

LÓGICA DIFUSA EN LA ESTIMACIÓN DE LLEGADAS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO EMPLEANDO GPS

Meléndez Ramírez Adolfo
Ingeniería en Sistemas
Computacionales
Tecnológico de Estudios
Superiores de Ecatepec
Ecatepec, Estado de Mexico,
Mexico
adolfo_melendez@tese.edu.mx

Stein Carrillo Juan Manuel
Ingeniería en Sistemas
Computacionales
Tecnológico de Estudios
Superiores de Ecatepec
Ecatepec, Estado de Mexico,
Mexico
jmsteinc@tese.edu.mx

Urbina Bernal Federico
Ingeniería en Sistemas
Computacionales
Tecnológico de Estudios
Superiores de Ecatepec
Ecatepec, Estado de Mexico,
Mexico
urbf201910928@tese.edu.mx

Avila Camacho Francisco Jacob
Ingeniería en Sistemas
Computacionales
Tecnológico de Estudios
Superiores de Ecatepec
Ecatepec, Estado de Mexico,
Mexico
fjacobavila@tese.edu.mx

Abstract— *Al desarrollar cualquier proyecto que implique la recolección masiva de datos en tiempos adversos se requiere metodologías que suplan y ayuden a la integración de modelos, como la lógica difusa, para la toma de decisiones y evaluación.*

La lógica difusa, para efectos prácticos, se entiende como la ciencia de los principios formales del razonamiento aproximado, flexible y tolerante con la imprecisión, capaz de modelar problemas no lineales y dando la capacidad de rellenar vacíos en problemáticas donde no se tiene un campo amplio de datos.

Con este trabajo se pretende demostrar la utilidad que puede aportar la lógica difusa en el desarrollo de proyectos y proponer mejoras y modificaciones al armado de prototipos de uso específico, en este caso, de la estimación de llegadas en el transporte público

Keywords— *Lógica Difusa, estimaciones de llegadas, GPS.*

1 INTRODUCCIÓN

Para considerar una solución se debe plantear una problemática concreta en un tiempo determinado, en la actualidad un problema recurrente es la falta de organización de la información en el transporte público y la poca o nula utilización de los datos de posicionamiento de las unidades para brindar al usuario estimaciones de llegadas y arribos a estaciones para cálculo de rutas en ciudades con crecimiento demográfico importante y demanda de servicios óptimos.

La realidad que se experimenta en el transporte público, muchas de las ocasiones, es de insatisfacción a causa de empleo excesivo de tiempo de espera en los distintos servicios, ya sea en la estación, en el abordaje o en el trayecto de ruta de los autobuses. La información escasea y cuando se trata de planear una ruta específica no hay manera de estimar un posible resultado.

Una estimación de llegada oportuna puede darse a partir de los datos obtenidos de los distintos entes involucrados en la prestación del servicio del transporte público para que el usuario cuente con los elementos para una toma de decisiones en los distintos trayectos que realiza en sus jornadas diarias.

¿Y dónde obtener los datos? A veces esta pregunta resulta difícil de responder ya que no se cuenta con tecnología accesible en costos para solventar la adquisición oportuna de la información. Hacer posible esta concentración de datos consta de la integración de dispositivos de posicionamiento conjugados con el almacenamiento y tratamiento de los datos para procesar de manera óptima la información generando como resultado conocimiento asequible y presentable a la mayoría de los usuarios en un formato de fácil asimilación. Se ha escuchado que la información es poder entonces por qué no utilizar estos datos que pueden aportar conocimiento.

La idea de utilizar estos dispositivos ya es una realidad en muchos ámbitos de automatización de procesos en lo que se refiere a posicionamiento y localización, pero estos dispositivos no son accesibles y no son manipulables para adecuarse a las necesidades de un proyecto de desarrollo específico con necesidades propias. La propuesta referida de armado de prototipo hace que las necesidades del proyecto moldeen la estructura y den forma adecuada al dispositivo que se implementará resultando una idea original donde se comprenda desde el inicio de la adquisición de datos, pasando por el proceso y transformación de la información, hasta llegar al final que es la estimación de datos confiables.

Conociendo la problemática y la realidad existente de una solución a esta problemática mediante el armado de un prototipo para la obtención de datos, se debe tener en cuenta otros factores que escapan al control de la planificación del proyecto y que habrá que solventar, aunque no se cuenta con todos los elementos para el desarrollo de este. Es cuando, para solucionar situaciones como esta entra en función la denominada lógica difusa; pero ¿en qué consiste exactamente esta técnica?

La lógica difusa es un conjunto de principios matemáticos basados en grados de membresía o pertenencia, cuya función es modelar información. Este modelado se hace con base en reglas lingüísticas que aproximan una función mediante la relación de entradas y salidas del sistema (composición). Esta lógica presenta rangos de membresía dentro de un intervalo entre 0 y 1, a diferencia de la lógica convencional, en la que el rango se limita a dos valores: el cero o el uno.

La lógica difusa utiliza enunciados que no son ni totalmente ciertos ni completamente falsos y se aplica a expresiones que pueden tomar un valor de veracidad de todo un conjunto de valores comprendido entre dos extremos, la verdad absoluta y la falsedad total. De esta manera los conjuntos difusos se constituyen en la generalización de los conjuntos clásicos, que consideran únicamente la pertenencia o no pertenencia de un elemento a un determinado conjunto, a diferencia de los difusos, en los cuales, un elemento del conjunto presenta cierto grado de pertenencia y toma un determinado valor entre 0 y 1 [1].

2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

2.1 LÓGICA DIFUSA

En la lógica difusa [2], también conocida como lógica borrosa, una afirmación no solo puede ser cierta o falsa, como sucede en la lógica clásica, sino que además se establece una escala de valores intermedios entre la certeza o la falsedad absolutas.

Un conjunto es una colección de objetos. Según la teoría clásica de conjuntos, un objeto pertenece o no pertenece a un conjunto.

Dado un universo X, la pertenencia o no de un elemento x a un conjunto A específico, queda determinada por una función de pertenencia $\mu_A(x)$:

$$A = \{x, \mu_A(x) / x \in X\}$$

Un conjunto clásico, tiene una función de pertenencia con límites abruptos:

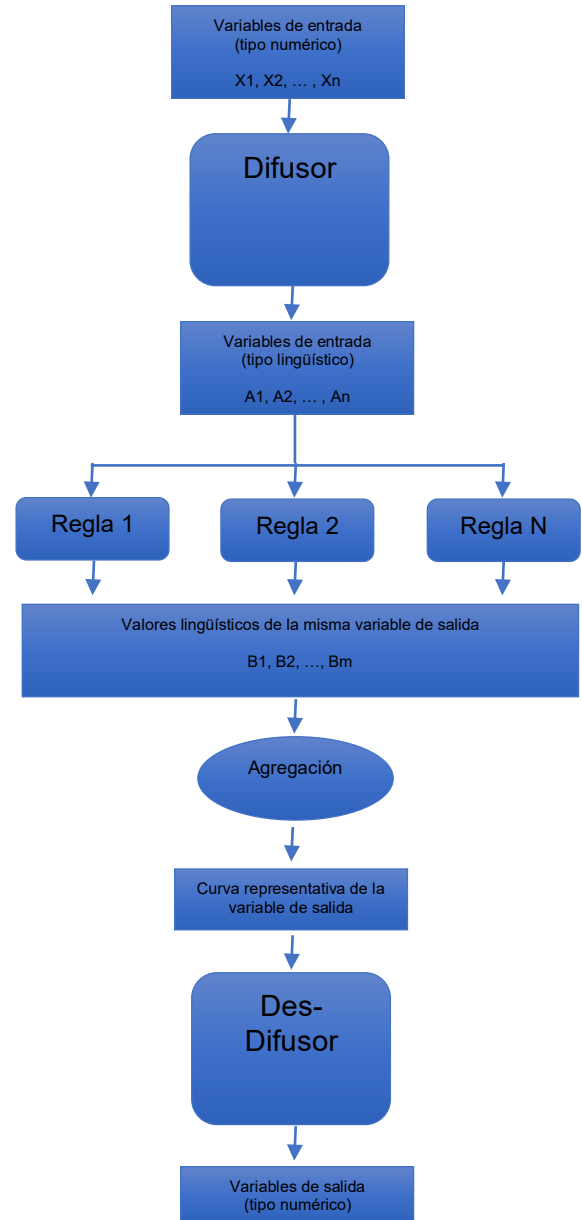
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & x \in A \\ 0 & x \notin A \end{cases}$$

Para un conjunto difuso se establece una gradación en la pertenencia al conjunto representada por una función de pertenencia con valores entre 0 y 1 [3].

La lógica difusa permite la asignación de valores lingüísticos a las variables de un problema. El uso de variables con valores lingüísticos tiene la ventaja de asemejar la valoración de un parámetro a la que suelen realizar las personas, ya sean expertos [4] o no [5].

2.2 SISTEMA DIFUSO

Un sistema difuso (Fuzzy Inference System, FIS o también Fuzzy Rule-Based System, FRBS) estará formado por varias reglas difusas con diferentes consecuentes [6]. La arquitectura básica de un sistema basado en lógica difusa [7], [8], [9], [10], [11].



Esquema 1 Sistema Difuso

Los componentes del sistema, representados en el Esquema 1 son los siguientes [12]:

1. Un bloque difusor, por el que a cada variable de entrada se le asignará un valor entre 0 y 1, en función de su grado de pertenencia a los conjuntos difusos que se están considerando.

Una función de pertenencia de un conjunto borroso A sobre un universo de discurso X es de la forma $\mu_A(x) \rightarrow [0,1]$, donde a cada elemento de X le corresponde un valor entre 0 y 1. Este valor, llamado valor de pertenencia o grado de pertenencia, representa el grado en el que el elemento de X pertenece al conjunto borroso A.

Las funciones de pertenencia nos permiten representar gráficamente un conjunto borroso. En el eje "x" (abscisas) se representa el universo de discurso, mientras que en el eje "y" (ordenadas) se sitúan los grados de pertenencia en el intervalo [0,1].

Para construir funciones de pertenencia se suelen utilizar funciones sencillas, ya que al estar definiendo conceptos borrosos el uso de funciones complejas no aporta mayor precisión. Para implementación de este trabajo se utilizaron las siguientes funciones:

Función triangular (Figura 1): viene definida por un límite inferior a, un límite superior b, y un valor m tal que $a < m < b$.

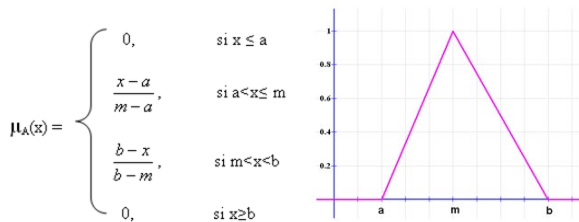


Figura 1 Función Triangular

Función trapezoidal (Figura 2 y Figura 3): viene definida por un límite inferior a, un límite superior d, un límite de soporte inferior b, y un límite de soporte superior c, tal que $a < b < c < d$. Existen dos casos particulares de la función trapezoidal, las denominadas funciones R y L.

Funciones R: con parámetros $a = b = -\infty$

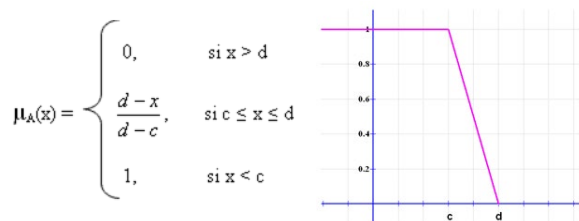


Figura 2 Función trapezoidal R

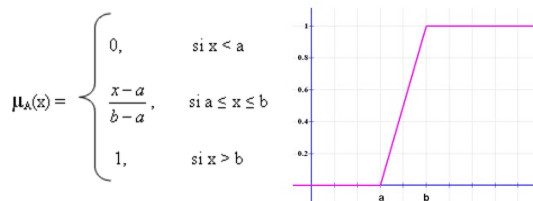


Figura 3 Función trapezoidal L

2. Un bloque de inferencia con reglas del tipo: (Condición 1) AND (Condición 2) AND ... AND (Condición N) THEN (Salida) y que relacionan los conjuntos difusos de entrada con los de salida.
3. Un bloque de agregación lógica, por el que, a partir de los conjuntos difusos obtenidos a la salida del bloque de inferencia, se obtiene un único conjunto de salida. La agregación lógica puede realizarse hallando el máximo de las funciones de pertenencia de los conjuntos de salida (OR) o mediante la suma algebraica de las funciones de pertenencia de los conjuntos de salida. Cuando las distintas reglas representan restricciones con distinta prioridad, la suma de las funciones de pertenencia se hace en forma ponderada [10], [11] como se representa en la siguiente ecuación.

$$\text{Centroide} = \frac{\sum_{x=a}^b \mu_A(x) \cdot x}{\sum_{x=a}^b \mu_A(x)}$$

3 DESARROLLO DEL PROTOTIPO

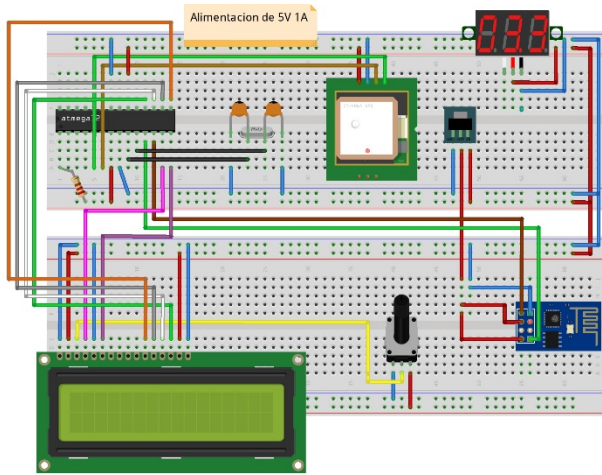
Para solución e implementación del proyecto se requirió el armado de un prototipo que cumpliera con las siguientes especificaciones:

- Un geolocalizador que envíe constantemente la ubicación donde se encuentra en un intervalo de tiempo constante.
- Conexión inalámbrica a red wifi para envío de datos a la nube.

A partir de estas especificaciones se confeccionó el prototipo con los siguientes elementos:

1. ATmega328P
2. 2 condensadores cerámicos 22pF
3. Oscilador 16MHz
4. Potenciómetro
5. Pantalla LCD 16x2
6. Modulo Wifi Esp8266 Esp-01s
7. Regulador de Voltaje de 5V a 3.3V
8. MÓDULO GPS GY-GPS6MV2
9. Batería con salida de 5V a 1A
10. Jumpers (diferentes tamaños).

Las conexiones de los elementos se muestran en el Esquema 2 y en la Imagen 1 se observa el funcionamiento en vivo del prototipo.



Esquema 2 Conexión de prototipo

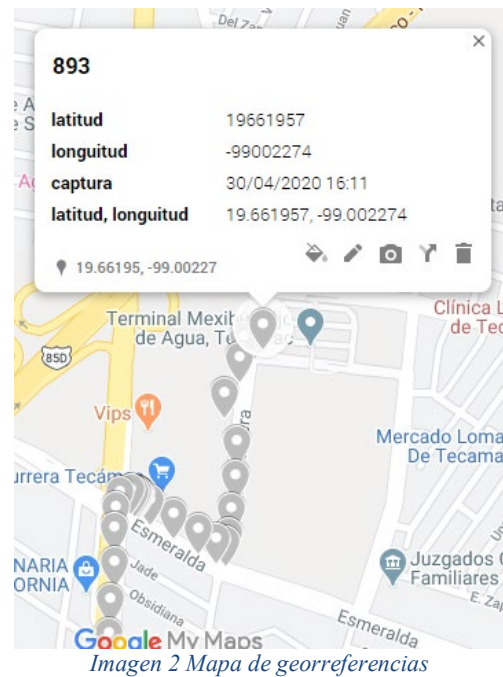


Imagen 2 Mapa de georreferencias

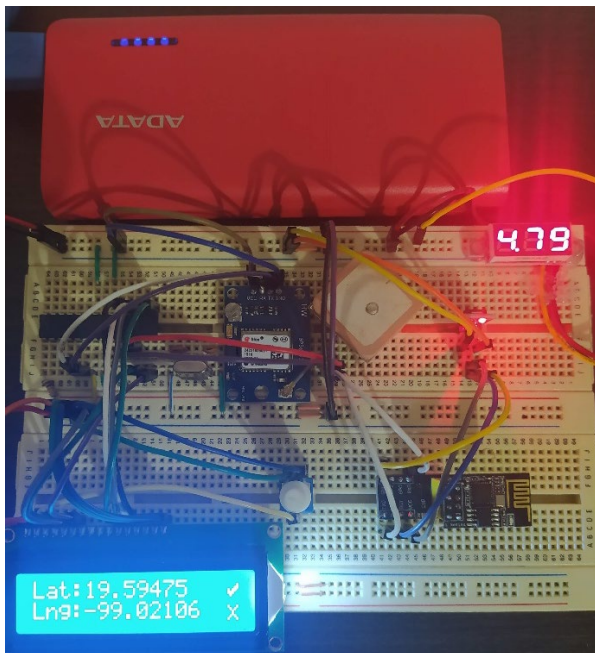
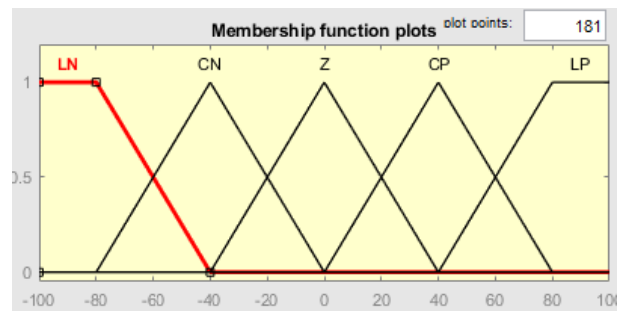


Imagen 1 Evidencia funcional

La función del prototipo es recoger las coordenadas del autobús y enviarlas a la nube para tratar estos datos con técnicas de análisis y procesamiento de información y así estimar los tiempos de llegada de un punto 'A' a un punto 'B'. Los datos de entrada que proporciona este dispositivo es latitud y longitud que al ser recibidos se almacenan con la hora y fecha de captura. Procesando estos datos se puede estimar la llegada de los autobuses a las distintas estaciones por medio del cálculo de medias entre distancias recorridas. En la Imagen 2 se visualiza el muestreo de datos que se puede obtener con el prototipo en el recorrido de un autobús.

A partir de las primeras observaciones que da como resultado el prototipo se puede emplear la lógica difusa para reproducir los distintos escenarios que se pueden dar en el proyecto y definir evaluaciones convencionales que puedan arrojar aproximaciones al modelo operacional. Por esta razón, asegurando el grado de certeza que puede arrojar este modelo, se implementa esta técnica que, a diferencia de la lógica convencional, permite trabajar con rangos de membresía en un intervalo de entre 0 y 1.

Las distintas funciones de membresía permiten evaluar las reglas lingüísticas declaradas para este sistema desde la perspectiva de dos variables de entrada que son la posición del bus y el promedio de distancia recorrida, estas variables están representadas con mediciones que se acercan a la certeza o a la falsedad, algunas de estas medidas están definidas como, por ejemplo, LN (Lejano Negativo) que denota un acercamiento a una cualidad y no una cantidad fija. En el Esquema 3 se denotan estas funciones de membresía para una variable de entrada.



Esquema 3 Funciones de Membresía

Declaradas las funciones de entrada se definirán las reglas lingüísticas para obtener un resultado posible que se pueda apegar a la realidad, estas reglas son adecuadas por medio de conectores lógicos que hacen entendible la conexión para concluir en un objetivo determinado. En la Imagen 3 se

pueden apreciar las declaraciones de reglas posibles para este caso de estimaciones de llegada para los autobuses, a partir de la combinación de entradas y resultados esperados se acota una inferencia de conocimiento.

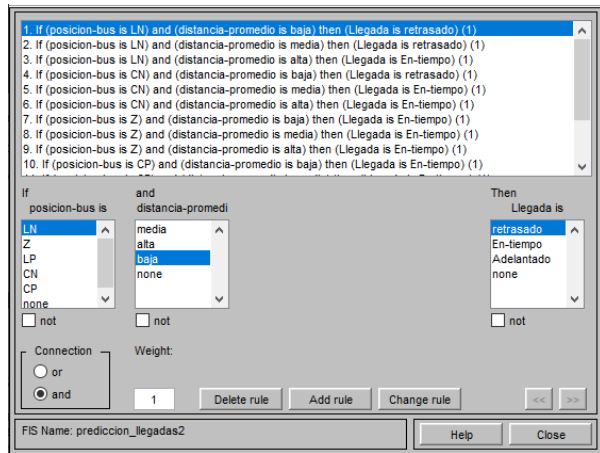
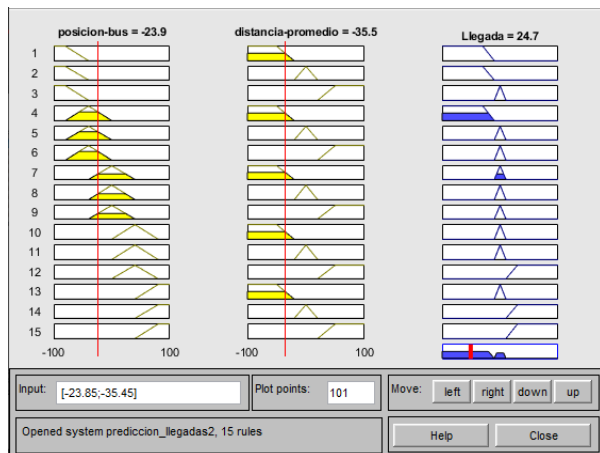


Imagen 3 Reglas

Terminados y declarados todos los elementos que se involucran en el esquema de lógica difusa (entradas, salidas, reglas) se obtiene el esquema que puede representar las diferentes tomas que se puede hacer en el sistema real con el prototipo y que pueden arrojar como un resultado preliminar al establecido. Al considerar diferentes escenarios de actuación, representados en las entradas, se puede producir salidas para ser interpretadas como un conocimiento que se acerca a la certeza y que solo habría que experimentar para comprobar su veracidad con la práctica de campo a su debido tiempo.



Esquema 4 Evaluación de Reglas

4 RESULTADOS

Al incorporar lógica difusa a este proyecto se alcanzó el objetivo de estimar tiempos de llegada de los autobuses no contando con grandes cantidades de datos pero que, simulando la parte de tratamiento de información, se puede obtener un resultado certero a la hora de estimar tiempos de llegadas con esta técnica.

El prototipo diseñado cumple la función levantar lecturas de posicionamiento las cuales al ser almacenadas y con las debidas técnicas de análisis pueden dar como resultado la información esperada. El proyecto, en sus inicios, no cuenta con un número importante de datos para obtención de estimaciones correctas ya que una muestra no puede aportar todos los escenarios posibles que el prototipo alcance a detectar.

Al detectar que los datos no eran suficientes para la obtención de las estimaciones esperadas se utilizó satisfactoriamente la técnica de lógica difusa que permite armar los escenarios que se pueden presentar en la realidad y poder dar un dato acercado a la realidad y a la hora que se cuente con la masificación propia de datos al implementar el dispositivo se pueda comprobar estas estimaciones proyectadas por esta técnica.

Los resultados son favorables y se apegan a la realidad, concertando los diferentes elementos de la práctica se asegura que el prototipo proporciona información consistente e integra para obtener el resultado esperado de la estimación de llegada como se observa en el Esquema 4.

5 CONCLUSIONES

La lógica clásica no está diseñada para implementarse en estos tipos de proyectos donde se requiere el análisis de conceptos y objetos poco precisos, la lógica clásica es tajante de tomar una decisión entre es o no es, representado con 0 o 1. Ante esta problemática y a partir de la teoría de conjuntos difusos se propone en este proyecto concretar ideas de análisis de datos sin contar con toda la información requerida, el trabajo a futuro será empezar a alimentar este sistema con los datos propios y condensarlos para obtener información relevante para las estimaciones de llegada. La representación de conocimiento a partir de la técnica de lógica difusa trata de suplir los faltantes que la lógica convencional requiere y emplea de una manera sencilla y grafica los resultados otorgando la perspectiva del grado de certeza o falsedad, caso contrario de la lógica clásica de verdadero o falso contundente.

A pesar de las dificultades que se presentan en cualquier desarrollo de prototipo y sobre todo en la implementación y levantamiento de datos hay que considerar técnicas que permitan al proyecto seguir dando resultados a pesar de faltantes en el camino. Esta solución alternativa de la lógica difusa no reemplaza totalmente a la lógica clásica y la complementa para la obtención de resultados que a futuro pueden ser comprobados cuando se cuente con todos los elementos propios y pueda experimentarse.

6 REFERENCIAS

- [1] Ponce, C., 2011. Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería, Alfaomega Grupo Editor, S. A. de C. V., México.
- [2] Zadeh, L.A. **Fuzzy sets** Department of Electrical Engineering and Electronics Research Laboratory, University of California, Berkeley, California, USA Anderson,
- [3] Jang, J.-S. Roge; Gulley, Ned. Matlab Fuzzy Logic Toolbox. User's Guide. The MathWorks, Inc. (2007)

- [4] Zimmermann, H.J. (1987). Fuzzy Sets, Decision Making, and Expert Systems. Kluwer Academic Publishers. J. 2007.
- [5] Jones, James H. (1994) Evaluating Project Risks With Linguistic Variables, Proceedings of the Fourth Annual International Symposium, National Council on Systems Engineering (NCOSE), San Jose, CA, August, 1994.
- [6] Pérez Pueyo, Rosanna. (2005). Procesado y Optimización de Espectros Raman mediante Técnicas de Lógica Difusa: Aplicación a la identificación de Materiales Pictóricos. Capítulo 2. Universidad Politécnica de Cataluña.
- [7] McNeill, F. Martin; Thro, Ellen. (1994) Fuzzy Logic A Practical Approach. Academic Press, Inc.
- [8] Olivas Varela, José Angel (2007). La lógica borrosa y sus aplicaciones. Universidad de Castilla La Mancha.
- [9] Pérez Pueyo, Rosanna. (2005). Procesado y Optimización de Espectros Raman mediante Técnicas de Lógica Difusa: Aplicación a la identificación de Materiales Pictóricos. Capítulo 2. Universidad Politécnica de Cataluña.
- [10] Kosko, Bart. (1997) Fuzzy Engineering. Prentice Hall International p. 48-53.
- [11] Slany, Wolfgang. (1996) Scheduling as a multiple criteria optimization problem. Fuzzy Sets and Systems, 78:197 222 (1996).
- [12] Jang, J.-S. Roge; Gulley, Ned. Matlab Fuzzy Logic Toolbox. User's Guide. The MathWorks, Inc. (2007).