

**LÓGICA DIFUSA: PERSPECTIVA Y APLICACIONES**

**Juan Pablo Hurtado Palacio**

**UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS Y TECNOLOGÍAS  
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA**

**Armenia - Quindío**

**2014**

**LÓGICA DIFUSA: PERSPECTIVA Y APLICACIONES**

**Presentado por:**

**JUAN PABLO HURTADO PALACIO**

**Modalidad**

**MONOGRAFÍA**

**ASESOR**

**JULIAN ALBERTO BUITRAGO GIRALDO**

**UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO**

**FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS Y TECNOLOGÍAS**

**PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA**

**Armenia - Quindío**

**2014**

## INVOLUCRADOS

**Estudiante:**

**JUAN PABLO HURTADO PALACIO**

C.C: 4.378.024 Armenia

Celular: 3117205349

[pablin0310@hotmail.com](mailto:pablin0310@hotmail.com)

**Asesor:**

**JULIAN ALBERTO BUITRAGO GIRALDO**

Docente Universidad del Quindío

Celular: 3117460304

[Julianbuitrago@uniquindio.edu.co](mailto:Julianbuitrago@uniquindio.edu.co)

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVOS.....	3
OBJETIVO GENERAL .....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
LÓGICA DIFUSA .....	4
ARQUITECTURA MAMDANI.....	12
ARQUITECTURA TAKAGI-SUGENO-KANG.....	12
APLICACIÓN DE LA LÓGICA DIFUSA.....	14
PRINCIPALES APLICACIONES .....	17
MODELO DE APLICACIÓN .....	19
MODELO DE LA PLANTA .....	21
IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL .....	24
DISEÑO DE LA REGLAS .....	27
RESPUESTA DE LA PLANTA MODIFICANDO LOS CONTROLES.....	29
EPILOGO.....	31
CONCLUSIONES .....	33
BILBIOGRAFÍA.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## TABLA DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Estacionar un vehículo .....	4
Figura 2. Estructura de decisión: Si... entonces .....	6
Figura 3. Sentencia condicional .....	7
Figura 4. Sistema lógica difusa .....	9
Figura 5. Implementación sistema difuso .....	10
Figura 6. Lógica difusa - Lógica clásica.....	14
Figura 7. Estructura de un grafico difuso .....	16
Figura 8. Metodología de aplicación.....	19
Figura 9. Método de aplicación del controlador .....	20
Figura 10. Modelo del control en lazo abierto.....	21
Figura 11. Respuesta de la planta en lazo abierto .....	22
Figura 12. Respuesta de la planta en lazo cerrado .....	23
Figura 13. Función FUZZY de matlab .....	24
Figura 14. Funciones de membresía de entrada .....	25
Figura 15. Tipos de función de membresía .....	25
Figura 16. Funciones de membresía de salida.....	26
Figura 17. Implementación de las reglas.....	27
Figura 18. Vista de las reglas .....	28
Figura 19. Modelo de la planta con el control .....	29
Figura 20. Respuesta de la planta con el controlador fuzzy .....	29
Figura 21. Sistema afectado por perturbaciones .....	30

## INTRODUCCIÓN

Este documento es el resultado de una búsqueda bibliográfica sobre las aplicaciones de la lógica difusa. Este tema es de aplicabilidad tecnológica y tiene poca difusión en el programa de tecnología en electrónica. La importancia del tema requiere ser reconocido en sus desarrollos en las distintas ciencias y disciplinas.

Esta reconstrucción bibliográfica ha permitido la búsqueda y localización de referencias bibliográficas sobre el tema para extraer de diferentes fuentes de información, los conceptos y las aplicaciones propias de la lógica difusa. En concordancia con este proceso se han consultado varias fuentes de información de manera sistemática y exhaustiva; entre otras, a través de fuentes como Internet.

Varios momentos contempla esta elaboración que se concibe para que se desarrolle formalmente en tres partes, la primer parte es una recopilación bibliográfica de los principales elementos de la lógica difusa, la segunda muestra las principales aplicaciones reales, y la tercer parte el modelamiento y estrategia de control; precedidos por una introducción que refiere el interés del asunto propuesto como eje de consulta y menciona los temas centrales del proyecto. Y los capítulos finalizan con una bibliografía especializada y los anexos citados en el cuerpo del trabajo.

En primera instancia hace referencia al concepto, la génesis y la historia de la lógica difusa, sus inicios desde la filosofía antigua y su adaptación en los filósofos modernos; de igual manera se hace un acercamiento a la teoría y las aplicaciones de la lógica misma. Este capítulo nos permite generar un acercamiento general a la Lógica Difusa (LD), explorando los inicios de la misma y fortaleciéndolo con los referentes teóricos de la historia que han indagado sobre la misma.

En concordancia con esos hitos históricos de la Lógica, en la parte siguiente se enuncian los estudios a los que la teoría de la lógica ha aplicado, generando un análisis que pasa de lo histórico a lo analítico y lógico, profundizando en el rigor matemático del mismo en las operaciones que han permitido la implementación y aplicación de la lógica difusa en diferentes escenarios, posicionándola y fortaleciendo nuevas perspectivas lógico matemáticas en las que la lógica difusa permite inferir y generar nuevas posiciones.

El rigor matemático así como la posibilidad de la generación de operaciones utilizando la lógica difusa son los elementos fundamentales que generan el marco lógico y teórico necesario para llevar este recorrido bibliográfico que posibilita esta síntesis. En la tercera parte, la información obtenida en todo el proceso permite la simulación de la lógica difusa aplicada al área del control, simulada en MATLAB.

De esta forma, el documento es una invitación a reflexionar y seguir enriqueciendo las referencias bibliográficas y reconociendo las aplicaciones del tema.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Simular una aplicación de lógica difusa con un desarrollo tecnológico mediante el uso de las referencias encontradas en la revisión bibliográfica.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Narrar el desarrollo histórico de la lógica difusa mediante la sistematización de la información de las referencias bibliográficas encontradas.

Describir desde los inicios a la actualidad, las aplicaciones tecnológicas de la lógica difusa.

Simular una aplicación de la lógica difusa en el área de control utilizando la herramienta de Matlab para tal fin.

## LÓGICA DIFUSA

La lógica difusa hace referencia a la forma de que los seres humanos toman decisiones, donde se tienen en cuenta muchas consideraciones, y de acuerdo a esas consideraciones y la experiencia se toma una decisión, que no necesariamente es todo o nada, sino que tiene variaciones, de la misma forma las maquinas tienen puntos donde no es necesario acciones de control muy drásticas, sino que se requiere que el sistema entre en puntos medios de control, para no exceder la referencia.

Por ejemplo cuando una estaciona un vehículo en paralelo, uno realiza acciones, algunas son bruscas, girar todo a la derecha, o todo a la izquierda o mantenerse derecho, pero hay otras acciones que son gire levemente a la izquierda o a la derecha, este tipo de acciones se consideran en un sistema de control difuso, o lógica difusa de control. [1]

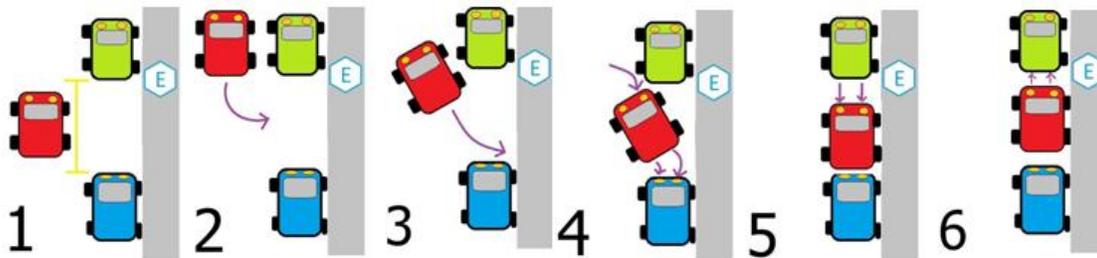


Figura 1. Estacionar un vehículo

La teoría que explica y ejemplifica la lógica difusa es planteada por el Dr. Zadeh. El autor le dio el nombre de "lógica difusa" al tipo de razonamientos que derivó y ejemplificó así: *"se dio una larga discusión entre dos hombres acerca de cuál de dos mujeres era la más atractiva. Cada uno consideraba que su mujer era más bonita que la del otro. Por supuesto no existe forma objetiva de medir la belleza. El concepto de "belleza" varía mucho entre personas, culturas y tiempos. A pesar de*

*que la discusión se prolongó no se llegó a conclusión alguna. Esta discusión disparó el deseo de Zadeh de lograr expresar numéricamente conceptos difusos como "más bonita" o "menos bonita" (PEREZ, 2007). Es decir, expresar numéricamente cada uno de los puntos entre los cuales está comprendido los extremos de una proporción matemática. Cada uno de los segmentos de la razón, la proporción y variación. [4]*

La lógica difusa entonces se crea con la intención de preservar el concepto de vaguedad, sostenido por la historia y demostrado por las afirmaciones que desde Aristóteles hasta Zadeh, manifiestan en sus artículos y en los ejemplos utilizados la necesidad de tener exactitud en los puntos intermedios de los extremos exactos. [2]

Desde esta representación de la realidad, el creador de la lógica difusa construye su teoría en el intento de calificar la belleza.

El camino metodológico para el autor es el procedimiento que nombra como lógica difusa, que proporciona una manera simple y elegante de obtener una conclusión a partir de información de entrada vaga, ambigua, imprecisa, con ruido o incompleta.

Esos matices representados lingüísticamente con la expresión condicionante, si...entonces..., en cualquier punto de la función permite incorporar dos o más variables.

El resultado, a manera de sentencia, es el punto que el Dr. Zadeh, manifiesta como el espacio de la inexactitud y la imprecisión. Ese espacio es el que plantea en su teoría de conjuntos como manipulable matemáticamente con su lógica difusa. [1]

La aplicación de la teoría de lógica difusa se representa lingüísticamente con una sentencia condicional, si... entonces. Gráficamente se puede representar así:

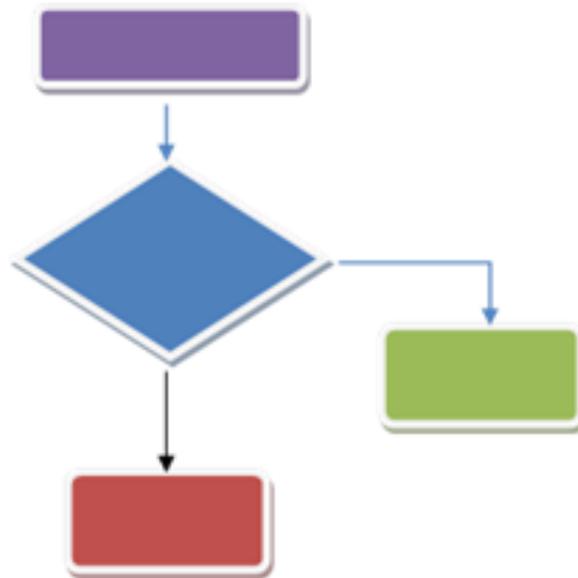


Figura 2. Estructura de decisión: Si... entonces

Esta sentencia condicional es una instrucción que se puede ejecutar o no en función del valor de una condición. La sentencia, **si**, permite una acción previamente determinada, la cual se cumple si la condición tiene valor lógico verdadero o valor lógico falso; además aplica para cualquier momento o en cualquier intervalo de la función para dar valor a una condición.

La sintaxis o estructura general de la sentencia condicional **si** es la siguiente: si, es la expresión; luego en el enunciado sigue la condición o expresión o argumento; en ese mismo orden del enunciado aparece la palabra, entonces, que da como consecuencia la sentencia No. 1.



**Figura 3. Sentencia condicional**

En el lenguaje de las enciclopedias virtuales, las sentencias condicionales y los bucles son los pilares de la programación estructurada, que tal como lo expresan los documentos de la materia, es un paradigma de programación orientado a mejorar la claridad, calidad y tiempo de desarrollo de un programa de computadora. El uso de las sentencias condicionales y los bucles aplica como una evolución de una sentencia en lenguaje ensamblador que no es más que un lenguaje de programación de bajo nivel para los computadores y microprocesadores. [3]

Estos procesos son aplicaciones de la lógica difusa que se usa en los lenguajes de computadores pero igualmente tienen aplicabilidad en diferentes disciplinas como la medicina, la mecánica automotriz, la bioelectrónica, la nanotecnología, entre otras áreas del conocimiento.

Estas consideraciones parten teóricamente de La lógica difusa, como lo manifiesta, el Dr. Zadeh, es una teoría de conjuntos que permite manipular matemáticamente las informaciones inexactas o con altos grados de imprecisión.

El postulado del Dr. Zadeh y la profusión de aplicaciones que se refieren en estos apartes iniciales legitiman el propósito de este acercamiento bibliográfico; no sólo por la infinidad de aplicaciones en el pasado sino fundamentalmente en la electrónica actual. [5]

La base conceptual y aplicativa de los sistemas expertos está presente en la teoría de conjuntos de la lógica difusa. Estos sistemas expertos son conjuntos de conocimientos de alguna materia empleados en un sistema para realizar lo que un ser humano hace sin estar presente. Así, se convierte en una rama y en un principio rector de la inteligencia artificial. Su función es aportar soluciones inteligentes como si de humanos se tratara. [7]

En general, la lógica difusa imita la forma como una persona toma decisiones basada en información con las características mencionadas. Una de las ventajas de la lógica difusa es la posibilidad de implementar sistemas basados en ella, tanto en hardware como en software o en combinación de ambos.

La lógica difusa es una técnica de la inteligencia computacional que permite trabajar con información con alto grado de imprecisión, en esto se diferencia de la lógica convencional que trabaja con información bien definida y precisa. Es una lógica multivalente que permite valores intermedios para poder definir evaluaciones entre sí/no, verdadero/falso, negro/blanco, caliente/frío. Observa los intermedios de los extremos y aun lo que está fuera de los extremos y de los intermedios. [5]

El sistema general de la lógica difusa tiene como base el conocimiento. Por ende es el esquema que sintetiza en unas reglas de tipo IF-THEN –si entonces-. Para describir de manera precisa este tipo de razonamientos los humanos utilizan expresiones lingüísticas que describen situaciones y fenómenos, las expresiones que se utilizan tienen grado de vaguedad que por esas mismas características habían sido imposibles de cuantificar en términos matemáticos.

Para identificar las reglas de tipo IF THEN –si entonces-, utilizadas en la lógica difusa, son aquellas palabras que caracterizan la pertenencia continua, son todos los niveles de pertinencia apoyados en el sistema de reglas para generar una única salida en el sistema difuso. Como se ve en la figura.



**Figura 4. Sistema lógico difusa**

Para alcanzar las comprensiones mutuas entre lectores y emisores de este documento, se entiende para todos los efectos que fusificación es un proceso en el que los valores reales bajo los cuales se va a trabajar son convertidos en valores difusos. Para realizar este proceso se realiza un tipo de funciones que tienen por objeto determinar la pertenencia del elemento al conjunto difuso. La inferencia, relaciona los datos de entrada y salida. Con ello se identifican las reglas que controlan el proceso. Y, la defusificación es un proceso que adapta los números fusificados para generar el proceso de control que se va a realizar. [1]

Así el presente trabajo permite desarrollar una investigación sobre la aplicación de la lógica difusa en el conocimiento técnico de la electrónica. Esta tiene como fortaleza, elaborar razonamientos aproximados a través de premisas imprecisas. Esto por cuanto que las premisas imprecisas son las encargadas de nutrir los razonamientos con algún grado de vaguedad del objeto de investigación. [3]

Zadeh considera que la teoría difusa es un proceso de fusificación (en inglés fuzzification) como una metodología para generalizar cualquier teoría desde su versión ordinaria (discreta) a una nueva versión continua (difusa). Así puede

hablarse de "cálculo borroso", "ecuaciones diferenciales borrosas", "autómatas borrosos", "sistemas dinámicos borrosos", entre otros. La fusificación es en primer lugar, un valor numérico; es un proceso de conversión realizado por Fuzzy-UAM para cambiar datos medidos del mundo real -entradas del sistema- a un valor lingüístico en el mundo de la lógica que utiliza las funciones de membresía de las variables lingüísticas para calcular el grado de pertenencia (grado de verdad) para cada término en un determinado proceso o tiempo. Para realizar la fusificación se debe contar con las funciones de membresía (FM's) de las variables de entrada, estas representan gráficamente, el grado para el cual el valor real pertenecen a una variable lingüística.

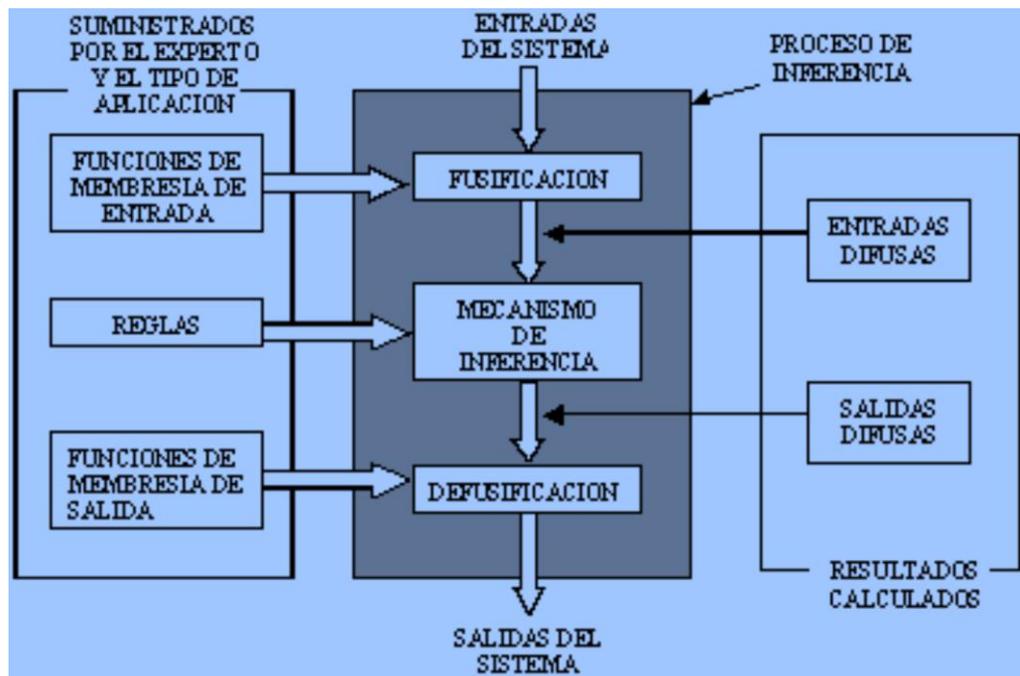


Figura 5. Implementación sistema difuso

Presenta una forma de procesar información permitiendo pertenencias parciales a unos conjuntos, que en contraposición a los clásicos los denominó Conjuntos Difusos (fuzzy sets). El mismo Zadeh publica en 1971 el artículo, "Cuantitativa Fuzzy Semantics", en donde introduce los elementos formales que componen el

cuerpo de la doctrina de la lógica difusa y sus aplicaciones tal como se conocen en la actualidad.

El fuzzificador es un valor numérico proveniente, por ejemplo de un sensor, este a su vez es necesario para que el dato sea procesado en el sistema de inferencia difusa, que toma valores numéricos provenientes de agentes externos. Estos valores difusos son considerados niveles de pertenencia de los valores de entrada a los diferentes conjuntos difusos en los cuales se ha dividido el universo de discurso de las diferentes variables o variaciones que puede tener la entrada de un sistema. [5]

Continuando con la descripción del sistema general de la lógica difusa se hace necesario identificar la función de pertenencia que indica el grado en el que cada elemento de un universo dado, pertenece a dicho conjunto. Este es analizado de acuerdo a su grado de complejidad con una herramienta matemática.

Los sistemas difusos, contienen variables lógicas que afecten el proceso de fuzzificación y de comparación en el sistema y son consideradas variables externas del sistema. Con estas variables se realiza un proceso de inferencia, entendido como la forma esencial de razonamiento deductivo. La interrelación de los isomorfismos y los sistemas de conjuntos en la teoría de conjuntos, la lógica proposicional y el álgebra booleana garantizan que cada teorema o enunciado en una de ellas tiene un homólogo en las otras dos. La existencia de estos isomorfismos permite traducir las reglas difusas a relaciones entre conjuntos difusos y éstas a términos de operadores algebraicos, que facilitan su solución y análisis.

Los sistemas de lógica difusa tienen la posibilidad de reconocer códigos numéricos y simultáneamente reconocer códigos lingüísticos. De esta manera el conjunto difuso se compone de cada posible valor representado que haga parte del conjunto. Para implementar un sistema difuso existen dos arquitecturas básicas, la arquitectura Mandami, y la arquitectura Takagi-Sugeno-Kang

## ARQUITECTURA MAMDANI

La arquitectura Mamdani consiste en una serie de reglas si-entonces de la forma:

Si X es FRÍO entonces Z es ABRIR

Donde tanto FRÍO como A BRIR son conjuntos difusos, X son los atributos observables o medibles del sistema (temperatura) y Z son los atributos controlables del sistema (válvula), de estas se derivan las siguientes expresiones:

1.  $E(t)$  es negativo cuando la temperatura del invernadero  $T(t)$  es mayor que la temperatura de referencia  $T_d(t)$ .
2.  $E(t)$  es cero cuando  $T_d(t)=T(t)$ .
3.  $E(t)$  es positivo cuando  $T_d(t)>T(t)$ .
4.  $dE(t)$  es negativa cuando el error anterior es mayor que el error actual y se tiene una gráfica de pendiente positiva.
5.  $dE(t)$  es positiva cuando el error anterior es menor que el error actual y se tiene una gráfica de pendiente negativa.

Ventajas

- Es intuitivo.
- Tiene una amplia aceptación.
- Está bien adaptado a la incorporación de conocimiento y experiencia. [8]

## ARQUITECTURA TAKAGI-SUGENO-KANG

La arquitectura TSK consiste en una serie de reglas si-entonces de la forma:

Regla i: Si  $X(t)$  es A entonces Z es  $Y=k_{i0} + k_{i1}X(t)$  donde A es un conjunto difuso, X son los atributos observables o medibles del sistema, Z son los atributos controlables del sistema y Y es una ecuación de salida lineal.

Para la solución del problema invernadero las ecuaciones de salida tendrán la siguiente forma [4]:

Regla i: Si  $E(t)$  es A y  $dE(t)$  es B entonces  $u(t) = k_{i0} + k_{i1}E(t) + k_{i2}dE(t)$

La simulación en MATLAB es idéntica a la de la arquitectura Mamdani con la diferencia de que el editor FIS se elige la arquitectura Sugeno y las funciones de membresía de salida son las constantes seleccionadas.

#### 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. [8]

## APLICACIÓN DE LA LÓGICA DIFUSA

El universo de discurso hace parte fundamental del sistema difuso, este también es considerado como dominio de tal manera que es el conjunto de cosas acerca de las cuales se habla en un determinado contexto dependiendo del dominio de discurso, una misma proposición podrá ser verdadera o falsa. Por ejemplo, cuando se habla de pobreza y se dice: Esta población es pobre. Se refiere a un grupo poblacional que tiene algunas carencias. En estos términos la proposición es verdadera, pero si se habla de todo el mundo es falsa.

El universo o dominio de discurso recrea la infinidad de posibilidades que se dan en un sistema difuso. En el marco del universo de discurso existen palabras en el lenguaje natural como sus valores. Ésta es una variable lingüística.

El siguiente gráfico manifiesta una de los primeros ejemplos expuesto por el Dr. Zadeh, donde evidencia la diferencia entre un conjunto visto desde la lógica clásica y otro desde la lógica difusa. Expresa el teórico lo siguiente, los hombres altos no tienen una estatura limite clara para que sean considerados altos. Entonces mediante una función que divide la transición de “alto” a “no alto” demuestra que un hombre que mida 1.79 puede pertenecer al conjunto de “hombres altos” sin delimitar la estatura de 1.80 para “hombres altos”, como lo hace la lógica clásica. El gráfico muestra claramente lo expuesto en el ejemplo del Dr. Zadeh:

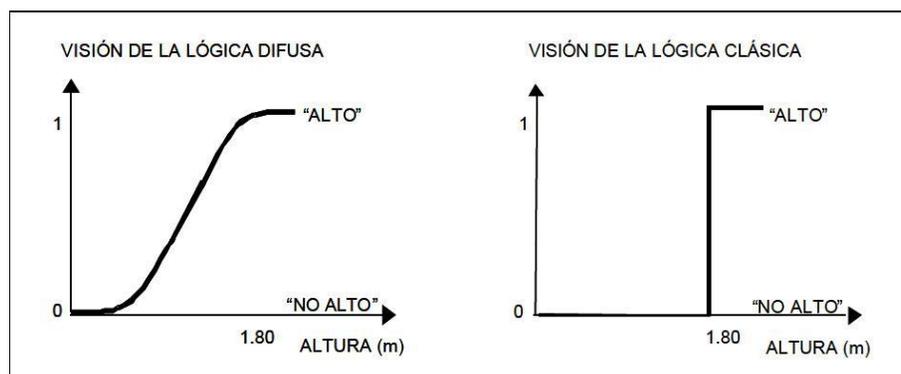


Figura 6. Lógica difusa - Lógica clásica

Los conjuntos difusos son una generalización de los conjuntos clásicos. La teoría clásica de conjuntos manifestaba la pertenencia o no a un conjunto por un determinado elemento; sin embargo la lógica difusa concibe una generalización de los conjuntos, donde cada elemento puede tener una pertenencia parcial al conjunto. Cada elemento de forma individual puede presentar su grado de influencia al conjunto.

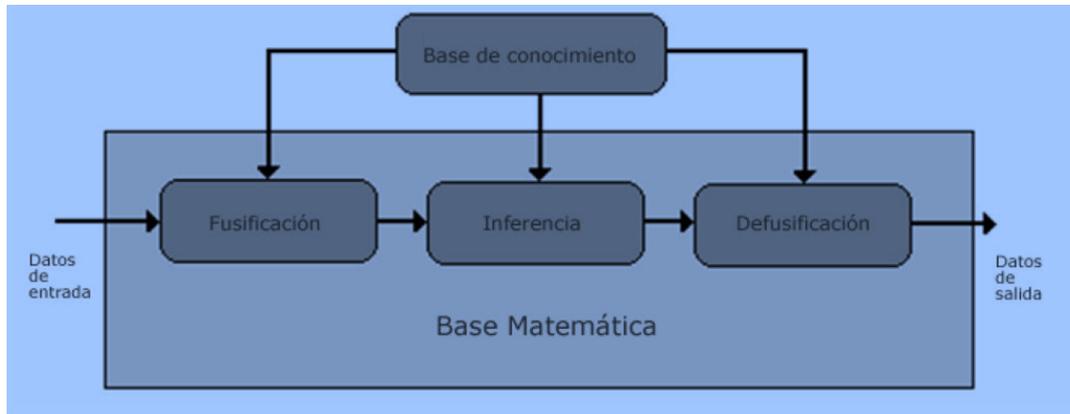
De acuerdo con la participación en el conjunto, el autor identifica claramente los dos tipos de conjuntos. Así: El primer grupo es un conjunto clásico, que surge gracias a la necesidad del ser humano de clasificar objetos y conceptos. Este es definido numéricamente por valores entre el cero (0) y el uno (1). Donde los diferentes elementos del universo tienen la posibilidad de pertenecer o no a dicho conjunto.

El segundo de los conjuntos que se identifica claramente es el conjunto difuso, en éste, los conceptos no tienen un límite definido hasta que se manifiesta la imposibilidad de identificar los elementos que pertenecen y los que no. En los conjuntos difusos se pueden identificar valores del intervalo entre el cero (0) y el uno (1).

De otra parte este tipo de conjuntos dan cabida a un tipo de controlador difuso, bajo este tipo de lógica. El controlador genera un tipo de reglas que controlan las expresiones ambiguas. Para las expresiones difusas relacionadas en este documento investigativo resulta fundamental la aplicación del controlador difuso ya que facilita la obtención de los resultados con las reglas que se dan a partir de la vaguedad y la imprecisión.

Este tipo de sistemas difusos son un conjunto de reglas que utiliza una persona para controlar un proceso y a partir de éstas generar acciones. Este tipo de elementos se pueden utilizar en sistemas muy sencillos como en sistemas matemáticos de alta complejidad. El siguiente gráfico ejemplifica el tipo de

estructura difusa planteada por el Dr. Zadeh, donde la base del mismo es la matemática y se genera la entrada y salida de datos del sistema, así:



**Figura 7. Estructura de un gráfico difuso**

Este método de control lógico – difuso permite a través de información confiable dada por el experto generar procesos que mejoran en gran medida el tiempo de respuesta y de establecimiento de un controlador, pero tiene un problema es que al ser un método empírico requiere de un proceso de ensayo y error para llevar el error de estado estable del sistema a cero. [1]

## PRINCIPALES APLICACIONES

La lógica difusa a pesar de ser un método basado en la experiencia del diseñador del controlador, se ha implementado en muchas industrias, debido a que las inferencias que se realizan de cada proceso permiten alcanzar con mayor rapidez y sin hacer grandes esfuerzos de control, y mantiene la referencia de forma estable, por eso se ha desarrollado en muchas industrias aplicaciones prácticas de este tipo de control.

Tabla 1. Aplicaciones lógica difusa

Año	Industria	Aplicación
1965	Equipo electrónico	Control de nivel (mecánico eléctrico)
1974	Control de ambiente	Calefactor de agua
1975	Equipo electrónico	Fotocopiadoras
1985	Control de ambiente	Humidificadores
1991	Automotriz	Control de clima
1991	Control de ambiente	Calefactores
1992	Equipo para el hogar	Lavadoras
1993	Automotriz	Cajas de velocidades
1995	Automotriz	Dirección asistida
1997	Equipo para el hogar	Aspiradoras
1999	Equipo electrónico	Televisores
1999	Automotriz	Control de retrovisores
2001	Equipo para el hogar	Sistemas de sonido de HIGH-FI
2002	Automotriz	Asientos térmicos
2003	Equipo electrónico	Cámaras foto con auto-exposición
2004	Automotriz	Sistemas de frenado ABS
2005	Automotriz	Faros antiniebla
2005	Equipo electrónico	Videocámaras sin vibración
2008	Equipo para el hogar	Refrigeradores

<b>2008</b>	Equipo para el hogar	Hornos microondas
<b>2009</b>	Equipo electrónico	Sistemas de antena wi-fi
<b>2010</b>	Automotriz	Estacionamiento paralelo automático

La lógica difusa ha mostrado su diversificación y su versatilidad influyendo no solo en temas matemáticos así como lingüísticos. Por último, a continuación, realiza una simulación en MATLAB de la teoría de la lógica difusa, permitiendo ejemplificar la teoría en un razonamiento práctico que se materializa con la simulación. De igual manera se utiliza para la ejemplificación el programa MATLAB por la posibilidad que ofrece en relación a la creación de razonamientos intermedios.

## MODELO DE APLICACIÓN

Para realizar el modelo de la planta, se realiza el siguiente proceso metodológico, para la implementación del sistema de control lógico difuso y analizar el comportamiento del modelo de una planta de control y cómo puede afectar el control lógico difuso el comportamiento de la planta.

El siguiente grafico muestra los pasos de la metodología, aquí se ve cada uno de los pasos de la propuesta.



**Figura 8. Metodología de aplicación.**

Inicialmente se adelanta una consulta bibliográfica sobre el tema, la Lógica Difusa. En esta fase del proceso se elaboran las fichas con los contenidos relevantes de cada consulta. La relevancia de los datos se establece en el orden de los objetivos específicos propuestos. En ese orden de ideas, las fichas contienen reseñas históricas, aplicaciones de la lógica difusa con su funcionamiento e impacto y las ideas creativas que surjan en el recorrido para una final simulación difusa aplicada.

En la segunda fase se recolecta la información sobre los distintos aplicativos del concepto que son enunciados en las fichas bibliográficas. Es un trabajo de reconstrucción de informaciones que parte de un desarrollo histórico lineal.

En la tercer fase se interpretan los alcances de la teoría en las aplicaciones específicas donde el concepto puede ser mostrado a través de la simulación de una aplicación específica.

En esta aplicación se obtienen unos resultados que permiten ubicar la lógica difusa como un sistema de control, y permite definir la cuarta fase que es la obtención de los resultados.

Esta estructura textual permite una visión integral bibliográfica en el marco de los objetivos propuestos para dar una mirada integral a la lógica difusa desde la electrónica posibilitando que se generen unas conclusiones finales que articulan la historia, la teoría y la práctica, producto de este proyecto investigativo.

De acuerdo al marco metodológico, se implementa el marco de aplicación de la lógica difusa, a través de:

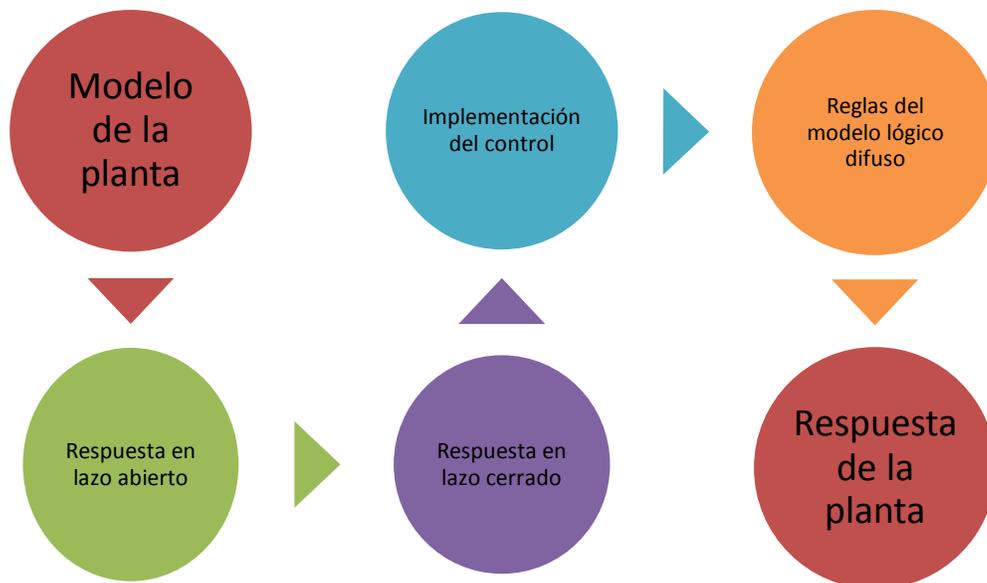


Figura 9. Método de aplicación del controlador

## MODELO DE LA PLANTA

Para analizar las bondades de un sistema de control lógico difuso se define un sistema o una planta de control, este sistema permite ver cuáles son sus condiciones de estabilidad y como la planta puede mejorar con un sistema de control apropiado.

Para la selección de la planta se realiza el análisis de un sistema de un tanque de nivel. Este se modela con la siguiente función de transferencia:

$$G(s) = \frac{1}{3s^2 + 2s + 1}$$

La implementación de este modelo en simulink, herramienta del matlab nos da el siguiente resultado, cuya respuesta en lazo abierto y lazo cerrado se ven a continuación.

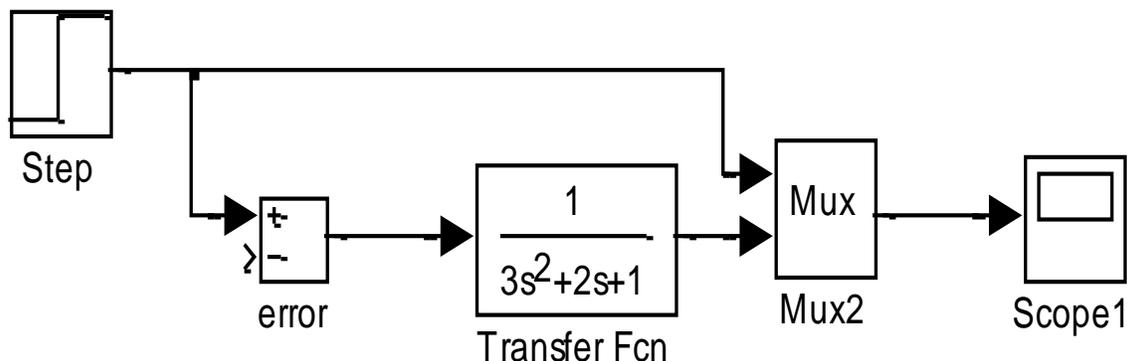
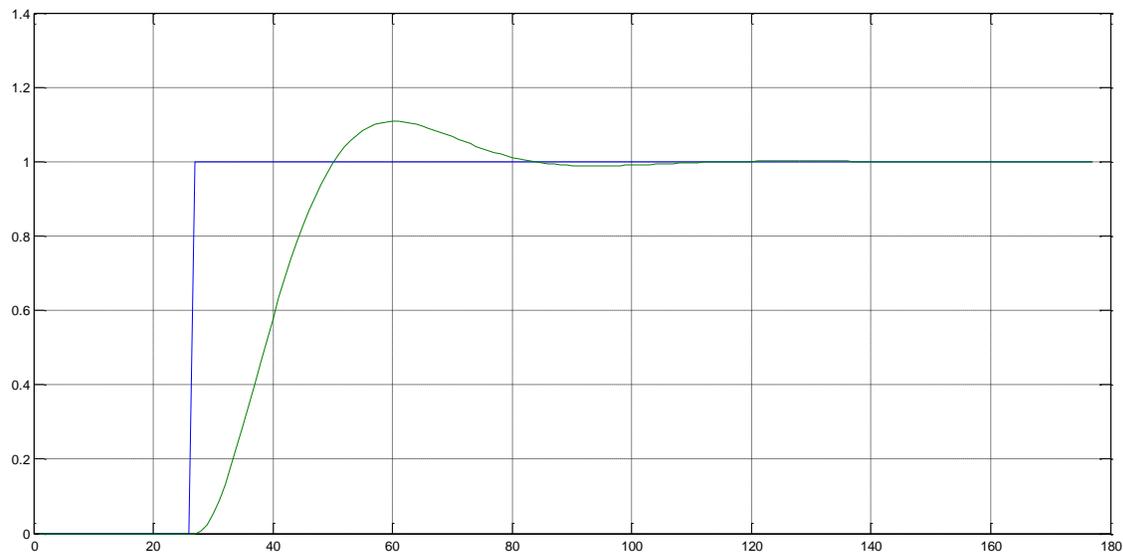


Figura 10. Modelo del control en lazo abierto

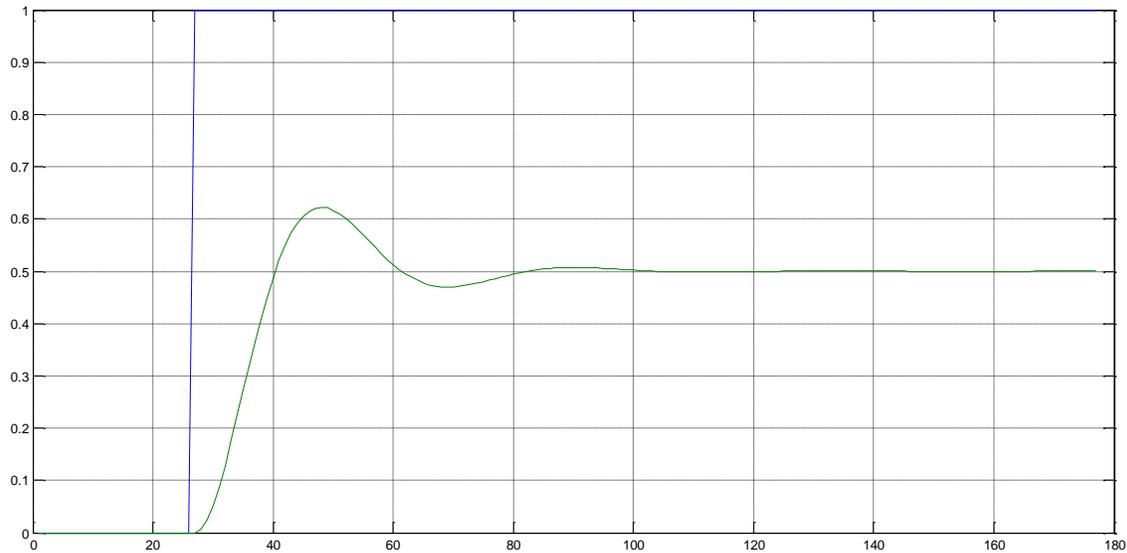
Para analizar las condiciones del sistema se utiliza una señal de entrada del tipo escalón, ya que esta permite conocer la respuesta del sistema frente a cambios abruptos en su entrada. Así mismo, nos da una idea del tiempo de establecimiento de la señal, es decir, cuanto se tarda el sistema en alcanzar su estado

estacionario. Otra de las características de esta señal es que producto de la discontinuidad del salto, contiene un espectro de frecuencia en una amplia banda lo cual hace que sea equivalente a aplicar al sistema una gran cantidad de señales sinusoidales con un intervalo de frecuencias grande, esto hace que el sistema se pueda adaptar a otro tipo de señales de perturbación.

La respuesta de este modelo en lazo abierto, teniendo como entrada de referencia una señal escalón es:



**Figura 11. Respuesta de la planta en lazo abierto**



**Figura 12. Respuesta de la planta en lazo cerrado**

Es claro de ambas figuras que el sistema en lazo cerrado presenta una disminución de la ganancia dado a la retroalimentación negativa, este diferencia entre la referencia y la señal de salida de la planta se conoce como error de estado estable, y se puede solucionar de manera directa poniendo una ganancia de retroalimentación, con lo cual se llega a la referencia produciendo un cambio en la señal de error.

## IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL

Para el diseño del control se planea observar cuales son las condiciones del sistema, y como cambia el sistema para cada uno de los datos.

Para diseñar el control lógico difuso se usa la función **fuzzy** del matlab, esta despliega el siguiente cuadro:

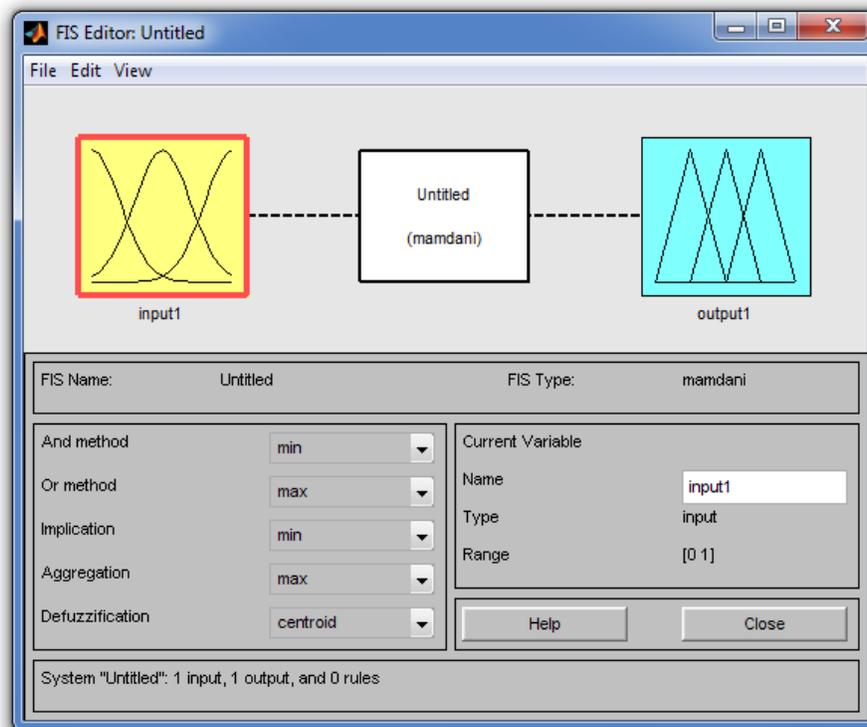


Figura 13. Función FUZZY de matlab

En esta se definen los valores en entrada, los valores de salida, el tipo de función, las reglas de inferencia y con esta información el sistema realiza el proceso de fuzzificación y desfuzzificación.

Primero se define a la entrada las funciones de membresía.

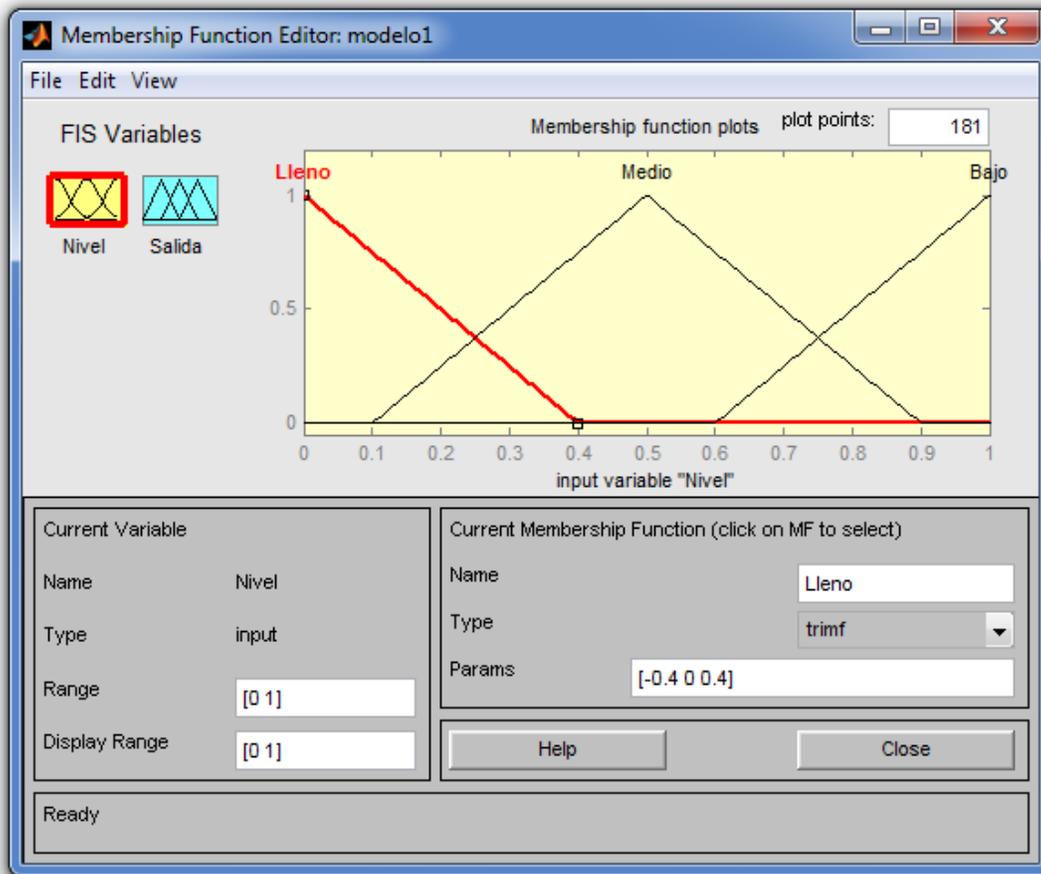


Figura 14. Funciones de membresía de entrada

Estas se implementan con una función de tipo triangular, pero en su implementación puede utilizarse otras funciones (figura 15), y se definen los tres parámetros del nivel tanque, lleno, medio y vacío.

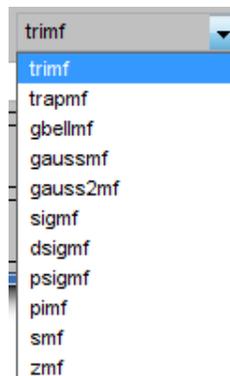
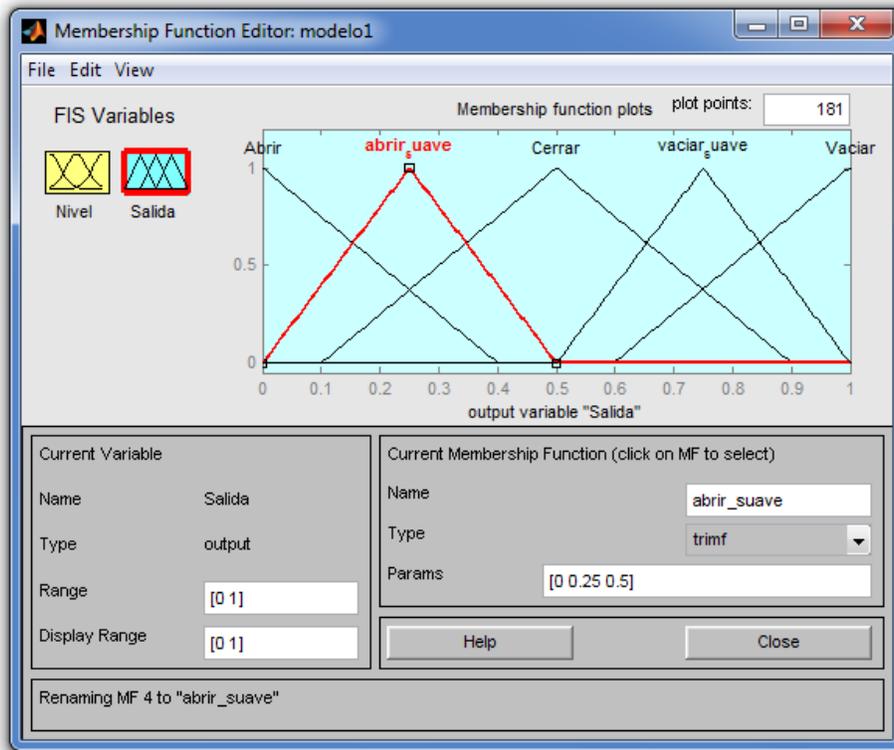


Figura 15. Tipos de función de membresía

Para los parámetros de control (salida), se ajustan los valores, aquí es importante el conocimiento del experto, para que de cierta forma pueda realizar los ajustes necesarios al parámetro de control.



**Figura 16. Funciones de membresía de salida**

Con estas condiciones se puede tener mejor control y se evita el sobre impulso del sistema.

## DISEÑO DE LA REGLAS

Para el diseño de las reglas se plantea como se hace el llenado del tanque teniendo como parámetros la medición del nivel, que funciona como entrada y la salida del sistema que es la válvula, que permite llenar o vaciar el tanque.

Para esto se hacen las inferencias necesarias, estas se pueden plantear básicamente así:

1. Si el tanque está vacío llenarlo con abrir.
2. Si el tanque va más de la mitad, se debe abrir suave.
3. Si el tanque está lleno, se debe cerrar.
4. Si se desborda el nivel, se debe dejar salir el agua.

Para estas inferencias se usara el modelo Mandami, el cual queda implementado así:

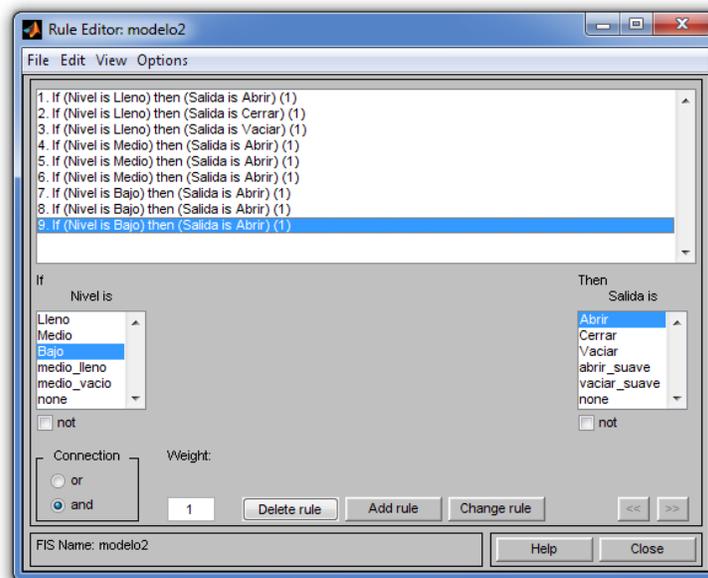


Figura 17. Implementación de las reglas

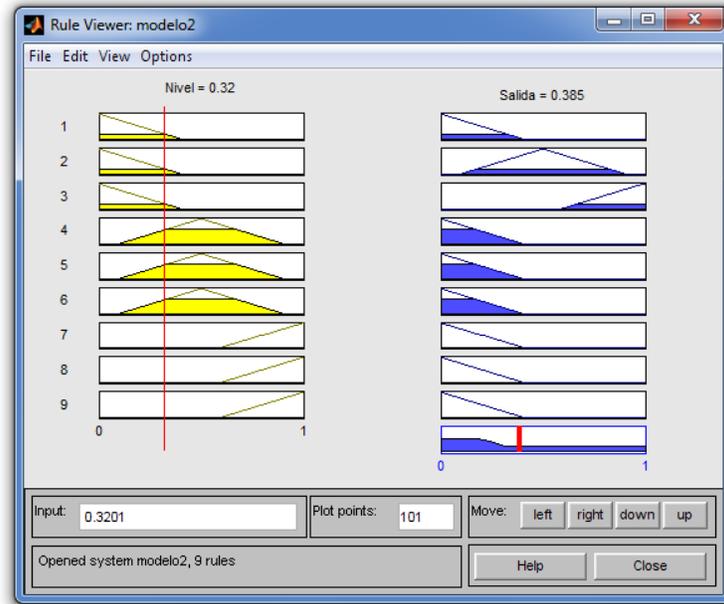


Figura 18. Vista de las reglas

## RESPUESTA DE LA PLANTA MODIFICANDO LOS CONTROLES

Para implementar el modelo se implementa el siguiente modelo:

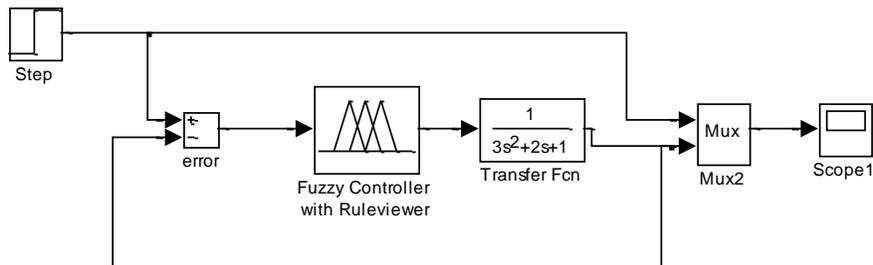


Figura 19. Modelo de la planta con el control

La respuesta de la planta, frente a una entrada impulso es la siguiente:

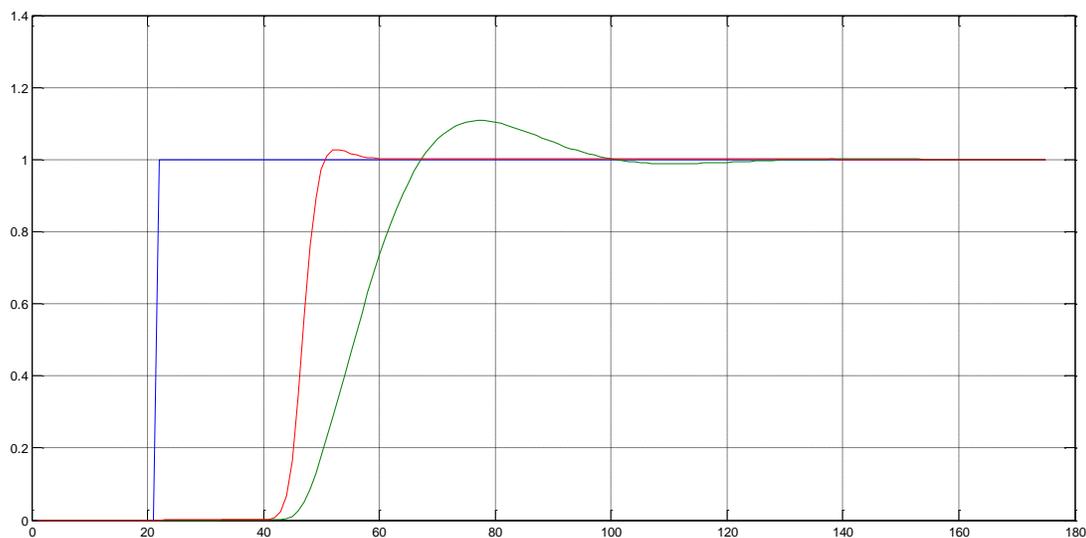
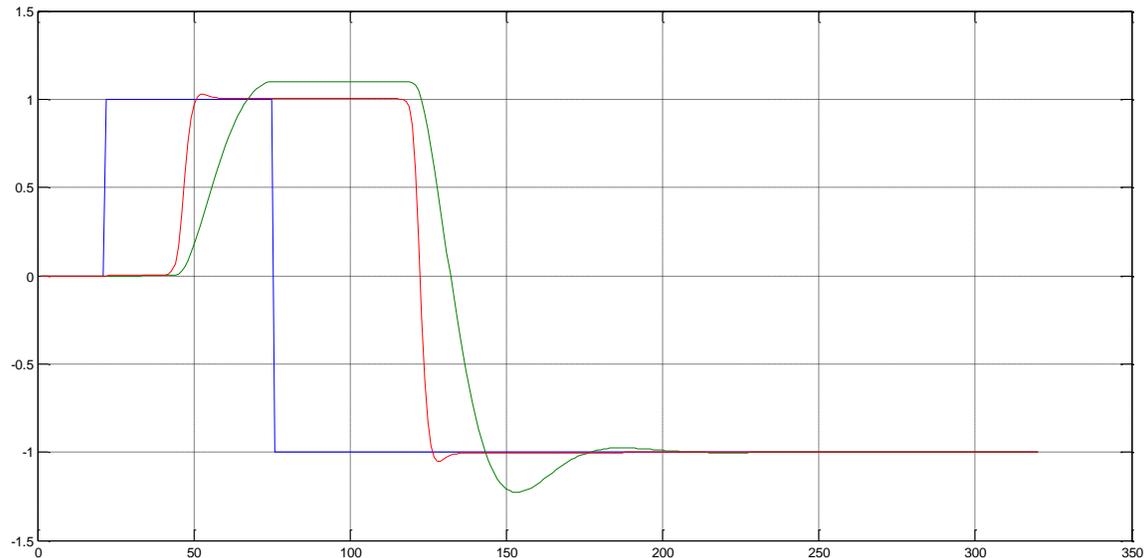


Figura 20. Respuesta de la planta con el controlador fuzzy

De la figura se ven la línea azul, que es la señal de referencia, el color verde es la respuesta de la planta en lazo abierto, y la señal de rojo muestra la respuesta de la planta frente a la acción de control, es claro que el control mejora la respuesta del sistema, casi que elimina las sobre oscilaciones, y sigue rápidamente la referencia.

Si se aplica una perturbación, se ve como el control anula esta acción y mantiene la referencia.



**Figura 21. Sistema afectado por perturbaciones**

Este tipo de controladores es implementable físicamente, y sus acciones de control son intuitivas, al no requerir de un análisis matemático muy fuerte, es importante el planteamiento de las inferencias de forma correcta para que el diseño funcione, es allí donde el trabajo del experto o conocedor del modelo se hace importante.

## EPILOGO

Los sistemas de control lógico difuso permiten modelar controles que se adaptan a las necesidades de las plantas o los modelos, este control parte de los conocimientos del experto, para crear una serie de reglas tacitas que explican los principales modos de comportamiento, esto permite determinar las variables a tener en cuenta tanto para observar como para controlar el sistema.

Dentro del modelo se desarrollaron actividades que permitieron un acercamiento a los principios teóricos, y de aplicación del sistema de control. Para esto se tomo como base un sistema de nivel, el cual se modelo con un sistema de segundo orden, se analizo el modelo tanto en lazo abierto como en lazo cerrado de esta forma se identifica el comportamiento y se pueden establecer las reglas que permitan ajustar el control sintonizando los parámetros.

Se estructura el trabajo partiendo desde los objetivos específicos, primero partiendo de un reconocimiento de la literatura acerca de los sistemas lógicos difusos, identificando las principales ideas y su evolución como sistema implementable a sistemas reales, y como se han incluido los principales referentes teóricos haciendo una recopilación que permita tener una idea clara de este tipo de control.

Los sistemas de control lógico difuso a pesar de ser sistemas descriptivos y que tienen unos principios matemáticos apenas en desarrollo y es necesaria la experiencia del experto del sistema para crear las reglas del control, es posible implementarlo en sistemas reales, es por eso que para el segundo objetivo se exploran las principales aplicaciones y se da un panorama general de aplicación de la lógica difusa en sistemas físicos reales.

Al finalizar teniendo en cuenta todo el desarrollo tecnológico y conociendo los dos tipos de modelos de aplicación (Reglas Mandami y Takagi Sugeno Kan), se implementa en un modelo virtual a través de matlab y simulink y se analizan los principales resultados, viendo como las reglas establecidas ayudan de forma considerable el sistema, sin ser expertos, y que el uso de un modelo de implementación a través de reconocimiento experimental a través del ensayo y error es posible mejorar las condiciones del sistema.

## CONCLUSIONES

El control lógico difuso es una alternativa robusta y flexible de control, con una amplia variedad de aplicaciones y sin rigores matemáticos, aunque es necesario especificar de forma correcta los parámetros en los que trabajarán las variables de entrada y salida y que las reglas realizadas funcionen de forma correcta con respecto a los parámetros físicos reales, es decir para realizar un control lógico difuso se debe conocer a fondo el funcionamiento del sistema.

Se concluye también que las reglas deben relacionarse para evitar posibles confrontaciones. Mientras más reglas se realicen más aproximaciones a un buen control se tendrá.

Los sistemas de control lógico difuso han tenido mayor aceptación y mayor implementación dado el desarrollo de los sistemas micro controlados, y sistemas computacionales esto permite la implementación de mayor número de reglas y de mejorar los tiempos de respuesta de los mismos.

El modelo de implementación es realizable en los sistemas físicos, además de que se pueden ajustar los parámetros para hacer que el costo computacional sea menor y la respuesta del controlador llegue a un punto de funcionar en tiempo real, evitando latencia en los tiempos de la implementación.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Hayes, J. Michie y L me Mikulich (eds) . Una teoría de la aproximación de Inteligencia de razonamiento, de la máquina 9, , 149-194. Nueva York: Halstead Press, 1979.
- [2] JM Dunn y G. Epstein. Lógicas locales y difusos, ( RE Bellman), memorándum ERL M-584 de 1976.
- [3] Lógica difusa (en:) <http://maxsilva.bligoo.com/content/view/207388/Logica-Difusa.html> (fecha) 24 de mayo de 2012
- [4] PEREZ, Iván. LÓGICA DIFUSA PARA PRINCIPIANTES. Teoría y Práctica. PEREZ, Iván. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas 2007
- [5] PIGNANI, Juan Manuel. Sistemas Expertos (Expert System)-Orientación I: Informática aplicada a la Ingeniería de Procesos-Ingeniería Química. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario
- [6] R Pérez Pueyo - DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS TÉCNICAS DE LÓGICA DIFUSA. 2005.
- [7]LÓGICA CLÁSICA VERSUS LÓGICA DIFUSA Dr. Zadeh. Information and control 1965.
- [8] Lógica difusa (en):  
[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lmt/ramirez\\_r\\_o/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/ramirez_r_o/capitulo3.pdf)  
(fecha): 23 de Mayo de 2012.