



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL-CENTENARIO

**CARRERA DE ELECTRÓNICA Y
AUTOMATIZACIÓN**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN
CONTROL DIFUSO PARA REALIZAR UN
ESTUDIO COMPARATIVO DE ALGORITMOS
DE CONTROL EN UN TÚNEL DE VIENTO.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Electrónico

AUTOR: John Sebastián Tandazo Jordán

AUTOR: Francisco Javier Chiriboga Hidalgo

TUTOR: Byron Xavier Lima Cedillo

Guayaquil-Ecuador

2022

1 CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, John Sebastián Tandazo Jordán con documento de identificación N° 0930971205 y Francisco Javier Chiriboga Hidalgo con documento de identificación N° 0951262948; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, febrero del año 2022

Atentamente,



John Sebastián Tandazo Jordán

0930971205



Francisco Javier Chiriboga Hidalgo

0951262948

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


Nosotros, John Sebastián Tandazo Jordán con documento de identificación No. 0930971205 y Francisco Javier Chiriboga Hidalgo con documento de identificación No.

0951262948 expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: Diseño e implementación de un control difuso para realizar un estudio comparativo de algoritmos de control en un túnel de viento, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.


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

Guayaquil, febrero del año 2022

Atentamente,



John Sebastián Tandazo Jordán
0930971205



Francisco Javier Chiriboga Hidalgo
0951262948

3 CERTIFICADO DE DIRECCION DEL TRABAJO DE TITULACION

Yo, Byron Xavier Lima Cedillo con documento de identificación N° 0921971768, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación Diseño e implementación de un control difuso para realizar un estudio comparativo de algoritmos de control en un túnel de viento, realizado por John Sebastián Tandazo Jordán con documento de identificación N° 0930971205 y por Francisco Javier Chiriboga Hidalgo con documento de identificación N° 0951262948 obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, febrero del año 2022

Atentamente,



Ing. Byron Xavier Lima Cedillo MSc.
C.I.: 0921971768

4 DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

Agradecimientos

Agradezco a Dios por permitirme culminar esta etapa Universitaria, a mi familia por apoyarme incondicionalmente a lo largo de estos años como estudiante e hijo, sobre todo por siempre creer en mí y siempre me han acompañado a lo largo de mis triunfos personales. a mi padrino que me acompaña desde el cielo

Mención de honor a mi enamorada.

John Sebastián Tandazo Jordán

Agradecimientos

Quiero agradecer a Dios por darme la fuerza y paciencia para seguir adelante ante las adversidades que se pusieron en mi camino hacia alcanzar mi meta: ser ingeniero. Asimismo, agradezco profundamente a mi familia por sus consejos y su apoyo incondicional que me impulsaron a no desistir de mis sueños, y a mi pareja por siempre estar cuando más lo necesitaba.

También agradezco a mi tutor, el Ing. Byron Lima, por la guía, el compromiso y el conocimiento que me ha compartido para ayudarme en mi formación educativa y profesional. De igual forma, extiendo mis agradecimientos a mis compañeros del Club de Robótica por la confianza, los consejos y la motivación que me han brindado y me ha servido de soporte en este proyecto.

Dedicatoria

Este logro se lo dedico a Dios por darme la suficiente fuerza, salud y paciencia que he necesitado para completar este objetivo, y a mi padre por ayudarme a formar mi carácter ante la incertidumbre que puede acompañarnos en la vida.

Dedico este logro sobre todo a las personas que más amo: a mi madre y a mi abuelita. A mi madre, por ser un pilar fundamental en toda mi carrera y sobre todo por el apoyo incondicional que solo ella puede otorgar con tanto amor y cariño. Y a mi abuelita, por siempre ser esa luz que guía mi camino, por siempre cuidar de mí y siempre ayudarme a encauzar mi vida cuando me he desviado de mi meta.

Francisco Javier Chiriboga Hidalgo

5 Resumen

El presente documento muestra la comparativa de un controlador Difuso y PID de una planta de túnel de viento, con un PLC S7-1500 como maestro conectado por red PROFIBUS a un dispositivo esclavo ET200S.

Se plantea como objetivo realizar la comparativa de cuál de los dos controladores es más estable, se compara cuál de ellos llega al valor de referencia en un tiempo menor, y así mismo con las señales y derivada de error, y la salida o DUTY de ambos controladores.

Con el proyecto se consigue demostrar cual controlador es más robusto. Cabe recalcar que se ha comparado los tiempos en que les toma llegar al valor deseado entre ambos. El diseño de cada controlador fue hecho en diferentes aplicaciones siendo el diseño del controlador PID hecho con PID COMPACT y el diseño del controlado difuso en SIMULINK de Matlab.

Se concluye que el controlador PID clásico toma mucho tiempo en llegar a la estabilidad, pero cuando lo logra, puede realizar el control en periodos más extensos. Del mismo modo, la señal de error que ingresa en el mismo es un poco más lineal, sin embargo, el controlador difuso se estabiliza en tiempos más cortos lo cual permite al controlador disminuir a largo plazo la señal de error y por ende mejorar la salida de este.

6 Abstract

This document shows the comparison of a Fuzzy and PID controller of a wind tunnel plant, with a PLC S7-1500 as master connected by PROFIBUS network to an ET200S slave device.

The objective is to make the comparison of which of the two controllers is more stable, comparing which of them reaches the reference value in a shorter time, and likewise with the signals and error derivative, and the output or DUTY of both. controllers

With the project it is possible to demonstrate which controller is more robust. It should be noted that the times it takes them to reach the desired value between both have been compared. The design of each controller was made in different applications, being the design of the PID controller made with PID COMPACT and the design of the fuzzy control in SIMULINK of MATLAB.

It is concluded that the classic PID controller takes a long time to reach stability, but when it does, it can control over longer periods. In the same way, the error signal that enters it is a little more linear, however, the fuzzy controller stabilizes in shorter times, which allows the controller to reduce the error signal in the long term and therefore improve the output. of the same.

Key words: Fuzzy, controller, PID, OPC, PLC, MATLAB.

ÍNDICE DE CONTENIDO

2 CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	2
3 CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	3
4 CERTIFICADO DE DIRECCION DEL TRABAJO DE TITULACION	4
5 DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO	5
6 Resumen.....	7
7 Abstract.....	8
9. Introducción.....	10
Trabajos relacionados	10
Objetivos.....	11
Objetivo General:	11
Objetivos Específicos:	11
Marco metodológico.....	11
Técnicas de Recopilación de datos empleadas.....	11
Técnica de Análisis de datos	16
Interpretación de resultados	18
Cronograma y actividades desarrolladas.....	22
Presupuesto.....	22
Conclusiones.....	22
Recomendaciones	23
Bibliografía.....	24
Anexos	25

7 Introducción

En este proyecto se realizó un controlador DIFUSO de un sistema térmico como lo es un túnel de viento y posterior a ello se comparó vs un controlador PID.

Con base en los objetivos de la tesis se busca monitorear el comportamiento de los controladores antes mencionados bajo las mismas condiciones de manera individual.

Así pues, en el presente documento se tuvo la idea de realizar un controlador difuso para el cual se usó un PLC S7 1500 conectado mediante red PROFIBUS a una ET-200S como modulo periférico para recepción de datos en campo posterior a realizar la conexión de hardware se procedió a la programación y creación del controlador se usó un OPC para trasporte de datos desde el PLC hacia Matlab en el cual se realizó el controlador de la planta.

Como resultado, se obtuvo un controlador robusto tomando como valor de referencia (set point) una temperatura de 35°C partiendo desde una temperatura ambiente de 30°C, ambos lograron realizar dicho control, pero el controlador difuso lo realizo en menor tiempo y dentro de los limites propuestos. Por el contrario, el controlador PID realizo el control en un tiempo mayor con mucho ruido ambiental, lo cual lo saco de los parámetros y extendió el tiempo del control de este.

Trabajos relacionados

En el artículo de [1] el cual trato el tema de control difuso y como crear los modelos matemáticos del mismo, en base a fórmulas matemáticas y diferentes integraciones del control difuso con múltiples proyectos, sirvió como guía al momento de crear el controlador y definir las reglas de este.

En el proyecto de tesis realizado por [2] en el cual se creó un controlador PID para un sistema térmico, mediante un PLC S7-1500 sirvió como guía pues también trabajo con un sistema térmico.

Mediante la comunicación de OPC SERVER para comunicar el PLC con el programa en que se realizó el controlador fue de ayuda el siguiente artículo, que se utilizó KEPSERVER como integrador de para [3] en donde resuelven una problemática con el software y utilizan las herramientas de este como es SIMULINK.

Objetivos

Objetivo General:

- Comparar la respuesta de un controlador PID vs un controlador DIFUSO aplicado a un túnel de viento.

Objetivos Específicos:

- Implementar un controlador de PID clásico.
- Diseñar e implementar un controlador difuso.
- Establecer la comunicación de un autómatas programable y un dispositivo remoto a través de PROFIBUS.
- Monitorear el comportamiento de los controladores bajo las mismas condiciones.
- Analizar el comportamiento de la planta aplicando los controladores de manera individual.

Marco metodológico

Técnicas de Recopilación de datos empleadas

Para la obtención de datos, de baso primero en conectar la planta en campo hacia el PLC o dispositivo de control mediante el dispositivo remoto en este caso ET200S como indica la imagen 1, mediante el cual se obtuvo los datos en campo como la resistencia y el ventilador, lo cual nos ayudó a poder cumplir el objetivo de establecer la comunicación de un autómatas programable y un dispositivo remoto a través de PROFIBUS.

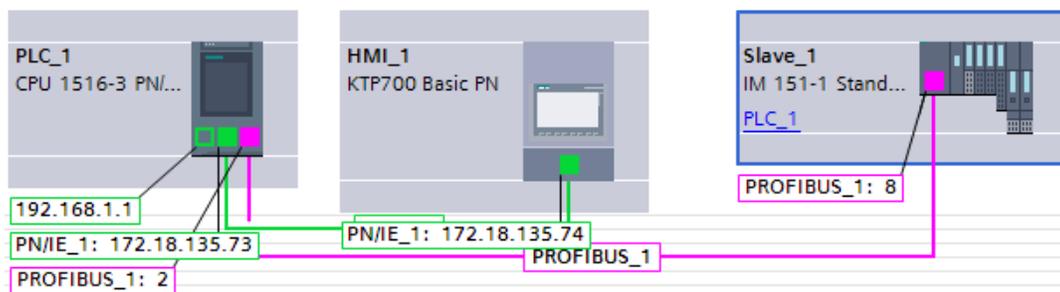


Figura 1: Conexión Hardware TIA Portal

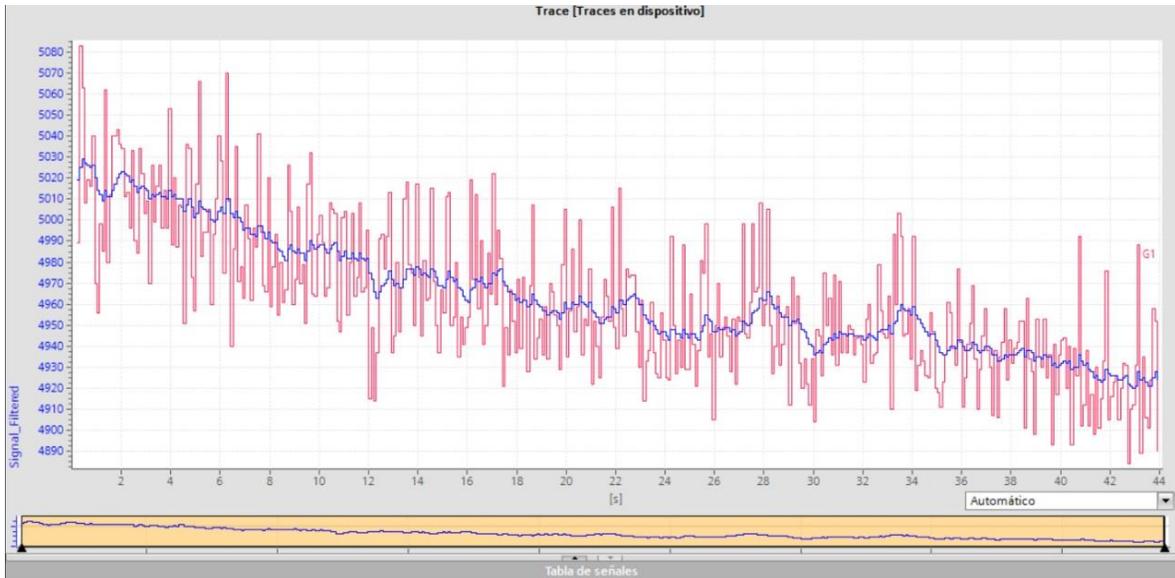


Figura 2: Filtro EMA TIA Portal V15.1

En cuanto a la comunicación, se dio un enfoque en visualizar de los datos. No obstante, se crearon tres FIGURA 3, Al mismo tiempo se dispuso en corregir el ruido que ingresaba desde la resistencia al PLC. Mediante un filtro EMA (*Exponential Moving Average*) se corrigió y elimino el ruido externo, que como resultado se obtuvo una señal mucho más limpia y estable como se observa en la FIGURA 2. Esta ingresaba previo a la normalización y fue escalada en una temperatura de trabajo de la planta lo cual fue muy útil. Posterior con el diseño del controlador se tuvo una señal más estable y dentro de los parámetros establecidos. Tras comprobar la función del filtro EMMA, se dispuso a llevar los datos en tiempo real hacia MATLAB.

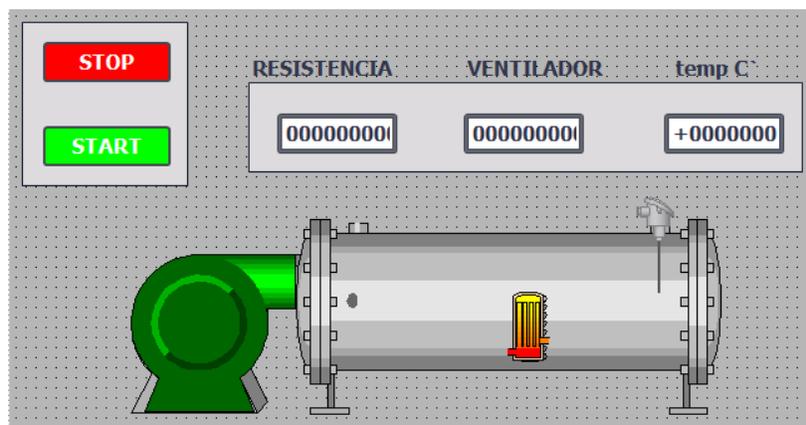


Figura 3: Visor de la pantalla HMI

Se eligió estar a la vanguardia de la tecnología y usar un OPC. En este caso utilizamos KEPSERVER como OPC de conexión entre TIA PORTAL y MATLAB. Mediante el OPC se dirigió las variables creando una señal en específico mediante conexión TCP/IP para envío y recepción de las variables como lo indica la imagen 4.

Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate	Scaling
DUTY_1	MD58	Float	100	None
INPUT	MD48	Float	100	None
PT-100	MD44	Float	100	None
SALIDA_RESISTE...	Q3.6	Boolean	100	None
SALIDA_VENTILA...	Q3.7	Boolean	100	None

Figura 4: Conexión del OPC

Por consiguiente, se decidió elegir las variables enviadas como READ/WRITE para su posterior uso en el programa MATLAB. Las variables que se enviaron mediante el OPC fueron los datos de PT-100. Adicional a ello también se envió la variable DUTY que controlaba la activación por PWM. la resistencia con un lapso de 100ms posterior de comprobar el direccionamiento y correcta configuración del OPC, continuamos con la conexión entre MATLAB y el OPC.

En MATLAB creamos las reglas del controlador en base a investigaciones previas y tras discernir información se llegó a la conclusión del uso de un controlador con 15 regla que se ajustó a nuestros requerimientos. Por tanto, se creó el controlador en Simulink con las ganancias que se obtuvo en base a la función de transferencia y se realizó la conexión de las variables entre el OPC y Matlab. Mediante los bloques de comunicación de Matlab y se procedió a realizar la simulación del controlador que luego de definir las ganancias se hizo pruebas en campo y el controlador cumplió con los requerimientos planteados.

```

1. If (error is Cero) and (derror is Neg) then (control is min) (1)
2. If (error is Cero) and (derror is Cero) then (control is min) (1)
3. If (error is Cero) and (derror is Pos) then (control is bajo1) (1)
4. If (error is Pos) and (derror is Neg) then (control is max) (1)
5. If (error is Pos) and (derror is Cero) then (control is bajo1) (1)
6. If (error is Pos) and (derror is Pos) then (control is min) (1)
7. If (error is Neg) and (derror is Neg) then (control is min) (1)
8. If (error is Neg) and (derror is Cero) then (control is min) (1)
9. If (error is Neg) and (derror is Pos) then (control is min) (1)

```

Figura 5: Editor de reglas en Matlab del control difuso

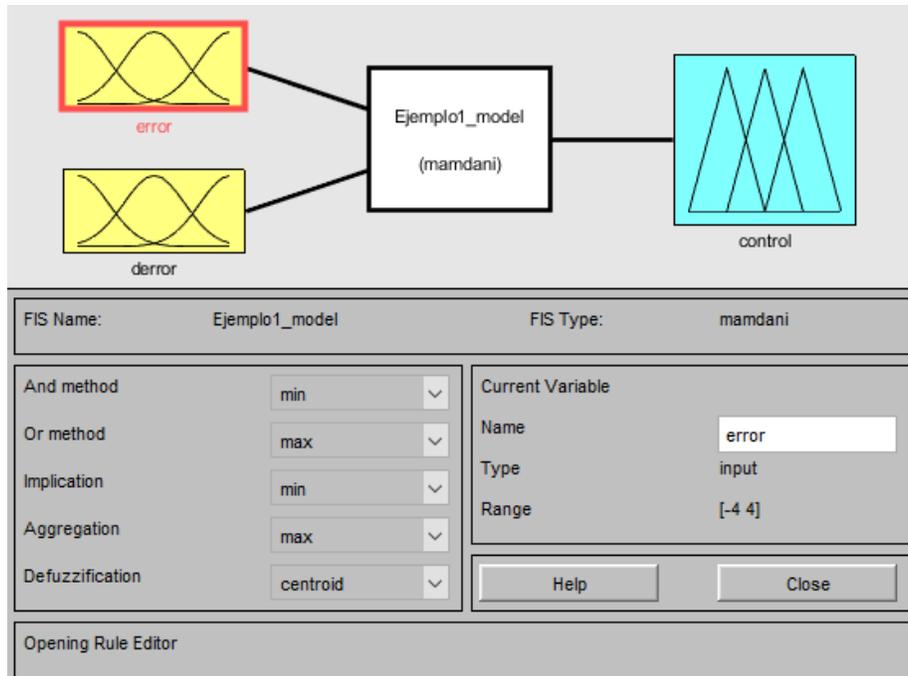


Figura 6: Importe y exporte de reglas del control difuso



Figura 7: Visor del diseño de reglas

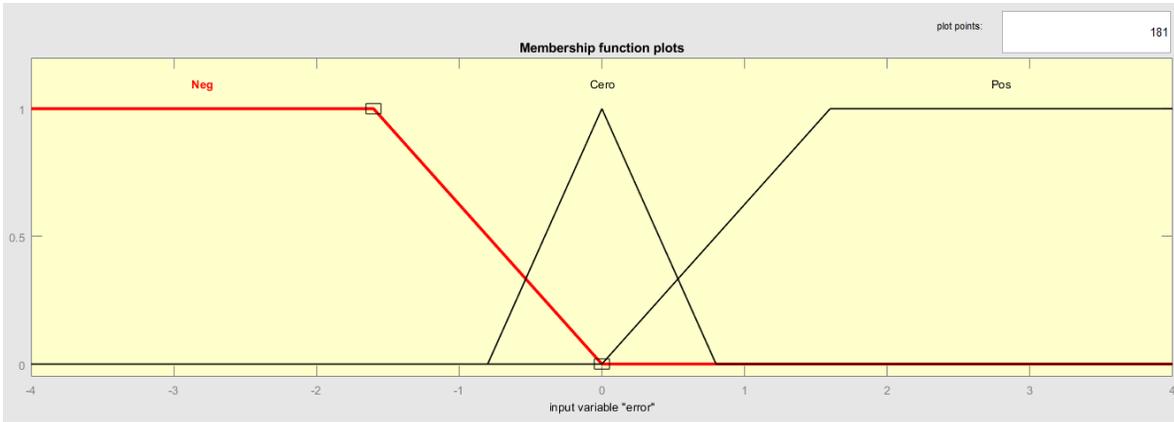


Figura 8: Función de membresía del error

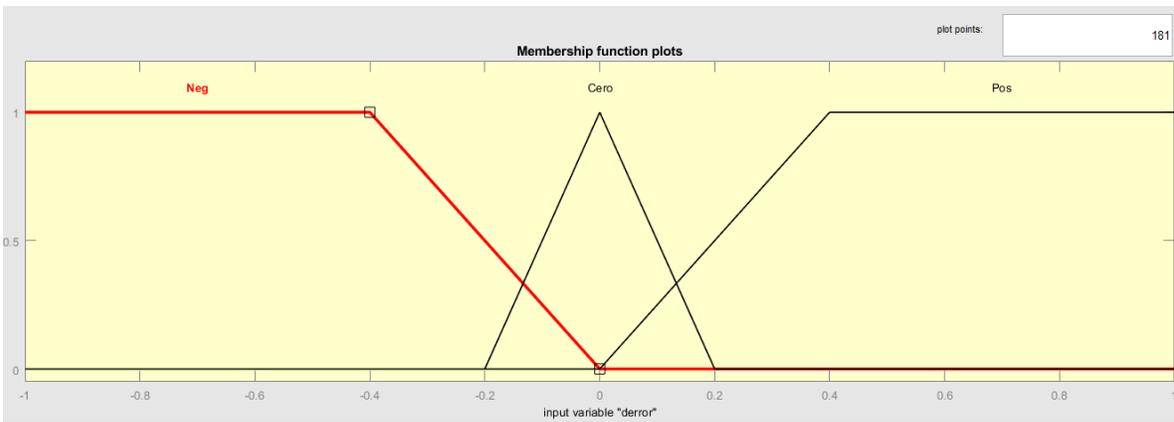


Figura 9: Función de membresía de la derivada del error

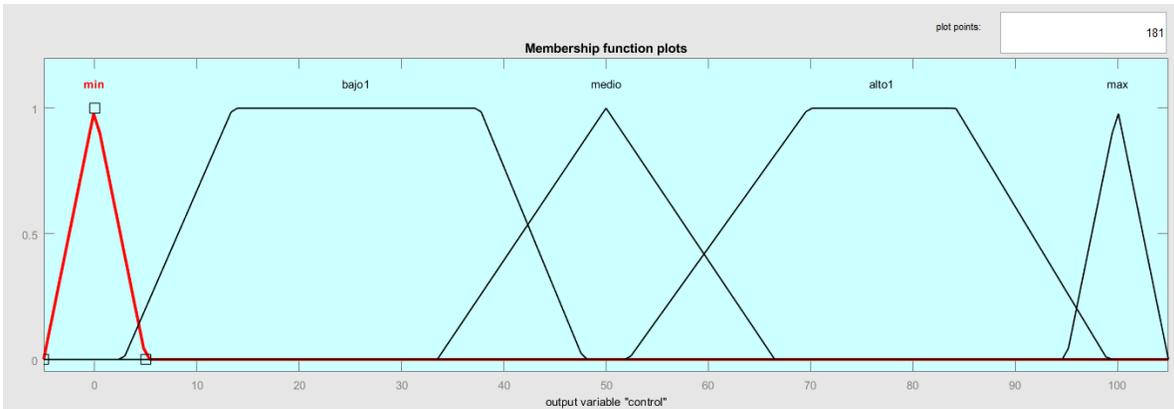


Figura 10: Función de membresía del control

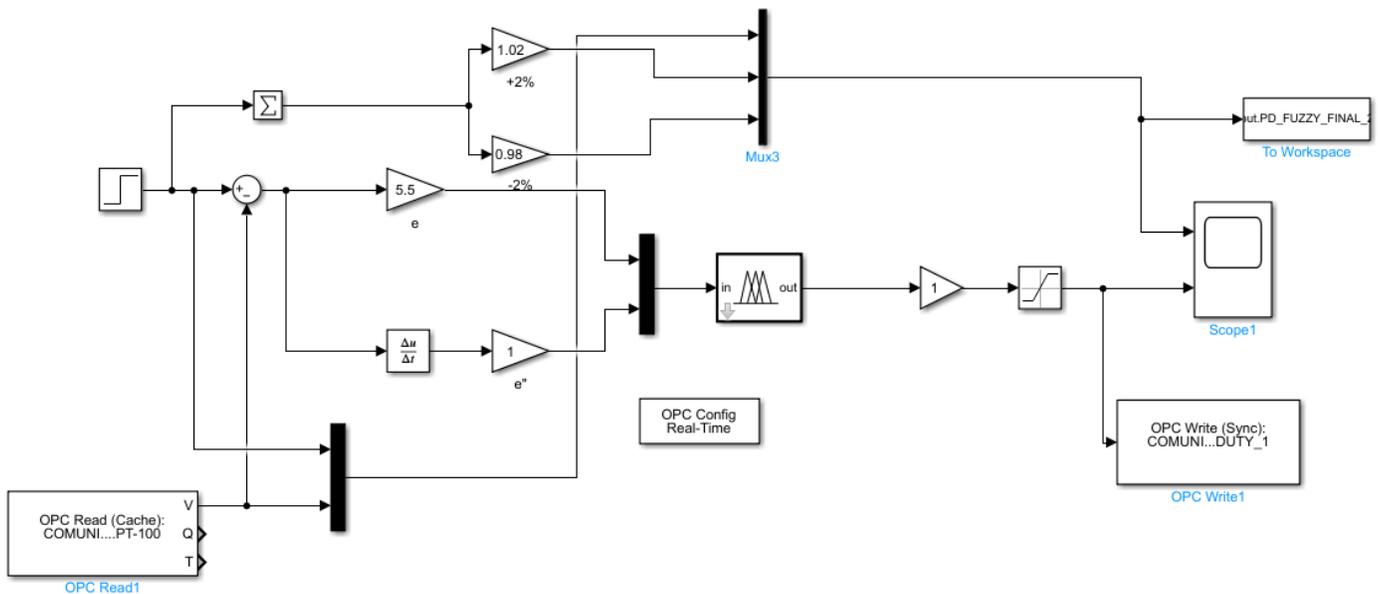


Figura 11: Diseño de controlador Fuzzy

Técnica de Análisis de datos

Análogamente, el controlador PID es menos robusto y más susceptible a perturbaciones. Este controlador en particular necesita tomar datos como muestreo inicial previo al control. Al momento de realizar el control, la señal de inicio contiene ruido lo cual lo hace un poco más lento y, en consecuencia, provoca que el controlador salga de los límites permitidos y le tome más tiempo en lograr la estabilidad.

La estabilidad de este control PID se logra en tiempos muy extensos y suele ser un poco más inestable, puesto que la señal es muy fluctuante entre el rango inferior y superior permitido.

Adicional, este controlador es propenso a fallar si se somete a alteraciones externas, pues no es muy robusto y depende mucho de los valores iniciales.

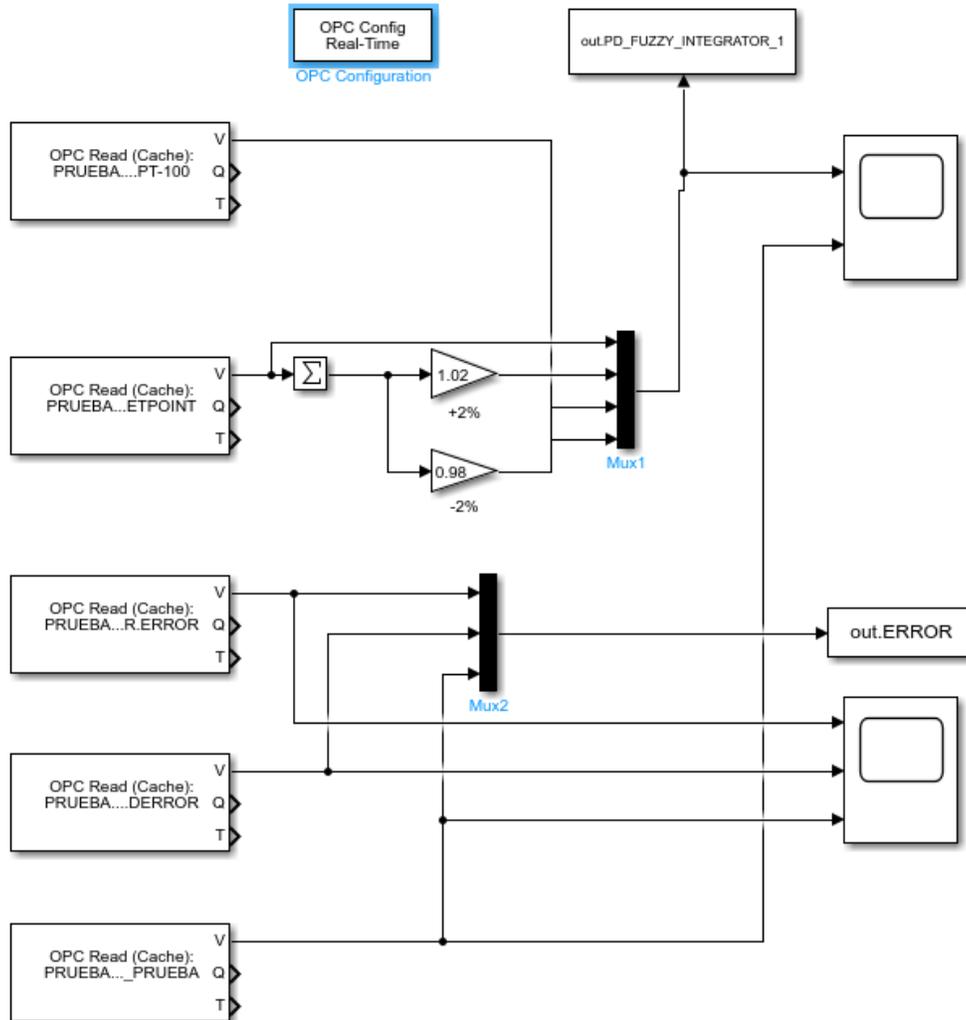


Figura 12: Programación en Simulink para visualizar control PID desarrollado en WinCC

El controlador Difuso es más robusto, es un control adaptativo, supervisión de control difuso, etc.

El diseño del control difuso se basa mayormente en los tiempos de respuesta en los cuales en muchos casos se traza una curva de estos, los cuales deben ser en el menor tiempo posible [4]

En el diseño e implementación de este control difuso, se logró una curva muy acertada dentro de los parámetros de trabajo. Además, también se realizó en un tiempo de acción más corto en comparación al continuo aprendizaje del mismo controlador.

Se logro crear reglas de control muy robustas para lograr que el controlador sea más útil en diversas y posibles situaciones.

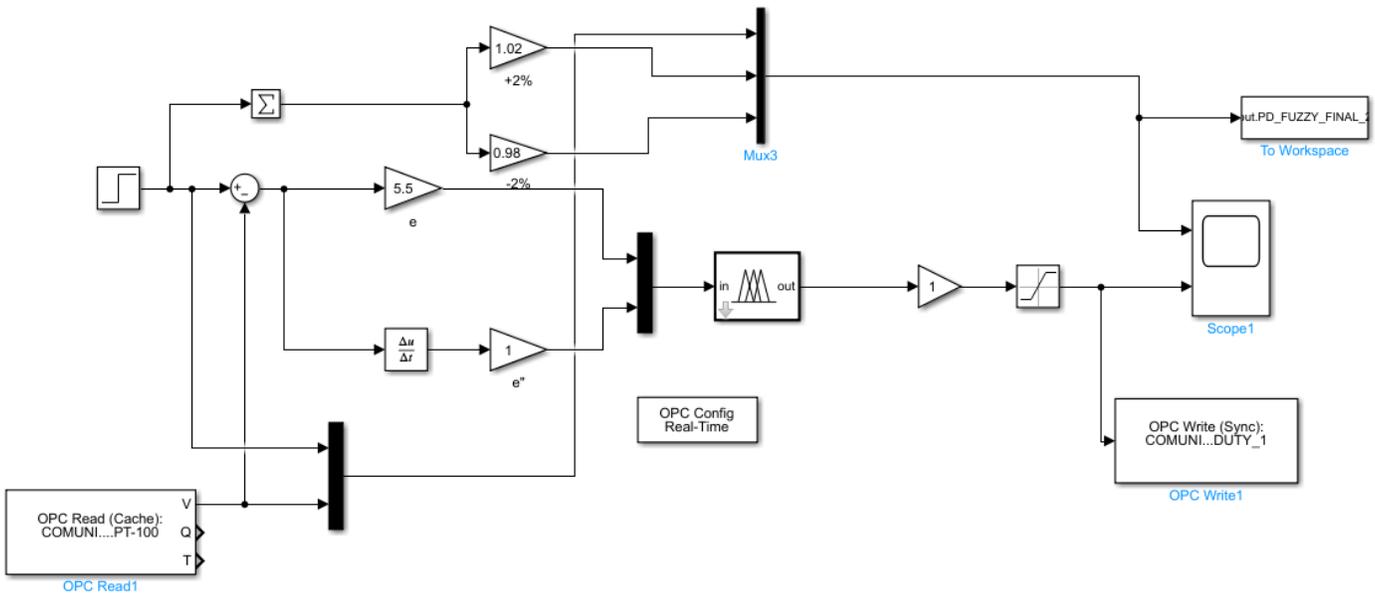


Figura 13: Controlador difuso realizado en Matlab con comunicación OPC

Con lo anteriormente expuesto, se logra evidenciar que las diferencias más notables entre ambos controladores fue el tiempo de respuesta. El controlador PID tuvo un tiempo mucho mayor al que necesito el difuso y la curva de accionamiento para llegar al mismo resultado, puesto que el control PID se extendía y la mayoría de las ocasiones se salía de los límites de control. Por otro lado, el difuso no lo hacía, ya que se mantenía dentro del límite indicado y llegaba a controlar el sistema en un tiempo mucho menor que el PID. Del mismo modo, el controlador difuso fue mucho más robusto en base a las perturbaciones y la señal que se obtuvo de este control es una señal mucho más limpia y estable.

En esa misma línea, el controlador difuso es usado para supeditar una planta térmica enfriada por túnel de viento. A la vez, se puede otorgar una breve descripción de la planta la cual cuenta con un ventilador encargado de enfriar la misma y una resistencia la cual calienta el sistema. una termocupla tipo k usada como transductor el cual se encarga de convertir una variable física a una variable eléctrica. La termocupla es utilizada como sensor en este sistema.

Interpretación de resultados

Durante las diferentes pruebas realizadas y comparación entre ambos controladores, se agencio datos interesantes y posterior análisis se determinaron algunos puntos importantes, tales como el tiempo de estabilidad entre ambos controladores. Se tiene que el control

difuso logra la estabilidad en un tiempo de 208s, pero por otra parte el controlador PID logra la estabilidad en un tiempo de 1104s.

Asi mismo, se puede analizar una diferencia importante que se alcanzó a evidenciar entre ambos controladores fue el ruido que presentan en sus señales de control. El controlador PID cuenta con un ruido mayor debido a que no es un controlador tan robusto en su diseño y por lo tanto es más propenso a perturbaciones. Por otra parte, la señal de control del control difuso no presenta tanto ruido, gracias a que las reglas de control lo vuelven más robusto y menos propenso al ruido o perturbaciones externas.

De igual importancia, se tomó a comparación los datos del error, derivada de error, salida o ciclo de trabajo para analizar la diferencia de ambos controladores. Por lo anteriormente mencionado se concluyó que el error del controlador PID es continuo y se acerca a la linealidad mientras que el error difuso es un poco más variable al inicio, pero luego con el pasar del tiempo de control disminuye.

La derivada del error del controlador difuso es casi lineal mientras que por el contrario en el PID este mismo genera mucho ruido y tiende mucho al desborde debido al mismo el ruido. Por último, tenemos la señal de control (duty) de ambos controladores en los cuales tenemos salidas basados al error de cada controlador, siendo el PID el más limpio desde el inicio mientras el controlador difuso inicia un poco más inestable, pero luego con el paso de los segundos se vuelve más optimo.

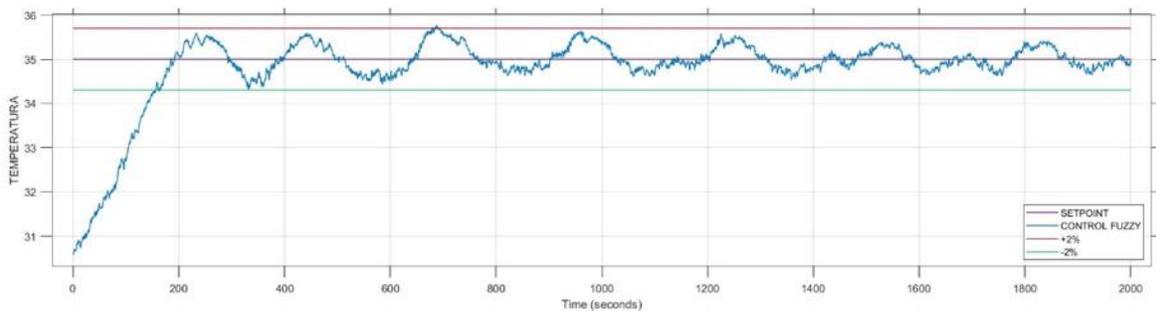


Figura 14: Señal del controlador difuso

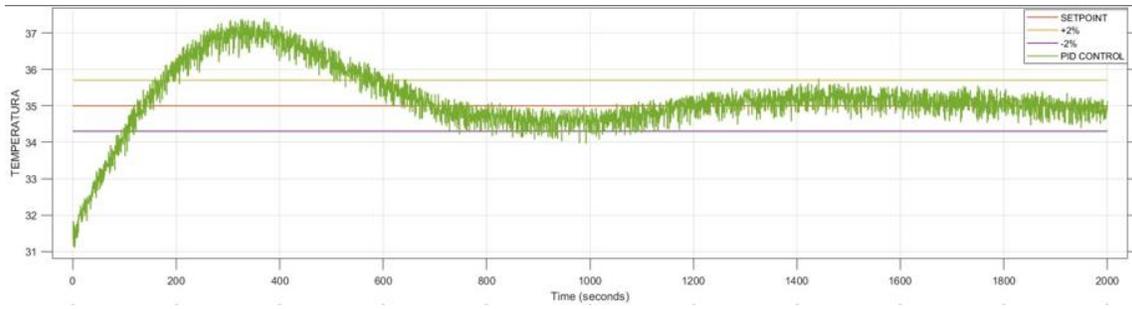


Figura 15: Señal del control PID

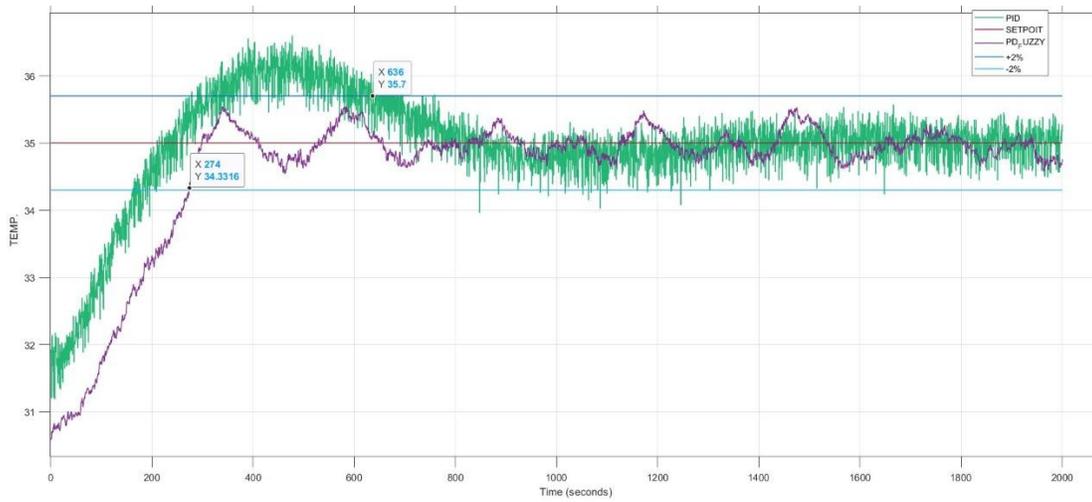


Figura 16: Comparativa de las señales de ambos controladores

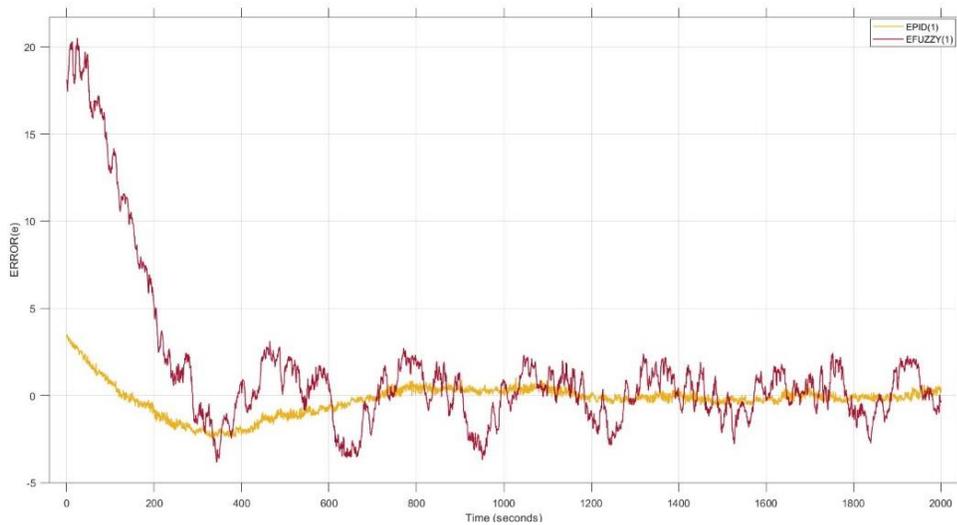


Figura 17: Comparativa de error de ambos controladores

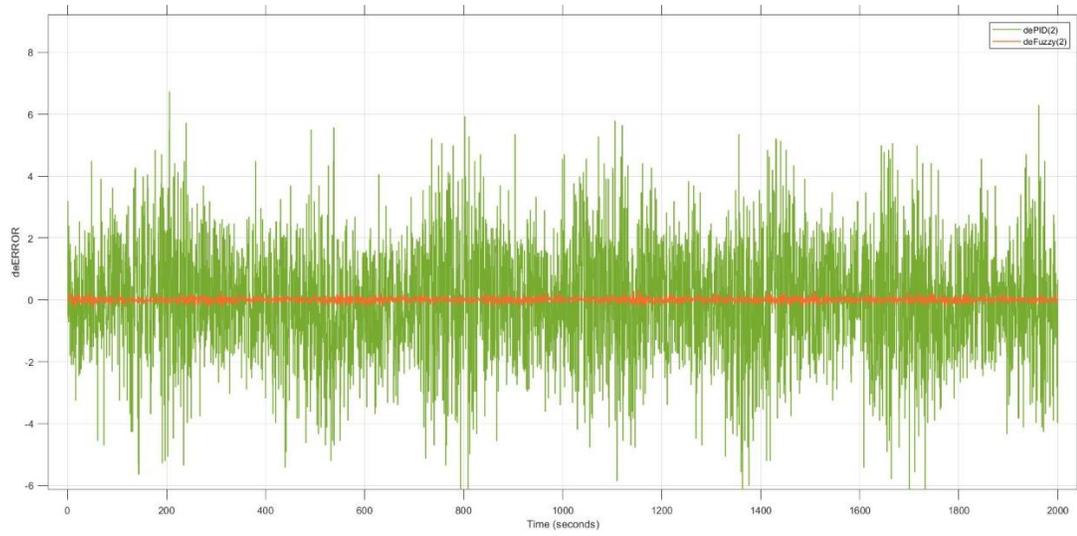


Figura 18: Comparativa de la derivada de error de ambos controladores

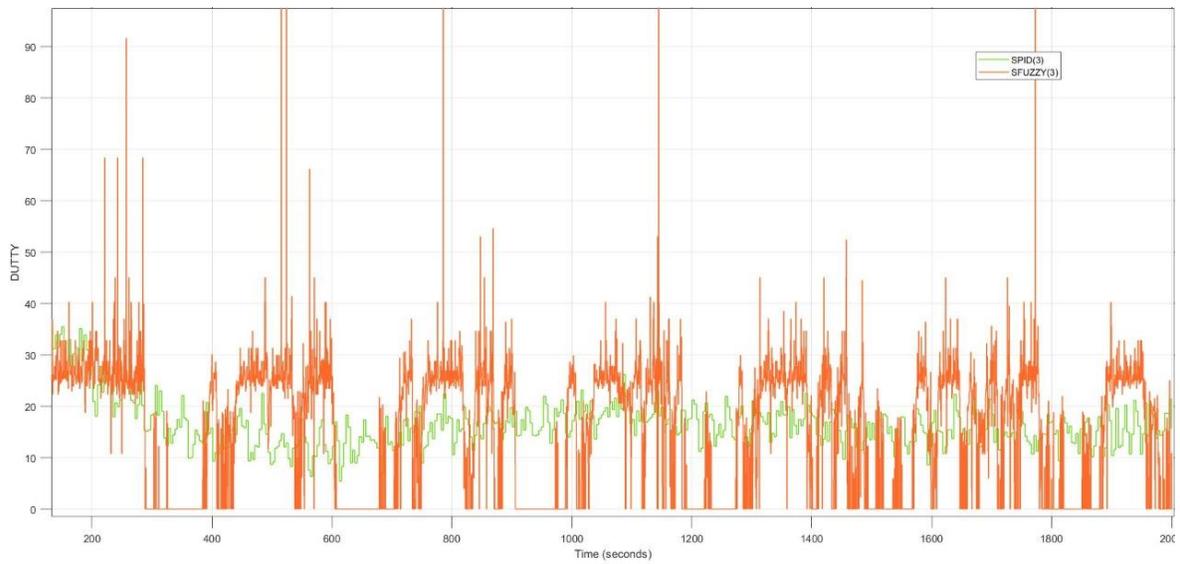


Figura 19: Comparativa de la señal de control (duty) de ambos controladores

Cronograma y actividades desarrolladas

ACTIVIDAD/MES	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
Compra de materiales	x					
Diseño de control DIFUSO	x	x				
Implementación de control PID		x	x			
Implementación de control DIFUSO		x	x			
Implementación de la conexión PROFIBUS			x			
Monitoreo de los controladores			x	x		
Análisis de comportamiento de los controladores				x	x	
Recolección de datos					x	x
Redacción del artículo científico				x	x	x

Tabla 1 Cronograma de actividades Elaborado por: Chiriboga F. & Tandazo S.

Presupuesto

Presupuesto de Artículo científico	
Descripción de materiales	Costo
Material Eléctrico	\$ 80.00
Material Mecánico	\$ 50.00
Uso de internet	\$ 60.00
Gastos varios	\$ 75.00
Total	\$ 265.00

Tabla 2 Presupuesto a usar por los autores. Elaborado por: Chiriboga F. & Tandazo S.

Conclusiones

Luego de lograr realizar simulaciones, adquisición de datos y posterior comparativa entre ambos controladores, se concluyó que el controlador difuso logra la estabilidad 5.3 veces más rápido que el PID, es mucho menos susceptible al ruido externo y basándonos a la teoría nos indica que es un controlador mucho más robusto

Al momento de direccionar las variables desde el PLC al software Matlab, mediante el OPC KEPSERVER se evidencio que este mismo es muy útil para diferentes procesos como

Datalogger entre otros, para envío y recepción de datos entre diferentes aplicaciones para nuestro controlador debido a su alta velocidad.

La comparación entre el error de ambos controladores y posterior salida se concluye que: El controlador PID le toma más tiempo en lograr la estabilidad debido al ruido y la linealidad de su error y en la derivada de este cuenta con mucho ruido. Mientras el controlador Difuso cuenta con un error inicial variable, con el paso de los segundos este disminuye. Luego, la derivada del error es mucho más lineal y presenta una ausencia de ruido en comparación al control PID, lo cual le permite lograr el control en menor tiempo que se ve demostrado en la salida o DUTY.

Recomendaciones

Se recomienda tener en cuenta para futuros trabajos o actualizaciones de la planta implementar más instrumentación para el control de esta, se recomienda utilizar un vidrio de mayor espesor o con propiedades que soporten altas temperaturas.

Se tomo en cuenta recomendar en el futuro colocar un retardo para evitar la toma innecesaria de gran cantidad de datos en tiempos reducidos tomando en cuenta el tiempo de acción de un sistema térmico.

Se recomienda en futuras actualizaciones colocar una turbina con capacidad de succión de aire para poder tener un mayor control del sistema difuso. Se recomienda colocar conexión a tierra de la planta para evitar corrientes parasitas y accidentes e incidentes.

Bibliografía

- [1] I. K. V. S. S. Dragan Simić, "50 years of fuzzy set theory and models for supplier assessment and selection: A literature review,," *Journal of Applied Logic*, pp. 85-96, 2017.
- [2] C. F. N. Ortiz y I. D. H. Cuzco, *Diseño e Implementacion de Modulos Didacticos Para Practicas de Red Profibus Utilizando PLC S7-1500*, Guayaquil, Guayas, 2020.
- [3] Z. -x. W. a. S. G. G. -j. Wang, «G. -j. Wang, Z. -x. Wang and S. Gu,» *IEEE*, pp. 455-458, 2009.
- [4] K. M. Passino y S. Yurkovich, *Fuzzy Control*, California: Addison-Wisley, 1997.
- [5] A. Ferreyra y R. Fuentes, «Estudio Comparativo Entre Control PID y Difuso,» *Research Gate*, p. 6, 1999.
- [6] A. González, E. Goikolea, J. A. Barrena y R. Mysyk, «Review on supercapacitors: Technologies and materials,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 58, pp. 1189-1206, 2016.
- [7] Ogata y Katsuhiko, *Modern Control Engineering*, New Jersey: Pearson, 2010.
- [8] Poddar, C. Singh* y K., «Implementation of a LabVIEW-Based Automated Wind Tunnel Instrumentation System,» *IEEE*, p. 6, 2008.
- [9] Zimmermann y H.-J., *Fuzzy Set Theory and Its Applications*, New York: Kluwe Academic Publishers, 2001.
- [10] «SIEMENS,» 12 05 2021. [En línea]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/es/es/pv/6ES7516-3AN01-0AB0/cax?dl=es>.
- [11] F. TERMODINAMICA, «<https://mariangeles1207.wordpress.com/corte-2-2/tunel-del-viento/>,» 20 ABRIL 2013. [En línea].
- [12] Rosanna, 3 2 2005. [En línea]. Available: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6887/04Rpp04de11.pdf>.
- [13] Victor, «Controladores PID,» Barranquilla, 2016.
- [14] C. H. J. a. M. F.-F. W. Gutiérrez-Marroquín, «W. Gutiérrez-Marroquín, C. H. Jiménez and M. Fernández-Fernández,» *IEEE*, pp. 1-6, 2017.

Anexos



Figura 20: Pruebas realizadas en el túnel de viento

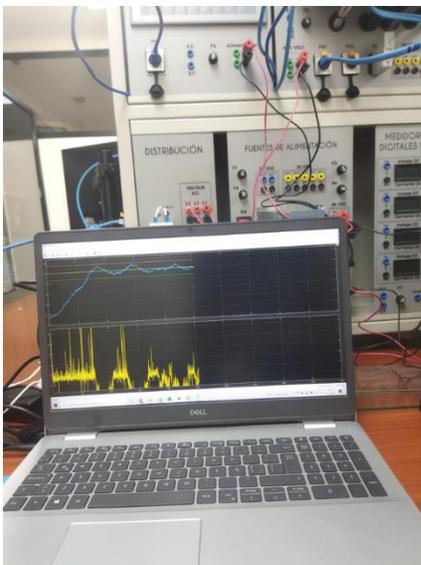


Figura 21: Túnel de viento en pruebas



Figura 22: Activación de salidas digitales

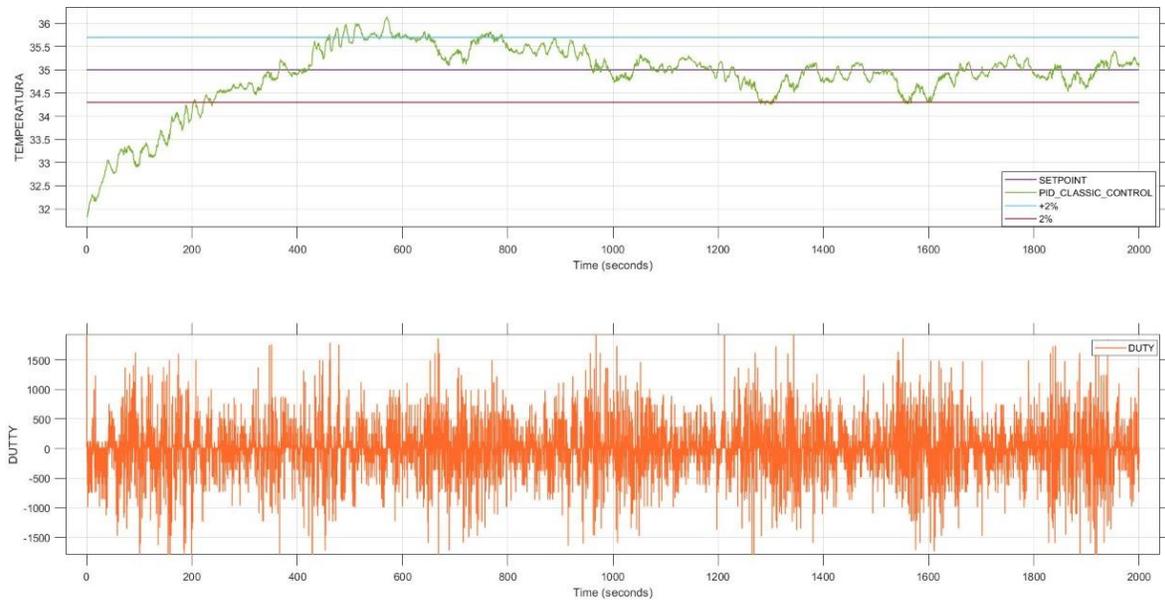


Figura 23: Grafica de controlador PID aplicado el Filtro EMA

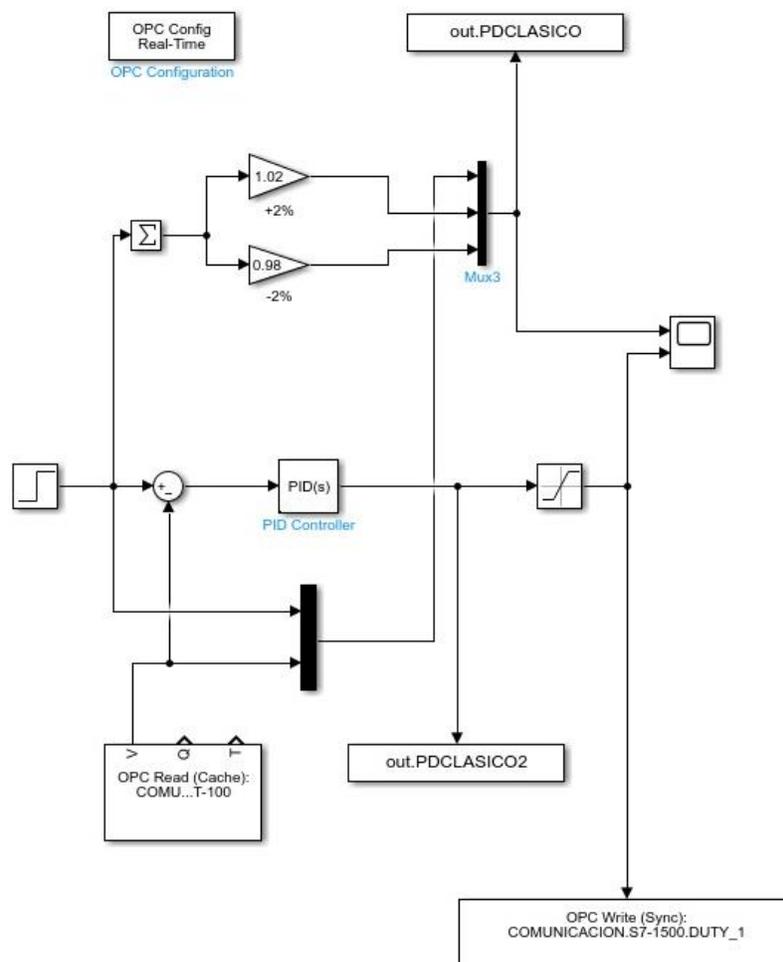


Figura 24: Controlador PID clásico diseñado en Matlab

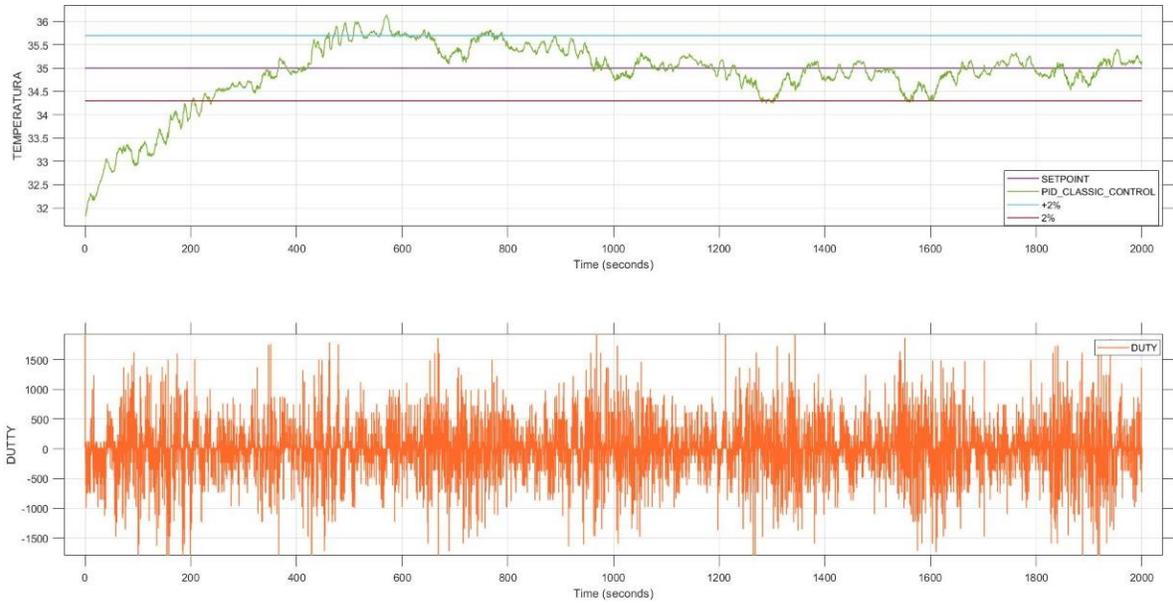


Figura 25: Grafico de controlador PID y señal de control (duty)

Controller: PID Form: Ideal

Time domain:
 Continuous-time
 Discrete-time

Discrete-time settings
 Sample time (-1 for inherited): -1

▼ Compensator formula

$$P \left(1 + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}} \right)$$

Main Initialization Output Saturation Data Types State Attributes

Controller parameters

Source: internal

Proportional (P): 4.690154

Integral (I): 0.00689

Derivative (D): 36.43869

Use filtered derivative

Filter coefficient (N): 100

Automated tuning

Select tuning method: Transfer Function Based (PID Tuner App) Tune...

Figura 26: Parámetros del controlador PID