Revista UNIDA Científica
e-ISSN:2520-9213

Publicación periódica de acceso abierto, financiada y editada por la Universidad de la Integración de las Américas

Artículo original

Controlador difuso de velocidad para un motor DC con escobillas

Piero Adrian Pisfil Puicón[1], Arturo Moises Flores Alvarez[2]

[1] Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, Grupo de Investigación Pumii. Lima, Perú. e-mail: piero.pisfil.p@uni.pe
[2] Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, Grupo de Investigación Pumii. Lima, Perú. e-mail: amfloresa@uni.pe

RESUMEN
El objetivo de este artículo es diseñar un controlador difuso de velocidad para un motor DC con escobillas, con aplicación en robótica móvil. Un buen rendimiento en el seguimiento de la trayectoria óptima calculada implica el control preciso de los actuadores de locomoción en un robot móvil. Así, se diseñó un controlador difuso, funcional y de bajo costo computacional para los mencionados actuadores. Los cálculos se obtienen de las diversas herramientas que el software Matlab ofrece enel campo de la lógica difusa. El presente artículo obtiene simulaciones que corroboran al control difuso como una alternativa viable para este tipo de aplicaciones.

Palabras claves: controlador difuso, motor DC, robótica móvil.

ABSTRACT
The objective of this article is to design a diffuse speed controller for a brushed DC motor with application in mobile robotics. Good performance in tracking the calculated optimal path involves precise control of the locomotion actuators in a mobile robot. Thus, we designed a fuzzy, functional and low computational cost controller for the mentioned actuators; the calculations are obtained fromthe various tools that the Matlab software offers us in the field of fuzzy logic. Therefore, this article provides simulations that corroborate fuzzy control as a viable alternative for this type of application.

Keywords: DC motor, diffuse control, mobile robotics.

INTRODUCCIÓN

Un robot móvil es un mecanismo autónomo, programable e inteligente, capaz de moverse en su entorno. Actividades colaborativas, desde aspiradoras domésticas hasta exploración extraterrestre, son algunas de las aplicaciones reales de la robótica móvil. Estos dispositivos están dotados de un sistema informático para su control en tiempo real, percepción de entorno y programación; para ello, está equipado con actuadores (motores) manejados por una computadora interna. En los robots móviles sehace control desacoplado de motores en vez de control basado en el modelo dinámico como es el casode los brazos robóticos.

Durante la implementación de la técnica de control, el conocimiento del proceso es muy relevante.Este conocimiento puede expresarse bien en términos de lógica difusa, lo cual implica que el proceso de expresarlo en un controlador es heurístico pero dependiente del conocimiento mencionado (Hooda,2017). Así, la técnica de control llega a ser más funcional que el control diseñado para el modelo matemático teórico en la mayoría de los casos. Esto se demostrará en el presente artículo.

Las ventajas de usar el control difuso generalmente se dividen en una de las siguientes cuatro categorías: implementar conocimiento experto para un mayor grado de automatización, robusto control no lineal, reducción del tiempo de desarrollo y mantenimiento y, por último. comercialización (Hooda, 2017). Debe quedar claro que, en la mayoría de los casos, se trata de soluciones híbridas que utilizan el controldifuso para aumentar la tecnología convencional.

MATERIALES Y MÉTODOS

El controlador difuso está diseñado y simulado en tiempo continuo. La simulación se lleva a cabo en el entorno de programación gráfica Simulink del software Matlab.

Los requerimientos para el diseño son: señal de control adecuada, tiempo de establecimiento <= 0.2 segundos y sobreimpulso máximo de 1% sin perturbaciones y 5% con perturbaciones.

Para correspondencia dirigirse a: piero.pisfil.p@uni.pe
Recibido: Junio 30, 2020 - Aceptado: Diciembre 12, 2020.
Conflictos de interes: Ninguna que declarar.

Este es un artículo publicado en Acceso Abierto bajo Licencia Creative Commons CC-BY, que permite el uso sin restricciones, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que se cite debidamente la obra original.

La referencia de entrada será un step iniciado en 0.5segundos de amplitud 60 RPM, con un tiempo de simulación de dos segundos.

El diseño de los controladores empieza por identificar el proceso a controlar. Este proceso se describe como un modelo físico matemático; en este caso, modelo del motor DC con escobillas.

El motor seleccionado para la simulación es el modelo GM9236S025, de marca Pittman. Se seleccionó este modelo porque tiene las características frecuentes en aplicaciones de robótica móvil: alimentaciónde 12 voltios, caja reductora y codificador de cuadratura. Posee velocidad máxima de 72 RPM. Todos los parámetros eléctricos y mecánicos requeridos los brinda el fabricante en su ficha técnica (Gearseds,2020). El circuito eléctrico equivalente del modelo físico de un Motor DC con escobillas es presentado en la Fig. 1.

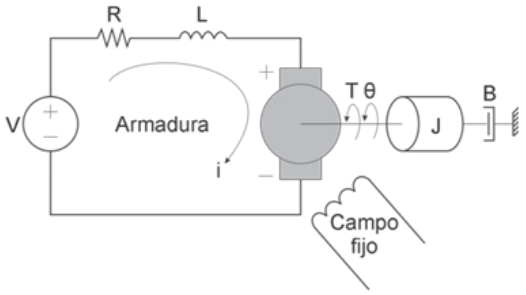


Figura 1. Representación esquemática del Motor DC con escobillas.

La fuente de voltaje (V) es aplicada a la armadura del motor DC como entrada, y la velocidad angular ($\dot{\theta}$) es la salida. Los parámetros físicos del motor mostrados en la Fig.1 son J, B, K_e, K_j, R yL, los cuales representan el momento de inercia del rotor y caja reductora, el coeficiente de amortiguamiento viscoso, la constante contra electromotriz, la constante de torque de motor, la resistencia de armadura y la inductancia de armadura. Luego de desarrollar las ecuaciones apropiadas obtenemos el modelo físico de un motor DC con escobillas, que está representado por la función de transferencia:

Considerando que en la trayectoria de los robots móviles existen torques de perturbación, se agrega en el modelo simulado, quedando el modelo físico como está presentado en la Fig.2.

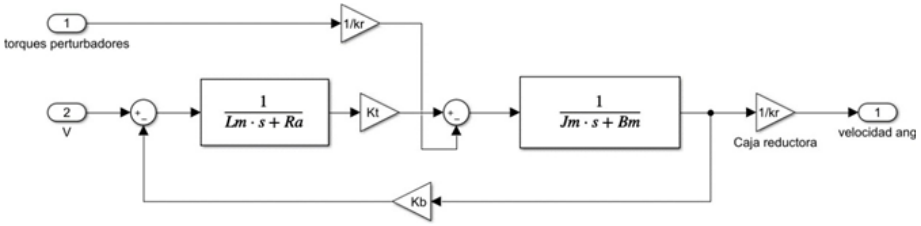


Figura 2. Diagrama de bloques de modelo físico de Motor DC.

La configuración del controlador empieza con el diseño del controlador clásico PID (proporcionalintegral derivativo), cuyos parámetros se obtienen gracias a la herramienta PID Tuner de Matlab

(MathWorks, 2020). Los parámetros obtenidos de un controlador PID paralelo filtrado son: Kp =0.9028, Ki= 105.1857 y Kd=0. Esto hace que el controlador sea PI por ser la constante derivativa nula.

El diseño del controlador difuso se basa en reglas de control. Estas son realmente las leyes de control que deben determinarse mediante descripciones matemáticas. La determinación de las reglas de control depende, en gran medida, de la aplicación. Por ejemplo, en un sistema de control de temperatura simple la condición del aire debe apagarse cuando la habitación se enfría lo suficiente y debe encenderse cuando la habitación se calienta demasiado. Esta es una regla de control nítida que cuantifica si la temperatura es “lo suficientemente fría” o “demasiado cálida”. Esto hace que el controlsea limitado. Por el contrario, las reglas en el control lógico difuso dependen en gran medida del juiciohumano y brinda las reglas de control para un controlar, por ejemplo, un motor (Bai y Roth, 2019, Capítulo 8, p. 534), presentados en la Tabla 1.

Donde E es el error, CE es cambio del error, LN es negativo largo, SN es negativo pequeño, ZE es cero, SP es positivo pequeño y LP es positivo largo. Las funciones de membresía utilizadas para laentrada y salida para los conjuntos difusos se muestran en la Fig. 3. Estas funciones de membresía pueden cambiar a conveniencia según la planta a controlar.

Tabla 1. Reglas del controlador difuso.

CE	E			
	LN	SN	ZE	SP
LP	ZE	SN	LN	LN
SP	SP	ZE	SN	SN
ZE	SP	SP	ZE	SN
SN	LP	SP	SP	ZE
LN	LP	LP	LP	LP

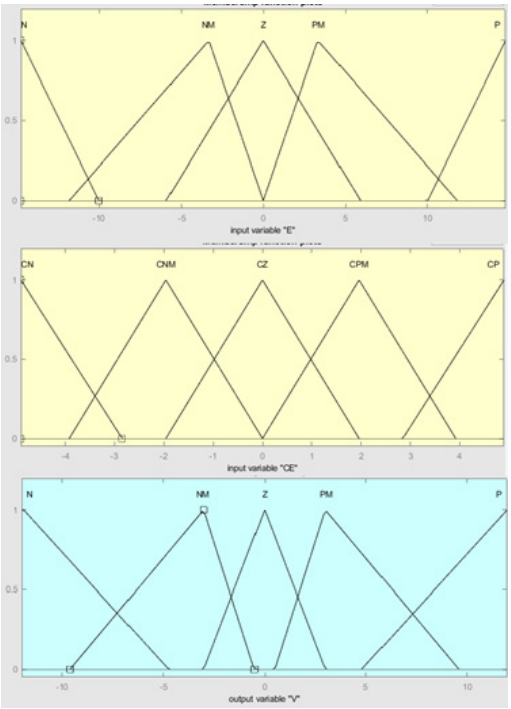


Figura 3. Funciones de membresía para Error, Cambio de Error y Salida (dearriba hacia abajo respectivamente).

Las reglas son añadidas en el controlador como se muestra en la Fig. 4 junto con las constantes “Ke”, “Kce”, “Ki” y “Kui”, gracias a la herramienta “fuzzy” de Matlab. Estas constantes son obtenidasa partir de las constantes PID de la siguiente forma: Ke=1, Kce=Kd, Ki=Ki(PID)/Kp, Ku=Kp como valores teóricos, Después de pruebas se llega a Kce= 0.001 en vez de cero, única diferencia a los valoresteóricos.

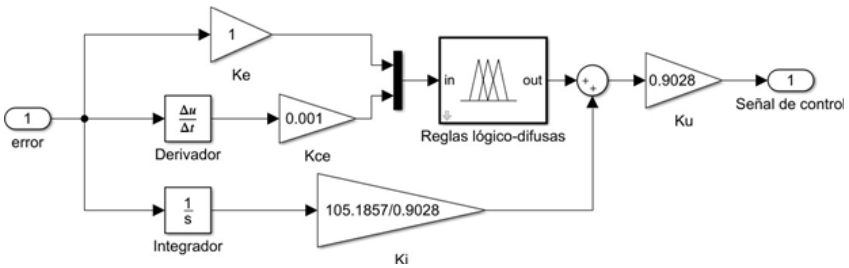


Figura 4. Diagrama de bloques de controlador lógico difuso.

RESULTADOS

Los resultados están presentados en la señal de control y salida del sistema: tiempo de establecimiento y sobreimpulso máximo; primero en un entorno sin torques de perturbación (Fig. 5 y Fig. 8) y luego en un entorno con los torques mencionados (Fig. 11 y Fig. 14).

Respuestas sin torque de perturbación

Controlador PI

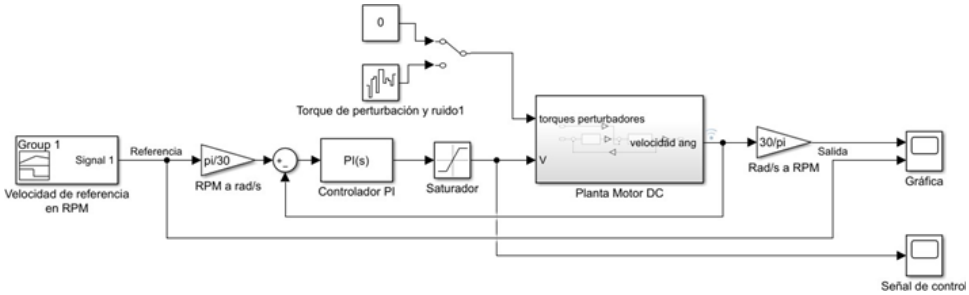


Figura 5. Diagrama de bloques del proceso controlado por PI sin torque de perturbación.

Salida del sistema

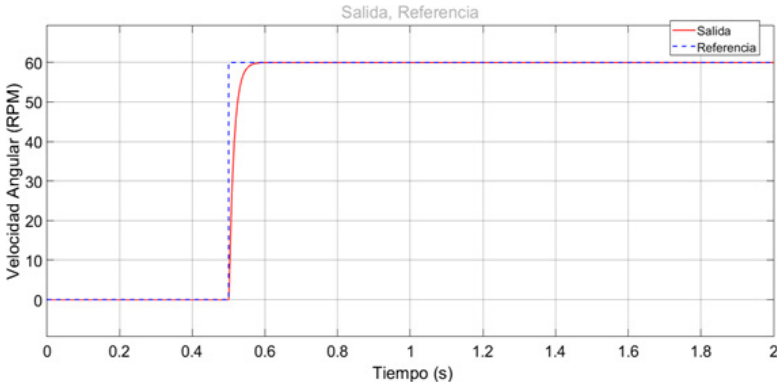


Figura 6. Salida del sistema controlado por PI sin torque de perturbación.

El controlador PI nos da 0% de sobreimpulso y 0.9 segundos de tiempo de establecimiento, comonos indica la Fig. 6.

Señal de control

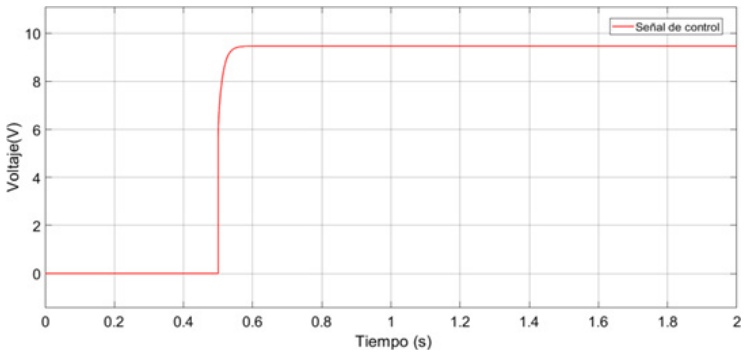


Figura 7. Señal de control del controlador PI sin torque de perturbación.

Controlador Difuso PD+I

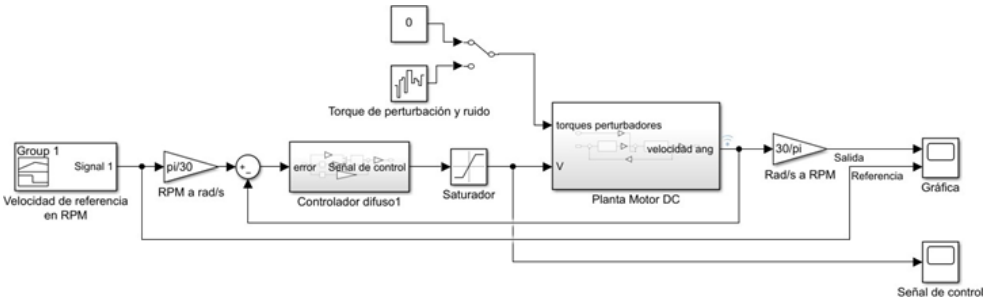


Figura 8. Diagrama de bloques del proceso FLC PD+I sin torque de perturbación.

Salida del sistema

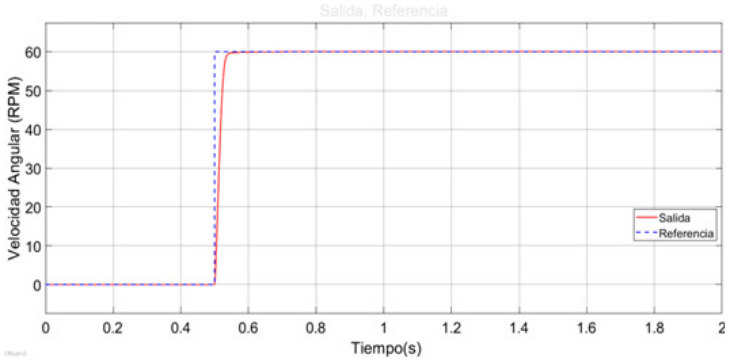


Figura 9. Salida del sistema FLC PD+I sin torque de perturbación.

El controlador difuso PD+I nos da 0% de sobreimpulso y 0.7 segundos de tiempo de establecimiento, como nos indica la Fig. 9.

Señal de control

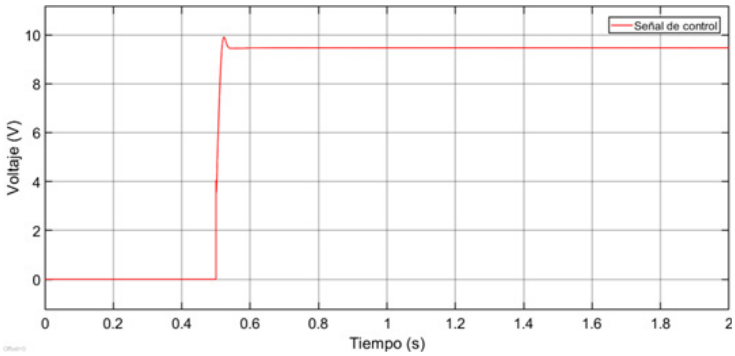


Figura 10. Señal de control de FLC PD+I sin torque de perturbación.

Respuestas con torque de perturbación

Controlador PI

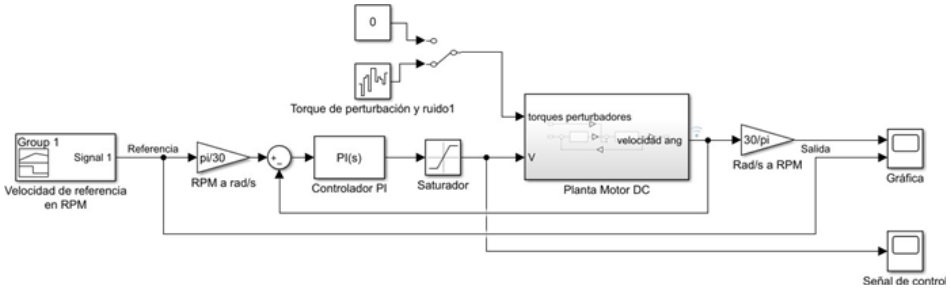


Figura 11. Diagrama de bloques del proceso controlado por PI con torque de perturbación.

Salida del sistema

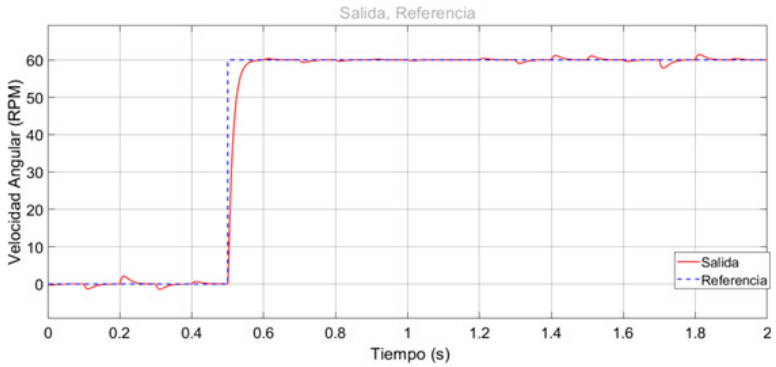


Figura 12. Salida del sistema controlado por PI con torque de perturbación.

El controlador PI nos da 0% de sobreimpulso, 0.9 segundos de tiempo de establecimiento y conuna perturbación máxima de 2.18 RPM, como nos indica la Fig. 12.

Señal de control

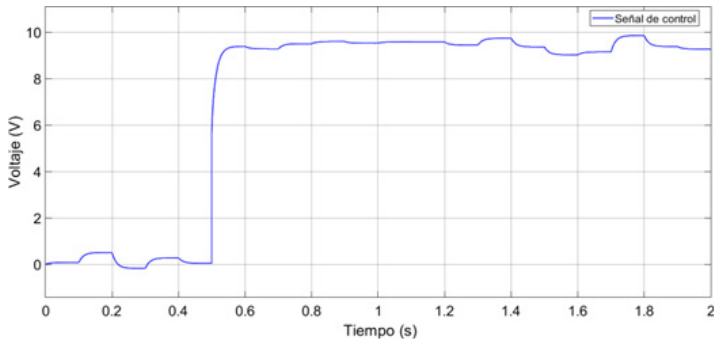


Figura 13. Señal de control del controlador PI con torque de perturbación.

Controlador difuso PD+I

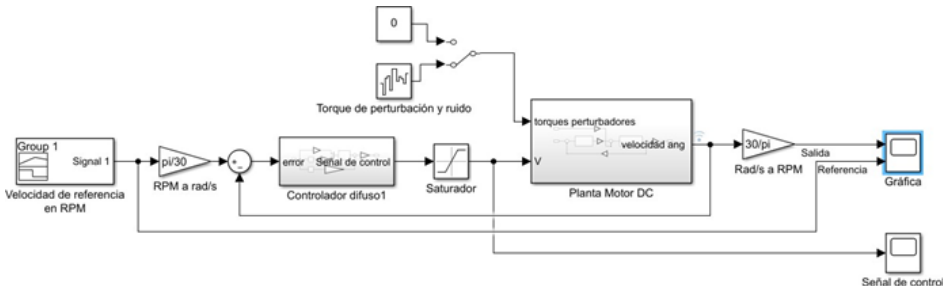


Figura 14. Diagrama de bloques del proceso con FLC PD+I con torque de perturbación.

Salida del sistema

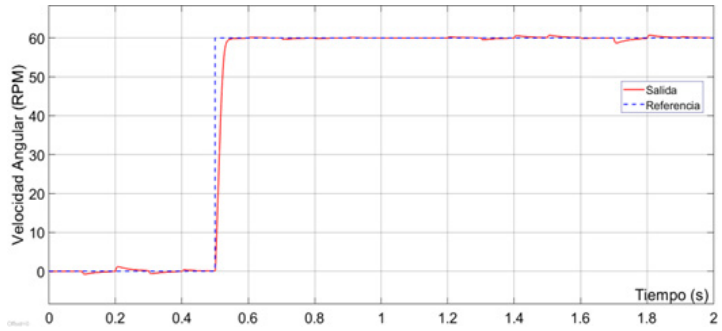


Figura 15. Señal de control de FLC PD+I con torque de perturbación.

El controlador de lógica difusa PD+I nos da 0% de sobreimpulso 0.7 segundos de tiempo deestablecimiento y con una perturbación máxima de 1.de 1.3 RPM, como nos indica la Fig. 15.

Señal de control

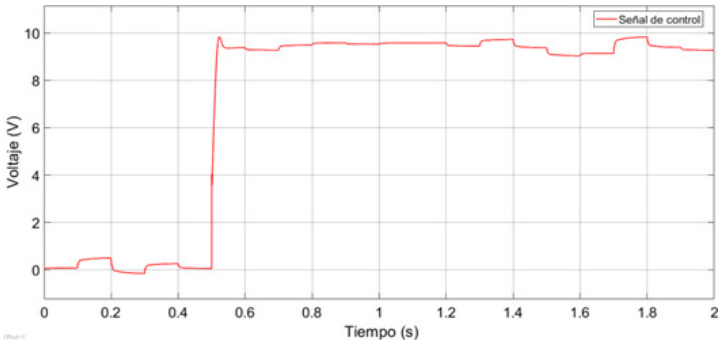


Figura 16. Señal de control del controlador PD+I con torque de perturbación.

DISCUSIÓN

La salida del sistema sin perturbaciones nos indica que el controlador clásico PI y el controlador difuso son equivalentes en desempeño. Ambos no tienen sobre impulso y, si bien el tiempo de establecimiento del controlador difuso (Fig. 6) es menor, el tiempo de establecimiento del controladorPI (Fig. 9) puede ser menor cambiando sus parámetros.

En cuanto a la señal de control, el controlador PI (Fig. 7) nos da una señal de curva estable, sin oscilaciones, e implementable. El controlador difusonos da una señal de control con un pico, esto es porque ofrece mayor esfuerzo de control lo que le permite llegar más rápido a la referencia (Fig. 10), esta señal también se puede implementar.

La salida del sistema con perturbaciones del controlador PI (Fig. 12) nos ofrece una variación de 2.18 RPM a comparación del controlador difuso (Fig. 15) que, con la misma potencia de perturbación,nos ofrece una variación de 1.3 RPM. Esto demuestra mayor robustez en esta técnica de control.

En cuanto a la señal de control, tanto el controlador PI (Fig. 13) como el controlador difuso (Fig. 16), nosdan una señal que se puede implementar.

Los próximos trabajos que se pueden elaborar son los siguientes: diseñar, en tiempo discreto, el controlador difuso basado en los parámetros obtenidos en esta publicación e implementarlo en un microcontrolador; también, diseñar un controlador difuso para un motor brushless, que introducidos satisfactoriamente en la robótica móvil en los robots cuadracópteros tipo drone poseen alta potencia, buenas características de velocidad-par y alta eficiencia.

CONCLUSIONES

Gracias a los resultados de las simulaciones se concluye que, para este tipo de planta, tanto con elcontrol difuso como con el control PI, no se observó sobre impulso en situaciones sin cargas perturbadoras. Además, el tiempo de establecimiento es menor para nuestro controlador difuso. También, la señal de control es adecuada para ambos controladores con cargas perturbadoras y sin ellas.

Finalmente se concluye que el control difuso PD+I es más robusto que el control PI clásico.

REFERENCIAS

Mihelj, M. (Ed.). (2019). Robotics. Cham, Switzerland: Springer Nature.

Das, K. (Ed.). (2018). Intelligent control. Gateway East, Singapore: Springer Nature Singapore.

Corke, P. (2017). Robotics, vision and Control. Cham, Switzerland: Springer InternationalPublishing

Siegwart, R. y Nourbakhsh, I. (2004). Autonomous Mobile Robots. Massachusetts, USA: Bradford

Robotis. (2020). DYNAMIXEL All-in-one Smart Actuators. Recuperado de: http://www.robotis.us/dynamixel/?sort=pricedesc#

Hooda, D. and Raich, V.(2017) Fuzzy Logic Models and Fuzzy Control. Oxford, U.K.: AlphaSciense International Ltd.

Gearseds (2020). Pittman Express. GM9236S025. Recuperado de: http://www.gearseds.com/files/GM9236S025.pdf

MathWorks (2020). Help center. Open PID Tuner .Recuperado de: https://www.mathworks.com/help/slcontrol/ug/designing-controllers-with-the-pid-tuner.html

Bai, Y. y Roth Zvi. (2019). Classical and Modern Controls with Microcontrollers. Cham, Switzerland: Springer Nature.