

# Aplicaciones de la Lógica Borrosa al Control de un Dispositivo Robótico Didáctico de Evasión de Obstáculos y Buscador de Luz

Rocha Morales Jesús Ángel<sup>1</sup>, Jiménez López Eusebio<sup>2</sup>, Núñez Pérez Eduardo<sup>3</sup>,  
Reyes Ávila Luis<sup>4</sup>, Luna Acosta Noé<sup>5</sup>, Urbalejo Contreras Arturo<sup>6</sup>, Grijalva Mireles  
Pedro<sup>7</sup> y Madrid Amarillas Germán<sup>8</sup>

<sup>1,3</sup>Universidad La Salle Noroeste  
<sup>2</sup>ULSA Noroeste - CINNTRA de la UTS – IIMM  
<sup>4</sup>Instituto Mexicano del Transporte - IIMM  
<sup>5,6,8</sup>CIAAM de la Universidad Tecnológica del Sur de Sonora (UTS)  
<sup>7</sup>Moctezumaspeakers

*Recibido: 15 / Diciembre / 2012. Aceptado: 14 / Enero / 2013. Publicado: 31 / Enero / 2013.*

## Resumen.

*En este artículo se presenta el diseño, la fabricación y el control de un robot evasor de obstáculos con una implementación para seguir la luz. El control del vehículo fue hecho con una técnica de la Inteligencia Artificial llamada Lógica Difusa o Borrosa (método de Mandami). Fueron colocados 3 sensores para la evasión de obstáculos y un sensor diferencial para la guía de la luz (Infrarrojos y fotorresistencias). Fue usado el Micro-controlador: PIC18F4550 para implementar el control del robot. Los actuadores usados para el movimiento del robot son dos motorreductores. El dispositivo robótico funcionó de acuerdo con el control diseñado, por lo que se puede concluir que el método de la lógica borrosa es útil y práctico en el control de vehículos evasores de obstáculos usados para propósitos didácticos. Finalmente, los resultados obtenidos pueden ser usados para la enseñanza de la mecatrónica.*

**Palabras clave:** Lógica Borrosa, Robótica Móvil, Educación en Ingeniería, Control.

## 1. Introducción.

De acuerdo con [1], la Mecatrónica es una Ingeniería que integra tres campos principales del conocimiento: la Mecánica, la Computación y la Electrónica. Para desarrollar los productos y los procesos, la Mecatrónica se auxilia de todas las tecnologías disponibles de sus tres campos primarios incorporando conocimientos de los campos secundarios, tales como las matemáticas, la manufactura, la inteligencia artificial, la robótica, entre otros [2]. La Mecatrónica es un campo de estudio relativamente nuevo. Inició formalmente a finales de los años 60 en Japón y en México tiene un poco

más de dos décadas de haberse constituido como un campo de estudio formal. El poco tiempo que lleva la Mecatrónica en nuestro país hace que las empresas y las universidades no tengan un claro panorama de los grandes beneficios que se obtienen tanto en las aplicaciones industriales como en el proceso formativo de los estudiantes. En la actualidad, cuando menos en las licenciaturas de Ingeniería Mecatrónica, no se tiene una clara metodología de cómo enseñar o cómo proponer sistemas de aprendizaje para el estudio de la Mecatrónica. Cada programa de estudio y cada universidad manejan un perfil y una didáctica propia o bien imitan otros sistemas de enseñanza de universidades nacionales o extranjeras. Por otro lado, otro campo de estudio que tiene la misma problemática es la Inteligencia Artificial (IA). De hecho, de acuerdo con [3], la IA tiene algunos problemas en la enseñanza de la Ingeniería Mecatrónica como por ejemplo: la información es un poco confusa y carece de la difusión adecuada. Una amplia porción del material didáctico disponible trata el tema más a nivel técnico que al nivel ingenieril, haciendo de la Inteligencia Artificial una herramienta que hace más caso a la forma que al fondo. Cuando éste no es el caso, el material tiende a ser elevadamente teórico, dificultando así que el estudiante aterrice dichos conocimientos. El ingeniero que desee implementar una solución donde se aplique la Inteligencia Artificial debe de ser capaz de desarrollar en la medida del problema, siguiendo una metodología que le permita hacer esto sin correr el riesgo de lograr un resultado pobre, tardado o inclusive obsoleto. Además, algunas de las principales razones por las que se dificulta el aprendizaje en estos campos del conocimiento son, por ejemplo, la poca o nula relación que el alumno encuentra entre estas materias y el campo laboral en el cual buscan desarrollarse, así como la apariencia tan abstracta con las que se presentan dichas materias en los salones de clase. Para que la Inteligencia Artificial pueda ser más difundida y aceptada por los alumnos de Ingeniería, es necesario que existan diversas aplicaciones en las que las redes neuronales, los algoritmos genéticos y la lógica difusa puedan ser vistas en la solución de problemas prácticos [4]. Los dispositivos móviles como carritos evasores de obstáculos son ampliamente usados en la didáctica para poner en práctica las aplicaciones de la IA. Por ejemplo, en [3,5] se ha aplicado la lógica borrosa para diseñar el sistema de control de dispositivos móviles y simuladores que evaden obstáculos.

Para continuar con los avances dados en [3,5] relacionados con las aplicaciones de la IA en la robótica móvil, en este artículo se presenta el desarrollo de un dispositivo robótico móvil el cual evade obstáculos mediante la colocación de sensores y al mismo tiempo sigue la mayor intensidad de luz. El control del dispositivo es diseñado aplicando lógica borrosa. El objetivo es generar aplicaciones de la AI en proyectos didácticos con la finalidad de que los alumnos se motiven y le encuentren sentido al conocimiento teórico visto en los salones de clases.

## 2. Marco teórico.

En esta sección se describen algunas consideraciones básicas relacionadas con la lógica borrosa o difusa.

### **2.1 Algunas consideraciones sobre la Lógica Difusa (Mandami).**

El control por proceso difuso fue primero exitosamente logrado por Mandami (1976) con la implementación de un sistema difuso para controlar una planta de cemento. Desde entonces, el control difuso ha sido extensamente aceptado, primero en Japón y después alrededor del mundo.

Esta metodología acepta números como entradas, después traslada estos términos numéricos a términos lingüísticos (como Lento, Medio y Rápido), llamado borrosificación (fuzzification). Las reglas después asignan los términos lingüísticos de entrada a salidas similares. Finalmente los términos lingüísticos de salida son trasladados a términos numéricos, conocido como desborrosificación (defuzzification). La metodología para un control difuso según Mandami es la siguiente [6]:

**Paso 1. Entradas difusas.**

- Tomar las entradas y determinar el grado por el cual pertenecen a un conjunto difuso.
- La entrada es un valor numérico y el resultado es un valor de pertenencia en el conjunto lingüístico (siempre un valor en el intervalo 0 a 1).

**Paso 2. Aplicar el operador difuso.**

- Si existen múltiples partes en el antecedente, se aplican operadores de lógica difusa y se resuelve el antecedente a un único número entre 0 y 1. Éste será el grado de soporte para la regla.

**Paso 3. Aplicar el método de implicación**

- El consecuente de una regla difusa asigna todo un conjunto difuso a la salida. El conjunto difuso está representado por una función de pertenencia que es escogida para indicar las cualidades del consecuente.
- Si el antecedente sólo es parcialmente cierto, (Ej. si se asigna un valor menor que 1), entonces el conjunto lógico de salida es truncado de acuerdo al método de implicación.

**Paso 4. Agregar todas las reglas**

- En general, una regla por sí sola no sirve de mucho. Se necesitan dos o más reglas que puedan complementarse una con otra. La salida de cada regla es un conjunto difuso.
- Los conjuntos de salida difusos para cada regla luego son agregados en un solo conjunto difuso de salida. Finalmente el conjunto resultante será desborrosificado o resuelto en un número.

### **3. Metodología.**

En esta sección se presenta la metodología por medio de la cual se desarrolla el robot móvil y su control. Esto es [7]:

- 1.- Definir funcionamiento general.
- 2.- Definir entradas y salidas
- 3.- Diseño de sensores
  - 3.1.- Ajustes de salida de señal a un estándar
  - 3.2.- Diseño del circuito de ajuste.
- 4.- Desarrollar lógica borrosa
- 5.- Construir esqueleto del programa en MATLAB
- 6.- Diseñar el programa para el PIC18f4550
  - 6.1.- Configuración del ADC y PWM
  - 6.2.- Adaptar el esqueleto del MATLAB para el lenguaje del PIC
  - 6.3.- Depurar y hacer pruebas con el dispositivo completo
- 7.- Diseñar el circuito del Puente H
- 8.- Construcción de los circuitos impresos.
- 9.- Fabricación del chasis y estructuras mecánicas
- 10.- Ensamble de los subsistemas

### **4. Resultados.**

#### **4.1. Desarrollo**

Para que el robot móvil buscador de luz funcione, es necesario establecerlo como un sistema autónomo y definir sus partes principales, entrada, sistema de control o procesamiento, y sistema de salida o actuadores. Éste debe percibir su entorno y en base a esto tomar decisiones para así cumplir con su objetivo.

#### 4.2. Diseño del dispositivo

Para un fácil rediseño del robot, en caso de alguna modificación, se optó por estandarizar los subsistemas que lo componen a parámetros normalizados de entradas y salidas de los mismos. De esta manera si se modifica un subsistema, esto no afecta a las demás partes de una manera significativa. La figura 1 muestra la estructura del dispositivo, donde el rectángulo representa el chasis, el semicírculo es el soporte de los sensores, los tres rectángulos rojos son los sensores de proximidad, los óvalos verdes representan el sensor de luz, y los rectángulos naranjas son los motorreductores que imparten el movimiento.

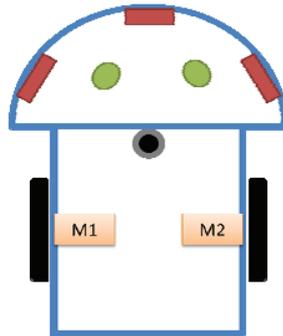


Figura 1. Estructura básica del dispositivo.

#### 4.3 Sistema mecánico

Básicamente el sistema mecánico consta de un chasis rectangular, el cual sirve de soporte principal en la estructura del sistema, en el cual se sujetan los actuadores (motorreductores de C.D.), la batería que sirve de fuente de energía, sensores y los circuitos electrónicos para el sistema de control.

#### 4.4 Sistema de sensores

Este dispositivo cuenta con 4 sensores, de los cuales 3 son sensores de proximidad infrarrojos y uno es un detector de luz diferencial. Los de proximidad son el GP2Y0A21YK0F de Sharp como el mostrado en la figura 2.

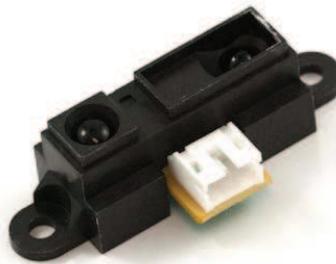


Figura 2. Sensor Infrarrojo GP2Y0A21YK0F.

Para el sensor de luz se utilizó un arreglo de LDR y resistencias como se muestra en la figura 3.

Por otro lado, para determinar los valores de las resistencias, se graficaron en el software Mathematica diferentes áreas de los comportamientos de diferentes valores y arreglos, dando como resultado la gráfica mostrada en la figura 4 como la más estable. Los ejes X y Z, representan las dos LDR y el eje Y el voltaje de salida.

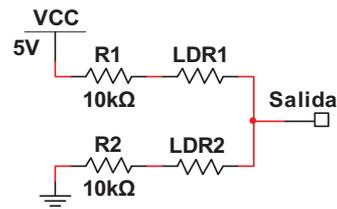


Figura 3. Circuito sensor de luz.

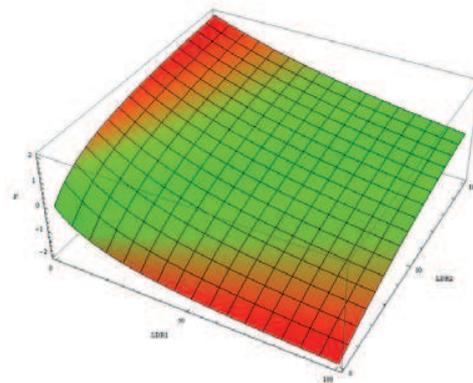


Figura 4. Gráfica de comportamiento del sensor de luz.

La función que rige comportamiento del sensor es la siguiente:

$$Vsal(LDR1, LDR2) = 5v * \frac{LDR2+10K\Omega}{LDR1+LDR2+20K\Omega} - 2.5.$$

Donde la constante -2.5 es agregada por medio de software.

#### 4.5. Sistema de control

Éste se encarga de analizar la entrada suministrada por los sensores, procesarla y dar una salida a los actuadores. Para esto se utiliza un micro-controlador PIC18F4550 de Microchip. Este dispositivo dispone de diversas características que lo hacen versátil y de uso genérico, tales como: salidas digitales, dispositivos PWM y dispositivo ADC. La figura 5 muestra el diagrama de conexión para las entradas y salidas del dispositivo, donde se aplica la siguiente nomenclatura.

SL: Sensor de Luz.

SI: Sensor de proximidad izquierdo.

SM: Sensor de proximidad medio.

SD: Sensor de proximidad derecho.

PWM\_D: PWM para el motor derecho.

PWM\_I: PWM para el motor izquierdo.

DPI: Bit de dirección positiva del motor izquierdo.

DNI: Bit de dirección negativa del motor izquierdo.

DND: Bit de dirección negativa del motor derecho.

DPD: Bit de dirección positiva del motor derecho.

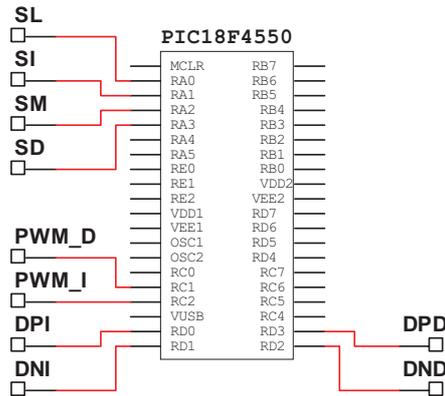


Figura 5. Conexión de entradas y salidas del PIC18F4550.

#### 4.6 Controlador de motores.

Este sistema es el encargado de suministrar la potencia a la señales de salida del sistema de control, así como interpretar las órdenes de encendido, apagado, dirección y velocidad para los actuadores, en este caso los motorreductores de C.D. El controlador de motores es el conocido circuito tipo puente H, en este caso se utilizó un circuito integrado llamado L298, el cual trae integrado dos puentes H con suministro de corriente de hasta 2A por puente y voltaje arriba de 46V, con entradas de control compatibles con TTL de 5V (ver figura 6).

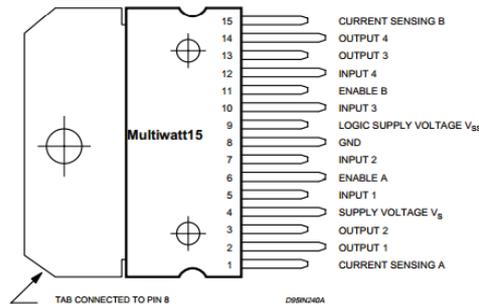


Figura 6. Integrado L298.

#### 4.7 Actuadores.

Este sistema se encarga de dar movimiento al dispositivo robótico. Consta de dos motorreductores de corriente directa, conectados a dos ruedas posicionados opuestamente uno del otro. El sistema de giro es el llamado "sistema de giro diferencial", el cual por medio del cambio de la velocidad y la dirección de giro de los motores determinan la trayectoria del dispositivo. (Ver figura 7), donde VL es la velocidad del motor izquierdo, VR es la velocidad del motor derecho, L es la separación efectiva entre los motores, R es el radio de giro, y ICR es el centro de rotación instantáneo.

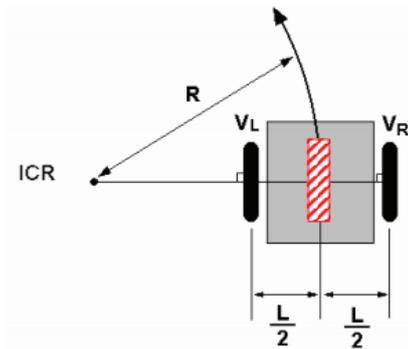


Figura 7. Sistema de giro diferencial.

#### 4.8 Diseño del software control

El sistema de control es el encargado de recibir las señales de los sensores, procesarlas, interpretarlas y tomar una decisión en base a los resultados, y así dar una salida que posteriormente por medio de los actuadores se transformará en un resultado físico. El software de control es el encargado del procesamiento. Para ello se utiliza un algoritmo representativo de un sistema difuso.

#### 4.9 Diseño del sistema difuso.

El sistema difuso seleccionado dispone de cuatro entradas, un sistema basado en reglas “if-then”, y dos salidas (ver figura 8).

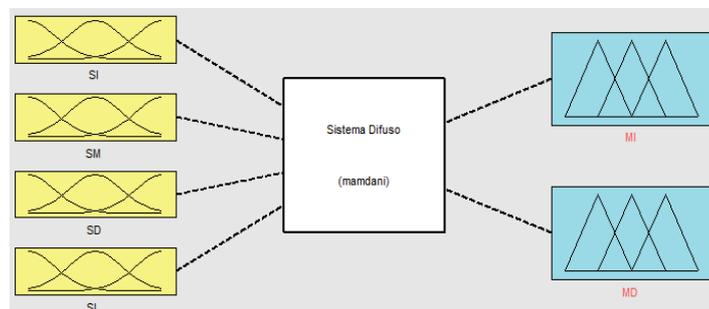


Figura 8. Sistema Difuso

En el método de Lógica Difusa Mandami, cada entrada y salida dispone de funciones de membresía, que varían según las características de las mismas. En este caso los motores (salidas) disponen de una misma función de membresía, los sensores de proximidad cuentan con otra función y por último el sensor de luz con otra función más. La tabla 1 muestra las características del sensor de proximidad, la figura 9 muestra la función de membresía de los sensores infrarrojos y la figura 10 muestra la función de membresía para el sensor de luz.

Tabla 1. Nomenclatura para la función de membresía de los sensores.

| Sensor Proximidad |       | Sensor Luz |           |
|-------------------|-------|------------|-----------|
| L                 | Lejos | M          | Medio     |
| M                 | Medio | I          | Izquierda |
| C                 | Cerca | D          | Derecha   |

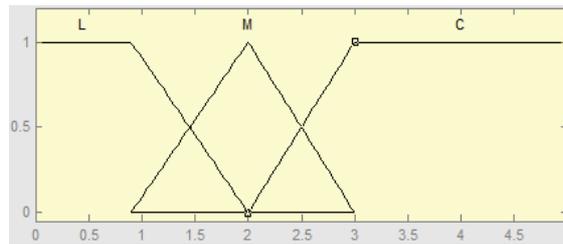


Figura 2.9. Función de membresía de los sensores infrarrojos.

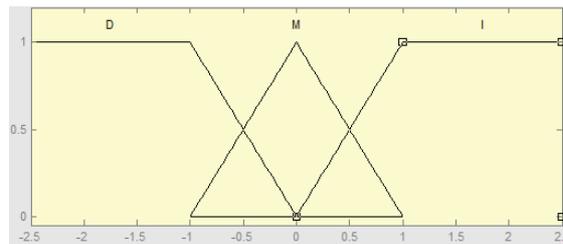


Figura 2.10. Función de membresía para el sensor de luz.

La tabla 2 muestra las características de las salidas y la figura 11 la función de membresía para los actuadores. Esto es:

Tabla 2. Nomenclatura para la función de membresía de los motores.

| Motores |               | Hexadecimal |      |
|---------|---------------|-------------|------|
|         |               | MI          | MD   |
| NA      | Negativo Alto | 0X10        | 0X01 |
| NB      | Negativo Bajo | 0X20        | 0X02 |
| A       | Apagado       | 0X30        | 0X03 |
| PB      | Positivo Bajo | 0X40        | 0X04 |
| PA      | Positivo Alto | 0X50        | 0X05 |

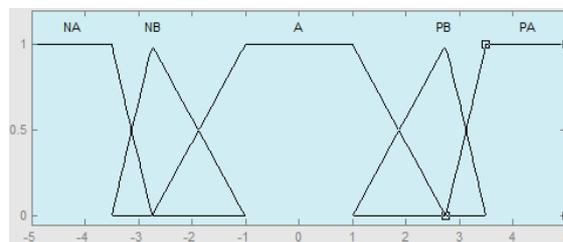


Figura 11. Función de membresía para los motores.

Por otro lado, la base de conocimiento está formada por una serie de condiciones “If-Then”, por medio del operador “And”. Las condiciones o combinaciones se pueden ver en la tabla 3, mostrada en el apéndice A.

#### 4.10 Diseño del algoritmo

El algoritmo, es el código del programa, el cual se encarga de encapsular la metodología del sistema difuso, así como el ajuste de las señales de entrada y de las salidas. El diagrama de flujo siguiente muestra la secuencia que sigue el programa para el micro-controlador.

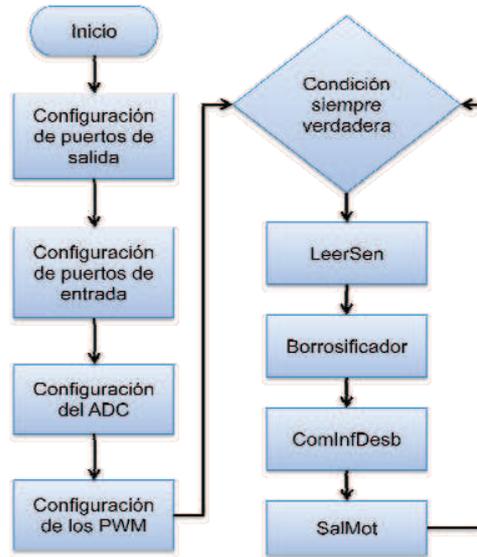


Figura 12. Diagrama de flujo del programa.

Primeramente el micro-controlador debe configurar los periféricos y establecerlos como entradas y salidas. Posteriormente debe configurar los módulos especiales, como es el ADC y el PWM. Luego, el programa entra en ciclo infinito en donde se incrustará el algoritmo que se requiere que se repita. En el ciclo se leen los sensores y se ajustan a los valores deseados. Teniendo todas las entradas leídas y ajustadas, se prosigue con la borrosificación. El siguiente paso es hacer la composición de suma, la inferencia de producto y la desborrosificación de centroide. Por medio del centroide se obtiene la salida, pero es necesario su ajuste a PWM y dirección a cada motor. Así el algoritmo inicia nuevamente a partir de la lectura de las entradas, convirtiéndolo en un sistema autónomo de lazo cerrado. Finalmente la figura 13 muestra el dispositivo robótico construido.

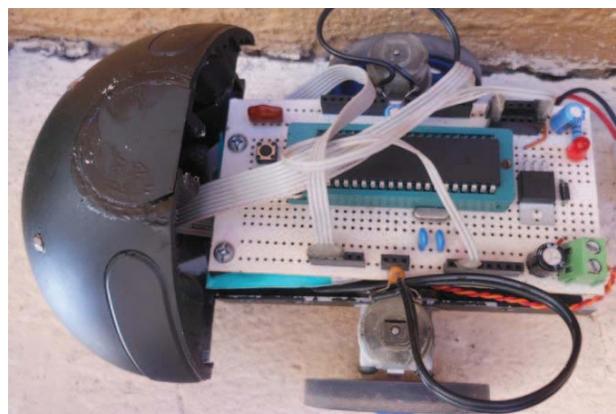


Figura 13. Configuración del robot móvil

## 5. Conclusiones

En este artículo se ha usado la lógica borrosa para diseñar el control de un dispositivo evasor de obstáculos. Las conclusiones derivadas de este trabajo se resumen en los puntos siguientes:

- 1) El dispositivo funcionó adecuadamente, esto es, evade obstáculos y sigue la mayor intensidad de luz, por lo que es posible afirmar que la lógica borrosa es útil y práctica para el diseño y control de dispositivos móviles.
- 2) Fue posible una buena adecuación del algoritmo de lógica borrosa al lenguaje del micro-controlador, por lo que tuvo un buen rendimiento y velocidad de reacción.
- 3) La versatilidad del micro-controlador utilizado, facilita la implementación de este tipo de dispositivos, así como una fácil adecuación de los algoritmos no sólo de lógica borrosa sino también de otras ramas de la inteligencia artificial.
- 4) La adecuación de los circuitos diseñados a los estándares TTL de 5v y baja potencia, facilita el acoplamiento de diferentes subsistemas en el producto terminado, como en el caso de los sensores y la etapa de potencia.
- 5) El robot puede ser usado para la motivación y la enseñanza de la Mecatrónica y de la Inteligencia Artificial.

## Referencias

- [1] Bishop, R. The Mechatronic Handbook. Crc Press Washington D.C. (2002)
- [2] Reyes L., Jiménez E., Olvera E., Vázquez I., Mendiola E., Rivera J., López F., Delfín J., Urbalejo A. Aplicaciones del álgebra hipercompleja a la modelación y simulación de un robot paralelo planar de 3GDL tipo RRR. La Mecatrónica en México, Vol 1. No 1. Pag. 1-11. Asociación Mexicana de Mecatrónica. (2012).
- [3] Madrid G., Jiménez E., Reyes L., E., Luna N. Diseño e implementación del sistema de control de un dispositivo móvil evasor de obstáculos usando lógica borrosa. 9º Congreso Nacional de Mecatrónica, Octubre 13 al 15, 2010. Puebla, Puebla. (2010).
- [4] Sánchez C., Nelson E. Alanís A. Redes neuronales Conceptos fundamentales y aplicaciones a control automático, Editorial Prentice Hall. Edición Primera. Fecha publicación. Madrid, España. (2006)
- [5] Madrid G., Luna N., Jiménez E., Núñez E., Orduña F. Desarrollo de un simulador para prototipo de vehículo evasor de obstáculos usando lógica borrosa. 10º Congreso Nacional de Mecatrónica, Noviembre 3 y 4, Puerto Vallarta, Jalisco. (2011).
- [6] William Siler and James J. Buckley Fuzzy Expert System and Fuzzy Reasoning. WILEY-INTERSCIENCE (2005).
- [7] Rocha J., Jiménez L., Núñez E., Luna N., Reyes L. Desarrollo de una metodología para el control de dispositivos móviles para propósitos didácticos usando lógica borrosa. Informe Interno de Investigación. RED ALFA-IIMM-ULSA Noroeste. ISBN en trámite. (2013).