





Diseño De Controladores Clásicos E Inteligentes Para Regular El Voltaje De Entrada A Un Inversor En Un Sistema Fotovoltaico


Design Of Classical And Intelligent Controllers To Regulate The Input Voltage To An Inverter In A Photovoltaic System

Camilo Andrés Caycedo Molano^{1*} 
Universidad de Pamplona

Juan Andrés Cruz Daza 
Universidad de Pamplona

Rodrigo Betancurt Hueso 
Universidad de Pamplona

Oscar J. Suarez 
Universidad de Pamplona

Aldo Pardo Garcia 
Universidad de Pamplona

¹ Universidad de Pamplona, Ingeniería y arquitectura, Ingeniería Mecatrónica. Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.
E-mail: {camilo.caycedo, juan.cruz, rodrigo.betancurtoscar.suarez, apardo13}@unipamplona.edu.co.

RESUMEN

Este trabajo presenta el desarrollo de los diferentes controladores para regulación de la entrada del inversor de un sistema fotovoltaico, mediante el control clásico aplicando el método de Ziegler-Nichols y la herramienta PIDtune de Matlab, también mediante el control inteligente por medio de lógica difusa y redes neuronales. La función de transferencia que modela la obtención de voltaje a partir de la posición del panel solar se obtiene a partir de la aplicar identificación de sistemas por medio de Matlab a una data que fue tomada en su momento cuando se realizó de forma experimental la ejecución del proyecto.

PALABRAS CLAVE: controladores, voltaje, Ziegler Nichols, redes neuronales.

ABSTRACT

This work presents the development of the different controllers for the regulation of the inverter input of a photovoltaic system, by means of the classical control applying the Ziegler-Nichols method and the PIDtune tool of Matlab, also by means of the intelligent control by means of fuzzy logic and neural networks. The transfer function that models the obtaining of voltage from the position of the solar panel is obtained from the application of system identification by means of Matlab to a data that was taken at the time when the execution of the project was carried out experimentally.

KEYWORDS: controllers, voltage, Ziegler Nichols, neural networks.

INTRODUCTION

The embryonic endoderm has as main function to construct the linings of the digestive and respiratory tubes within the body (Zorn , Wells 2009). The lining of the digestive tube and its glands is generated from the endodermal cells; meanwhile the lungs are a derivative of the digestive tube. The glandular epithelium of the liver is also formed from the endoderm (Gilbert 2000). Morphogenetic movements that appear after the granulation process transform the naïve

endoderm into a primitive gut tube surrounded by mesoderm. This tube becomes segmented into the broad fore gut, midgut, and hindgut. The fore gut forms the esophagus, trachea, stomach, lungs, thyroid, liver, biliary system, and pancreas; whereas the midgut gives rise to the small intestine and the hindgut becomes the large intestine (D'Amour , Agulnick , Eliazer , Kelly O, Kroon , Baetge 2005).

The classification of the malignant tumors located in tissues formed from the embryonic endoderm, as all types of cancer, is based on the International Classification

of Diseases for Oncology (ICD-O) with coding systems for both topography and morphology. (Fritz , Percy , Jack , Shanmugaratnam , Sobin , Parkin , Whelan 2013). The ICD-O considers the histological examination (tissue samples under a microscope) (Sobin 1989), macroscopic assessment (DiMarino , Benjamin 2002) , and the topographic codification (National Cancer Registrars Association 2004), for establishing the biological behavior of the tumor and the stage of the disease or stage of evolution.

Computerized tomography (CT) imaging improves the detection of tumors of the lungs, abdomen, liver, kidneys, pancreas and pelvis (Fass 2008). The fast speed of image acquisition, the ability to minimize artifacts in an image caused by patient motion, breathing or involuntary wavelike contraction of gastrointestinal organs are characteristics that position the CT as the typically method of choice for imaging cancer tumors (Barrett , Keat 2004). Currently, CT is increasingly used to guide tumor biopsy to assess whether the neoplasm is benign or malignant (Schiavon, Tyng , Travesso , Rocha , Schiavon , Bitencourt 2018).CT image degradation due to noise, artifacts and detail blurring is a universal issue that has not yet been overcome basically by hardware restrictions (McWilliams , Murphy , Golestaneh , O'Regan , Arellano , Maher , O'Connor 2014).

CT images require a conditioning stage before starting the diagnostic process of neoplasms (Diwakar, Kumar 2018). At this stage, a specific image enhancement technique is applied for improving the image quality to a better and more understandable level. The visual appearance and the quality of CT images for future data processing, such as analysis, detection, segmentation and recognition are improved (Paranjape 2009). In order to improve the contrast of CT images, the contrast enhancement methods that have been used include the

gamma correction, global histogram equalization, dynamic histogram equalization, adaptive histogram equalization. Denoising and deblurring methods are also proposed to increase the quality of CT images (Al-Ameen , Al-Ameen , Sulong 2015).

The main objective here is to establish a useful improvement scheme as an image processing procedure to attenuate noise and artifacts in the volumes of CT data and improve the information associated with malignant neoplasms present in the volumes. To achieve a robust and reliable image improvement scheme, seven imaging strategies are compared. A score function is proposed for quantifying the effectiveness of the image enhancement schemes compared. Such measure is availed to determine the smoothing filter that greater impact on improving the information associated with medical images. The robustness of the enhancement scheme determined is validated by performing the segmentation of three-dimensional cancer tumors from CT images.

1. MATERIALS AND METHODS

1.1. Data Source

The datasets used in this research correspond with a part of the Cancer Genome Atlas (TCGA) that contains the comprehensive, multi-dimensional maps of the key genomic changes in 33 types of cancer. The TCGA initiative of the National Cancer Institute (NCI) is managed throughout the project The Cancer Imaging Archive which manages a full featured cancer imaging archive service in order to support NCI-funded research activities and the cancer research community at large (Clark , Vendt , Smith , Freymann , Kirby , Koppel , Moore , Phillips , Maffitt , Pringle , Tarbox , Prior 2013). The computed

tomography images in the data collections, consider on the Cancer Genome Atlas Stomach Adenocarcinoma (TCGA-STAD) (Lucchesi FR, Aredes ND 2016), the Cancer Genome Atlas Lung Adenocarcinoma (TCGA-LUAD) (Albertina , Watson , Holback , Jarosz , Kirk , Lee , Lemmerman 2016), and the Cancer Genome Atlas Liver Hepatocellular Carcinoma (TCGA-LIHC) (Erickson , Kirk , Lee , Bathe , Kearns , Gerdes , Lemmerman 2016), are considered in this research.

Con el uso y la aplicación de controladores inteligentes en diferentes procesos y a una mayor eficiencia en comparación con los controladores clásicos han llevado a un incremento considerable, el uso de estos, con estas técnicas modernas centradas en sistemas expertos, lógica difusa y redes neuronales son utilizadas para el control facilitando la toma de datos y decisiones a partir de un análisis lógico basado en un entendimiento previo o datos que describen el manejo del sistema.

En este estudio se realiza la aplicación de métodos tradicionales para el control y regulación de la entrada de un inversor del sistema fotovoltaico utilizando, controladores clásicos, controladores difusos y técnicas de inteligencia artificial, luego de esto compararlas y tomar las mejores respuestas de cada método, y la obtención de datos para el entrenamiento de las redes neuronales para la clonación de los mejores controladores, para realizar la comparación a nivel simulación en el software Matlab-Simulink de los controladores clásicos versus controladores inteligentes.

2. IDENTIFICACION DE LA PLANTA

2.1. Datos de parámetros de entrada y salida voltaje que se obtuvieron en un día promedio.[1]

Posición (°)	Voltaje (V)
-56.25	2.286

-50.625	4.343
-45	6.168
-40.781	7.243
-35.156	8.643
-30.937	9.968
-25.312	11.443
-19.687	12.768
-15.468	13.731
-9.843	13.975
-5.625	14.209
0	14.095
5.625	13.741
9.843	13.96
15.468	14.043
21.093	13.803
25.312	13.795
30.937	14.003
35.156	13.56
40.781	13.643
45	13.932
50.625	13.66
54.843	13.576
59.062	14.294
54.843	13.51
50.625	13.75
45	13.702
40.781	13.474
35.156	13.77
30.937	13.909
26.718	14.13

Tabla 1. Valores de entrada y salidas de la planta.[1]

Se utiliza la función Ident de Matlab para identificar la función de transferencia gracias a la data proporcionada de la tabla 1.

La función de transferencia obtenida mediante la herramienta es la siguiente:

$$F(s) = \frac{0.006326s + 0.0027}{s^2 + 0.05038s + 0.008561}$$

2.2. Controlador clásico Ziegler Nichols

Ziegler y Nichols propusieron una serie de reglas para sintonizar controladores PID en base a una respuesta experimental y sin presuponer ningún conocimiento de la planta a controlar. La respuesta es obtenida

usando el método de lazo cerrado.[2]

2.3. Lazo cerrado

Se utiliza para sistemas que pueden sostener oscilaciones sostenidas utilizando solo una ganancia, el valor de esta ganancia con que se logran las oscilaciones sostenidas se llaman ganancia crítica (K_{CR}) y periodo crítico (P_{CR}). En la figura 1 se pueden evidenciar la comparación de todos los controladores P, PD, PI, PID, obtenidos mediante Ziegler Nichols.[2]

$$K_{CR} = 400$$

$$P_{CR} = 6.46$$



Figura 1. Comparación controladores clásicos.

La figura 2 muestra la simulación del controlador PI y la Figura 3 su respectiva respuesta.

$$K_P = 180 \quad K_I = 33.4365 \quad K_D = 0$$

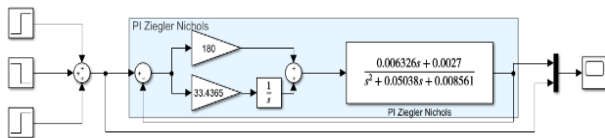


Figura 2. Controlador PI.



Figura 3. Respuesta controlador PI

2.4. Controladores con herramienta

PIDtune.

sintoniza los parámetros del controlador PID para equilibrar el rendimiento (tiempo de respuesta) y la robustez (márgenes de estabilidad). La figura 4 muestra la comparación de los controladores de PIDtune.[3]

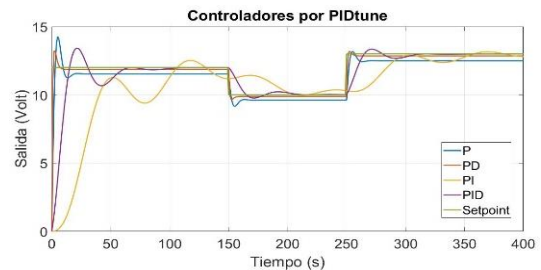


Figura 4. Comparación controladores

La figura 5 muestra la simulación del controlador PID y la Figura 6 su respectiva Respuesta.

$$K_p = 7.51, \quad K_i = 0.365, \quad K_d = 28.3$$

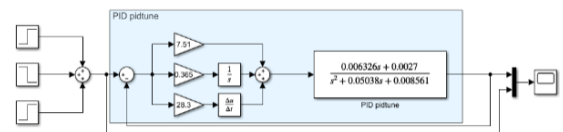


Figura 5. Controlador PID

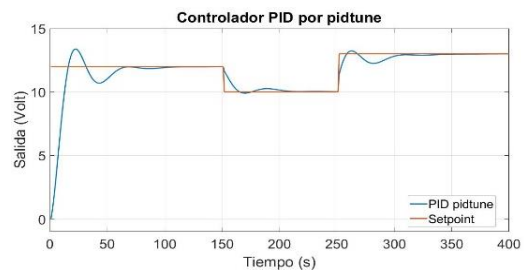


Figura 6. Respuesta del controlador PID

En la figura 7 se observa en la parte superior muestra la simulación del controlador PI de Ziegler Nichols y en la parte inferior el PID por la herramienta PIDtune de Matlab y en la figura 8 se comparan las respuestas de estos mismos.

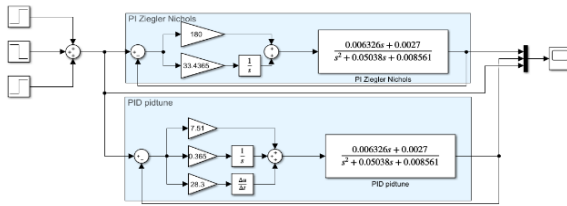


Figura 7. Controlador PI y herramienta PIDtune

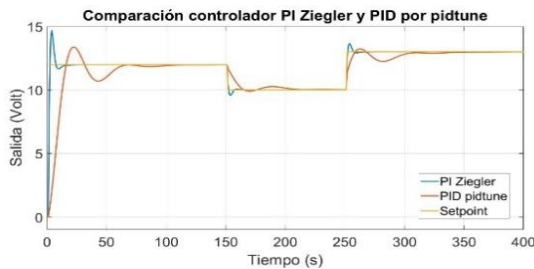


Figura 8. Comparación de las respuestas

3. CONTROLADOR DIFUSO (FUZZY LOGIC)

Fuzzy Logic permite seleccionar la función matemática que mejor represente el comportamiento de las variables involucradas y el método a implementar para entrelazar las variables de entrada y salida del proceso.[4]

El diseño e implementación del control inteligente con sus respectivas bases de reglas, sus variables de entrada (error integrado, error derivado y error) y la variable de salida (voltaje) se realiza mediante el método Mamdani. El método Mamdani representa las consecuencias como variables lingüísticas; una variable lingüística lleva consigo el concepto de modificadores difusos. Estos calificadores son condiciones que modifican la forma de los conjuntos difusos. Ellos incluyen los adverbios como: mismo, un poco, realmente, más o menos y ligeramente.[4]

3.1. Fuzzy Logic Matlab

Fuzzy Logic Toolbox™ proporciona funciones de MATLAB®, apps y un bloque de Simulink para analizar, diseñar y simular sistemas basados en lógica difusa. Este producto ofrece una guía sobre los pasos para el diseño de sistemas de inferencia difusa. [5]

Esta toolbox permite modelar comportamientos complejos del sistema mediante reglas lógicas simples y, posteriormente, implementar estas reglas en un sistema de inferencia difusa. Puede utilizarla como un motor de inferencia difusa independiente.[5]

En la figura 9 muestra las entradas que son el error, derivada del error, integral del error y salida de voltaje

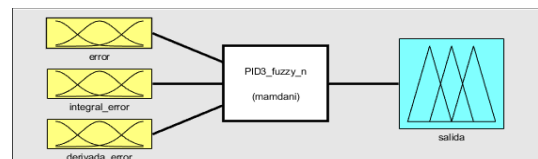


Figura 9. Variables entrada y salida

En la figura 10 se muestra la comparación de respuestas de los controladores P, PD, PI y PID difusos.



Figura 10. Comparación de controladores.

El rango de entradas de la variable error se muestra en la figura 11, con las funciones de membresía trapecoidales a los extremos y la función triangular en el centro.

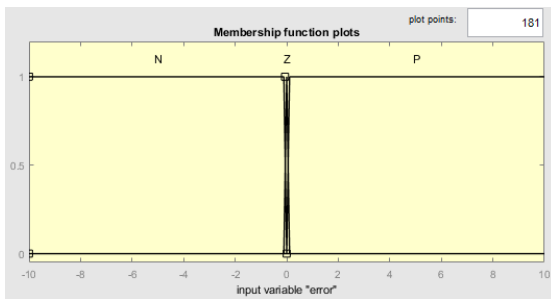


Figura 11. Entrada variable error

En la figura 12 similar a la variable de entrada error, se encuentra funciones trapezoidales a los extremos y una función triangular en el centro para la integral del error.

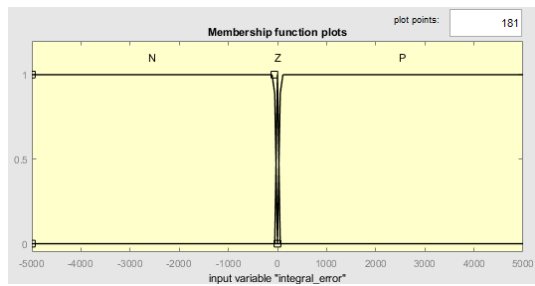


Figura 12. Entrada variable integral del error

En la figura 13 se observa la función de membresía triangular en el centro y las funciones trapezoidales a los extremos, observando que las funciones de membresías están un poco más abiertas

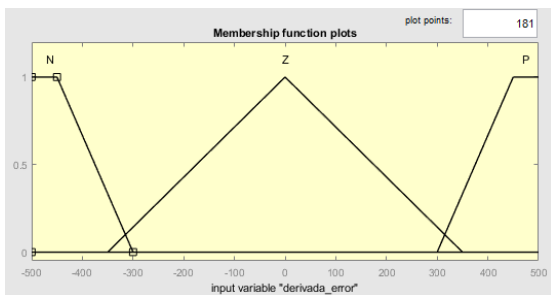


Figura 13. Entrada variable derivada del error

En la figura 14 tenemos las funciones de membresía para la señal de salida, con los límites de z cercano al setpoint y las funciones trapezoidales abiertas.

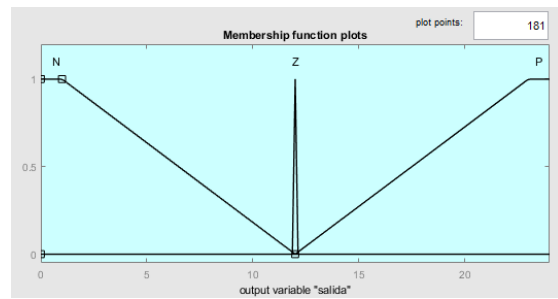


Figura 14. Datos de salida

En la figura 15 se observa la simulación del controlador PID difuso y en la figura 16 se evidencia la respuesta de este mismo, pero con una perturbación de ruido blanco.

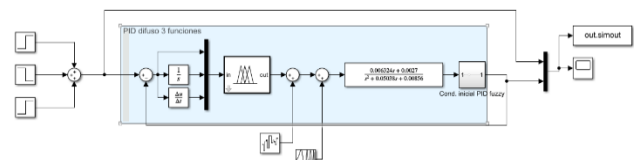


Figura 15. Controlador PID difuso.

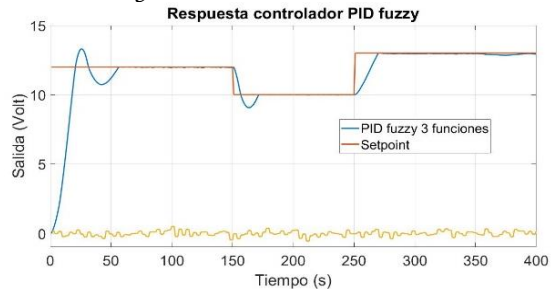


Figura 16. Respuesta del controlador PID Fuzzy

4. COMPARACIÓN CONTROLADORES CLÁSICOS E INTELIGENTES

En la figura 17 se muestran los siguientes controladores Ziegler Nichols con un overshoot del 24% y un tiempo de estabilización a los 50 segundos; el controlador diseñado con la herramienta pidtune de Matlab cuenta con un overshoot del 14% y un tiempo de estabilización de 145 segundos, el controlador Fuzzy tiene un overshoot del 12% y un tiempo de estabilización de 70 segundos. Estos fueron los controladores que presentaron una mejor regulación con respecto a los 12 controladores diseñados por los métodos mencionados anteriormente.

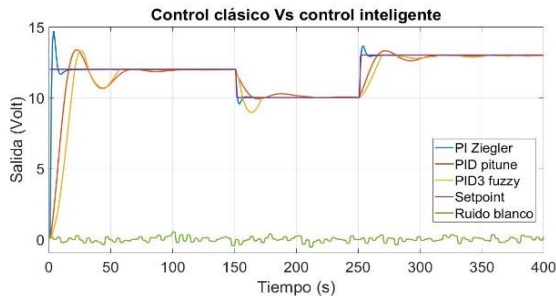


Figura 17. Comparación de controladores

5. CONTROL Y REDES NEURONALES

Las redes neuronales artificiales representan un elemento de gran importancia en el área de la inteligencia artificial, entre sus grandes aplicaciones solución de problemas de percepción, razonamiento y aprendizaje (redes como clasificadores, aproximadores de funciones y reconocimiento de patrones).[6], [8], [9], [10].

5.1. Control neuronal

Un controlador neuronal lleva a cabo un control adaptativo, aprendiendo la dinámica de la planta. Este control toma la forma de una red no lineal multicapa cuyos parámetros adaptables son los pesos de conexión entre las neuronas. De alguna manera, la red aprende a controlar la planta interactuando con ella, sin necesidad de un conocimiento a priori de las características de la misma.[7]

Una solución para el desarrollo del control neuronal es realizar la clonación con retardos para los bloques principales del lazo de control del sistema que deseamos controlar. Inicialmente se plantea el diseño de una red que emule el comportamiento de la planta, esto teniendo en cuenta la gran importancia que tiene el contar con sistemas de respaldo en el control de procesos y de la calidad y la

predicción de fallos operacionales. [7]

En la figura 18 se evidencia que en la parte superior del esquema es el controlador PI por Ziegler Nichols y en la parte inferior con el controlador clonado y en la figura 19 la comparación de las respuestas. El valor del error de entrenamiento es de 0.1259.

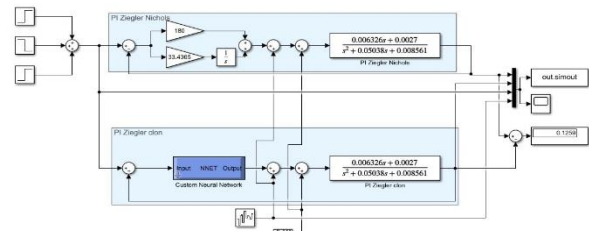


Figura 18. Controlador PI clonado

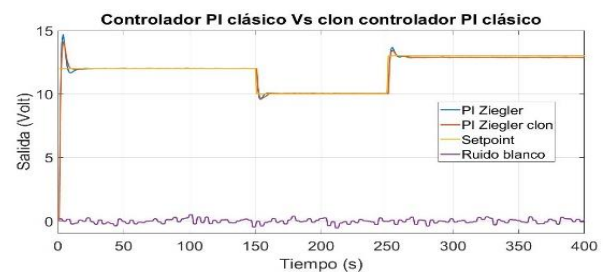


Figura 19. Respuesta controlador PI vs PI clonado

En la figura 20 se evidencia que en la parte superior del esquema es el controlador PID difuso y en la parte inferior con el controlador clonado y en la figura 21 la comparación de las respuestas. El valor de error de entrenamiento es de -0.01469.

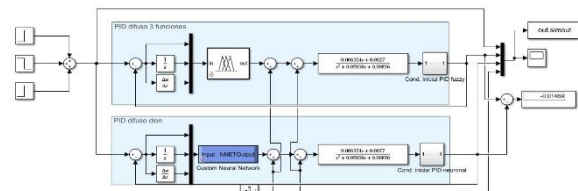


Figura 20. Controlador PID Fuzzy

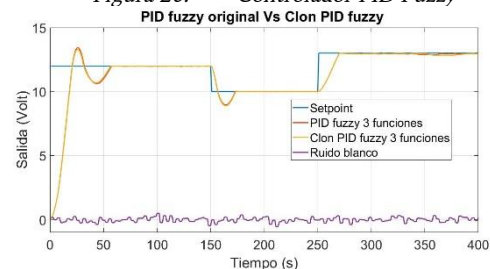


Figura 21. Respuesta de controlador PID fuzzy vs PID fuzzy clonado

6. . TABLAS

Error	Integral	Derivada	Corrección
N	N	N	N
N	Z	N	N
N	P	N	N
N	N	Z	N
N	Z	Z	N
N	P	Z	N
N	N	P	N
N	Z	P	N
N	P	P	N
Z	N	N	Z
Z	Z	N	Z
Z	P	N	Z
Z	N	Z	Z
Z	Z	Z	Z
Z	P	Z	Z
Z	N	P	Z
Z	Z	P	Z
Z	P	P	Z
P	N	N	P
P	Z	N	P
P	P	N	P
P	N	Z	P
P	Z	Z	P
P	P	Z	P
P	N	P	P
P	Z	P	P
P	P	P	P

Tabla 2. Base de reglas[6]

7. CONCLUSIONES

Se logró el objetivo de diseñar un buen controlador para este sistema, y así poder controlar el voltaje a partir de la posición. Por parte de los controladores clásicos se obtuvo una buena respuesta por parte del controlador PI clásico ya que, aunque presenta un overshoot bastante notable, puede responder a las variaciones sin presentar error en estado estable.

Al aplicar la lógica difusa para el diseño de controladores para esta planta solo usando 3 funciones de membresía, se obtuvo unas muy buenas respuestas por parte de todos los cuatro controladores (P, PD, PI, PID), entonces se hizo algo complejo la elección del mejor. Pero cuando se aplicó el ruido blanco y las perturbaciones pudimos notar como casi todos tendían a desestabilizarse menos el PID, el cual responde de manera excelente a perturbaciones y el ruido blanco.

Al momento de realizar la clonación se obtiene un error de entrenamiento muy pequeño ya que en caso de alguna falla del controlador original podemos utilizar el controlador clonado por redes neuronales en remplazo del controlador original.

REFERENCIAS

- [1]. S. Gansino and A. Marina, "Diseño de un sistema fotovoltaico con control de posicionamiento e implementación de luce tipo Led para un pasillo del bloque B de la universidad Politécnica Salesiana de la ciudad de Guayaquil,," 2015.
- [2]. C. Pid, "Teoría de control."
- [3]. "PID tuning algorithm for linear plant model - MATLAB pidtune - MathWorks América Latina." https://la.mathworks.com/help/control/ref/lti_pidtune.html (accessed Jul. 10, 2021).
- [4]. O. Suarez, A. Pardo and E. Sanchez, "Intelligent control for the exciter of a synchronous machine with closed loop voltage," World Autom. Congr. Proc., vol.

- 2016-Octob, no. July, pp. 1–6, 2016, doi: 10.1109/WAC.2016.7582983. <https://doi.org/10.24054/16927257.v32.n32.2018.101>
- [5]. Salas, D. (2016). Revolución 4.0. Ingeniería e Innovación, 4(2), 5-6.
- [6]. <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/rii/issue/view/131>
- “Fuzzy Logic Toolbox - MATLAB.” <https://la.mathworks.com/products/fuzzy-logic.html> (accessed Jul. 10, 2021).
- [7]. O. J. Suarez, “Ingeniería Mecatrónica Control Inteligente – Grupo B Introducción.”
- [8]. L. Gamero, C. Mércuri, L. Rufiner, L. Gamero, C. Mércuri, and L. Rufiner, “Control de un Robot mediante Computación Neuronal,” An. del X Congr. Nac. la Informática y Telecomunicaciones, pp. 201–208, 1993.
- [9]. Suarez, O. J., Vega, C. J. ., Sanchez, E. N. ., González Santiago, A. E. ., Rodríguez Jorge, O. ., & Pardo Garcia, A. (2020). Abnormal P53 degradation and apoptosis induction in P53-MDM2 network using pinning control strategy. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 2(32), 1-7.
- [10]. Rios, Y. Y., García-Rodríguez, J., Sanchez, E. N. ., Alanis, A. Y. ., Ruiz Velázquez, E. ., & Durán Acevedo, C. M. . (2020). Treatment for T1DM patients using neuro-fuzzy inverse optimal control algorithm: a rapid prototyping implementation. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 2(32), 26-33. <https://doi.org/10.24054/16927257.v32.n32.2018.104>
- [11]. Galarcio, J. D., Buelvas, M., Nisperuza, P., López, J., & Hernandez, H. (2017). Una nueva metaheurística aplicada al problema de ruteo de vehículos capacitados (cvrp) para la distribución de productos perecederos. Ingeniería e Innovación, 5(1).
- [12]. [12] Gualdrón Guerrero, O. E. ., Reales Osorio, J. J. ., & Acevedo Gauta, T. L. . (2016). Implementación de una estrategia de control difuso para aumentar la producción de crudo en pozo petrolero. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 1(27), 98-103. <https://doi.org/10.24054/16927257.v27.n27.2016.358>