



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Implementación de un controlador difuso en la estación de presión para prácticas
de control de procesos en el laboratorio de Instrumentación Virtual**

Lema Changoluisa, Washington Danilo

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Tecnología en Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica

Monografía, previo a la obtención del título de Tecnólogo en Electrónica Mención
Instrumentación y Aviónica

Ing. Sandoval Vizúete, Paola Nataly

4 de Septiembre del 2020



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“Implementación de un controlador difuso en la estación de presión para prácticas de control de procesos en el laboratorio de instrumentación virtual”**, fue realizado por el señor **Lema Changoluisa, Washington Danilo** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 04 de septiembre del 2020

Firma:

Ing. Sandoval Vizuite, Paola Nataly.

C.C.: 0503254005

REPORTE DE VERIFICACIÓN



Document Information

Analyzed document	TESIS_LEMA_WASHINGTON.pdf (D78517856)
Submitted	9/2/2020 11:26:00 PM
Submitted by	
Submitter email	wdlema1@espe.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	pnsandoval.espe@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	MONOGRAFIA CONTROL PID.docx Document MONOGRAFIA CONTROL PID.docx (D63482012)		1
W	URL: https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/46285/3560901063438UTFSM.pdf?seq ... Fetched: 7/14/2020 9:31:58 AM		2
W	URL: https://www.isamex.org/intechmx/index.php/2018/12/24/conceptos-basicos-sistemas-de ... Fetched: 9/2/2020 11:27:00 PM		1
W	URL: https://riinet.upv.es/handle/10251/142644 Fetched: 9/2/2020 11:27:00 PM		1
SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / TESIS_Diego Pacheco_ene 2019.docx Document TESIS_Diego Pacheco_ene 2019.docx (D47118837) Submitted by: wesanchez@espe.edu.ec Receiver: wesanchez.espe@analysis.orkund.com		1
W	URL: https://sites.google.com/site/picuino/pid_controller?tmpl=%252Fsystem%252Fapp%252F ... Fetched: 9/2/2020 11:27:00 PM		1
W	URL: https://docplayer.es/amp/153266540-Universidad-politecnica-salesiana-sede-cuenca.html Fetched: 12/4/2019 8:18:34 AM		3
W	URL: https://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html Fetched: 9/2/2020 11:27:00 PM		1
W	URL: https://makinandovelez.wordpress.com/2018/03/04/diferencias-entre-un-sistema-de-co ... Fetched: 9/2/2020 11:27:00 PM		1
W	URL: http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/10160 Fetched: 9/2/2020 11:27:00 PM		1

Ing. Sandoval Vizuete, Paola Nataly.



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Lema Changoluisa, Washington Danilo**, con cedula de ciudadanía n° 0503642449, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Implementación de un controlador difuso en la estación de presión para prácticas de control de procesos en el laboratorio de instrumentación virtual**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 04 de septiembre del 2020

Firma:

Lema Changoluisa, Washington Danilo

C.C.: 0503642449



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **LEMA CHANGOLUISA WASHINGTON DANILO**, con cedula de ciudadanía n° 0503642449, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Implementación de un controlador difuso en la estación de presión para prácticas de control de procesos en el laboratorio de instrumentación virtual”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 04 de Septiembre del 2020

Firma:

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Lema Changoluisa', is written above a horizontal line.

Lema Changoluisa, Washington Danilo

C.C.: 0503642449

DEDICATORIA

Este presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por haberme brindado salud y vida permitiéndome llegar hasta este momento muy importante de mi formación como profesional.

A mis padres y hermanos quienes con sus palabras y consejos de aliento llegaron hacer de mí una persona mejor ya que de una u otra manera me han acompañado en todos mis sueños y metas.

A los docentes de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE", quienes supieron impartir con firmeza, dedicación y responsabilidad todos sus conocimientos obtenidos.

AGRADECIMIENTO

A mis maestros de estudio quienes me han visto crecer como persona y ser humano, y gracias a sus conocimientos impartidos han logrado formar un profesional de excelencia. De manera especial quiero agradecer a mi tutora de tesis ing. Paola Sandoval, que gracias a sus enseñanzas y consejos brindados logre culminar este trabajo.

A mi padre Arsenio L. y en especial a mi madre María Ch. fallecida quienes me llenan de fuerzas y aliento para poder seguir luchando por mis sueños y anhelos que hoy se ven cumplidos.

A mi novia Marilyn Y. por brindarme su cariño y apoyo incondicional, haciendo de mí una persona mejor durante todo este proceso de formación como profesional.

A mis amigos y compañeros de la Carrera con quienes compartimos distintos momentos de alegría y de tristeza, por llenarnos de motivación y brindarnos apoyo mutuo entre nosotros.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARATULA	1
CERTIFICACIÓN.....	2
REPORTE DE VERIFICACIÓN	3
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA	4
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTO	7
ÍNDICE DE CONTENIDO	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	12
ÍNDICE DE FIGURAS.....	13
RESUMEN.....	15
ABSTRACT.....	16
 CAPITULO I	
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Antecedentes.....	17
1.2. Planteamiento del problema.....	17
1.3. Justificación	18
1.4. Objetivo general.....	19
1.5. Objetivos específicos	19
1.6. Alcance.....	19

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Control de procesos.....	21
2.1.1 Definición	21
2.1.2 Sistema de control de lazo abierto	21
2.1.3 Sistema de control de lazo cerrado	22
2.1.4 Características del sistema de lazo abierto y lazo cerrado	23
2.1.5 Elementos finales de control.....	23
2.1.6 Elementos básicos de un controlador.....	24
2.1.7 Funciones de los elementos básicos de control	24
2.1.8 Tipos de controles de procesos.....	25
2.2. Control Fuzzy.....	28
2.2.1 Definición y Características	28
2.2.2 Conjuntos Difusos	29
2.2.3 Operaciones Difusas	30
2.2.4 Variables Lingüísticas.....	32
2.2.5 Funciones de Membresía	32
2.2.6 Inferencia Difusa	33
2.2.7 Partes básicas de un controlador difuso.....	33
2.3. Control Difuso para presión.....	34
2.4. Controlador Lógico Programable (PLC)	35
2.4.1 Definición	35
2.4.2 Estructura Externa e Interna del PLC	35
2.5. PLC S7 300	37
2.5.1 Definición	37

	10
2.5.2 Características	37
2.5.3 Configuración modular del S7-300	37
2.5.4 Composición de los módulos.....	38
2.5.5 Programación básica en el PLC S7-300.....	39
2.6. SOFTWARE LabVIEW.....	39
2.6.1 LabVIEW en la Ingeniería.....	40
2.6.2 Entorno de LabVIEW.....	40
2.7. TÍA PORTAL V15.....	40
2.8. NetToPLCSim.....	41
2.9. NI OPC Server.....	42

CAPITULO III

3. DESARROLLO

3.1. Descripción del proceso.....	43
3.2. Diseño del P&ID con el uso del PLC S7-300 y el Software TÍA PORTAL V14.....	44
3.3. Declaración de las variables PLC en el Software TÍA PORTAL	45
3.4. Simulación virtual del PLC S7-300.....	46
3.5. Simulación del HMI en WinCC	46
3.6. Habilitación del puerto 102 con el NetToPLCSim.....	47
3.7. Declaración de los Tags en NI OPC Server	48
3.8. Programación del control difuso en LabVIEW	50
3.9. Aplicación de los Tags en la programación del Software Labview tomada como referencia para el control.	52

3.10. Acondicionamiento de la señal de lectura y escritura 53

3.11. Simulación completa del programa 55

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones 57

4.2. Recomendaciones 57

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 58

ANEXOS 60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diferentes tipos de controles de procesos	25
Tabla 2. Descripción matemática del conjunto difuso	30
Tabla 3. Operaciones Difusas Básicas	31
Tabla 4. Clasificación de la estructura externa e interna del PLC	35
Tabla 5. Composición de los módulos del PLC S7-300	38
Tabla 6. Elementos básicos para la programación difusa	50
Tabla 7. Variables lingüísticas difusas	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de control de lazo abierto.....	22
Figura 2. Sistema de control de lazo cerrado.....	22
Figura 3. Características del sistema de control lazo abierto y lazo cerrado	23
Figura 4. Convertidor electro neumático y posicionador neumático	24
Figura 5. Funciones de los elementos de control básicos.....	25
Figura 6. Mapa Conceptual, Lógica Difusa	29
Figura 7. Conjuntos Difusos para la variable lingüística Presión.....	30
Figura 8. Operaciones lógicas en conjuntos difusos	31
Figura 9. Funciones de membresía más comunes	32
Figura 10. Control Difuso.....	33
Figura 11. Fórmula correspondiente a la relación de corriente/presión	34
Figura 12. Método fusificación	34
Figura 13. Estructura básica de un PLC	36
Figura 14. PLC S7-300.....	37
Figura 15. Software LabVIEW.	40
Figura 16. TÍA PORTAL.....	41
Figura 17. Conexión del NetToPLCSim como un Sistema SCADA.....	41
Figura 18. Comunicación entre LabVIEW y PLC's mediante OPC.....	42
Figura 19. Diagrama de bloques de proceso	43
Figura 20. Diseño del P&ID en el Software TÍA PORTAL	44
Figura 21. Tabla de variables PLC.	45
Figura 22. Simulación virtual del PLC S7-300.....	46
Figura 23. Simulación del HMI.....	47
Figura 24. Habilitación del puerto 102 con el programa NetToPLCSim.	48
Figura 25. Declaración de los Tags en el NI OPC Servers	49
Figura 26. Lectura de datos en el OPC Quick Client.....	50
Figura 27. Ubicación de los Tags (SET POINT y PV) en el Software LabVIEW	53

Figura 28. Acondicionamiento de la señal de entrada y salida	54
Figura 29. Implementación de leds de aviso.....	55
Figura 30. Simulación del control difuso de presión	56

RESUMEN

En el presente proyecto se presenta una simulación para el control de una estación de presión a través del método de control difuso el cual fue programado en el Software LabVIEW con el objetivo de obtener un control eficiente y que proporcione seguridad si se desea aplicar en una estación de control real. Tiene como finalidad sustituir el método de control tradicional PID por un método de control más sofisticado debido a que presenta mejoras durante el tiempo de respuesta de control para lo cual ha sido diseñado. También presenta el modo de simulación y comunicación virtual que se puede realizar a través del uso de diferentes Softwares de programación como por ejemplo la comunicación entre Software LabVIEW y TÍA PORTAL utilizando programas de comunicación como pueden ser el OPC SERVER y el NetToPLCSim que facilitarían la toma de datos ya sea durante la simulación o en una práctica en tiempo real Este tipo de control simulado pretende impulsar a que en un futuro los estudiantes de las distintas carreras técnicas puedan mejorar su funcionamiento y entender de una mejor manera de cómo está desarrollado el programa a través de las horas de prácticas que se realizan en estaciones reales de los laboratorios que posee cada carrera.

PALABRAS CLAVE:

- **Control Sofisticado**
- **Software de comunicación**
- **Simulación virtual**

ABSTRACT

This project presents a simulation for the control of a pressure station through the fuzzy control method which was programmed in the LabVIEW software with the aim of obtaining an efficient control that provides security if you want to apply it in a real control station. It aims to replace the traditional PID control method by a more sophisticated control method because it has improvements during the control response time for which it has been designed. It also presents the mode of simulation and virtual communication that can be made through the use of different programming software such as communication between LabVIEW software and TIA PORTAL using communication programs such as OPC SERVER and NetToPLCSim that would facilitate the collection of data either during simulation or in a practice in real time. This type of simulated control is intended to encourage students from different technical careers in the future to improve their performance and better understand how the program is developed through the hours of practice that are performed in real stations in the laboratories that each career has.

KEY WORDS:

- **Sophisticated Control**
- **Communication software**
- **Virtual simulation**

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Los cambios tecnológicos experimentados por la industria en los últimos años están relacionados con el desarrollo de la automatización, lo que ha permitido mejorar los procesos e identificar errores facilitando la comprensión y a su vez presentado soluciones de la misma.

Criollo Ayala, (2015) presenta en tesis el “Diseño e Implementación de un controlador difuso tolerante a falla, aplicado al control de nivel de líquido” el enfoque del análisis fue realizado mediante el método de *gain scheduling*, lo cual es utilizado para realizar el control de nivel de estaciones de trabajo, mediante simulaciones haciendo que sea idéntica a una planta de control real, por lo cual se pudo determinar el análisis comparativo entre controladores clásicos (PID) y modernos (FUZZY) distinguiendo la supremacía existente entre ambos.

(Constante & Calle, 2018) con su tema “Diseño e implementación de controladores PID y FUZZY para la planta de almacenamiento automático del sistema Festo MPS500 en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil”, este proyecto aplica los métodos de PID y FUZZY en dos motores DC, cuyo objetivo es el análisis en el que tardan los controladores en reaccionar a dicho control y poder verificar que tipo de controlador es mejor en base al tiempo de respuesta del control en donde se aplicó una serie de datos simulados y reales generando respectivas comparaciones a través de un Software.

1.2. Planteamiento del problema

La Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” cuenta con docentes capacitados y con laboratorios adecuados para la realización de las prácticas,

permitiendo instruir a sus estudiantes en base a su ética profesional dando como resultados profesionales de calidad, sin embargo, la demanda del uso del laboratorio de control de procesos debido a la elevada cantidad de estudiantes presenta como resultado la inexperiencia y el poco conocimiento que se obtiene sobre el manejo de las diferentes estaciones, así como el deterioro acelerado de los componentes de las mismas.

La finalidad del laboratorio de control de procesos es complementar el conocimiento adquirido de manera teórica durante las clases, con prácticas aplicativas, tomando en cuenta que dichas prácticas deben ser eficientes, confiables, productivas y seguras. Sin embargo, no se dispone de una estación de presión, lo cual ocasiona que los estudiantes no logren familiarizarse con el campo laboral actual.

1.3. Justificación

El presente proyecto se lo realiza debido a la insuficiencia de equipos para el desarrollo de las prácticas que se realiza en el laboratorio de Instrumentación Virtual, por lo que se empieza a mitigar con la implementación de una estación de presión, debido a que el campo de Automatización y control de Procesos ha desempeñado una función vital en el avance de la tecnología y la ciencia, por lo cual los fundamentos teóricos, sistemáticos y su integración con el manejo de la estación de presión son esenciales para el desarrollo posterior de una buena práctica.

Con la implantación de la estación de presión se reduciría el número de estudiantes en el momento de formar grupos de trabajo en el laboratorio, los cuales podrán realizar prácticas de análisis de la dinámica del sistema para conocer el comportamiento de la estación. De igual manera se podrá analizar la respuesta ante un escalón de entrada donde se observa el comportamiento no lineal del sistema. Logrando que cada estudiante pueda manejar la estación de manera más continua y

como resultado cada uno de ellos obtendrá conocimientos nuevos y mejorados lo cual le servirá para su desenvolvimiento en su ámbito laboral.

Por esta razón es necesario la implementación de una estación de presión aplicando un control fuzzy, permitiendo que los estudiantes puedan obtener conocimientos necesarios además de que se familiaricen con la estación, mismo que a nivel profesional brindará oportunidades de liderazgo.

1.4. Objetivo general

Implementar un controlador difuso en la estación de presión mediante Labview y el PLC S7 300 para prácticas de control de procesos en laboratorio de Instrumentación Virtual.

1.5. Objetivos específicos

- Diseñar e implementar una estación de presión para las prácticas de control de procesos.
- Desarrollar el algoritmo de control difuso mediante el PLC S7 300 y el Software Labview.
- Sintonizar las reglas difusas y modificar los conjuntos de entrada/salida para lograr la estabilidad y la adaptabilidad del proceso.

1.6. Alcance

El presente proyecto se implementará en el Laboratorio de instrumentación virtual de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE con fines educativos, el cual permitirá que los estudiantes de la carrera Automatización e Instrumentación logren obtener nuevas experiencias y conocimientos durante las prácticas realizadas en la estación de presión implementada.

Este proyecto tiene como finalidad realizar el control y monitoreo continuo mediante la implementación de un controlador difuso en la estación de presión, en

donde los estudiantes realizarán simulaciones las cuales servirán para elaborar una guía de estudio de la estación implementada. Podrán familiarizarse con los elementos con los cuales ha sido implementados la estación como el lazo de control retroalimentado; en el mismo se observará la estación formada por el tanque de suministro, la tubería, los codos y las válvulas de paso, los elementos de medición como el tubo Venturi y el rotámetro, un transmisor de presión diferencial que provee una señal de salida de 4 a 20 mA.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Control de procesos

2.1.1 Definición

El Control de procesos, es la habilidad que permite medir, grabar y controlar una variable producida en la industria durante la fabricación o desarrollo de un producto reduce al mínimo los riesgos laborales, los costos de operación, las emisiones de la planta. (Medrano, 2017)

Un control de procesos industriales puede ser de distinta naturaleza, pero por lo general se consideran los aspectos más comunes, como el control de algunas magnitudes tales como: la temperatura, la presión, el flujo, nivel. La mayor parte de los procesos que se controlan en la actualidad requiere de un sistema de control automático el cual es capaz de manejar el funcionamiento correcto, este tipo de control se ha ido integrando en los distintos procesos industriales. (Pardo, 2018)

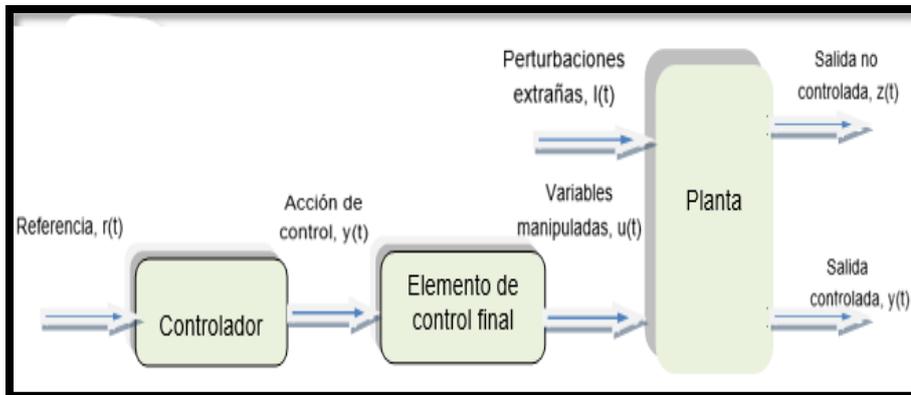
(Quispe, 2018) menciona que “con el pasar del tiempo los sistemas manuales han sido mejorados y reemplazados por sistemas sofisticados haciéndolos más precisos y rápidos a todos los equipos no solo en el ámbito de productos o insumos domésticos, sino que también a nivel industrial a gran escala”, por lo cual surge la necesidad de controlar múltiples sistemas y mecanismos cada vez más complejos, pero a su vez mejora la calidad de vida de las personas.

2.1.2 Sistema de control de lazo abierto

Un sistema de lazo abierto es aquel en donde la salida de control obtenida (variable controlada) no tiene acción de control (variable de control). Es decir que no puede ser comparada la salida del sistema con el valor de referencia deseado como se observa en la figura 1. (Adam, 2020)

Figura 1

Sistema de control de lazo abierto.



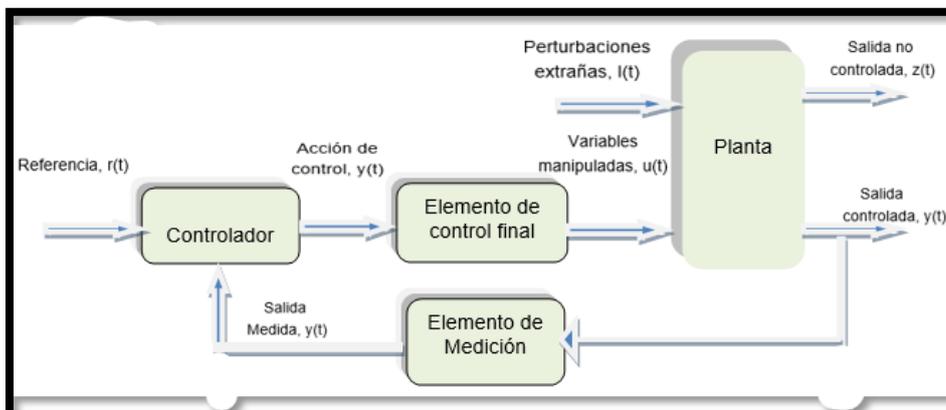
Nota: Diagrama de sistema de control de lazo abierto. Tomado de Instrumentación y Control de Procesos.(Adam, 2020)

2.1.3 Sistema de control de lazo cerrado

Según, (Alexander F., 2016) añade que “ un control de lazo cerrado es aquel en donde la señal de salida del sistema tiene efecto sobre la acción de control”, es decir que tiende a mantener el valor de salida con respecto al valor de referencia de entrada. En la figura 2 podemos observar un bloque de control de lazo cerrado más simple.

Figura 2

Sistema de control de lazo cerrado.



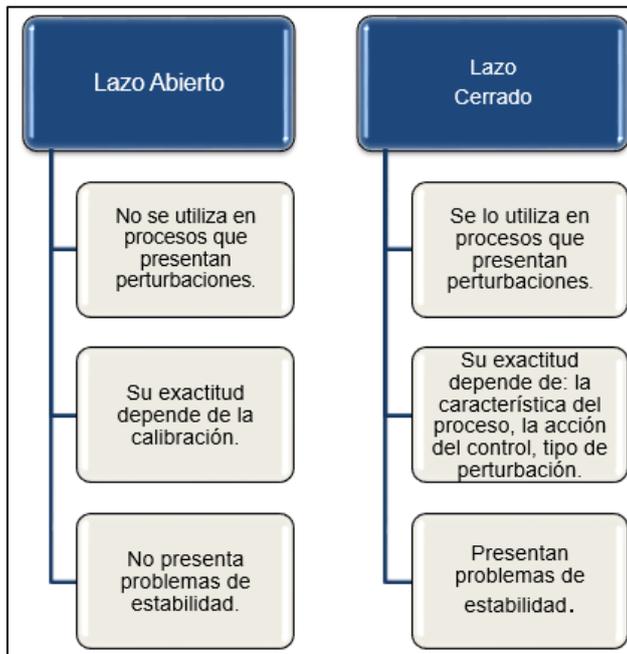
Nota: Diagrama de sistema de control de lazo cerrado. Tomado de Instrumentación y Control de Procesos. (Adam, 2020)

2.1.4 Características del sistema de lazo abierto y lazo cerrado

En la figura 3 se detallan algunas de las características principales del sistema de control de lazo abierto y lazo cerrado.

Figura 3

Características del sistema de control lazo abierto y lazo cerrado.



Nota: Diferencias del sistema de control de lazo abierto y cerrado. Tomado de MAKINANDO (Guevara, 2018). Recuperado el 4 de marzo del 2018 de <https://makinandovelez.wordpress.com/2018/03/04/diferencias-entre-un-sistema-de-control-de-lazo-abierto-y-otro-cerrado>.

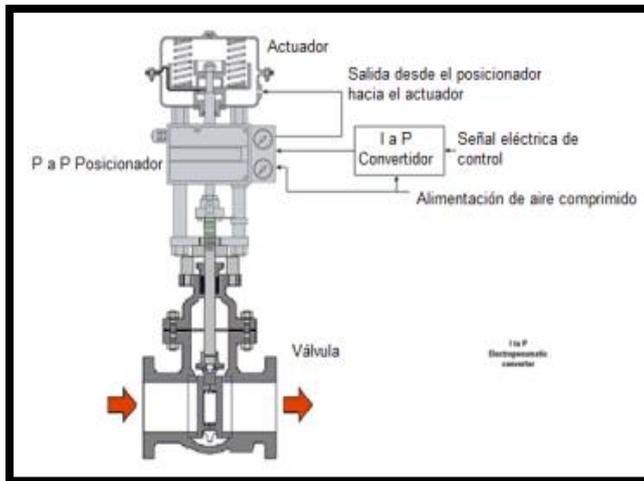
2.1.5 Elementos finales de control

Según (Ampuño, 2014), los elementos de control final proporcionan una adecuada operación de los sistemas de control de lazo cerrado dependiendo del rendimiento de cada uno de ellos pudiendo ser una válvula modulante, un motor o una bomba de velocidad, para lo cual cada uno de estos elementos necesitan de un actuador quien hará la conversión necesaria de la señal de salida del regulador al elemento de entrada. La figura 4 muestra un ejemplo de un convertidor electro neumático tipo diafragma. Por ejemplo, el I/P convertidor de corriente a presión

neumática, que a la salida cumple la función de neumático o eléctrico y en otros casos puede ser hidráulico o mecánico.

Figura 4

Convertidor electro neumático y posicionador neumático tipo diafragma.



Nota: Válvula de presión convertidor. Tomado de *AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL INDUSTRIAL* (Ampuño, 2014)

2.1.6 Elementos básicos de un controlador

El sistema de control tiene como finalidad mantener las variables de proceso (temperatura, la humedad, presión, nivel, etc.) estables, por lo cual consta de tres elementos básicos, estos elementos tienen la finalidad de realizar operaciones básicas que deben estar presentes en todo sistema de control. (Moya, 2018)

✓ Elementos básicos de un controlador

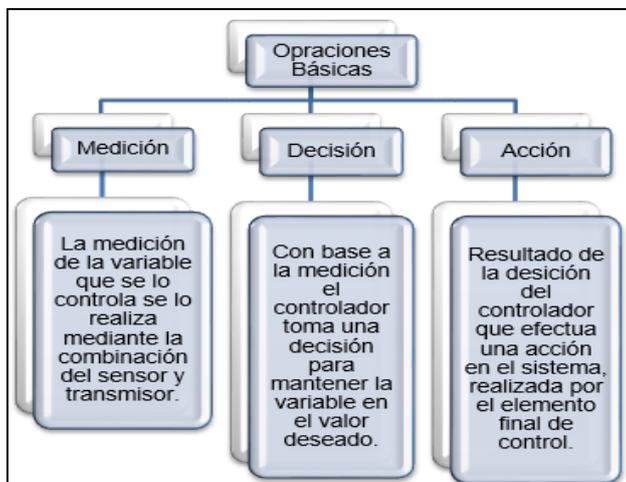
- Transductor (sensor transmisor)
- Controlador
- Actuador

2.1.7 Funciones de los elementos básicos de control

Cada elemento de control básico cumple con la función correspondiente, estas funciones se detallan a continuación en la figura 5.

Figura 5

Funciones de los elementos de control básicos.



Nota: Operaciones básicas de los elementos de control. Tomado de *Revista InTech México Automatización* (Moya, 2018). Recuperado el 24 de diciembre del 2018 de <https://www.isamex.org/intechmx/index.php/2018/12/24/conceptos-basicos-sistemas-control,Actuador>.

2.1.8 Tipos de controles de procesos

Tabla 1

Diferentes tipos de controles de procesos.

TIPOS DE CONTROL	CARACTERÍSTICAS GENERALES	CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS	APLICACIONES
ON-OFF	Comúnmente utilizado en la industria. Costo de implementación simple y barato. (Velásquez & Bawab, 2017)	Actúa sobre la variable manipulada cuando la temperatura supera el valor deseado (SP). Al superar el SP la temperatura del proceso empieza a oscilar continuamente. (Velásquez & Bawab, 2017)	Control ON-OFF de temperatura y potencia para el mejoramiento de las condiciones de procesos asistidos con microondas. (Velásquez & Bawab, 2017)

TIPOS DE CONTROL	CARACTERÍSTICAS GENERALES	CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS	APLICACIONES
PROPORCIONAL	<p>Proporciona un control más exacto que el ON-OFF.</p> <p>Calcula el valor proporcional al error actual que existe en el proceso de lazo cerrado.</p> <p>Aumenta la velocidad del sistema.(Capuz & Leonardo, 2015)</p>	<p>Presenta una relación lineal continua entre el valor de la variable controlada y la posición del elemento final de control.</p> <p>Busca que el error en estado estacionario sea casi nulo.(Capuz & Leonardo, 2015)</p>	<p>Sistema de control de nivel de un tanque.(Capuz & Leonardo, 2015)</p>
INTEGRAL	<p>Tipo de control que se conoce también como offset or reset.</p> <p>Diseñado para eliminar el error estacionario.</p> <p>Es utilizado cuando en el proceso existe un tiempo de retardo.(Capuz & Leonardo, 2015)</p>	<p>Tiene como función corregir el error lo cual elimina la desviación prolongada del SP.</p> <p>Responde cuando se prolonga el error luego que el controlador entra en estado estacionario.(Capuz & Leonardo, 2015)</p>	<p>Diseño y desarrollo del control de temperatura interna de una incubadora de huevos usando motores y sensores de temperatura.(Tapi a & Chinga, 2016)</p>
PROPORCIONAL INTEGRAL	<p>Este control genera una señal resultante de la combinación de la acción proporcional e integral.</p> <p>Tiene como propósito disminuir y eliminar el error en estado estacionario, provocado por el modo proporcional.(Calle & Eduardo, 2018)</p>	<p>Mejora el régimen permanente debido a que el controlador aumenta el tipo del sistema en bucle abierto.</p> <p>El tiempo integral da idea del tiempo que tarda la respuesta temporal en alcanzar el permanente.(Calle & Eduardo, 2018)</p>	<p>Diseño de un sistema de control para reactores químicos utilizando técnicas de aprendizaje automático.(Aura Camarena, 2020)</p>

TIPOS DE CONTROL	CARACTERÍSTICAS GENERALES	CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS	APLICACIONES
<p>PROPORCIONAL DERIVATIVO</p>	<p>Es un controlador de alta sensibilidad.</p> <p>Responde a la velocidad de cambio del error.</p> <p>Genera una corrección significativa antes de que la magnitud de error sea bien grande.(Valderrama et al., 2017)</p>	<p>Genera una señal resultante debido a la combinación de la acción proporcional y derivativo.</p> <p>Mejora el comportamiento del sistema en términos de estabilidad y precisión.(Valderrama et al., 2017)</p>	<p>Sistema didáctico para el control de nivel con tanques acoplados.(Valderrama et al., 2017)</p>
<p>PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO</p>	<p>El control PID permite controlar un sistema de lazo cerrado alcanzando el estado de salida deseado.</p> <p>Compuesto por tres elementos que proporciona una acción proporcional, integral y derivativa los cuales dan el nombre al controlador PID. (Rodríguez & Rocío, 2018)</p>	<p>Un control PID lee el valor del sensor de entrada, utiliza los algoritmos de control definidos produciendo una salida específica como señal actuante.</p> <p>Este tipo de control se lo puede realizar mediante el método de Ziegler-Nichols, en donde se asignan los coeficientes proporcional, integral y derivativo del control del sistema. (Rodríguez & Rocío, 2018)</p>	<p>Diseño e implementación de un algoritmo de control PID y comunicación Bluetooth utilizando un Arduino Mega para el funcionamiento de un robot balance a distancia. (Rodríguez & Rocío, 2018)</p>

TIPOS DE CONTROL	CARACTERÍSTICAS GENERALES	CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS	APLICACIONES
FUZZY	<p>Un control Fuzzy se presenta como alternativa a la técnica de control tradicional basada en el control PID.</p> <p>Este tipo de control es utilizado principalmente cuando se tiene procesos de complejos en donde resulta difícil obtener los modelos matemáticos del proceso de control. (Calle & Eduardo, 2018)</p>	<p>Funciona como un control convencional debido a que a partir de la entrada mediante un algoritmo proporciona una salida, a este proceso se lo conoce como inferencia difusa.</p> <p>La inferencia difusa se lleva a cabo mediante: Fusificación, Evaluación Defusificación (Calle & Eduardo, 2018)</p>	<p>Diseño e implementación de un control difuso de velocidad para hidráulico HRE HIDRAULIC. (Calle & Eduardo, 2018a)</p>

Nota: Descripción general de los distintos tipos de controladores con sus respectivas características tanto general como específicas y sus aplicaciones.

Uno de los más importantes y que se presentarán en el desarrollo de este proyecto es el Control Fuzzy, descrito a continuación.

2.2. Control Fuzzy

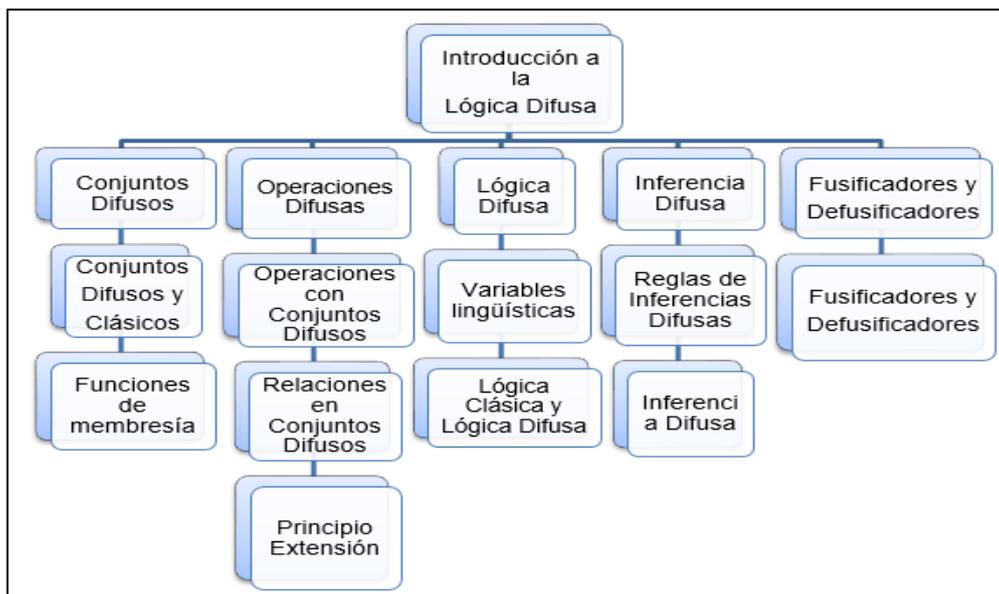
2.2.1 Definición y Características

El control fuzzy o también llamado lógica difusa surgió en los años 60, siendo utilizado como herramienta para el control de procesos industriales complejos, debido a que permite responde a valores intermedios de las variables, este tipo de control cambio las opciones tradicionales de operación como son de “frio/caliente”, “alto/bajo”, a opciones como “tibio” y “medio” logrando que los sistemas se acerquen a la forma de trabajar del cerebro humano. (P. Lorandi, 2015)

Lofti Zaded inconforme con los conjuntos tradicionales debido a que solo permiten el estar o no en dichos conjuntos llego a concebir el concepto de lógica difusa, promocionando el artículo titulado “Quantitative Fuzzy Semantics” donde menciona que debido al interés del hombre en ganar precisión busco la manera de fusionar la realidad a modelos matemáticos rígidos, pertenecientes a la lógica binaria, mediante la cual llego a la construcción de los modelos de control. La figura 6 indica los tipos y características de la composición de la Lógica Difusa. (NEIRA, 2018)

Figura 6

Mapa Conceptual, Lógica Difusa.



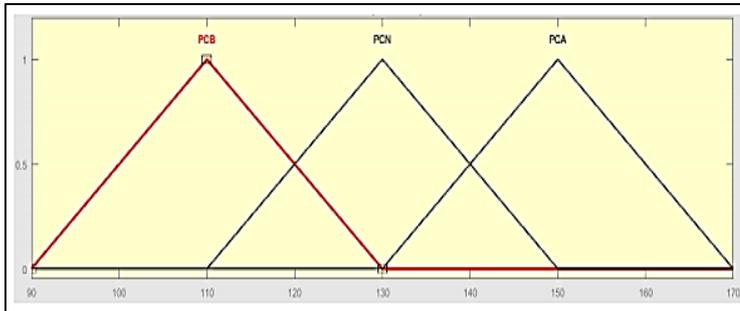
Nota: Introducción general a la lógica difusa. Tomado de *Estrategia para la implementación de un controlador basado en lógica difusa en un PLC* (NEIRA, 2018).

2.2.2 Conjuntos Difusos

Es una extensión de los denominados conjuntos clásicos, está asociado a las variables lingüísticas para representar su nombre, y el valor que corresponden a cada una, la figura 7 muestra un ejemplo del conjunto difuso. (Cutipa, 2018)

Figura 7

Conjuntos Difusos para la variable lingüística Presión.



Nota: Tomado de (Cutipa, 2018).

✓ **Definición matemática del conjunto difuso**

$$A = \{(X, \mu_A(x)) / x \in X\}$$

Tabla 2

Descripción matemática del conjunto difuso.

Símbolo	Definición
A	La variable lingüística del conjunto difuso.
X	Elemento del conjunto difuso.
$\mu_A(x)$	Función de membresía o pertenencia.
X	Universo discurso del conjunto difuso.

Nota: En esta tabla se describe la simbología de la ecuación del conjunto difuso.

Tomado de (Cutipa, 2018)

2.2.3 Operaciones Difusas

Son operaciones que permiten evaluar los resultados de las reglas difusas y otras etapas ya que al realizar operaciones entre conjuntos se obtiene como resultado otro conjunto difuso. (Cutipa, 2018)

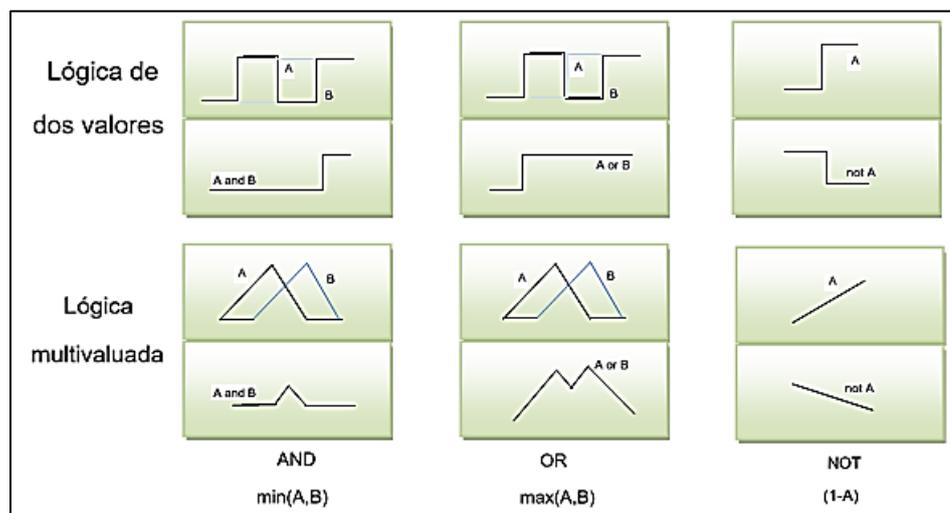
En la tabla 3 se describe las operaciones básicas que se utilizan para realizar un control difuso y en la figura 8 muestra los gráficos de los conjuntos difusos aplicados.

Tabla 3*Operaciones Difusas Básicas.*

Operaciones Difusas Básicas	Formula
Complemento	$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$
Unión (Operador Lógico OR de Zadeh (max))	$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)]$
Intersección (Operador Lógico AND de Zadeh (min))	$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)]$
Otras definiciones utilizadas	Formula
Operador Lógico AND del producto	$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \times \mu_B(x)$
Operador Lógico OR de Lukasiewicz	$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x) + \mu_B(x), 1]$

Nota: Esta tabla muestra los tipos de operaciones básicas difusas utilizadas.

Tomado de (NEIRA, 2018).

Figura 8*Operaciones lógicas en conjuntos difusos.*

Nota: Muestra los gráficos de los conjuntos difusos aplicados la parte superior es de acuerdo a la tabla de verdad y la parte inferior mediante los valores difusos definidas entre A y B. (Taco, 2019)

2.2.4 Variables Lingüísticas

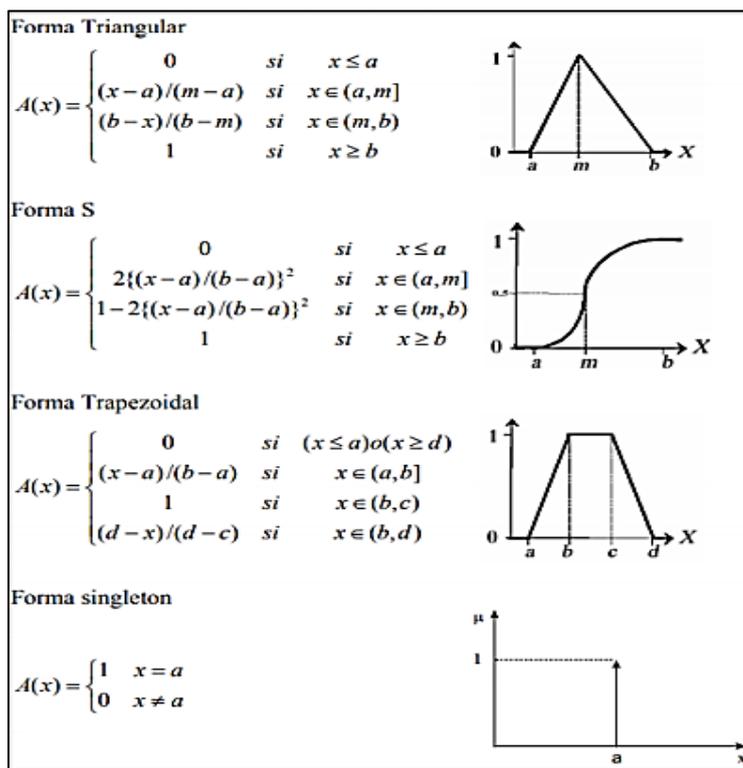
Las variables lingüísticas permiten la manipulación de lógica difusa, contienen valores que están distribuidos en rangos de 0 y 1, según el contexto y la relevancia en lo que se desee aplicar. (Taco, 2019)

2.2.5 Funciones de Membresía

Para (Taco, 2019) la función de membresía está asociada al conjunto difuso mediante la definición de una función propia, representando así el grado de pertenencia de un elemento en el universo discurso (rango de valores). En la figura 9 se detallan las funciones más comunes de membresía para proponer un control difuso.

Figura 9

Funciones de membresía más comunes.



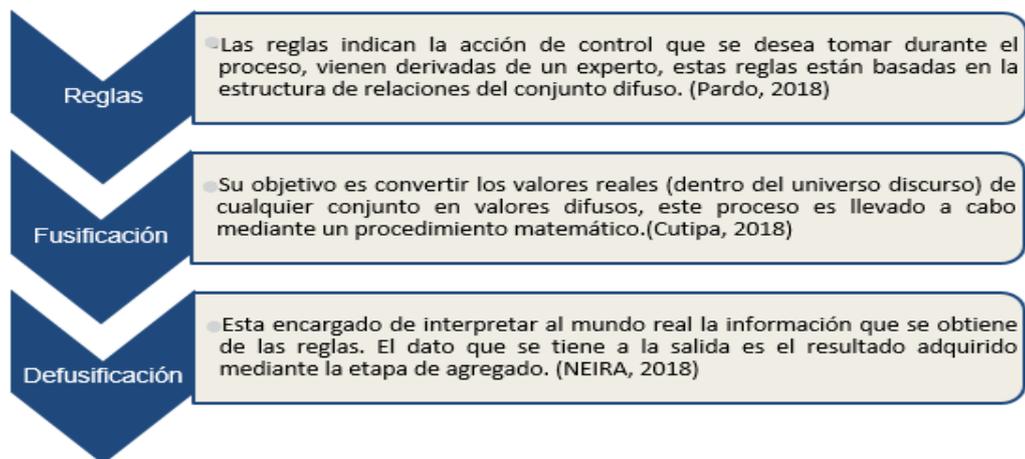
Nota: Se muestra las funciones de membresía más comunes a la hora del diseño.

Tomado de (NEIRA, 2018).

2.2.6 Inferencia Difusa

Son sentencias de reglas denominadas “si-entonces” mediante las cuales se forman condicionales que comprenden una la lógica difusa. Es un proceso que se lo realiza para interpretar y evaluar una implicación difusa, aplicando una relación en particular.(Taco, 2019)

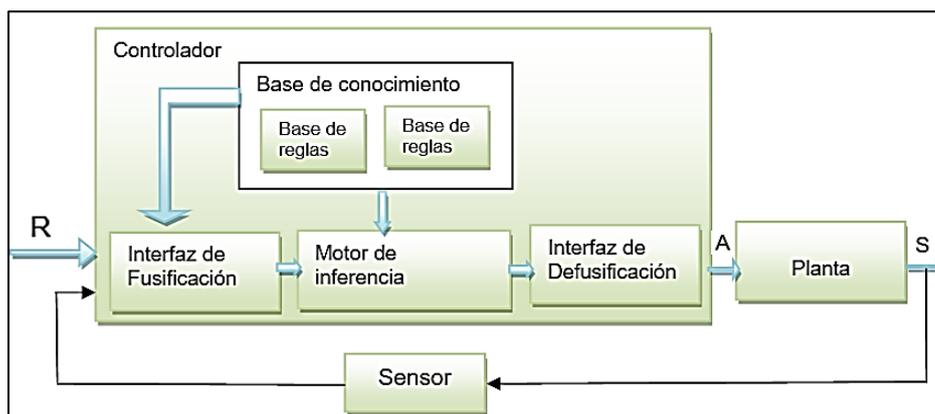
2.2.7 Partes básicas de un controlador difuso



- ✓ En la figura 10 se puede observar el diagrama de bloques de un control difuso básico.

Figura 10

Control Difuso



Nota: Diagrama de bloques de una estrategia de control difuso. Tomado de (Pardo, 2018)

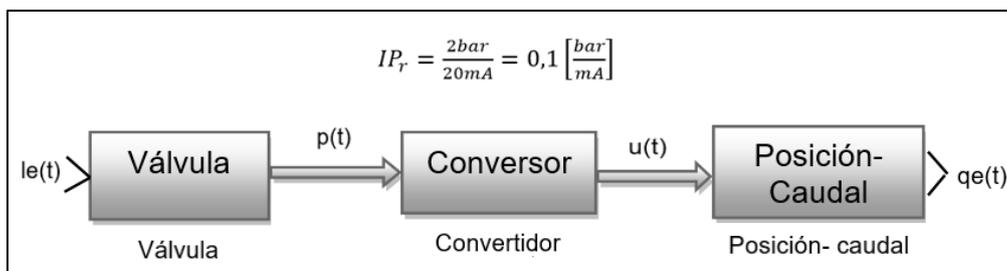
2.3. Control Difuso para presión

Se tomó como referencia la estructura del actuador de nivel, en donde presenta una válvula electro neumática que transforma la corriente en presión con lo cual se realiza la apertura y cierre de la misma. La válvula electro neumática funciona con una corriente de operación de 4 a 20 mA con salida de 0 y 2 bar. (Carrera Soriano, 2018)

En la siguiente figura 11 se muestra la fórmula para la relación de corriente y presión junto al diseño del diagrama de bloques para el controlador.

Figura 11

Fórmula correspondiente a la relación de corriente/presión y diseño del diagrama de bloques del controlador.

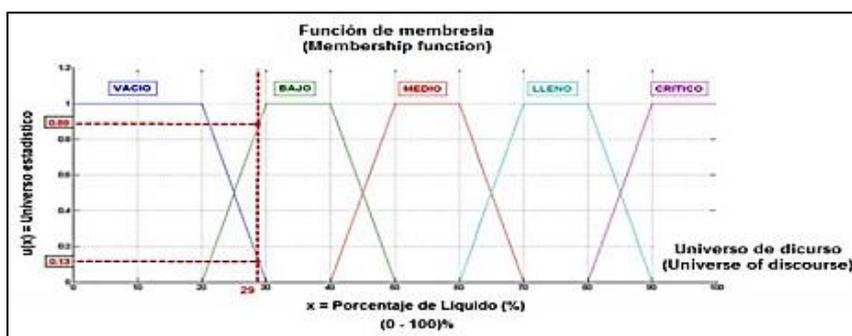


Nota: Tomado de (Carrera Soriano, 2018).

Se utilizó como guía el método de inferencia “Mandami o de mínimos” para realizar el proceso de fusificación y defusificación durante el análisis de un controlador difuso. Este método tiene como objetivo obtener un número difuso que sale del fusificador fig. 11. (Cusi Quenta & Cusi Quenta, 2018)

Figura 12

Método fusificación



Nota: Tomado de (Cusi Quenta & Cusi Quenta, 2018).

2.4. Controlador Lógico Programable (PLC)

2.4.1 Definición

La Asociación Nacional de Fabricantes Electrónicos de los EE.UU. define al PLC (Controlador Lógico Programable) como un dispositivo electrónico que posee memoria programable en donde se almacenan las instrucciones con los cuales se puede realizar o implementar funciones específicas como: lógicas, secuenciales, temporizadas, entre otras, estas funciones son aplicadas con el objetivo de poder controlar máquinas y procesos.

Puede definirse también como un equipo electrónico ya que permite realizar la ejecución de un programa de manera cíclica, con lo que proporciona una garantía durante la ejecución del programa principal. Los PLC's son utilizados en el ámbito industrial debido a la respuesta rápida de la decisión y acción que toma en tiempo real.(Juan Antón Cano, 2019)

2.4.2 Estructura Externa e Interna del PLC

En la tabla 4 y en la figura 13 se detalla la estructura básica de un PLC, así como sus componentes que lo conforman.

Tabla 4

Clasificación de la estructura externa e interna del PLC.

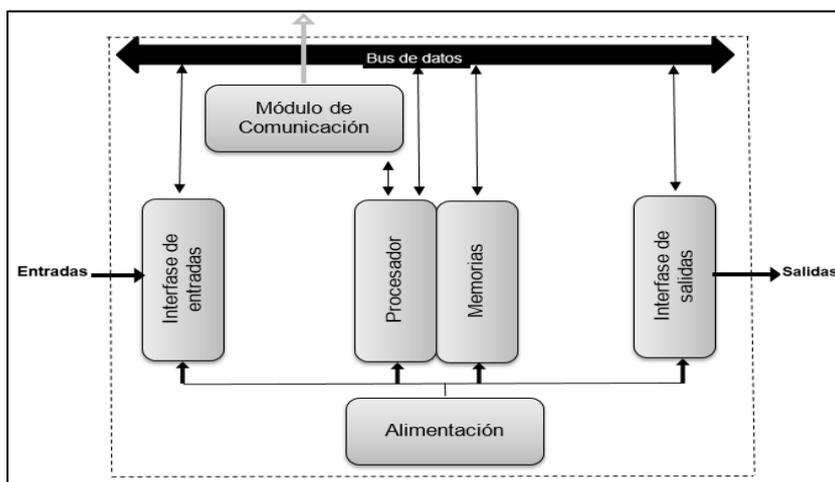
Estructura Externa	Descripción
Compactos	Todos aquellos elementos están en un solo bloque.
Modulares	Estructura Americana. – Separa las E/S del resto del autómata.
	Estructura Europea.- Cada módulo es independiente.

Estructura Interna	Descripción
A.- Sección de entradas	Tiene entradas analógicas y digitales.
B. Sección de salidas	Tiene salidas analógicas y digitales.
C.- Unidad Central de Proceso	Procesa o ejecuta el programa, dispone de zonas de memoria, registro e instrucciones.
D.- Memoria	Donde se almacena la información de datos de proceso.
Otros Elementos	Descripción
Unidad de alimentación	En algunos modelos viene incluido por defecto.
Consola de programación	Nos permite programar, modificar o sustituir instrucciones del programa.
Dispositivos periféricos	Como unidades de comunicación, más memoria, etc.
Interface	Fácil comunicación de dispositivos con el autómata.

Nota: Se menciona la clasificación de la estructura externa e interna y otros elementos que conforman un PLC. Tomado de (Cutipa, 2018).

Figura 13

Estructura básica de un PLC.



Nota: Muestra la estructura básica del PLC que está compuesta por un CPU, interfaces de E/S. Tomado de (Juan Antón Cano, 2019).

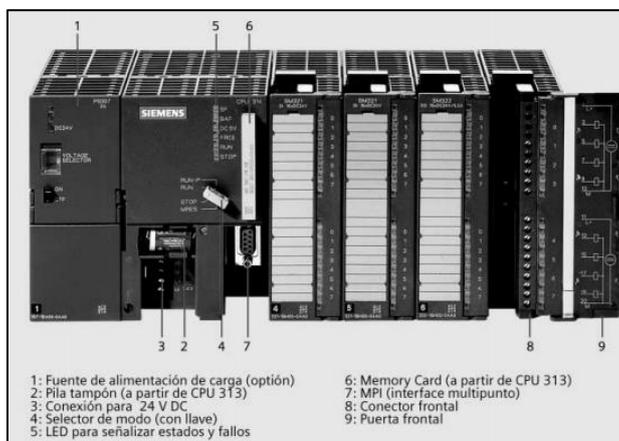
2.5. PLC S7 300

2.5.1 Definición

El S7-300 es un dispositivo de gama media quien posee una gran variedad de módulos de I/O análogos o digitales el cual permite una adaptación optima a los procesos de la automatización, debido a que se puede realizar la configuración del hardware basándose en el sistema modular.(Siemens AG., 2020a, pp. 7-3)

Figura 14

PLC S7-300



Nota: En la figura se muestra los pines para la conexión física de un PLC S7-300.

Tomado de (Siemens AG., 2020)

2.5.2 Características

- ✓ Presenta la posibilidad de realizar estructuras descentralizadas e interconexiones por red.
- ✓ Aplicación de manera cómoda por su facilidad de uso e instalación simple no requiere de ventilación.
- ✓ Permite su ampliación en caso de acumulación de tareas.
- ✓ Presenta gran cantidad de funciones integras ya que es potente.
- ✓ Alta gama de módulos que permite una adaptación óptima para las tareas de automatización.

2.5.3 Configuración modular del S7-300

- ✓ 1. Fuente de alimentación (PS)

- ✓ 2. CPU
- ✓ 3. Módulos de señales (SM)
- ✓ 4. Cable de bus PROFIBOS
- ✓ 5. Cable PG

2.5.4 Composición de los módulos

Tabla 5

Composición de los módulos del PLC S7-300

MÓDULOS	CARACTERÍSTICAS	GRAFICO
Unidades CPU	Encargado de almacenar y procesar programas de usuarios.	
Fuente de alimentación (PS)	Convierte el voltaje de línea 120/230V AC a 24V DC de operación.	
Módulo de interface (IM)	El PLC se expande de 2,3 o 4 racks utilizando estos módulos, esto depende si S7-300 es equipado con más de 8 módulos.	
Módulos de señales (SM)	Las señales que surge del proceso logra ser adaptada a nivel de señales internas.	
Procesador de comunicaciones (CP)	Permite conexiones de redes como AS-i, PROFIBUS, Ethernet y conexión punto-punto.	

MÓDULOS	CARACTERÍSTICAS	GRAFICO
Módulos de funciones (FM)	Realiza las tareas de contadores, control de lazo cerrado y de posición.	

Nota: Características generales de los módulos del PLC S7-300. Tomado de (Vásquez López, 2020, pp. 7-300).

2.5.5 Programación básica en el PLC S7-300

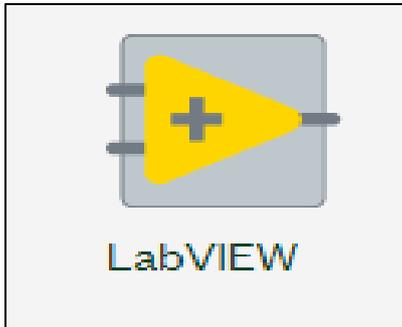
Anteriormente la programación se lo realizaba en el programa tradicional “Step 7”, pero en la actualidad la programación de los S7-330 está integrada en el TIA Portal el cual es más recomendado actualmente, ya que a diferencia del Step 7 quien utilizaba direcciones absolutas para programar, TIA Portal permite realizar la programación de manera simbólica. (Sindín, 2018, p. 7)

2.6. SOFTWARE LabVIEW

LabVIEW (acrónimo de Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) representado en la figura 15, es una plataforma y entorno creado por National Instruments (1976), creado para diseñar sistemas, posee un lenguaje de programación visual gráfico. Utilizados para sistemas hardware y software (control y diseño, pruebas, simulado o real y embebido) ya que acelera la productividad. Posee un lenguaje de programación denominada “lenguaje G”, donde “G” simboliza que el lenguaje es Gráfico. (Cusi Quenta & Cusi Quenta, 2018)

Figura 15

Software LabVIEW.



Nota: Icono de Software LabVIEW 2020. Tomado de (National Instruments, 2020).

2.6.1 LabVIEW en la Ingeniería

Permite visualizar las características de la aplicación como: configuración de hardware, datos de medidas y depuración debido a que LabVIEW ofrece un enfoque de programación gráfica, logrando simplificar la integración del hardware de medidas de cualquier proveedor, desarrolla también algoritmos de análisis de datos, diseña interfaces de usuario de ingeniería personalizadas. (National Instruments, 2020)

2.6.2 Entorno de LabVIEW

Los programas de LabVIEW son ideales para realizar la adquisición de datos y tareas como monitoreo de procesos. Estos programas son llamados VI (Virtual Instruments) debido a que simulan o imitan a los instrumentos físicos, por ejemplo: un multímetro, el osciloscopio, etc. LabVIEW puede hacer comunicación desde la computadora con dispositivos como: PLC, USB, PXI VXI, TCP/IP, UDP, puerto serial, et. (Ovalle Fajardo & Castro Solano, 2016)

2.7. TÍA PORTAL V15

Totally Integrated Automation Portal (TIA PORTAL) es un software de completa integración a la denominada automatización de procesos industriales presenta gran potencia de programación y una manera más fácil de procesamiento en operaciones de plantas de esta manera logra reducir los procesos industriales más complejos. Por su manera de interactuar a través de la interfaz de usuario, llega

a ser fácil de usarlo logrando adaptarse sin ningún inconveniente a los proyectos de sistemas automatizados.(Siemens AG., 2020b)

Figura 16

TÍA PORTAL



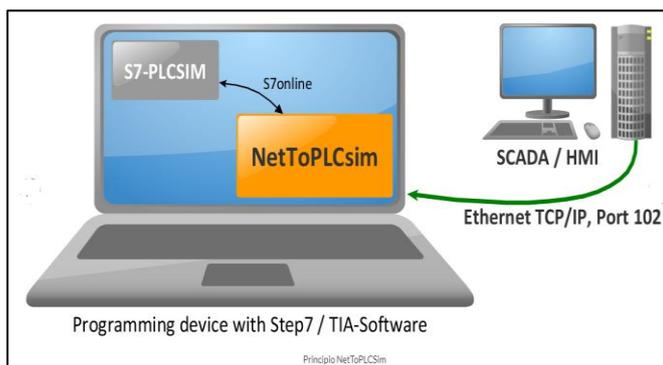
Nota: Icono de Software TÍA PORTAL. Tomado de (SIEMENS, 2015)

2.8. NetToPLCSim

Se lo conoce como una extensión de red TCP/IP mismo que es utilizado para la simulación del software del PLC Siemens. Con la aplicación del NetToPLCSim se puede realizar simulaciones como, por ejemplo, Sistemas SCADA montado a la red en combinación con un PLC simulado.(NetToPLCSim, 2020)

Figura 17

Conexión del NetToPLCSim como un Sistema SCADA.



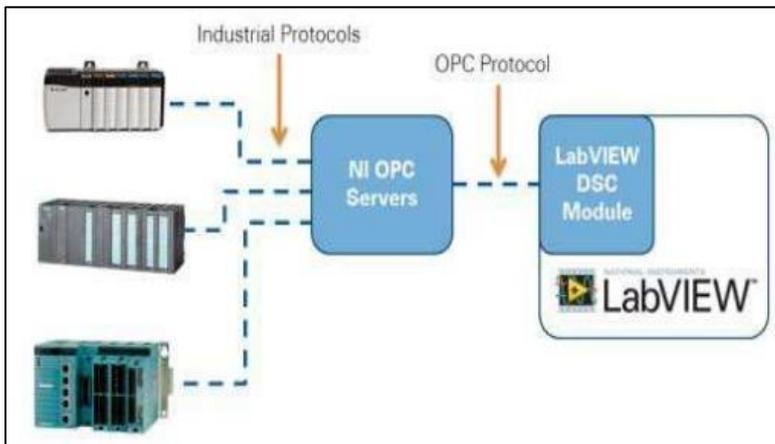
Nota: Tomado de (NetToPLCSim, 2020).

2.9. NI OPC Server

(Torres, 2016) menciona que “ El OPC SERVER es un potente software de comunicación que cumple con la función de un servidor, de un fácil manejo y proporciona el acceso a la información del proceso en tiempo real”, por lo cual este Software es capaz de comiscarse con diferentes tipos de dispositivos de distintas marcas y protocolos con el objetivo de realizar el enlace de una manera indirecta pero a su vez permitiendo que sea segura y confiable.

Figura 18

Comunicación entre LabVIEW y PLC's mediante OPC.



Nota: Esquema de comunicación general de dispositivos con LabVIEW a través del OPC Server. Tomado de (Torres, 2016).

CAPITULO III

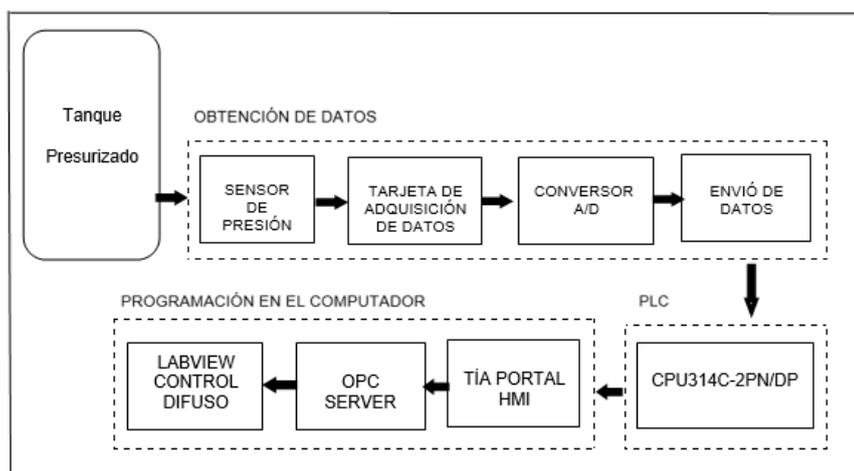
DESARROLLO

3.1. Descripción del proceso

Se tomó como referencia una programación difusa para el control de una estación de presión en el Software LabVIEW el cual estaba diseñada para un control de rango máximo de +/-0,5 tanto de entrada como de salida por lo que se procedió a realizar el acondicionamiento del programa para obtener un rango de entrada y salida máxima de 100%. La variable a medir corresponde a la presión interna del tanque que tiene un rango de 0PSI a 100PSI. Para la lectura y escritura de señales analógicas y el HMI se utilizó el PLC S7-300 modelo 314c-2NP/DP en el programa de TÍA PORTAL con Wincc, así como la simulación virtual para ello se utilizó el programa NetToPLCsim el cual habilita el puerto de comunicación 102, para la comunicación cliente-servidor se utilizó el Software de comunicación OPC SERVER. En la figura 19 se puede observar el diagrama de bloques del proceso.

Figura 19

Diagrama de bloques de proceso.



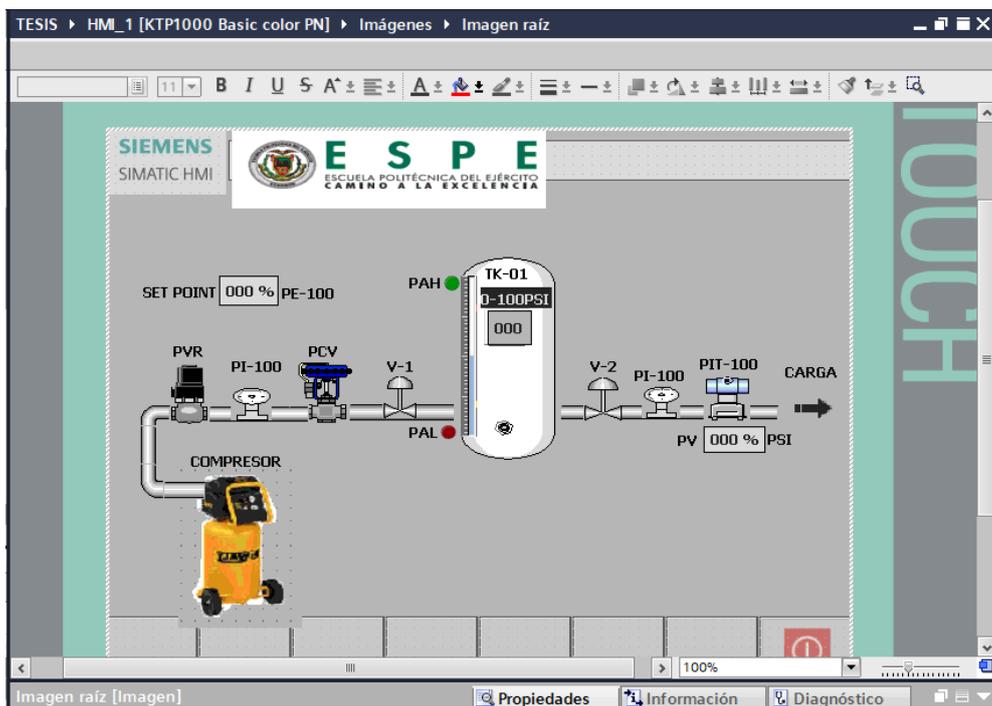
Nota: Diseño de un diagrama de bloques de procesos de sistemas a utilizar para el control deseado. Tomado de *Paint* [Captura]. Elaboración propia.

3.2. Diseño del P&ID con el uso del PLC S7-300 y el Software TÍA PORTAL V14.

Se realizó el diseño del P&ID en el Software TÍA PORTAL como se muestra en la figura 20, para ello dar click derecho en el icono de TÍA PORTAL seleccionar como administrador, se ejecutará el programa dar click en crear nuevo proyecto, click en agregar dispositivos y redes, seleccionar el PLC S7-300 modelo CPU314C-2PN/DP. Ya seleccionado el dispositivo con el que se desea trabajar dar click nuevamente en agregar dispositivo seleccioné el HMI deseado en este caso el KTP100 Basic color PN, click en imágenes, imagen raíz en donde se configura la pantalla HMI seleccionar en aceptar; se desplegará una ventana vacía en donde se agregó los elementos y controles para el diseño del P&ID.

Figura 20

Diseño del P&ID en el Software TÍA PORTAL.



Nota: Diseño del diagrama de un P&ID para la elaboración del proceso de control.

Tomado de *Software TÍA PORTAL (WinCC)* [Captura]. Elaboración propia.

3.3. Declaración de las variables PLC en el Software TÍA PORTAL

Se procedió a declarar las variables PLC como se muestra en la figura 21, estas variables se los utilizó para la comunicación entre el programa de LabVIEW y el HMI del Software TÍA PORTAL, tanto la variable SP, PV como la TK-01 están declarados como tipo de datos en WORD, de igual manera sus direcciones están dadas como MW20 (para la variable SP), MW22 (para la variable PV) y MW24 (para la variable TK-01), mismas que realizan las funciones de solo lectura y escritura (enviar y recibir datos) mientras que las variables PAH y PAL tienen declaradas las direcciones M0.0 y M0.1 y el tipo de dato declarado en BOOL.

Figura 21

Tabla de variables PLC.

	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Visibl...	Comentario
1	SP	Word	%MW20		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	PV	Word	%MW22		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	TK-01	Word	%MW24		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	PAH	Bool	%M0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	PAL	Bool	%M0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	<Agregar>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

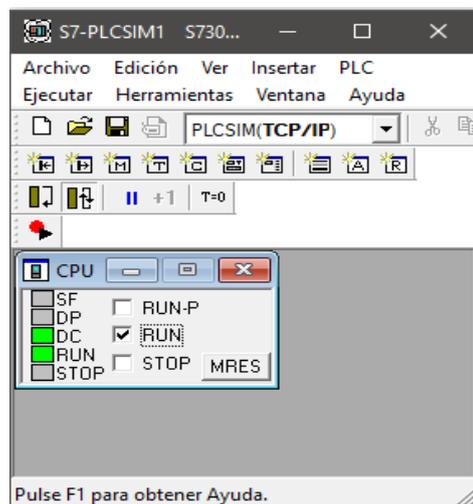
Nota: Tabla de variables PLC utilizadas para lectura y escritura de datos. Tomado de *Software TÍA PORTAL* [Captura]. Elaboración propia.

3.4. Simulación virtual del PLC S7-300

Se realizó la simulación virtual del PLC S7-300 para ello nos ubicamos en el programa que se encuentra abierto en el TÍA PORTAL se debe dar click en el icono de simulación y nos aparecerá el simulador como se observa en la figura 22. Una vez que el simulador este activo se debe compilar el programa y seleccionar cargar programa al finalizar dar click en el botón de RUN del simulador y empezará a correr el programa cargado.

Figura 22

Simulación virtual del PLC S7-300.



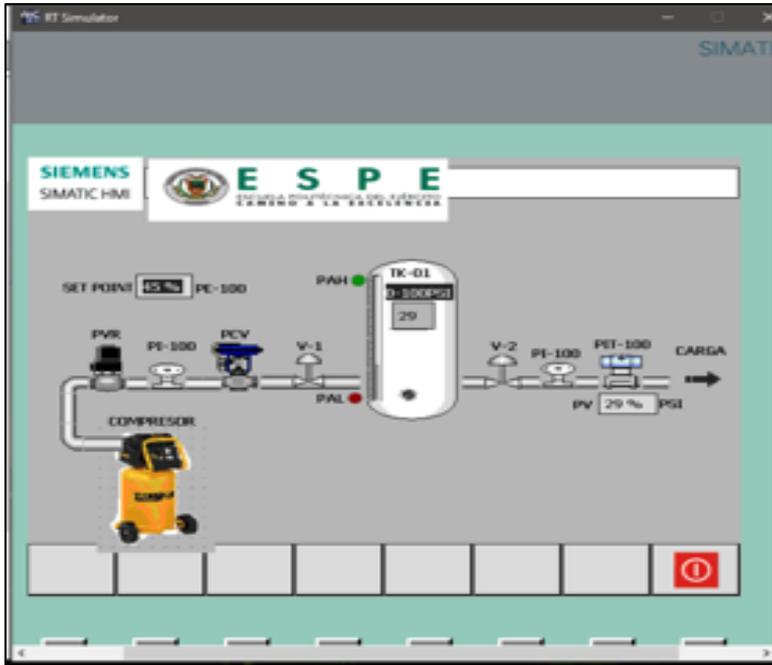
Nota: Icono del simulador virtual del PLC S7-300. Tomado de *Software TÍA PORTAL* [Captura]. Elaboración propia.

3.5. Simulación del HMI en WinCC

Se realizó la simulación correspondiente del HMI en la cual se diseñó el P&ID, para ello se debe dar click en el icono de simulación en donde automáticamente se compilará el programa y se desplegará la ventana (RT Simulator) como se puede apreciar en la figura 23.

Figura 23

Simulación del HMI.



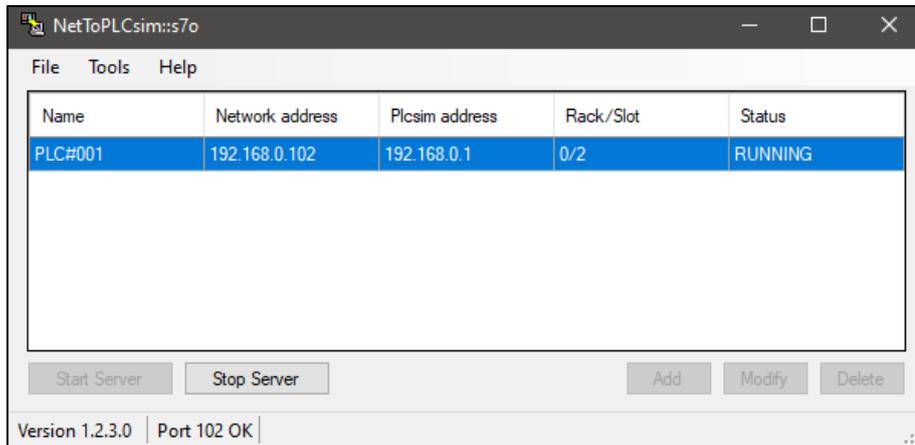
Nota: Pantalla de simulación del HMI utilizado para enviar y recibir datos desde LabVIEW. Tomado de *Software TÍA PORTAL (WinCC)* [Captura]. Elaboración propia.

3.6. Habilitación del puerto 102 con el NetToPLCSim

Se habilitó el puerto de comunicación 102 como se observa en la figura 24, una vez que el PLC S7-300 este en modo de simulación virtual se debe dar click derecho en el icono del programa de NetToPLCSim seleccionamos la opción de ejecutar como administrador se desplegará un mensaje para ello seleccioné la opción si, esperar a que se cargue el puerto y seleccionar en OK, al dar click en el botón Add aparecerá la ventana en donde se debe agregar la IP de nuestra PC como la del PLC que se encuentra en modo de simulación virtual adicional se debe seleccionar el número de Estante/Espacio (Rack/Slot) con el que trabajará el PLC que se está utilizando en este caso se seleccionó 0/2 posteriormente dar click en OK e iniciar servidor (Start Server), posteriormente se empezará a realizar la comunicación de la PC y el PLC S7-300 de forma virtual.

Figura 24

Habilitación del puerto 102 con el programa NetToPLCSim.



Nota: Comunicación de la PC y el PLC S7-300 a través de NetToPLCSim.

Tomado del *programa NetToPLCSim* [Captura]. Elaboración propia.

3.7. Declaración de los Tags en NI OPC Server

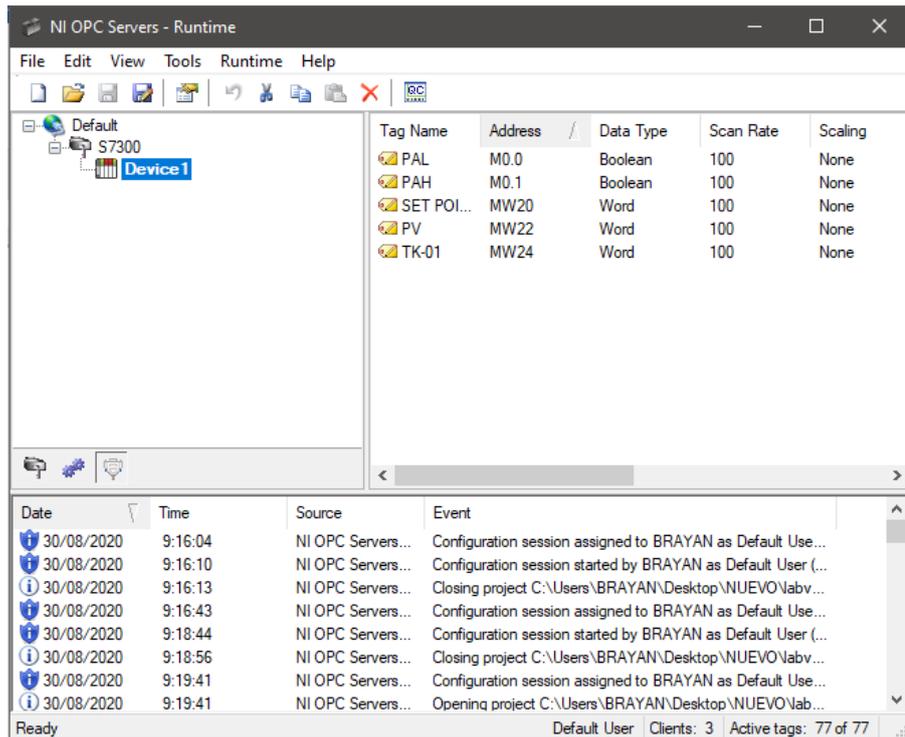
Una vez abierto el NI OPC Servers se realizó el siguiente procedimiento:

1. Seleccionar nuevo.
2. Dar click en agregar nuevo canal.
3. Ingresar el nombre del canal con el que se va a trabajar en este caso se ingresó el nombre de S7300 dar click en siguiente.
4. Seleccionar el tipo de controlador de dispositivo que vamos a utilizar (Siemens TCP/IP Ethernet) click en siguiente.
5. Aceptar las demás opciones y finalizar, aparecerá agregar nuevo dispositivo donde se agregará el nombre (Device1) dar click en siguiente.
6. Elegir el modelo del dispositivo en este caso se seleccionará el S7-300 click en siguiente
7. Se agregará la dirección IP de nuestro PC (IP 192.168.0.102) dar click en siguiente y aceptar las demás opciones.
8. Al costado derecho aparecerá un icono en la cual se debe dar click para proceder a ingresar los Tags.

9. Los Tags que se utilizaran llevan los nombres y sus direcciones respectivas PV (MW22), SET POINT (MW20) y PK-01 (MW24) todos con el mismo tipo de dato (Word), además de los Tags de tipo BOOL que tienen los nombres de M0.0 y M0.1, como se observa en la figura 25.

Figura 25

Declaración de los Tags en el NI OPC Servers.

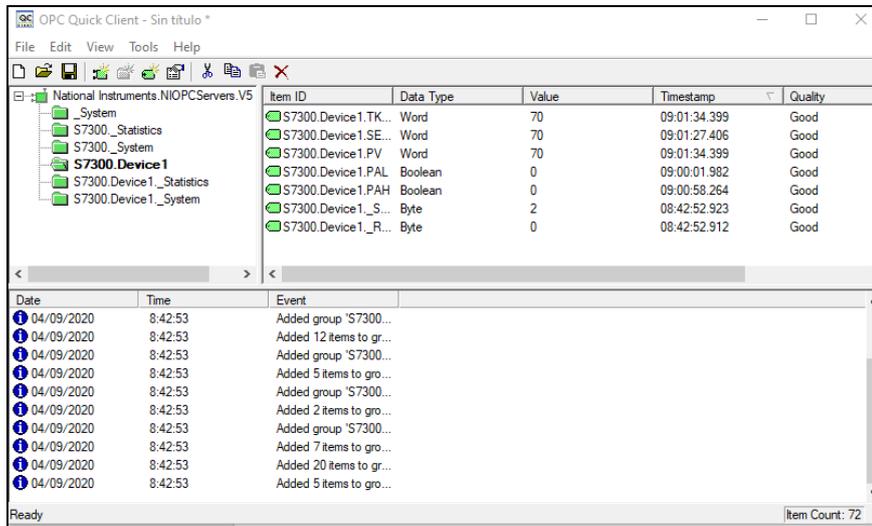


Nota: Ingreso de los Tags PV y SET POINT en el NI OPC Servers. Tomado del programa OPC Server [Captura]. Elaboración propia.

10. Ya ingresados los Tags para comprobar su funcionamiento correcto y poder verificar si se está realizando la comunicación con el PLC, debe dar click en el icono de Quick Cliente en donde se podrá observar los tipos de datos que se está recibiendo obsérvese en la figura 26.

Figura 26

Lectura de datos en el OPC Quick Client.



Nota: Verificación de la lectura de los datos del OPC con el PLC en simulación virtual. Tomado del programa *OPC Quick Client* [Captura]. Elaboración propia.

3.8. Programación del control difuso en LabVIEW

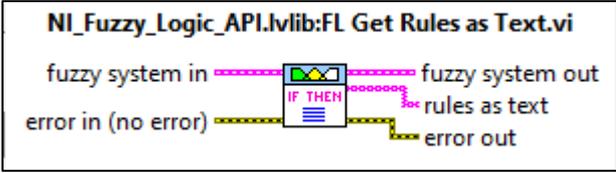
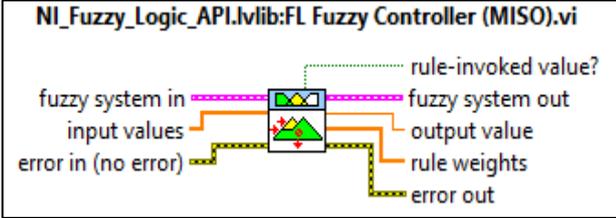
Se tomó como referencia un programa ya desarrollado en LabVIEW, mismo que fue acondicionado para poder realizar el control propuesto, como se describe a continuación:

1. Elementos del control difuso utilizados para esta programación en el Software LabVIEW.

Tabla 6

Elementos básicos para la programación difusa.

Gráfica	Descripción
	<p>A través de este elemento se puede ingresar archivos del control Fuzzy los cuales fueron creados para realizar el control correspondiente.</p>

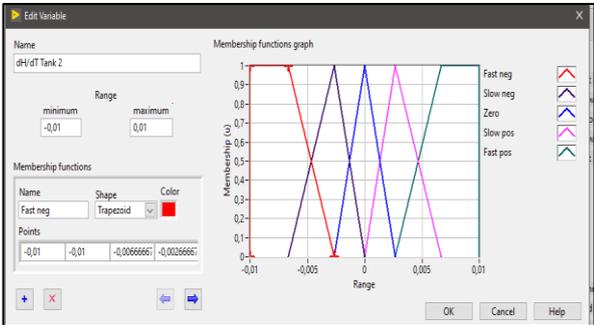
Gráfica	Descripción
	<p>Este elemento hace que las reglas declaradas sean interpretadas en palabras.</p>
	<p>Permite implementar un controlador de lógica difusa para el control difuso deseado para este caso un sistema tipo MISO (Varias entradas y una salida).</p>

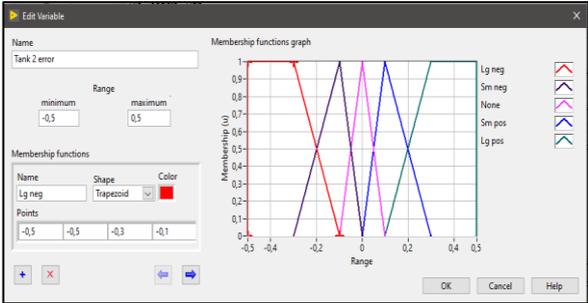
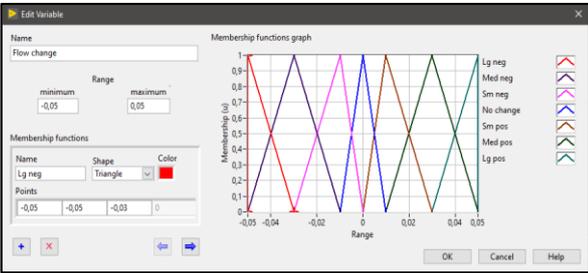
Nota: elementos difusos utilizados para la elaboración del programa. Tomado de *Software LabVIEW* [Captura]. Elaboración propia.

- Ingreso de las variables lingüísticas tomadas como referencia para el control difuso.

Tabla 7

Variables lingüísticas difusas.

Gráfica	Descripción
	<p>La derribada del error (<i>de</i>) consta de cinco funciones de membrecías, dos en forma de trapezoide y tres en forma triangular con un rango mínimo y máximo de +/-0,01 del límite de la función.</p>

Gráfica	Descripción
	<p>El error (e) consta de cinco funciones de membrecías, dos en forma de trapezoide y tres en forma triangular con un rango mínimo y máximo de $\pm 0,5$ del límite de la función.</p>
	<p>La salida (OUPUT) consta de siete funciones de membrecías, todos ellos en forma triangular con un rango mínimo y máximo de $\pm 0,05$ del límite de la función.</p>

Nota: determinación de las variables lingüísticas utilizadas para la elaboración del control difuso. Tomado de *Software Labview* [Captura]. Elaboración propia.

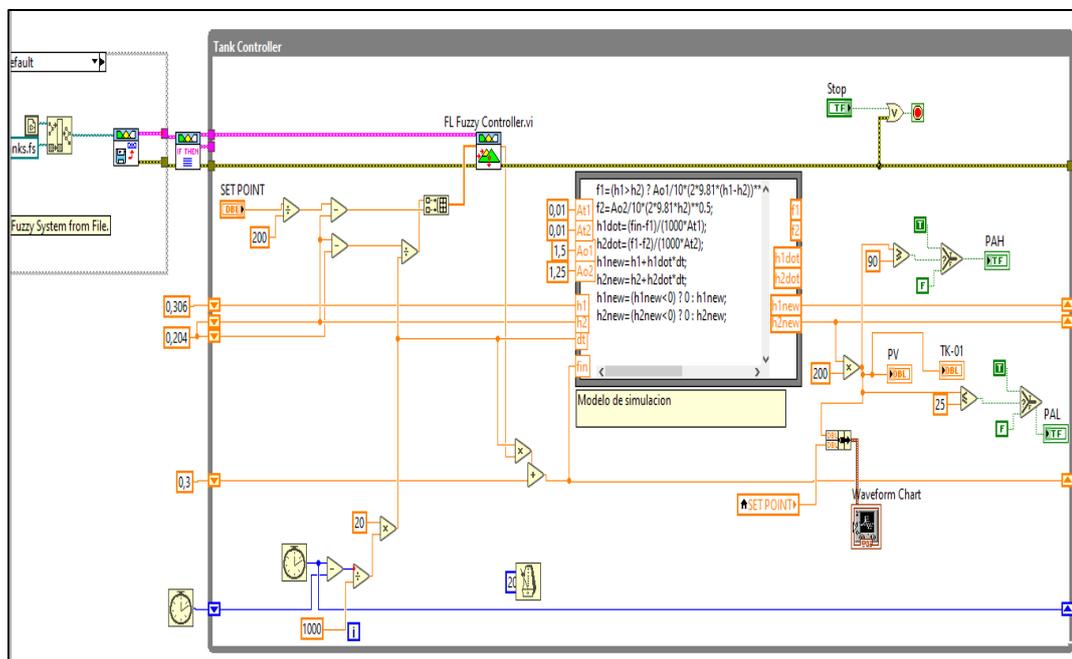
3.9. Aplicación de los Tags en la programación del Software Labview tomada como referencia para el control.

Se realizó el proceso correspondiente para la aplicación de los Tags en la programación de LabVIEW como observa en la figura 27, para ello se debe dar click derecho en el panel frontal seleccionar un controlador numérico para el caso del SET POINT o un indicador numérico si es el caso de la PV, ubicados en el icono dar click derecho en la cual se desplegará una ventana con varias configuraciones seleccione Data Binding seguido elegir DataSocket deberá elegir la función a realizar del Tag (si es de solo lectura corresponde al SET POINT o solo escritura a la PV) y dar click en DSTP SERVER aparecerá una nueva ventana donde se elegirá

National Instruments.NIOPCServ's.V5, se desplegarán varias carpetas seleccionaremos la carpeta S7300-Device1 en la cual aparecerán los Tags deseados una vez seleccionado el Tag de click en OK, todo este procedimiento se lo debe realizar también para los Tags de PAH y PAL, realizado esto los Tags cumplirán la función de lectura o escritura ya que se enviarán los datos desde el Software TÍA PORTAL.

Figura 27

Ubicación de los Tags (SET POIN y PV) en el Software LabVIEW.



Nota: Declaración de los Tags de SET POINT y la PV para la programación del control difuso. Tomado de *Software LabVIEW* [Captura]. Elaboración propia.

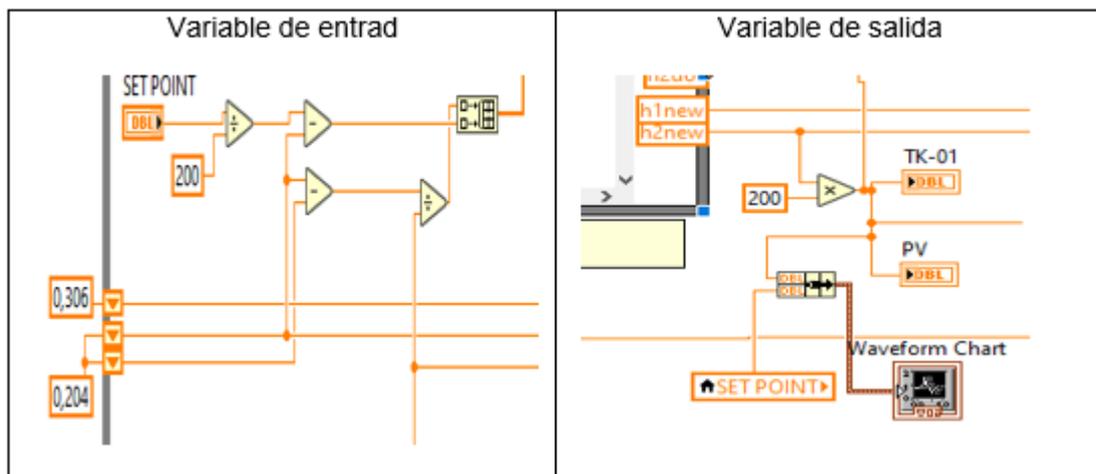
3.10. Acondicionamiento de la señal de lectura y escritura

La programación tomada como referencia para la realización del control difuso tiene el rango máximo de entrada y salida de datos de hasta 0,5% por lo que se procedió a realizar el acondicionamiento del rango máximo de entrada como de salida de datos a un valor requerido para poder realizar el control correspondiente, obsérvese en la figura 28, para ello debemos dar click derecho seleccionar Numeric elegimos Divide en donde en la primera entrada conectaremos con el SET POINT y

la segunda entrada crearemos una constante con un valor de 200% logrando obtener un valor de entrada con un rango máximo del 100% por otra parte la salida de la señal se debe unir con la entrada de un Multiply y la otra entrada creamos una constante con un valor de 200% obteniendo así un rango de salida máxima del 100%.

Figura 28

Acondicionamiento de la señal de entrada y salida.



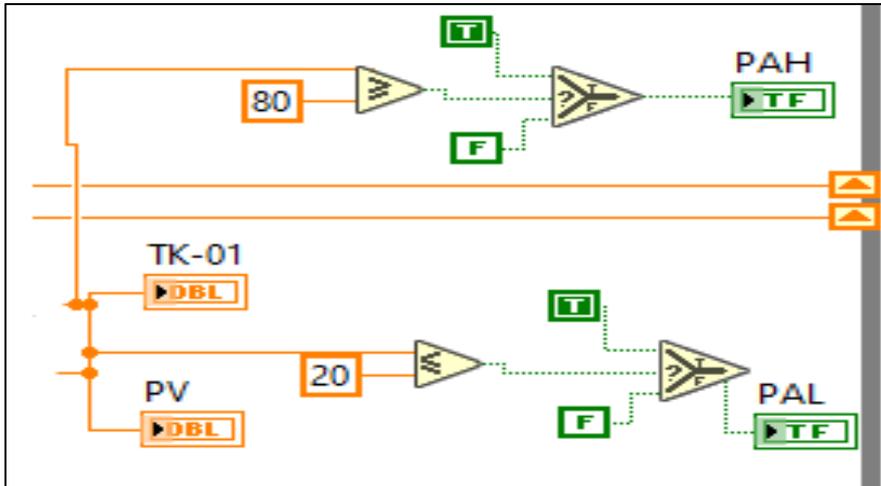
Nota: Acondicionamiento de las variables de SET POINT y PV en la programación.

Tomado de *Software LabVIEW* [Captura]. Elaboración propia.

Adicional se realizó la implementación de dos leds, en donde el led conocido con el nombre de PHL cumplirán la función de aviso en caso de que el tanque de presurizado llegue a un valor superior del 80 PSI (80%) de la misma manera el led PAL dará aviso cuando el valor del tanque se encuentre con un valor menor a 20 PSI (20%) como se puede observar en la figura 29.

Figura 29

Implementación de leds de aviso.



Nota: Leds de aviso del nivel alto y bajo del tanque presurizado. Tomado de *Software LabVIEW* [Captura]. Elaboración propia.

3.11. Simulación completa del programa

Culminado con todos los procesos mencionados anteriormente se verificó el funcionamiento correspondiente de la programación del control difuso diseñada para el control de una estación de presión para ello se procedió arrancando todos los programas hasta llegar a la comunicación entre Software de programación LabVIEW y el Software TÍA PORTAL una vez establecida la comunicación se realizó la variación de datos del SET POINT desde el HMI del Software TÍA PORTAL obsérvese en la figura 30, así como la visualización de la señal de control del SET POINT y la PV a través del Panel Frontal del LabVIEW.

Figura 30

Simulación del control difuso de presión.



Nota: Representación del control difuso en el HMI elaborado en el Software TÍA PORTAL y LabVIEW. Tomado de *Software TÍA PORTAL y LabVIEW* [Captura].
Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se logró realizar el diseño y control para una estación presión a través del método de control difuso mismo que a un futuro servirá de gran utilidad para que los estudiantes puedan realizar las prácticas de control de procesos en el laboratorio de Instrumentación Virtual.
- Mediante la aplicación de algoritmos difusos se pudo realizar un diseño de control más eficaz en comparación a los controladores clásicos como es el caso del control PID.
- Con la sintonización y modificación de las reglas difusas se logró la estabilidad y la adaptabilidad del proceso, por lo que se verificó su funcionamiento correcto a través del PLC S7 300 y el Software Labview utilizando Softwares de comunicación.
- El programa NetToPLCSim permite que se realice comunicación entre la PC y el PLC S7-300 de modo virtual ya que habilita el puerto de comunicación 102.

4.2. Recomendaciones

- Analizar el tipo de control que se desea diseñar o implementar ya que existen distintas variables que se podrían controlar.
- Tener una buena base conocimientos ya que con un adecuado manejo del sistema se podría diseñar a un futuro un controlador “FUZZY PID” lo cual optimizaría el sistema de control actualmente diseñado.
- Durante la declaración de los Tags en el Software OPC Server se debe ingresar la dirección IP detectado de nuestra PC, mas no del PLC como se lo realiza normalmente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adam, E. J. (2020). *Instrumentación y control de procesos*. Santa FE: Ediciones UNL, 2020.
- Alexander F., J. V. (2016). Identificación de la curva de reacción para el Proceso térmico en lazo abierto del M2CI de la UNAD. *VISIÓN – Revista de Investigaciones UNICIENCIA*, 11.
- Ampuño, G. (2014). *MAGÍSTER EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL INDUSTRIA*. Guayaquil-Ecuador .
- CUTIPA, O. J. (2018). *DISEÑO DE UN SISTEMA EXPERTO PARA OPTIMIZAR LA AREQUIPA – PERÚ*.
- D. Barrea, O. S. (2019). Diseño de Controladores Fuzzy para el Control de la Excitatriz en una Máquina Síncrona . *EasyChair Preprint* , 9.
- Guevara, L. V. (Marzo de 2018). *MAKINANDO*. Recuperado el 4 de marzo del 2018
Obtenido de <https://makinandovelez.wordpress.com/2018/03/04/diferencias-entre-un-sistema-de-control-de-lazo-abierto-y-otro-cerrado/>
- Hernández L., C. T. (2019). Convergencia de la trayectoria lingüística en el espacio de estados de un Controlador Difuso aplicado a un Sistema No Lineal . *Revista de Simulación y Laboratorio* , 9.
- M. Azar, S. M. (2016). Sintonía de Controladores Inteligentes Mediante Estrategia Híbrida Fuzzy-PSO . *Repositorio Institucional de la UNLP* , 7.
- M. Zambrano, A. G. (2016). CONTROL DE TEMPERATURA DE MATERIALES USANDO ENFRIADORES TERMO-ELÉCTRICOS . *Jovenes en la Ciencia*, 5.
- Moya, S. (24 de Diciembre de 2018). *Revista InTech México Automatización*.
Recuperado el 24 de diciembre del 2018. Obtenido de InTech Automatizacion : <https://www.isamex.org/intechmx/index.php/2018/12/24/conceptos-basicos-sistemas-de-control/#:~:text=Componentes%20del%20Sistema%20de%20Control&text=Cuyos%20elementos%20b%C3%A1sicos%20son%20los,Actuador.>

- NEIRA, P. A. (2018). *ESTRATEGIA PARA LA IMPLEMENTACION DE UN CONTROLADOR BASADO EN LOGICA DIFUSA EN UN PL*. Ciudad Bolívar - Bogotá D.C. .
- P. Lorandi, H. S. (2015). Controladores PID y Controladores Difusos. *Revista de la Ingeniería Industrial*, 13.
- PABLO, D. P. (2019). *EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS DE CONTROL FUZZY, Y CONTROL NEUROFUZZY, PARA EL CONTROL DE POSICIÓN DE UN PÉNDULO SUSPENDIDO*. AREQUIPA-PERÚ .
- PACHECO, T. &. (2019). *CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE CONTROLADORES, ESTRATEGIA PARA LA IMPLEMENTACION DE UN CONTROLADOR*. Ciudad Bolívar - Bogotá D.C. Y LATACUNGA-ECUADOR.
- Pardo, S. A. (2018). *IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE CONTROL PARA LA REGULACIÓN DE LA PLATAFORMA FESTO*. Chile.
- Quispe, E. J. (2018). *Sistemas de Control de Temperatura*. Recuperado el 2 de octubre del 2019. Obtenido de <http://repositorio.une.edu.pe/handle/UNE/3577>.
- Rodríguez, G. (2018). *Diseño e implementación de un algoritmo con control PID y comunicación Bluetooth utilizando un Arduino Mega para el funcionamiento de un robot balance a distancia*. . Guayaquil-Ecuador .
- TACO, D. E. (2019). *CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE CONTROLADORES*. LATACUNGA-COTOPÁXI-ECUADOR.
- V. Hernández, M. A. (2016). "Control on-off de temperatura y potencia para el mejoramiento de las condiciones de procesos asistido con microondas" . *INGE CUC*, 7.
- Villajulca, J. C. (Junio de 2019). *Instrumentacion y control.net*. Recuperado el 19 de junio del 2020. Obtenido de <https://instrumentacionycontrol.net/control-on-off-o-todo-nada/>

ANEXOS