

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SISTEMAS E
INFORMÁTICA**

**INTERPOLACIÓN CHEBYSHEV COMO FUNCIÓN
MEMBRESÍA EN LÓGICA DIFUSA ABANCAY 2017**

Autores:

Dr. Toribio TAPIA MOLINA

M.Sc. José Luis MERMA ARONI

ABANCAY, 2018

ÍNDICE

ÍNDICE	i
I. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	6
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	6
1.2 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.2.1 Delimitación espacial	7
1.2.2 Delimitación temporal.....	7
1.2.3 Delimitación social.....	8
1.2.4 Delimitación conceptual.....	8
1.3 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	8
1.4 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.5 HIPÓTESIS Y VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	9
1.6 VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN	9
1.6.1 Definición Conceptual de las Variable	9
1.6.2 Operacionalización de las Variables.....	10
1.7 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	11
1.7.1 Tipo y nivel de investigación.....	11
1.7.1.1 Tipo de investigación.....	11
1.7.1.2 Nivel de investigación.....	12
1.7.2 Método y diseño de investigación	12
1.7.2.1 Método investigación	12
1.7.2.2 Diseño de la investigación.....	12
1.8 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	13
1.9 MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	13
1.9.1 Método.....	13
1.9.2 Técnicas.....	14
1.9.3 Instrumentos	14
1.10 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.10.1 Justificación.....	15
1.10.2 Importancia.....	15
1.11 LIMITACIONES.....	15
II. MARCO TEÓRICO	16
2.1 ANTECEDENTES.....	16
2.1.1 Internacionales.....	16

2.1.2	Nacionales	20
2.1.3	Local.....	23
2.2	BASES TEÓRICAS	24
2.2.1	Interpolación de chebyshev como función membresía en lógica difusa	24
2.2.2	Lógica borrosa.....	26
2.2.3	Definición de términos básicos	38
III.	ANÁLISIS Y DISEÑO DE LOS SISTEMAS EN LÓGICA DIFUSA.....	42
3.1	ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE ROBOT MÓVIL	42
3.1.1	Reglas de modelado del sistema de control de robot móvil	42
3.1.2	Variables lingüísticas del modelado del sistema de control de robot móvil.....	43
3.1.3	Interface de resultados del sistema de control mediante Fuzzy Logic de Matlab	47
3.1.4	Interface construido con la interpolación Chebyshev.....	47
3.2	ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUA	47
3.2.1	Reglas Modelado de sistema para control de calidad de agua.....	47
3.2.2	Variables lingüísticas del Modelado de sistema para control de calidad de agua	49
3.2.3	Interface de resultados del sistema de control de calidad de agua mediante Fuzzy Logic de Matlab	53
3.2.4	Interface construido con la interpolación Chebyshev para el control de calidad de agua..	53
IV.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	54
4.1	ANÁLISIS DE LA FUNCIÓN PERTENENCIA E INTERPOLACIÓN DE CHEBYSHEV ..	55
4.1.1	Análisis de función pertenencia triangular e interpolación de Chebyshev.....	55
4.1.2	Análisis de función pertenencia trapezoidal e interpolación de Chebyshev.....	56
4.1.3	Análisis de función pertenencia sigmoideal e interpolación de Chebyshev.....	57
4.1.4	Análisis de función pertenencia gauusiana e interpolación de Chebyshev	58
4.2	ANÁLISIS DE CENTROIDES PARA LA ORIENTACIÓN DEL ROBOT MÓVIL	59
4.2.1	Análisis para funciones de pertenencia teórica para la orientación del robot móvil.	59
4.2.2	Análisis funciones de pertenencia Chebyshev para la orientación del robot móvil	60
4.3	ANÁLISIS DE CENTROIDES PARA LA VELOCIDAD DEL ROBOT	61
4.3.1	Análisis para funciones de pertenencia teórica para la velocidad del robot móvil.....	61
4.3.2	Análisis para funciones de pertenencia Chebyshev para la velocidad del robot móvil.....	62
4.4	ANÁLISIS DE CENTROIDE PARA LA CALIDAD DE AGUA	63
4.4.1	Análisis para funciones de pertenencia teórica para la calidad de agua.....	63
4.4.2	Análisis para función de pertenencia Chebyshev para la calidad de agua	66
4.5	PRUEBA DE HIPÓTESIS	71

4.5.1	Prueba de la hipótesis 1	71
4.5.2	Prueba de la hipótesis 2	73
CONCLUSIONES		76
RECOMENDACIONES		77
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA		78
ANEXOS		81

APÍTULO I

I. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

El concepto de lógica difusa es muy común utilizarlo en la vida diaria, está asociado con la manera en que las personas perciben el medio ambiente, desde diferentes perspectivas teniendo cada uno un concepto distinto respecto a un objeto en estudio.

A nivel internacional, el uso de la interpolación Chebyshev como una función de membresía en lógica difusa es limitado por las siguientes causas: Su uso es limitada a algunas aplicaciones como por ejemplo a la teoría de aproximación de funciones y así mismo en el desarrollo de filtros electrónicos como son FM y AM según el libro de procesamiento de señales analógico y digitales (Ashok Ambardar) y el peiper Polinomio de Chebyshev (Ramon Abascal). De acuerdo al libro Minería de datos basado en sistemas inteligentes (Britos Hossian), los softwares están implementados con funciones de membresía definidas para redes neuronales y lógica difusa en vista que las funciones de

membresía trapezoidales, sigmoïdal y gaussiana están definidas en los programas como MatLab, Java y entre otros lenguajes de programación.

El problema que presenta la interpolación de Chebyshev es que tiene un margen de error, esto se debe al número adecuado de nodos para la interpolación, Cuando se aumenta el grado del polinomio, observamos que a pesar de que ambos métodos parecen ajustar bien, el hallado a partir de los nodos de Chebyshev es óptimo ya que podemos distinguir la cantidad de error sobre todo en los extremos, y lo corroboramos consultando las medidas de error. Esta afirmación lo realiza Stefano Nasini en sus apuntes titulado: Minimizar el error de Interpolación considerando las raíces del polinomio de Chebyshev. Otra causa de error es que en los extremos de polinomio Chebyshev no se realiza interpolación. Se ve que el error que surge de la aproximación es muy pequeño, aunque el gráfico en el que aparecen ambas curvas es engañoso de acuerdo a la escala, se observa el error distribuirse en forma desigual y crece en los extremos del intervalo según el libro introducción al cálculo numérico (Goyoneche Juan José; 2003). Introducción al cálculo numérico.

A nivel nacional, no se ha utilizado la interpolación de Chebyshev en lógica difusa revisando repositorios se ha encontrado el uso de chebyshev en temas como: estudio de los métodos espectrales en ecuaciones diferenciales en una sola dimensión y su comparación con el método de diferencias finitas (Sáenz López, 2015), diferencias finitas y métodos espectrales para ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales (Felix Alvino, 2015).

1.2 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Delimitación espacial

La presente investigación se ha realizado en la universidad tecnológica de los andes.

1.2.2 Delimitación temporal

La investigación se realizó desde el mes de diciembre de 2017 hasta octubre de 2018

1.2.3 Delimitación social

Enriquecer el campo disciplinar para aportar teorías en el campo de la ingeniería y aplicaciones para el medio.

1.2.4 Delimitación conceptual

La presente investigación abarca tres conceptos fundamentales como: la lógica difusa, interpolación de Chebyshev y como caso de estudio control de móvil y calidad de agua.

1.3 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

a. Problema principal

¿En qué medida la interpolación Chebyshev se ajusta como función membresía en la lógica difusa?

b. Problema secundario

1. ¿De qué manera la Interpolación de Chebyshev como función de membresía se ajusta al modelo Mandani?
2. ¿De qué manera la Interpolación de Chebyshev como función de membresía se ajusta al modelo Tsukamoto?

1.4 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

a. Objetivo general

Demostrar que la interpolación de Chebyshev se ajusta como función de membresía en la lógica difusa.

b. Objetivos específicos

1. Demostrar que la Interpolación de Chebyshev como función de membresía en la lógica difusa se ajusta al modelo Mandani.
2. Demostrar que la Interpolación de Chebyshev como función de membresía en la lógica difusa se ajusta al modelo Tsukamoto.

1.5 HIPÓTESIS Y VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

a. Hipótesis general

La interpolación Chebyshev como función de membresía en la lógica difusa se ajustará significativamente en la lógica difusa.

b. Hipótesis específicas

1. La Interpolación de Chebyshev como función de membresía en la lógica difusa se ajustará significativamente al modelo Mandani.
2. La Interpolación de Chebyshev como función de membresía en la lógica difusa se ajustará significativamente al modelo Tsukamoto.

1.6 VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN

1.6.1 Definición Conceptual de las Variable

Interpolación De Chebyshev. - La interpolación de Chebyshev como función de membresía es la función de membresía de un conjunto el cual indica el grado en que cada elemento de un universo dado, pertenece a dicho conjunto. Es decir, la función de membresía de un conjunto A sobre un universo X será de la forma:

$A \equiv \{ \langle x, \mu_A(x) \rangle / x \in \mu \}$ donde $\mu_A(x)$ es llamado función de membresía. El intervalo de $\mu_A(x) \rightarrow [0,1]$, donde $\mu_A(x) = r$ si r es el grado en que $x \in A$. (Jan Jantzen, 2007)

1.6.2 Operacionalización de las Variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Instrumentos	Ítems	Valoración
Variable independiente Interpolación de Chebyshev como función de membresía	Tipos de función de pertenencia	Igualdad de la función Triángulo, trapecio, Sigmoidal y gaussiana con la interpolación Chebyshev	Ficha de observación a los resultados de la prueba	Salida de datos al evaluar funciones	Número real
Variable dependiente Lógica Difusa	Modelo Mandani	Igualdad de centroide del sistema control de un robot móvil al usar funciones triángulo y trapecio e interpolación de Chebyshev	Reporte de pruebas	Centroide de orientación	Número real
				Centroide de velocidad	Número real
	Modelo Tsukamoto	Igualdad de centroide del sistema control de calidad de agua al usar funciones sigmoidal y gaussiana e interpolación de Chebyshev	Reporte de pruebas	Centroide de calidad de agua	Número real

Fuente: Elaboración propia

1.7 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1 Tipo y nivel de investigación

1.7.1.1 Tipo de investigación

Las investigaciones no experimentales están divididas en dos transaccional y longitudinal. Los diseños de investigación transaccional o transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único, su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelacionar en un momento dado. Los diseños transaccional exploratorios tratan de una exploración inicial en un momento específico. Por lo general, se aplican a problemas de investigación nuevos o pocos desconocidos; además, constituyen el preámbulo de otros diseños (no experimentales y experimentales). (Hernández, Fernández y Baptista, 2006:209).

En la presente investigación se identifican los siguientes tipos:

De acuerdo a la orientación es una investigación Básica, porque está dirigido a solucionar el problema de la realidad como es el control de la automatización mediante la lógica difusa.

De acuerdo a la técnica de la contrastación es experimental, en su variable cuasi-experimental por que los datos obtenidos son por observación las cuales han sido condicionados por el investigador.

De acuerdo con el tipo de recolección de datos es proyectiva, porque los criterios de recolección de datos fueron diseñados por el investigador.

De acuerdo a la comparación de las poblaciones es comparativa, porque se tiene un grupo de control y otro grupo experimental.

1.7.1.2 Nivel de investigación

De acuerdo a su naturaleza de estudio de la investigación reúne por su nivel la característica de ser un estudio explicativo, porque solo se ha estimado parámetros de acuerdo a las variables, y con ello se ha llegado a explicar y demostrar que la interpolación de Chebyshev como función membresía en lógica difusa también puede ser usada dentro de la lógica difusa, para nuestro caso no se ha realizado ninguna correlación.

1.7.2 Método y diseño de investigación

1.7.2.1 Método investigación

Los principales métodos que se usarán en la investigación son: Análisis, síntesis, hipotético deductivo, descriptivo estadístico.

Para recolectar los datos se usó el método de la observación de acuerdo a la ficha de observaciones según el anexo Nro. 02, anexo Nro.03

1.7.2.2 Diseño de la investigación

“El diseño es un plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información que requiere en una investigación” (Hernández, Fernández y Baptista, 2006:157).

Para llevar a cabo la presente investigación se tuvo en cuenta la muestra para su análisis, se clasificó en dos grupos, grupo experimental y grupo de control.

El esquema de la presente tesis es cuasi experimental, la cual está conformada

por el grupo de control con los valores de las funciones de membresías establecidas en la lógica difusa y el otro grupo experimental conformado por la interpolación de Chebyshev.

El diseño de la investigación fue de la siguiente forma:

G1	O1	X	O2
G2	O3	X	O4

Donde:

G1: Grupo de robot móvil

G2: Grupo de calidad de agua

X: Estímulo de la Interpolación de Chebyshev

O1: medición al grupo 1 (medición, observación)

O2: medición al grupo 1 aplicando el estímulo (observación)

O3: medición al grupo 2 (medición, observación)

O4: medición al grupo 2 aplicando el estímulo (observación)

1.8 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

La población para la prueba del experimento es infinita ya que las entradas de datos a los sensores del sistema del robot móvil y la calidad de agua son valores aleatorios. Para determinar la muestra se ha realizado por conveniencias, para ello se ha tomado un total de 456750 muestras para el caso del control del sistema de robot móvil, para el caso de control de calidad de agua se ha tomado un total de 419904.

1.9 MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

1.9.1 Método

Para recolectar la funcionalidad de la interpolación de Chebyshev como función membresía se ha realizado mediante la simulación.

Para recolectar los datos se usó el método de la observación en los grupos de robot móvil y grupo de calidad de agua establecidos en forma aleatoria.

1.9.2 Técnicas

“Los métodos empíricos de investigación permiten efectuar el análisis preliminar de la información, así como verificar y comprobar las concepciones teóricas” (Radrigan, 2005:20).

Se usó la observación estructurada de acuerdo a la ficha de observación como se indica en el anexo Nro. 02 y 03.

1.9.3 Instrumentos

En la recolección de datos se deben considerar cuatro pasos:

- La construcción de formatos para recabar la información que servirán para organizar los datos recolectados.
- Su asentamiento en el formato de recopilación de datos. (Neil J. Salkind, 1999:160).
- En cuanto a las actividades que se realizó para recolectar los datos se empleó el programa MS Excel que sirve para tabular las observaciones.
- Para el análisis de las diferentes variables, procesamiento y presentación de resultado, se ha utilizado diferentes estadígrafos como son la media aritmética, desviación estándar y las medidas estadísticas correspondientes y para la prueba de las hipótesis se utilizó la tabla Z por que el número de la muestra es mayor a 30 y con una confiabilidad del 95%.

1.10 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.10.1 Justificación

La automatización en el departamento de Apurímac aún no se ha consolidado es por ello que se plantea brindar de nuevas formas de resolver problemas mediante la lógica difusa.

Aportar unos nuevos conocimientos, el cual es el uso de una interpolación de Chebyshev como función membresía en la lógica difusa

1.10.2 Importancia

Permite descubrir otras funciones de membresía diferentes a las existentes los cuales pueden ser aplicables en la lógica difusa. . La aplicación de la interpolación de Chebyshev en la lógica difusa es otra forma de solucionar problemas de incertidumbre la cual se ha demostrado en la presente investigación.

1.11 LIMITACIONES

El número de particiones para la interpolación de chebyshev dentro del programa está definida con 65 particiones.

No se va realizar pruebas para el caso de la función de membresía Bell, LR, singleton.

CAPÍTULO II

II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

Al año 2018, existen tesis relacionadas con la lógica difusa y Chebyshev, de las cuales se puede rescatar las siguientes:

2.1.1 Internacionales

- **Morales Mancilla, Guerra Crespo, Cossío Martínez y otros (2015)** en su investigación “Modelo Neuro-difuso para el control de temperatura ambiental y humedad del suelo para cultivar el insecto NIII (Llaveia Axin)”. Donde su objetivo es el estudio de la cochinilla para la producción de la laca. Este material orgánico se obtiene exclusivamente de los ácidos grasos de las hembras del insecto cochinilla (Llaveia Axin), aproximadamente se producen 2.2 kg de laca de 17000 hembras de dicho insecto. Para el desarrollo de este proyecto se utilizó un sistema de control Neuro-Difuso el cual utiliza la combinación de dos técnicas de la inteligencia artificial, como son las redes neuronales artificiales (RNA) y la lógica difusa (LD). Los resultados obtenidos

en el diseño e implementación del sistema Neuro-Difuso, demuestran que el sistema cumple con las características para el proceso de la crianza de la cochinilla de la laca. Los controladores lógicos o difusos surgen de la necesidad de resolver problemas complejos con resultados imprecisos, para los cuales las matemáticas y la lógica clásica no son suficientes y que no son de fácil caracterización. El desarrollo de este trabajo servirá para futuros trabajos de investigación con la aplicación de los sistemas Neuro-Difusos. Para visualizar de manera gráfica los procesos del control de humedad y temperatura, se puede pasar a LabView la red neuronal y la lógica difusa, quedando la placa Arduino como una tarjeta de adquisición de datos.

- **García Olivo (2013)**. En su tesis doctoral titulado “El método Chebyshev para el cálculo de raíces de ecuaciones no lineales”. Se enmarca en el área de las matemáticas aplicadas conocida como métodos numéricos, específicamente dentro de su trabajo realiza una descripción de los logros e inventos que ha tenido Pafnuty Lvóvich Chebyshev, ha realizado a profundidad el estudio del método de Chebyshev en solucionar problemas de tipo $f(x)=0$, donde “f” es la función real continua de la variable “x”, para las demostraciones del método de Chebyshev usa diferentes lemas, teoremas y definiciones. Además, Demuestra en cada capítulo las diferentes propiedades con que cumple y especialmente si es convergente la resolución de las ecuaciones no lineales por este método por la cual este método garantiza que existe solución y finalmente llegar a proponer aplicaciones en la que se puede dar uso.
- **MM Janela Teresa (2013)**, en su investigación titulada “Fuzzy based genetic neuronal network for de classification of murder cases using trapezoidal and Lagrange interpolation membership functions”. En este trabajo se describe la construcción de un sistema de toma de decisiones para ser utilizado por los

jueces que están a punto de dictar sentencia en los casos de asesinato. Los modelos de clasificación de los casos de asesinato basada en red neuronal difusa con pesos aleatorios y red neuronal difusa con pesos basados algoritmo genético están diseñados. Un programa de simulación en C ++ se ha debatido y desarrollado para el análisis de las consecuencias. Los resultados muestran que las redes neuronales difusas aumentan la tasa de convergencia en comparación con las redes neurales convencionales con algoritmo de Backpropagation. Eso también se informa de las redes neuronales difusas para la clasificación de los casos de asesinato utilizando trapezoidal Membresía Función superan interpolación de Lagrange y función de membresía de Gauss. Los estudios comparativos se llevan a cabo para un número de redes y configuraciones.

- **Graciela María de Jesús y Mario I. Chacon** (2005); en su artículo de investigación “Reconocimiento de Defectos en Maderas Utilizando una Red Neuro Difusa”, Esta tesis, describe un clasificador neuro difuso, que diferencia entre 4 tipos de defectos en maderas conocidos como botones. La inspección visual de estos defectos por humanos, tiene un alto grado de complejidad ya que dentro de una misma clase existen variaciones en forma, tamaño y color. Las características utilizadas por el clasificador se extrajeron de las imágenes de maderas mediante filtros Gabor 2D. Estos filtros son muy utilizados para imágenes, en donde la textura es un factor importante. El reconocimiento que se alcanzo fue del 97.05% la cual es un resultado aceptable, teniendo en cuenta que el inspector humano alcanza un reconocimiento entre el 75 y 85%.
- **Márquez H. y Francisco A.**(2009), en su tesis doctoral titulada,

“Cooperación entre sistemas de inferencia, métodos de defuzzificación y aprendizaje de sistemas difusos lingüísticos”, que tuvo como objetivo, mejorar la precisión del modelado difuso lingüístico(MDL) preservando un alto nivel de interpretabilidad de los modelos obtenidos, recurriendo para ello al aprendizaje de los operadores que intervienen en el sistemas de inferencias(SI), su ampliación en la interfaz de defuzzificación y finalmente también el aprendizaje conjunto con la base de reglas(BR), con el fin de encontrar una sinergia positiva entre estos componentes. Llegando a la siguiente conclusión, después de realizar diferentes estudios sobre el aprendizaje de los parámetros del mecanismo de inferencia (MI) con la selección de reglas, existe un conjunto de óptimos locales con una alta precisión y que presentan un número diferente de reglas. Esto sugiere que el problema de ajuste y selección es fuertemente multimodal, y es de especial interés porque dentro de este conjunto de óptimos podríamos buscar las soluciones con menor número de reglas, obteniendo modelos más simples con la misma o similar precisión.

- **Barragán** (2009), en su tesis doctoral titulada, “Síntesis de sistemas de control borroso estables por diseño”, que tuvo como objetivo establecer una metodología de diseño de controladores borrosos lo más general posible, de forma que se garantice la estabilidad del sistema de control en lazo cerrado. La conclusión a la que arriba, refiere que no es necesario conocer el modelo matemático de la planta ni poseer conocimientos previos sobre su dinámica, ya que su modelo puede ser obtenido a partir de datos de entrada/salida y su dinámica estudiada a partir de dicho modelo. Evidentemente, si se posee información relativa a la planta podrá utilizarse para facilitar tanto el proceso

de modelado como el posterior diseño del controlador.

2.1.2 Nacionales

- Ruiz de Somocurcio Salas (2008), en su tesis “Control de tráfico vehicular automatizado utilizando lógica difusa”, que tuvo como objetivo desarrollar un sistema de control de tráfico de bajo costo energético y monetario basado en conteo de vehículos existiendo la tecnología de conteo, su otro objetivo es generar reporte semanal con las condiciones de tráfico según la hora y el día de la semana pudiendo calcular las horas pico. Llegando a las siguientes conclusiones: El sistema trabaja con focos de led, por lo que se puede apreciar un ahorro energético de 92.5 % y 96.7%. La diferencia que se aprecia con el sistema realizado y el fuzzy de matlab es que el microcontrolador no realiza operaciones en punto flotante si no en enteros conllevando a artificios y cubrir dos cifras decimales.
- **Vilca y Vidarte** (2010), en su tesis “Diseño e implementación de un sistema de control difuso de agua temperada de uso doméstico”, la cual tuvo como objetivos diseñar e implementar un sistema de control de temperatura de agua utilizando resistencias eléctricas sometidas a un control difuso que permita la optimización, a nivel de usuario, del uso de agua caliente, reduciendo el consumo innecesario y brindando la cantidad de agua necesaria. Llegando a las siguientes conclusiones: El empleo de controlador difuso, con resistencia eléctrica, logró establecer el valor de la variable temperatura en un máximo de 12 segundos (en contraste a 20 que tardo en calentar el agua sin controlador). Con la cual se disminuyó en el consumo de energía eléctrica en un 50%, si el número de usuarios esta entre 2 y 3 y en 15% si el número de usuarios es de 3 y 5, en comparación de los calentadores de almacenamiento. El sistema puede

operar en climas parecidas a la ciudad de Lima ya que el sensor y controlador pueden trabajar en temperaturas de 0 a 50°C, y el agua puede calentarse a una temperatura máxima de 20°C. En caso de climas drásticos como en Puno se debe cambiar la resistencia eléctrica por unas de mayor potencia para obtener valores de temperatura adecuados para el usuario.

- **Calderón Mendoza (2014)**, en su tesis “Desarrollo de un sistema de control neuro-difuso de la distribución de agua en un tramo de un canal principal de riego”, su objetivo fundamental es el desarrollo e implementación práctica del sistema efectivo de control automático de la distribución de agua en los canales principales de riego, consiste en satisfacer a pesar de la incertidumbre, las demandas de agua por los usuarios garantizando que los volúmenes de agua entrados desde la fuente de abastos se correspondan con las necesidades reales, así se minimice la pérdida por concepto de operación en todo el canal. Llegando a las siguientes conclusiones: Se realizaron las pruebas de simulación bajo distintas pruebas de perturbación y perturbación de parámetros de la planta estableciéndose de manera cualitativa una rápida respuesta del sistema de control sin presencia de sobre impulso respecto a un controlador PI (controlador de acción proporcional e integral). Se realizó el diseño e implementación de un controlador neuro-difuso de acuerdo a diferentes particiones y bases de reglas establecidas y mediante pruebas de simulación se determinaron que la base de la regla resultante de tres particiones en el rango de valores de las variables de estado es suficiente para controlar la planta.
- **Saenz (2015)**, “Estudio de los métodos espectrales en ecuaciones diferenciales de una dimensión y su comparación con el método de diferencias finitas”,

donde hace referencia al polinomio de Chebyshev en el capítulo I en vista que son adecuadas para representar funciones de dominio finito y su relación de recurrencia asociada. En el capítulo 3 se da ejemplos de la implementación numérica de la ecuación de calor usando los métodos de diferencias finitas y los métodos espectrales, usando polinomios de Chebyshev. Llegando a la conclusión: En este trabajo, se observa que el método espectral da resultados más precisos cuando se usa un N de término en la expansión de la solución aproximada $u_N(x,t)$ comparada con el mismo número de particiones del dominio espacial usando el método de diferencias finitas, aunque el método espectral es más laborioso de implementar, el trabajo extra se compensa al obtener una precisión muy aceptable para un número N muy grande.

- **Fernández** (2017), en su tesis de maestría “propuesta didáctica y conocimientos de un método espectral (método de Chebyshev), en la especialidad de matemática”, donde su objetivo planteado es evaluar los métodos espectrales con métodos de series y polinomio de Chebyshev en la especialidad de matemática aplicada respecto a los métodos espectrales(semiespectrales numéricos), y a partir de tales proponer nuevas alternativas de cambio de didáctico para su mejor aprendizaje y correspondientemente su aplicación, para la mejor preparación y este enfoque tenga la capacidad y habilidad de enfrentar retos futuros desconocidos. Llegando a la siguiente conclusión: Se aplicó técnicas con que se obtienen las aproximaciones de los polinomios que resultan ser eficientes desde el punto de vista del cálculos a realizar, una vez que se conoce $P_n(x)$, es fácil determinar $P_{n+1}(x)$, los polinomios de Chebyshev solo requieren las formula de

recurrencia para generar $T_{n+1}(x)$ y el problema de aproximación de mínimos cuadrados se simplifica grandemente. Una de las aplicaciones del polinomio de Chebyshev es el ahorro de cálculo pues logra disminuir el grado del polinomio de aproximación, con una pérdida mínima de exactitud.

- **Félix (2015).** En la tesis “Diferencias finitas y métodos espectrales para ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales”, realiza una exposición de las generalidades de dos métodos numéricos más utilizados para resolver ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales: como son diferencias finitas y los métodos espectrales con respecto a Fourier y Chebyshev. Donde se plantea el objetivo de evaluar el método de diferencias finitas y métodos espectrales de Fourier o Chebyshev en el campo de las ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales para dar una solución aproximada a la solución original. Llegando a la siguiente conclusión: Las ecuaciones en derivadas parciales (EDP) constituyen uno de los principales campos de estudio en matemáticas, debido a su creciente aplicación en física, ingeniería y otras ciencias. Se ha visto que por lo general la solución de una EDP no es expresable en términos de funciones elementales, lo que dificulta el cálculo de las soluciones analíticas. Por lo tanto, es recomendable emplear métodos numéricos para resolver EDP cuando, para fines prácticos, basta generar soluciones aproximadas, pero de manera eficiente. El Método de Diferencias Finitas es una herramienta útil para calcular aproximaciones a las soluciones de algunas EDP.

2.1.3 Local

Habiendo revisado investigaciones relacionadas al tema que se desarrolla dentro de la región, no se ha podido encontrar trabajo alguno en el ámbito regional

relacionado al tema.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Interpolación de chebyshev como función membresía en lógica difusa

Para definir interpolación de Chebyshev como función membresía en lógica difusa se va desglosar la frase en cada sub tema que se detalla en los siguientes ítems.

2.2.1.1 Interpolación de chebyshev

Dada una función $f(x)$ definida en un intervalo $[a, b]$, la mejor aproximación polinómica de grado n será aquella que minimice $E[q(x)] \equiv \text{Max} | f(x) - q(x) |, \quad x \in [a, b]$.

Si un determinado polinomio $Q_N(x)$ hace que $E[q(x)]$ sea de valor mínimo entre todo los polinomios de grado n entonces se dice $Q_N(x)$ es la aproximación minimax de grado n de la función $f(x)$ en $[a, b]$. (Gil, Segura, temme, 2007)

2.2.1.2 Polinomio de chebyshev

Los polinomios de Chebyshev están estrechamente ligados a la teoría de la aproximación de funciones, por lo que parecerían estar fuera de lugar en este trabajo dedicado a las ecuaciones diferenciales. No obstante, se introduce aquí su tratamiento tanto por sus notables similitudes con los polinomios de Legendre, como porque una de las principales aplicaciones de ambos la constituye el desarrollo de los filtros eléctricos, o filtros de ondas, de gran importancia en las ramas de la ingeniería eléctrica y electrónica (Solchiro, 1992)

$$T_k(x) = \cos(K \cos^{-1}(x)), \quad -1 \leq x \leq 1 \quad (1)$$

Los polinomios de Chebyshev en las series de potencia desarrollando la ecuación 1

está dado en:

Los polinomios se pueden generalizar usando la función recursiva como se muestra en la ecuación 2.

(2)

La forma de coseno de los polinomios de Chebyshev en la ecuación 1 indican que el mínimo y el máximo local es $-1 \leq x \leq 1$. La interpolación polinomial de Chebyshev se puede aplicar en cualquier rango distinto de $[-1,1]$ sobre el rango de interés. Si escribimos el rango de interpolación como $[a,b]$ la transformación está dada por la ecuación 3 o la forma equivalente la ecuación 4(Solchiro, 1992).

$$x = \frac{2z - a - b}{b - a} \quad (3)$$

Donde: $a \leq z \leq b$

$$z = \frac{(b - a)x + a + b}{2} \quad (4)$$

Donde: $-1 \leq x \leq 1$

Por consiguiente, los puntos Chebyshev z_n en el intervalo $[a, b]$ es la ecuación 5 la cual se utilizó para la presente investigación.

$$z_n = \frac{1}{2} \left[(b - a) \cos \left(\frac{k + \frac{1}{2} - n}{k} \pi \right) + a + b \right], \quad n = 1, 2, 3, 4, \dots, k \quad (5)$$

2.2.2 Lógica borrosa

Desde que Lotfy A. Zadeh (1965) de la universidad de Berkeley desarrolló este concepto de lógica difusa con su publicación de "conjuntos difusos", en los 70's la teoría continuo creciendo, surgieron las aplicaciones reales, es justo decir que la teoría difusa establecida como el campo independiente el gran parte debido a la dedicación y notablemente al trabajo de Zadeh, lo más fundamental de la teoría de lógica difusa fue propuesto por Zadeh en los 60's y cerca de los 70's, después él propuso los algoritmos difusos en 1968, (Li-Xin W. A 1997). Se ha trabajado en este tema, el principal centro de desarrollo es Japón, donde sus investigadores la han aplicado a muy diversos sistemas, principalmente electrodomésticos, sistemas más recientes están vinculados con la industria, la medicina y la actividad espacial. Muchas publicaciones y libros se han escrito de este tema, pero aún queda mucho por explorar.

Primero es indispensable establecer cierta nomenclatura y terminología. Cuando se habla de conjuntos nítidos, la variable típica a usar es la "X". En conjuntos difusos la función de pertenencia que se utiliza es la " μ ". Ésta toma los valores entre cero (0) y uno (1); como se mencionó, la forma de representación de los conjuntos difusos puede ser de dos maneras: de forma continua o discreta, como se presenta a continuación.

Un conjunto difuso se escribe con una tilde arriba del nombre del conjunto:

$$\tilde{A} = \{a, b, c\} \quad (6)$$

Ésta se utiliza para diferenciarlos de los conjuntos nítidos.

En la lógica difusa los conjuntos se pueden presentar en forma continua o discreta.

Conjunto difuso discreto:

$$\tilde{A} = \left\{ \frac{\mu_A(X_1)}{X_1} + \frac{\mu_A(X_1)}{X_1} + \dots \right\} = \sum_i \frac{\mu_A(X_i)}{X_i} \quad (7)$$

En este punto es importante recordar que el signo (+) no indica suma sino unión. Dicha forma de representación es muy empleada en los sistemas digitales como los microcontroladores, computadoras, entre otras aplicaciones.

Conjunto difuso continuo:

$$\tilde{A} = \left\{ \int \frac{\mu_A(X)}{X} dx \right\} \quad (8)$$

Un conjunto convencional se define por una función característica, que se conoce también como función de pertenencia. El símbolo de integral (\int) denota unión de elementos del conjunto (Ponce, 2010).

El concepto de lógica difusa es muy común, está asociado con la manera en que las personas perciben el medio, por ejemplo, ideas relacionadas con la altura de una persona, velocidad con la que se mueve un objeto, la temperatura dominante en una habitación, cotidianamente se formulan de manera ambigua y depende de quién percibe el efecto físico o químico, será su enunciado acerca de tal fenómeno. Una persona puede ser alta o baja, algo puede moverse rápido o lento, una temperatura puede ser baja o moderada o alta, se dice que estas afirmaciones acerca de una variable son ambiguas por qué es rápido, lento, bajo, alto y entre otras afirmaciones del observador, y estas pueden variar de un observador a otro. Uno se puede preguntar cuándo algo es frío o caliente, que tan baja es la temperatura cuando decimos frío, o que tan alta es cuando decimos caliente.

2.2.2.1 Conjunto borroso

Los conjuntos clásicos, tienen limitaciones, se define un universo de discurso que contiene a conjuntos cuyos bordes están bien definidos, un elemento puede o no

pertenecer a cierto conjunto, algo es verdadero o falso, no se definen situaciones intermedias. Los conjuntos borrosos son una extensión de los clásicos, donde se añade una función de membresía, definida ésta como un número real entre 0 y 1. Así se introduce el concepto de conjunto o subconjunto borroso y se asocia a un determinado valor lingüístico, definido por una palabra o etiqueta lingüística, donde ésta es el nombre del conjunto o subconjunto. Por cada conjunto se define una función de membresía o membresía denominada $\mu_A(x)$, indica el grado en que la variable x está incluida en el concepto representado por la etiqueta A ($0 \leq \mu_A(x) \leq 1$), si esta función toma el valor 0 significa que tal valor de x no está incluido en A y si toma el valor 1 el correspondiente valor de x está absolutamente incluido en A . Los conjuntos difusos pueden ser considerados como una generalización de los conjuntos clásicos (Mendel, 1995).

Para ejemplificar se muestra en la figura 3.1 se puede apreciar un ejemplo donde el conjunto velocidad (con variable x) está subdividido en 3 subconjuntos {Baja, Meda, Alta}, con sus respectivas funciones de membresía $\{\mu_{Baja}(x) \mu_{Media}(x) \mu_{Alta}(x)\}$

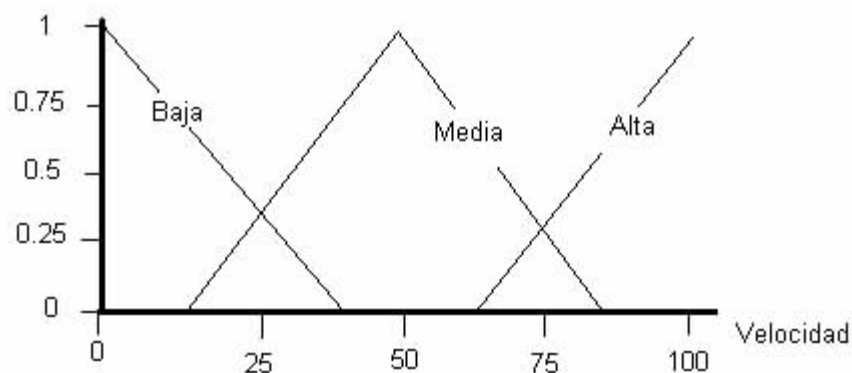


Figura 2.1. Representación de la velocidad en lógica difusa

Fuente: Elaboración propia

Un conjunto difuso se define matemáticamente como se muestra en la ecuación 9.

$$A = \{x, \mu_A(x) | x \in U\} \quad (9)$$

Donde $\mu_A: x \rightarrow [0,1]$ es la función de membresía, $\mu_A(x)$ es el grado de membresía de la variable x , U es el dominio de la aplicación llamado en términos difusos el universo en discurso. Visto de otra forma, entre más cerca esté A del valor 1, mayor será la membresía del objeto x al conjunto A .

2.2.2.2 Operaciones borrosas

Se definen a continuación 3 operaciones básicas a realizar sobre conjuntos, estas operaciones son: complemento, unión e intersección. Sean las etiquetas A y B las que identifican a dos conjuntos borrosos asociados a una variable lingüística x , las operaciones se definen como: Jang J. y Sun C. (2000) y Passino K. y Yurcovich S. (1998).

Complemento

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (10)$$

Unión. Operador lógico OR de Zadeh (max)

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (11)$$

Intersección. Operador lógico AND de Zadeh (min)

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (12)$$

Hay muchas definiciones para las operaciones lógicas, algunas otras definiciones que normalmente también se utilizan son:

Operador lógico AND del producto

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \times \mu_B(x) \quad (13)$$

Operador lógico OR de Lukasiewicz

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x) + \mu_B(x), 1] \quad (14)$$

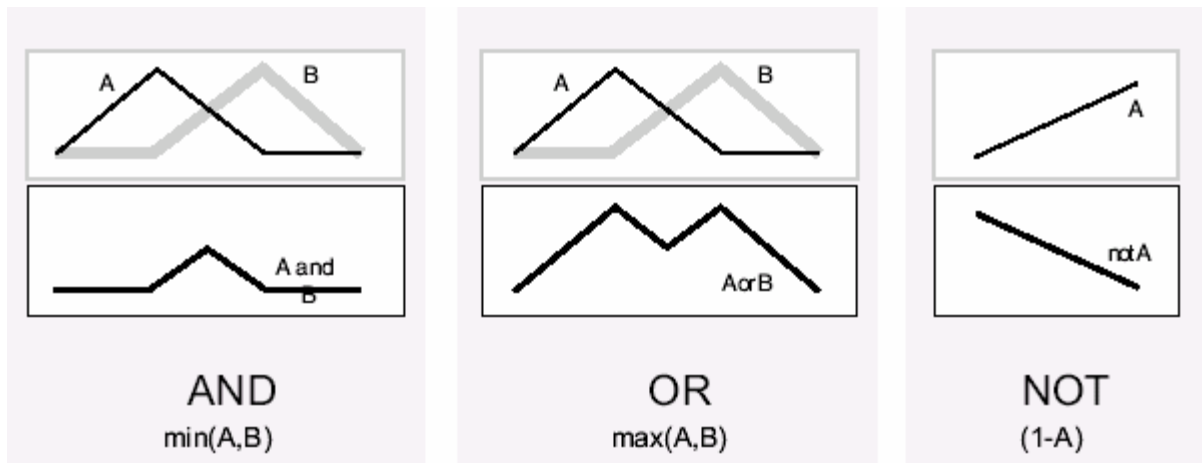


Figura 2.2. Representación de AND, OR y NOT en lógica difusa

Fuente: De los ríos Cristian (2004). Tesis: Evaluación de estructuras y métodos de ajuste de reguladores pid-difusos

Función membresía

Para cualquier función de membresía en general es recomendado el uso de funciones simples, se busca simplificar los cálculos matemáticos y no perder exactitud, ya que precisamente se está definiendo un concepto difuso. Más esto puede llevar a tomar decisiones como las de concepto, contexto, y aplicación a la cual se vaya aplicar la función de membresía. La función de membresía de un conjunto nos indica el grado en que cada elemento de un universo dado, pertenece a dicho conjunto. Es decir, la función de membresía de un conjunto A sobre un universo X será de la forma: $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$, donde $\mu_A(x) = r$ si r es el grado en que x pertenece a A. A continuación, se muestran las funciones de membresía más comunes:

2.2.2.3 Tipo de Función Membresía

Las funciones características más comúnmente utilizadas usadas por su simplicidad matemática y su manejabilidad son: triangular trapezoidal, gaussiana, sigmoideal, gamma, Pi, Campana, etc. (Jen, Langari, 1999).

Función triangular

Definido por sus límites inferior (a) y superior (b), y el valor modal (m), tal que $a < m < b$ la cual está definida en la ecuación 15. Consta de una parte de pendiente positiva que alcanza la unidad y una vez que lo logra desciende de manera uniforme. La función triángulo es muy adecuada para definir situaciones en la que se tiene un valor óptimo central, el cual se va perdiendo cuando se aleja de él (Ponce, 2010).

(15)

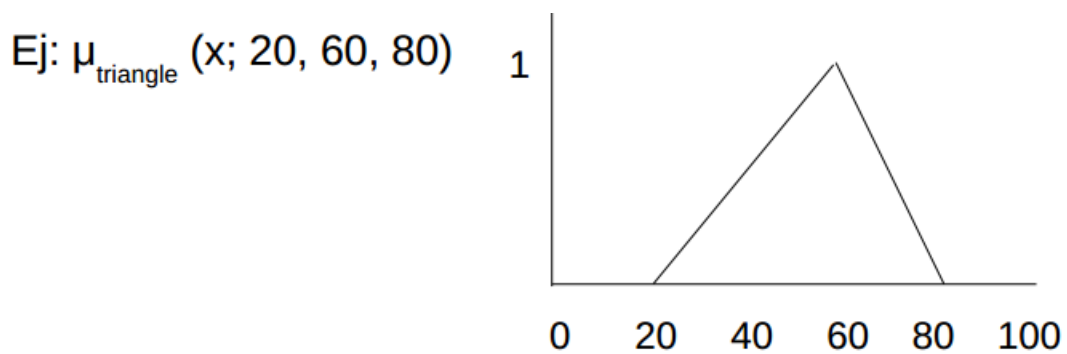


Figura 2.3. Función triangular

Fuente: Elaboración Propia

Función trapezoidal

Definida por sus límites inferior (a) y superior (d) y los límites de su soporte, b y c, inferior y superior respectivamente está definida en la ecuación 11.

(16)

Ej: $\mu_{\text{trapesoid}}(x; 10, 20, 60, 95)$

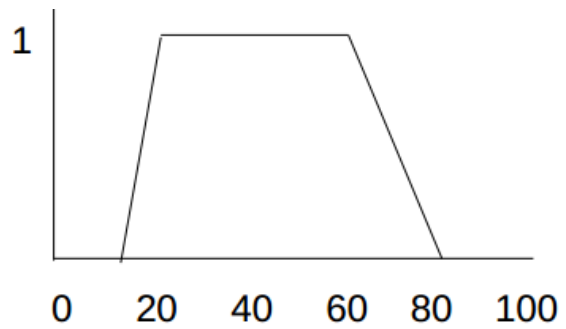


Figura 2.4. Función trapezoidal

Fuente: Elaboración Propia

Función gaussiana

Definida por su valor medio c y el valor $\sigma > 0$. Está definida en la ecuación 17.

- Es la típica campana de Gauss.

- Cuanto mayor el σ , más estrecha es la campana.

$$\mu_{\text{Gaussiana}}(x; c, \sigma) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-c}{\sigma} \right)^2} \quad (17)$$

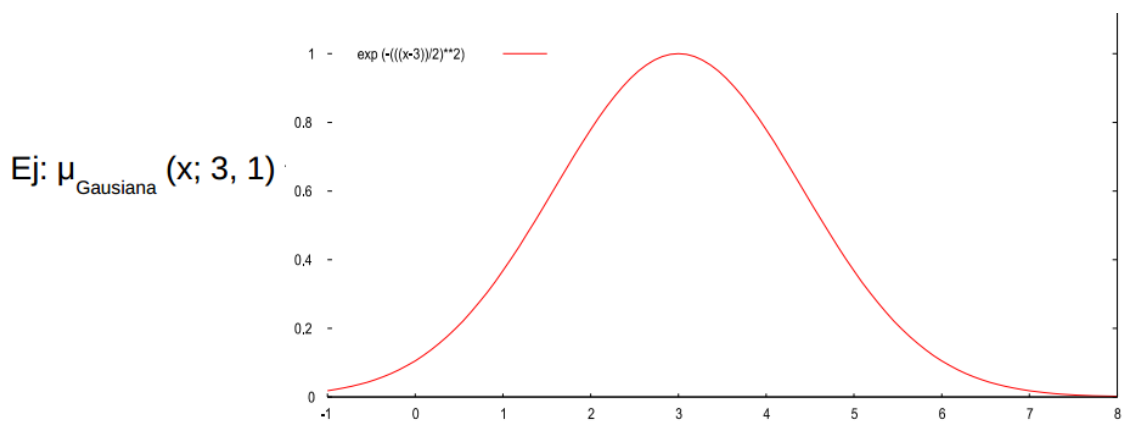


Figura 2.5. Función gaussiana

Fuente: Elaboración Propia

Función sigmoial

Se trata de una función continua no lineal con bastante plausibilidad fisiológica. La función sigmoial posee un rango comprendido entre 0 y 1 la cual está definida en la ecuación 18.

$$\mu_{\text{sigmoial}}(x; 1, -5) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-c)}} \quad (18)$$

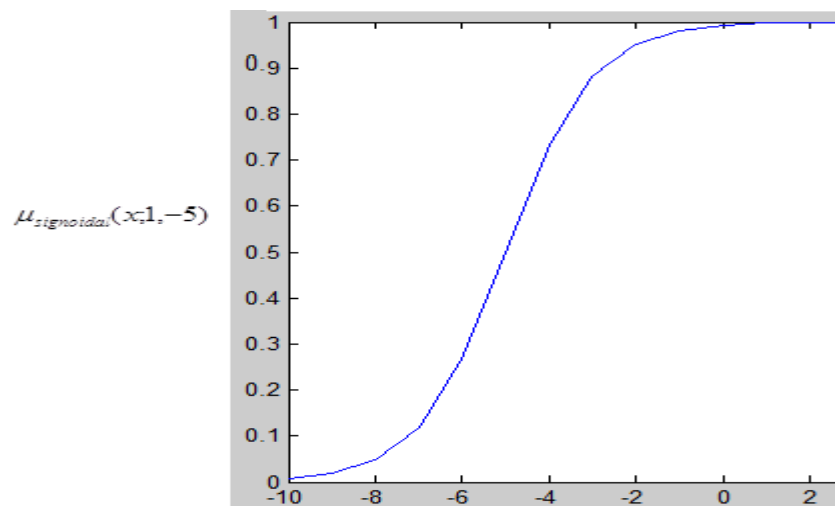


Figura 2.6. Función sigmoial

Fuente: Elaboración Propia

2.2.2.4 Controlador difuso

La principal aplicación actual de la lógica difusa son los sistemas de control difuso, que utilizan las expresiones difusas para formular las reglas que controlarán dichos sistemas. Como la lógica difusa sugiere un cierto grado de pertenencia para un dato que se presente dentro de los conjuntos difusos, permite a un controlador difuso tomar diferentes grados de acción en un sistema. En los sistemas de control debe tomarse en cuenta el conocimiento experto de una o varias personas para la realización de la base de conocimientos sobre la cual se basará la toma de decisiones. (Ponce, 2010).

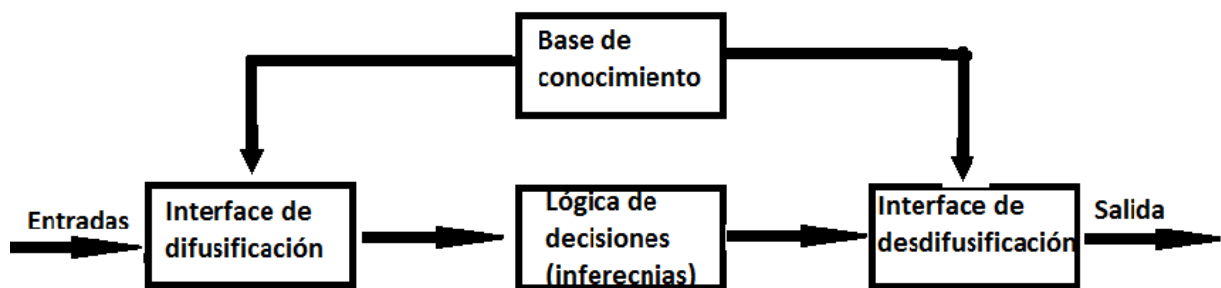


Figura 2.7. Estructura de un controlador difuso

Fuente: Ponce Cruz, 2010.

2.2.2.5 Fusificación

El control difuso siempre involucra este proceso de Fuzzificación, esta operación se realiza en todo instante de tiempo, es la puerta de entrada al sistema de inferencia difusa. Es un procedimiento matemático en el que se convierte un elemento del universo de discurso (variable medida del proceso) en un valor en cada función de membresía a las cuales pertenece. (Ponce Cruz, 2010).

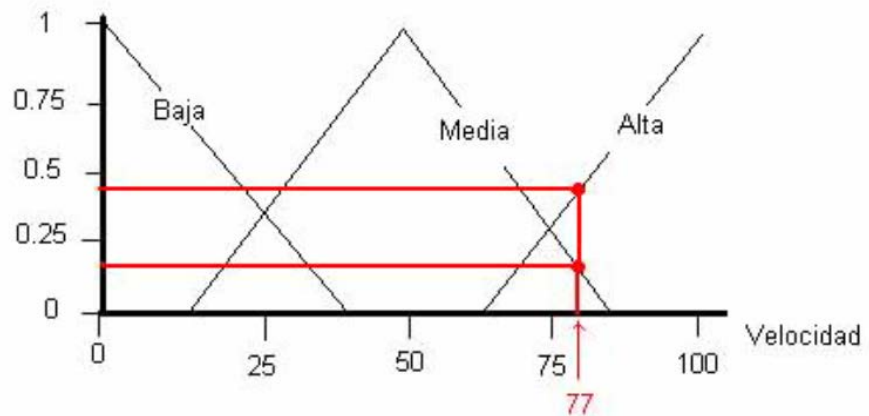


Figura 2.8. Intersección de la variable media y alta para una velocidad de 77 en el conjunto difuso

Fuente: Elaboración Propia.

De la figura 2.8 se puede deducir que el valor de velocidad 77 pertenece a dos conjuntos distintos por tener valores diferentes a cero, donde los valores son:

$$\mu_{alta}(77) = 0.45 \quad , \quad \mu_{media}(77) = 0.20 \quad y \quad \mu_{baja}(77) = 0$$

La ecuación para la variable lingüística Alta es $y(x) = 0,024x - 1,398$ y para la variable media es $y(x) = -0,028x + 2,356$. Para la variable baja no se tiene valor ya que no se realiza alguna intersección.

2.2.2.6 Base del conocimiento

Es el conjunto de aserciones y de reglas. Su función es suministrar al MI (Motor de Inferencia), información de la naturaleza de los problemas que puede manejar.

Una aserción A es una formulación simbólica de un hecho.

Una regla R es una relación explícita entre aserciones, generalmente de casualidad.

SI A1 y...y An ENTONCES B1 y...y Bm Donde A1... An son antecedentes (predicciones) B1...Bm forman el consecuente (conclusiones).

Ejemplo

Si la tierra está seca y la humedad relativa es baja y temperatura está alta entonces se debe regar.

2.2.2.7 Inferencia

Según (Hao Ying, 1993). Las reglas difusas representan el conocimiento y la estrategia de control, pero cuando se asigna información específica a las variables de entrada en el antecedente, la inferencia difusa es necesaria para calcular el resultado de las variables de salida del consecuente, este resultado es en términos difusos, es decir que se obtiene un conjunto difuso de salida de cada regla, que posteriormente junto con las demás salidas de reglas se obtendrá la salida del sistema.

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. (Hao Ying, 1993)

Tabla 2.1 Definición de las cuatro inferencias más utilizados en lógica difusa

Método de inferencia	Definición
Mamdani minimum inference RM	$\min(\mu, \mu_w(z)), \quad \forall Z$
Larsen product inference RL	$\mu \times \mu_w(z), \quad \forall Z$
Drastic product inference RDP	$\begin{cases} \mu & \text{para } \mu_w(z) = 1 \\ \mu_w(z) & \text{para } \mu = 1 \\ 0 & \text{para } \mu < 1 \text{ y } \mu_w(z) < 1 \end{cases}$
Bounded product inference RBP	$\max(\mu + \mu_w(z) - 1, 0)$

Fuente: Hao Ying.

2.2.2.8 Defusificación

La defusificación (defuzzyfication) es un proceso matemático usado para convertir un conjunto difuso en un número real. El sistema de inferencia difusa obtiene una conclusión a partir de la información de la entrada, pero es en términos

difusos. Esta conclusión o salida difusa es obtenida por la etapa de inferencia borrosa, esta genera un conjunto borroso pero el dato de salida del sistema debe ser un número real y debe ser representativo de todo el conjunto obtenido en la etapa de agregado, es por eso que existen diferentes métodos de defusificación y arrojan resultados distintos, el “más común y ampliamente usado” es el centroide. Con el método de defusificación del centroide se transforma la salida difusa en un número real el cual es la coordenada equis (x) del centro de gravedad de tal conjunto difuso de salida. (Ponce Cruz, 2010).

$$Y_d = \frac{\int_s y \mu_y(y) dy}{\int_s \mu_y(y) dy} \quad (19)$$

Donde μ_y es la función de membresía del conjunto de salida Y, cuya variable de salida es y. S es el dominio o rango de integración.

Este método en realidad trae una carga computacional importante, por lo que se emplean en general otros esquemas con menor carga. Uno de los defusificadores más usados es el centro de área (COA, center of área) también llamado de altura, el centro de gravedad es aproximado por el centro de gravedad de un arreglo de “masas puntuales”, las cuales son el centro de gravedad de cada conjunto de salida correspondiente a cada regla, con “masa” igual al grado de pertenencia en ese punto de su centro de gravedad. Si se le llama δ_l centro de gravedad del conjunto difuso de salida B_l de la l-ésima regla, el centro de gravedad queda determinado por:

$$Y_d = \frac{\sum_{l=1}^R \delta_l \mu_{B_l}(\delta_l)}{\sum_{l=1}^R \mu_{B_l}(\delta_l)} \quad (20)$$

Donde R es el número de reglas.

El concepto del centro de gravedad es en muchos casos el punto de partida para la obtención de distintos métodos de defusificación.

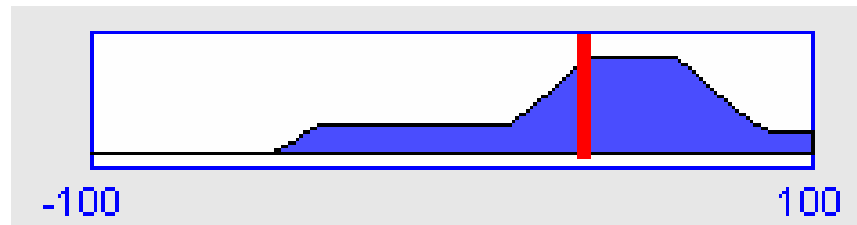


Figura 2.9. Cálculo del centroide de la imagen de la salida de lógica difusa.

Fuente Elaboración propia en Matlab.

En la figura 2.9 se aprecia el resultado al aplicar el método de centroide a la imagen achurrada el cual da un resultado de 37.1.

2.2.3 Definición de términos básicos

Base de conocimientos

Contiene el conocimiento asociado al dominio de la aplicación y los objetivos del control. Dicha base está formada por una base de datos y un conjunto de reglas difusas de control. La base de conocimientos debe cumplir con dos objetivos fundamentales: el primero es proveer las definiciones necesarias para definir las reglas lingüísticas de control y la manipulación de información difusa en un control difuso, y la segunda almacena los objetivos y política de control (como experto en el dominio). (Pajares y Santos, 2006)

Conjunto clásico

Los conjuntos clásicos surgen por la necesidad humana de clasificar objetos y conceptos. Estos conjuntos se pueden definirse con un conjunto bien definido de elementos o mediante una función de pertenencia μ que toma valores de 0 ó 1 de

un universo en discurso para todos los elementos que puedan o no pertenecer al conjunto. (Ramírez, 2008)

Controlador difuso

El controlador difuso está constituido por 4 principales componentes: base de conocimiento, sistemas de codificación, sistemas de inferencia y sistemas de decodificación. (Pajares y santos, 2006)

Función

Una función expresa la idea de una cantidad que depende de otra o que está determinada por esta. El conjunto f es una función de A en B si para cada $x \in A$, existe a lo más un elemento $y \in B$ tal que el par ordenado $(x, y) \in f$. (Venero, 2012)

Modelo matemático

Un modelo matemático usualmente describe un sistema por un conjunto de variables y un conjunto de ecuaciones que establecen relaciones entre las variables. Los valores de las variables son prácticamente cualquiera; números reales o enteros, valores booleanos o caracteres, etc. La descripción matemática de las características dinámicas de un sistema se denomina modelo matemático. (Ogata, 1980)

Programa

Es una secuencia de instrucciones ordenadas las cuales tienen la finalidad de cumplir una o varias tareas, dichas instrucciones están escritas en un lenguaje de programación, todo lo que se escribe se denomina algoritmo y ésta después de ser compiladas se convierte en programa o software. (Joyanes y Zahonero, 2001)

Polinomio de interpolación

Un polinomio de interpolación es un polinomio que pasa exactamente a través de un conjunto dado de puntos. Supongamos que lo que se quiere es buscar un

polinomio de grado finito que aproxime una función dada. Lo que resulta intuitivo es buscar que dicho polinomio tenga el mismo valor de la función en un conjunto de puntos dado. (Chapra y Canale, 2006)

Sensor

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar efectos físicos químicos las cuales se pueden representar eléctricamente, dichos efectos se encuentran en el medio el cual nos rodea. Los sensores más utilizados son LDR, CNY70, OPB703/4/5, H21A1, GP2Dxx, etc. (Palacios, 2004).

Simulación

Las simulaciones están estrechamente relacionadas con los cálculos siempre que es posible, Los ingenieros efectúan simulaciones para comprobar el funcionamiento de la solución que proponen y para realizar las mejoras necesarias antes de construir un prototipo que suele ser muy costoso. (Ebel et al., 2008)

Sistemas de inferencia

Bloque mediante el cual los mecanismos de inferencia relacionan los conjuntos difusos de entrada y salida, y representa a las reglas que definen el sistema. Las entradas a este bloque son conjuntos difusos (grados de pertenencia) y las salidas son también conjuntos difusos, asociados a la variable de salida. (Ponce, 2010)

Sistema de control

Los sistemas de control forman parte integral de la vida cotidiana y sus aplicaciones se pueden encontrar en todos lados. Un sistema de control integra diversos procesos con la finalidad de cumplir un conjunto de especificaciones en la salida de los procesos. Los sistemas de control actualmente nos ayudan a mover grandes máquinas con precisión y exactitud al regular su posición y velocidad. (NISE, 2006).

CAPITULO III

III. ANÁLISIS Y DISEÑO DE LOS SISTEMAS EN LÓGICA DIFUSA

3.1 ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE ROBOT MÓVIL

3.1.1 Reglas de modelado del sistema de control de robot móvil

Tabla 3.1 Reglas para determinar la velocidad y orientación del robot móvil

Nro regla	Si				Entonces		Conector
	Sensor Izquierdo	Sensor Centro	Sensor Derecho	Trayectoria	Orientación	Velocidad	
1	Cercano	Cercano	Cercano	Izquierda	Derecha	Baja	AND
2	Cercano	Cercano	Cercano	Poco izquierda	Derecha	Baja	AND
3	Cercano	Cercano	Cercano	Centro	Derecha	Baja	AND
4	Cercano	Cercano	Cercano	Poco derecha	Izquierda	Baja	AND
5	Cercano	Cercano	Cercano	Derecha	Izquierda	Baja	AND
6	Cercano	Cercano	Lejano	Izquierda	Derecha	Baja	AND
7	Cercano	Cercano	Lejano	Poco izquierda	Derecha	Baja	AND
8	Cercano	Cercano	Lejano	Centro	Derecha	Baja	AND
9	Cercano	Cercano	Lejano	Poco derecha	Derecha	Baja	AND
10	Cercano	Cercano	Lejano	Derecha	Derecha	Baja	AND
11	Cercano	Lejano	Cercano	Izquierda	Derecha	Baja	AND
12	Cercano	Lejano	Cercano	Poco izquierda	Derecha	Baja	AND
13	Cercano	Lejano	Cercano	Centro	Derecha	Baja	AND
14	Cercano	Lejano	Cercano	Poco derecha	Izquierda	Baja	AND
15	Cercano	Lejano	Cercano	Derecha	Izquierda	Baja	AND
16	Cercano	Lejano	Lejano	Izquierda	Derecha	Media	AND
17	Cercano	Lejano	Lejano	Poco izquierda	Poco derecha	Media	AND
18	Cercano	Lejano	Lejano	Centro	Poco derecha	Media	AND
19	Cercano	Lejano	Lejano	Poco derecha	Poco derecha	Media	AND
20	Cercano	Lejano	Lejano	Derecha	Poco derecha	Media	AND
21	Lejano	Cercano	Cercano	Izquierda	Izquierda	Baja	AND

22	Lejano	Cercano	Cercano	Poco izquierda	Izquierda	Baja	AND
23	Lejano	Cercano	Cercano	Centro	Izquierda	Baja	AND
24	Lejano	Cercano	Cercano	Poco derecha	Izquierda	Baja	AND
25	Lejano	Cercano	Cercano	Derecha	Izquierda	Baja	AND
26	Lejano	Cercano	Lejano	Izquierda	Derecha	Media	AND
27	Lejano	Cercano	Lejano	Poco izquierda	Derecha	Media	AND
28	Lejano	Cercano	Lejano	Centro	Poco derecha	Media	AND
29	Lejano	Cercano	Lejano	Poco derecha	Izquierda	Media	AND
30	Lejano	Cercano	Lejano	Derecha	Izquierda	Media	AND
31	Lejano	Lejano	Cercano	Izquierda	Poco izquierda	Media	AND
32	Lejano	Lejano	Cercano	Poco izquierda	Poco izquierda	Media	AND
33	Lejano	Lejano	Cercano	Centro	Poco izquierda	Media	AND
34	Lejano	Lejano	Cercano	Poco derecha	Poco izquierda	Media	AND
35	Lejano	Lejano	Cercano	Derecha	Izquierda	Media	AND
36	Lejano	Lejano	Lejano	Izquierda	Derecha	Alta	AND
37	Lejano	Lejano	Lejano	Poco izquierda	Poco derecha	Alta	AND
38	Lejano	Lejano	Lejano	Centro	Centro	Alta	AND
39	Lejano	Lejano	Lejano	Poco derecha	Poco izquierda	Alta	AND
40	Lejano	Lejano	Lejano	Derecha	Izquierda	Alta	AND

Fuente: Scientia et Technica Año XIII, Nro 34, mayo de 2007,

3.1.2 Variables lingüísticas del modelado del sistema de control de robot móvil

3.1.2.1 Variables lingüísticas de entrada al sistema de control de robot móvil

Tabla 3.2

Sensor Izquierdo		Función
Rango	0 a 160	
Cercano	0, 0, 20, 80	Trapezio
Lejano	50, 150, 160, 160	Trapezio

Fuente: Fuente: Scientia et Technica Año XIII, Nro. 34, mayo de 2007

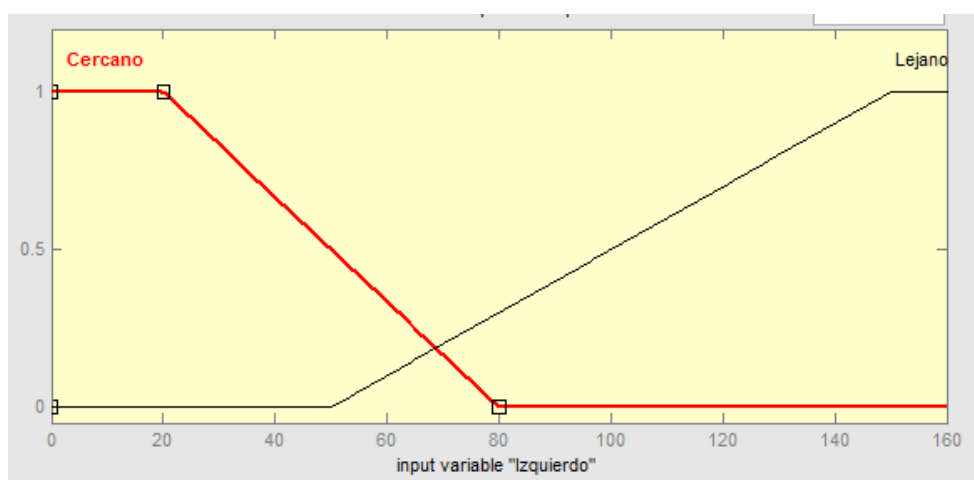


Fig.3.1 Entrada del sensor de la variable del sensor izquierdo

Fuente: Fuente: Scientia et Technica Año XIII, Nro. 34, mayo de 2007,

Tabla 3.3

Sensor centro		Función
Rango	0-160	
Cercano	0, 0, 20, 80	Trapezio
Lejano	50, 150, 160, 160	Trapezio

Fuente: Fuente: Scientia et Technica Año XIII, Nro. 34, mayo de 2007

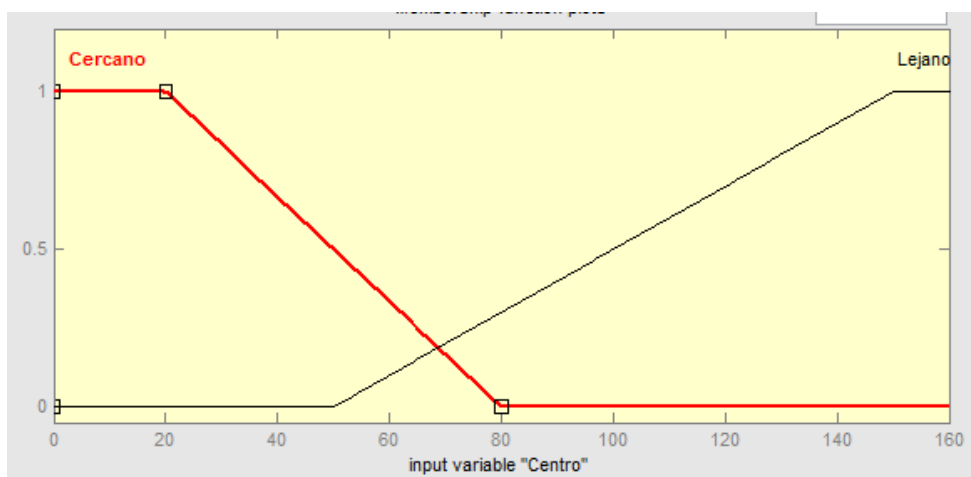


Fig.3.2 Entrada del sensor de la variable del sensor centro

Fuente: Fuente: Scientia et Technica Año XIII, Nro. 34, mayo de 2007,

Tabla 3.4

Sensor derecho		Función
Rango	0-160	
Cercano	0, 0, 20, 80	Trapezio
Lejano	50, 150, 160, 160	Trapezio

Fuente: Fuente: Scientia et Technica Año XIII, Nro. 34, mayo de 2007

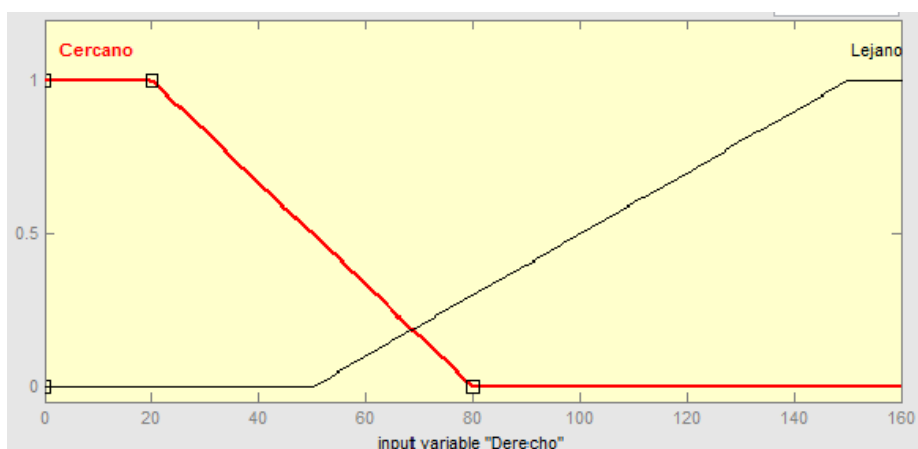


Fig.3.3 Entrada del sensor de la variable sensor derecho

Fuente: Fuente: Scientia et Technica Año XIII, Nro. 34, mayo de 2007,

Tabla 3.5

Trayectoria		Función
Rango	-100 a 100	
Izquierda	(-100, -100, -10)	Triángulo
Poco Iz	(-40, -20, 0)	Triángulo
Centro	(-10, 0, 10)	Triángulo
Poco_de	(0, 20, 40)	Triángulo
Derecha	(10, 100, 100)	Triángulo

Fuente: Fuente: Scientia et Technica Año XIII, Nro 34, mayo de 2007

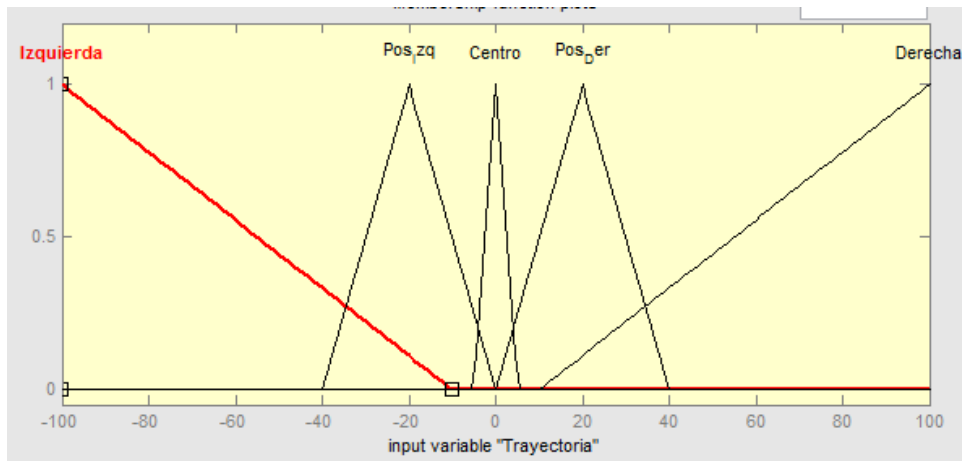


Fig.3.4 Entrada del sensor de la variable de la trayectoria del robot móvil

Fuente: Fuente: Scientia et Technica Año XIII, Nro. 34, mayo de 2007,

3.1.2.2 Variables lingüísticas de salida al sistema de control de robot móvil

Tabla 3.6

Orientación		Función
Rango	-90 a 90	
Izquierda	(-90, -90, -10)	Triángulo
Poco_iz	(-20, -10, 0)	Triángulo
Centro	(-10, 0, 10)	Triángulo
Poco_de	(0, 10, 20)	Triángulo
Derecha	(10, 90, 90)	Triángulo

Fuente: Fuente: Scientia et Technica Año XIII, Nro. 34, mayo de 2007

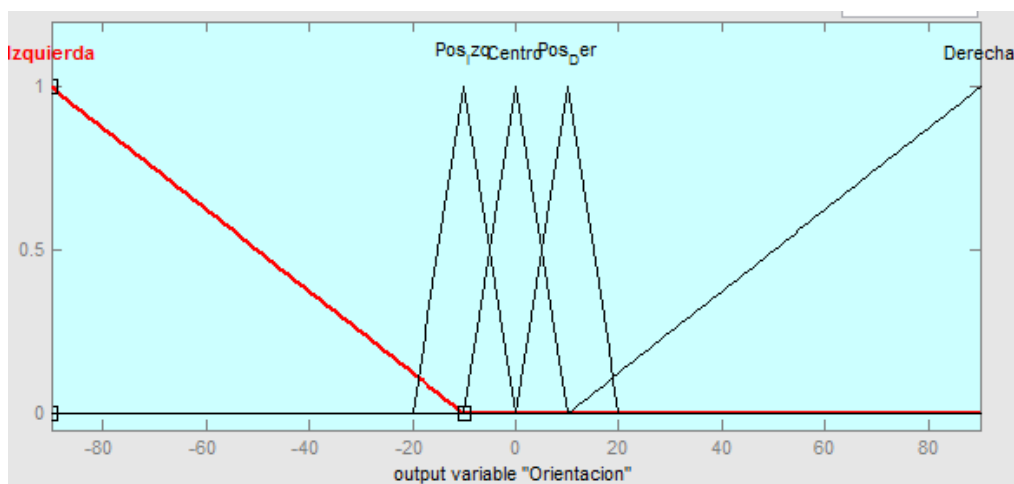


Fig.3.5 Salida de orientación para el control de robot

Fuente: Fuente: Scientia et Technica Año XIII, Nro. 34, mayo de 2007,

Tabla 3.7

Velocidad		Función
Rango	0 a 60	
Baja	(0, 0, 33)	Triángulo
Media	(30, 37, 45)	Triángulo
Alta	(42, 60, 60)	Triángulo

Fuente: Fuente: Scientia et Technica Año XIII, Nro. 34, mayo de 2007

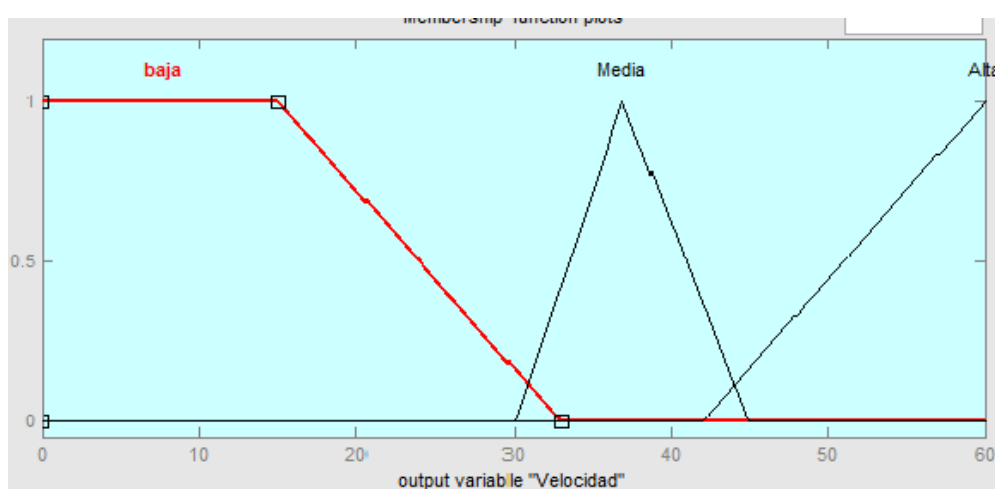


Fig.3.6 Salida de la velocidad del robot móvil

Fuente: Fuente: Scientia et Technica Año XIII, Nro. 34, mayo de 2007.

3.1.3 Interface de resultados del sistema de control mediante Fuzzy Logic de Matlab

3.1.4 Interface construido con la interpolación Chebyshev

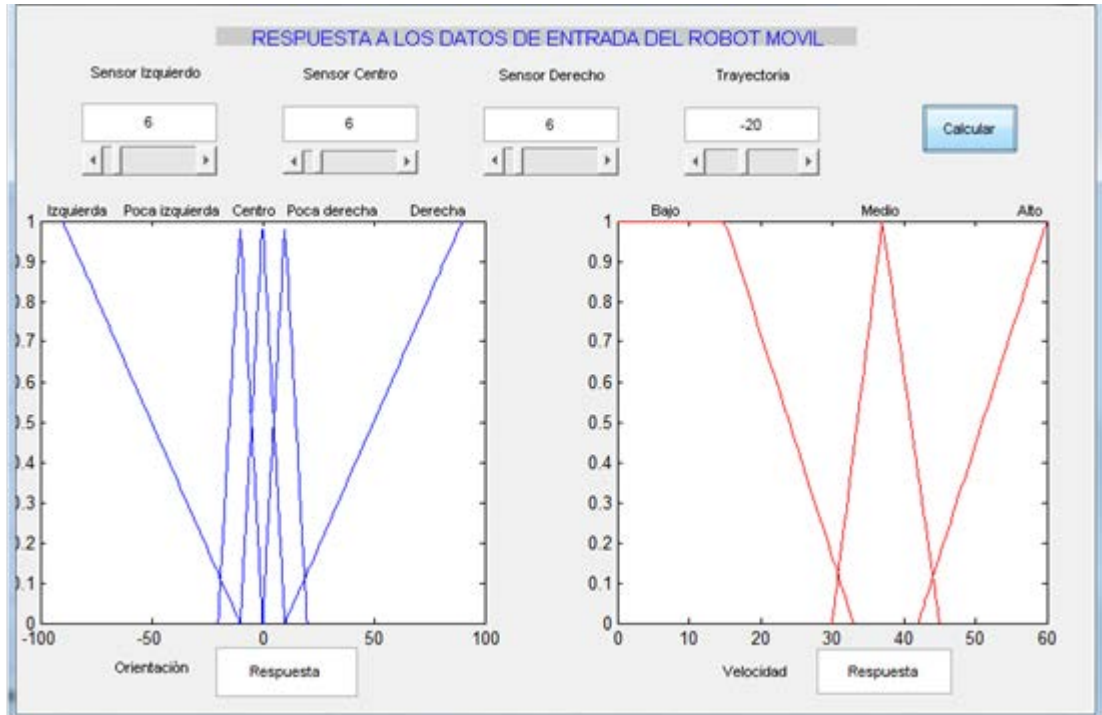


Fig.3.7 Respuesta de salida de Orientación y Velocidad de acuerdo a las entradas de sensores de robot móvil.

Fuente: Elaboración propia

3.2 ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUA

3.2.1 Reglas Modelado de sistema para control de calidad de agua

Tabla 3.8 Reglas para la calidad de agua dependiendo de la población de insectos

NRO REGLA	SI							Entonces	
	Leptoceridae	Hydrobiosidae	Planariidae	Amphipoda	Chironomidae	Psychodidae	Syrphidae	Calidad Agua	Conector
1	Leptoceridae	Hydrobiosidae						Muy buena	AND
2			Planariidae	Amphipoda				Regular	OR
3	Leptoceridae	Hydrobiosidae						Muy buena	OR
4			Planariidae	Amphipoda				Regular	AND
5						Psychodidae	Syrphidae	Muy Mala	AND
6	Leptoceridae	Hydrobiosidae	Planariidae					Buena	AND
7					Chironomidae	Psychodidae	Syrphidae	Mala	AND
8	Leptoceridae	Hydrobiosidae		Amphipoda				Buena	AND
9						Psychodidae	Syrphidae	Muy Mala	OR

Fuente: Juan David Gutiérrez, et al; 2002

3.2.2 Variables lingüísticas del Modelado de sistema para control de calidad de agua

3.2.2.1 Variables lingüísticas de entrada al sistema de control de calidad de agua

Tabla 3.9

Leptoceridae	
Rango	0 a 1
	Sigm(80, 0.05)

Fuente: Juan David Gutiérrez, et al; 2002

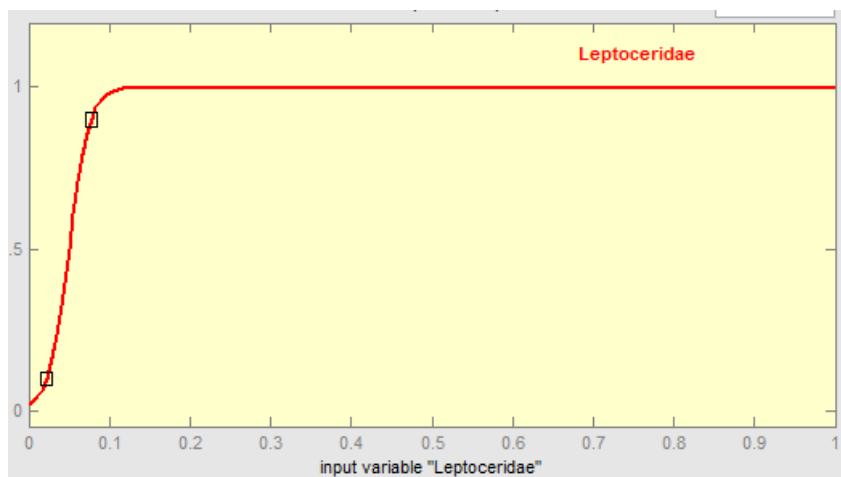


Fig. 3.8 Representación de la reproducción de Leptoceridae

Fuente: Juan David Gutiérrez, et al; 2002

Tabla 3.10

Hydrobiosidae	
Rango	0 a 1
	Sigm(50, 0.1)

Fuente: Juan David Gutiérrez, et al; 2002

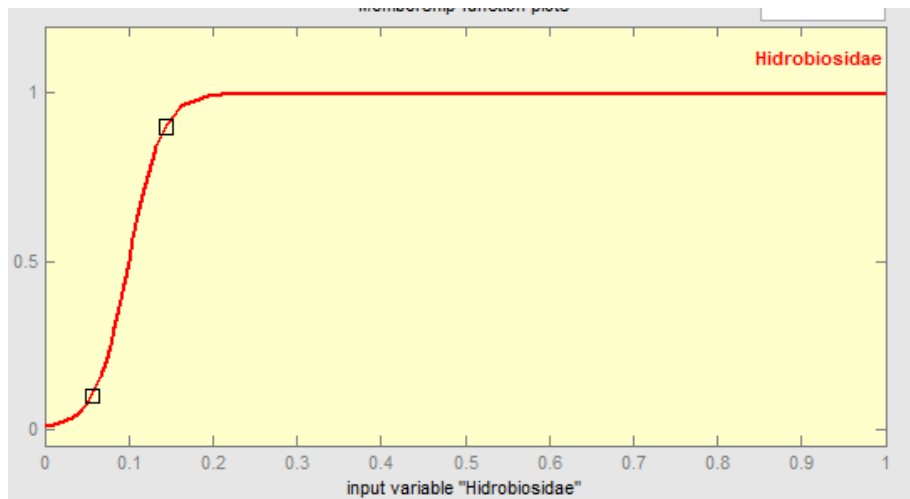


Fig. Representación de la reproducción de Hidrobiosidae

Fuente: Juan David Gutiérrez, et al; 2002

Tabla 3.11

Planariidae	
Rango	0 a 1
	Sigm(10, 0.3)

Fuente: Juan David Gutiérrez, et al; 2002

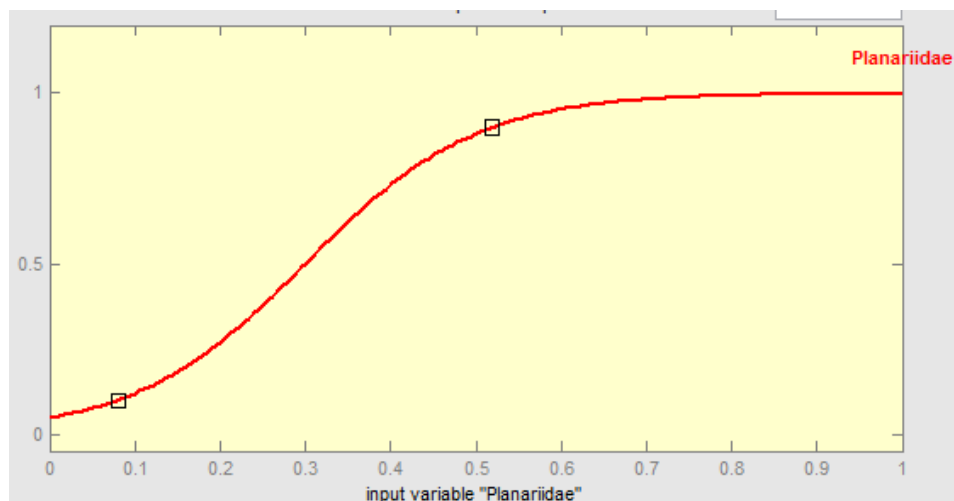


Fig.3.9 Representación de la reproducción de Planariidae

Fuente: Juan David Gutiérrez, et al; 2002

Tabla 3.12

Amphipoda	
Rango	0 a 1
	Gauss(0.07, 0.2)

Fuente: Juan David Gutiérrez, et al; 2002

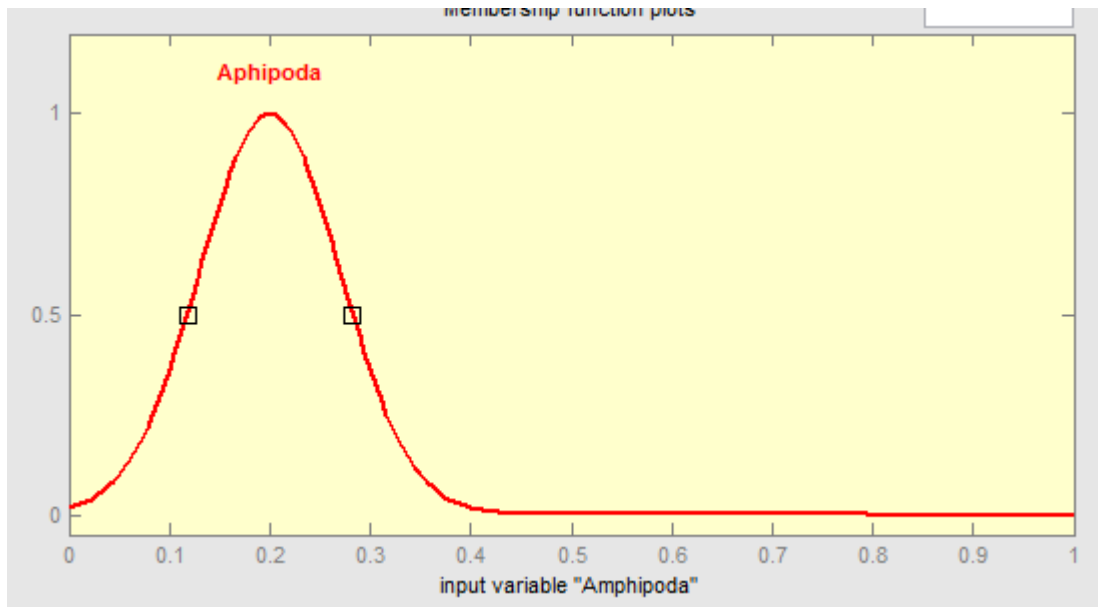


Fig. 3.10 Representación de la reproducción de Ahipoda

Fuente: Juan David Gutiérrez, et al; 2002

Tabla 3.13

Chironomidae	
Rango	0 a 10
	Sigm(-4, 1)

Fuente: Juan David Gutiérrez, et al; 2002

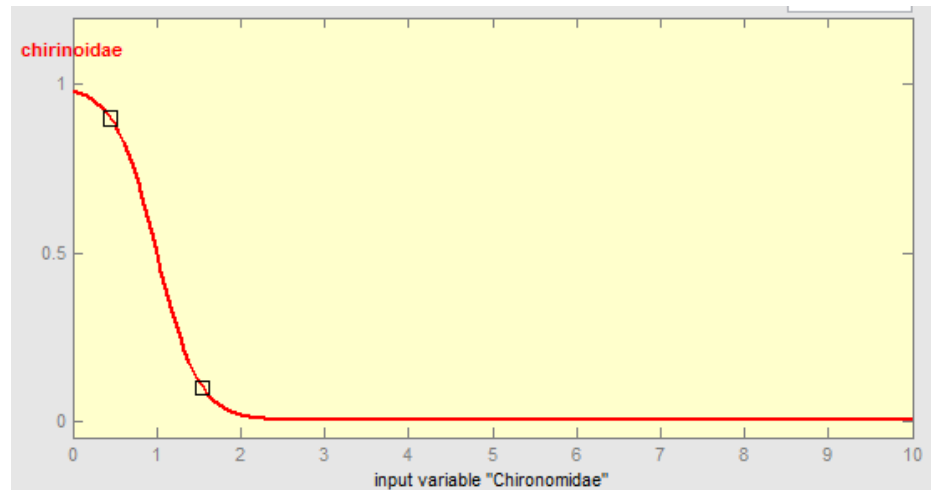


Fig.3.11 Representación de la reproducción de Chirinoidae

Fuente: Juan David Gutiérrez, et al; 2002

Tabla 3.14

Psychodidae	
Rango	0 a 1
	Sigm(50, 0.1)

Fuente: Juan David Gutiérrez, et al; 2002

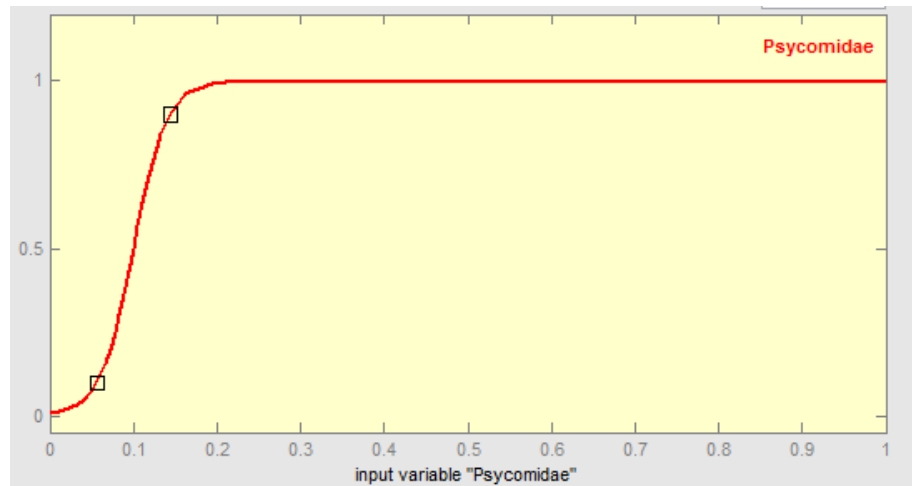


Fig. 3.12 Representación de la reproducción de Psychomidae

Fuente: Juan David Gutiérrez, et al; 2002

3.2.2.2 Variables lingüísticas de salida del sistema de control de calidad de agua

Tabla 3.15

Calidad Agua		
Rango 0 a 10	Mandani	Sugeno
Muy mala	Sigm(-6, 1,5)	1.5
Mala	Gauss(0,35, 3)	3
Regular	Gauss(0,4, 5)	5
Buena	Gauss(0,35 7)	7
Muy buena	Sigm(6, 8,5)	8.5

Fuente: Juan David Gutiérrez, et al; 2002

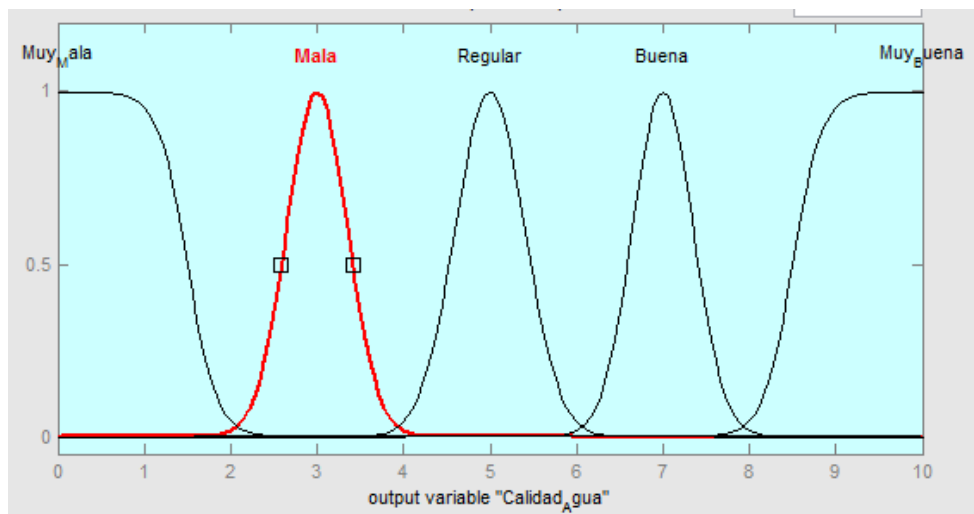


Fig.3.13 Salida de los resultados de la calidad de agua

Fuente: Juan David Gutiérrez, et al; 2002

3.2.3 Interface de resultados del sistema de control de calidad de agua mediante Fuzzy Logic de Matlab

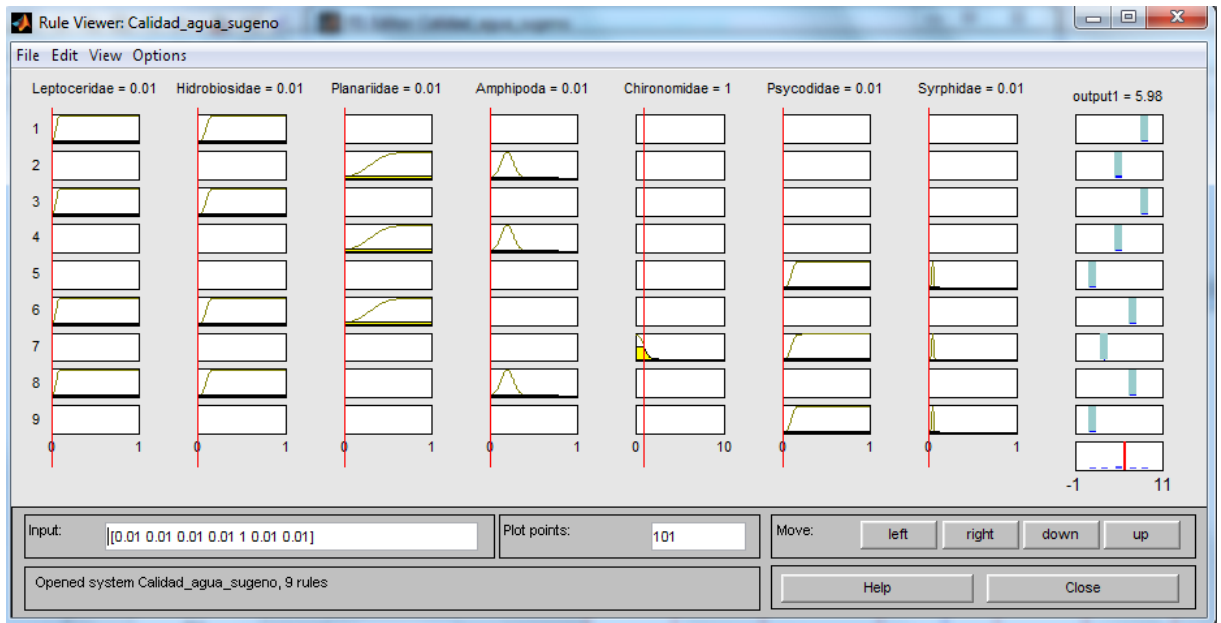


Fig. 3.14 Salida de los resultados de la calidad de agua

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Interface construido con la interpolación Chebyshev para el control de calidad de agua

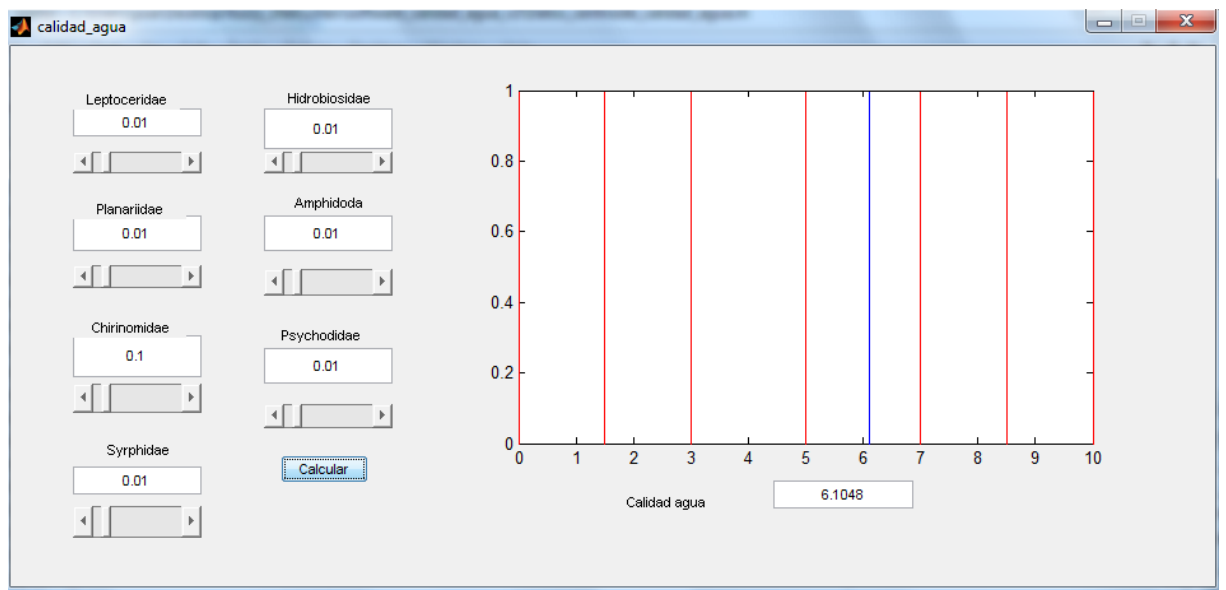


Fig.3.15 Salida de los resultados de la calidad de agua

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV

IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Para hallar la cantidad de intervalos se ha usado la regla de Surges que se muestra en la ecuación 27 y para la diferencia de medias la ecuación 22 y el punto crítico la ecuación 24.

$$C = 1 + \log_2(muestra) = 1 + \frac{\log_{10}(muestra)}{\log_{10}(2)} = 1 + 3.322 * \log_{10}(muestra) \quad (21)$$

Se utilizó el estadístico de las diferencias medias para demostrar la igualdad o la diferencia entre las medias.

$$diferenciademedias = \delta_{(\overline{X}_A - \overline{X}_B)} = \sqrt{\frac{\delta_A^2}{n_A} + \frac{\delta_B^2}{n_B}} \quad (22)$$

$$cuotadeerror = 2 * \sqrt{\frac{\delta_A^2}{n_A} + \frac{\delta_B^2}{n_B}} \quad (23)$$

$$p_{\text{puntocritico}} = \frac{\bar{X}_A + \bar{X}_B}{2} + 2 * \sqrt{\frac{\delta_A^2}{n_A} + \frac{\delta_B^2}{n_B}} \quad (24)$$

4.1 ANÁLISIS DE LA FUNCIÓN PERTENENCIA E INTERPOLACIÓN DE CHEBYSHEV

4.1.1 Análisis de función pertenencia triangular e interpolación de Chebyshev

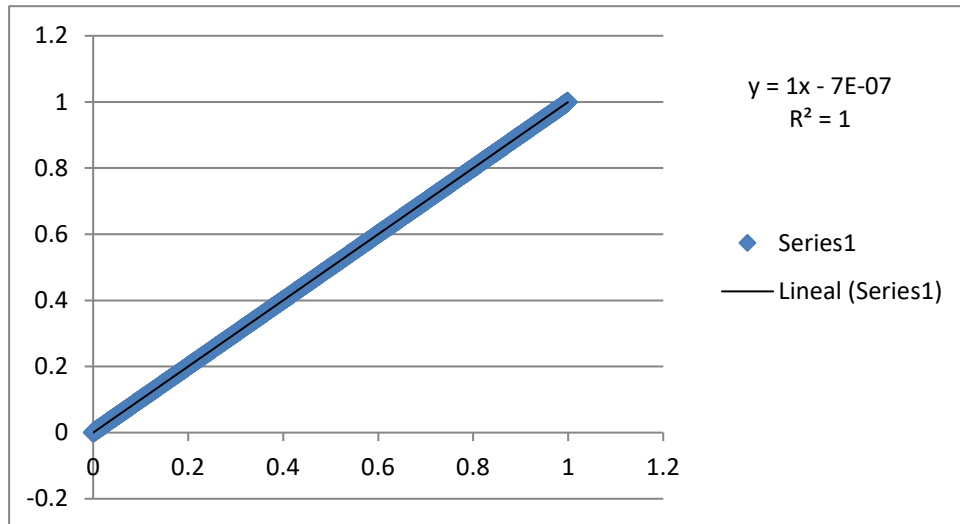


Fig. 4.1 Recta de la regresión lineal para la función pertenencia triangular e interpolación de Chebyshev

Los valores estadísticos encontrados con respecto a la función triangular y la interpolación Chebyshev es la que se muestra en la tabla 4.1, donde S_x es desviación estándar para la interpolación de Chebyshev, S_y es la desviación estándar para función triángulo, n cantidad de datos, \bar{X} es el promedio de interpolación de Chebyshev y \bar{Y} es promedio de función triángulo.

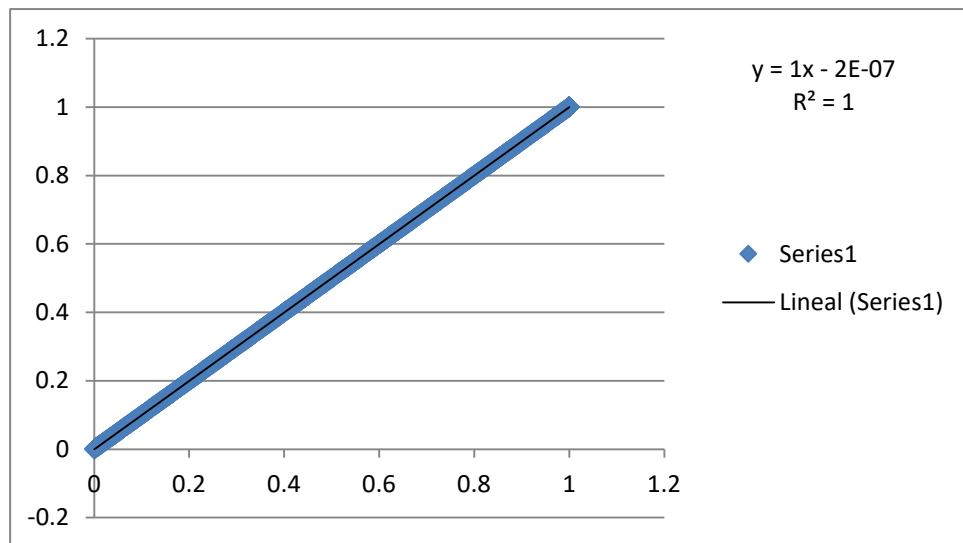
Tabla. 4.1 Resumen de valores estadísticos de la función triángulo e interpolación de Chebyshev

S_x	S_y	n	\bar{X}	\bar{Y}
0.2886751	0.28867566	1502	0.49999964	0.49999997

En la figura 4.1 se muestra la ecuación de la recta de regresión lineal cuya ecuación es: $y = x - 7 * 10^{-7}$, con un coeficiente de determinación 1, dicho resultado indica que los resultados en ambas variables son las mismas.

4.1.2 Análisis de función pertenencia trapezoidal e interpolación de Chebyshev

Fig. 4.2 Recta de la regresión lineal para la función pertenencia trapezoidal e interpolación de Chebyshev



Los valores estadísticos encontrados con respecto a la función trapecio y la interpolación Chebyshev es la que se muestra en la tabla 4.2, donde S_x es desviación estándar para la interpolación de Chebyshev, S_y es la desviación estándar para función trapecio, n cantidad de datos, \bar{X} es el promedio de interpolación de Chebyshev y \bar{Y} es promedio de función trapecio.

Tabla. 4.2 Resumen de valores estadísticos de la función trapecio e interpolación de Chebyshev

S_x	S_y	n	\bar{X}	\bar{Y}
0.32274882	0.32274901	1502	0.583333	0.58333315

En la figura 4.2 se muestra la ecuación de la recta de regresión lineal cuya ecuación es: $y = x - 2 * 10^{-7}$, con un coeficiente de determinación 1, dicho resultado indica que los resultados en ambas variables son las mismas.

4.1.3 Análisis de función pertenencia sigmoide e interpolación de Chebyshev

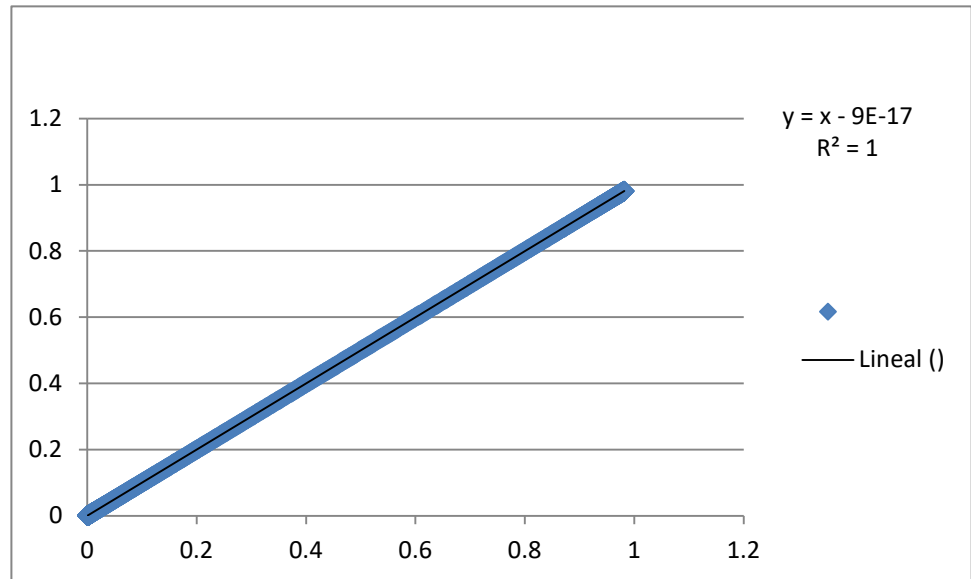


Fig. 4.3 Recta de la regresión lineal para la función pertenencia sigmoide e interpolación de Chebyshev

Los valores estadísticos encontrados con respecto a la función sigmoide y la interpolación Chebyshev es la que se muestra en la tabla 4.3, donde S_x es desviación estándar para la interpolación de Chebyshev, S_y es la desviación estándar para función sigmoide, n cantidad de datos, \bar{X} es el promedio de interpolación de Chebyshev y \bar{Y} es promedio de función sigmoide.

Tabla. 4.3 Resumen de valores estadísticos de la función sigmoide e interpolación de Chebyshev

S_x	S_y	n	\bar{X}	\bar{Y}
0.37524133	0.37524133	1502	0.33449113	0.33449113

En la figura 4.3 se muestra la ecuación de la recta de regresión lineal cuya ecuación es: $y = x - 9 * 10^{-17}$, con un coeficiente de determinación 1, dicho resultado indica que los resultados en ambas variables son las mismas.

4.1.4 Análisis de función pertenencia gaussiana e interpolación de Chebyshev

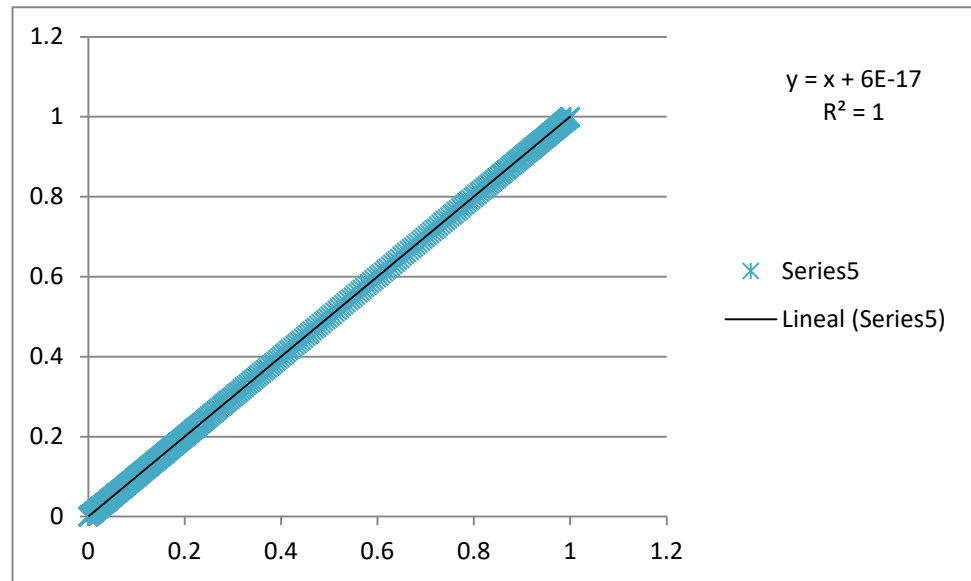


Fig. 4.4 Recta de la regresión lineal para la función pertenencia gaussiana e interpolación de Chebyshev

Los valores estadísticos encontrados con respecto a la función gaussiana y la interpolación Chebyshev es la que se muestra en la tabla 4.4, donde S_x es desviación estándar para la interpolación de Chebyshev, S_y es la desviación estándar para función gaussiana, n cantidad de datos, \bar{X} es el promedio de interpolación de Chebyshev y \bar{Y} es promedio de función gaussiana.

Tabla. 4.4 Resumen de valores estadísticos de la función gaussiana e interpolación de Chebyshev

S_x	S_y	n	\bar{X}	\bar{Y}
0.32260076	0.32260076	1502	0.20888568	0.20888568

En la figura 4.4 se muestra la ecuación de la recta de regresión lineal cuya ecuación es: $y = x + 6 * 10^{-17}$, con un coeficiente de determinación 1, dicho resultado indica que los resultados en ambas variables son las mismas.

4.2 ANÁLISIS DE CENTROIDES PARA LA ORIENTACIÓN DEL ROBOT MÓVIL

La combinación de entradas de los sensores para determinar la orientación y velocidad del robot móvil es la que se muestra en la tabla 4.5, dichas entradas son utilizadas para determinar datos con el simulador Fuzzy de Matlab y la función pertenencia de Chebyshev propuesta.

Tabla 4.5 Entradas de los sensores izquierdos, centro, derecho y la trayectoria para determinar la orientación y la velocidad del robot móvil

Sensor izquierdo	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140 y 150
Sensor centro	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 115, 120, 125, 130, 135, 140 y 145
Sensor derecho	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 115, 120, 125, 130, 135, 140 y 145
Trayectoria	-85, -80, -75, -70, -65, -60, -55, -50, -45, -40, -35, -30, -25, -20, -15, -10, -5, 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 y 80

Fuente: Elaboración propia

4.2.1 Análisis para funciones de pertenencia teórica para la orientación del robot móvil.

Tabla 4.6 Tabla de frecuencias en intervalos para función de pertenencia teórica para la orientación del robot móvil

Intervalos			Xi	Fi	hi%	Fi	Hi%
I1	-63.9267327	-57.53405941	-60.730396	69776	15.2766284	69776	15.2766284
I2	-57.5340594	-51.14138614	-54.3377228	73053	15.9940887	142829	31.270717
I3	-51.1413861	-44.74871287	-47.9450495	14011	3.06754242	156840	34.3382594
I4	-44.7487129	-38.3560396	-41.5523762	12562	2.75030104	169402	37.0885605

I5	-38.3560396	-31.96336634	-35.159703	7840	1.7164751	177242	38.8050356
I6	-31.9633663	-25.57069307	-28.7670297	9877	2.16245211	187119	40.9674877
I7	-25.5706931	-19.1780198	-22.3743564	2608	0.5709907	189727	41.5384784
I8	-19.1780198	-12.78534653	-15.9816832	3436	0.75227148	193163	42.2907499
I9	-12.7853465	-6.392673267	-9.5890099	28365	6.21018062	221528	48.5009305
I10	-6.39267327	5.32907E-15	-3.19633663	10813	2.36737822	232341	50.8683087
I11	5.3291E-15	6.392673267	3.19633663	5338	1.16869184	237679	52.0370005
I12	6.39267327	12.78534653	9.5890099	27506	6.02211275	265185	58.0591133
I13	12.7853465	19.1780198	15.9816832	2666	0.58368911	267851	58.6428024
I14	19.1780198	25.57069307	22.3743564	4121	0.90224412	271972	59.5450465
I15	25.5706931	31.96336634	28.7670297	11778	2.57865353	283750	62.1237001
I16	31.9633663	38.3560396	35.159703	8632	1.88987411	292382	64.0135742
I17	38.3560396	44.74871287	41.5523762	10286	2.25199781	302668	66.265572
I18	44.7487129	51.14138614	47.9450495	14288	3.12818829	316956	69.3937603
I19	51.1413861	57.53405941	54.3377228	71367	15.6249589	388323	85.0187192
I20	57.5340594	63.92673267	60.730396	68427	14.9812808	456750	100
TOTAL				456750	100		

Fuente: Elaboración propia

Por el número de datos se ha considerado utilizar intervalos, para lo cual se usó la ecuación 21, obtenido 20 intervalos como se muestra en la tabla 4.6 de la cual la media es -0.3864 con una desviación estándar 48.83.

4.2.2 Análisis funciones de pertenencia Chebyshev para la orientación del robot

móvil

Tabla 4.7 Tabla de frecuencias en intervalos para función de pertenencia chebyshev para la orientación del robot móvil

Intervalos		Xi	Fi	hi%	Fi	Hi%	
I1	-63.3394921	-57.005856	-60.1726741	69776	15.2766284	69776	15.2766284
I2	-57.005856	-50.6722199	-53.8390379	73053	15.9940887	142829	31.270717
I3	-50.6722199	-44.3385837	-47.5054018	14011	3.06754242	156840	34.3382594
I4	-44.3385837	-38.0049476	-41.1717657	12562	2.75030104	169402	37.0885605
I5	-38.0049476	-31.6713115	-34.8381295	7832	1.71472359	177234	38.8032841
I6	-31.6713115	-25.3376753	-28.5044934	9793	2.1440613	187027	40.9473454
I7	-25.3376753	-19.0040392	-22.1708573	2700	0.591133	189727	41.5384784
I8	-19.0040392	-12.6704031	-15.8372211	3611	0.79058566	193338	42.329064
I9	-12.6704031	-6.33676694	-9.50358501	28197	6.17339901	221535	48.5024631
I10	-6.33676694	-0.00313081	-3.16994888	9125	1.99781062	230660	50.5002737
I11	-0.00313081	6.33050532	3.16368726	6899	1.5104543	237559	52.010728
I12	6.33050532	12.6641415	9.49732339	27626	6.04838533	265185	58.0591133

I13	12.6641415	18.9977776	15.8309595	2666	0.58368911	267851	58.6428024
I14	18.9977776	25.3314137	22.1645957	4035	0.88341544	271886	59.5262178
I15	25.3314137	31.6650499	28.4982318	12064	2.64126984	283950	62.1674877
I16	31.6650499	37.998686	34.8318679	8558	1.87367269	292508	64.0411604
I17	37.998686	44.3323221	41.1655041	10258	2.24586754	302766	66.2870279
I18	44.3323221	50.6659583	47.4991402	14190	3.10673235	316956	69.3937603
I19	50.6659583	56.9995944	53.8327763	71367	15.6249589	388323	85.0187192
I20	56.9995944	63.3332305	60.1664125	68427	14.9812808	456750	100
TOTAL				456750	100		

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 4.7 se tiene los valores de la media y desviación estándar -0.3668 y 48.38 respectivamente.

4.3 ANÁLISIS DE CENTROIDES PARA LA VELOCIDAD DEL ROBOT

4.3.1 Análisis para funciones de pertenencia teórica para la velocidad del robot móvil.

Tabla. 4.8 Tabla de frecuencias en intervalos para función de pertenencia teórica para la velocidad del robot móvil

Intervalos			Xi	Fi	hi%	Fi	Hi%
I1	12.4049383	14.5049383	13.4549383	60750	13.3004926	60750	13.3004926
I2	14.5049383	16.6049383	15.5549383	70540	15.4438971	131290	28.7443897
I3	16.6049383	18.7049383	17.6549383	27113	5.93607006	158403	34.6804598
I4	18.7049383	20.8049383	19.7549383	15663	3.42922824	174066	38.109688
I5	20.8049383	22.9049383	21.8549383	24973	5.46754242	199039	43.5772304
I6	22.9049383	25.0049383	23.9549383	2071	0.45342091	201110	44.0306513
I7	25.0049383	27.1049383	26.0549383	2135	0.46743295	203245	44.4980843
I8	27.1049383	29.2049383	28.1549383	13720	3.00383142	216965	47.5019157
I9	29.2049383	31.3049383	30.2549383	3675	0.8045977	220640	48.3065134
I10	31.3049383	33.4049383	32.3549383	1610	0.35249042	222250	48.6590038
I11	33.4049383	35.5049383	34.4549383	560	0.12260536	222810	48.7816092
I12	35.5049383	37.6049383	36.5549383	119840	26.2375479	342650	75.0191571
I13	37.6049383	39.7049383	38.6549383	5075	1.11111111	347725	76.1302682
I14	39.7049383	41.8049383	40.7549383	14546	3.18467433	362271	79.3149425
I15	41.8049383	43.9049383	42.8549383	12089	2.6467433	374360	81.9616858
I16	43.9049383	46.0049383	44.9549383	0	0	374360	81.9616858
I17	46.0049383	48.1049383	47.0549383	15470	3.38697318	389830	85.348659
I18	48.1049383	50.2049383	49.1549383	8120	1.77777778	397950	87.1264368
I19	50.2049383	52.3049383	51.2549383	3360	0.73563218	401310	87.862069
I20	52.3049383	54.4049383	53.3549383	55440	12.137931	456750	100
TOTAL				456750	100		

Fuente: Elaboración propia

Por el número de datos se ha considerado de acuerdo a la fórmula de intervalos se ha obtenido 20 intervalos como se muestra en la tabla 4.8 de la cual la media es 30.3617245 con una desviación estándar 13.83.

4.3.2 Análisis para funciones de pertenencia Chebyshev para la velocidad del robot móvil.

Tabla. 4.9 Tabla de frecuencias en intervalos para función de pertenencia Chebyshev para la velocidad del robot móvil

Intervalos			Xi	Fi	hi%	Fi	Hi%
I1	12.5735872	14.6735872	13.6235872	60750	13.3004926	60750	13.3004926
I2	14.6735872	16.7735872	15.7235872	70540	15.4438971	131290	28.7443897
I3	16.7735872	18.8735872	17.8235872	27158	5.94592228	158448	34.690312
I4	18.8735872	20.9735872	19.9235872	15618	3.41937603	174066	38.109688
I5	20.9735872	23.0735872	22.0235872	24973	5.46754242	199039	43.5772304
I6	23.0735872	25.1735872	24.1235872	2071	0.45342091	201110	44.0306513
I7	25.1735872	27.2735872	26.2235872	2135	0.46743295	203245	44.4980843
I8	27.2735872	29.3735872	28.3235872	13720	3.00383142	216965	47.5019157
I9	29.3735872	31.4735872	30.4235872	3675	0.8045977	220640	48.3065134
I10	31.4735872	33.5735872	32.5235872	1610	0.35249042	222250	48.6590038
I11	33.5735872	35.6735872	34.6235872	560	0.12260536	222810	48.7816092
I12	35.37	37.46	36.415	119560	26.1762452	342370	74.9578544
I13	37.46	39.55	38.505	5355	1.17241379	347725	76.1302682
I14	39.55	41.65	40.6	14546	3.18467433	362271	79.3149425
I15	41.65	43.75	42.7	12089	2.6467433	374360	81.9616858
I16	43.75	45.85	44.8	0	0	374360	81.9616858
I17	45.85	47.95	46.9	15470	3.38697318	389830	85.348659
I18	47.95	50.05	49	8120	1.77777778	397950	87.1264368
I19	50.05	52.15	51.1	3360	0.73563218	401310	87.862069
I20	52.15	54.25	53.2	55440	12.137931	456750	100
			TOTAL	456750	100		

Fuente: Elaboración propia

Por el número de datos se ha considerado de acuerdo a la fórmula de intervalos se ha obtenido 20 intervalos como se muestra en la tabla 4.9 de la cual la media es 30.331955 con una desviación estándar 13.56.

De las tablas 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9 se tiene el resumen de las medias y desviaciones

las cuales se muestra en la tabla 4.10.

Tabla 4.10 Resumen de valores de la media, varianza y desviación estándar de la tabla de frecuencias de valores teórico y del grupo experimental para el control de robot móvil.

	Teórico		Práctico	
	Orientación	Velocidad	Orientación	Velocidad
Media	-0.3864	30.362	-0.3668	30.331955
Varianza	2384.403	191.23	2340.223	183.781
Desviación	48.83	13.829	48.376	13.56

Fuente: Elaboración propia

De los valores de la tabla 4.10 y utilizando la fórmula de la ecuación 22, 23 y 24 se tiene el resultado del punto crítico para la orientación del robot que es -0.1732, por consiguiente, la media de orientación con Chebyshev está dentro del punto crítico. Para la velocidad del robot el punto crítico es 30.4041, la media ve la velocidad del robot mediante Chebyshev está dentro del punto crítico. Por consiguiente, no existe diferencia significativa en las dos medias.

4.4 ANÁLISIS DE CENTROIDE PARA LA CALIDAD DE AGUA

4.4.1 Análisis para funciones de pertenencia teórica para la calidad de agua.

Aplicando la ecuación 21 se ha obtenido 20 intervalos para la funciones sigmoideal y gaussiana utilizadas en la lógica difusa del simulador Fuzzy Logic de Matlab, las cuales se muestran en las tablas 4.12 y 4.14 en función de las entradas de las tablas 4.11 y 4.13.

Tabla. 4.11 Valores de entrada para cada variable de la calidad de agua en el rango donde las funciones son creciente y decreciente.

Syrphidae	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17
Psicodidae	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11			
,chirinoideae	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11			
Anhipoda	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1			
planariidae,	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11			
hidrobiosidae,	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11			
leptoceridae,	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11			

Tabla. 4.12 Tabla de frecuencias en intervalos para función de pertenencia teórica para el control de la calidad de agua en función a las entradas de la tabla 4.11.

Intervalos		Xi	Fi	hi%	Fi	Hi%
I1	1.99829062 2.31140736	2.15484899	1073	0.2555346	1073	0.2555346
I2	2.31140736 2.62452409	2.46796572	3154	0.75112407	4227	1.00665866
I3	2.62452409 2.93764083	2.78108246	5385	1.28243599	9612	2.28909465
I4	2.93764083 3.25075756	3.09419919	6186	1.47319387	15798	3.76228852
I5	3.25075756 3.56387429	3.40731593	8215	1.95639956	24013	5.71868808
I6	3.56387429 3.87699103	3.72043266	10167	2.42126772	34180	8.1399558
I7	3.87699103 4.19010776	4.03354939	12688	3.02164304	46868	11.1615988
I8	4.19010776 4.5032245	4.34666613	15575	3.70918115	62443	14.87078
I9	4.5032245 4.81634123	4.65978286	16275	3.87588592	78718	18.7466659
I10	4.81634123 5.12945796	4.9728996	21973	5.23286275	100691	23.9795287
I11	5.12945796 5.4425747	5.28601633	23147	5.51245046	123838	29.4919791
I12	5.4425747 5.75569143	5.59913306	28964	6.89776711	152802	36.3897462
I13	5.75569143 6.06880817	5.9122498	29250	6.96587791	182052	43.3556241
I14	6.06880817 6.3819249	6.22536653	32028	7.6274577	214080	50.9830818
I15	6.3819249 6.69504163	6.53848327	35780	8.52099528	249860	59.5040771
I16	6.69504163 7.00815837	6.8516	36534	8.70056013	286394	68.2046373
I17	7.00815837 7.3212751	7.16471674	45268	10.7805594	331662	78.9851966
I18	7.3212751 7.63439184	7.47783347	40128	9.55647005	371790	88.5416667
I19	7.63439184 7.94750857	7.7909502	32418	7.72033608	404208	96.2620027
I20	7.94750857 8.2606253	8.10406694	15696	3.73799726	419904	100
TOTAL			419904	100		

Por el número de datos se ha considerado de acuerdo a la fórmula de intervalos se ha obtenido 20 intervalos como se muestra en la tabla 4.12 de la cual la media es 6.09495715 con una desviación estándar 1.371.

Tabla. 4.13 Valores de entrada para cada variable de la calidad de agua en todo el rango definido.

Syrphidae	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17
Psicodidae	0.01	0.17	0.33	0.49	0.65	0.81			
Chirinoidea	0.01	0.17	0.33	0.49	0.65	0.81			
Anhipoda	0.1	1.7	3.3	4.9	6.5	8.1			
planariidae,	0.01	0.17	0.33	0.49	0.65	0.81			
hidrobiosidae,	0.01	0.17	0.33	0.49	0.65	0.81			
leptoceridae,	0.01	0.17	0.33	0.49	0.65	0.81			

Fuente: Elaboración propia

Tabla. 4.14 Tabla de frecuencias en intervalos para función de pertenencia teórica para el control de la calidad de agua en función a las entradas de la tabla 4.13.

Intervalos			Xi	Fi	hi%	Fi	Hi%
I1	1.98403639	2.30203639	2.14303639	1080	0.25720165	1080	0.25720165
I2	2.30203639	2.62003639	2.46103639	1350	0.32150206	2430	0.5787037
I3	2.62003639	2.93803639	2.77903639	270	0.06430041	2700	0.64300412
I4	2.93803639	3.25603639	3.09703639	1350	0.32150206	4050	0.96450617
I5	3.25603639	3.57403639	3.41503639	4590	1.093107	8640	2.05761317
I6	3.57403639	3.89203639	3.73303639	1026	0.24434156	9666	2.30195473
I7	3.89203639	4.21003639	4.05103639	54	0.01286008	9720	2.31481481
I8	4.21003639	4.52803639	4.36903639	0	0	9720	2.31481481
I9	4.52803639	4.84603639	4.68703639	0	0	9720	2.31481481
I10	4.84603639	5.16403639	5.00503639	98334	23.4182099	108054	25.7330247
I11	5.16403639	5.48203639	5.32303639	432	0.10288066	108486	25.8359053
I12	5.48203639	5.80003639	5.64103639	162	0.03858025	108648	25.8744856
I13	5.80003639	6.11803639	5.95903639	134244	31.9701646	242892	57.8446502
I14	6.11803639	6.43603639	6.27703639	111132	26.4660494	354024	84.3106996
I15	6.43603639	6.75403639	6.59503639	3996	0.95164609	358020	85.2623457
I16	6.75403639	7.07203639	6.91303639	11124	2.64917695	369144	87.9115226
I17	7.07203639	7.39003639	7.23103639	25110	5.97993827	394254	93.8914609
I18	7.39003639	7.70803639	7.54903639	7290	1.73611111	401544	95.627572
I19	7.70803639	8.02603639	7.86703639	6840	1.62894376	408384	97.2565158
I20	8.02603639	8.34036432	8.18320035	11520	2.74348422	419904	100
TOTAL				419904	100		

Fuente: Elaboración propia

Por el número de datos se ha considerado de acuerdo a la fórmula de intervalos se ha obtenido 20 intervalos como se muestra en la tabla 4.14 de la cual la media es 5.98030597 con una desviación estándar 0.8925.

4.4.2 Análisis para función de pertenencia Chebyshev para la calidad de agua

Aplicando la ecuación 21, se ha obtenido 20 intervalos para la función de chebyshev de 400, 800 y 1500 puntos las cuales se muestran en las tablas 4.14, 4.16, 4.18, 4.20.

4.4.2.1 Función pertenencia Chebyshev 400 puntos.

Tabla. 4.15 Tabla de frecuencias en intervalos para función de pertenencia Chebyshev para el control de la calidad de agua en función a las entradas de la tabla 4.11.

Intervalos			Xi	Fi	hi%	Fi	Hi%
I1	2.12795864	2.43295864	2.28045864	933	0.22219364	933	0.22219364
I2	2.43295864	2.73795864	2.58545864	2816	0.67062948	3749	0.89282312
I3	2.73795864	3.04295864	2.89045864	4765	1.13478319	8514	2.02760631
I4	3.04295864	3.34795864	3.19545864	5730	1.36459762	14244	3.39220393
I5	3.34795864	3.65295864	3.50045864	8085	1.9254401	22329	5.31764403
I6	3.65295864	3.95795864	3.80545864	9703	2.31076627	32032	7.6284103
I7	3.95795864	4.26295864	4.11045864	12424	2.95877153	44456	10.5871818
I8	4.26295864	4.56795864	4.41545864	13823	3.29194292	58279	13.8791248
I9	4.56795864	4.87295864	4.72045864	18680	4.44863588	76959	18.3277606
I10	4.87295864	5.17795864	5.02545864	19371	4.6131973	96330	22.9409579
I11	5.17795864	5.48295864	5.33045864	24876	5.92421125	121206	28.8651692
I12	5.48295864	5.78795864	5.63545864	30666	7.30309785	151872	36.168267
I13	5.78795864	6.09295864	5.94045864	30126	7.17449703	181998	43.3427641
I14	6.09295864	6.39795864	6.24545864	35088	8.3561957	217086	51.6989598
I15	6.39795864	6.70295864	6.55045864	35412	8.4333562	252498	60.132316
I16	6.70295864	7.00795864	6.85545864	37698	8.97776635	290196	69.1100823
I17	7.00795864	7.31295864	7.16045864	45846	10.9182099	336042	80.0282922
I18	7.31295864	7.61795864	7.46545864	39288	9.35642433	375330	89.3847165
I19	7.61795864	7.92295864	7.77045864	31440	7.4874257	406770	96.8721422
I20	7.92295864	8.23698418	8.07997141	13134	3.1278578	419904	100
			TOTAL	419904	100		

Fuente: Elaboración propia

Por el número de datos se ha considerado de acuerdo a la fórmula de intervalos se ha obtenido 20 intervalos como se muestra en la tabla 4.12 de la cual la media es 6.12110301 con una desviación estándar 1.303315.

De las tablas 4.12 y 4.15 se tiene el resumen de media y desviación la cual se

muestra en la tabla 4.16.

Tabla 4.16 Resumen de valores de la media, varianza y desviación estándar de la tabla de frecuencias de valores teórico y del grupo experimental para el control de calidad de agua para 400 puntos de Chebyshev

	Teórico Calidad agua	Experimental Calidad agua(400p)
Media	6.09495715	6.12110301
Varianza	1.87959989	1.69863
Desviación	1.37098501	1.303315

De los valores de la tabla 4.16 y utilizando la fórmula de la ecuación 22, 23 y 24 se tiene el resultado del punto crítico para la calidad de agua es 6.11386842, por consiguiente, la media de calidad del agua con Chebyshev no está dentro del punto crítico. Por consiguiente, existe diferencia significativa en las dos medias para polinomios de Chebychev con 400 puntos.

4.4.2.2 Función pertenencia Chebyshev 800 puntos.

Intervalos			Xi	Fi	hi%	Fi	Hi%
I1	2.11824444	2.42431261	2.27127853	869	0.20695207	869	0.20695207
I2	2.42431261	2.73038078	2.57734669	2767	0.65896014	3636	0.86591221
I3	2.73038078	3.03644894	2.88341486	4607	1.09715554	8243	1.96306775
I4	3.03644894	3.34251711	3.18948303	5897	1.40436862	14140	3.36743637
I5	3.34251711	3.64858528	3.49555119	7866	1.87328532	22006	5.24072169
I6	3.64858528	3.95465344	3.80161936	9884	2.35387136	31890	7.59459305
I7	3.95465344	4.26072161	4.10768753	12118	2.88589773	44008	10.4804908
I8	4.26072161	4.56678978	4.4137557	14672	3.49413199	58680	13.9746228
I9	4.56678978	4.87285795	4.71982386	18882	4.49674211	77562	18.4713649
I10	4.87285795	5.17892611	5.02589203	18906	4.5024577	96468	22.9738226
I11	5.17892611	5.48499428	5.3319602	25572	6.08996342	122040	29.063786
I12	5.48499428	5.79106245	5.63802836	31350	7.46599223	153390	36.5297782
I13	5.79106245	6.09713061	5.94409653	30540	7.27309099	183930	43.8028692
I14	6.09713061	6.40319878	6.2501647	33894	8.07184499	217824	51.8747142
I15	6.40319878	6.70926695	6.55623286	36222	8.62625743	254046	60.5009717
I16	6.70926695	7.01533511	6.86230103	38130	9.08064701	292176	69.5816187
I17	7.01533511	7.32140328	7.1683692	45882	10.9267833	338058	80.5084019
I18	7.32140328	7.62747145	7.47443736	38706	9.21782122	376764	89.7262231

I19	7.62747145	7.93353961	7.78050553	31206	7.43169867	407970	97.1579218
I20	7.93353961	8.23960778	8.0865737	11934	2.84207819	419904	100
			TOTAL	419904	100		

Fuente: Elaboración propia

Tabla. 4.17 Tabla de frecuencias en intervalos para función de pertenencia Chebyshev para el control de la calidad de agua en función a las entradas de la tabla 4.11.

De las tablas 4.12 y 4.17 se tiene el resumen de media y desviación la cual se muestra en la tabla 4.18.

Tabla 4.18 Resumen de valores de media, varianza y desviación estándar de la tabla de frecuencias de valores teórico y del grupo experimental para el control de calidad de agua para 800 puntos

	Teórico Calidad agua	Experimental Calidad agua(800P)
Media	6.09495715	6.11584586
Varianza	1.87959989	1.69431826
Desviación	1.37098501	1.30165981

De los valores de la tabla 4.18 y utilizando la fórmula de la ecuación 22, 23 y 24 se tiene el resultado del punto crítico para la calidad de agua es 6.11123632, por consiguiente, la media de calidad del agua con Chebyshev no está dentro del punto crítico. Por consiguiente, existe diferencia significativa en las dos medias para polinomios de Chebychev con 800 puntos.

4.4.2.3 Función pertenencia Chebyshev 1500 puntos.

Tabla. 4.19 Tabla de frecuencias en intervalos para función de pertenencia Chebyshev para el control de la calidad de agua en función a las entradas de la tabla 4.10.

Intervalos		Xi	Fi	hi%	Fi	Hi%	
I1	2.11992922	2.42590641	2.27291781	914	0.2176688	914	0.2176688

I2	2.42590641	2.7318836	2.578895	2815	0.67039133	3729	0.88806013
I3	2.7318836	3.03786079	2.88487219	4652	1.10787228	8381	1.9959324
I4	3.03786079	3.34383798	3.19084938	5834	1.38936519	14215	3.38529759
I5	3.34383798	3.64981517	3.49682657	7831	1.86495008	22046	5.25024768
I6	3.64981517	3.95579236	3.80280376	9663	2.30124028	31709	7.55148796
I7	3.95579236	4.26176955	4.10878095	12144	2.89208962	43853	10.4435776
I8	4.26176955	4.56774674	4.41475814	14445	3.44007202	58298	13.8836496
I9	4.56774674	4.87372393	4.72073533	19276	4.59057308	77574	18.4742227
I10	4.87372393	5.17970112	5.02671253	18690	4.45101738	96264	22.9252401
I11	5.17970112	5.48567831	5.33268972	24564	5.84990855	120828	28.7751486
I12	5.48567831	5.7916555	5.63866691	30948	7.37025606	151776	36.1454047
I13	5.7916555	6.09763269	5.9446441	30030	7.15163466	181806	43.2970393
I14	6.09763269	6.40360988	6.25062129	34032	8.10470965	215838	51.401749
I15	6.40360988	6.70958707	6.55659848	36666	8.73199588	252504	60.1337449
I16	6.70958707	7.01556426	6.86257567	38556	9.18209877	291060	69.3158436
I17	7.01556426	7.32154145	7.16855286	45972	10.9482167	337032	80.2640604
I18	7.32154145	7.62751864	7.47453005	39696	9.45358939	376728	89.7176497
I19	7.62751864	7.93349583	7.78050724	30972	7.37597165	407700	97.0936214
I20	7.93349583	8.23947302	8.08648443	12204	2.9063786	419904	100
TOTAL				419904	100		

Fuente: Elaboración propia

De las tablas 4.12 y 4.19 se tiene el resumen de media y desviación la cual se muestra en la tabla 4.20.

Tabla 4.20 Resumen de valores de la media, varianza y desviación estándar de la tabla de frecuencias de valores teórico y del grupo experimental para el control de calidad de agua

	Teórico Calidad agua	Experimental Calidad agua
Media	6.09495715	6.12468216
Varianza	1.87959989	1.69718853
Desviación	1.37098501	1.30276189

De los valores de la tabla 4.20 y utilizando la fórmula de la ecuación 22, 23 y 24 se tiene el resultado del punto crítico para la calidad de agua es 6.11565682, por consiguiente, la media de calidad del agua con Chebyshev no está dentro del punto crítico. Por consiguiente, existe diferencia significativa en las dos medias para polinomios de Chebychev con 1500 puntos.

Tabla. 4.21 Tabla de frecuencias en intervalos para función de pertenencia Chebyshev para el control de la calidad de agua en función a las entradas de la tabla 4.13.

Intervalos			Xi	Fi	hi%	Fi	Hi%
I1	2.03522167	2.35022167	2.19272167	1080	0.25720165	1080	0.25720165
I2	2.35022167	2.66522167	2.50772167	1350	0.32150206	2430	0.5787037
I3	2.66522167	2.98022167	2.82272167	270	0.06430041	2700	0.64300412
I4	2.98022167	3.29522167	3.13772167	1998	0.47582305	4698	1.11882716
I5	3.29522167	3.61022167	3.45272167	3942	0.93878601	8640	2.05761317
I6	3.61022167	3.92522167	3.76772167	1080	0.25720165	9720	2.31481481
I7	3.92522167	4.24022167	4.08272167	0	0	9720	2.31481481
I8	4.24022167	4.55522167	4.39772167	0	0	9720	2.31481481
I9	4.55522167	4.87022167	4.71272167	0	0	9720	2.31481481
I10	4.87022167	5.18522167	5.02772167	98286	23.4067787	108006	25.7215935
I11	5.18522167	5.50022167	5.34272167	372	0.08859168	108378	25.8101852
I12	5.50022167	5.81522167	5.65772167	270	0.06430041	108648	25.8744856
I13	5.81522167	6.13022167	5.97272167	171186	40.7678898	279834	66.6423754
I14	6.13022167	6.44522167	6.28772167	74190	17.6683242	354024	84.3106996
I15	6.44522167	6.76022167	6.60272167	4824	1.14883402	358848	85.4595336
I16	6.76022167	7.07522167	6.91772167	10296	2.45198903	369144	87.9115226
I17	7.07522167	7.39022167	7.23272167	25110	5.97993827	394254	93.8914609
I18	7.39022167	7.70522167	7.54772167	7290	1.73611111	401544	95.627572
I19	7.70522167	8.02022167	7.86272167	6750	1.60751029	408294	97.2350823
I20	8.02022167	8.34015456	8.18018811	11610	2.7649177	419904	100
TOTAL				419904	100		

Fuente: Elaboración propia

De las tablas 4.14 y 4.20 se tiene el resumen de media, varianza y desviación estándar la cual se muestra en la tabla 4.22.

Tabla 4.22 Resumen de valores de la media y su desviación estándar de la tabla de frecuencias de valores teórico y del grupo experimental para el control de calidad de agua de acuerdo a las entradas de la tabla 4.13.

	Teórico Calidad agua	Experimental Calidad agua
Media	5.98030597	5.96523264
Varianza	0.79647256	0.77562871
Desviación	089245311	0.88069785

De los valores de la tabla 4.22 y utilizando la fórmula de la ecuación 22, 23 y 24 se tiene el resultado del punto crítico para la calidad de agua es 5.97663916, por

consiguiente la media de la calidad de agua experimental está dentro del punto crítico. Por consiguiente no existe diferencia significativa en las dos medias para polinomios de Chebychev para un total de 1500 puntos y con entrada de la tabla 4.13.

4.5 PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.5.1 Prueba de la hipótesis 1

PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS NULA Y ALTERNA

H0: La Interpolación de Chebyshev como función de membresía en la lógica difusa se ajusta significativamente al modelo Mandani.

H1: La Interpolación de Chebyshev como función de membresía en la lógica difusa no se ajusta significativamente al modelo Mandani.

H0: $\mu_1 = \mu_2$

H1: $\mu_1 \neq \mu_2$

SELECCIONAR EL NIVEL DE SIGNIFICANCIA

El nivel de confiabilidad es de 95%, por consiguiente, con un error de estudio del 5%, en este caso la prueba es bilateral por consiguiente $\alpha/2=0.025$

VALOR ESTADÍSTICO DE PRUEBA

El valor estadístico de prueba que se ha considerado para el contraste de hipótesis es el que corresponde al estadístico de prueba Z por ser la muestra mayor a 30, esta presentada por la fórmula de la ecuación 27.

$$Z = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Donde:

\bar{X}_i = medias de la muestras (tabla 4.10)

S_i^2 = Varianza de las muestras (tabla 4.10)

n_i = tamaño de la muestras (456750 para cada grupo)

z = valor estándar calculado

Cálculo de Z para la orientación

$$Z = \frac{-0.3864 - -0.3668}{\sqrt{\frac{48.83}{456750} + \frac{48.376}{456750}}} = -0.1925$$

Cálculo de Z para la velocidad

$$Z = \frac{30.362 - 30.37}{\sqrt{\frac{13.829}{456750} + \frac{13.69}{456750}}} = 1.08393$$

FORMULACIÓN DE LA REGLA DE DECISIÓN

La regla de decisión se formula hallando los valores críticos de z con base en las tablas del porcentaje de área bajo la curva normal (tablas de z). Como se trata de una prueba bilateral, $\alpha/2 = 0,025$.

Rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, si el valor calculado de z no está entre -1.96 y $+1.96$. No rechazar la hipótesis nula si z cae entre -1.96 y $+1.96$.

TOMA DE DECISIÓN

Como el valor de Z orientación es -0.1925 y Z velocidad es 1.08393 y de acuerdo a la regla de decisión dichos puntos caen entre -1.96 y $+1.96$ por consiguiente se acepta la hipótesis nula, de ello podemos afirmar que la interpolación de Chebyshev se ajusta significativamente al modelo Mandani de la lógica difusa.

4.5.2 Prueba de la hipótesis 2

PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS NULA Y ALTERNA

H0: La Interpolación de Chebyshev como función de membresía en la lógica difusa se ajusta significativamente al modelo Tsukamoto.

H1: La Interpolación de Chebyshev como función de membresía en la lógica difusa no se ajusta significativamente al modelo Tsukamoto.

H0: $\mu_1 = \mu_2$

H1: $\mu_1 \neq \mu_2$

SELECCIONAR EL NIVEL DE SIGNIFICANCIA

El nivel de confiabilidad es de 95%, por consiguiente, con un error de estudio del 5%, en este caso la prueba es unilateral por consiguiente $\alpha=0.05$

VALOR ESTADÍSTICO DE PRUEBA

El valor estadístico de prueba que se ha considerado para el contraste de hipótesis es el que corresponde al estadístico de prueba Z por ser la muestra mayor a 30, esta presentada por la fórmula de la ecuación 27.

$$Z = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Donde:

\bar{X}_i = medias de las muestras (tabla 4.16, 4.18, 4.20 y 4.22)

S_i^2 = Varianza de las muestras (tabla 4.16, 4.18, 4.20 y 4.22)

n_i = tamaño de las muestras (tamaño de 419904 para cada muestra)

Cálculo de z para 400 puntos

$$Z = \frac{6.094957 - 6.121103}{\sqrt{\frac{1.879599}{419904} + \frac{1.69863}{419904}}} = -8.9566$$

Cálculo de z para 800 puntos

$$Z = \frac{6.094957 - 6.115845}{\sqrt{\frac{1.879599}{419904} + \frac{1.694318}{419904}}} = -7.160019$$

Cálculo de z para 1500 puntos

$$Z = \frac{6.094957 - 6.124682}{\sqrt{\frac{1.879599}{419904} + \frac{1.697188}{419904}}} = -10.184748$$

Cálculo de z para la combinación de entradas de la tabla 4.13

$$Z = \frac{5.980305 - 5.965232}{\sqrt{\frac{0.797472}{419904} + \frac{0.775628}{419904}}} = 7.79011$$

FORMULACIÓN DE LA REGLA DE DECISIÓN

La regla de decisión se formula hallando los valores críticos de z con base en las tablas del porcentaje de área bajo la curva normal (tablas de z). Como se trata de una prueba bilateral, $\alpha/2 = 0,025$.

Rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, si el valor calculado de z no está entre -1.96 y $+1.96$. No rechazar la hipótesis nula si z cae entre -1.96 y $+1.96$.

TOMA DE DECISIÓN

Como el valor de Z para 400, 800, 1500 puntos no está entre -1.96 y $+1.96$ por consiguiente se rechaza la hipótesis nula, de ello podemos afirmar que la

interpolación de Chebyshev no se ajusta significativamente al modelo sugeno de la lógica difusa.

CONCLUSIONES

Por los resultados del coeficiente de determinación, La interpolación de Chebyshev se ajusta como función de membresía en la lógica difusa ya que da los mismos resultados que la función triángulo, función trapecio, función sigmoideal y función gaussiana.

Al utilizar la Interpolación de Chebyshev como función de membresía en la lógica difusa los resultados de centroides en el modelo Mandani se ajusta a las funciones de pertenencia triángulo, trapecio.

Al utilizar la Interpolación de Chebyshev como función de membresía en la lógica difusa los resultados de centroides en el modelo Sugeno no se ajusta a las funciones de pertenencia sigmoideal y gaussianas.

RECOMENDACIONES

Para mejorar el ajuste de la curva con la interpolación de Chebyshev se requiere utilizar mayor a 2000 puntos, se tiene que tener en cuenta la capacidad de procesamiento del computador.

La elección de una función membresía para el modelado de las variables depende del comportamiento de los datos las cuales se quiere modelar, este modelado se debe hacer en concordancia con los expertos del área de estudio.

Mediante la interpolación de Chebyshev las variables de salida con el modelo Sugeno y Tsukamoto, sus valores $f(x)$ de las variables no deben ser contantes ya que los valores $f(x)$ mediante regresión múltiple se hace infinito

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Barragan Piña Antonio (2009). Síntesis de sistemas de control borroso estables por diseño. Huelva: Universidad de Huelva.
- Chapra Steven C, Canale Raymond P. (2006) Métodos numéricos para ingenieros. México: Quinta edición, Mc. Graw Hill.
- Ebel F., Idler S., Prede G. y Scholz D. (2008). Fundamento de la técnica de automatización. Alemania.
- Félix Alvino Miguel (2015). Diferencias finitas y métodos espectrales para ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales, Universidad Nacional San Agustín Arequipa-Perú.
- Félix Alvino Miguel (2015). Diferencias finitas y métodos espectrales para ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales”. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.
- Fernández Villarroel Álvaro (2017). propuesta didáctica y conocimientos de un método espectral (método de Chebyshev), en la especialidad de matemática. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Perú.
- García Olivo (2013). El método Chebyshev para el cálculo de raíces de ecuaciones no lineales. Universidad de la Rioja.
- Gil Amparo, Segura Javier y Temme Nico M. (2007). Numerical methods for special functions. SIAM, Philadelphia.
- Graciela María de Jesús y Mario I. Chacón (2010). Tesis: Reconocimiento de defectos en maderas utilizando una red neuro difusa. Universidad Autónoma Indígena de México.
- Hao Ying (1993). “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
- Hernández, Fernández y Baptista (2006). Metodología de la investigación, México: 3°

Edi... MC Graw Hill.

- Jang J., Sun C. (2000). Neuro-Fuzzy and soft computing: Editorial Prentice hall upper saddle river, 1ra. Ed. Cap. 1-5,8.
- Jan Jantzen (2007). Foundations of fuzzy control, John wiley & Sons, Ltd.
- Jen J., Langari R. (1999). Fuzzy logic intelligence, control and information. Pretince hall.
- Joyanes Aguilar Luis, Zahonero Martínez Ignacio (2001). Programación en C, metodología algoritmos y estructura de datos. Madrid-España: Mac Graw Hill.
- Li-Xin W. (1997). "A course in Fuzzy Systems and Control": Editorial Prentice Hall.
- Márquez Hernández y Francisco A. (2009). Cooperación entre sistemas de inferencia, métodos de defuzzificación y aprendizaje de sistemas difusos lingüísticos, Huelva. Universidad de Huelva.
- Mendel J. M, Peres, (1995). Fuzzy Logic systems for engieniering; A Tutorial, Proceedings of the IEEE, Vol 83, 3,345.
- MM Janela Teresa (2013). Murder cases using trapezoidal and Lagrange Interpolation Membership Functions. Rev. Sciencedirect.
- NISE, Norman S. (2006) Sistemas de Control para Ingeniería. Romo, Jorge Humberto (traductor). 1a ed. 3a reimpresión. México: CECSA. 970 p. ISBN: 970-24-0254-9.
- Ogata Katsuhiko (1980). Ingeniería de control moderna. Primera edición. México: Pretince Hall.
- Pajares Martin, Sanz Gonzalo, Santos Peñas Matilde (2006). Inteligencia artificial e ingeniería del conocimiento. México: Alfaomega.
- Palacios Enrique, Remiro Fernando y López Lucas (2004). Microcontrolador PIC16F84, desarrollo de proyectos. México: 2da ed. Editorial Afaomega RA-MA
- Ponce Cruz Pedro (2010). Inteligencia Artificial con aplicaciones a la ingeniería: México: Afaomega.

- Radrigan R. Mariza (2005). Metodología de la investigación.
- Ramírez Ramos Osvaldo (2008). Simulación en semmichanics de un sistema de control para robot UDLAP. Universidad de las Américas. Puebla-México
- Ruiz de Somocurcio Salas, Álvaro (2008). Control de tráfico vehicular automatizado utilizando lógica difusa, Universidad Ricardo Palma, Perú.
- Sáenz López (2015). Estudio de los métodos espectrales en ecuaciones diferenciales en una sola dimensión y su comparación con el método de diferencias finitas.
- Sáenz López David (2015). Estudio de los métodos espectrales en ecuaciones diferenciales de una dimensión y su comparación con el método de diferencias finitas”, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Solchiro Nakamura (1992). Métodos numéricos aplicados con software: Editorial 1ra ed. Pretinse Hall.
- Venero B. Armando (2012). Análisis matemático 1, Lima-Perú: Segunda Edición. Ed. Gemar.
- Vilca Contreras Jesús Martin y Vidarte Chicchon carolina del rosario (2010). Diseño e implementación de un sistema de control difuso de agua temperada de uso doméstico, Pontificia Universidad Católica del Perú,

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO: Interpolación Chebyshev como función membresía en lógica difusa						
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>PRINCIPAL ¿En qué medida la interpolación Chebyshev se ajusta como función membresía en la lógica difusa?</p> <p>SECUNDARIO ¿De qué manera la Interpolación de Chebyshev como función de membresía se ajusta al modelo Mandani?</p> <p>¿De qué manera la Interpolación de Chebyshev como función de membresía se ajusta al modelo Sugeno?</p>	<p>GENERAL Demostrar que la interpolación de Chebyshev se ajusta como función de membresía en la lógica difusa.</p>	<p>GENERAL La interpolación Chebyshev como función membresía en la lógica difusa se ajustará significativamente en la lógica difusa.</p>	<p>V(I) independiente Interpolación de Chebyshev como función de membresía</p>	<p>Tipos de función de pertenencia</p>	<p>Comportamiento de la función Triángulo, trapecio, Sigmoidal y gaussiana.</p>	<p>El tipo de investigación es Básica. (experimental - cuasi experimental)</p> <p>NIVEL y DISEÑO La investigación es explicativa con un diseño cuasi experimental donde el diseño es: G1 O1 X O2 G2 O3 X O4</p>
	<p>ESPECÍFICO Demostrar que la Interpolación de Chebyshev como función de membresía en la lógica difusa se ajusta al modelo Mandani.</p>	<p>SECUNDARIO La Interpolación de Chebyshev como función de membresía en la lógica difusa se ajustará significativamente al modelo Mandani.</p>	<p>V(D) Lógica difusa</p>	<p>Aplicación control de un robot móvil</p>	<p>Salida de valores del sistema</p>	
	<p>Demostrar que la Interpolación de Chebyshev como función de membresía en la lógica difusa se ajusta al modelo Sugeno.</p>	<p>La Interpolación de Chebyshev como función de membresía en la lógica difusa se ajustará significativamente al modelo Tsukamoto.</p>		<p>Aplicación de control de calidad de agua</p>	<p>Salida de valores del sistema</p>	

Bbb

Xxxxx

Anexo 4

Programa de cálculo de centroide mediante interpolación de Chebyshev en lenguaje de programación Matlab

```
%-----  
  
Function [ejex, ejey] = chebychev2_ab (a, b, n, f)  
  
Xn=zeros (1, n);  
  
Ff=inline (vectorize (f));  
  
For k=1: n  
  
    Xn (k) =cos ((n+0.5-k)*pi/n);  
  
End  
  
%xn;  
  
%xn=cos ((k+0.5-n)*pi/k);  
  
y= (1/2)*((b-a)*xn+a+b); %los zn nodos de chebychev  
  
yy= [a y b]; %incrementamos los extremos del intervalo a los puntos obtenidos con  
chebychev  
  
Fk=ff (yy); %calculamos los valores de los puntos de chebychev en la función original  
  
ejex=yy;  
  
ejey=fk;  
  
end  
  
%-----  
  
Función [XX, YY]=puntos_chebychev_gausiana (aa, bb, centro, ancho, np)  
  
%Entrada  
  
% - aa: es el primer punto del trapecio.  
  
% - bb: es el segundo punto del trapecio.
```

```

% - cc: es el tercer punto del trapecio.
% - dd: es el cuarto punto del trapecio.
% - a, b: son los extremos del intervalo.
% - np: es el número de puntos para la interpolación chebychev.
% - p_interpolar: es el punto a interpolar
% - YY es la función después de haber hallado resultados.
%Resultados
% - P es la matriz que contiene los coeficientes del
% - polinomio interpolador de Lagrange en orden decreciente.
% - L es la matriz que contiene los coeficientes de los
% - polinomios coeficientes de Lagrange en odren decreciente.

%chebychev2_ab(a, b, np, f); a, b=intervalo. Np=número de puntos. f=función a
%evaluar

%a=1 %intervalo inferior del polinomio de chebychev
%b=4 % intervalo superior del polinomio de chebychev
%np=15

%Utilizando mínimos y máximos para hallar función trapecio el cual se va
%usar
f=strcat ('expect (-0.5.*((x-', num2str (centro),') ./', num2str (ancho),') ^2)');

[x,yi]=chebychev2_ab (aa, bb, np, f);
%xint=input ('Número para el que desea interpolar x: ');

```

```

XX=x;
YY=yi;
end
%-----
Function [XX, YY]=puntos_chebychev_sigmoidal (aa, bb, centro, punto quiebre, np)
%Entrada
% - aa: es el primer punto del intervalo sigmoide.
% - bb: es el segundo punto del intervalo sigmoide.
% - punto quiebre: es el valor de "a" en la fórmula que puede ser positivo
% o negativo, donde "centro - punto quiebre" es el punto de quiebre real.
% - centro: es el valor de "c" en la formula, es el punto medio del sigmoide.
% - np: es el número de puntos para la interpolación chebychev.

%Resultados
% - XX puntos x
% - YY puntos y

%chebychev2_ab(a, b, np, f); a, b=intervalo. np=número de puntos. f=función a
%evaluar

%a=1 %intervalo inferior del polinomio de chebychev
%b=4 % intervalo superior del polinomio de chebychev
%np=15

%Utilizando minimos y máximos para hallar función trapecio el cual se va
%usar

```

```

f=strcat ('1. / (1+Exp (' , num2str (punto quiebre),'.*(x-', num2str (centro),'))));

[X, yi]=chebychev2_ab (aa, bb, np, f);

    %xint=input ('Número para el que desea interpolar x: ');

XX=x;

YY=yi;

End

%-----

Datos de centroide de calidad de agua

%-----

clc;

clear;

%A=rand (20,5);

%xlswrite ('ejemplo.xlsx', A,'Hoja3','c3')

% [c1, c2]=reglas_vivero_V2_funcion (1, 3,22);

%

[centroide]=Regla_calidad_agua_g_v2(leptoceridae,hidrobiosidae,planariidae,anphipoda,chiri
noidae,psicodidae,syrphidae)

%+++++
+++++

%matriz_calidad_agua=zeros(46,9);

fila=1;

con_leptoceridae=0.01;

while(con_leptoceridae<0.82)

    con_hidrobiosidae=0.01;

    While (con_hidrobiosidae<0.82)

```

```

con_planariidae=0.01;

While (con_planariidae<0.82)
    con_anhipoda=0.01;
while(con_anhipoda<0.82)
    con_chirinoidae=0.1;
    while(con_chirinoidae<8.2)
        con_psicodidae=0.01;
while(con_psicodidae<0.82)%el ultimo es 0.81
    con_syrphidae=0.01;
    columnna=1;
    while(con_syrphidae<0.98)

```

```

[Tsukamoto,Sugeno]=Regla_calidad_agua_g_v3(con_leptoceridae,con_hidrobiosidae,con_pl
anariidae,con_anhipoda,con_chirinoidae,con_psicodidae,con_syrphidae);

```

```

    matriz_calidad_agua1(fila,columnna)=Tsukamoto;

```

```

    matriz_calidad_agua2(fila,columnna)=Sugeno;

```

```

    con_syrphidae=con_syrphidae+0.12;

```

```

    columnna=columnna+1;

```

```

end %-----fin de con_syrphidae

```

```

con_psicodidae=con_psicodidae+0.16;

```

```

fila=fila+1; % se pone aqui para que cambie las filas

```

```

end%-----fin de con_psicodidae

```

```

con_chirinoidae=con_chirinoidae+1.6

```

```

end%----- fin de con_chirinoidae

```

```

con_anhipoda=con_anhipoda+0.16;

```

```

end% -----fin de con_anhipoda

```

```

con_planariidae=con_planariidae+0.16;

end%----- fin de con_planariidae

con_hidrobiosidae=con_hidrobiosidae+0.16;

end%----- fin de con_hidrobiosidae

con_leptoceridae=con_leptoceridae+0.16;
con_leptoceridae

end%----- fin de con_leptoceridae

xlswrite('centroide_calidad_agua_expe_V23Tsuka.xlsx',matriz_calidad_agua1,'Hoja3','d4')
xlswrite('centroide_calidad_agua_expe_V23suge.xlsx',matriz_calidad_agua2,'Hoja3','d4')

%-----

%-----

function [XX,YY]=puntos_chebychev_trapecio(aa,bb,cc,dd,a,b,np)
%Entrada
% - aa: es el primer punto del trapecio.
% - bb: es el segundo punto del trapecio.
% - cc: es el tercer punto del trapecio.
% - dd: es el cuarto punto del trapecio.
% - a,b: son los extremos del intervalo.
% - np: es el nmero de puntos para la interpolacin chebychev.

```

```

% - p_interpoliar: es el punto a interpolar
% - YY es la funcin despues de haber hallado resultados.
%Resultados
% - P es la matriz que contiene los coeficientes del
% - polinomio interpolador de Lagrange en orden decreciente.
% - L es la matriz que contiene los coeficientes de los
% - polinomios coeficientes de Lagrange en odren decreciente.

%chebychev2_ab(a,b,np,f); a,b=intervalo. np=nmero de puntos. f=funcin a
%evaluar

%a=1 %intervalo inferior del polinomio de chebychev
%b=4 % intervalo superior del polinomio de chebychev
%np=15

%funciones trapecio -----
%aa=1;bb=2.5;cc=2.5;dd=4;
% xxxx=5;
%if (xxxx<=aa)
%ft='0';
%else
% if (aa<=xxxx<=bb)
% ft='(xxxx-aa)/(bb-aa)';
% else
% if (bb<=xxxx<=cc)
% ft='1'
% else

```

```

% if (cc<=xxxx<=dd)

% ft=(dd-xxxx)/(dd-cc);

% else

% ft='0';

% end

%end

%end

%end % fin de la funcin trapecio por intervalos

%Utilizando minimos y mximos para hallar funcin trapecio el cual se va
%usar

% if (aa==bb)

% aa=aa+0.1;

% end

% if (cc==dd)

%cc=cc+0.1;

%end

fxx=strcat('max(min((x-',num2str(aa),')/(',num2str(bb),-',',num2str(aa),'),
min(',num2str(dd),'-x)/(',num2str(dd),-',',num2str(cc),'),',',1))', ',0)');

f=fxx;

% disp(f);

[x,yi]=chebychev2_ab(a,b,np,f);

%xint=input('Numero para el que desea interpolar x: ');

XX=x;

YY=yi;

end

```

```

%-----
Datos para las funciones triangulo, trapecio, sigmoidal, gausiana
%-----
%prueba de las funciones triangulo, trapecio, sigmoidal y gaussiana versus
%Chebyshev

clc;

clear;

%chebyshev vs triangulo -----=puntos_chebychev_trapecio(aa,bb,cc,dd,a,b,np)
[che_tri_X,che_tri_Y]=puntos_chebychev_trapecio(0,3,3,6,0,6,1500);
%che_tri=[che_tri_X;che_tri_YY];
x=[0:0.003994674:6];
for i=1:length(x)
    che_tri_YY(i)=interpo_lagra_chebyshev(che_tri_X,che_tri_Y,x(i));
end
che_tri=[x;che_tri_YY];
%trimf(x,[a b c])
tri_Y=trimf(x,[0 3 6]);
com_tri=[x;tri_Y];

%-----chebyshev vs trapecio
[che_tra_X,che_tra_Y]=puntos_chebychev_trapecio(0,3,4,6,0,6,1500);
%che_tra=[Che_tra_X;che_tra_YY];
x=[0:0.003994674:6];

for i=1:length(x)
    che_tra_YY(i)=interpo_lagra_chebyshev(che_tra_X,che_tra_Y,x(i));
end
che_tra=[x;che_tra_YY];

```

```

%trapmf(x,[a b c d])

tra_Y=trapmf(x,[0 3 4 6]);

com_tra=[x;tra_Y];

%-----chebyshev vs sigmoidal

%[x_leptoceridae,y_leptoceridae]=puntos_chebychev_sigmoidal(0,1,centro,-
80,Nro_puntos_chebychev);

[che_sig_X,che_sig_Y]=puntos_chebychev_sigmoidal(0,6,4,-2,1500);

%che_sig=[che_sig_X;che_sig_Y];

%sigmf(x,[-80 centro])

x=[0:0.003994674:6];

for i=1:length(x)

    che_sig_YY(i)=interpo_lagra_chebyshev(che_sig_X,che_sig_Y,x(i));

end

che_sig=[x;che_sig_YY];

sig_Y=sigmf(x,[2 4]);

com_sig=[x;sig_Y];

%-----chebyshev vs gausiana

%[x_syrphidae,y_syrphidae]=puntos_chebychev_gausiana(0,1,centro,0.01,Nro_puntos_cheby
chev);

[che_gau_X,che_gau_Y]=puntos_chebychev_gausiana(0,6,3,0.5,1500);

%che_gau=[che_gau_X;che_gau_Y];

%gaussmf(x,[sig centro])

x=[0:0.003994674:6];

for i=1:length(x)

    che_gau_YY(i)=interpo_lagra_chebyshev(che_gau_X,che_gau_Y,x(i));

```

```

end

che_gau=[x;che_gau_YY];

gau_Y=gaussmf(x,[0.5 3]);

com_gau=[x;gau_Y];

% Graficos de los datos anteriores

plot(x,tri_Y,'b')

hold on

plot(x,che_tri_YY,'r')

%-----

plot(x,tra_Y,'b')

plot(x,che_tra_YY,'r')

%-----

%plot(x,sig_Y,'g')

%plot(che_sig_X,che_sig_Y,'g')

plot(x,sig_Y,'b')

plot(x,che_sig_YY,'g')

%-----

%plot(x,gau_Y,'g')

%plot(che_gau_X,che_gau_Y,'b')

plot(x,gau_Y,'g')

plot(x,che_gau_YY,'b')

xlswrite('funcones_con_tri.xlsx',com_tri,'Hoja3','d4')

xlswrite('funcones_che_tri.xlsx',che_tri,'Hoja3','d4')

xlswrite('funcones_com_tra.xlsx',com_tra,'Hoja3','d4')

```

```
xlswrite('funcones_che_tra.xlsx',che_tra,'Hoja3','d4')
```

```
xlswrite('funcones_com_sig.xlsx',com_sig,'Hoja3','d4')
```

```
xlswrite('funcones_che_sig.xlsx',che_sig,'Hoja3','d4')
```

```
xlswrite('funcones_com_gau.xlsx',com_gau,'Hoja3','d4')
```

```
xlswrite('funcones_che_gau.xlsx',che_gau,'Hoja3','d4')
```

```
%-----
```

```
Parte de la regla de la calidad de agua
```

```
%-----
```

```
function
```

```
[centroideT,centroideS]=Regla_calidad_agua_g_v3(leptoceridae,hidrobiosidae,planariidae,an  
phipoda,chirinoideae,psicodidae,syrphidae)
```

```
%clc;
```

```
%clear;
```

```
%entrada de variable 1 (Humedad relativa)de logica difusa
```

```
%rango=rango de la variable Ri valor de rango inferior Rs valor rango
```

```
%superi
```

```
Nro_puntos_chebychev=1000;
```

```
%Nro_punos_chebychev=70;
```

```
%-----
```

```
%variables linguisticas de entrada
```

```
%-----
```

```
[x_leptoceridae,y_leptoceridae]=puntos_chebychev_sigmoidal(0,1,0.05,-  
80,Nro_puntos_chebychev);
```

```

[x_hidrobiosidae,y_hidrobiosidae]=puntos_chebychev_sigmoidal(0,1,0.1,-
50,Nro_puntos_chebychev);

[x_planariidae,y_planariidae]=puntos_chebychev_sigmoidal(0,1,0.3,-
10,Nro_puntos_chebychev);

[x_anphipoda,y_anphipoda]=puntos_chebychev_gausiana(0,1,0.2,0.07,Nro_puntos_chebyche
v);

[x_chirinoidae,y_chirinoidae]=puntos_chebychev_sigmoidal(0,10,1,4,Nro_puntos_chebychev
);

[x_psicodidae,y_psicodidae]=puntos_chebychev_sigmoidal(0,1,0.1,-
50,Nro_puntos_chebychev);

[x_syrphidae,y_syrphidae]=puntos_chebychev_gausiana(0,1,0.05,0.01,Nro_puntos_chebyche
v);

```

```

%puntos de interpolacion a partir del punto x en las variables linguisticas

py_leptoceridae=interpo_funcion(x_leptoceridae,y_leptoceridae,leptoceridae);

py_hidrobiosidae=interpo_funcion(x_hidrobiosidae,y_hidrobiosidae,hidrobiosidae);

py_planariidae=interpo_funcion(x_planariidae,y_planariidae,planariidae);

py_anphipoda=interpo_funcion(x_anphipoda,y_anphipoda,anphipoda);

py_chirinoidae=interpo_funcion(x_chirinoidae,y_chirinoidae,chirinoidae);

py_psicodidae=interpo_funcion(x_psicodidae,y_psicodidae,psicodidae);

py_syrphidae=interpo_funcion(x_syrphidae,y_syrphidae,syrphidae);

```

```

%
%-----

%           REGLAS para calidad de la planta

% estas reglas varían de acuerdo a la tabla de reglas que se tiene según

% los expertos

%-----

```

```

%pesos para sugeno y Tsukamoto

%-----

w1=0;
w2=0;
w3=0;
w4=0;
w5=0;
w6=0;
w7=0;
w8=0;
w9=0;

%-----

%Para 3 variables Z es:  $Z=ax+by+cq+r$  y para 2 variables es:  $Z=ax+by+r$ 

%funciones para Sugeno son  $f(x,y)$  y  $f(q,x,y)$ 

%las combinaciones de las funcones son son  $x,y,q$ 

%-----

%f1=inline(vectorize('2.3283e-010.*x+-1.1642e-010.*y+8.5'));

f1=inline(vectorize('9.0949e-013.*x+-9.0949e-013.*y+8.5'));%nuevo valor cambiando la
entrada X en excel

%f2=inline(vectorize('0.*x+0.*y+5'));

f2=inline(vectorize('4.5475e-013.*x+-4.5475e-013.*y+5'));

f3=inline(vectorize('1.1642e-010.*x+-1.1642e-010.*y+8.5'));

f4=inline(vectorize('0.*x+0.*y+5'));

%f4=inline(vectorize('-1.1369e-013.*x+0.*y+5'));

f5=inline(vectorize('0.*x+0.*y+1.5'));

```

```

f6=inline(vectorize('0.*x+0.*y+0.*q+7'));%3 variables: f(q,x,y)

%f6=inline(vectorize('0.*x+0.*y+0.*q+7'));%3 variables: f(q,x,y) con X=0.01,0.08,0.015,....

%f6=inline(vectorize('0.*x+-10.*y+-1.*q+7'));%3 variables: f(q,x,y) con
X=0.01,0.08,0.015,.... y valor de Y=0.02,0.08,... y el ultimo se cambio el 1 por 0.9

f7=inline(vectorize('0.*x+0.*y+0.*q+3'));%3 variables: f(q,x,y)

f8=inline(vectorize('0.*x+0.*y+0.*q+7'));%3 variables: f(q,x,y)

f9=inline(vectorize('0.*x+-0.*y+1.5'));

f11=f1(leptoceridae,hidrobiosidae);

f22=f2(planariidae,anhipoda);

f33=f3(leptoceridae,hidrobiosidae);

f44=f4(planariidae,anhipoda);

f55=f5(psicodidae,syrphidae);

f66=f6(planariidae,leptoceridae,hidrobiosidae);%q=planariidae

f77=f7(syrphidae,chirinoidae,psicodidae);%q=syrphidae

f88=f8(anhipoda,leptoceridae,hidrobiosidae);%q=anhipoda

f99=f9(psicodidae,syrphidae);

%-----

%----- salida calidad de agua-----

%-----

%function [XX, YY]=puntos_chebychev_func_constante(aa,bb,centro,np)

%aa y bb deben ser del mismo valor por qué se quiere un solo punto en el eje x

[extremada_mala_x,extremada_mala_y]=puntos_chebychev_func_constante(0,0,0,Nro_punto
s_chebychev);

[muy_mala_x,muy_mala_y]=puntos_chebychev_func_constante(1.5,1.5,1.5,Nro_puntos_che
bychev);

```

```

[mala_x,mala_y]=puntos_chebychev_func_constante(3,3,3,Nro_puntos_chebychev);
[regular_x,regular_y]=puntos_chebychev_func_constante(5,5,5,Nro_puntos_chebychev);
[buena_x,buena_y]=puntos_chebychev_func_constante(7,7,7,Nro_puntos_chebychev);
[muy_buena_x,muy_buena_y]=puntos_chebychev_func_constante(8.5,8.5,8.5,Nro_puntos_c
hebychev);
[extremada_buena_x,extremada_buena_y]=puntos_chebychev_func_constante(10,10,10,Nro_
puntos_chebychev);

%-----
%reglas de la logica difusa
%-----

% valor=min(ht_baja,min(hr_muybaja,ta_muybaja));
% disp('xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx')

%regla 1
if py_leptoceridae<=1.00001 && py_leptoceridae>-0.999999
    if(py_hidrobiosidae<=1.00001 && py_hidrobiosidae>-0.999999)
        w1=min(py_leptoceridae,py_hidrobiosidae);
    end
end

%regla2
if py_planariidae<=1.00001 && py_planariidae>-0.999999
    if(py_anhipoda<=1.00001 && py_anhipoda>-0.999999)
        w2=max(py_planariidae,py_anhipoda);
        % w2=min(py_planariidae,py_anhipoda);
    end
end

```

```

end

%regla3
if py_leptoceridae<=1.00001 && py_leptoceridae>-0.999999
    if(py_hidrobiosidae<=1.00001 && py_hidrobiosidae>-0.999999)
        w3=max(py_leptoceridae,py_hidrobiosidae);
        %w3=min(py_leptoceridae,py_hidrobiosidae);
    end
end

end

%regla4
if py_planariidae<=1.00001 && py_planariidae>-0.999999
    if(py_anhipoda<=1.00001 && py_anhipoda>-0.999999)
        w4=min(py_planariidae,py_anhipoda);
    end
end

end

%regla5
if py_psicodidae<=1.00001 && py_psicodidae>-0.999999
    if(py_syrphidae<=1.00001 && py_syrphidae>-0.999999)
        w5=min(py_psicodidae,py_syrphidae);
    end
end

end

%regla6
if py_leptoceridae<=1.00001 && py_leptoceridae>-0.999999
    if(py_hidrobiosidae<=1.00001 && py_hidrobiosidae>-0.999999)

```

```

if (py_planariidae<=1.00001 && py_planariidae>-0.999999)
    w6=min(min(py_leptoceridae,py_hidrobiosidae),py_planariidae);
end
end
end

%regla7
if py_chirinoidae<=1.00001 && py_chirinoidae>-0.999999
    if(py_psicodidae<=1.00001 && py_psicodidae>-0.999999)
        if (py_syrphidae<=1.00001 && py_syrphidae>-0.999999)
            w7=min(min(py_chirinoidae,py_psicodidae),py_syrphidae);
        end
    end
end

%regla8
if (py_leptoceridae<=1.00001 && py_leptoceridae>-0.999999)
    if(py_hidrobiosidae<=1.00001 && py_hidrobiosidae>-0.999999)
        if(py_anhipoda<=1.00001 && py_anhipoda>-0.999999)
            w8=min(min(py_leptoceridae,py_hidrobiosidae),py_anhipoda);
        end
    end
end

%regla9
if(py_psicodidae<=1.00001 && py_psicodidae>-0.999999)
    if (py_syrphidae<=1.00001 && py_syrphidae>-0.999999)

```

```

w9=max(py_psicodidae,py_syrphidae);

% w9=min(py_psicodidae,py_syrphidae);

end

end

%-----

%buscamos las f(wi)para Tsukamoto

%-----

fw1=extrapolacion_funcion_abierta(muy_buena_x,muy_buena_y,w1);
fw2=extrapolacion_funcion_abierta(regular_x,regular_y,w2);
fw3=extrapolacion_funcion_abierta(muy_buena_x,muy_buena_y,w3);
fw4=extrapolacion_funcion_abierta(regular_x,regular_y,w4);
fw5=extrapolacion_funcion_abierta(muy_mala_x,muy_mala_y,w5);
fw6=extrapolacion_funcion_abierta(buena_x,buena_y,w6);
fw7=extrapolacion_funcion_abierta(mala_x,mala_y,w7);
fw8=extrapolacion_funcion_abierta(buena_x,buena_y,w8);
fw9=extrapolacion_funcion_abierta(muy_mala_x,muy_mala_y,w9);

%formula centroide en caso Tsukamoto: z=(w1*z1+w2*z2+w3*z3+.....)/(w1+w2+w3+.....)

centroideT=(w1*fw1+w2*fw2+w3*fw3+w4*fw4+w5*fw5+w6*fw6+w7*fw7+w8*fw8+w9*fw9)/(w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9);

centroideS=(w1*f11+w2*f22+w3*f33+w4*f44+w5*f55+w6*f66+w7*f77+w8*f88+w9*f99)/(w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9);

end

%-----

Regla para el robot movil

%-----

```

```

function
[x_trayec,y_trayec,centro_trayec,x_velo,y_velo,centro_velo]=Regla_robot_movil_funcion_g
_v2(s_izquierdo,s_centro,s_derecho,trayectoria)

%clc;

%clear;

%entrada de variable 1 (Humedad relativa)de logica difusa

%rango=rango de la variable Ri valor de rango inferior Rs valor rango

%superi

Nro_punos_chebychev=400;

%Nro_punos_chebychev=70;

Punto_interpolar=s_izquierdo;

switch Punto_interpolar

case{0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,150,151,152,153,154,155,156,157,
158,159,160}%son puntos picos

    Punto_interpolar=Punto_interpolar-0.000000001;

end

s_izquierdo_cercano=interpo_trapecio_v2(0,0,20,80,0,80,Nro_punos_chebychev,Punto_inter
polar);

s_izquierdo_lejano=interpo_trapecio_v2(50,150,160,160,50,160,Nro_punos_chebychev,Punt
o_interpolar);

if (s_izquierdo_cercano>1 )&&(s_izquierdo_cercano<1.2)

    s_izquierdo_cercano=1;%se da este valor por que en la interpolacion no ajusta exacto

end

if (s_izquierdo_lejano>1 )&&(s_izquierdo_lejano<1.2)

    s_izquierdo_lejano=1;%se da este valor por que en la interpolacion no ajusta exacto

end

```

```

%-----

Punto_interpolar=s_centro;

switch Punto_interpolar

case{0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,150,151,152,153,154,155,156,157,
158,159,160}%son puntos picos

    Punto_interpolar=Punto_interpolar-0.000000001;

end

s_centro_cercano=interpo_trapecio_v2(0,0,20,80,0,80,Nro_punos_chebychev,Punto_interpol
ar);

s_centro_lejano=interpo_trapecio_v2(50,150,160,160,50,160,Nro_punos_chebychev,Punto_i
nterpolar);

if (s_centro_cercano>1 )&&(s_centro_cercano<1.2)

    s_centro_cercano=1;%se da este valor por que en la interpolacion no ajusta exacto

end

if (s_centro_lejano>1 )&&(s_centro_lejano<1.2)

    s_centro_lejano=1;%se da este valor por que en la interpolacion no ajusta exacto

end

%-----

Punto_interpolar=s_derecho;

switch Punto_interpolar

case{0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,150,151,152,153,154,155,156,157,
158,159,160}%son puntos picos

    Punto_interpolar=Punto_interpolar-0.000000001;

end

s_derecho_cercano=interpo_trapecio_v2(0,0,20,80,0,80,Nro_punos_chebychev,Punto_interpo
lar);

```

```

s_derecho_lejano=interpo_trapecio_v2(50,150,160,160,50,160,Nro_punos_chebychev,Punto_
interpolar);

if (s_derecho_cercano>1 )&&(s_derecho_cercano<1.2)

    s_derecho_cercano=1;%se da este valor por que en la interpolacion no ajusta exacto

end

if (s_derecho_lejano>1 )&&(s_derecho_lejano<1.2)

    s_derecho_lejano=1;%se da este valor por que en la interpolacion no ajusta exacto

end

%-----

Punto_interpolar=trayectoria;

switch Punto_interpolar

    case{-100,-20,-10,-5,0,5,10,20,100}%son puntos picos

        Punto_interpolar=Punto_interpolar-0.000000001;

    end

s_trayectoria_izquierda=interpo_trapecio_v2(-100,-100,-100,-10,-100,-
10,Nro_punos_chebychev,Punto_interpolar);

s_trayectoria_pos_izquierda=interpo_trapecio_v2(-40,-20,-20,0,-
40,0,Nro_punos_chebychev,Punto_interpolar);

s_trayectoria_centro=interpo_trapecio_v2(-5,0,0,5,-
5,5,Nro_punos_chebychev,Punto_interpolar);

s_trayectoria_pos_derecha=interpo_trapecio_v2(0,20,20,40,0,40,Nro_punos_chebychev,Punt
o_interpolar);

s_trayectoria_derecha=interpo_trapecio_v2(10,100,100,100,10,100,Nro_punos_chebychev,Pu
nto_interpolar);

%

%-----

%           REGLAS DE robot móvil

```

```

% estas reglas varian de acuerdo a la tabla de reglas que se tiene según
% los expertos
%-----
%----- salida orientacion-----
derecha=0;
izquierda=0;
poco_derecha=0;
poco_izquierda=0;
centro=0;
%-----salida velocidad-----
baja=0;
media=0;
alta=0;

% valor=min(ht_baja,min(hr_muybaja,ta_muybaja));
% disp('xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx')
valor=0;

%Hallando para primer bloque de reglas cercano de sensor izquierdo
if (s_izquierdo_cercano <= 1.00001 && s_izquierdo_cercano > 0.000001)

if (s_centro_cercano <= 1.00001) && (s_centro_cercano > 0.000001)

if (s_derecho_cercano <= 1.00001) && (s_derecho_cercano > 0.000001)
%regla 1
if (s_trayectoria_izquierda <= 1.00001) && (s_trayectoria_izquierda > 0.000001)

```

```
valor=min(s_izquierdo_cercano,min(s_centro_cercano,min(s_derecho_cercano,s_trayectoria_izquierda)));
```

```
    %if (valor>=corto)
```

```
    %corto=valor
```

```
    if (valor>=derecha) %orientación
```

```
    derecha=valor;
```

```
    end
```

```
    if (valor>=baja) % velocidad
```

```
    baja=valor;
```

```
    end
```

```
    end
```

```
    %regla 2
```

```
    if (s_trayectoria_pos_izquierda <= 1.00001) && (s_trayectoria_pos_izquierda > 0.000001)
```

```
valor=min(s_izquierdo_cercano,min(s_centro_cercano,min(s_derecho_cercano,s_trayectoria_pos_izquierda)));
```

```
    %if (valor>=corto)
```

```
    %corto=valor
```

```
    if (valor>=derecha) %orientación
```

```
    derecha=valor;
```

```
    end
```

```
    if (valor>=baja) % velocidad
```

```
    baja=valor;
```

```
    end
```

```
    end
```

```
    %regla 3
```

```

if (s_trayectoria_centro <= 1.00001) && (s_trayectoria_centro > 0.000001)

valor=min(s_izquierdo_cercano,min(s_centro_cercano,min(s_derecho_cercano,s_trayectoria_
centro)));

%if (valor>=corto)

%corto=valor

if (valor>=derecha) %orientación

derecha=valor;

end

if (valor>=baja) % velocidad

baja=valor;

end

end

%regla 4

if (s_trayectoria_pos_derecha <= 1.00001) && (s_trayectoria_pos_derecha >
0.000001)

valor=min(s_izquierdo_cercano,min(s_centro_cercano,min(s_derecho_cercano,s_trayectoria_
pos_derecha)));

%if (valor>=corto)

%corto=valor

if (valor>=izquierda) %orientación

izquierda=valor;

end

if (valor>=baja) % velocidad

baja=valor;

end

end

%regla 5

```

```

if (s_trayectoria_derecha <= 1.00001) && (s_trayectoria_derecha > 0.000001)

valor=min(s_izquierdo_cercano,min(s_centro_cercano,min(s_derecho_cercano,s_trayectoria_
derecha)));

%if (valor>=corto)

%corto=valor

if (valor>=izquierda) %orientación

izquierda=valor;

end

if (valor>=baja) % velocidad

baja=valor;

end

end

end%fin derecho cercano

if (s_derecho_lejano <= 1.00001) && (s_derecho_lejano > 0.000001)

%regla 6

if (s_trayectoria_izquierda <= 1.00001) && (s_trayectoria_izquierda > 0.000001)

valor=min(s_izquierdo_cercano,min(s_centro_cercano,min(s_derecho_lejano,s_trayectoria_iz
quierda)));

%if (valor>=corto)

%corto=valor

if (valor>=derecha) %orientación

derecha=valor;

end

if (valor>=baja) % velocidad

baja=valor;

end

```

```

end

%regla 7

if (s_trayectoria_pos_izquierda <= 1.00001) && (s_trayectoria_pos_izquierda >
0.000001)

valor=min(s_izquierdo_cercano,min(s_centro_cercano,min(s_derecho_lejano,s_trayectoria_p
os_izquierda)));

%if (valor>=corto)

%corto=valor

if (valor>=derecha) %orientación

derecha=valor;

end

if (valor>=baja) % velocidad

baja=valor;

end

end

%regla 8

if (s_trayectoria_centro <= 1.00001) && (s_trayectoria_centro > 0.000001)

valor=min(s_izquierdo_cercano,min(s_centro_cercano,min(s_derecho_lejano,s_trayectoria_c
entro)));

%if (valor>=corto)

%corto=valor

if (valor>=derecha) %orientación

derecha=valor;

end

if (valor>=baja) % velocidad

baja=valor;

```

```

end

end

%regla 9

if (s_trayectoria_pos_derecha <= 1.00001) && (s_trayectoria_pos_derecha >
0.000001)

valor=min(s_izquierdo_cercano,min(s_centro_cercano,min(s_derecho_lejano,s_trayectoria_p
os_derecha)));

%if (valor>=corto)

%corto=valor

if (valor>=derecha) %orientación

derecha=valor;

end

if (valor>=baja) % velocidad

baja=valor;

end

end

%regla 10

if (s_trayectoria_derecha <= 1.00001) && (s_trayectoria_derecha > 0.000001)

valor=min(s_izquierdo_cercano,min(s_centro_cercano,min(s_derecho_lejano,s_trayectoria_d
erecha)));

%if (valor>=corto)

%corto=valor

if (valor>=derecha) %orientación

derecha=valor;

end

if (valor>=baja) % velocidad

baja=valor;

```

```

end
end

end%fin derecho lejano
end%fin del centro cercano

%-----
if (s_centro_lejano <= 1.00001) && (s_centro_lejano> 0.000001)

if (s_derecho_cercano <= 1.00001) && (s_derecho_cercano> 0.000001)

%regla 11
if (s_trayectoria_izquierda <= 1.00001) && (s_trayectoria_izquierda> 0.000001)

valor=min(s_izquierdo_cercano,min(s_centro_lejano,min(s_derecho_cercano,s_trayectoria_izquierda)));

%if (valor>=corto)

%corto=valor

if (valor>=derecha) %orientación
derecha=valor;

end

if (valor>=baja) % velocidad
baja=valor;

end

end

%regla 12

if (s_trayectoria_pos_izquierda <= 1.00001) && (s_trayectoria_pos_izquierda>
0.000001)

```

```
valor=min(s_izquierdo_cercano,min(s_centro_lejano,min(s_derecho_cercano,s_trayectoria_pos_izquierda)));
```

```
    %if (valor>=corto)
```

```
    %corto=valor
```

```
    if (valor>=derecha) %orientación
```

```
    derecha=valor;
```

```
    end
```

```
    if (valor>=baja) % velocidad
```

```
    baja=valor;
```

```
    end
```

```
    end
```

```
%regla 13
```

```
if (s_trayectoria_centro <= 1.00001) && (s_trayectoria_centro > 0.000001)
```

```
valor=min(s_izquierdo_cercano,min(s_centro_lejano,min(s_derecho_cercano,s_trayectoria_centro)));
```

```
    %if (valor>=corto)
```

```
    %corto=valor
```

```
    if (valor>=derecha) %orientación
```

```
    derecha=valor;
```

```
    end
```

```
    if (valor>=baja) % velocidad
```

```
    baja=valor;
```

```
    end
```

```
    end
```

```
%regla 14
```

```
if (s_trayectoria_pos_derecha <= 1.00001) && (s_trayectoria_pos_derecha > 0.000001)
```

```
valor=min(s_izquierdo_cercano,min(s_centro_lejano,min(s_derecho_cercano,s_trayectoria_pos_derecha)));
```

```
    %if (valor>=corto)
```

```
    %corto=valor
```

```
    if (valor>=izquierda) %orientación
```

```
    izquierda=valor;
```

```
    end
```

```
    if (valor>=baja) % velocidad
```

```
    baja=valor;
```

```
    end
```

```
    end
```

```
    %regla 15
```

```
    if (s_trayectoria_derecha <= 1.00001) && (s_trayectoria_derecha > 0.000001)
```

```
valor=min(s_izquierdo_cercano,min(s_centro_lejano,min(s_derecho_cercano,s_trayectoria_derecha)));
```

```
    %if (valor>=corto)
```

```
    %corto=valor
```

```
    if (valor>=izquierda) %orientación
```

```
    izquierda=valor;
```

```
    end
```

```
    if (valor>=baja) % velocidad
```

```
    baja=valor;
```

```
    end
```

```
    end
```

```
end%fin derecho cercano
```

```

if (s_derecho_lejano <= 1.00001) && (s_derecho_lejano > 0.000001)

    %regla 16

    if (s_trayectoria_izquierda <= 1.00001) && (s_trayectoria_izquierda > 0.000001)

valor=min(s_izquierdo_cercano,min(s_centro_lejano,min(s_derecho_lejano,s_trayectoria_izq
uierda)));

        %if (valor>=corto)

        %corto=valor

        if (valor>=derecha) %orientación

        derecha=valor;

        end

        if (valor>=media) % velocidad

        media=valor;

        end

        end

    %regla 17

    if (s_trayectoria_pos_izquierda <= 1.00001) && (s_trayectoria_pos_izquierda >
0.000001)

valor=min(s_izquierdo_cercano,min(s_centro_lejano,min(s_derecho_lejano,s_trayectoria_pos
_izquierda)));

        %if (valor>=corto)

        %corto=valor

        if (valor>=poco_derecha) %orientación

        poco_derecha=valor;

        end

        if (valor>=media) % velocidad

        media=valor;

        end

    end

```

```

end

%regla 18

if (s_trayectoria_centro <= 1.00001) && (s_trayectoria_centro > 0.000001)

valor=min(s_izquierdo_cercano,min(s_centro_lejano,min(s_derecho_lejano,s_trayectoria_centro)));

%if (valor>=corto)

%corto=valor

if (valor>=poco_derecha) %orientación

poco_derecha=valor;

end

if (valor>=media) % velocidad

media=valor;

end

end

%regla 19

if (s_trayectoria_pos_derecha <= 1.00001) && (s_trayectoria_pos_derecha > 0.000001)

valor=min(s_izquierdo_cercano,min(s_centro_lejano,min(s_derecho_lejano,s_trayectoria_pos_derecha)));

%if (valor>=corto)

%corto=valor

if (valor>=poco_derecha) %orientación

poco_derecha=valor;

end

if (valor>=media) % velocidad

media=valor;

```

```

end

end

%regla 20

if (s_trayectoria_derecha <= 1.00001) && (s_trayectoria_derecha > 0.000001)

valor=min(s_izquierdo_cercano,min(s_centro_lejano,min(s_derecho_lejano,s_trayectoria_der
echa)));

    %if (valor>=corto)

    %corto=valor

    if (valor>=poco_derecha) %orientación

    poco_derecha=valor;

    end

    if (valor>=media) % velocidad

    media=valor;

    end

    end

end%fin derecho lejano

end%fin del sensor centro lejano

end%fin sensor izquierdo cercano

%-----

%-----

%Hallando para segundo bloque de reglas lejano de sensor izquierdo

if (s_izquierdo_lejano <= 1.00001 && s_izquierdo_lejano > 0.000001)

    if (s_centro_cercano <= 1.00001) && (s_centro_cercano > 0.000001)

```

```

if (s_derecho_cercano <= 1.00001) && (s_derecho_cercano > 0.000001)

    %regla 21

    if (s_trayectoria_izquierda <= 1.00001) && (s_trayectoria_izquierda > 0.000001)

valor=min(s_izquierdo_lejano,min(s_centro_cercano,min(s_derecho_cercano,s_trayectoria_iz
quierda)));

        %if (valor>=corto)

        %corto=valor

        if (valor>=izquierda) %orientación

        izquierda=valor;

        end

        if (valor>=baja) % velocidad

        baja=valor;

        end

        end

    %regla 22

    if (s_trayectoria_pos_izquierda <= 1.00001) && (s_trayectoria_pos_izquierda >
0.000001)

valor=min(s_izquierdo_lejano,min(s_centro_cercano,min(s_derecho_cercano,s_trayectoria_p
os_izquierda)));

        %if (valor>=corto)

        %corto=valor

        if (valor>=izquierda) %orientación

        izquierda=valor;

        end

        if (valor>=baja) % velocidad

        baja=valor;

        end

        end

```

```

end

%regla 23

if (s_trayectoria_centro <= 1.00001) && (s_trayectoria_centro > 0.000001)

valor=min(s_izquierdo_lejano,min(s_centro_cercano,min(s_derecho_cercano,s_trayectoria_c
entro)));

%if (valor>=corto)

%corto=valor

if (valor>=izquierda) %orientación

izquierda=valor;

end

if (valor>=baja) % velocidad

baja=valor;

end

end

%regla 24

if (s_trayectoria_pos_derecha <= 1.00001) && (s_trayectoria_pos_derecha >
0.000001)

valor=min(s_izquierdo_lejano,min(s_centro_cercano,min(s_derecho_cercano,s_trayectoria_p
os_derecha)));

%if (valor>=corto)

%corto=valor

if (valor>=izquierda) %orientación

izquierda=valor;

end

if (valor>=baja) % velocidad

baja=valor;

```

```

end

end

%regla 25

if (s_trayectoria_derecha <= 1.00001) && (s_trayectoria_derecha > 0.000001)

valor=min(s_izquierdo_lejano,min(s_centro_cercano,min(s_derecho_cercano,s_trayectoria_derecha)));

%if (valor>=corto)

%corto=valor

if (valor>=izquierda) %orientación

izquierda=valor;

end

if (valor>=baja) % velocidad

baja=valor;

end

end

end%fin derecho cercano

if (s_derecho_lejano <= 1.00001) && (s_derecho_lejano > 0.000001)

%regla 26

if (s_trayectoria_izquierda <= 1.00001) && (s_trayectoria_izquierda > 0.000001)

valor=min(s_izquierdo_lejano,min(s_centro_cercano,min(s_derecho_lejano,s_trayectoria_izquierda)));

%if (valor>=corto)

%corto=valor

if (valor>=derecha) %orientación

derecha=valor;

end

```

```

if (valor>=media) % velocidad
media=valor;
end
end

%regla 27

if (s_trayectoria_pos_izquierda <= 1.00001) && (s_trayectoria_pos_izquierda>
0.000001)

valor=min(s_izquierdo_lejano,min(s_centro_cercano,min(s_derecho_lejano,s_trayectoria_pos
_izquierda)));

%if (valor>=corto)
%corto=valor

if (valor>=derecha) %orientación
derecha=valor;
end

if (valor>=media) % velocidad
media=valor;
end
end

%regla 28

if (s_trayectoria_centro <= 1.00001) && (s_trayectoria_centro> 0.000001)

valor=min(s_izquierdo_lejano,min(s_centro_cercano,min(s_derecho_lejano,s_trayectoria_cen
tro)));

%if (valor>=corto)
%corto=valor

if (valor>=poco_derecha) %orientación
poco_derecha=valor;

```

```

end

if (valor>=media) % velocidad

media=valor;

end

end

%regla 29

if (s_trayectoria_pos_derecha <= 1.00001) && (s_trayectoria_pos_derecha>
0.000001)

valor=min(s_izquierdo_lejano,min(s_centro_cercano,min(s_derecho_lejano,s_trayectoria_pos
_derecha)));

% if (valor>=corto)

%corto=valor

if (valor>=izquierda) %orientación

izquierda=valor;

end

if (valor>=media) % velocidad

media=valor;

end

end

%regla 30

if (s_trayectoria_derecha <= 1.00001) && (s_trayectoria_derecha> 0.000001)

valor=min(s_izquierdo_lejano,min(s_centro_cercano,min(s_derecho_lejano,s_trayectoria_der
echa)));

% if (valor>=corto)

%corto=valor

if (valor>=izquierda) %orientación

izquierda=valor;

```

```

end

if (valor>=media) % velocidad

media=valor;

end

end

end%fin derecho lejano

end%fin del centro cercano

%-----

if (s_centro_lejano <= 1.00001) && (s_centro_lejano> 0.000001)

if (s_derecho_cercano <= 1.00001) && (s_derecho_cercano> 0.000001)

%regla 31

if (s_trayectoria_izquierda <= 1.00001) && (s_trayectoria_izquierda> 0.000001)

valor=min(s_izquierdo_lejano,min(s_centro_lejano,min(s_derecho_cercano,s_trayectoria_izquierda)));

%if (valor>=corto)

%corto=valor

if (valor>=poco_izquierda) %orientación

poco_izquierda=valor;

end

if (valor>=media) % velocidad

media=valor;

end

end

%regla 32

```

```
if (s_trayectoria_pos_izquierda <= 1.00001) && (s_trayectoria_pos_izquierda > 0.000001)
```

```
valor=min(s_izquierdo_lejano,min(s_centro_lejano,min(s_derecho_cercano,s_trayectoria_pos_izquierda)));
```

```
    %if (valor>=corto)
```

```
    %corto=valor
```

```
    if (valor>=poco_izquierda) %orientación
```

```
    poco_izquierda=valor;
```

```
    end
```

```
    if (valor>=media) % velocidad
```

```
    media=valor;
```

```
    end
```

```
    end
```

```
%regla 33
```

```
if (s_trayectoria_centro <= 1.00001) && (s_trayectoria_centro > 0.000001)
```

```
valor=min(s_izquierdo_lejano,min(s_centro_lejano,min(s_derecho_cercano,s_trayectoria_centro)));
```

```
    %if (valor>=corto)
```

```
    %corto=valor
```

```
    if (valor>=poco_izquierda) %orientación
```

```
    poco_izquierda=valor;
```

```
    end
```

```
    if (valor>=media) % velocidad
```

```
    media=valor;
```

```
    end
```

```
    end
```

```

%regla 34

if (s_trayectoria_pos_derecha <= 1.00001) && (s_trayectoria_pos_derecha>
0.000001)

valor=min(s_izquierdo_lejano,min(s_centro_lejano,min(s_derecho_cercano,s_trayectoria_pos
_derecha)));

%if (valor>=corto)

%corto=valor

if (valor>=poco_izquierda) %orientación

poco_izquierda=valor;

end

if (valor>=media) % velocidad

media=valor;

end

end

%regla 35

if (s_trayectoria_derecha <= 1.00001) && (s_trayectoria_derecha> 0.000001)

valor=min(s_izquierdo_lejano,min(s_centro_lejano,min(s_derecho_cercano,s_trayectoria_der
echa)));

%if (valor>=corto)

%corto=valor

if (valor>=izquierda) %orientación

izquierda=valor;

end

if (valor>=media) % velocidad

media=valor;

end

end

end%fin derecho cercano

```

```

if (s_derecho_lejano <= 1.00001) && (s_derecho_lejano > 0.000001)

    %regla 36

    if (s_trayectoria_izquierda <= 1.00001) && (s_trayectoria_izquierda > 0.000001)

valor=min(s_izquierdo_lejano,min(s_centro_lejano,min(s_derecho_lejano,s_trayectoria_izquierda)));

        %if (valor>=corto)

        %corto=valor

        if (valor>=derecha) %orientación

        derecha=valor;

        end

        if (valor>=alta) % velocidad

        alta=valor;

        end

        end

    %regla 37

    if (s_trayectoria_pos_izquierda <= 1.00001) && (s_trayectoria_pos_izquierda > 0.000001)

valor=min(s_izquierdo_lejano,min(s_centro_lejano,min(s_derecho_lejano,s_trayectoria_pos_izquierda)));

        %if (valor>=corto)

        %corto=valor

        if (valor>=poco_derecha) %orientación

        poco_derecha=valor;

        end

        if (valor>=alta) % velocidad

        alta=valor;

```

```

end

end

%regla 38

if (s_trayectoria_centro <= 1.00001) && (s_trayectoria_centro > 0.000001)

valor=min(s_izquierdo_lejano,min(s_centro_lejano,min(s_derecho_lejano,s_trayectoria_centro)));

%if (valor>=corto)

%corto=valor

if (valor>=centro) %orientación

centro=valor;

end

if (valor>=alta) % velocidad

alta=valor;

end

end

%regla 39

if (s_trayectoria_pos_derecha <= 1.00001) && (s_trayectoria_pos_derecha > 0.000001)

valor=min(s_izquierdo_lejano,min(s_centro_lejano,min(s_derecho_lejano,s_trayectoria_pos_derecha)));

%if (valor>=corto)

%corto=valor

if (valor>=poco_izquierda) %orientación

poco_izquierda=valor;

end

if (valor>=alta) % velocidad

```

```

alta=valor;

end

end

%regla 40

if (s_trayectoria_derecha <= 1.00001) && (s_trayectoria_derecha > 0.000001)

valor=min(s_izquierdo_lejano,min(s_centro_lejano,min(s_derecho_lejano,s_trayectoria_derecha)));

%if (valor>=corto)

%corto=valor

if (valor>=izquierda) %orientación

izquierda=valor;

end

if (valor>=alta) % velocidad

alta=valor;

end

end

end%fin derecho lejano

end%fin del sensor centro lejano

end%fin sensor izquierdo cercano

%-----

%-----

%-----deffuzificación-----

%seco_df=interpo_trapecio_v2(-5,-2,-2,1,-5,1,15,nulo)

```

```

valor_nulo_xi=0;

% tiempo de riego por aspersión

%-----
% para el caso de la orientación del movil
%-----

izquierda_df=0;% valor de un punto xi al interpolar el punto on
izquierda_df_i=0;% valor de un punto xj al interpolar el punto on, extremo de xi
if izquierda>=0.00000
    if izquierda>0.96
        izquierda_df=-90;
        izquierda_df_i=-90;
    else
        %disp('entro')
        % la función de extrapolación solo evalúa la mitad de los puntos de
        % subida
        izquierda_df=extrapolacion_trapecio_v2(-90,-90,-90,-10,-90,-
        10,Nro_punos_chebychev,izquierda);

        %on_df_i=extrapolacion_trapecio_bajada_v2(0.3,0.65,0.65,1,0.3,1,Nro_punos_chebychev,on
        )
        %on_df_i=1-(on_df-0.3);
        izquierda_df_i=izquierda_df;
    end
end

pos_izquierda_df=0; % valor de un punto xi al interpolar el punto off

```

```

pos_izquierda_df_i=0; % valor de un punto xj al interpolar el punto off, extremo de xi
if poco_izquierda>=0.000000
    if poco_izquierda>0.96
        poco_izquierda_df=-10;
        poco_izquierda_df_i=-10;
    else
        %la funcion de extrapolación solo evalua la mitad de los puntos de
        %subida
        poco_izquierda_df=extrapolacion_trapecio_v2(-20,-10,-10,0,-
20,0,Nro_punos_chebychev,poco_izquierda);
        %off_df_i=extrapolacion_trapecio_bajada_v2(0,0.35,0.35,0.7,0,0.7,Nro_punos_chebychev,of
f)
        %off_df_i=0.7-(off_df-0);
        poco_izquierda_df_i=0-(poco_izquierda_df-(-20));
    end
end
end

```

```

centro_df=0; % valor de un punto xi al interpolar el punto off
centro_df_i=0; % valor de un punto xj al interpolar el punto off, extremo de xi
if centro>=0.000000
    if centro>0.96
        poco_izquierda_df=0;
        poco_izquierda_df_i=0;
    else
        %la funcion de extrapolación solo evalua la mitad de los puntos de
        %subida

```

```

centro_df=extrapolacion_trapecio_v2(-10,0,0,10,-10,10,Nro_punos_chebychev,centro);

%off_df_i=extrapolacion_trapecio_bajada_v2(0,0.35,0.35,0.7,0,0.7,Nro_punos_chebychev,of
f)

%off_df_i=0.7-(off_df-0);

centro_df_i=10-(centro_df-(-10));

end

end

poco_derecha_df=0; %valor de un punto xi al interpolar el punto off

poco_derecha_df_i=0; %valor de un punto xj al interpolar el punto off, extremo de xi

if poco_derecha>=0.000000

    if poco_derecha>0.96

        poco_derecha_df=10;

        poco_derecha_df_i=10;

    else

        %la funcion de extrapolación solo evalua la mitad de los puntos de

        %subida

poco_derecha_df=extrapolacion_trapecio_v2(0,10,10,20,0,20,Nro_punos_chebychev,poco_d
erecha);

%off_df_i=extrapolacion_trapecio_bajada_v2(0,0.35,0.35,0.7,0,0.7,Nro_punos_chebychev,of
f)

%off_df_i=0.7-(off_df-0);

poco_derecha_df_i=20-(poco_derecha_df-0);

end

end

```

```

derecha_df=0; % valor de un punto xi al interpolar el punto off
derecha_df_i=0; % valor de un punto xj al interpolar el punto off, extremo de xi
if derecha>=0.000000
    if derecha>0.96
        derecha_df=90;
        derecha_df_i=90;
    else
        % la funcion de extrapolación solo evalua la mitad de los puntos de
        % subida
        derecha_df=extrapolacion_trapecio_v2(10,90,90,90,10,90,Nro_punos_chebychev,derecha);

% off_df_i=extrapolacion_trapecio_bajada_v2(0,0.35,0.35,0.7,0,0.7,Nro_punos_chebychev,of
f)
        % off_df_i=0.7-(off_df-0);
        derecha_df_i=derecha_df;
    end
end

%-----
% para el caso de la velocidad del móvil
%-----

baja_df=0; % valor de un punto xi al interpolar el punto off
baja_df_i=0; % valor de un punto xj al interpolar el punto off, extremo de xi
if baja>=0.000000
    if baja>0.96
        baja_df=15;%-----he cambiado el valor de 0 por 15

```

```

    baja_df_i=15;

else

%la funcion de extrapolación solo evalua la mitad de los puntos de

%subida

baja_df=extrapolacion_trapecio_v2(0,0,15,33,0,33,Nro_punos_chebychev,baja);

%off_df_i=extrapolacion_trapecio_bajada_v2(0,0.35,0.35,0.7,0,0.7,Nro_punos_chebychev,of
f)

%off_df_i=0.7-(off_df-0);

baja_df_i=baja_df;

end

end

media_df=0; % valor de un punto xi al interpolar el punto off

media_df_i=0; % valor de un punto xj al interpolar el punto off, extremo de xi

if media>=0.000000

    if media>0.96

        media_df=37;

        media_df_i=37;

    else

%la funcion de extrapolación solo evalua la mitad de los puntos de

%subida

media_df=extrapolacion_trapecio_v2(30,37,37,45,30,45,Nro_punos_chebychev,media);

%off_df_i=extrapolacion_trapecio_bajada_v2(0,0.35,0.35,0.7,0,0.7,Nro_punos_chebychev,of
f)

%off_df_i=0.7-(off_df-0);

media_df_i=45-(media_df-30);

```



```

%[NXI,NYI] son los puntos para la variable nulo
%[CXI,CYI] son los puntos para la variable corto
%[MXI,MYI] son los puntos para la variable medio
%[PXI,PYI] son los puntos para la variable prolongado
%.....

%puntos de la funcion de salida de defusificación orientación
[I_XI,I_YI]=puntos_chebychev_trapecio(-90,-90,-90,-10,-90,-10,Nro_punos_chebychev);
[PI_XI,PI_YI]=puntos_chebychev_trapecio(-20,-10,-10,0,-20,0,Nro_punos_chebychev);
[C_XI,C_YI]=puntos_chebychev_trapecio(-10,0,0,10,-10,10,Nro_punos_chebychev);
[PD_XI,PD_YI]=puntos_chebychev_trapecio(0,10,10,20,0,20,Nro_punos_chebychev);
[D_XI,D_YI]=puntos_chebychev_trapecio(10,90,90,90,10,90,Nro_punos_chebychev);

%puntos de la funcion de salida de defusificación velocidad
[B_XI,B_YI]=puntos_chebychev_trapecio(0,0,15,33,0,33,Nro_punos_chebychev);
[M_XI,M_YI]=puntos_chebychev_trapecio(30,37,37,45,30,45,Nro_punos_chebychev);
[A_XI,A_YI]=puntos_chebychev_trapecio(42,60,60,60,42,60,Nro_punos_chebychev);

%puntos de intersección para el caso de la salidad de orientación
%--[punto_x_izquierda,punto_y_izquierda]=metosecante_dos_funciones(-90,-90,-90,-10,-20,-10,-10,0);
%--[punto_x_P_izquierda,punto_y_P_izquierda]=metosecante_dos_funciones(-20,-10,-10,0,-10,0,0,10);
%--[punto_x_centro,punto_y_centro]=metosecante_dos_funciones(-10,0,0,10,0,10,10,20);
%--
[punto_x_P_derecha,punto_y_P_derecha]=metosecante_dos_funciones(0,10,10,20,10,90,90,90);

```

```

%puntos de intersección para el caso de salida de velocidad

%--[punto_x_baja,punto_y_baja]=metosecante_dos_funciones(0,0,15,33,30,37,37,45);

%--[punto_x_media,punto_y_media]=metosecante_dos_funciones(30,37,37,45,42,60,60,60);

%grafico para la orientacion

%--plot(I_XI,I_YI)

%--hold on;

%--plot(PI_XI,PI_YI)

%--plot(C_XI,C_YI)

%--plot(PD_XI,PD_YI)

%--plot(D_XI,D_YI)

%grafico para la velocidad

%plot(B_XI,B_YI,'g')

%hold on;

%plot(M_XI,M_YI,'g')

%plot(A_XI,A_YI,'g')

%corto con medio

%[corto_x,corto_y]=metosecante_dos_funciones(10,1,20,0,10,0,20,1)

%medio con prolongado

%[medio_x,medio_y]=metosecante_dos_funciones(20,1,40,0,20,0,40,1)

%hallando los puntos comunes de desfusificación en la variable vecina del

%punto de fusificación de la variable a la izquierda y la derecha

%-----

```

```

%iz_poco_iz_df=extrapolacion_trapecio_v2(0.3,0.65,0.65,1,0.3,1,Nro_punos_chebychev,off)
;

%poco_iz_cen_df=extrapolacion_trapecio_bajada_v2(0,0.35,0.35,0.7,0,0.7,Nro_punos_chebychev,on);

%--iz_poco_iz_df=extrapolacion_trapecio_v2(-90,-90,-90,-10,-90,-10,Nro_punos_chebychev,poco_izquierda);

%--poco_iz_iz_df=extrapolacion_trapecio_bajada_v2(-20,-10,-10,0,-20,0,Nro_punos_chebychev,izquierda);

%--poco_iz_cen_df=extrapolacion_trapecio_bajada_v2(-20,-10,-10,0,-20,0,Nro_punos_chebychev,centro);

%--cen_poco_iz_df=extrapolacion_trapecio_bajada_v2(-10,0,0,10,-10,10,Nro_punos_chebychev,poco_izquierda);

%--cen_poco_de_df=extrapolacion_trapecio_bajada_v2(-10,0,0,10,-10,10,Nro_punos_chebychev,poco_derecha);

%--
poco_de_cen_df=extrapolacion_trapecio_bajada_v2(0,10,10,20,0,20,Nro_punos_chebychev,centro);

%--
poco_de_de_df=extrapolacion_trapecio_bajada_v2(0,10,10,20,0,20,Nro_punos_chebychev,derecha);

%--
de_poco_de_df=extrapolacion_trapecio_bajada_v2(10,90,90,90,10,90,Nro_punos_chebychev,poco_derecha);

%-----inteerseccion para valores de velocidad

%--
ba_me_df=extrapolacion_trapecio_bajada_v2(0,0,15,33,0,33,Nro_punos_chebychev,media);

%--
me_ba_df=extrapolacion_trapecio_bajada_v2(30,37,37,45,30,45,Nro_punos_chebychev,baja)
;

```

```

%--me_al_df=extrapolacion_trapecio_bajada_v2(0,0,15,33,0,33,Nro_punos_chebychev,alta);

%--
al_me_df=extrapolacion_trapecio_bajada_v2(42,60,60,60,42,60,Nro_punos_chebychev,medi
a);

%-----

%cambiar los valores superiores de cada variable de orientacion

%-----

%izquierda

%[I_XI,I_YI]=puntos_chebychev_trapecio(-90,-90,-90,-10,-90,-10,Nro_punos_ch
%ebychev);

izquierda;

izquierda_df;

izquierda_df_i;

for i=1:length(I_XI)
    if I_XI(i)<=izquierda_df
        I_YI(i)=izquierda;
    else
        I_YI(i)=I_YI(i);
    end
end

I_YI(1)=0;% para que grafique el comando fill

%plot(I_XI,I_YI,'r')

%--fill(I_XI,I_YI,'r')

%poco_izquierda

%[PI_XI,PI_YI]=puntos_chebychev_trapecio(-20,-10,-10,0,-20,0,Nro_punos_cheb
%ychev);

```

```

poco_izquierda;
poco_izquierda_df;
poco_izquierda_df_i;
for i=1:length(PI_XI)
    if PI_XI(i)<=poco_izquierda_df
        PI_YI(i)=PI_YI(i);
    else
        if PI_XI(i)<=poco_izquierda_df_i
            PI_YI(i)=poco_izquierda;
        else
            PI_YI(i)=PI_YI(i);
        end
    end
end
end
%plot(PI_XI,PI_YI,'r')
%---fill(PI_XI,PI_YI,'g')

%centro
%[C_XI,C_YI]=puntos_chebychev_trapecio(-10,0,0,10,-10,10,Nro_punos_chebyche
%v);
centro;
centro_df;
centro_df_i;
for i=1:length(PI_XI)
    if C_XI(i)<=centro_df
        C_YI(i)=C_YI(i);
    else
        if C_XI(i)<=centro_df_i

```

```

    C_YI(i)=centro;

    else

    C_YI(i)=C_YI(i);

    end

end

end

%plot(C_XI,C_YI,'r')

%---fill(C_XI,C_YI,'c')

%poco_derecha

%[PD_XI,PD_YI]=puntos_chebychev_trapecio(0,10,10,20,0,20,Nro_punos_chebyche
%v);

poco_derecha;

poco_derecha_df;

poco_derecha_df_i;

for i=1:length(PD_XI)

    if PD_XI(i)<=poco_derecha_df

        PD_YI(i)=PD_YI(i);

    else

        if PD_XI(i)<=poco_derecha_df_i

            PD_YI(i)=poco_derecha;

        else

            PD_YI(i)=PD_YI(i);

        end

    end

end

end

%plot(PD_XI,PD_YI,'r')

```

```

%---fill(PD_XI,PD_YI,'r')

%derecha
%[D_XI,D_YI]=puntos_chebychev_trapecio(10,90,90,90,10,90,Nro_punos_chebyche
%v);

derecha;
derecha_df;
derecha_df_i;
for i=1:length(D_XI)
    if D_XI(i)<=derecha_df
        D_YI(i)=D_YI(i);
    else

        D_YI(i)=derecha;

    end
end
D_YI(length(D_XI))=0;%para que grafique el comando fill
%plot(D_XI,D_YI,'r')
%---fill(D_XI,D_YI,'g')

D_XI;
D_YI;

%-----
%cambiar los valores superiores de cada variable de orientacion
%-----

```

```

%baja
%[B_XI,B_YI]=puntos_chebychev_trapecio(0,0,15,33,0,33,Nro_punos_chebychev);

baja;
baja_df;
baja_df_i;
for i=1:length(B_XI)
    if B_XI(i)<=baja_df
        B_YI(i)=baja;
    else
        if B_XI(i)<=baja_df_i
            B_YI(i)=baja;
        else
            B_YI(i)=B_YI(i);
        end
    end

end

end

%-----plot(B_XI,B_YI,'c')

%media
%[M_XI,M_YI]=puntos_chebychev_trapecio(30,37,37,45,30,45,Nro_punos_chebychev);
media;
media_df;
media_df_i;
for i=1:length(M_XI)
    if M_XI(i)<=media_df
        M_YI(i)=M_YI(i);
    else

```

```

    if M_XI(i)<=media_df_i
        M_YI(i)=media;
    else
        M_YI(i)=M_YI(i);
    end
end
end
end
%-----plot(M_XI,M_YI,'c')

%alta
%[A_XI,A_YI]=puntos_chebychev_trapecio(42,60,60,60,42,60,Nro_punos_chebychev);
alta;
alta_df;
alta_df_i;
for i=1:length(A_XI)
    if A_XI(i)<=alta_df
        A_YI(i)=A_YI(i);
    else

        A_YI(i)=alta;

    end
end
end
%-----plot(A_XI,A_YI,'c')

```

%Teniendo todo los puntos necesarios seleccionamos los puntos x,y que forman la
%figura del cual se va hallar el centroide.

%.....

%Hallando áreas de las regiones en general

%unir los datos de la figura de salida para hallar el centroide de la orientación

[datos_xx,datos_yy]=unir_dos_figuras_sin_interseccion(I_XI,I_YI,PI_XI,PI_YI);

[datos_xx,datos_yy]=unir_dos_figuras_sin_interseccion(datos_xx,datos_yy,C_XI,C_YI);

[datos_xx,datos_yy]=unir_dos_figuras_sin_interseccion(datos_xx,datos_yy,PD_XI,PD_YI);

[datos_xx,datos_yy]=unir_dos_figuras_sin_interseccion(datos_xx,datos_yy,D_XI,D_YI);

%unir los datos de la figura de salida para hallar el centroide de la velocidad

[velocidad_xx,velocidad_yy]=unir_dos_figuras_sin_interseccion(B_XI,B_YI,M_XI,M_YI);

[velocidad_xx,velocidad_yy]=unir_dos_figuras_sin_interseccion(velocidad_xx,velocidad_yy,
A_XI,A_YI);

%[x_trayec,y_trayec,centro_trayec,x_velo,y_velo,centro_velo]

x_trayec=datos_xx;

y_trayec=datos_yy;

x_velo=velocidad_xx;

y_velo=velocidad_yy;

```

%plot(datos_xx,datos_yy,'x');
%---fill(datos_xx,datos_yy,'r')
%-----
%Calculo de centroide para la trayectoria del robot utilizando área de
%trapecio y syu centro es el medio de la altura

%--% puntero=1;

%--% numerador2=0;
%--% denominador2=0;
%--% while puntero <length(datos_xx)

%--% altura=datos_xx(puntero+1)-datos_xx(puntero);
%--% base_mayor=datos_yy(puntero);
%--% base_menor=datos_yy(puntero+1);

%--% Area=altura*(base_mayor+base_menor)/2;

%--% numerador2=numerador2+Area*(datos_xx(puntero+1)+datos_xx(puntero))/2;
%--% denominador2=denominador2+Area;
%--% puntero=puntero+1;
%--% end

%--% centro_trayec=numerador2/denominador2;

%Calculo de centroide para la trayectoria del robot utilizando áreas de
%cuadrado y triángulo por ser la expresión más pequeña
%-----
%aplicando formula de centroides con datos continuos

```

```

%(integral de f(xi)*xi)/(intedral f(xi))

%aplicando formula de centroides con datos discretos

%(sumatoria de Area_i*xi)/(sumatoria de Area_i)

%centroide=(A1*x1+A2*x2+A3*x3+....+An*xn)/(A1+A2+A3+....An) donde: xi es el
%centro de gravedad de la figura al cual se ha calculado el Area.

%la figura de trapecio esta formada por:
%cuadrado donde xi es (a+b)/2
%triangulo donde xi es 1/3 de la base desde el angulo recto del origen, si del
%triangulo su angulo recto esta opuesto al origen es 2/3 de la base desde
%el origen
puntero1=1;
numerador=0;
denominador=0;

while puntero1 <length(datos_xx)
if(datos_yy(puntero1)==datos_yy(puntero1+1))
    base=datos_xx(puntero1+1)-datos_xx(puntero1);
    alturaR=datos_yy(puntero1);
    numerador=numerador+base*alturaR*(datos_xx(puntero1)+datos_xx(puntero1+1))/2;
    denominador=denominador+base*alturaR;
    puntero1=puntero1+1;
else
    if(datos_yy(puntero1)<datos_yy(puntero1+1))
        base=datos_xx(puntero1+1)-datos_xx(puntero1);
        alturaC=datos_yy(puntero1);
        alturaT=datos_yy(puntero1+1)-datos_yy(puntero1);
        numerador=numerador+base*alturaC*(datos_xx(puntero1)+datos_xx(puntero1+1))/2+(base*
alturaT/2)*(datos_xx(puntero1)+base*2/3);

```

```

denominador=denominador+base*alturaC+base*alturaT/2;

puntero1=puntero1+1;

else

base=datos_xx(puntero1+1)-datos_xx(puntero1);

alturaC=datos_yy(puntero1+1);

alturaT=datos_yy(puntero1)-datos_yy(puntero1+1);

numerador=numerador+base*alturaC*(datos_xx(puntero1)+datos_xx(puntero1+1))/2+(base*
alturaT/2)*(datos_xx(puntero1)+base*1/3);

denominador=denominador+base*alturaC+base*alturaT/2;

puntero1=puntero1+1;

end

end

end

centro_trayec=numerador/denominador;

%-----
%-----centropide de la velocidad del movil-----
%-----

puntero3=1;
numerador3=0;
denominador3=0;
while puntero3 <length(velocidad_xx)
if(velocidad_yy(puntero3)==velocidad_yy(puntero3+1))
base=velocidad_xx(puntero3+1)-velocidad_xx(puntero3);
alturaR=velocidad_yy(puntero3);

```

```

numerador3=numerador3+base*alturaR*(velocidad_xx(puntero3)+velocidad_xx(puntero3+1)
)/2;

denominador3=denominador3+base*alturaR;

puntero3=puntero3+1;

else

if(velocidad_yy(puntero3)<velocidad_yy(puntero3+1))

base=velocidad_xx(puntero3+1)-velocidad_xx(puntero3);

alturaC=velocidad_yy(puntero3);

alturaT=velocidad_yy(puntero3+1)-velocidad_yy(puntero3);

numerador3=numerador3+base*alturaC*(velocidad_xx(puntero3)+velocidad_xx(puntero3+1)
)/2+(base*alturaT/2)*(velocidad_xx(puntero3)+base*2/3);

denominador3=denominador3+base*alturaC+base*alturaT/2;

puntero3=puntero3+1;

else

Base=velocidad_xx (puntero3+1)-velocidad_xx (puntero3);

alturaC=velocidad_yy(puntero3+1);

alturaT=velocidad_yy(puntero3)-velocidad_yy(puntero3+1);

umerador3=numerador3+base*alturaC*(velocidad_xx(puntero3)+velocidad_xx(puntero3+1))
/2+(base*alturaT/2)*(velocidad_xx(puntero3)+base*1/3);

denominador3=denominador3+base*alturaC+base*alturaT/2;

puntero3=puntero3+1;

end

end

end

Centro velo=numerador3/denominador3;

end

```