

CONTROL DE BALANZA AÉREA MEDIANTE LÓGICA DIFUSA

*Barrera E.E.¹
Balbuena, C²
Hernández, R³.*

RESUMEN

El presente trabajo muestra las características y el desarrollo realizado para la estabilización de un sistema con un par de hélices, el cual tiene solo un grado de libertad. El objetivo del sistema es el mantener el equilibrio mediante el uso e implementación de un control difuso.

La lógica del control difuso, se realizó mediante el Toolbox de Matlab del mismo nombre, con el cual se proponen las reglas lógicas difusas, de acuerdo con la observación, estudio y comportamiento del sistema.

Mediante la etapa de potencia correspondiente, las salidas obtenidas del Toolbox de Matlab fueron mandadas al sistema físico realizado, con lo cual fue posible corroborar el equilibrio logrado mediante el uso del control difuso.

Palabras Clave: Lógica difusa, Control difuso, Control Inteligente

INTRODUCCIÓN

La lógica difusa tiene sus raíces en la teoría de conjuntos difusos desarrollada por Zadeh en la década de los 60. Propone que un elemento pertenece en cierto grado a un conjunto, esto permite establecer una manera eficiente para trabajar con la incertidumbre, así como para acondicionar el conocimiento en forma de reglas hacia un plano cuantitativo, factible de ser procesado por computadores (Zadeh, 1965).

¹Universidad Politécnica del Valle de Toluca. efraedy@hotmail.com

²Universidad Politécnica del Valle de Toluca. abalbuena_80@yahoo.com.mx

³Universidad Autónoma del Estado de México. rhp@uaemex.mx

La lógica difusa se puede aplicar en procesos complejos, cuando no existe un modelo de solución simple o un modelo matemático preciso (Trillas y Gutiérrez, 1992).

Los inicios del control difuso fueron realizados en Japón en el año de 1965, donde se utilizó en los controles de frenado del tren bala; este sistema trabajaba con proposiciones lingüísticas muy simples (ej. rápido, lento, frena poco, frena mucho, etc.), lo que hizo que el control difuso tuviera una gran aceptación en la tecnología moderna (Robayo, 2007).

En este trabajo el dispositivo que se desea controlar consta de una estructura compuesta por dos brazos metálicos unidos en forma de V a semejanza de una balanza. En el vértice de la estructura formada por la intersección de los brazos y fijo en una superficie horizontal, se encuentra un eje de rotación, de tal modo que esta balanza se puede inclinar (rotar) bien hacia la izquierda (giro positivo) o hacia la derecha (giro negativo). Cada extremo de la estructura dispone de una hélice impulsada por un motor de DC. El propósito de estas hélices es elevar uniformemente ambos extremos de la balanza para mantenerla en equilibrio.

El objetivo de este proyecto consiste en controlar adecuadamente la velocidad en que deben girar estas hélices para que la estructura se mantenga estable, o bien, que la balanza se mantenga equilibrada programando un controlador difuso.

El artículo presenta la forma del diseño, configuración y funcionamiento del sistema de control difuso. No se consideran los aspectos de la comunicación entre el microcontrolador y la computadora o la etapa de potencia que alimenta a los motores.

METODOLOGÍA

Para lograr el objetivo del proyecto, se realizó una interfaz de comunicaciones entre un microcontrolador PIC 18F4550 con Matlab, con el fin de usar la herramienta toolbox fuzzy logic y así dejar la tarea del control a la computadora con Matlab (MathWorks, 2013). El microcontrolador únicamente se encarga de adquirir la señal de entrada del potenciómetro y generar el valor de la velocidad que alimenta al sistema de control; también se encarga de distribuir las señales de salida desde el controlador difuso hacia los motores. La señal de salida primero pasa por una etapa de potencia que consiste en un driver L298 capaz de direccionar hasta 3A de corriente directa a los motores con un potencial de 12V.

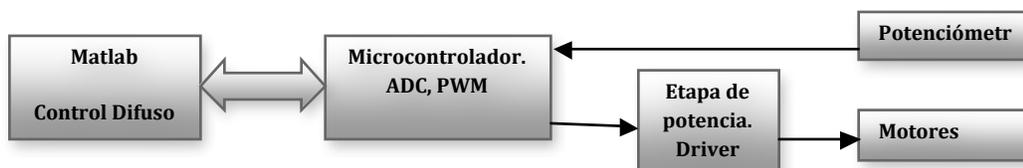


Figura 1. Configuración del proyecto

El control difuso se implementa con la caja de herramientas toolbox fuzzy logic de Matlab. Se utiliza el sistema de inferencia difuso Mamdani y para reconvertir a valores no difusos se usa el método del Centroide; esta configuración se puede ver en la Figura 2.

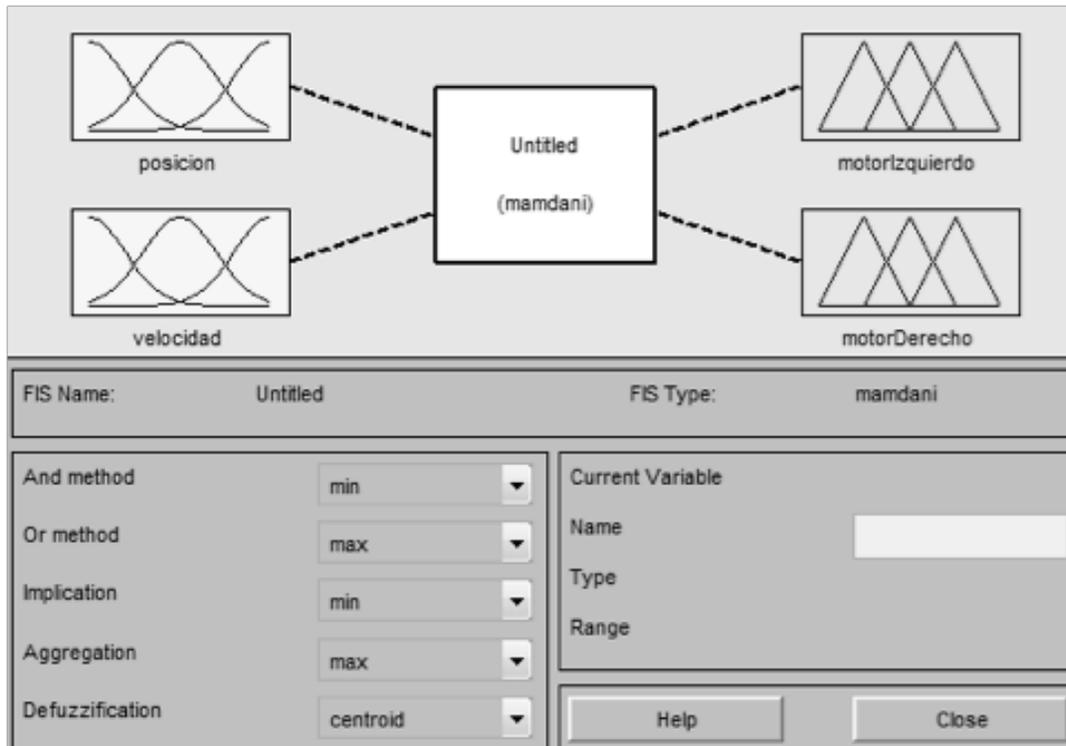


Figura 2. Configuración del control difuso en fuzzy logic de Matlab

El sistema de control se alimenta de dos entradas:

- a) Posición.
- b) Velocidad de giro.

El controlador difuso maneja dos variables lingüísticas de salida:

- c) Velocidad del motor izquierdo.
- d) Velocidad del motor derecho.

Los rangos y los modos de adquisición o generación de estas variables tanto de entrada como de salida se explican a continuación:

POSICIÓN

Como se explicó, la estructura a controlar tiene un eje de rotación que le permite girar en un sentido o en otro. Este eje de rotación está conectado directamente a un potenciómetro que hace la función de un sensor de desplazamiento conectado a la entrada analógica de un microcontrolador. Esta entrada de voltaje variable se convierte a una señal digital mediante el módulo Convertidor Analógico-Digital (ADC) del microcontrolador para poder ser procesada.

La señal analógica proveniente del potenciómetro puede variar de 0V a 5V de acuerdo con su desplazamiento angular. Dado que el ADC del microcontrolador es de 10 bits, el intervalo analógico se convierte a un valor numérico con intervalo de 0 a 1023 que será denominada como “x” y que indica la posición angular de la balanza; 0 para una entrada de 0V y 1023 para una entrada de 5V.

De este modo, cuando la balanza se encuentra en el extremo izquierdo, la posición $x=0$ representa una posición angular de 0° , cuando la balanza está en el extremo derecho $x=1023$ representa una posición angular de 90° y cuando la balanza se encuentra equilibrada $x=512$ representa una posición angular de 180° .

$$x = \frac{V_{in}}{5} \cdot 1023 \quad (1)$$

Es importante señalar que el proceso de conversión de una señal analógica a una digital implica un muestreo constante, en este proyecto el muestreo se realiza a periodos fijos de tiempo de 10ms, esto significa una frecuencia de muestreo de 100 Hz. Esta frecuencia es suficiente para asegurar tiempos de respuesta óptimos del controlador difuso, ya que no impacta directamente en el diseño de controlador.

Las funciones de pertenencia para la variable lingüística “Posición” o $x[n]$ se muestran en la Figura 3.

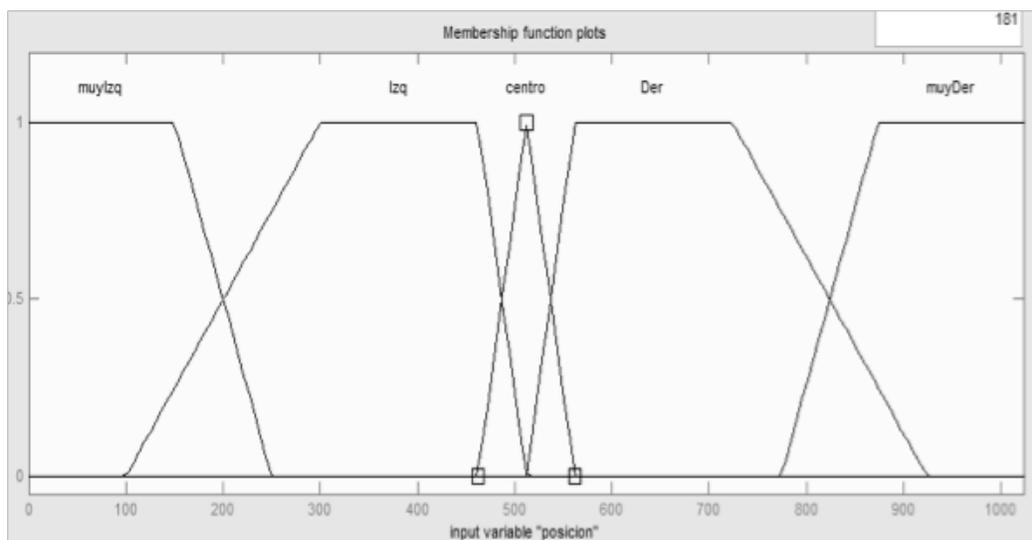


Figura 3. Funciones de membresía de la entrada Posición

Como se observa en la Figura 3 la función de pertenencia centro es muy angosta debido a que es el rango de posiciones en el que deseamos que se encuentre la balanza en estado estable o equilibrio.

VELOCIDAD

Para obtener la variable velocidad se dividió la diferencia de posición entre la diferencia de tiempo. Cada 10 ms se muestrea la entrada de la posición dada por el valor que regresa el ADC. La diferencia de posición se obtiene restando la posición actual menos la posición anterior:

$$\Delta x = x_n - x_{n-1} \quad (2)$$

El diferencial de tiempo es fijo a 10ms dado que es el período de muestreo:

$$\Delta t = 0.01s \quad (3)$$

Y por tanto la velocidad dada en v está dada por:

$$v = \Delta x \Delta t \cdot 180/1023 \text{ } ^\circ/s \quad (4)$$

Mediante la observación se obtuvo el intervalo de velocidades que puede alcanzar la balanza, este es de $-64^\circ/s$ a $64^\circ/s$ como se muestra en la Figura 4.

El sentido negativo de la velocidad indica que la balanza se inclina hacia la izquierda (giro positivo).

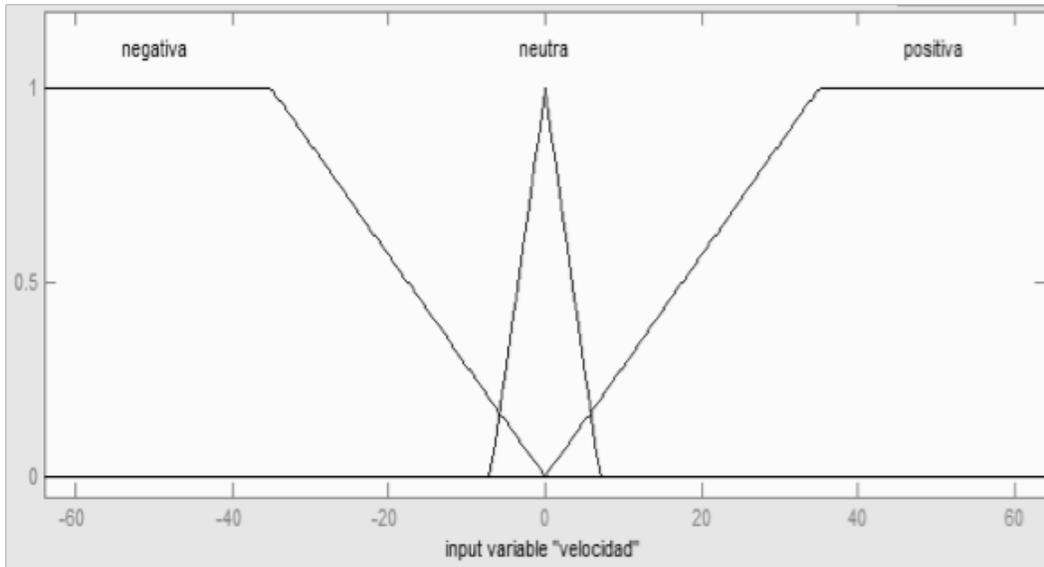


Figura 4. Funciones de pertenencia para la entrada Velocidad

El hecho de incluir la variable velocidad en el sistema de control difuso es de mucha utilidad porque así el controlador puede “predecir” la futura posición en el corto plazo de la estructura y poder realizar el ajuste en la velocidad de los motores adecuado para no perder el control del sistema.

Como se observa el período en el que la velocidad se considera neutra o 0 es muy pequeño ya que en la práctica la balanza difícilmente se encuentra estática.

6

VELOCIDAD EN LOS MOTORES DE SALIDA

Una vez que el sistema de control difuso devuelve un valor numérico mediante la concretización, es necesario enviar este valor al sistema de alimentación de los motores para hacerlos trabajar.

El valor numérico es recibido por el microcontrolador que se encarga de generar una señal mediante la técnica PWM. Esta técnica genera una señal cuadrada de frecuencia fija en la cual es posible variar el ancho del semiciclo activo. Esta es una forma de generar un voltaje promedio variable que puede usarse para controlar la velocidad de un motor.

El valor recibido del módulo PWM del microcontrolador se encuentra en el intervalo de 0 a 254, el microcontrolador genera entonces la señal cuadrada de 20 kHz de frecuencia, en donde el semiciclo activo de la señal puede variar del 0% hasta el 100%. El 0% corresponde al valor numérico 0, 100% para 254 y 50% para 127.

Esta señal cuadrada de ancho variable es enviada desde el microcontrolador hasta el driver L298 que se encarga de tomar la corriente de una fuente externa de 12V para mandarla a los motores y accionarlos según el control difuso lo determine.

La configuración de las funciones de pertenencia para la variable lingüística de salida de ambos motores (izquierdo y derecho) es idéntica y por tanto sólo se muestra una de estas salidas en la Figura 5.

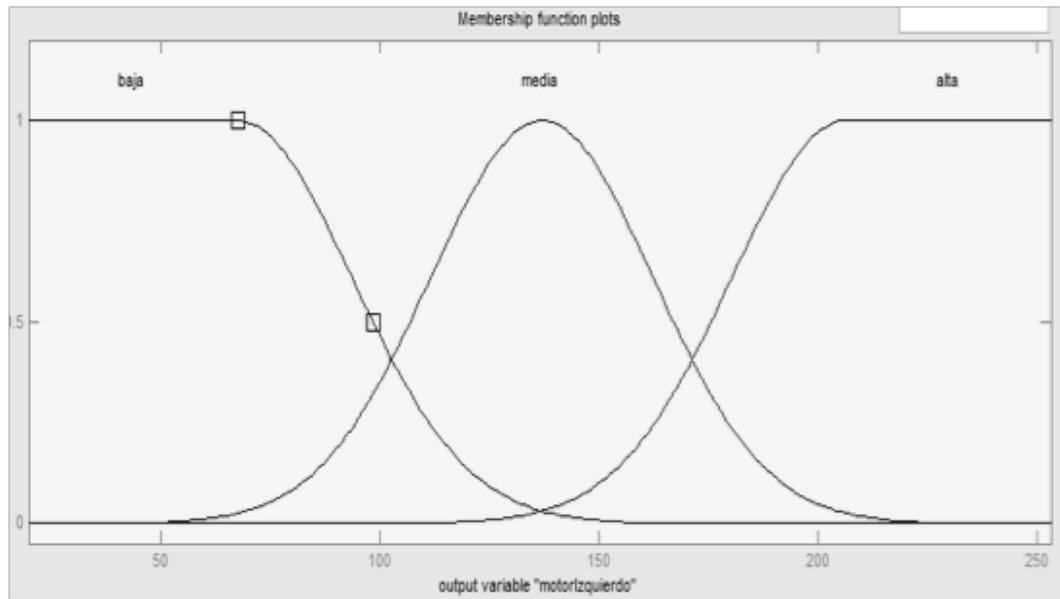


Figura 5. Funciones de pertenencia para la salida: Velocidad de motor

REGLAS DE INFERENCIA DIFUSA

Las reglas de inferencia relacionan los conjuntos difusos de entrada y salida para representar las reglas que definirán el comportamiento del sistema. En la inferencia se utiliza la información de la base del conocimiento para generar reglas mediante el uso de condiciones, por ejemplo: si caso 1 y caso 2 entonces acción 1 (Kosko, 1994).

En este caso, al tener cinco funciones de pertenencia en la variable posición y tres en la variable velocidad, esto da lugar a 15 reglas en las cuales se deben implicar acciones para ambos motores. La Figura 6 muestra las reglas generadas en el editor de reglas del toolbox fuzzy logic para este proyecto.

```

1. If (posicion is muyIzq) and (velocidad is negativa) then (motorIzquierdo is baja)(motorDerecho is alta) (1)
2. If (posicion is muyIzq) and (velocidad is positiva) then (motorIzquierdo is baja)(motorDerecho is media) (1)
3. If (posicion is muyIzq) and (velocidad is nutra) then (motorIzquierdo is baja)(motorDerecho is media) (1)
4. If (posicion is Izq) and (velocidad is negativa) then (motorIzquierdo is media)(motorDerecho is alta) (1)
5. If (posicion is Izq) and (velocidad is nutra) then (motorIzquierdo is media)(motorDerecho is alta) (1)
6. If (posicion is Izq) and (velocidad is positiva) then (motorIzquierdo is media)(motorDerecho is media) (1)
7. If (posicion is centro) and (velocidad is negativa) then (motorIzquierdo is media)(motorDerecho is alta) (1)
8. If (posicion is centro) and (velocidad is nutra) then (motorIzquierdo is media)(motorDerecho is media) (1)
9. If (posicion is centro) and (velocidad is positiva) then (motorIzquierdo is alta)(motorDerecho is media) (1)
10. If (posicion is Der) and (velocidad is positiva) then (motorIzquierdo is alta)(motorDerecho is media) (1)
11. If (posicion is Der) and (velocidad is nutra) then (motorIzquierdo is alta)(motorDerecho is media) (1)
12. If (posicion is Der) and (velocidad is negativa) then (motorIzquierdo is media)(motorDerecho is media) (1)
13. If (posicion is muyDer) and (velocidad is positiva) then (motorIzquierdo is alta)(motorDerecho is baja) (1)
14. If (posicion is muyDer) and (velocidad is nutra) then (motorIzquierdo is media)(motorDerecho is baja) (1)
15. If (posicion is muyDer) and (velocidad is negativa) then (motorIzquierdo is media)(motorDerecho is baja) (1)

```

Figura 6. Reglas de inferencia

Las superficies generadas por Matlab de acuerdo con las reglas de inferencia especificadas, se muestran a continuación en la Figura 7 y Figura 8.

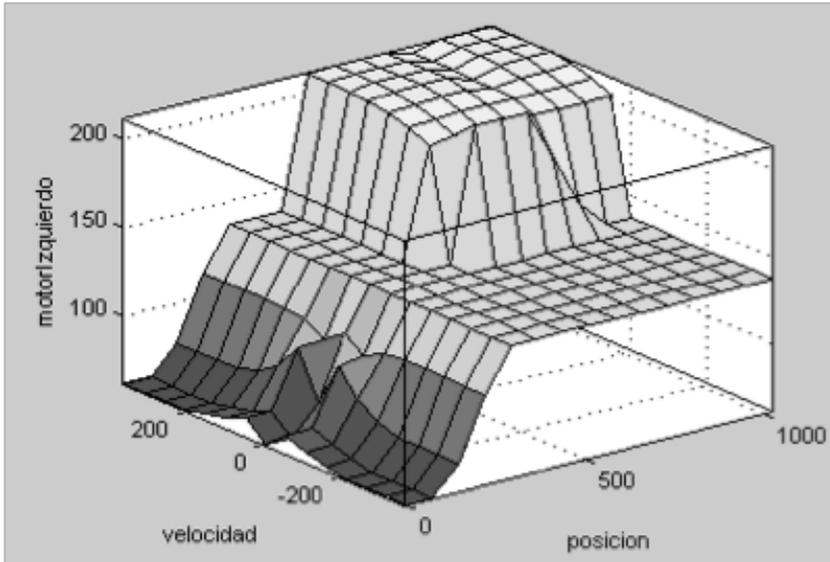


Figura 7. Superficie para la salida Velocidad de motor izquierdo

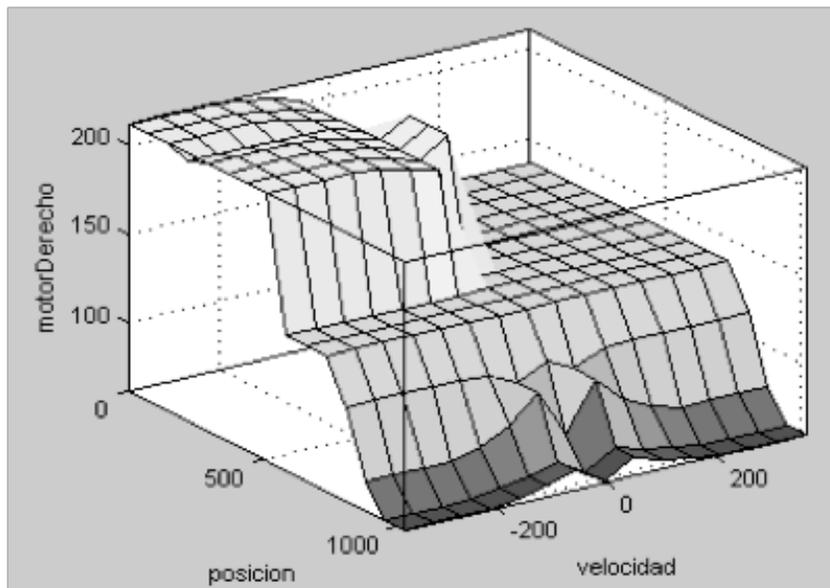


Figura 8. Superficie para la salida Velocidad de motor derecho

En las figuras anteriores se aprecia cómo se comportan los motores de acuerdo con las variables de entrada. Existe una fuerte pendiente entre la velocidad media y alta debido a que, en cuanto la balanza sale de su posición estable, se requiere de una reacción rápida de los motores para compensar la inclinación y evitar llegar a una posición extrema.

RESULTADOS

El resultado de la concretización, como se esperaba, es un valor numérico comprendido entre 0 y 254 para ambos motores. Este valor dependerá de las reglas definidas para la relación entre las entradas y salidas.

Suponiendo que la balanza se encuentra en equilibrio, la entrada de posición será de 512 aproximadamente y la velocidad de la balanza al estar en reposo es de 0. En la Figura 9 se muestra la salida a los motores que es de 137 aproximadamente para ambos.

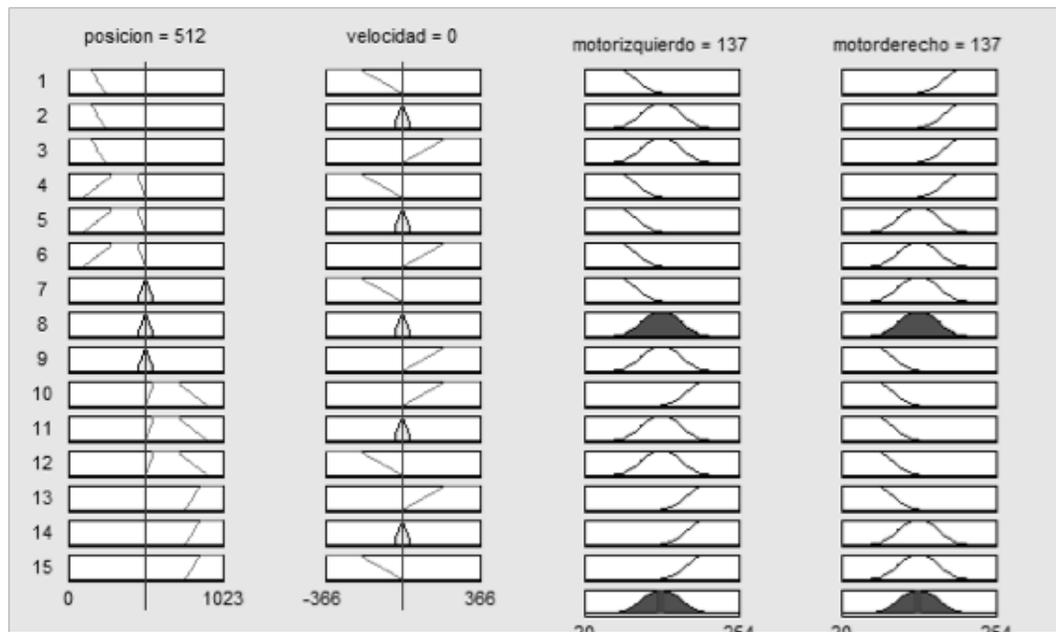


Figura 9. Salida en equilibrio

Si la balanza se llega a inclinar hacia la izquierda aproximadamente 2° , esto causará una entrada en la posición de 501. Suponiendo que la velocidad de ese giro hacia la izquierda es de $-1^\circ/s$ entonces la entrada de velocidad será de -6 ADC/s. Estas entradas en el sistema difuso generarán una salida para el motor izquierdo de 123 y para el derecho de 139 como se muestra en la Figura 10. Esta diferencia en las velocidades provocará que la balanza gire hacia la derecha buscando el estado de equilibrio nuevamente.

9

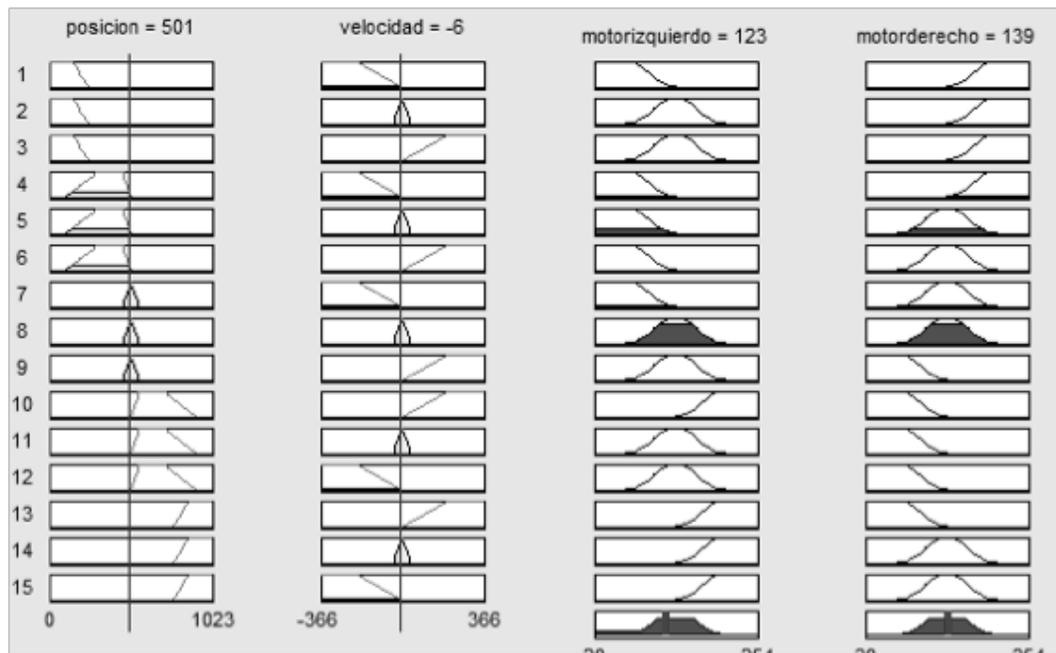


Figura 10. Salida para inclinación hacia la derecha

De manera proporcional, si se presenta una inclinación de aproximadamente 26 grados hacia la izquierda y una velocidad hacia la izquierda de $16^\circ/s$, entonces la velocidad del motor izquierdo será de 68.9 y el derecho en 205. Se puede apreciar una diferencia de velocidades mayor que la del caso anterior, debido a que se requiere un trabajo más grande para regresar al estado de equilibrio.

Si se toma este mismo caso pero con una velocidad hacia la derecha de $9^\circ/s$ (significa que la balanza se dirige a la zona de equilibrio), entonces la salida para el motor izquierdo será de 72.4 y el motor derecho en 137; la diferencia de velocidades no es tan grande. Esto significa que el sistema se está preparando para llegar al equilibrio.

El prototipo de la balanza se muestra en la Figura 11.

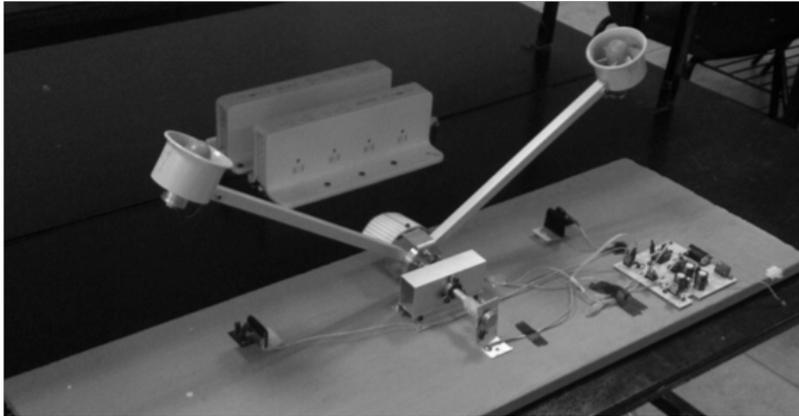


Figura 11. Prototipo de balanza aérea

En la Figura 12 se muestra la imagen del osciloscopio donde se aprecian la señal del potenciómetro y la señal de la salida del motor derecho. La señal que sube casi en el inicio corresponde al voltaje que registra el potenciómetro. La señal que está por debajo en el inicio corresponde al voltaje suministrado al motor izquierdo, esta señal fue convertida a analógica mediante un convertidor digital-analógico únicamente para poder visualizarla en el osciloscopio como una señal continua. Se puede apreciar que cuando se presenta un desplazamiento hacia la derecha entonces el motor izquierdo decrementa su velocidad para dar oportunidad de que el motor derecho incremente su empuje y pueda regresar a la posición de equilibrio. También se observa que la balanza no llegar a quedar estática si no que se mantiene oscilando en una zona de equilibrio,

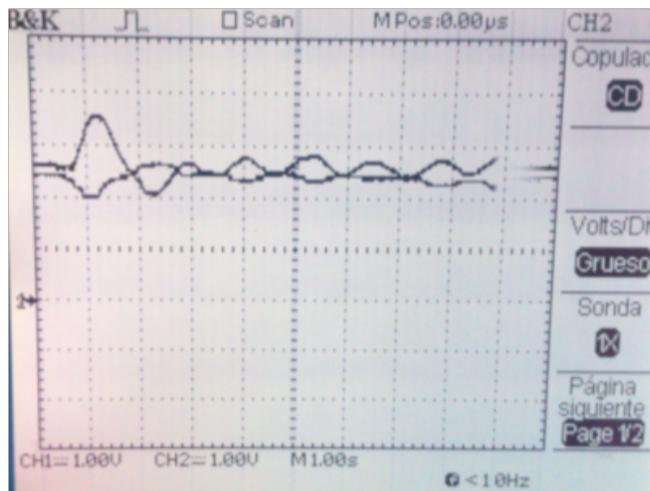


Figura 12. Señal del sensor de posición contra señal de voltaje suministrado al motor izquierdo

CONCLUSIONES

El sistema mecánico, a pesar de ser simple en su construcción contiene cierta complejidad en su control, pues además de trabajar con las masas de los eslabones y de los motores, se presentan otros factores a considerar como la gravedad y la inercia. Esta última es la más crítica a controlar ya que puede hacer que el sistema colapse si no se controla correctamente.

Por ello, además de necesitar la posición del sistema, se requiere de su velocidad como entradas del sistema para lograr que el control difuso alcance el equilibrio.

Como se comentó anteriormente, la lógica difusa se puede usar tanto para sistemas muy complejos o sistemas no tan complejos, en donde una implementación sencilla del control y una salida rápida es más importante que la exactitud y complejidad de esta. En este sistema se aplica dicha regla, ya que siendo un sistema complejo se requiere de una muy rápida respuesta de las salidas para mantener toda la balanza en equilibrio.

En este trabajo se ha presentado de forma sencilla pero exitosa la construcción de un controlador haciendo uso de la lógica difusa.

REFERENCIAS

Kosko, B., 1994. Fuzzy systems as universal approximators. IEEE Transactions on Computers, 43(11), pp. 1329-1333.

MathWorks, 2013. Fuzzi Logic Toolbox. User's Guide. [Online]
Disponibile en: http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/fuzzy/fuzzy.pdf
[Consultado el 10 de Diciembre 2013].

Robayo, E. M., 2007. Control difuso. Fundamentos y aplicaciones. Barranquilla, Co.: Universidad del Norte Editorial.

Trillas, E. y Gutiérrez, J., 1992. Aplicaciones de la lógica borrosa. Madrid: CSIC.

Zadeh, L., 1965. Fuzzy Sets. Information and Control, pp. 338-353.