

# Control de Velocidad de un automóvil empleando una técnica de Inteligencia Artificial

## Speed control of a car using a technique Artificial Intelligence

Fernando Mejía<sup>a</sup>, Alberto Arellano<sup>b</sup>, Geovanny Vallejo<sup>c</sup>, Eduardo Villa<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Academia Microsoft/Facultad de Informática y Electrónica /Escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

<sup>b</sup> Academia Cisco/ Facultad de Informática y Electrónica/Escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

<sup>c</sup> Facultad de Informática y Electrónica/Escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

<sup>d</sup> Facultad de Informática y Electrónica/Escuela de Ingeniería en Sistemas, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

**Correspondencia Autores:** msmejiaedwinf@yahoo.com, aarellano@epoch.edu.ec, gvallejo@epoch.edu.ec, villa@epoch.edu.ec

**Recibido:** agosto 2016, **Publicado:** diciembre 2016

**Resumen**— En los últimos años la inteligencia artificial ha ido aumentando su nivel en cuanto a investigación se refiere, los sistemas difusos se han venido consolidando como una herramienta útil para modelar sistemas complejos y no lineales. Las técnicas de la inteligencia artificial se han convertido en una herramienta fundamental para abordar problemas complejos incluyendo el área de control automático. A diferencia de la lógica tradicional que solo utiliza dos valores de verdadero o falso, la lógica difusa permite definir valores intermedios en un intento por aplicar un modo de pensamiento similar al del ser humano. En esta situación los sistemas expertos tienen mucho que ver con lo que significa inferir conocimiento, utilizando las famosas reglas de inferencia o también conocidas como reglas de producción, dentro de la lógica difusa se utilizará el método de inferencia de Mandani que hace uso de las reglas Si X Entonces Y, si predicado entonces conclusión. En este artículo se ha desarrollado un algoritmo de inferencia difuso para controlar la velocidad y detectar los obstáculos que se presentan en el camino y evitar que el automóvil choque cuando el conductor sufre cualquier alteración de su cuerpo, el prototipo recoge información de su entorno para la toma de decisiones, la simulación está hecha en Matlab y la experimentación en tiempo real con Arduino empleando java como interfaz.

**Palabras Claves**— Inteligencia Artificial, Sistemas Difusos, Lógica difusa, Inferencia de Mandani, Reglas de Inferencia, Algoritmo Difuso.

**Abstract**— In recent years, artificial intelligence has been increasing its level in research is concerned, fuzzy systems have been consolidated as a useful tool for modeling complex and nonlinear systems. The techniques of artificial intelligence have become a fundamental tool for addressing complex problems including the area of automatic control. Unlike traditional logic that only uses two values true or false, fuzzy logic allows to define intermediate values in an attempt to apply a similar way to human thought. In this situation, expert systems have much to do with what it means to infer knowledge, using the famous rules of inference or also known as production rules, within the fuzzy logic method of inference Mandani that makes use of the rules will be used If X then Y, then if premise conclusion. This article has developed a fuzzy algorithm to function and detect obstacles that arise along the way and prevent the car crash when the driver

suffers any alteration of his body, the prototype collects information from its environment for decision-making, simulation is made in Matlab and experimentation in real time using java as arduino interface.

**Keywords**— Artificial Intelligence, Fuzzy Systems, Fuzzy Logic, Inference Mandani, Inference Rules, Fuzzy Algorithm.

## I. INTRODUCCIÓN

Los primeros estudios que se realizaron tienen su consecuencia por los años 60's, el ingeniero Lotfy A. Zadeh en el año 1965 fue quien hizo estos estudios con el principio de incompatibilidad: "Conforme la complejidad de un sistema aumenta, nuestra capacidad para ser precisos y construir instrucciones sobre un comportamiento disminuye hasta el umbral más allá del cual, la precisión y el significado son características excluyentes" [1].

La aplicación del nuevo principio ha dado lugar a un abundante material teórico denominado "Matemática Difusa"; y a toda una tecnología de aplicación en las más diversas ramas [2].

"Los conjuntos difusos y la lógica difusa, que son el fundamento de los sistemas difusos, han sido desarrollados buscando modelar la forma como el cerebro manipula información inexacta e imprecisa" [3].

La gran oportunidad surgida con el auge de Lógica Difusa, es "la formalización del pensamiento lógico dialéctico, la aplicación de las matemáticas para lograrlo; uniendo la tradición clásica aristotélica, continuada y transformada en el seno de la comunidad matemática, con la Lógica Dialéctica" [3].

Esta oportunidad se potencia con el auge del paradigma de la Teoría de la Complejidad, que privilegia la no linealidad, la irreversibilidad y el no determinismo, en esferas que recorren todo el universo científico [2].

Los Sistemas Expertos son pioneros en la idea de obtener modelos partiendo de expresiones verbales, de manera que los decisores humanos pueden aplicar su experiencia esencial en problemas concretos. La

representación del conocimiento sobre la base de la Lógica es aquí protagonista. En los últimos tiempos se ha desarrollado una disciplina matemático-informática llamada Soft-Computing o Inteligencia Computacional [3]. Entre los fundamentos de esta disciplina está la Lógica Difusa [4-6].

Para entender las razones de utilizar la lógica difusa como método rector [7]; para evaluar la sostenibilidad de un auto en cuanto a su velocidad es necesario estudiar este tipo de lógica.

La lógica difusa [8][9], se desarrolla a partir del concepto de conjunto difuso [4][10]. Dado que un conjunto difuso es aquel que no presenta fronteras claramente definidas y puede contener elementos con un grado parcial de pertenencia [11], a diferencia de los conjuntos clásicos los cuales incluyen completamente o excluyen completamente un elemento determinado, por ejemplo, X debe estar en el conjunto A o en su complemento, el conjunto NOT-A, es decir o en uno o en otro.

Algunas de sus características generales son:

- Es conceptualmente fácil de entender.
- Es flexible.
- Tolera datos imprecisos.
- Puede modelar funciones no lineales de cualquier complejidad.
- Utiliza al máximo la experiencia de los expertos.
- Puede combinarse con las técnicas convencionales de control.
- Está basada en el lenguaje natural.

En este artículo se revisa una de las técnicas de inteligencia artificial que es la lógica difusa, los sistemas difusos, la importancia en el desarrollo de sistemas automáticos en el complejo mundo del automovilismo, se describe cuáles son los dispositivos más comunes, así como los que aumentan los costos a la reparación y que consumen mucho tiempo en términos de desarrollo de este tipo de aplicaciones, así como también las medidas de éxito que se pueden adoptar.

Debido a los índices de accidentes de tránsito en el Ecuador respecto a que los conductores se quedan dormidos ya sea por cansancio o agotamiento, ha motivado para realizar este proyecto, con el propósito de reducir el porcentaje de accidentes.

El objetivo es implementar y analizar un algoritmo de inferencia difuso que permita controlar la velocidad de un automóvil, detectar obstáculos en el camino, evitar que el conductor choque y reducir los accidentes de tránsito.

## II. GENERALIDADES

En este trabajo de investigación se desarrolla un análisis de dispositivos que se van usar para la captura de los datos, para la automatización en sí, los cuales pueden resultar complejos, principalmente si el entorno de trabajo es desconocido para el equipo de investigadores, y depende mucho de las personas que participen en el mismo. Por la complejidad que todo esto puede implicar, la lógica difusa

ha trabajado desde hace años en desarrollar algoritmos que permitan hacer este proceso de una forma más eficiente y precisa. [5]

En muchos sentidos, y retornando a la línea de la fusión de tecnologías, merece la pena recordar el inmenso trabajo que se desarrolla en sistemas neuro – difusos, los cuales pueden aprovechar la capacidad de aprendizaje que deberían tener sistemas de este tipo. Por otro lado, la equivalencia que se establece en ciertos modelos neuronales y difusos [6] puede ser empleada para extraer las reglas que una red neuronal ha encontrado el entrenamiento, eliminando uno de los grandes problemas que tienen este tipo de técnica de Inteligencia Artificial que es operación en forma de caja negra. Por todo ello la combinación de redes neuronales y sistemas difusos es un campo de intenso trabajo en la actualidad [7-9] del que ambas técnicas se benefician.

En el campo de automatización con sistemas de tiempo real destaca el control de un helicóptero por órdenes pronunciadas de viva voz [10], y el control con derrapaje controlado de un modelo de coche de carreras de [11]. Dentro del sector del automovilismo existen grandes números de patentes sobre sistemas de frenado, y cambios de marcha automáticos.

### A. Lógica Difusa

El concepto de Lógica difusa fue concebido por Lofti A. Zaded [8], profesor de la Universidad de California en Berkeley, quien inconforme con los conjuntos clásicos (crisp sets) que sólo permiten dos opciones, la pertenencia o no de un elemento a dicho conjunto, la presentó como una forma de procesar información permitiendo pertenencias parciales a unos conjuntos, que en contraposición a los clásicos los denominó conjuntos difusos (fuzzy sets). Este concepto fue expuesto por Zadeh en un artículo del año 1965, hoy clásico en la literatura de la lógica difusa denominado “Fuzzy Sets” y que fue publicado en la revista Information and Control. El mismo Zadeh publica en 1971 el artículo, “Quantitative Fuzzy Semantics”, en donde introduce los elementos formales que acabarían componiendo el cuerpo de la doctrina de la lógica difusa y sus aplicaciones tal como se conoce en la actualidad.

“La lógica difusa trata de copiar la forma en que los humanos toman decisiones. Aunque se baraja información imprecisa, esta lógica es en cierto modo muy precisa: se puede aparcar un coche en muy poco espacio sin darle sin darle al de atrás. Suenan a paradoja, pero es así.”

### B. Sistemas Difusos

Un sistema basado en reglas difusas (SBRD) está formado por:

- Base de conocimientos
  - Base de reglas
  - Base de predicados
  - Base de datos
- Motor de inferencia

- Ejecuta las reglas de inferencia para llegar a una conclusión.

Además, en este tipo de sistemas se debe tener entradas y salidas de acuerdo a los predicados y reglas de inferencia usados, incluye una interfaz de fuzzificación y una interfaz de defuzzificación.

### C. Método de Mamdani

El método de Mamdani es el más usado en aplicaciones, dado que tiene una estructura muy simple de operaciones "min.max", aquí se presenta como usamos el mismo.

Tenemos una regla presentada, para resolverlo con Mamdani:

If  $x_1$  is A and  $x_2$  is B and  $x_3$  is C  
then  $u_1$  is D,  $u_2$  is E

Donde  $x_1$ ,  $x_2$  y  $x_3$  son las variables de entrada (por ejemplo, tipo de movimiento del volante, detecta objetos y chofer dormido), A, B y C son funciones de membresía de entrada (p.ej., alto, medio, bajo, detecta, no detecta),  $u_1$  y  $u_2$  son las acciones de control (p.ej., frenar, mover volante, desacelerar, bajar marcha) en sentido genérico son todavía variables lingüísticas (todavía no toman valores numéricos), D y E son las funciones de membresía de la salida, en general se emplean singleton por su facilidad computacional, y AND es un operador lógico difuso, podría ser otro. La primera parte de la sentencia "IF  $x_1$  is A AND  $x_2$  is B AND  $x_3$  is C" es el antecedente y la restante es el consecuente. Un ejemplo es IF objeto is detectado and chofer is cabeza abajo and volante is sin\_movimiento THEN freno is medio and señal\_de\_parqueo is activada.

#### Ventajas

- Es intuitivo,
- Tiene una amplia aceptación,
- Está bien adaptado a la incorporación de conocimiento y experiencia.

En un sistema difuso tipo Mamdani se distinguen las siguientes partes:

#### 1. Fuzzificador

La entrada de un sistema de lógica difusa tipo Mamdani normalmente es un valor numérico proveniente, de un sensor; para que este valor pueda ser procesado por el sistema difuso se necesita convertirlo a un "lenguaje" que el mecanismo de inferencia pueda procesar. Esta es la función del fuzzificador, que toma los valores numéricos provenientes del exterior y los convierte en valores "difusos" que pueden 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 las diferentes variables de entrada al sistema. [8]

#### 2. Mecanismo de inferencia difusa

Teniendo los diferentes niveles de pertenencia arrojados por el fuzzificador, los mismos deben ser procesados para generar 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. [10]

#### 3. Base de Reglas Difusas

La base de reglas es la manera que tiene el sistema difuso de guardar el conocimiento lingüístico [11] que le permite resolver el problema para el cual ha sido diseñado. Estas reglas son del tipo IF-THEN. Una regla de la base de reglas o base de conocimiento tiene dos partes, el antecedente y el consecuente como se observa en el siguiente ejemplo:

Si el volante no tiene ningún movimiento  
entonces activar la señal de parada o parqueo.

IF volante = sin movimiento  
Then activar parqueo

En la figura 1 se muestra el modelo estándar de automatización con lógica difusa, que se usa para realizar este proyecto, en donde se traslada al arduino PRO-MICRO, el cual se utiliza para controlar las señales que van a llegar de los sensores y las señales que van a salir para actuar tanto en el frenado como en el volante.

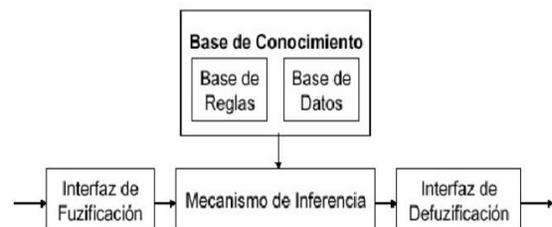


Fig.1. Modelo estándar con lógica difusa

El modelo a usar será el que proporciona el sistema de reglas difusas para poder emprender con el trabajo de investigación.

#### D. Método Takagi-Sugeno

La regla siguiente, nos muestra como este método actúa para darnos una respuesta óptima en el sistema difuso:

IF  $x_1$  is A AND  $x_2$  is B AND  $x_3$  is C  
THEN  $u_1 = f(x_1, x_2, x_3)$ ,  $u_2 = g(x_1, x_2, x_3)$

En principio es posible emplear  $f()$  y  $g()$  como funciones no lineales, pero la elección de tal función puede ser muy compleja, por lo tanto en general se emplean funciones lineales.

Ventajas

- Es computacionalmente eficiente.
- Trabaja bien con técnicas lineales (por ejemplo, como lo disponible para controladores PID).
- Trabaja bien con técnicas de optimización y control adaptable.
- Tiene garantizada una superficie de control continua.
- Está bien adaptado al análisis matemático.

Existe una gran cantidad de métodos de inferencia difusa, pero hay cuatro que generan mejores resultados en el campo del control, estos son inferencia de Mamdani por mínimos (Mamdani minimum inference), RM, la inferencia del producto de Larsen (Larsen product inference), RL, la inferencia del producto drástico (Drastic product inference) RDP y la inferencia del producto limitado (Bounded product inference), RBP. [12] [13]

**E. PROPUESTA**

Para este trabajo de investigación utilizaremos la figura 2. en donde se muestra las reglas de inferencia como estarán almacenadas en la base de conocimiento.

La idea principal de este trabajo de investigación es dar solución al problema de la velocidad cuando una persona no tenga control del automóvil y entonces de manera automática controlar el mismo para que pueda salvarse y salvar a su familia o a los pasajeros con los cuáles viaja.

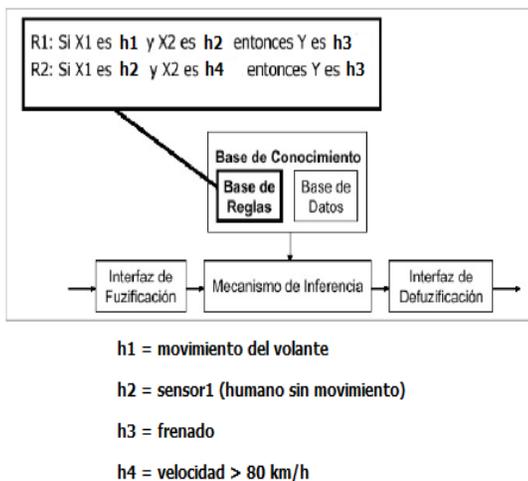


Fig.2. Almacenamiento de las reglas de inferencia en la base de conocimiento y bloques de interconexión entre las entradas y salidas.

El proceso de la toma de decisiones por parte del sistema difuso depende de los sensores y especialmente de la máquina de inferencia que decide basada en la base de conocimiento donde se encuentran los predicados y las reglas de inferencia. El algoritmo que controla esto se basa en el principio de Mamdani con reglas de producción para inferir la mejor regla que se adapte a esta circunstancia.

Con respecto del controlador difuso, este se implementa con varias entradas y salidas. El controlador recibe señales de parte de los sensores, que dicen si el conductor está inclinado la cabeza hacia abajo, hacia derecha, hacia izquierda, inclinado el cuerpo, brazos

derechos abajo, brazo izquierdo abajo, con sus respectivos tiempos de inclinación. El controlador envía una información que contiene el tiempo de salida del mismo para que el frenado se sincronice, esto se guarda en los estados x(12) y el estado x(13) del controlador guarda el tiempo que ha transcurrido desde que el controlador ha asumido un nuevo estado, es decir que se ha enviado una señal de frenado o de permanencia del volante recto. El estado x(15) del controlador representa el estado del mismo, en donde 1 es encendido y 0 apagado; debe decirse que un controlador está apagado cuando el conductor se encuentra en el led de color rojo, para sensor se tiene su correspondiente led. El estado x(11) almacena la salida del controlador, es decir el tiempo que se ha decidido mantener el frenado encendido; por último el estado x(16) indica si el controlador debe hacer un nuevo cálculo o no, es decir si el controlador ha recibido una señal de los sensores antes descritos para el conductor, al hablar de estados x(i) nos referimos al vector y su posición en donde se está almacenando dicho evento; debe decirse que por programación se ha decidido que el controlador únicamente decida en tiempo real el tiempo que permanece encendido para el frenado al principio de cada ciclo y si el volante va centro, izquierda o derecha, para lo cual este utiliza la información que se obtiene de una cámara que indica el sentido de la carretera. La parte principal del código anterior se detalla a continuación:

```

cmuestreo = 18;
if (x[15]==1)
{
    if (x[16]==1)
    {
        /*Se asignan los anchos a las MF de entrada y salida */
        for (i=0;i<3;i++)
            freno[i]=mxGetPr(MF_WIDTH)[i];
        /*Se asignan los frenos de las MF de entrada y salida */
        for (i=0; i<11; i++) {
            freno1[i] = (-1 + i*widths[0]);
            freno2[i] = (-1 + i*widths[1]);
            freno_out[i] = x[i];
        }
        /* Fusificacion en primera vuelta o frenado*/
        dom1[0] = leftall(u[1], widths[0],freno1[0]);
        for (i=1; i<10; i++)
            dom1[i] = triangle(u[1], widths[0],freno1[i]);
        dom1[10] = rightall(u[1], widths[0],freno1[10]);
        /* Fusificacion en segunda vuelta o volante*/
        dom2[0] = leftall(u[2], widths[1], freno2[0]);
        for (i=1; i<10; i++)
            dom2[i] = triangle(u[2], widths[1], freno2[i]);
        dom2[10] = rightall(u[2], widths[1], freno2[10]);
        for(i=0; i<11; i++)
        {
            for(j=0; j<11; j++)
            {

```

```

if ( (dom1[i] != 0) && (dom2[j] != 0) )
{
    outdom = 0;
    out_index = MAD[i][j];
    out_index += 5;
    //Mover indices hacia la derecha para comenzar
    //desde el indice 0 hasta 10
    outdom = MIN((dom1[i]), (dom2[j]));
    //Determinar el valor de verdad de la predicado
    area = 2*widths[2]*(outdom -
(outdom*outdom)/2);
    Atot += area;
    WAtot += area*freno_out[out_index];
}
}
}
y[12] = (WAtot/Atot)-(0.05+0.05*18*x[18]);
//Salida del tiempo dado por el controlador
x[18]+=1;
x[12] = 0;
x[13] = y[12]; //Realimentación del tiempo
x[14] = 1;
//x[14] es el update 1 significa que se debe hacer
//update
//x[15]= 0;
x[16]=0;
y[0] = 1;
for (i=1;i=x[13]) //Cambio de tiempo
{
    x[15]=0;
    x[16]=1;
    x[12]=0;
    //Reset de la activación del controlador
}
//cmuestreo;
y[0] = 1;
for(i=1;i= u[3]) //Cambio de tiempo
{
    x[12]=0;
    //Set de la activación del controlador
    x[15]=1;
}
else
{
    x[12]+=(0.05/cmuestreo);
    y[12]=x[13];
}
y[0] = 0;

```

Lo anterior, es una parte del código que se utiliza para la correspondiente frenada y uso del volante de forma automática.

En la figura 3 se muestra cómo queda el auto luego de la insertada de dispositivos para la frenada y el volante, para poder evitar accidentes trágicos y que los seres humanos se puedan salvar.



Fig.3. Auto prototipo con sensores frontales para detectar obstáculos y una cámara de largo alcance.

La ecuación siguiente muestra cómo se usa la inferencia dentro del sistema fuzzy, para actuar de forma real en el sitio donde ocurre el suceso.

$$RI = Rd + E * (t - t_1) \quad (1)$$

Donde:

- RI → regla de inferencia calculada
- Rd → regla de inferencia almacenada
- E → error causado en vista del tiempo
- t → tiempo desde la activación o inicio
- t<sub>1</sub> → tiempo final

Se debe tener en cuenta que la ecuación 1 corresponde al uso de este trabajo de investigación en cuanto a la inferencia que se puede calcular.

Finalmente se utilizó las siguientes ecuaciones para dos conjuntos difusos:

$$\text{Complemento } \mu_A(X) = 1 - \mu_A(X) \quad (2)$$

$$\text{Unión. Operador lógico OR de Zadeh (max)} \\ \mu_{A \cup B}(X) = \max[\mu_A(X), \mu_B(X)] \quad (3)$$

$$\text{Intersección. Operador lógico AND de Zadeh (min)} \\ \mu_{A \cap B}(X) = \min[\mu_A(X), \mu_B(X)] \quad (4)$$

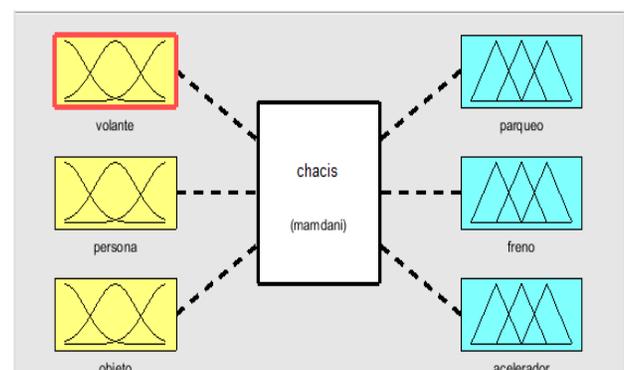


Fig.4. Herramienta Toolbox de MATLAB – entradas de las señales y salida.

### III. RESULTADOS

Para comprobar el correcto funcionamiento del controlador difuso diseñado y programado en el arduino, todo esto se realizó en MATLAB utilizando la herramienta Fuzzy Logic Toolbox. Esta herramienta permite elegir el método de inferencia, el método de defusificación, define los conjuntos de entrada y salida e incorporar las reglas que especifican el comportamiento del control como se muestra en la figura.4.

En la figura 5 se observa cómo se va a controlar cada una de las variables de entrada y las variables de salida, para luego formar las inferencias con las mismas.

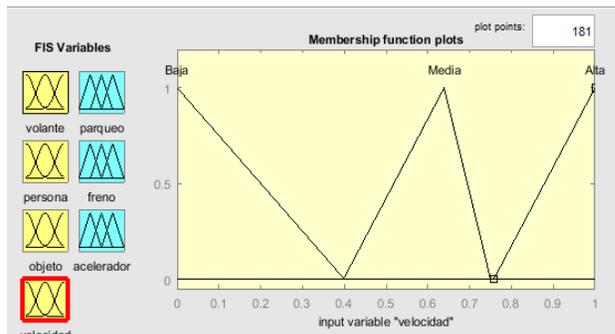


Fig.5. Sistema de inferencia difusa con sus variables de entrada y sus variables de salida.

Las reglas de inferencia difusa usadas se observan en la figura 6, son las que se hicieron para la simulación y que demostraron ser consistentes y son las siguientes:

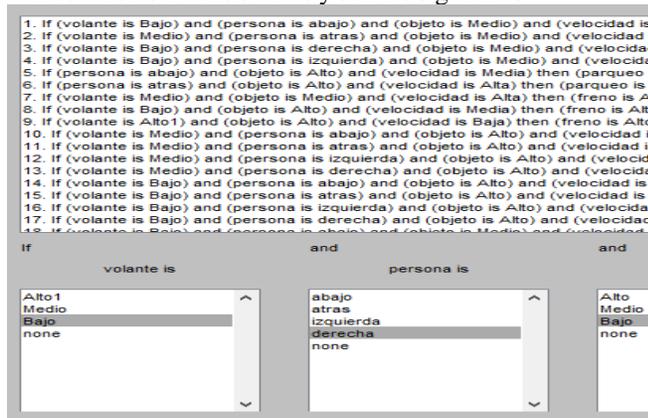


Fig.6. Reglas de inferencia difusa usadas en el trabajo de investigación y sus correspondientes predicados.

La figura 7 nos muestra que con dos reglas bien ejecutadas dentro del sistema de inferencia difusa podemos obtener un buen resultado, siempre y cuando sepamos insertar los predicados correctos.

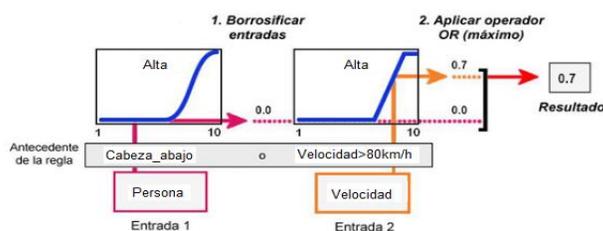


Fig.7. Dos predicados usados en el sistema de inferencia difusa y con sus resultados obtenidos.

En la figura 8 se observa una operación que se realiza en todo instante de tiempo, es la puerta de entrada al sistema difuso. Es un procedimiento matemático en el que se convierte un elemento del universo que tenemos, en un valor en cada función de membresía a las cuales pertenece.

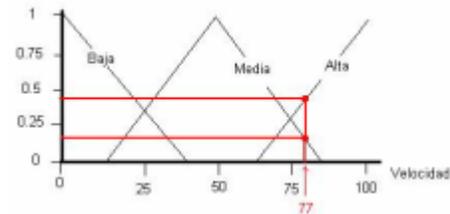


Fig.8. Ejemplo de fuzzificación de una variable

Para entender mejor sistemas de este tipo, esta situación de la fuzzificación veamos que la figura 8 nos entrega los siguientes cálculos matemáticos:

$$U_{Alta}(77)=0,47 - U_{Media}(77)=0,23 - U_{Baja}(77)=0,00$$

El valor de la velocidad igual a 77 pertenece a los dos conjuntos difusos con distintos grados en cada uno.

A partir de ahora y durante el resto de las operaciones en el interior del corazón fuzzy estos datos (0.47, 0.23 y 0.00, son valores de las funciones de membresía) representarán a las variables sensadas del proceso. A tales datos les llamaremos  $\mu$  en sentido genérico para diferenciarlos de otras funciones de membresía.  $\mu A(x) = \mu$ .

Como se dijo la verificación de los datos obtenidos, se ha utilizado la herramienta fuzzy logic toolbox de Matlab, la cual sirve como referencia para corroborar que el algoritmo realiza las operaciones correspondientes a la lógica borrosa de manera adecuada, obteniéndose un error mínimo en comparación con los cálculos teóricos. Para verificación de las placas realizadas se utilizó el multímetro digital Fluke, con el cual se hicieron las pruebas de continuidad, medición de voltajes, detección de falsos contactos entre terminales y algunos análisis en las salidas de los pines y las interfaces.

### IV. DISCUSIÓN

La toma de decisiones la debe generar el sistema difuso planteado para presencia o ausencia de una señal en el motor de inferencia, en el caso planteado que es la de una persona que puede sufrir cualquier tipo de alteraciones en el momento que está conduciendo, resulta muy beneficioso utilizar esto.

La dimensión del tiempo en cuanto a respuesta del sistema esta medido en segundos. Los predicados usados como antecedentes nos permitieron inferir conocimiento basados en las reglas de inferencia difusa para que funcione correctamente el prototipo.

Un resultado final inesperado fue que cuando se quiso aplicar otro dispositivo como una FPGA, el sistema difuso

no podía asumir bien ciertas señales internas, debido a que un arduino no tiene los mismos complementos que posee este tipo de dispositivo tecnológicamente diseñado para estas cosas.

Ahora también hay que decir que se presentó un problema en el momento de ejecutar el prototipo, es el de las dimensiones de los autos. Hay que prever que los automóviles tienen una dimensión, las camionetas, las busetas, los buses, camiones y tráileres tienen otras; por eso se tomó la situación sólo para automóviles. Sin embargo, en el desarrollo de automatizaciones tradicionales, los profesionales y expertos en procesos consideran a la ingeniería de requisitos como una fase de relevancia crucial en el proceso de desarrollo. Es bien sabido que los errores más comunes y que consumen mucho tiempo, así como los más caros a la reparación, son los errores que surgen de la ingeniería inadecuada de requisitos. Por lo tanto, aunque la relevancia de Ingeniería de Requisitos es bien conocida, estas técnicas deben ser estudiadas más ampliamente en la comunidad de Ingeniería Electrónica y además software [7]. En este sentido muy profundo del desarrollo de la automatización en sentido industrial los nuevos modelos de procesamiento y control vistos, junto con otros de relativa novedad, se engloban en la denominada Soft Computing.

## V. CONCLUSIONES

En este artículo se ha demostrado que con una herramienta de lógica difusa se puede lograr el control de la velocidad de un automóvil y por ende salvar vidas.

Sin dejar de lado las reglas de inferencia, motor de inferencia y base de conocimiento realizado para este prototipo, basado en 1 (5 voltios) positivo y -1 (0 voltios) negativo.

El uso de los sensores y del Arduino es de gran ayuda para este tipo de trabajos de investigación, pero hay que saber escogerlos, al momento de realizarlos en la realidad.

El número de reglas aumenta exponencialmente con el número de variables en la parte predicados, cuantas más reglas haya que construir, más difícil es saber si son adecuadas.

Si el número de variables en la parte predicados es demasiado grande, será difícil comprender la relación causal entre los antecedentes y los consecuentes, y por tanto, serán difíciles de construir las reglas, para solucionar esto, existen otros métodos como el de Sugeno.

En un próximo trabajo se estará mostrando las simulaciones realizadas con ejemplos prácticos y los tiempos que se demoran cada uno de los autos en pasar de un estado activo a uno inactivo. Así como también se estará presentando el modelado del automóvil en 3D usado en este trabajo de investigación.

## RECONOCIMIENTOS

El camino recorrido no ha sido fácil, pero gracias a ti mi DIOS, Jesús y Virgen de Agua Santa por su infinita misericordia. Agradezco a mi esposa Paty, a mis hijos Andy, Nore y Antho por permitirme seguir en esta labor tan larga de seguir investigando. (Mejia, F.).

## REFERENCIAS

- [1] Piedrafita Moreno R. (2000) Ingeniería de la Automatización, Alfaomega, México
- [2] Espín R (2004) El Paradigma de la Lógica Difusa: Oportunidades para la Ciencia, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Haban - Cuba.
- [3] Verdegay J.L. (2005). Una revisión de las metodologías que integran la SoftComputing Actas del Simposio sobre Lógica Fuzzy y SoftComputing LFSC 2005 (EUSFLAT).151-156.
- [4] Zadeh L. A. (1965). Fuzzy Sets, Information and Control, 8, 338-353.
- [5] Dubois D. and Prade H. (1980). Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications. Academic Press Inc, N. York.
- [6] Lindley D. (1994). En: Wright G., and P. Ayton (eds.) Subjective Probability, Wiley & Sons, Chichester.
- [7] Cassel-Gintz M. A., Liidike M. K. B., Petschel- Held, G., Reuswig F., Pliich, M. and Lamme, G (2003) "Fuzzy logic based global assessment of the marginality of agricultural land use", Climate Research, (8): 135-150.
- [8] Zadeh L. A.(1978) "Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility", Fuzzy Sets and Systems, (1): 3-28.
- [9] Yoshinari Y and Pedrycz W.K. H.(1993) "Construction of fuzzy models through clustering techniques", Fuzzy Sets and Systems, (54): 157- 165.
- [10] Zimmermann, H. J.(1985) Fuzzy sets and its applications, Publications Kluwer Nijhoff, Dordrecht, Southern Holland.
- [11] Kaufmann, A. and Gil Aluja, J(1993) Introducción de la teoría de los subconjuntos difusos a la gestión de las empresas, Editorial Milladoiro, España.
- [12] Hao Ying. "The simplest fuzzy controllers using different inference methods are different nonlinear proportional-integral controllers with variable gains". Automática, vol 29 N° 6, pp. 1579-1589. 1993.
- [13] Ambalal V. Patel, "Transformation Functions for Trapezoidal Membership Functions", International Journal of Computational Cognition <http://www.YangSky.com/yangijcc.htm> Volume 2, Number 3, Pages 115-135, September 2004.