportamiento de las acciones de control del proceso real para el control de nivel



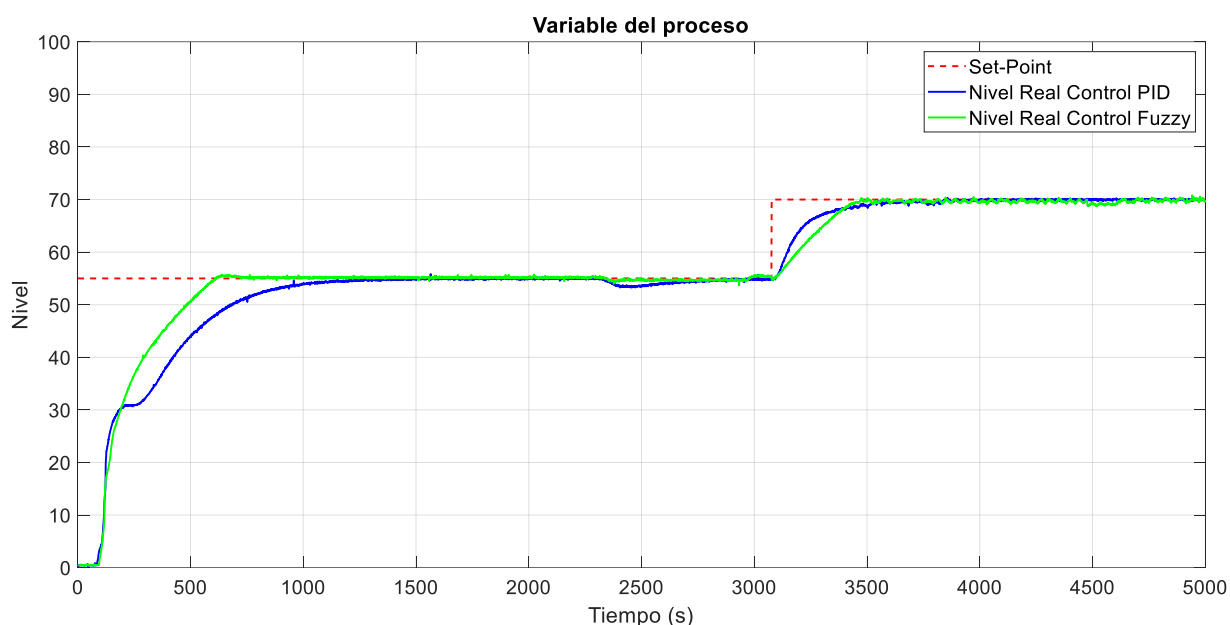
Resultados experimentales ante perturbaciones

La respuesta frente a perturbaciones de un sistema frente a perturbaciones es fundamental, ya que proporciona la robustez del control, partiendo de ello se establece el análisis de los resultados realizando una apertura de la válvula manual del 50 %, específicamente la válvula V-5 especificada en el diagrama P&ID, con la finalidad de realizar un análisis que enfoque dos parámetros y su relación entre ellos: apertura de válvula vs

comportamiento de la salida. La **Figura 14**, muestra el comportamiento ante perturbaciones con el uso del control PI y el control difuso, se nota que en los 2450 [s] cambia la consigna y se aplica la perturbación, mostrando que el control difuso responde rápidamente. Mientras que las acciones de control representada en la **Figura 15**, muestra señales estables en el tiempo estacionario al usar un control difuso.

Figura 14

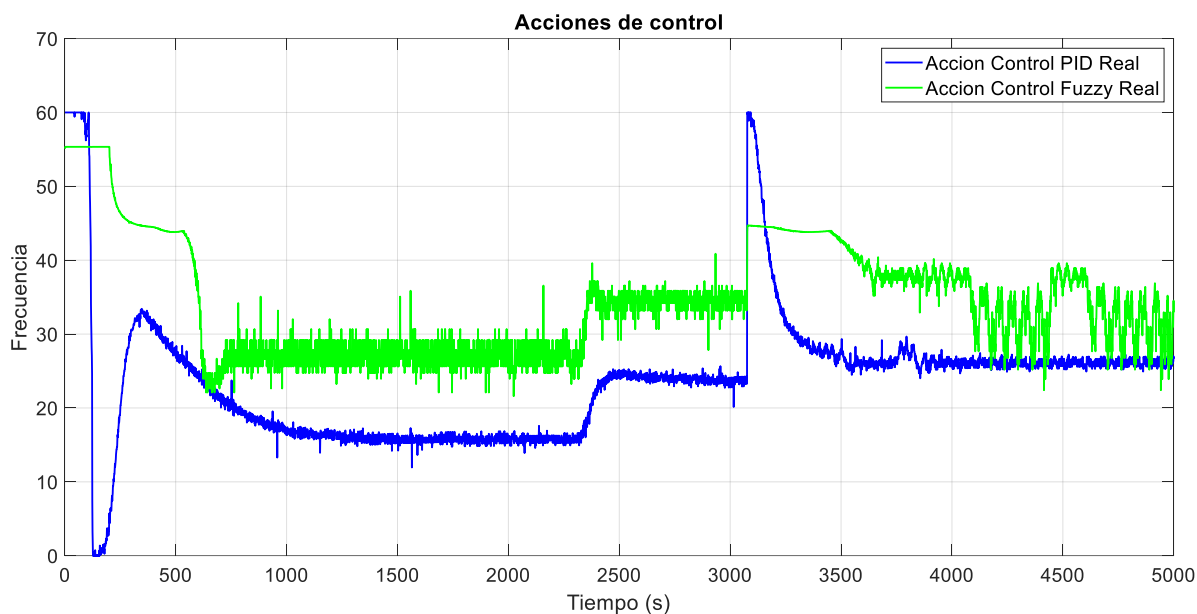
Señal de la variable del proceso experimental ante perturbaciones



Nota. La figura representa comportamiento del PV ante perturbaciones.

Figura 15

Señal de las acciones de control ante perturbaciones



Nota. La figura representa comportamiento de las acciones de control ante perturbaciones.

En la **Tabla 7**, se realiza el análisis del tiempo de establecimiento al aplicar una nueva consigna y una perturbación a la planta, resultando un mejor comportamiento en el momento de compensar usando el control difuso, ventaja que se obtiene al usar un control avanzado.

Tabla 7

Desempeño del control a la planta del tanque cónico ante perturbaciones

MÉTODO	Tiempo de asentamiento (s)
CONTROL PI	700 s
CONTROL DIFUSO	450 s

Capítulo VIII

Conclusiones y Recomendaciones

Se valida la interfaz programada en LabVIEW donde la dinámica del proceso a escala de laboratorio puede verse reflejado a tiempo real en el software desde animaciones de la planta y elementos de control final hasta el comportamiento de las señales con la adquisición de datos reales. En consecuencia, al obtener una interfaz en un programa accesible tanto para la industria como universidades resulta ser un beneficio que engloba como primer punto al estudiante que le permite adquirir nuevos conocimientos de control inteligente y aplicación a plantas altamente no lineales, mientras que la industria obtiene una guía de control inteligente en un software libre que puede aplicar a su proceso.

El uso del control difuso es uno de los controladores inteligentes más usados en la industria debido a su excelente desempeño y su interpretación lógica, la lógica para la creación del control Fuzzy es basada en la lógica humana es por eso que las reglas de lógica difusa se establecen de acuerdo con la dinámica del proceso, rangos de trabajo del variador de frecuencia y del error que queremos obtener. En síntesis, para el control eficiente del tanque cónico a escala de laboratorio las 7 variables lingüísticas con sus 49 reglas son suficientes para el control adecuado de la variable de nivel proporcionando una respuesta rápida ante cambio de consigna originando excelentes tiempos de asentamiento en comparación a un control tradicional, hasta obtiene mejor comportamiento que otro control avanzado.

Como resultado, del diseño e implementación de un algoritmo de control difuso y un tradicional PI para el control de nivel de la planta a escala del tanque cónico se obtiene que el control difuso muestra un buen desempeño ante cambios de consigna ya que tiene rápido tiempo de subida 98 [s] y tiempo de establecimiento 190 [s] que resulta ser la mitad del tiempo que tarda la señal de la variable del proceso obtenida al aplicar un control PI. Por otro lado, las acciones de control se estabilizan rápidamente al usar un control difuso esto permite el no sobrecarga a los actuadores.

El control difuso ante perturbaciones es robusto, es decir al momento que se estableció la perturbación con la apertura de la V-5 al 50% el control PI tarda en recuperar el establecimiento, mientras que el control Fuzzy rápidamente se establece en un tiempo aproximadamente la mitad del control tradicional.

El contar con la planta del tanque cónico a escala de laboratorio, permitió que este trabajo de investigación sea accesible en la realización de múltiples prácticas e investigación de nuevos métodos de control avanzado permitiendo llevar los conocimientos teóricos del control difuso y ser aplicados en la planta real. Por ende, se define como trabajo futuro la implementación de nuevos controles inteligentes como el control neuronal, control neuro – difuso que permitan una comparación con los controles actualmente implementados en la práctica.

Las aportaciones del trabajo de investigación realizado engloban los siguientes parámetros: i) Proporcionar una interfaz en un software que permita al estudiante disponer del control de la planta de manera interactiva e intuitiva para mejorar las prácticas, ii) Presentar un nuevo criterio de control inteligente que garantice un eficiente desempeño del control de nivel de la planta del tanque cónico.

Bibliografía

- Acura, G. (16 de 04 de 2021). *GRUPO ACURA*. Obtenido de GRUPO ACURA:
<https://grupoacura.com/es/blog/tanques-de-almacenamiento/>
- C. Dinesh*, V. V. Manikanta, H. S. Rohini and K. R. Prabhu. (Enero de 2015). Real Time Level Control of Conical Tank and Comparison of Fuzzy and Classical Pid Controller. *Indian Journal of Science and Technology*, Vol 8(S2), 5. doi:10.17485/ijst/2015/v8iS2/58407
- G.Sreenivasulu, N. y. (2016). Comparison of PI Controller Performances for aConical Tank Process using different tuning methods. *IEEE*, 4. doi:10.1109/ICAEE.2014.6838426
- George, M. A. (2020). An Optimized Fractional-Order PID (FOPID) Controller for a Non-Linear Conical Tank Level Process. In 2020 IEEE Applied Signal Processing Conference (ASPCON). En IEEE.
- Ina Rose, B. T. (s.f.). Intelligent Controllers for Conical Tank Process. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)* Vol, 3.
- K Ashutha, Eadala Sarath Yadav, Thirunavukkarasu Indiran, Shreesha.C. (2017). Implementation of Fuzzy Control for a Nonlinear System - Conical Level Process. *9th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE), Phuket, Thailand*, 4. Obtenido de 10.1109/ICITEED.2017.8250455
- Mercy, D. &. (2017). An algorithmic approach based pso-pid tuning of a real time conical tank process used in waste water treatment. In 2017 International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC). En IEEE.
- Montaluisa K, Vargas L. (agosto de 2023). *Repositorio ESPE*. Obtenido de Repositorio ESPE:
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/37175>
- Omran, H. M.-h. (2018). An Intelligent Controller of Nonlinear Conical Tank Water Level System. The Academic Research Community publication.
- Saravanakumar, G. D. (2017). "Controller tuning method for non-linear conical tank system". En *Asian Journal of Applied Science and Technology (AJAST)* (págs. pp. 224-228).

Thara Nk, S. M. (2018). Control Schemes For a Nonlinear Conical tank System. *International Conference on Control, Power, Communication and Computing Technologies (ICCPCT)*, 4. doi:10.1109/ICCPCT.2018.8574267

Warier, S. R. (2012). Design of Controllers based on MPC for a Conical Tank System. In IEEE-International Conference On Advances In Engineering, Science And Management (ICAESM-2012). En IEEE.

Anexos