

# DISEÑO DE UN CONTROLADOR DIFUSO PARA EL ESTACIONAMIENTO DE UN AUTOMÓVIL EN REVERSA

## Design of a Fuzzy Controller for the Parking of a Car in Reverse

J. M. Chaparro Fonseca<sup>1</sup>, O. F. Avilés Sánchez<sup>1,2</sup>  
*Ingeniería Electrónica, Universidad Central, Bogotá, Colombia*  
[jchapparof@ucentral.edu.co](mailto:jchapparof@ucentral.edu.co)  
[oaviles@ucentral.edu.co](mailto:oaviles@ucentral.edu.co)

**Resumen**— El estacionamiento de un automóvil en reversa es una de las situaciones que más puede llevar la atención del cualquier conductor. La necesidad de tomar la decisión adecuada para realizar el estacionamiento de forma rápida o lenta, mover la cabrilla en el sentido indicado y con el ángulo correspondiente hace que los conductores tengan más cuidado y ejerzan una mayor destreza. En el presente trabajo se realiza el planteamiento, de un controlador difuso que permita realizar el manejo adecuado de un automóvil en reversa. Para esto, se utilizan como base archivos de Matlab® para implementar los conjuntos difusos, el sistema de inferencia difuso y la defusificación que permitan observar la forma como un operario experto podría hacer la respectiva tarea.

**Palabras clave**— Conjuntos, Lógica Difusa, Reglas de Inferencia, controlador.

**Abstract**— The parking of a car in reverse is one of the situations that can bring more attention of any driver. The need to make the right decision, to make the parking lot quickly or slowly move in the direction wavelet and the corresponding angle, makes for drivers to exercise more care and greater skill. In the present work the approach, a fuzzy controller that allows the proper handling of a car in reverse. For this, we used as the basis of Matlab ® files to implement the fuzzy sets, fuzzy inference system and defuzzification that allow observing how a skilled worker could do the respective task

**Key Word** — Sets, Fuzzy Logic Inference Rules, controller.

### I. INTRODUCCIÓN

La Lógica Difusa es una de las estrategias que ha tenido gran difusión en el último tiempo [1][3][5]. Esto debido a la articulación que presenta con el lenguaje utilizado por el ser humano y la facilidad de adecuarse a situaciones cotidianas, de procesos complejos que son conocidos por operadores expertos y que son difíciles de expresar en términos matemáticos. Muchas aplicaciones han sido realizadas con esta estrategia aplicada a sistemas de control de diversos dispositivos tales como lavadoras, cámaras de video, procesos industriales, entre otros [1][5].

### II. MARCO TEORICO

Los sistemas basados en lógica difusa pueden controlar más adecuadamente procesos que estén gobernados por reglas intuitivas que difícilmente puede expresarse matemáticamente. Por ejemplo, en el control de un ascensor puede determinarse una desaceleración gradual cuando el ascensor está próximo a su destino, a gran potencia de la lógica difusa en aplicaciones que involucren procesos se debe a la posibilidad de expresar operaciones y controlar las reglas del sistema mediante palabras de uso cotidiano [3].

#### A. Reglas en un Sistema Difuso

La lógica difusa se basa en reglas condicionales de la forma IF...THEN, que convierten entradas a salidas, un conjunto difuso en otro [1][12]. Para construir un sistema difuso, un ingeniero debe comenzar con un conjunto de reglas difusas que pueden ser previamente definidas por un experto [14]. Un ingeniero puede definir los grados de pertenencia a varios conjuntos difusos de entrada y de salida con un conjunto de

<sup>1</sup> Programa de Ingeniería Electrónica, Universidad Central,

<sup>2</sup> Programa de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Militar Nueva Granada

funciones de pertenencia [9]. La relación entre los conjuntos de entrada y salida se puede dibujar posteriormente. El producto de los conjuntos difusos planteados forma un área difusa que representa el conjunto de todas las asociaciones que forma la regla entre la entrada y la salida. El tamaño del área difusa refleja la incertidumbre de la regla. Entre más preciso el conjunto difuso, menor el área difusa [12], [14], [16].

### B. Estructura básica de un Controlador Difuso

Los controladores difusos se basan en un conjunto de reglas heurísticas donde las variables lingüísticas de las entradas y salidas se representan por conjuntos difusos. [2]

La figura 1 muestra las principales componentes de un controlador difuso: interfaz de fusificación, base de conocimiento, motor de inferencia e interfaz de defusificación [3], [5].

La interfaz de fusificación está relacionado con:

- Medir de los valores de las entradas.
- Cambiar la escala de los valores de las entradas a los correspondientes valores del universo de discurso.
- Convertir los valores de entrada normalizados en valores lingüísticos que son los nombres de los conjuntos difusos.

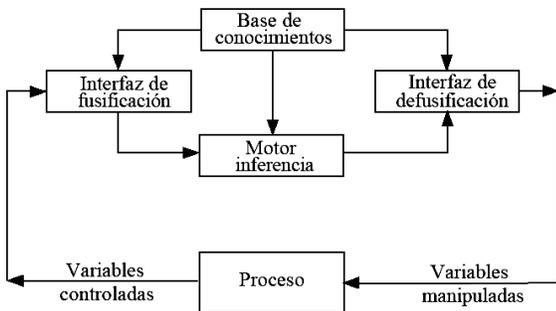


Figura 1. Estructura de un Controlador Difuso.

Al hacer referencia a la Representación del conocimiento, Las proposiciones difusas son afirmaciones sobre un objeto que incluye predicados difusos, es decir, Se pueden hacer varias afirmaciones sobre un objeto, por ejemplo “x es un número pequeño”, “la lógica difusa es sencilla y muy útil”, en general: “x es A & x es B ...”, donde – A y B son predicados difusos o también se suelen llamar variables difusas o lingüísticas, además & representa cualquier ligadura, conjunción, disyunción o implicación. Las relaciones difusas relacionan proposiciones difusas sobre sujetos diferentes: “x es A & y es B” y en general se puede decir que el conocimiento es un conjunto de proposiciones y relaciones, de aquí se puede mencionar que:

- La base de datos contiene las definiciones necesarias para las reglas de control lingüísticas.
- La base de datos caracteriza los objetivos del control que están basados en el conocimiento de un experto y definidos por reglas lingüísticas.

El motor de inferencia es el núcleo del controlador difuso. Este sistema simula el razonamiento humano basado en conceptos difusos y reglas de inferencia difusas [10].

La interfaz de defusificación realiza lo siguiente:

- Un cambio en la escala que convierte el rango de valores de las variables de salida a los valores de los correspondientes universos de discurso.
- La defusificación genera una acción de control no difusa a partir de una acción de control difusa.

Hay varios modelos que se utilizan para realizar el controlador difuso [8], [10], [14], [15]. Los más importantes son:

- Modelo Mandani
- Modelo Sugeno
- Modelo Tsukamoto

### III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los parámetros de estacionamiento del automóvil en reversa que se pueden establecer para el estacionamiento del automóvil tienen que ver con la ubicación del vehículo con respecto a un punto señalado para estacionar, las coordenadas a la que se encuentra, que ángulo tiene con respecto a éste, y la forma como está el vehículo de acuerdo a donde se encuentra en el momento.

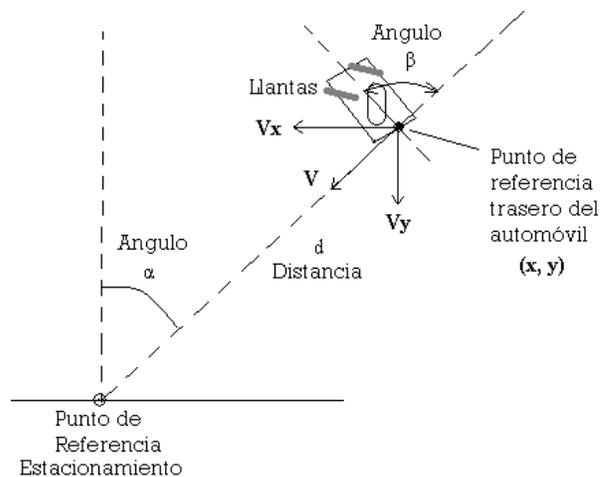


Figura 2. Parámetros utilizados para el problema.

En la figura 2, se observan los parámetros que servirán como entradas para configurar los conjuntos difusos con sus respectivas variables lingüísticas. Estos parámetros son:

- 1.Coordenada  $(x,y)$ . Corresponde a la ubicación que tiene el automóvil con respecto al punto deseado que normalmente es  $(0,0)$ . De esta coordenada se puede desprender el ángulo  $\alpha$  que hay entre el punto trasero del vehículo y el punto de referencia de estacionamiento tomando como eje principal la vertical al sitio señalado. Con esta coordenada se puede realizar el cálculo de la distancia del automóvil al punto deseado para determinar la cercanía o lejanía de este. Es importante indicar que se considera que no hay otros vehículos cercanos.
- 2.Ángulo  $\beta$  (*beta*): Corresponde al ángulo que se conforma entre el eje proveniente del punto de referencia y el punto de referencia trasero del automóvil y el eje vertical que presenta el automóvil con el punto de referencia trasero del automóvil. El ángulo será positivo si el automóvil está a la derecha del eje proveniente del punto de referencia del estacionamiento y negativo en caso contrario.

En una situación real, el conductor está pendiente de la ubicación de las llantas y si tiene que adelantar o atrasar el automóvil para llegar al sitio señalado.

Como parámetros de salida se ha tomado la posición de las llantas para poder ubicar el automóvil y poder hacer el movimiento respectivo para llegar al objetivo deseado. En el archivo Matlab<sup>®</sup> creado, la posición de las llantas es denominada la variable lingüística ángulo  $\theta$ .

A. Representación de las entradas difusas

Las entradas se pueden representar de la siguiente forma, de acuerdo a algunas consultas con expertos relacionados con la conducción. Para la entrada de coordenadas se toma el valor de la componente  $x$  que depende de la velocidad con la que desplaza en automóvil. Los conjuntos estructurados son los siguientes:

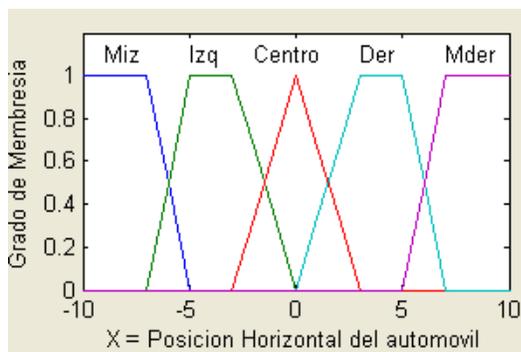


Figura 3. Representación difusa y sus variables lingüísticas de la componente X de la posición del automóvil

El ángulo Beta está ubicado, aproximadamente, en el rango de -90 a 90 grados. Esto debido a la necesidad de poder tener una mejor maniobrabilidad para la ubicación del automóvil y no llegar a casos extremos. Los conjuntos difusos se observan en la figura 4:

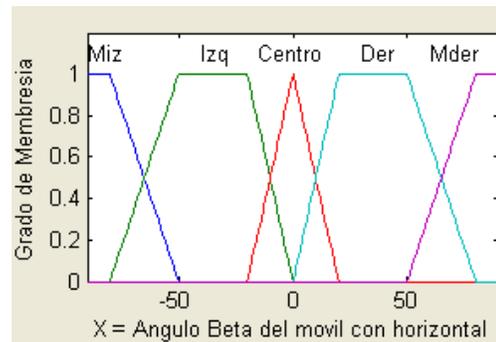


Figura 4. . Representación del ángulo Beta del automóvil y sus variables lingüísticas

B. Representación de las salidas difusas

Para el automóvil, las salidas que se pueden plantear parten de la posición de las llantas y la dirección que se debe establecer para llegar al sitio indicado a través de la variable denominada Theta.

$\theta$  (Theta): Corresponde al ángulo que tienen las llantas con respecto al eje de referencia del automóvil. Este ángulo es positivo si están hacia el lado izquierdo y negativo si están hacia el lado derecho y en el centro si están alineadas con el eje del automóvil. Las funciones utilizadas son de tipo Singleton [17] para tener ángulos más precisos para el movimiento del automóvil, ver figura 5. La variable atrás no es tenida en cuenta debido a que las ecuaciones definidas en términos del cálculo de los ángulos tienen inmersa que el automóvil está necesariamente en reversa.

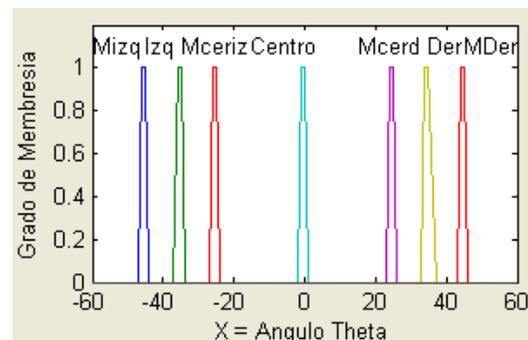


Figura 5. Representación difusa y variables lingüísticas del ángulo de posición de las llantas del automóvil theta ( $\theta$ ).

C. Establecimiento del sistema de Inferencia

Teniendo en cuenta las entradas y salidas del sistema se pueden establecer las relaciones existentes a partir de las reglas de inferencia difusa. Tomando la estructura IF (premisas correspondientes a las entradas de posición horizontal del automóvil y ángulo Beta del automóvil con respecto a la horizontal) THEN (resultados correspondientes a la posición de las llantas del automóvil theta con respecto a la referencia) se pueden deducir las reglas que configuran el sistema de inferencia que se presenta en la Tabla 1 de acuerdo a las posibles situaciones que se pueden presentar en el automóvil.

Con el método de inferencia se realizan las respectivas operaciones utilizando enunciados de la forma IF...THEN que permiten estructurar un posible conjunto de salida que pueda generar el resultado esperado. Este conjunto de salida obtenido debe transformarse en voltajes equivalentes para ser enviados al automóvil y sus respectivos dispositivos de manejo de velocidad y posición de las llantas [3,4].

Para realizar las respectivas reglas, es necesario indicar que se asumió la lejanía del automóvil al punto deseado. Para esto se expresa en la figura 6, las posibles situaciones del automóvil y la ubicación de las llantas de acuerdo al punto centro (0,0) del plano xy ubicado en la parte inferior central.

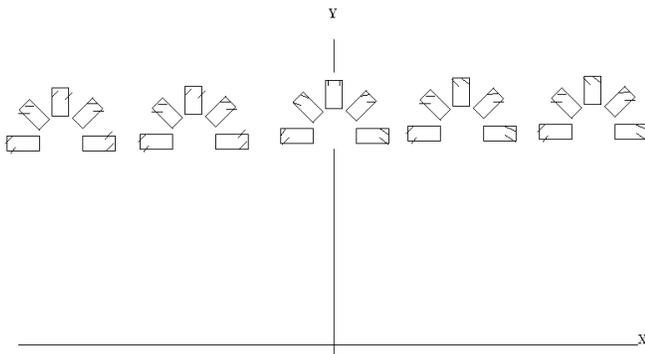


Figura 6. Diferentes ubicaciones del automóvil y el ángulo de las llantas con respecto al punto (0,0) de referencia

Esto se puede reflejar en la tabla 1 de relación difusa de las entradas componente X y Beta con la salida Theta.

Tabla 1. Reglas de Inferencia Difusa para el controlador difuso

	IF	X	AND	BETA	THEN	Theta
1	IF	Muy Izq	AND	Muy Izq	THEN	Muy Izq (MIzq)
2	IF	Muy Izq	AND	Izq	THEN	Izquierda (Izq)
3	IF	Muy Izq	AND	Centro	THEN	Derecha (Der)
4	IF	Muy Izq	AND	Derecha	THEN	Derecha (Der)
5	IF	Muy Izq	AND	Muy Der	THEN	Muy Izq (MIzq)
6	IF	Izquierda	AND	Muy Izq	THEN	Muy Izq (MIzq)
7	IF	Izquierda	AND	Izq	THEN	Izquierda (Izq)
8	IF	Izquierda	AND	Centro	THEN	Derecha (Der)
9	IF	Izquierda	AND	Derecha	THEN	Derecha (Der)
10	IF	Izquierda	AND	Muy Der	THEN	Muy Izq (MIzq)
11	IF	Centro	AND	Muy Izq	THEN	Izquierda (Izq)
12	IF	Centro	AND	Izq	THEN	Muy cerca Izq (Mceriz)
13	IF	Centro	AND	Centro	THEN	Centro (Centro)
14	IF	Centro	AND	Derecha	THEN	Muy cerca Der (Mcerd)
15	IF	Centro	AND	Muy Der	THEN	Derecha (Der)

16	IF	Derecha	AND	Muy Izq	THEN	Muy Izq (MIzq)
17	IF	Derecha	AND	Izq	THEN	Izquierda (Izq)
18	IF	Derecha	AND	Centro	THEN	Izquierda (Izq)
19	IF	Derecha	AND	Derecha	THEN	Derecha (Der)
20	IF	Derecha	AND	Muy Der	THEN	Muy Der (Mder)
21	IF	Muy Der	AND	Muy Izq	THEN	Muy Izq (MIzq)
22	IF	Muy Der	AND	Izq	THEN	Izquierda (Izq)
23	IF	Muy Der	AND	Centro	THEN	Izquierda (Izq)
24	IF	Muy Der	AND	Derecha	THEN	Derecha (der)
25	IF	Muy Der	AND	Muy Der	THEN	Muy Der (Mder)

Con el sistema de inferencia difusa, se procede a realizar la defusificación, que es la encargada de tomar los valores obtenidos de la evaluación de cada una de las reglas para ser relacionadas con las salidas difusas establecidas. Uno de los métodos más utilizados para obtener la defusificación es el método del centroide [14]. La definición del método del centroide para Theta es:

$$\begin{aligned}
 \text{Theta} = & \frac{(45 * \text{MizqThe}) * (35 * \text{IzqThe}) + (25 * \text{McerThe}) + (0 * \text{CenThe})}{\text{MizqThe} + \text{IzqThe} + \text{McerThe}} \\
 & + \frac{(-25 * \text{McerdThe}) + (-35 * \text{DerThe}) + (45 * \text{MderThe})}{\text{CenThe} + \text{McerThe} + \text{DerThe} + \text{MderThe}} \quad (1)
 \end{aligned}$$

Como la salida Theta está compuesta de funciones singleton, los centros están establecidos con valores fijos que son 45, 35, 25, 0, -25, -35 y -45. MIzq, Izq, Mceriz, Centro, Mcerd, Der y MDer corresponden a los valores obtenidos de la evaluación de las reglas de inferencia. Para hallar los valores de cada función, se deben evaluar las reglas que tienen relación con la función correspondiente de acuerdo a lo mostrado en la Tabla 1. Estos se hallan de la siguiente manera:

$$\text{MIzq} = \sqrt{(\text{Regla1})^2 + (\text{Regla5})^2 + (\text{Regla6})^2 + (\text{Regla10})^2 + (\text{Regla16})^2 + (\text{Regla21})^2 + (\text{Regla9})^2} \quad (2)$$

$$\text{Izq} = \sqrt{(\text{Regla2})^2 + (\text{Regla7})^2 + (\text{Regla11})^2 + (\text{Regla17})^2 + (\text{Regla18})^2 + (\text{Regla22})^2 + (\text{Regla23})^2} \quad (3)$$

$$\text{Mceriz} = \sqrt{(\text{Regla12})^2} \quad (4)$$

$$\text{Mcerd} = \sqrt{(\text{Regla14})^2} \quad (5)$$

$$\text{Der} = \sqrt{(\text{Regla3})^2 + (\text{Regla4})^2 + (\text{Regla8})^2 + (\text{Regla9})^2 + (\text{Regla15})^2 + (\text{Regla19})^2 + (\text{Regla24})^2} \quad (6)$$

$$\text{Mder} = \sqrt{(\text{Regla20})^2 + (\text{Regla25})^2} \quad (7)$$

$$\text{Centro} = \sqrt{(\text{Regla13})^2} \quad (8)$$

#### D. Simulación del movimiento del automóvil

Para poder realizar la simulación del movimiento del automóvil es necesario contar con las ecuaciones que participen y sus variables respectivas. Las variables presentes son Beta ( $\beta$ ) correspondiente a la ubicación angular del automóvil con respecto a la horizontal, la componente  $x$  y la componente  $y$  de las cuales se puede deducir la distancia del automóvil al punto deseado y el ángulo respectivo. Adicionalmente, el ángulo de ubicación de las llantas que permitirá realizar la maniobra de direccionamiento en reversa hacia el punto deseado. [5]. Las ecuaciones cinemáticas simples que reemplazan la emulación del automóvil al desplazarse en reversa de un punto  $(x, y)$  a un punto  $(x', y')$  en una iteración son:

$$x' = x + r \cos(\beta') \tag{9}$$

$$y' = y + r \sin(\beta') \tag{10}$$

$$\beta' = \beta + \theta \tag{11}$$

Donde  $r$  denota la distancia de conducción fijada del automóvil para todos los movimientos en reversa. Para nuestro caso, se asumió  $r = 1$  por simplicidad.

E. Implementación del controlador difuso y la interfaz de usuario

La implementación del controlador difuso fue realizada con Matlab y la estructura vista como diagrama de flujo.

El diagrama de flujo tiene la siguiente estructura:

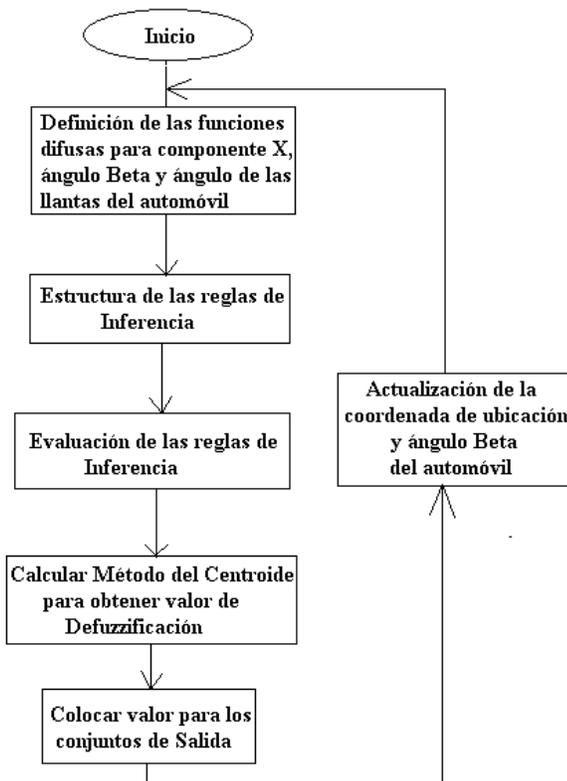


Figura 7. Diagrama de flujo del controlador difuso y simulación del movimiento del automóvil.

Para realizar la simulación del sistema, se implementó una interfaz gráfica de usuario con Matlab® donde el usuario puede colocar las coordenadas de ubicación inicial ( $X$  y  $Y$ ) y el ángulo de dirección (Beta) del automóvil.

IV. RESULTADOS

Algunos de los resultados obtenidos se muestran a continuación:

- 1) Para  $x = 10, y = 10, \beta = 60$

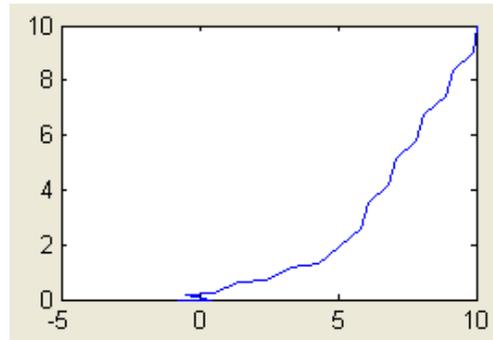


Figura 8. Trayectoria del carro desde  $x=10, y=10, \beta = 60$ .

De la figura 8 se puede comentar que el vehículo parte de la posición  $x=10$  y  $y=10$  (lado derecho) con llantas ubicadas hacia la derecha, hasta la posición  $(0,0)$  de una forma suave de forma similar a una parábola.

- 2) Para  $x = 10, y = 10, \beta = -60$

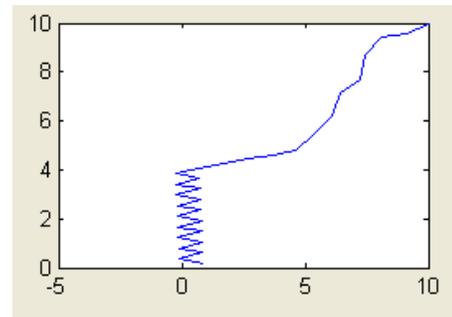


Figura 9. Trayectoria del carro desde  $x=10, y=10, \beta = -60$ .

En la figura 9, se observa que el vehículo parte de la posición  $x=10$  y  $y=10$  (lado derecho) con llantas ubicadas hacia la izquierda, generando un desplazamiento parabólico hasta la posición  $(0,4)$ . A partir de este punto, realiza un movimiento en forma triangular hasta llegar al punto deseado  $(0,0)$ .

- 3) Para  $x = -10, y = 10, \beta = 60$

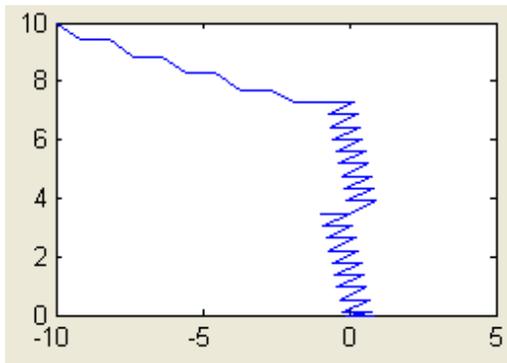


Figura 10. Trayectoria del carro desde  $x=10$ ,  $y=10$ ,  $\beta = -60$ .

En la figura 10 anterior, se puede indicar que el vehículo parte de la posición  $x=-10$  y  $y=10$  (lado izquierdo) con llantas ubicadas hacia la derecha, generando un desplazamiento casi lineal hasta la posición  $(0,4)$  donde se presenta una reubicación sobre el eje  $y$  para continuar con el movimiento en forma triangular hasta llegar al punto deseado  $(0,0)$ .

4) Para  $x = -10$ ,  $y = 10$ ,  $\beta = -60$

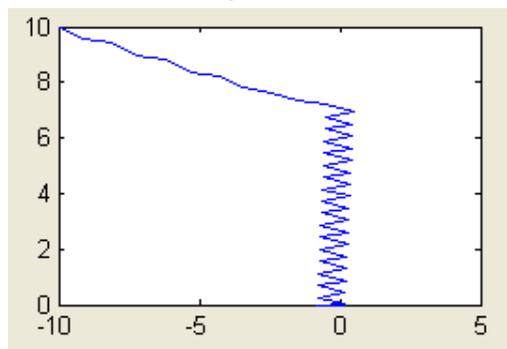


Figura 10. Trayectoria del carro desde  $x=10$ ,  $y=10$ ,  $\beta = -60$ .

En la figura 10, el vehículo parte de la posición  $x=-10$  y  $y=10$  (lado izquierdo) con llantas ubicadas hacia la izquierda, generando un desplazamiento casi lineal hasta la posición  $(0,7)$ . A partir de este punto, realiza un movimiento en forma triangular hasta llegar al punto deseado  $(0,0)$ .

## V. CONCLUSIONES

Como conclusión, se puede indicar que la implementación de un controlador difuso radica, principalmente, en intentar plasmar las decisiones que puede tomar un conductor cuando pretende estacionar un automóvil en reversa y plantear los diferentes esquemas que constituye el sistema. El sistema de inferencia aplicado para las entradas y salidas de un sistema permite representar la experiencia de un conductor para estacionar un automóvil en reversa. Algunas premisas deben ser establecidas teniendo en cuenta la maniobrabilidad, la posición en que deben estar las llantas, el eje del automóvil respecto a la ubicación final y la distancia a la que se encuentra. Las salidas deben ser

muy acordes a que se hace en la realidad cuando se está manejando el automóvil a pesar de que lo normal es hacer marcha adelante - atrás, teniendo en cuenta, los rangos en los que cada dispositivo debe funcionar para realizar el trabajo. A partir de la defusificación se puede enviar la información respectiva a los elementos actuadores que se encargarán físicamente de realizar las respectivas modificaciones al ángulo de ubicación de las llantas y la dirección hacia donde se debe conducir el automóvil. Los resultados encontrados indican que todavía hay muchas cosas que se pueden tener en cuenta como la introducción de nuevas salidas para una mayor precisión en la ubicación de las llantas y la referencia del automóvil como se observa en el movimiento de zig-zag que tiene el automóvil en algunas situaciones.

## REFERENCIAS

- [1]. J. Yen y R. Landari, "Fuzzy Logic: Intelligence, Control and Information," 2nd ed. Ed. McGraw-Hill, 1994, pp. 6–8.
- [2]. Delgado, "Inteligencia Artificial y minirobots" 1ra ed. Ed. Librería Nacional, 2002, pp. 60–72.
- [3]. J.S Roger Yang y C. Tsai Sun. Neuro Fuzzy and Soft Computing. Ed. Prentice Hall. 1997. pp. 59-70.
- [4]. W. Pedrycz. Fuzzy Control and Fuzzy Systems. Ed. Wiley. 1993.
- [5]. B. Kosko. Neural Networks and Fuzzy Systems: A dynamical Systems Approach to Machine Intelligence. Ed. Prentice Hall. 1992.
- [6]. S. Azadi and Z. Taherkhani, "Autonomous Parallel Parking of a Car Based on Parking Space Detection and Fuzzy Controller," International Journal of Automotive Engineering, vol. 2, pp. pp 30 - 37, January 2012.
- [7]. A. E. H. S.Bentalba and A. Rachid, "Fuzzy Parking and Point Stabilization: Application Car Dynamics Model," 1997.
- [8]. R. Holve. P, Protzel., "Reverse Parking of a Model Car with Fuzzy Control," Proceedings of the 4th European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing EUFIT 96, Aachen, Germany, pp. pp. 2171-2175, Sept. 1996.
- [9]. Young Woo Ryu. Se Young Oh and Sam Yong Kim, "Robust Automatic Parking without Odometry using an Evolutionary Fuzzy Logic Controller," International Journal of Control, Automation, and Systems, vol. 6, pp. pp 434 - 443, June 2008.
- [10]. Fuzzy Relations, "Computational Intelligence: Fuzzy relations, rules, and inference", disponible en : <http://www.scis.ulster.ac.uk/~siddique/CI/CI-Week2.pdf>
- [11]. L. O. Noureddine Ouadah and F. Boudjema, "IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics part a Systems and Humans," International Journal of Advanced Robotic Systems, vol. 5, pp. pp 249 - 256, 2008.
- [12]. M. K. Nejad, "Fuzzy Logic Based Autonomous Parallel Parking of a Car Like Mobile Robot," 2006.

- [13]. T.-H. S. Li and S.-J. Chang, "Autonomous Fuzzy Parking Control of a Car Like Mobile Robot," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics part a: Systems and Humans,, vol. 33, pp. pp 451 - 465, 2003.
- [14]. S.-G. Kong and B. Kosko, "Adaptive Fuzzy Systems for Backing up a Truck-and-Trailer," IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS, vol. 3, pp. pp 211 - 223, 1992.
- [15]. M. Sugeno, M. Nishida, 'Fuzzy control of model car', Fuzzy sets and systems, 86
- [16]. Arshdeep Kaur, Amrit Kaur , "Comparison of Mamdani-Type and Sugeno-Type Fuzzy Inference Systems for Air Conditioning System", International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE), May 2012.
- [17]. Jan Jantzen, "Tutorial On Fuzzy Logic", 1999