

## **Control de velocidad difuso de un motor de CD usando matlab**

### **Fuzzy speed control of a DC engine using matlab**

DOI: 10.46932/sfjdv4n3-008

Received in: April 26<sup>th</sup>, 2023

Accepted in: May 31<sup>th</sup>, 2023

#### **Axel Jaref Martínez Ayala**

Estudiante en Ingeniería en Computación

Institución: Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo  
(UMSNH)

Dirección: Avenida Francisco J. Múgica S/N, Ciudad Universitaria. Morelia, Michoacán, México. C.P.  
58030

Correo electrónico: 1725910b@gmail.com

#### **Salvador Ramírez Zavala**

Maestría en Ingeniería Eléctrica

Institución: Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo  
(UMSNH)

Dirección: Avenida Francisco J. Múgica S/N, Ciudad Universitaria. Morelia, Michoacán, México. C.P.  
58030

Correo electrónico: salvador.ramirez@umich.mx

#### **Jaime Cerda Jacobo**

Doctorado en Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Institución: Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo  
(UMSNH)

Dirección: Avenida Francisco J. Múgica S/N, Ciudad Universitaria. Morelia, Michoacán, México. C.P.  
58030

Correo electrónico: jaime.cerda@umich.mx

### **RESUMEN**

En este trabajo se presenta el diseño de un controlador Proporcional Integral difuso del tipo Mandani implementado en MATLAB aplicado a controlar la velocidad de un motor de corriente directa. El controlador es implementado en una función en el área de trabajo de Matlab en una Computadora Personal y se comunica con el motor de corriente directa a través de una tarjeta de adquisición de datos de National Instruments. En el trabajo se describe la instrumentación utilizada para el manejo del motor, así como el sensado de la velocidad del mismo. Se presentan los resultados obtenidos al aplicar dos y tres conjuntos difusos a las variables de entrada del sistema probando y comparando el desempeño del mismo.

**Palabras clave:** control difuso, Matlab, national instruments, motor de CD.

### **ABSTRACT**

This paper presents the design of a fuzzy Proportional Integral controller of the Mandani type implemented in MATLAB applied to control the speed of a direct current motor. The controller is implemented in a function in the Matlab workspace on a Personal Computer and communicates with the DC motor via a National Instruments data acquisition card. The paper describes the instrumentation used

to manage the motor, as well as the sensing of its speed. The results obtained by applying two and three fuzzy sets to the input variables of the system are presented, testing and comparing its performance.

**Keywords:** fuzzy control, Matlab, national instruments, DC engine.

## 1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad se está buscando proporcionar al control de procesos un cierto grado de inteligencia, es decir que los controladores puedan presentar comportamientos más complejos para diferentes situaciones, así como una gran variedad de aplicaciones industriales, de manera tal, que desempeñen su función de forma mucho más eficiente, como por ejemplo controladores que cambian los parámetros del controlador cuando las características de la planta cambian. Una de las técnicas de inteligencia artificial de más auge actualmente es la Lógica Difusa. Esta técnica permite emular la manera en que las personas toman decisiones cotidianamente sin la necesidad de contar con mediciones precisas, y aún así obtener conclusiones de gran valor práctico (Bansal, Narvey, 2013).

Cuando el modelo de un sistema físico es totalmente conocido, el diseño del controlador permite un amplio rango de utilerías de diseño de control, especialmente cuando el sistema puede ser considerado lineal. Pero en la práctica tales condiciones son no ideales. En general las ecuaciones que modelan al sistema son no lineales y solamente parcialmente conocidas. En estos casos, el uso de la inteligencia artificial es la mejor opción. En particular, la Lógica Difusa proporciona las herramientas matemáticas que tratan formante este tipo de incertidumbres. Por lo que la Lógica Difusa es una verdadera aproximación que trata el tipo de conocimiento del proceso humano. Debido a esto, los controladores basados en Lógica Difusa requieren de un conocimiento especializado del comportamiento del sistema a controlar, (Zimmermann, 1991).

## 2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

### 2.1 CONTROLADOR LÓGICO DIFUSO

El esquema de un control lógico difuso se muestra en la figura 1, en este esquema se utiliza la señal de referencia para controlar la salida del sistema, esta señal además puede ser cambiada durante la operación del sistema. En este caso las entradas del controlador son error ( $e$ ) y cambio de error ( $\Delta e$ ), y la salida es la acción de control ( $\Delta u$ ) aplicada a la planta; donde:

$$e(k) = \text{Referencia} - \text{Salida de la Planta} \quad (1)$$

$$\Delta e(k) = e(k) - e(k - 1) \quad (2)$$

$$\Delta u(k) = u(k) + u(k - 1) \quad (3)$$

## 2.2 ALGORITMO DE CONTROL DIFUSO.

El algoritmo de control de Lógica Difusa se compone fundamentalmente de tres partes que son: “Fuzzificación”, “Evaluación de reglas” y “Defuzzificación”, como se muestra en la Figura 2, (Zadeh, Lofti, 1987).

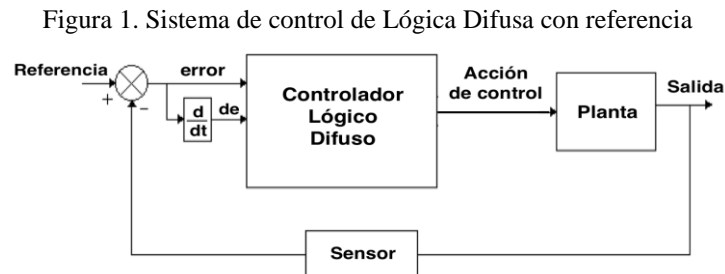
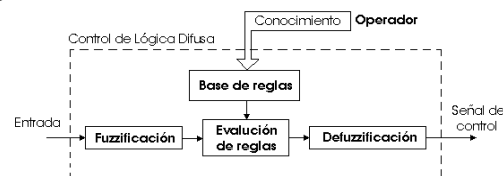


Figura 2. Diagrama de bloques básico del controlador.



**Fusificación:** La función de este bloque es tomar los valores numéricos provenientes del exterior (entradas) y convertirlos en valores "difusos" que puedan ser procesados por el mecanismo de inferencia. Estos valores difusos son los niveles de pertenencia de los valores de entrada a los diferentes conjuntos difusos en los cuales se ha dividido el universo de discurso de las diferentes variables de entrada al sistema.

**Evaluación de Reglas o Mecanismo de inferencia Difusa:** Teniendo los diferentes niveles de pertenencia arrojados por el fuzzificador, los mismos deben ser procesados para general una salida difusa. La tarea del sistema de inferencia es tomar los niveles de pertenencia y apoyado en la base de reglas generar la salida del sistema difuso.

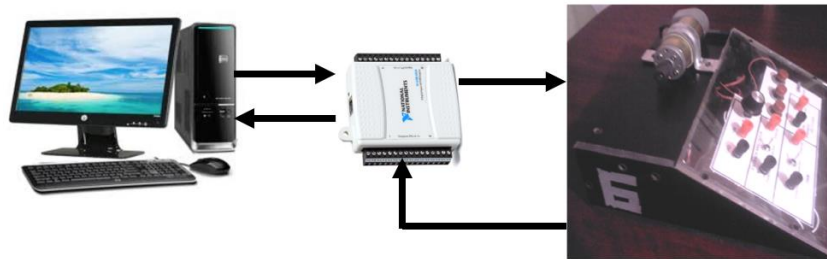
**Base de Reglas Difusas:** La base de reglas es la manera que tiene el sistema difuso de guardar el conocimiento lingüístico que le permiten resolver el problema para el cual ha sido diseñado. Estas reglas son del tipo IF- THEN.

**Defusificación:** La salida que genera el mecanismo de inferencia es una salida difusa, lo cual significa que no puede ser interpretada por un elemento externo. Para lograr que la salida del sistema difuso pueda ser interpretada por elementos que solo procesen información numérica, hay que convertir la salida difusa del mecanismo de inferencia; este proceso lo realiza el defuzzificador, (Ronald, Yager and Dimitar, 1994), (Mohammad, 1993).

### 2.3 DESARROLLO DEL CONTROLADOR

Una imagen ilustrativa del controlador desarrollado para este trabajo se muestra en la figura 3. En esta figura se puede ver que existen tres elementos importantes, la computadora personal (PC), la tarjeta de adquisición de datos y un módulo de motor de CD.

Figura 3. Imagen ilustrativa del controlador desarrollado



En la PC se implementa el controlador PI difuso en una función dentro del ambiente de Matlab, además de la comunicación entre Matlab y la tarjeta de adquisición de datos, para transferir la señal de control y obtener la velocidad como retroalimentación del controlador, (Mathworks Inc, 1995), (Hernández, 1997).

La tarjeta de adquisición de datos como se observa es una tarjeta de National Instruments, esta sirve de enlace entre al PC y el módulo de motor externo, (National Instrument)

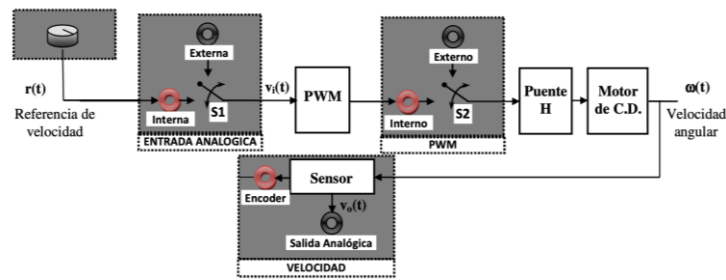
El modulo del motor utilizado para este trabajo, está formado por un módulo experimental disponible en el laboratorio de Electrónica de la Facultad, que es un sistema de control de un motor de CD. El sistema experimental permite realizar varias pruebas de control en lazo abierto y en lazo cerrado. Para seleccionar el tipo de prueba que se desea hacer posee un panel frontal que permite interactuar con él. En la figura 4 se muestra una fotografía del panel frontal del sistema.

Figura. 4. Panel frontal del sistema de control de velocidad



Para comprender el funcionamiento del panel frontal, en la figura 4 se muestra la conexión que tienen los bornes e interruptores del panel con el diagrama de bloques de la figura 5.

Figura. 5. Diagrama de bloques mostrando su conexión con el panel frontal



Como se puede ver de la figura 5, mediante los selectores S1 y S2 se puede operar el sistema en varias formas de operación, sin embargo para el presente trabajo se utilizara el siguiente modo: Se selecciona la entrada analógica “externa”, donde se conecta la acción de control proveniente del controlador difuso de la PC a través de la tarjeta de adquisición de datos, así el sistema genera una señal PWM proporcional al voltaje del borne de entrada analógica “externa”, que es conectada al puente H por medio de la selección del modo “interno” del interruptor S2, para poder controlar el motor. La velocidad del motor es medida por medio de un encoder acoplado a la fleca del motor, y los pulsos del encoder son convertidos a voltaje analógico para tener una señal de voltaje analógica, que es la que se retroalimenta a la PC a través de la tarjeta de adquisición de datos.

Además, se tiene que existe una relación entre el voltaje de salida analógica y la velocidad angular del motor, la cual se presenta en la ecuación 4.

$$V_s(t) = K_s * \omega(t) \quad (4)$$

Del conocimiento particular del módulo a utilizado, se tiene que el valor de la constante que relaciona estos parámetros es  $K_s = 0.2061$ .

### 3 COMENTARIOS FINALES

#### 3.1 RESULTADOS

Para comprobar el funcionamiento del controlador, se realizaron dos pruebas: en la primera se utilizaron 2 conjuntos difusos para cada una de las entradas de error y cambio de error; y 3 conjuntos difusos para la salida de voltaje (acción de control) y para la segunda se utilizaron 3 conjuntos difusos para las entradas y 5 conjuntos difusos para la salida.

En la figura 6 se muestran los conjuntos difusos para la primera prueba. Donde las etiquetas lingüísticas son: N es Negativo, P es positivo y Z es cero. Y la matriz FAM del conjunto de reglas utilizadas para este caso se muestran en la Tabla 1. Y la respuesta de este controlador al introducir una referencia de 1000 rev/min, se muestran en la Figura 7.

Figura 6. Conjuntos difusos para: a) el error, b) cambio del error, c) cambio de la acción de control

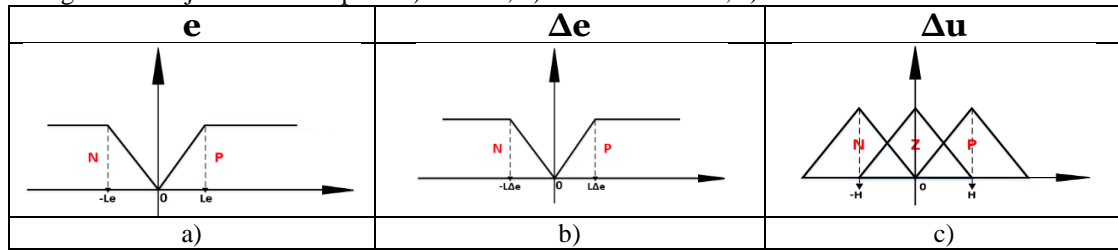
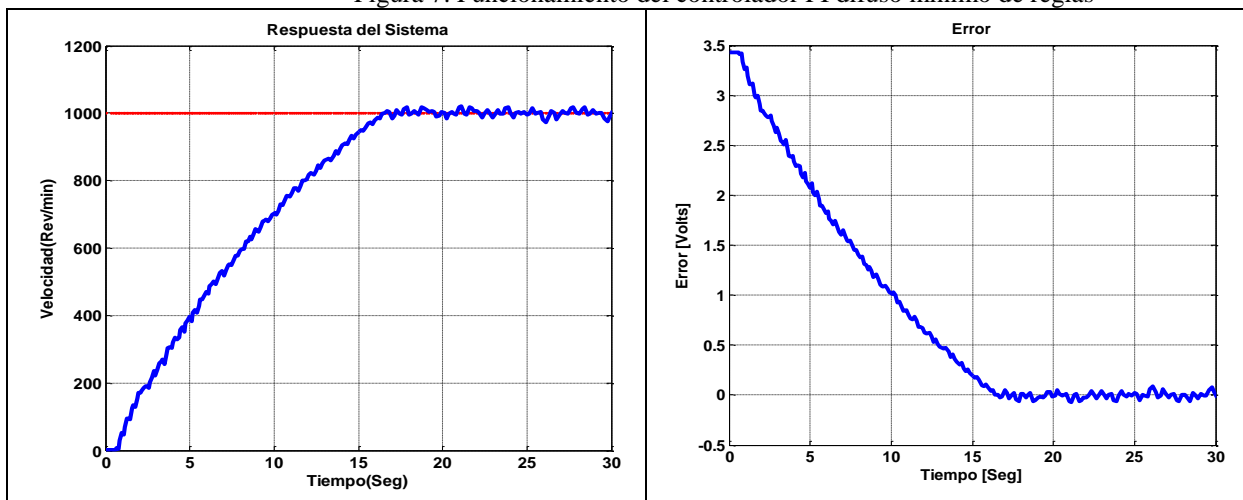


Tabla 1. Conjunto de reglas

| $e \setminus \Delta e$ | N | P |
|------------------------|---|---|
| N                      | N | Z |
| P                      | Z | P |

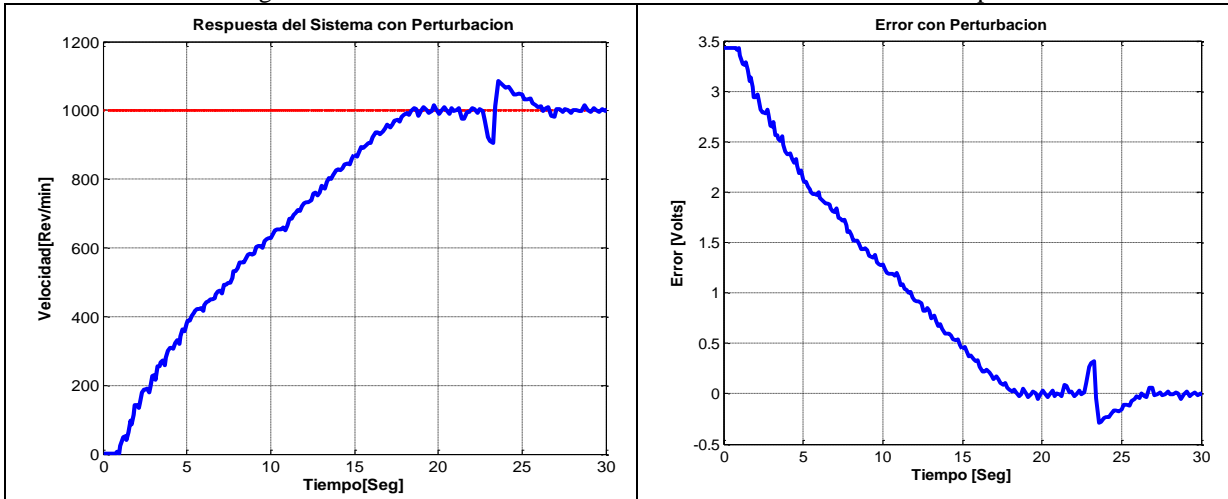
Figura 7. Funcionamiento del controlador PI difuso mínimo de reglas



De las gráficas se observa que el sistema tarda una cantidad considerable de tiempo para alcanzar el estado estable, ya que la respuesta es lenta y aun cuando se encuentra en éste, se observa que presenta ciertas oscilaciones, lo que provoca variaciones en la velocidad del motor y por lo tanto no se tiene una velocidad constante.

Se introdujo una perturbación al sistema para probar la robustez del controlador al tratar de detener levemente el motor con el dedo. Las respuestas se muestran en la figura 8.

Figura 8. Funcionamiento del controlador PI difuso mínimo ante una perturbación



En cuanto al funcionamiento real del controlador, se apreció que efectivamente el motor presenta mayor resistencia al tratar de detenerlo. Adicionalmente, en las gráficas se observa que el sistema logró recuperarse de la perturbación, aunque lo logra hasta después de un tiempo relativamente alto.

Posteriormente se realizó la segunda prueba, con el objetivo de mejorar la respuesta del sistema, y a manera de comparación se implementan los conjuntos adicionales en el controlador difuso, en el cual se agregó un valor lingüístico adicional como el conjunto cero. La Figura 9 muestra los conjuntos esta prueba. Y en la Tabla 2 se resume la combinación de las reglas de inferencia. Donde las etiquetas lingüísticas son: N es Negativo, P es positivo, Z es cero, MN es negativo mediano y MP positivo mediano. Y la respuesta de este controlador al introducir una referencia de 1000 rev/min, se muestran en la Figura 10.

Figura 9. Conjuntos difusos para: a) el error, b) cambio del error, c) cambio de la acción de control

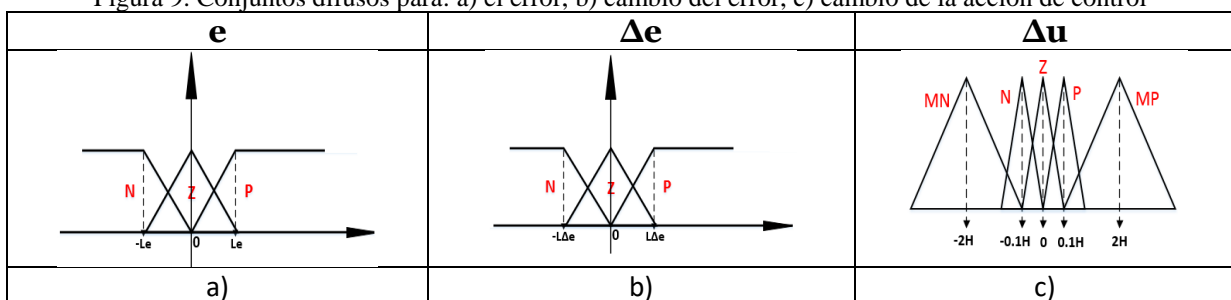
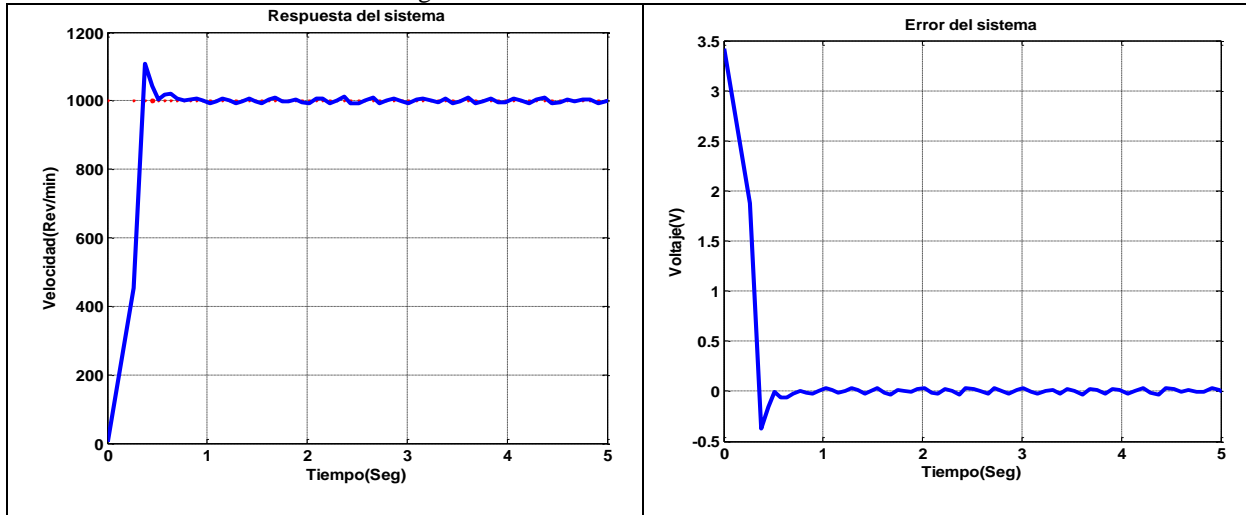


Tabla 2. Conjunto de reglas

| $e/\Delta e$ | N  | Z | P  |
|--------------|----|---|----|
| N            | MN | N | Z  |
| Z            | N  | Z | P  |
| P            | Z  | P | MP |

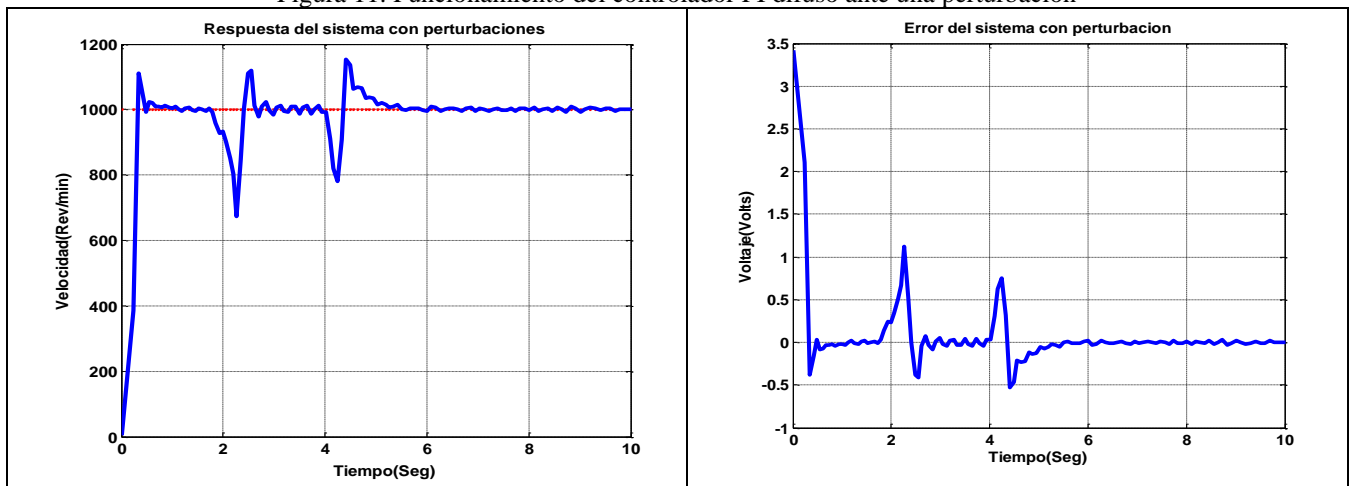
Figura 10. Funcionamiento del controlador PI difuso



A partir de los resultados obtenidos, podemos observar y concluir con las gráficas que se logró mejorar notablemente el tiempo de estabilización, de igual forma se logró reducir las oscilaciones que se presentan en comparación con el controlador PI mínimo. Sin embargo, se presenta un pequeño sobreimpulso en el arranque, el cual a final de cuentas no representa una amenaza real para el funcionamiento del sistema.

Se introdujo una perturbación al sistema para probar la robustez del controlador al tratar de detener levemente el motor con el dedo. Las respuestas se muestran en la figura 11.

Figura 11. Funcionamiento del controlador PI difuso ante una perturbación



De las gráficas anteriores se puede comprobar que además de las ventajas que se comentaron anteriormente con respecto a este nuevo controlador diseñado, se logró implementar un controlador más robusto, que permite alcanzar la referencia en un tiempo aceptable, haciendo así un sistema más veloz, así como también la eliminación en un tiempo menor de la perturbación.



## 4 CONCLUSIONES

Primeramente, se debe mencionar que se logró cumplir el objetivo del trabajo, al diseñar un controlador difuso, el cual permita seguir una referencia establecida por el usuario.

Adicional a lo anterior, se comprobó la mejora que presentó el controlador PI difuso en comparación con el PI difuso mínimo debido a que entre más valores lingüísticos se le den al controlador que se diseñe, se tiene mayor precisión en el control. Esto debido a que de esta manera se pueden cubrir mayores estados en los que el sistema puede encontrarse en determinado momento, siendo así más fácil llevar al sistema a la referencia deseada. Sin embargo, es importante tener en cuenta la cantidad de conjuntos difusos que se planteen, ya que si fueran muchos no habría una diferencia muy significativa entre un caso y otro.

En el desarrollo del proyecto se pudo apreciar que el controlador difuso en tiempo real mostró un buen desempeño dado que el sistema se pudo mantener en equilibrio o para la eliminación de perturbaciones del sistema; por lo que es ideal para automatizar procesos sin el uso de ecuaciones matemáticas complejas y que con un buen desarrollo de funciones de membresía y de reglas que rijan el sistema operara en óptimas condiciones.

Finalmente, cabe destacar que el método de control utilizado presenta varios beneficios, sin embargo, presenta también ciertas complicaciones entre las cuales una de ellas es el hecho de sintonizar en base a la experiencia algunos de los parámetros como es el valor de los conjuntos difusos. Bajo esta idea, es de mucha importancia tener buen conocimiento de la planta para así poder tener una idea del rango de los valores que se pueden establecer para estas variables a sintonizar.

## REFERENCIAS

- Bansal, U., & Narvey, R. (2013). Speed Control of DC Motor Using Fuzzy PID Controller. Advance in Electronic and Electric Engineering. Vol. 3, No. 9, pp. 1209-1220
- Hernández, G (1997). Control Difuso de Velocidad De un Motor de Corriente Directa. SEPI-ESIME-Zacatenco.
- Mathworks Inc, (995), Fuzzy Logic Toolbox User's Guide COPYRIGHT 1995 - 1999 by The MathWorks, Inc. January 1995 (First printing)
- Mohammad Jamshidi (1993), Fuzzy logic and control Software and hardware applications, Ed. Prentice Hall, Estados Unidos, 1993.
- National Instrument, User's Manual LabView, (National Instrument)
- Ronald R. Yager and Dimitar P. Filev, (1994), Essentials of Fuzzy Modeling and Control, Ed. Wiley Interscience, 1994.
- Zadeh, Lofti A. (1987), Fuzzy Sets and Applications, Selected Paper, John Wiley and Sons Inc., USA, 1987.
- Zimmermann, H. J. (1991), Fuzzy set Theory, Kluwer Academic Publishers, USA, 1991