

**SIMULACIÓN DEL CONTROL NEURO-DIFUSO PARA UNA OPERACIÓN DE
MEZCLADO**

**DELCY JEANNETH OCHOA ARAQUE
LAURA VIVIANA RODRÍGUEZ MEDINA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2009**

**SIMULACIÓN DEL CONTROL NEURO-DIFUSO PARA UNA OPERACIÓN DE
MEZCLADO**

**DELCY JEANNETH OCHOA ARAQUE
LAURA VIVIANA RODRÍGUEZ MEDINA**

**Trabajo de grado presentado para optar por el título de:
INGENIERO QUÍMICO**

**Director
M.Sc. CRISÓSTOMO BARAJAS FERREIRA**

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

Parafraseamos alguna lectura... “Las hermosas experiencias de la vida nunca se olvidan...” la academia, la oportunidad de formación la cual hoy concluimos se convierten en un bastión que nos dan la gran satisfacción del logro alcanzado y de la labor cumplida,

A la magia y sabiduría del Destino y al Saber que Dios nos ha dado,

A nuestros padres,

A los profesores, Edgar Castillo y Ariel Uribe por haber inspirado la realización de este trabajo y al profesor Crisostomo Barajas por su sapiencia plasmada en nosotras como soporte de nuestros resultados,

A todos nuestros compañeros especialmente a Laura, Fabio, Adriana, Julieth y Paola por su apoyo incondicional a lo largo del desarrollo de nuestro proyecto,

A nuestra Escuela, a nuestra Facultad, al Alma Mater por hacernos parte de ellos,

A todas aquellas personas que ahora olvidamos mencionar, pero no por ello signifique que no fueron importantes a lo largo de nuestra carrera profesional,

A todos...

Gracias

Dedico este trabajo y con el los 18 años de formación academica y en valores que me llevaron a lograrlo, primeramente a Dios, y por supuesto a mi madre Delcy Jeanneth y a mi padre Arturo, Gracias a ellos por su apoyo cada día. Gracias, Mil bendiciones y que el Todopoderoso me permita disfrutar de su compañía y apoyo en cada momento de mi existencia.

Delcy Jeanneth Ochoa Araque

*Yo te doy gracias, Señor, de todo corazón,
porque escuchaste la plegaria de mi boca.
En presencia de los ángeles te canto,
postrado hacia tu santo templo.
Doy gracias a tu nombre por tu amor y tu verdad;
pues tu promesa ha superado todo tu renombre.
El día en que clamé, Tú me escuchaste,
en mi alma inyectaste valor.*

*Te dan gracias, Señor, todos los reyes de la tierra,
cuando oyen las palabras de tu boca;
ensalzan los caminos del Señor:
“¡Que grande es la gloria del Señor!”
Y aun siendo excelso, el Señor mira al humilde,
pero al soberbio le conoce desde lejos.
Si ando entre angustias, me devuelves la vida,
contra la saña de mis enemigos extiendes Tú la mano,
y tu diestra me salva.
¡Señor acabará cuanto ha hecho por mí!
¡Oh Señor, es eterno tu amor,
no abandones la obra de tus manos!*

Salmo 138

Por el aire que respiro, por la luz de mis ojos y por la vida que me has dado yo te adoro y desde lo más profundo de mi alma Señor te dedico cada logro de mi vida. Infinitas gracias te doy por permitirme compartir cada día con seres increíbles como lo son mis padres Eusebio y Emma, los que me han enseñado amar y a tejer mi camino con ilusión y coraje; los que darían su vida por un segundo de mi felicidad, y por quienes yo en nombre del amor, la admiración y el agradecimiento que les tengo, quiero ser cada día una mejor persona.

Mis hermanos Nilton, José y Emma, a quienes amo con todo mi corazón y son ellos a quienes yo ofrezco este éxito, porque han compartido todo conmigo desde que era una niña, y han sacrificado su felicidad por mis triunfos.

Mi amado Milton Javier quien ha sido luz en la oscuridad y por quien yo cruzaría medio mundo por uno de sus besos de chocolate.

Mis tías Inés y Graciela, quienes han sido mis amigas, mis cómplices, y las que siempre me han tendido una mano de apoyo en mis momentos difíciles.

Mis queridos amigos Adriana, Andrea, Astrid, Diana, Fabio, Julieth, Karina, Oscar, Paola, Silvia y Tania; quienes han marcado mi vida con cariño, entrega, alegría y apoyo, y han demostrado que aun existen verdaderos amigos; a ellos les debo parte de mi formación como profesional.

Y a mi compañera Delcy por haber creído en mi y su familia quienes me abrieron las puertas de su casa con tanto cariño.

Por esto y muchas cosas más Señor te pido por la felicidad de cada uno de ellos y por que nuestros caminos estén unidos de alguna manera.

Laura Viviana

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. CONCEPTOS TEORICOS	3
1.1 LÓGICA DIFUSA	3
1.2 REDES NEURONALES ARTIFICIALES	4
1.3 SISTEMAS NEURODIFUSOS	5
1.4 CONTROL INTELIGENTE	6
2 METODOLOGÍA	8
2.2 SIMULACIÓN DE UN SISTEMA NEURO- DIFUSO PARA UN CONTROL DE NIVEL EN LAZO ABIERTO	8
2.1.1 Planteamiento	8
2.1.2 Desarrollo	9
2.1.2.1 Modelamiento matemático	9
2.1.2.2 Diseño del sistema de inferencia difusa	10
2.1.2.3 Entrenamiento del sistema de inferencia difusa	15
2.2 SIMULACION DE UN SISTEMA NEURO- DIFUSO PARA UN CONTROL DE pH	18
2.2.1 Planteamiento	18
2.2.2 Desarrollo	19
2.2.2.1 Modelamiento matemático	19

2.2.2.2 Diseño del sistema de inferencia difusa	20
2.2.2.3 Entrenamiento del sistema de inferencia difusa	22
3 RESULTADOS Y ANÁLISIS	26
4 CONCLUSIONES	31
5 RECOMENDACIONES	32
6 BIBLIOGRAFIA	33
ANEXOS	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura Básica de un FIS	4
Figura 2. Modelo estructural de una Neurona artificial general	5
Figura 3. Estructura del aprendizaje de un sistema neuro-difuso	6
Figura 4. Esquema del proceso de mezclado de aceite de oliva	9
Figura 5. Imagen de la ventana del editor de FIS para la caracterización del sistema	10
Figura 6. Imagen de la ventana del editor de funciones de membresía tipo triangular para los conjuntos difusos de entrada F_0 y F_2	13
Figura 7. Imagen de la ventana del editor de la función de membresía tipo constante para el conjunto difuso de salida H_2	13
Figura 8. Base de reglas difusas (FAM) para el proceso de mezclado de aceite de oliva	14
Figura 9. Imagen de la ventana del editor de reglas difusas	14
Figura 10. Imagen de la ventana del visor de reglas difusas	15

Figura 11. Imagen de la ventana del modelo estructural de la red neuronal para el proceso de mezclado de aceite de oliva	16
Figura 12. Imagen de la ventana del editor de ANFIS para la caracterización del sistema de entrenamiento para esta aplicación	16
Figura 13. Imagen de la ventana del editor de ANFIS donde se prueban los datos.	17
Figura 14. Imagen de la ventana del editor de ANFIS donde se observa el entrenamiento de los datos	17
Figura 15. Esquema del proceso de neutralización de aguas residuales	18
Figura 16. Base de reglas difusas (FAM) para el proceso de neutralización de aguas residuales	23
Figura 17. Imagen de la ventana del modelo estructural de la red neuronal para el proceso de neutralización de aguas residuales	23
Figura 18. Imagen de la ventana del editor de ANFIS para la caracterización del sistema de entrenamiento para esta aplicación	24
Figura 19. Imagen de la ventana del editor de ANFIS donde se prueban los datos para el proceso de neutralización de aguas residuales.	25
Figura 20. Imagen de la ventana del editor de	25

ANFIS donde se observa el entrenamiento de los datos para esta aplicación

Figura 21 Imagen de la ventana del editor de ANFIS donde se observa el error de respuesta para el proceso de mezclado de aceite de oliva. 26

Figura 22 Imagen de la ventana del editor de ANFIS donde se observa el error de respuesta para el proceso de mezclado de aceite de oliva. 27

Figura A1. Esquema del ejemplo básico 35

Figura A2. Esquema de la función tipo trapezoidal 37

Figura A3. Esquema de la función tipo triangular 37

Figura A4. Esquema de la función tipo Singleton 38

Figura A5. Esquema de la función tipo S 38

Figura A6. Esquema de la función tipo π 39

Figura A7. Esquema del funcionamiento de las variables lingüísticas 40

Figura B1. Estructura de dos dimensiones para una base de reglas difusas (FAM) 42

Figura C1. Cálculo de las premisas a partir de las reglas R1 y R2 para un SID tipo Mamdani 46

Figura C2. Conjuntos difusos de salida dados por la aplicación de regla de mínimo como mecanismo de inferencia y calculo del valor final por centro de área.	47
Figura D1. Esquema de una RNA monocapa	50
Figura D2. Esquema de una RNA con multicapas	50
Figura D3. Esquema de una RNA realimentada.	51
Figura D4. Mecanismos de aprendizaje	51
Figura D5. Diagrama del funcionamiento del aprendizaje supervisado	52
Figura D6. Diagrama del funcionamiento del aprendizaje no supervisado	53
Figura D7. Clasificación de los modelos de las RNA de acuerdo a la arquitectura de la RNA y el mecanismo de aprendizaje	54
Figura F1. Esquematiza el funcionamiento y entrenamiento de un sistema neuro-difuso	56
Figura G1. Curva de titulación	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización del conjunto difuso F_0	11
Tabla 2. Caracterización del conjunto difuso F_2	11
Tabla 3. Caracterización del conjunto difuso H_2	12
Tabla 4. Caracterización del conjunto difuso e	21
Tabla 5. Caracterización del conjunto difuso v	21
Tabla 6. Caracterización del conjunto difuso s	22
Tabla 7. Caracterización del conjunto difuso F_0 después del entrenamiento.	28
Tabla 8. Caracterización del conjunto difuso F_2 después del entrenamiento	28
Tabla 9. Caracterización del conjunto difuso H_2 después del entrenamiento	29
Tabla 10. Caracterización del conjunto difuso v después del entrenamiento	29
Tabla 11. Caracterización del conjunto difuso e después del entrenamiento	30
Tabla 12. Caracterización del conjunto difuso S después del entrenamiento	30
Tabla B2. Mecanismos de inferencia difusa	43
Tabla B3. Métodos de defusificación de acuerdo	44

al tipo de FIS

Tabla H1. Parámetros requeridos por los balances de masa del proceso de mezclado de aceite de oliva.	60
Tabla I1. Base de datos a partir de los balances de masa	61
Tabla J1. Resultados obtenidos a partir del desarrollo del control de nivel en lazo abierto de un proceso de mezclado de aceite de oliva.	86
Tabla J2. Resultados obtenidos a partir del desarrollo del control de pH de un proceso de neutralización de aguas residuales.	89

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. CONCEPTOS BÁSICOS DE LÓGICA DIFUSA	35
ANEXO B. CONCEPTOS BÁSICOS DE LA ESTRUCTURA DE UN SID	41
ANEXO C. DESCRIPCIÓN Y COMPARACIÓN DE LOS DOS TIPOS DE SID	45
ANEXO D. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS RNA	48
ANEXO E. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA HERRAMIENTA ANFIS DE MATLAB	55
ANEXO F. EXPLICACIÓN DETALLADA DEL FUNCIONAMIENTO Y ENTRENAMIENTO DE UN SISTEMAS NEURO-DIFUSO.	56
ANEXO G. CONTROL DE PH EN AGUAS RESIDUALES	58
ANEXO H. PARÁMETROS REQUERIDOS POR LOS BALANCES DE MASA DEL PROCESO DE MEZCLADO DE ACEITE DE OLIVA.	60
ANEXO I. BASE DE DATOS DEL PROCESO DE MEZCLADO DE ACEITE DE OLIVA.	61
ANEXO J. RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS DOS APLICACIONES ABORDADAS EN EL PROYECTO	86

RESUMEN

TITULO

SIMULACION DEL CONTROL NEURO-DIFUSO PARA UN PROCESO DE MEZCLADO¹.

AUTORES

Delcy Jeanneth Ochoa Araque*, Laura Viviana Rodríguez Medina*.

PALABRAS CLAVES

Logica difusa, Redes neuronales, Control inteligente, Neutralización pH, Híbrido.

DESCRIPCIÓN

Los sistemas de control presentan una gran importancia en el desarrollo tecnológico y la innovación científica, pero surgen inconvenientes, al tratar de resolver problemas que conllevan un alto grado de realismo y complejidad por medio de métodos convencionales, los cuales se basan en el conocimiento de la dinámica del proceso a controlar.

Es por esto que se realizó la simulación del control neuro-difuso de nivel en lazo abierto para un proceso de mezclado de aceite de oliva y el control neuro-difuso de pH para la neutralización de aguas residuales con las herramientas *fuzzy logic toolbox* y ANFIS de MATLAB 7.4.0 con el objetivo de dar premisa al estudio de controladores inteligentes en la escuela de ingeniería química de la Universidad Industrial De Santander.

A partir del desarrollo de estos sistemas neuro-difusos se comprobó que el funcionamiento de éstos logran obtener resultados más cercanos a los reales, en comparación a los sistemas difusos, debido a que, la red permite el aprendizaje del sistema por ende la disminución del error provocado por un mal diseño o la selección incorrecta de cualquier parámetro del sistema FIS por parte del programador. Con la realización de este trabajo se da premisa a los controladores inteligentes en la escuela de ingeniería química mostrando una aplicación sencilla del mismo permitiendo realizar mayores adelantos y generando interés en el área de investigación.

¹ Tesis de pregrado

**Facultad de Ingenierías Físico Químicas, Escuela de Ingeniería Química
Director.M.sc. Crisostomo Barajas Ferreira (Universidad Industrial de Santander –UIS.)

ABSTRACT

TITLE

Simulation of a neural-fuzzy control for a mixing process²

AUTHORS

Delcy Jeanneth Ochoa Araque*, Laura Viviana Rodriguez Medina*.

KEY WORDS

Fuzzy logic, Neural networks, Intelligent control, Neutralization of pH, Hybrid

DESCRIPTION

The systems of control present a big importance in the technological development and the scientific innovation, but arise inconvenient when trying to solve problems that entail a high degree of realism and complexity by means of conventional methods, that are based on the knowledge of the dynamics of the process to control.

Because of this was realized the simulation of the neural-fuzzy control of level in open bow for a mixing process of olive oil and the neural-fuzzy control of pH for the neutralization of wastewater with the fuzzy logic toolbox and ANFIS from MATLAB 7.4.0 with the aim of giving premise to the study of intelligent controllers in the school of chemical engineering of the Industrial University Of Santander.

From the development of these neural-fuzzy systems it was verified that the operation of these, manages to obtain results nearer the real ones, in comparison to the fuzzy systems, because of this, the network allows the learning of the system therefore the diminution of the error brought about by a wrong design or the incorrect selection of any parameter of FIS from the programmer. With the development of this work it's given the premise about the intelligent controllers in the school of chemical engineer showing a simple application of the same allowing to realise more advances and generating interest in the area of investigation.

² Undergraduate Thesis

**Physicochemical Faculty, Chemical Engineering School.

Director: M.sc. Crisostomo Barajas Ferreira (Universidad Industrial de Santander –UIS.)

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de control presentan gran importancia en el desarrollo tecnológico y la innovación científica, pero surgen inconvenientes, al tratar de resolver problemas que conllevan un alto grado de realismo y complejidad por medio de métodos convencionales, basados en el conocimiento de la dinámica del proceso a controlar. Dicha dinámica, está dada por modelamiento matemático, por ende, los resultados obtenidos exhiben un comportamiento que dista de la realidad. Éste hecho fomentó una búsqueda incesante de nuevas vías que garanticen una solución apropiada, cuando se afrontan este tipo de situaciones.

De esta manera, se manifiesta una revolución de pensamiento, suceso que propició un cambio en la orientación de las investigaciones de nuevas metodologías para la elaboración de controladores, capaces de solucionar problemas en los cuales no es posible hasta ahora establecer un modelo que determine su comportamiento de una manera eficaz y real. Por consiguiente, estos nuevos controladores abordan problemas que presentan dificultad para ser descritos mediante un enfoque de algoritmo tradicional, ya que éstos emulan características propias de los sistemas biológicos humanos y presentan gran relevancia en formalizar el conocimiento o la heurística de los expertos.

Inspirados en éstos sistemas, se desarrolla la lógica difusa, las redes neuronales artificiales, los algoritmos genéticos, y sus posibles hibridaciones.

Para el desarrollo de un sistema híbrido neuro-difuso las redes neuronales proporcionan el modelo de la estructura, con habilidades de aprendizaje a los sistemas de lógica difusa; y la lógica difusa proporciona a las redes neuronales un armazón estructural con reglas de representación del conocimiento y razonamiento de alto nivel.

En la actualidad, los controladores inteligentes se han introducido en la vida cotidiana del hombre para que desarrollen sus actividades con eficiencia, rapidez y

mayor facilidad; es por eso que las industrias química, petroquímica, aguas, aguas residuales, productos alimenticios, farmacéuticas, minería, entre otras, han requerido ésta tendencia de innovación tecnológica para aumentar los niveles de competitividad, reducir riesgos de trabajo e incrementar la productividad con una conciencia social para el cuidado del medio ambiente.

Con el objeto de estudiar éste tipo de controladores se realizará la simulación de un control híbrido para dos casos: En el primero se considera una operación de mezclado sencilla propuesta en un curso de control, donde se pretende controlar el nivel del tanque de mezclado, y en el segundo caso se busca implementar un control neuro-difuso de pH en una aplicación industrial de aguas residuales partiendo de estudios previos; los cuales serán simulados por medio de ANFIS herramienta neuro-difusa de MATLAB 7.4.0. Así se aplicarán los conceptos de lógica difusa y redes neuronales, para posteriormente confrontar el funcionamiento de un control híbrido contra un controlador difuso y otros citados en la literatura, no sin antes realizar una revisión del estado del arte, para conocer los estudios previos y así generar un avance a éstos. De esta manera se dará premisa a futuras investigaciones en controladores inteligentes en la escuela de ingeniería química.

1. CONCEPTOS TEÓRICOS

Para la simulación de un controlador neuro-difuso es necesario tener claridad en los conceptos propios de lógica difusa, redes neuronales y controladores inteligentes. Por ende, a continuación se tratan estas definiciones, donde se asume que el lector ya tiene un conocimiento previo de inteligencia artificial y de control convencional de procesos químicos.

1.1 LÓGICA DIFUSA

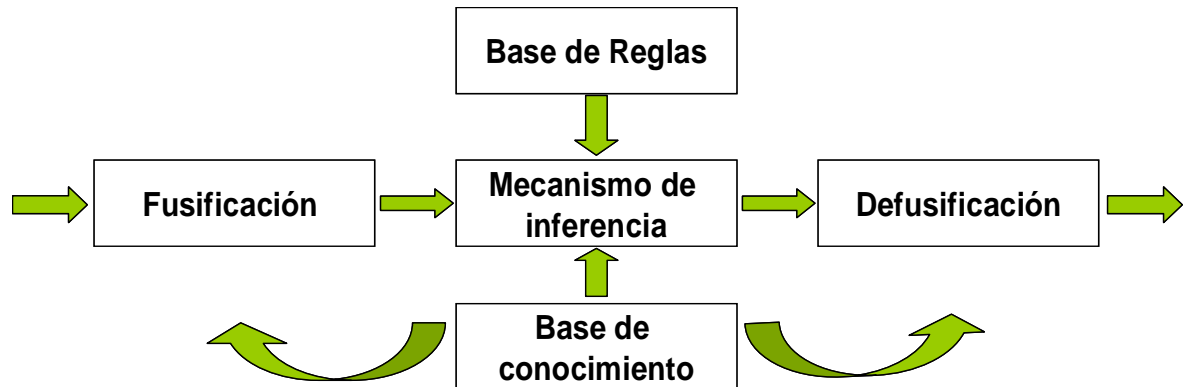
Los sistemas basados en lógica difusa emulan la manera en que el cerebro razona o piensa; por consiguiente, permite tratar información imprecisa o de difícil especificación, en términos de conjuntos difusos, fundamentándose en el concepto “Todo es cuestión de cuanto se cumple”. En el ANEXO A se presentan los conceptos básicos de lógica difusa.

SISTEMA DE INFERENCIA DIFUSA (SID) [10]

Los SID son conocidos como FIS por sus siglas en inglés. Estos sistemas se encargan de materializar los conceptos de lógica difusa permitiendo modelar el comportamiento de un sistema real, por medio de un proceso de inferencia que consiste en la extracción de conclusiones a partir de ciertas premisas y un conjunto de reglas difusas. En la FIGURA 1 se presenta la estructura básica de un FIS.

De acuerdo con los conceptos básicos de la estructura de un FIS (ANEXO B), y específicamente al formato de las reglas difusas, en la actualidad se cuenta con dos tipos de FIS: el Mamdani y el Sugeno. En el ANEXO C se describe más con más detalle cada uno de éstos sistemas.

Figura 1. Estructura Básica de un FIS



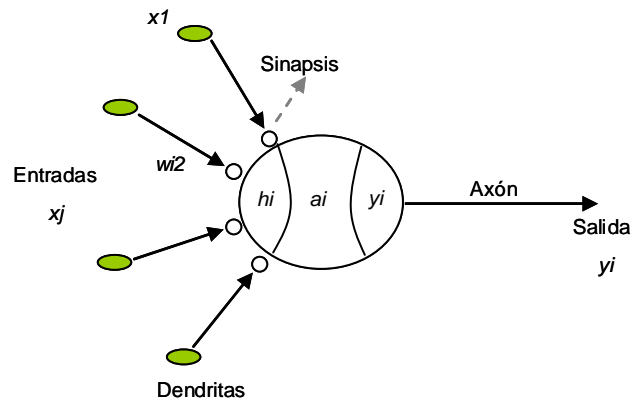
Fuente: Autores del proyecto

1.2 REDES NEURONALES ARTIFICIALES (RNA)

En la actualidad las RNA, se usan como herramienta para la solución de problemas prácticos; por ende, se considera que las RNA son sistemas de procesamiento que copian esquemáticamente la estructura del cerebro para tratar de reproducir sus capacidades; así las RNA son capaces de aprender de la experiencia a partir de las señales o datos provenientes del exterior, dentro de un marco de computación paralela y distribuida, fácilmente implementable en dispositivos *hardware* específicos.

Como en el sistema nervioso biológico, una RNA se constituye por neuronas que están unidas entre sí a través de conexiones, a las cuales se les asignan valores numéricos o pesos que representan el conocimiento de la RNA. Al cambiar los valores de los pesos se consigue imitar el cambio en la estructura de las conexiones sinápticas que ocurre durante el proceso de aprendizaje en la red neuronal biológica [3]. En la FIGURA 2 se muestra una neurona artificial general donde la descripción de los elementos que la constituyen se presenta en el ANEXO D, junto con las características y clasificación de los modelos de las RNA.

Figura 2. Modelo estructural de una Neurona artificial general.



Fuente: modificado de [10]

APRENDIZAJE POR RETROPROPAGACIÓN DE ERRORES O *BACK-PROPAGATION* (BP): [3]

Es un modelo de RNA supervisado y realimentado (ANEXO D), donde la idea central de la retropropagación del error es calcular los errores para las unidades de las capas ocultas a partir de los errores en las unidades de salida, para luego propagarlos capa tras capa hacia atrás hasta llegar a la capa de entrada, modificando los pesos de las neuronas en cada paso. El algoritmo debe ajustar los parámetros de la red para calcular el gradiente del error y minimizar el error medio cuadrático entre la salida deseada y la salida de la red.

1.3 SISTEMAS NEURO- DIFUSOS

Éste híbrido recoge las ventajas del sistema difuso y de las redes neuronales, para presentar propiedades computacionales particulares que las hacen adecuadas para cierto tipo de problemas. Las redes neuronales proporcionan el aprendizaje, adaptación, tolerancia a fallos, paralelismo y generalización; sin embargo, no son buenas para explicar como obtuvieron sus decisiones. En el caso contrario, los

sistemas difusos razonan con información imprecisa a través de un mecanismo de inferencia bajo incertidumbre lingüística, y son buenos al explicar sus decisiones, pero no pueden adquirir de manera automática las reglas que usan para tomarlas.

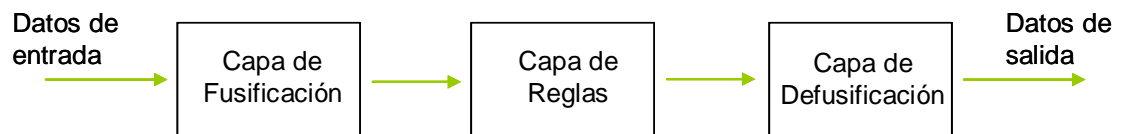
En la actualidad, existen varias herramientas que logran unir con éxito las características de estos sistemas, entre éstas se encuentran: ANFIS, FSOM, NEFCLASS, *FuzzyTech*.

De acuerdo a la metodología propuesta en éste proyecto se hará énfasis en la herramienta ANFIS de MATLAB. La descripción y características de ésta herramienta se proporciona en el ANEXO E.

APRENDIZAJE DE UN SISTEMA NEURO-DIFUSO

Un sistema Neuro-Difuso consiste en esencia en un sistema difuso tradicional, excepto que cada etapa se representa por una capa de neuronas que son provistas por capacidades de aprendizaje para optimizar el conocimiento del sistema como muestra la FIGURA 3.

Figura 3. Estructura del aprendizaje de un sistema neuro-difuso



Fuente: Autores del proyecto

En el ANEXO F se presenta una explicación detallada del funcionamiento y entrenamiento de los sistemas neuro-difusos.

1.4 CONTROL INTELIGENTE

Éste tipo de controladores se fundamentan en los sistemas de inferencia difusa que aportan la posibilidad de trabajar con razonamientos e incertidumbre, que se derivan de la observación; dados los requerimientos, en la actualidad se han proporcionado híbridos de lógica difusa y sistemas expertos neuronales, denominados sistemas neuro-difusos, que de acuerdo a los conceptos ya estudiados de inteligencia artificial se sabe que este tipo de controladores no requieren de un modelamiento matemático para definir el comportamiento del sistema, solo se valen del conocimiento vago o de esquemas de control clásico sobre un modelo aproximado, que son ajustados o adaptados por medio de una supervisión llevada a cabo por ellos mismos.

En la actualidad, se cuenta con numerosos equipos que poseen un sistema de control inteligente, entre éstos: máquinas lavadoras, compuertas en plantas hidroeléctricas, ascensores, vehículos, metros, etc. Desde luego este tipo de controladores han incursionado en la ingeniería química, con extensas aplicaciones, como son: el control de pH en aguas residuales, producción bioquímica de penicilina, el crackeo catalítico fluidizado de una refinería petroquímica, entre otros.

En base a la aplicación abordada en éste proyecto, en el ANEXO G se hace énfasis en el control de pH en aguas residuales por medio de un sistema neuro-difuso.

2. METODOLOGÍA

La metodología que se presenta a continuación es el modelo para el desarrollo de controladores neuro-difusos en el programa MATLAB, donde se hace uso de sus herramientas *Fuzzy logic toolbox* y ANFIS, con las cuales se abordaran dos aplicaciones diferentes, la primera requiere de los balances de materia y la segunda aplicación se fundamenta en investigaciones previas. De acuerdo a los conceptos estudiados en el capítulo anterior se establecerán los requerimientos necesarios para cada una de ellas.

2.1 SIMULACIÓN DE UN SISTEMA NEURO-DIFUSO PARA UN CONTROL DE NIVEL EN LAZO ABIERTO

La aplicación elegida es tomada de un curso de control de procesos del primer periodo académico de 2007 en la escuela de ingeniería química de la universidad Industrial de Santander; aunque se conoce que los sistemas neuro-difusos se basan de la información de los expertos, con esta aplicación académica se dará premisa a los controladores inteligentes sin necesidad de experimentación, solo se requiere del modelamiento matemático del sistema para extraer la base de datos.

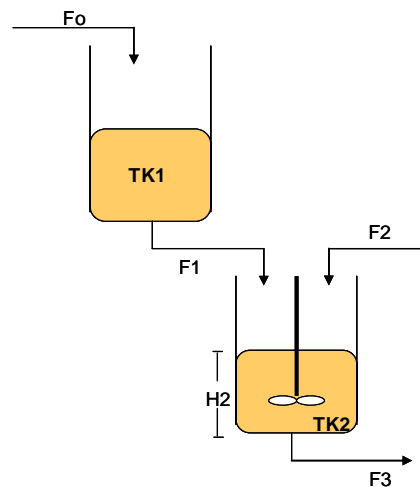
2.1.1 Planteamiento

El Aceite de Oliva, se obtiene de la extracción de aceite de las aceitunas. Básicamente este proceso, consiste en una digestión previa del fruto y luego el proceso de prensado.

El aceite bruto de prensas (el que está recién extraído), es llevado a un tanque de recolección, el cual se mantiene aproximadamente a una temperatura de 90°C. El flujo de Salida de éste tanque se realiza por gravedad y llega aun tanque secundario, cuya función es mezclar el aceite recién extraído con el aceite proveniente de las purgas de otros equipos posteriores.

Esta segunda corriente, se caracteriza por poseer temperaturas más bajas, cercanas a los 68°C . En la FIGURA 4 se esquematiza esta parte del proceso. F_0 corresponde a un flujo de $46\text{m}^3/\text{h}$; y el flujo F_2 es una razón entre $10\text{m}^3/\text{h}$.

Figura 4. Esquema del proceso de mezclado de aceite de oliva.



Fuente: Curso de control de procesos del primer periodo académico de 2007 en la escuela de ingeniería química de la universidad Industrial de Santander.

El objetivo es controlar el nivel del tanque 2 en lazo abierto, es decir que el sistema por si solo alcance su estado estable bajo posibles perturbaciones en las entradas F_0 y F_2 .

2.1.2 Desarrollo

2.1.2.1 Modelamiento matemático:

Se realiza el modelo matemático con el fin de obtener la base de datos necesaria para la elaboración del sistema neuro-difuso, la cual se calcula en Excel a partir de los balances de masa.

- Balances de masa

Tanque 1:

$$\frac{F_{o(t)} * \rho_0}{\rho_1 * A_{Tk1}} - \frac{\rho_1 * A_{tub} * \sqrt{2 * g} * h_{1(t)}^{1/2}}{\rho_1 * A_{Tk1}} = \frac{dh_{1(t)}}{dt} \quad (1)$$

Tanque 2:

$$\frac{F_{1(t)} * \rho_1}{\rho_3 * A_{Tk2}} + \frac{F_{2(t)} * \rho_2}{\rho_3 * A_{Tk2}} - \frac{A_{tub} * \rho_3 * \sqrt{2 * g} * h_{2(t)}^{1/2}}{\rho_3 * A_{Tk2}} = \frac{d[h_{2(t)}]}{dt} \quad (2)$$

- Parámetros:

Los parámetros requeridos por los balances de masa anteriores se presentan en el ANEXO H.

- Base de datos:

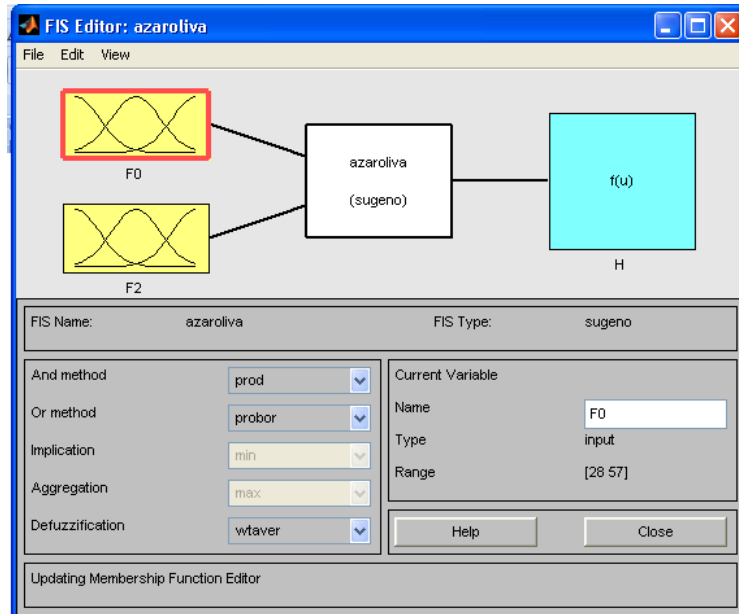
La base de datos se cálculo en Excel a partir de sus respectivos balances de masa y es presentada en el ANEXO I.

2.1.2.2 Diseño del sistema de inferencia difusa:

La FIGURA 5 muestra la ventana del editor de los sistemas de inferencia difusa (FIS), donde se definen desde el número de entradas y salidas, hasta las características globales que se asumen para todo el sistema.

A partir de la base de datos ya establecida, se definen 3 conjuntos difusos, dos de entrada Fo y F2, y uno de salida H2.

Figura 5. Imagen de la ventana del editor de FIS para la caracterización del sistema.



Fuente: Imagen importada de Fuzzy logic toolbox MATLAB.

En las TABLAS 1, 2 y 3 se presenta la información estimada por los autores del proyecto, para definir los 3 conjuntos difusos, en los cuales a F_0 y F_2 se les ha asignado 5 particiones difusas con sus respectivas variables lingüísticas y una función de membresía de tipo triangular centrada en torno al punto central; caso contrario para el conjunto difuso de salida H_2 donde se definen 25 funciones de membresía tipo constante, dadas por perturbaciones arbitrarias al sistema tipo Sugeno.

Tabla 1. Caracterización del conjunto difuso Fo

CONJUNTO DIFUSO F0		
PARTICIÓN	VARIABLE LINGUISTICA	RANGO
1	Negativo Grande (NG)	20,75 a 35,25
2	Negativo Pequeño (NP)	28 a 42,5
3	Cero (Z)	35,25 a 49,75
4	Positivo Pequeño (PP)	42,5 a 57
5	Positivo Grande (PG)	49,75 a 64,25

Tabla 2. Caracterización del conjunto difuso F2

CONJUNTO DIFUSO F2		
PARTICIÓN	VARIABLE LINGUISTICA	RANGO
1	Negativo Grande (NG)	1 a 7
2	Negativo Pequeño (NP)	4 a 10
3	Cero (Z)	7 a 13
4	Positivo Pequeño (PP)	10 a 16
5	Positivo Grande (PG)	13 a 19

Fuente, Tabla 1 y 2: Autores del proyecto

Tabla 3. Caracterización del conjunto difuso de salida H2

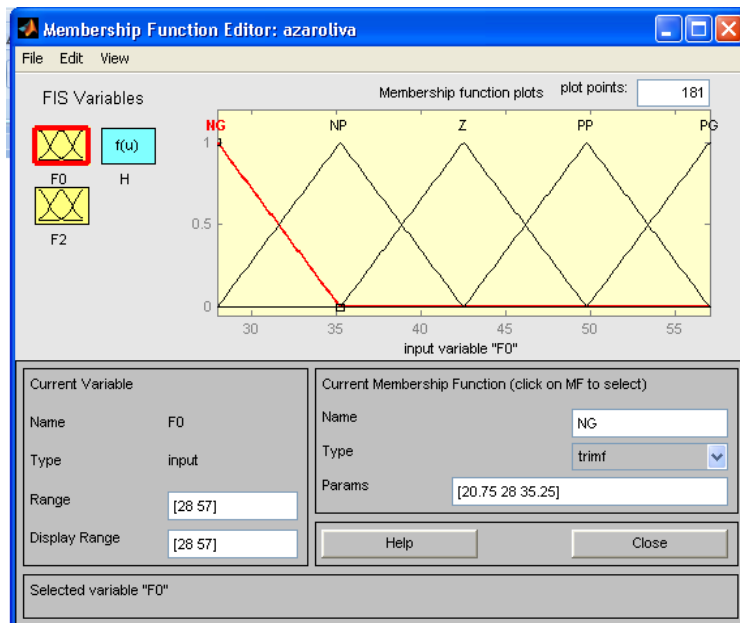
CONJUNTO DIFUSO H2			
FUNCIÓN DE MEMBRESÍA	VALOR CONSTANTE	FUNCIÓN DE MEMBRESÍA	VALOR CONSTANTE
mf1	1	mf14	3,4
mf2	1,2	mf15	3,7
mf3	1,4	mf16	3,1
mf4	1,6	mf17	3,3
mf5	1,9	mf18	3,6
mf6	1,8	mf19	4
mf7	1,2	mf20	4,4
mf8	2,3	mf21	3,55
mf9	2,6	mf22	3,99
mf10	2,9	mf23	4,3
mf11	2,4	mf24	4,8
mf12	2,7	mf25	5.
mf13	3		

Fuente: Autores del proyecto.

En base a la anterior información, se definen las funciones de membresía en el editor de funciones de la herramienta *Fuzzy logic toolbox*, como se muestran en las FIGURAS 6 Y 7.

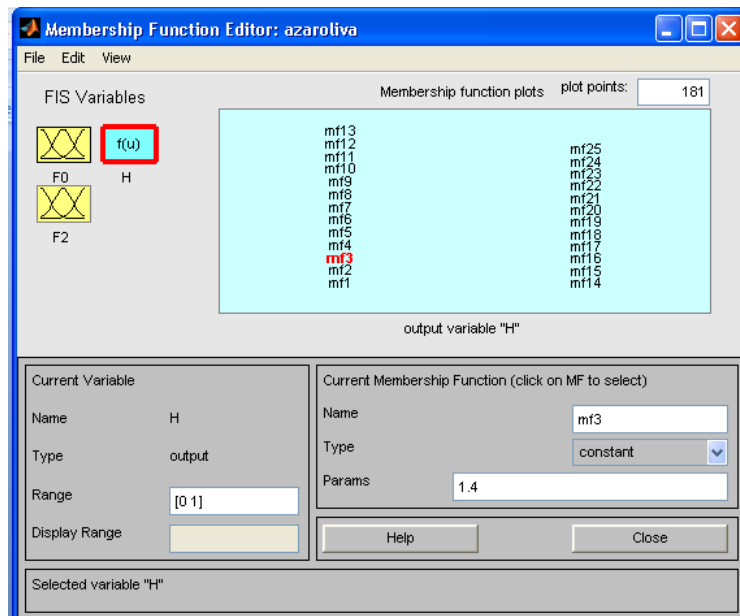
El siguiente paso de este diseño, consiste en combinar los dos conjuntos difusos de entrada para obtener las reglas difusas de tipo IF-THEN, como se presenta en la FIGURA 8.

Figura 6. Imagen de la ventana del editor de funciones de membresía tipo triangular para los conjuntos difusos de entrada Fo y F2



Fuente: imagen importada de *Fuzzy logic toolbox* MATLAB.

Figura 7. Imagen de la ventana del editor de la función de membresía tipo constante para el conjunto difuso de salida H2.



Fuente: imagen importada de *Fuzzy logic toolbox* MATLAB.

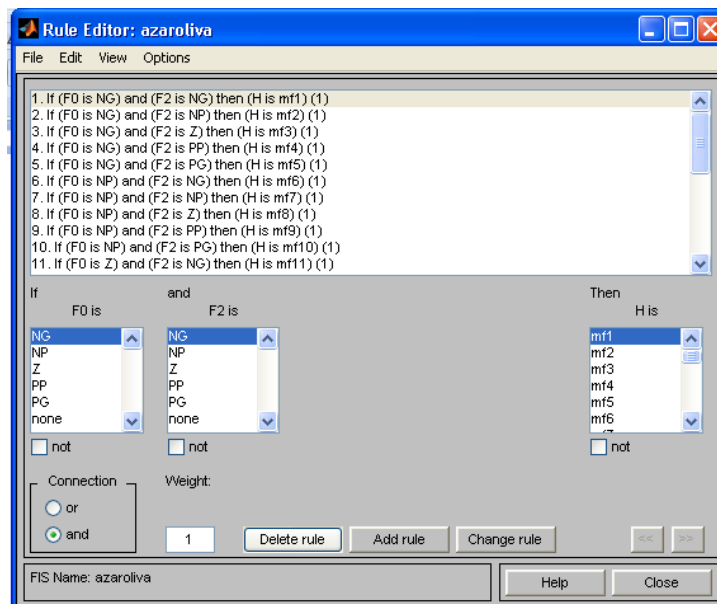
Figura 8. Base de reglas difusas (FAM) para el proceso de mezclado de aceite de oliva.

FOF2	NG	NP	Z	PP	PG
NG	mf1	mf2	mf3	mf4	mf5
NP	mf6	mf7	mf8	mf9	mf10
Z	mf11	mf12	mf13	mf14	mf15
PP	mf16	mf17	mf18	mf19	mf20
PG	mf21	mf22	mf23	mf24	mf25

Fuente: Autores del proyecto.

Posteriormente estas reglas son incorporadas en el editor de reglas de *fuzzy logic toolbox* en forma de ecuación como se muestra en la FIGURA 9.

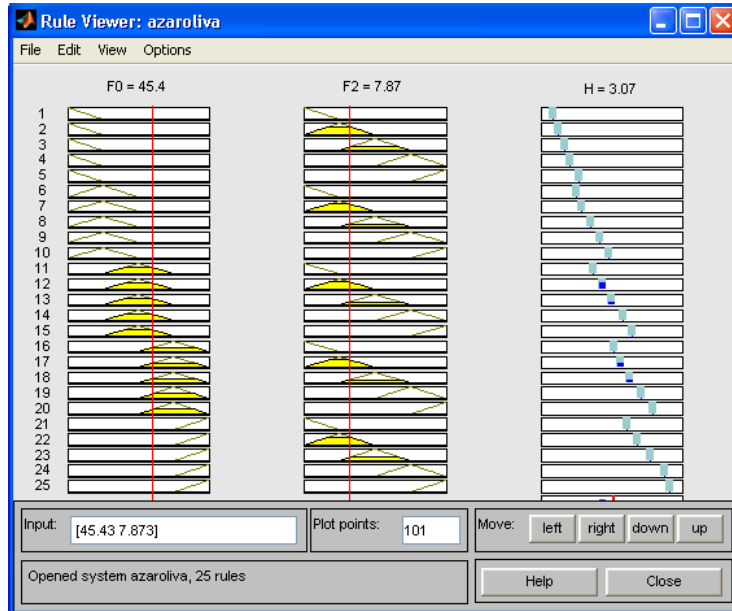
Figura 9. Imagen de la ventana del editor de reglas difusas



Fuente: imagen importada de *Fuzzy logic toolbox* MATLAB

Por último, la ventana que presenta la FIGURA 10 es llamada visor de reglas, en esta se manipulan los valores de entrada del sistema, para observar de esta manera los respectivos valores de salida dados por el funcionamiento del sistema de inferencia difusa sin entrenar.

Figura 10. Imagen de la ventana del visor de reglas difusas.



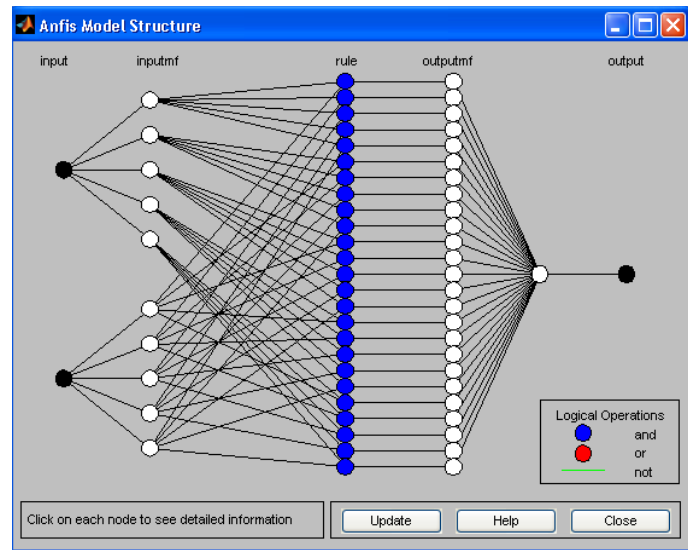
Fuente: imagen importada de *Fuzzy logic toolbox* MATLAB.

2.1.2.3 Entrenamiento del sistema de inferencia difusa:

Por medio de la herramienta ANFIS se procede a entrenar el sistema de la siguiente manera: La estructura de la red muestra las conexiones entre las variables de entrada y sus posibles interacciones con las reglas, las cuales, al ser comparadas con los datos de entrenamiento cambiarán su valor y por tanto los pesos para disminuir de esta manera el error del sistema, es a éste proceso que se le llama entrenamiento de la red; en la FIGURA 11 se presenta el modelo de la red dado por ANFIS para esta aplicación.

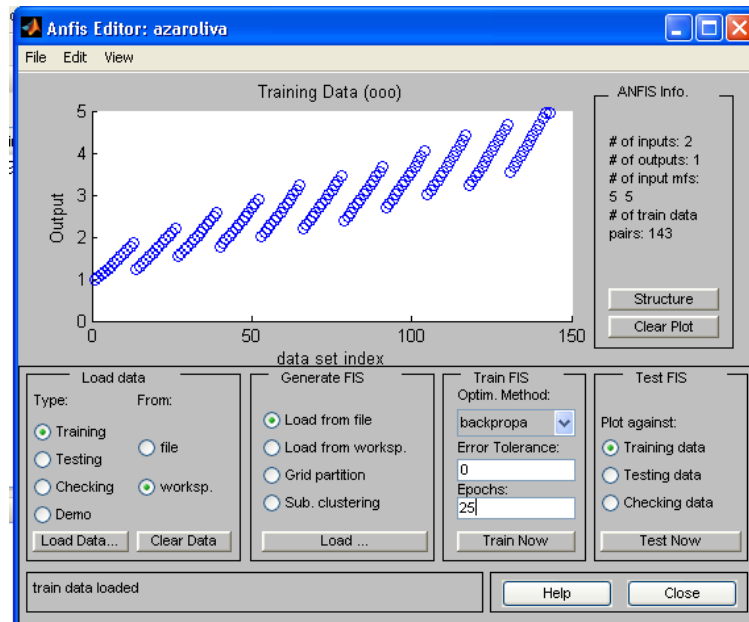
Los datos de entrenamiento se obtienen a partir de los balances de masa para este caso e introducidos al *workspace*. En la FIGURA 12 se presenta la ventana del editor de ANFIS, con los datos de entrenamiento ya cargados y fijadas las características globales del algoritmo de aprendizaje, donde posteriormente se procede a cargar y graficar el sistema de inferencia difusa para probar estos datos con los datos de entrenamiento como se observa en la FIGURA 13.

Figura 11. Imagen de la ventana del modelo estructural de la red neuronal para el proceso de mezclado de aceite de oliva.



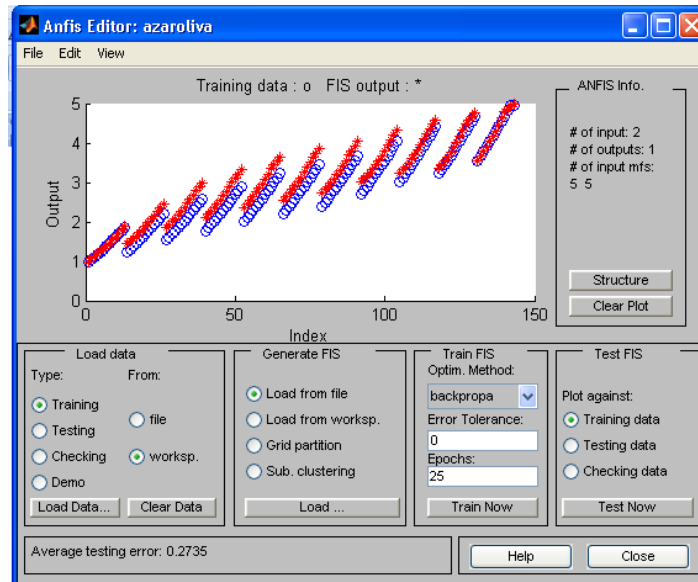
Fuente: imagen importada de *Fuzzy logic toolbox* MATLAB.

Figura 12. Imagen de la ventana del editor de ANFIS para la caracterización del sistema de entrenamiento para esta aplicación.



Fuente: imagen importada de ANFIS MATLAB.

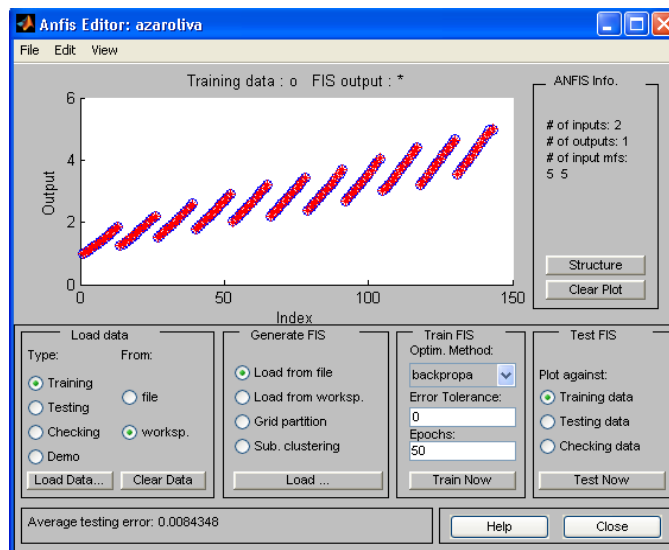
Figura 13. Imagen de la ventana del editor de ANFIS donde se prueban los datos.



Fuente: imagen importada de ANFIS MATLAB.

Por último, se realiza el entrenamiento del sistema con BP (FIGURA 14), para ajustar de esta manera los rangos de las variables lingüísticas (Ver en resultados y análisis).

Figura 14. Imagen de la ventana del editor de ANFIS donde se observa el entrenamiento de los datos.



Fuente: imagen importada de ANFIS MATLAB.

2.2 SIMULACIÓN DE UN SISTEMA NEURO-DIFUSO PARA UN CONTROL DE pH.

Para la siguiente aplicación se realizó una revisión detallada de publicaciones científicas en: IEEE y ACS, con el fin de seleccionar una aplicación industrial sobre la cual se hayan realizado investigaciones previas referentes al estado del arte, es por eso que parte de éste proyecto se ha desarrollado para generar un aporte a éstas investigaciones.

El artículo elegido, se basa en la técnica de neutralización como parte del proceso de tratamiento de aguas residuales. Debido a la importancia de esta técnica amplios estudios han sido dedicados a su control. Sin embargo, el control industrial de la neutralización de aguas residuales es un procedimiento con muchos problemas, como son: no linealidad de la curva de titulación, amortiguación variable y cambios en las cargas; por tal razón, se hace necesario implementar un sistema más sofisticado de control, como el que se desarrolla a continuación.

2.2.1 Planteamiento

El proceso consta de un reactor CSTR al cual ingresan las corrientes de aguas residuales y NaOH como agente neutralizador, el flujo de agua se considera constante a 2 L/min, el volumen del tanque de neutralización es de 0.7 L y la concentración constante de la base es de 250 mmol/L, como se esquematiza en la FIGURA 15.

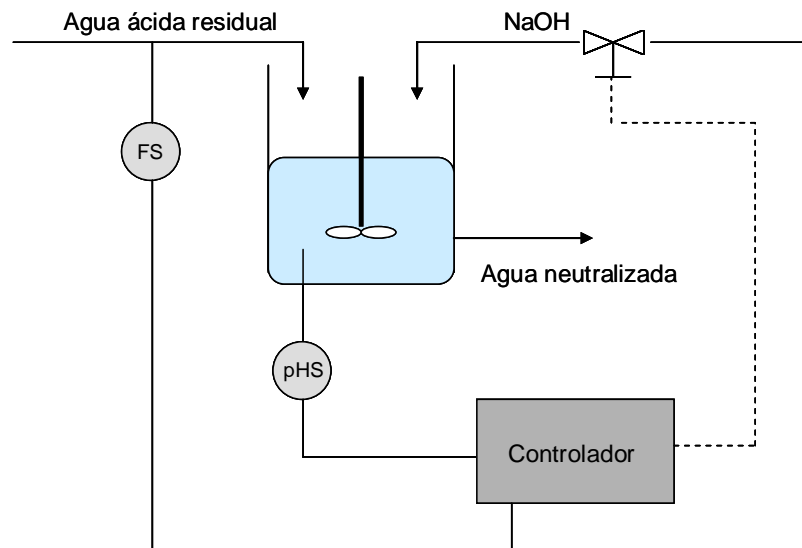
Para una descripción más detallada del proceso y del sistema de inferencia difusa, dirigirse a [6].

2.2.2 Desarrollo

El desarrollo del sistema de inferencia difusa tipo sugeno es realizado en MATLAB, de la misma manera que en el caso anterior, basándose en los estudios

presentados en el artículo [6] y a partir de los cuales se realizará el entrenamiento del nuevo sistema.

Figura 15 Esquema del proceso de neutralización de aguas residuales.



Fuente: Modificado de [6]

2.2.2.1 Modelamiento matemático:

A continuación, se presenta el modelo para la simulación del control de la neutralización de aguas de desecho por medio de lógica difusa. El modelo se basa en el balance de cargas eléctricas dentro de la solución. El balance de cargas para cualquier ácido monoprótico neutralizado a cualquier proporción con NaOH, es determinada por la siguiente ecuación:

$$[A^-] + [OH^-] = [Na^+] + [H^+] \quad (3)$$

Donde Na^+ es igual a la concentración de la base neutralizante añadida.

El modelo tiene la capacidad para simular el comportamiento de tres ácidos monopróticos en solución. La constante de equilibrio K_a se mantendrá constante durante el proceso, lo que es equivalente a decir que la temperatura y la fortaleza

iónica también permanecerán constantes. Las especies de ácido y base conjugada se rompen en fracciones iónicas, las cuales dependen exclusivamente del pH y del Ka. Para más información referente al modo como trabaja el modelo iónico se puede remitir a [6].

En base al controlador propuesto en [6], se utilizarán las mismas variables de entrada y de salida, dadas en el modelo realizado con lógica difusa, las cuales son: el error (e), el cual representa la diferencia entre el pH set point y el actual pH, y la velocidad del error (v), que es la diferencia entre el actual error y el de la iteración anterior; teniendo en cuenta que la adquisición de estos datos es espaciada a iguales intervalos de tiempo.

$$e = pH_{sp} - pH \quad (4)$$

$$v = e_k - e_{k-1} \quad (5)$$

La variable de salida es S . Esta variable nos permite calcular la rata de flujo actual por medio de la ecuación:

$$rat_k = rat_{k-1} * 10^{S/K} \quad (6)$$

Esta ecuación lleva a la acción final de control con base a la última rata de flujo y a un factor exponencial el cual hace la regulación de pH más rápido y versátil. El factor K hace posible ajustar la salida del algoritmo difuso, atenuando la respuesta durante el curso del proceso, un pequeño valor de K es usado cuando el agua es amortiguada; para aguas de desecho que contienen ácidos fuertes el proceso es muy sensible a cambios en la rata de flujo. Con el fin de evitar posibles inestabilidades en el proceso, grandes valores de K son utilizados. Para este estudio se ha escogido un valor grande de K ($K = 200$), apropiado para aguas con baja capacidad de amortiguamiento.

2.2.2.2 Diseño del sistema de inferencia difusa:

De la misma forma como se realizó el sistema de inferencia difusa tipo sugeno para la aplicación anterior, se desarrolla este sistema partiendo de la información propuesta por los autores de [6], que se presenta en las TABLAS 4, 5 y 6. Donde se tiene que las funciones de membresía son de tipo π para los conjuntos de entrada, con 7 particiones difusas y sus respectivas variables lingüísticas, y para el conjunto de salida, el artículo propone 49 funciones de membresía tipo constante.

Tabla 4. Caracterización del conjunto difuso e .

CONJUNTO DIFUSO ERROR (e)		
PARTICIÓN	VARIABLE LINGUISTICA	RANGO
1	Básico Alto (BA)	-7 a -2
2	Básico Medio (BM)	-5,4 a -0,6
3	Básico Bajo (BB)	-2,2 a 0
4	Error alrededor de cero (OP)	-1 a 1
5	Acido Bajo (AB)	0 a 2,2
6	Acido Medio (AM)	0,6 a 5,4
7	Acido Bajo (AA)	2,2 a 7

Tabla 5. Caracterización del conjunto difuso v

CONJUNTO DIFUSO VELOCIDAD (v)		
PARTICIÓN	VARIABLE LINGUISTICA	RANGO
1	Negativo Rápido (NR)	-4 a -1
2	Negativo Medio (NM)	-2,5 a -0,5
3	Negativo Lento (NL)	-0,9 a -0,1
4	Velocidad alrededor de cero (L)	-0,5 a 0,5
5	Positivo Lento (PL)	0,1 a 0,9
6	Positivo Medio (PM)	0,5 a 2,5
7	Positivo Rápido (PR)	1 a 4

Tabla 6. Caracterización del conjunto difuso s

CONJUNTO DIFUSO S					
FUNCION DE MEMBRESIA	VALOR CONSTANTE	FUNCION DE MEMBRESIA	VALOR CONSTANTE	FUNCION DE MEMBRESIA	VALOR CONSTANTE
mf1	-0.720	mf18	0,0003	mf35	0,36
mf2	-0,47	mf19	0,06	mf36	-0,41
mf3	-0,18	mf20	0,15	mf37	-0,26
mf4	-0,045	mf21	0,39	mf38	-0,084
mf5	-0,080	mf22	-0,7244	mf39	0,051
mf6	0,20	mf23	-0,4153	mf40	0,16
mf7	0,37	mf24	-0,2177	mf41	0,48
mf8	-0,45	mf25	1.98e-7	mf42	0,71
mf9	-0,295	mf26	0,215	mf43	-0,395
mf10	-0,17	mf27	0,4112	mf44	-0,27
mf11	-0,040	mf28	0,7246	mf45	-0,087
mf12	-0,078	mf29	-0,408	mf46	0,059
mf13	0,17	mf30	-0,21	mf47	0,189
mf14	0,385	mf31	-0,06863	mf48	0,47
mf15	-0,35	mf32	-3.137e-7	mf49	0,69
mf16	-0,28	mf33	0,06967		
mf17	-0,09	mf34	0,2053		

Fuente, Tablas 4, 5 y 6: Autores del proyecto.

Con la información anterior y la base de reglas difusas presentada en la FIGURA 16, se caracteriza de manera global el sistema de inferencia difusa tipo sugeno con la herramienta *fuzzy logic toolbox*, para su posterior entrenamiento.

2.1.2.3 Entrenamiento del sistema de inferencia difusa

De la misma manera que en la aplicación anterior se usa la herramienta ANFIS para entrenar el sistema de inferencia difusa.

La FIGURA 17 presenta el modelo de la red dado por ANFIS para ésta aplicación.

Como se mencionó con antelación, la base de datos de entrenamiento se obtiene del controlador difuso presentado en [6], la cual será cargada en *workspace*, como se muestra en la FIGURA 18.

Después de introducir los datos de entrenamiento y de fijar las características del algoritmo de aprendizaje, se procede a cargar y graficar el sistema de inferencia difusa tipo Sugeno para probar estos datos con los de entrenamiento como se observa en la FIGURA 19.

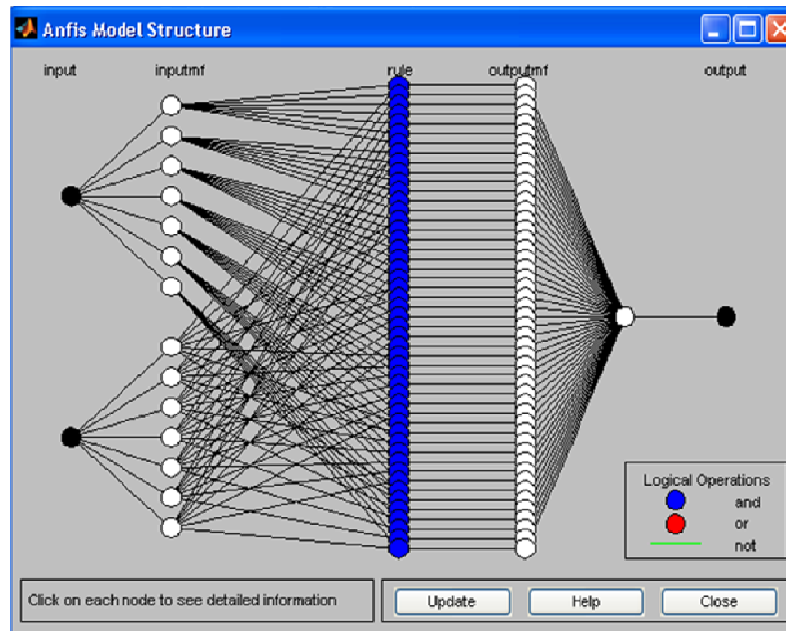
Por último, se realiza el entrenamiento del sistema con BP (FIGURA 20), para ajustar de esta manera los rangos de las variables lingüísticas (Ver en resultados y análisis).

Figura 16 Base de reglas difusas (FAM) para el proceso de neutralización de aguas residuales.

v\e	BA	BM	BB	OP	AB	AM	AA
NR	mf1	mf2	mf3	mf4	mf5	mf6	mf7
NM	mf8	mf9	mf10	mf11	mf12	mf13	mf14
NL	mf15	mf16	mf17	mf18	mf19	mf20	mf21
L	mf22	mf23	mf24	mf25	mf26	mf27	mf28
PL	mf29	mf30	mf31	mf32	mf33	mf34	mf35
PM	mf36	mf37	mf38	mf39	mf40	mf41	mf42
PR	mf43	mf44	mf45	mf46	mf47	mf48	mf49

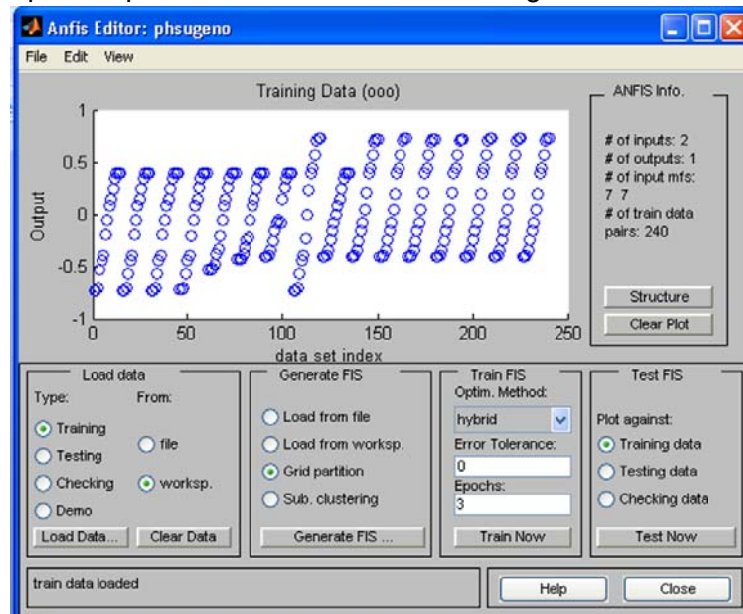
Fuente: Autores del proyecto.

Figura 17 Imagen de la ventana del modelo estructural de la red neuronal para el proceso de neutralización de aguas residuales.



Fuente: imagen importada de *Fuzzy logic toolbox* MATLAB.

Figura 18 Imagen de la ventana del editor de ANFIS para la caracterización del sistema de entrenamiento para el proceso de neutralización de aguas residuales.



Fuente: imagen importada de ANFIS MATLAB

Figura 19. Imagen de la ventana del editor de ANFIS donde se prueban los datos para el proceso de neutralización de aguas residuales.

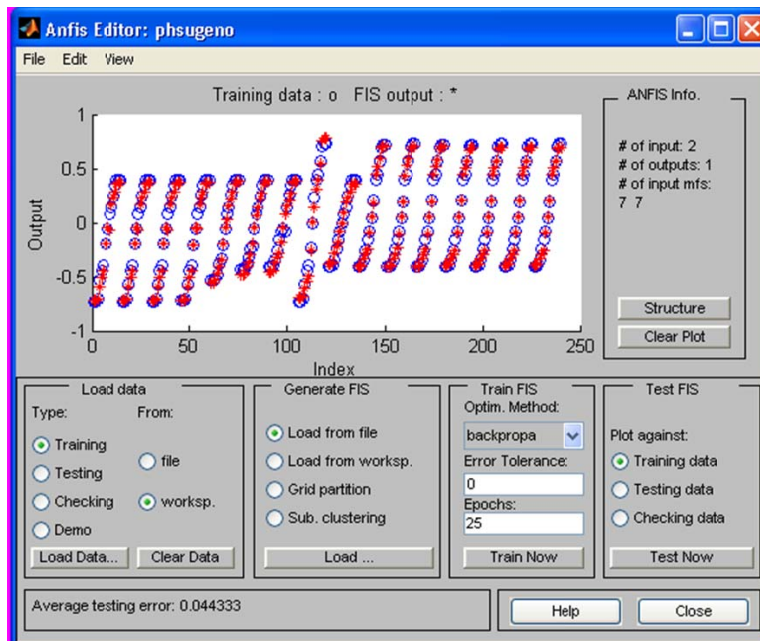
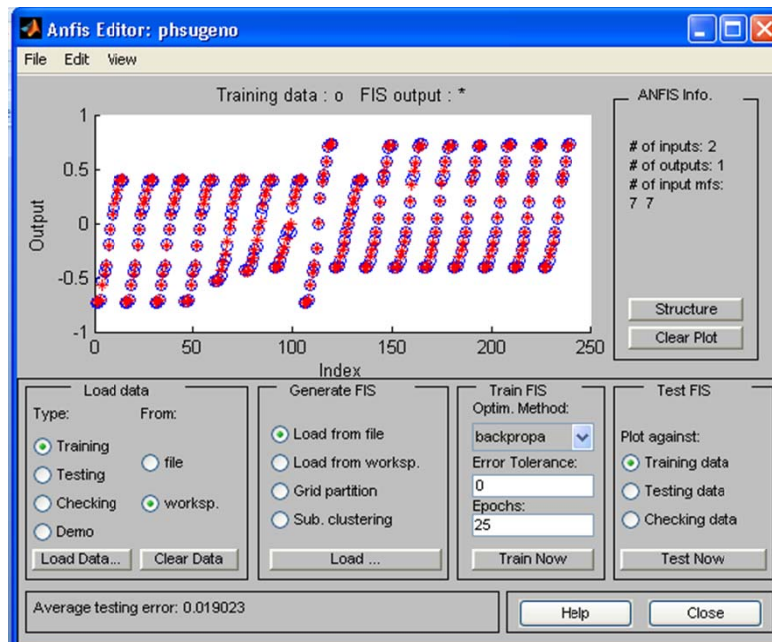


Figura 20. Imagen de la ventana del editor de ANFIS donde se observa el entrenamiento de los datos para esta aplicación.



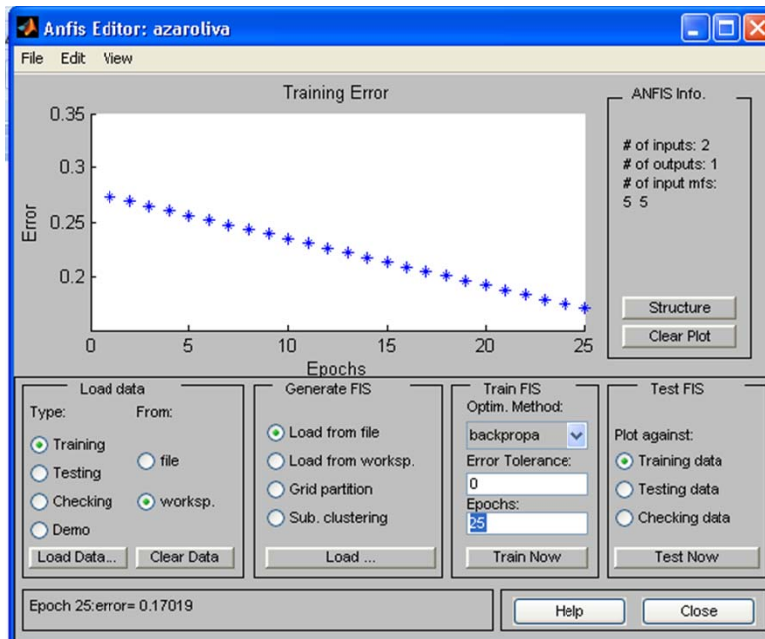
Fuente, figura 19 y 20: imagen importada de ANFIS MATLAB.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En base al capítulo anterior, donde se desarrolló la simulación de dos sistemas neuro-difusos para el control de nivel en un proceso de mezclado de aceite de oliva y el control de pH en neutralización de aguas residuales, se obtienen los resultados que serán analizados a continuación.

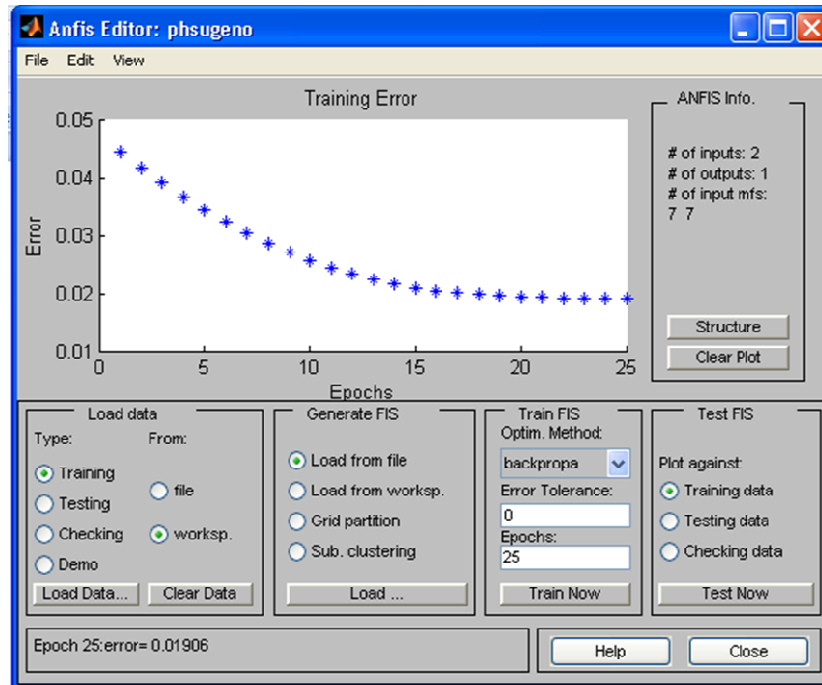
Uno de los aspectos más importantes a evaluar en este proyecto es el error de respuesta; por ende, se analizan los sistemas difusos (sin entrenar) y los sistemas neuro-difusos (entrenados) para las dos aplicaciones abordadas en este proyecto. En base a los resultados presentados en el ANEXO J o a partir de el error de respuesta dado en la ventana del editor de ANFIS (FIGURAS 21 y 22), se puede observar que el sistema neuro- difuso entrenado con BP arroja valores de respuesta más cercanos a la base de datos real, disminuyendo de ésta manera el error de respuesta.

Figura 21 Imagen de la ventana del editor de ANFIS donde se observa el error de respuesta para el proceso de mezclado de aceite de oliva.



Fuente: imagen importada de ANFIS MATLAB.

Figura 22 Imagen de la ventana del editor de ANFIS donde se observa el error de respuesta para el proceso de neutralización de aguas residuales.



Fuente: imagen importada de ANFIS MATLAB.

Como se mencionó en el marco teórico, las funciones de membresía juegan un papel de gran relevancia en el diseño del sistema de inferencia difusa, ya que el comportamiento de las variables del sistema depende de la selección de ésta. Por tal razón, en una de las aplicaciones en este proyecto, se utiliza una función de membresía estándar tipo triangular seleccionada por los autores sin un conocimiento previo, donde se observó que este tipo de función se ajustó correctamente al funcionamiento del control de nivel, debido a que el sistema es sencillo y no requería un alto grado de sensibilidad en la respuesta.

De acuerdo a las dos aplicaciones abordadas, se observa que a mayor número de particiones difusas el sistema presenta más sensibilidad bajo cualquier perturbación, aunque también al aumentar estas particiones se hace más complejo el desarrollo de el controlador.

En base al desarrollo se observa que no se requiere de gran experiencia en controladores inteligentes, ya que se puede construir un sistema híbrido neuro-difuso capaz de disminuir el error ocasionado por un mal diseño o la selección incorrecta de cualquier parámetro del sistema FIS. En las TABLAS de la 7 a la 12 se nota el ajuste de los conjuntos difusos para las dos aplicaciones. Por consiguiente, los sistemas entrenados con BP tienen la capacidad de rectificar cualquier error por parte del diseñador.

Tabla 7. Caracterización del conjunto difuso F0 después del entrenamiento.

CONJUNTO DIFUSO F0 (ANFIS)		
PARTICIÓN	VARIABLE LINGÜÍSTICA	RANGO
1	Negativo Grande (NG)	20,75 a 35,28
2	Negativo Pequeño (NP)	28,02 a 42,55
3	Cero (Z)	35,5 a 49,9
4	Positivo Pequeño (PP)	42,56 a 57
5	Positivo Grande (PG)	49,78 a 64,25

Tabla 8. Caracterización del conjunto difuso F2 después del entrenamiento

CONJUNTO DIFUSO F2 (ANFIS)		
PARTICIÓN	VARIABLE LINGÜÍSTICA	RANGO
1	Negativo Grande (NG)	1 a 7,024
2	Negativo Pequeño (NP)	4,019 a 10,03
3	Cero (Z)	6,986 a 13,03
4	Positivo Pequeño (PP)	10 a 16,1
5	Positivo Grande (PG)	13,03 a 19

Tabla 9. Caracterización del conjunto difuso H2 después del entrenamiento

CONJUNTO DIFUSO H2 (ANFIS)			
FUNCION DE MEMBRESIA	VALOR CONSTANTE	FUNCION DE MEMBRESIA	VALOR CONSTANTE
mf1	0,977	mf14	2,952
mf2	1,17	mf15	3,278
mf3	1,381	mf16	2,759
mf4	1,609	mf17	3,077
mf5	1,857	mf18	3,413
mf6	1,469	mf19	3,76
mf7	1,704	mf20	4,161
mf8	1,957	mf21	3,556
mf9	2,227	mf22	3,916
mf10	2,521	mf23	4,286
mf11	2,068	mf24	4,699
mf12	2,344	mf25	5,019
mf13	2,637		

Tabla 10. Caracterización del conjunto difuso v después del entrenamiento.

CONJUNTO DIFUSO VELOCIDAD (v) (ANFIS)		
PARTICIÓN	VARIABLE LINGUISTICA	RANGO
1	Negativo Rápido (NR)	-5,2 a -0,9635
2	Negativo Medio (NM)	-2,484 a -0,4933
3	Negativo Lento (NL)	-0,9 a -0,1
4	Velocidad alrededor de cero (L)	-0,5 a 0,5
5	Positivo Lento (PL)	0,1 a 0,9
6	Positivo Medio (PM)	0,4986 a 2,503
7	Positivo Rápido (PR)	1,002 a 5,2

Tabla 11. Caracterización del conjunto difuso e después del entrenamiento.

CONJUNTO DIFUSO ERROR (e) (ANFIS)		
PARTICIÓN	VARIABLE LINGUISTICA	RANGO
1	Básico Alto (BA)	-9,1 a - 1,992
2	Básico Medio (BM)	-5,346 a -0,5863
3	Básico Bajo (BB)	-2,332 a 0
4	Error alrededor de cero (OP)	-1 a 1
5	Acido Bajo (AB)	0 a 2,269
6	Acido Medio (AM)	0,5764 a 5,333
7	Acido Bajo (AA)	2,002 a 9,1

Tabla 12. Caracterización del conjunto difuso S después del entrenamiento

CONJUNTO DIFUSO S (ANFIS)					
FUNCION DE MEMBRESIA	VALOR CONSTANTE	FUNCION DE MEMBRESIA	VALOR CONSTANTE	FUNCION DE MEMBRESIA	VALOR CONSTANTE
mf1	-0,7164	mf18	0,0003	mf35	0,4085
mf2	-0,419	mf19	0,06	mf36	-0,4086
mf3	-0,1946	mf20	0,15	mf37	-0,2093
mf4	-0,05	mf21	0,39	mf38	-0,06685
mf5	-0,07564	mf22	-0,7244	mf39	0,05
mf6	0,2055	mf23	-0,4153	mf40	0,182
mf7	0,4086	mf24	-0,2177	mf41	0,4112
mf8	-0,4021	mf25	1.98e-7	mf42	0,7174
mf9	-0,2359	mf26	0,215	mf43	-0,4066
mf10	-0,1333	mf27	0,4112	mf44	-0,2099
mf11	-0,05	mf28	0,7246	mf45	-0,06735
mf12	-0,02408	mf29	-0,408	mf46	0,05
mf13	0,2109	mf30	-0,21	mf47	0,1871
mf14	0,4084	mf31	-0,06863	mf48	0,4122
mf15	-0,35	mf32	-3.137e-7	mf49	0,7215
mf16	-0,28	mf33	0,06967		
mf17	-0,09	mf34	0,2053		

Fuente, tabla 7, 8, 9, 10, 11 y 12: Autores del proyecto.

4. CONCLUSIONES

Se realizó la simulación del control neuro-difuso de nivel en lazo abierto para un proceso de mezclado de aceite de oliva y el control neuro-difuso de pH para la neutralización de aguas residuales con las herramientas *fuzzy logic toolbox* y ANFIS de MATLAB 7.4.0.

Se comprobó que el funcionamiento de los sistemas neuro-difusos logran obtener resultados más cercanos a los reales, en comparación a los sistemas difusos, debido a que la red permite el aprendizaje del sistema, este genera una disminución del error provocado por un mal diseño o la selección incorrecta de cualquier parámetro del sistema FIS por parte del programador.

Con la realización de éste trabajo se da premisa a los controladores inteligentes en la escuela de ingeniería química mostrando una aplicación sencilla del mismo, permitiendo realizar mayores adelantos y generando interés en ésta área de investigación.

5. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones hacen parte fundamental de este proyecto, ya que uno de los objetivos propuestos en éste, es dar premisa a futuras investigaciones en controladores inteligentes en la escuela de ingeniería química.

Debido a la existencia de otras herramientas para diseñar controladores inteligentes, se recomienda realizar otros híbridos como son: lógica difusa con algoritmos genéticos o lógica difusa con controladores convencionales (P, PI, PID), entre otros.

Dada la importancia de la selección de la función de membresía, como se mencionó con antelación; sería interesante realizar a futuro el mismo control bajo diferentes funciones y de esta manera encontrar la función que mejor me represente y optimice el sistema.

Se recomienda implementar un laboratorio para la investigación sobre control de procesos, donde se puedan estudiar éstos nuevos sistemas de control enfocados a los Bioprocesos, nanoprocesos, entre otros.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] AMELIA, Lily; WAHAB, D.A y HASSAN, A. Modelling of palm oil production using fuzzy expert system. En: expert systems with applications 36 (2009) p 8735-8749
- [2] BÖLING, Jari M; SEBORG, Dale E y HESPANHA, João P. Multi-model adaptive control of a simulated pH neutralization process. En: Control Engineering Practice 15 (2007). p 663–672
- [3] CHAHUARA QUISPE, José Carlos. Control neuro-difuso aplicado a una Grúa Torre. Tesis (Ing. Electrónico)-Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ingeniería Electrónica. EAP. de Ingeniería Electrónica, Lima. 2005
- [4] FERNANDEZ, FJ; SECO, A; FERRER, J y RODRIGO M.A. Use of neurofuzzy networks to improve wastewater flow-rate forecasting. En: Environmental modeling & software 24 (2009) p 686-693
- [5] GALINDO, Jose. Curso Introductorio de Conjuntos y Sistemas Difusos (Lógica Difusa y Aplicaciones). Universidad de malaga. España.
<http://www.lcc.uma.es/~ppgg/FSS/>
- [6] GARRIDO, Ral; ADROER, Manel; y POCH, Manel. Wastewater Neutralization Control Based in Fuzzy Logic: Simulation Results. En: Ind. Eng. Chem. Res., 1997, 36 (5), p. 1665-1674
- [7] GUTIERREZ VIVIUS, Alfredo Andres y SANJUAN M, Marco E. Ecuaciones de sintonización para controladores difusos basadas en modelos de primer orden mas tiempo muerto. Ingeniería y desarrollo: revista de la División de Ingeniería de la Universidad del Norte, N°. 19, 2006, págs. 74-87

- [8] HENSON, Michel A; SEBORG, Dale E. Adaptive Nonlinear Control of a pH Neutralization Process. IEEE Transactions on control systems technology, VOL. 2, NO. 3, AUGUST 1994
- [9] KULKARNI, Arun D. Computer visión and fuzzy-neural systems. Upper saddle river, NJ. Prentice-hall, 2001. Cap 1 y 7
- [10] MARTIN DE BRIO, Bonifacio y SANZ MOLINA, Alfredo. Redes neuronales y sistemas borrosos. 3 ed. Mexico: Alfaomega Grupo Editor, 2007.
- [] MASTERS, Timothy. Practical neural network recipes in C++. San Diego. Academic press, 1993. Cap 16-18
- [11] MINGZHI, Huang; JINQUAN, Wan; YONGWEN, Ma; YANG, Wang; WEIJIANG, Li y XIAOFEI, Aun. Control rules of aeration in a submerged biofilm wastewater treatment process using fuzzy neural networks. En: expert systems with applications (2009).
- [12] REVISTA VIRTUAL PRO, Procesos industriales. Instrumentacion y control. Numero 85, Febrero de 2009.
- [13] SHILDIT, Herbert. Utilización de C en inteligencia artificial. España. Mc graw Hill, 1989.
- [14] SMITH, Carlos A y CORRIPIO, Armando B. Control automático de procesos: teoría y práctica. 1ed. Mexico, Noriega Editores. 1997
- [15] TERANO, Toshiro; ASAI, Kiyoji y SUGENO, Michio. Fuzzy systems theory and its applications. Boston. Academic Press, 1992. Cap 10 y 14.
- [16] TSANG, K.M. Auto-tuning of fuzzy logic controllers for self.regulating processes. En: fuzzy sets and systems 120 (2001) p 169-179

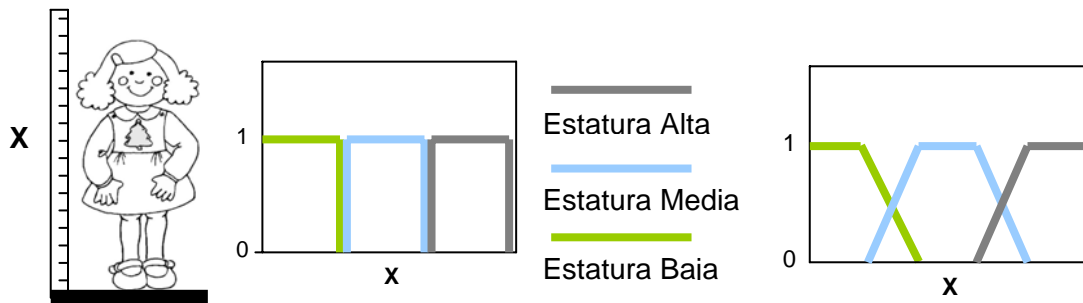
ANEXOS

ANEXO A. CONCEPTOS BÁSICOS DE LÓGICA DIFUSA.

Antes de abordar los conceptos de lógica difusa, se hace necesario el estudio del siguiente ejemplo.

Se tiene como universo del discurso a las mujeres colombianas agrupadas por su estatura, en este se toman tres subconjuntos difusos cada uno identificado por una etiqueta (mujer de estatura baja, mujer de estatura media, mujer de estatura alta), y con una función de membresía ($\mu_{\text{Bajo}}(t)$, $\mu_{\text{Medio}}(t)$, $\mu_{\text{Alto}}(t)$), definida esta como un numero real entre 0 y 1, como se muestra en la FIGURA A1.

Figura A1. Esquema del ejemplo básico



Fuente: Modificado de [10]

Si definimos el conjunto clásico de las mujeres colombianas de estatura baja como las que miden menos de 1.55 metros, resulta que una mujer de 1.54 es baja, mientras que otra de 1.56 no lo es; por ende, esta descripción que proporciona la teoría clásica de conjuntos no resulta perfectamente satisfactoria, ya que su estatura sólo se diferencian en 2 cm; es así que resulta necesario usar en este tipo de casos una descripción en conjuntos difusos, donde este permite manejar términos de estatura baja tirando a media, indicando en que grado este suceso pertenece a una etiqueta, gracias a los valores dados por la función de membresía, (por ejemplo, si 1 es el valor dado para la etiqueta mujer estatura

baja, entonces para el caso de una mujer de estatura baja tirando a media sería un valor de 0.6 mujer de estatura baja y 0.4 mujer de estatura media).

CONJUNTOS DIFUSOS

Como se mencionó en el ejemplo anterior los conjuntos difusos parten de la teoría clásica de conjuntos; aunque difieren de estos últimos, en que sus elementos pertenecen al conjunto en un cierto grado.

Se denota el conjunto U como el universo del discurso, donde este contiene todos los elementos que pueden ser tomados por el conjunto difuso F , y a su vez este sólo puede estar caracterizado por su función de membresía $\mu_F(U)$.

A los conjuntos difusos se les pueden aplicar determinados operadores, o bien pueden realizarse operaciones entre ellos de la misma forma como se hace con los conjuntos clásicos. Los operadores que califican como intersecciones difusas y uniones difusas son referidos como T-normas y T-conormas respectivamente.

FUNCIÓN DE MEMBRESÍA

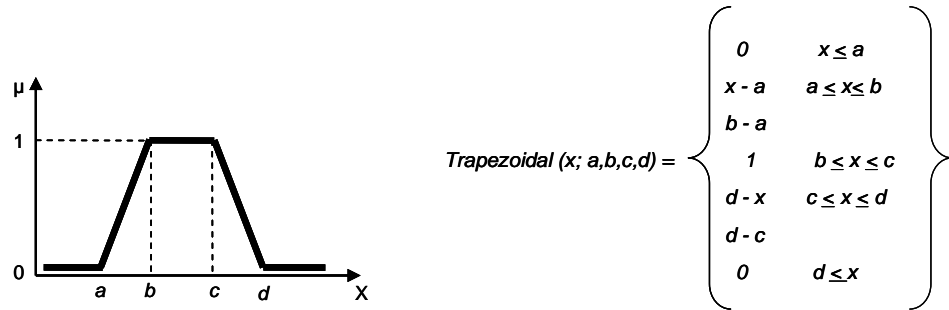
Todos los elementos dentro del universo de discurso U son miembros de algún conjunto difuso en cierto grado. La función de membresía es la curva que define con que grado cada elemento de entrada está incluido en el conjunto difuso; este grado de pertenencia toma valores entre 0 y 1.

Las funciones de membresía pueden ser arbitrarias, dadas por el modelamiento del proceso o estándar cuando la aplicación no es muy sensible; por ende la selección de esta es un factor importante en la lógica difusa. A continuación se presentan algunas de las funciones de membresía estándar:

- *Función tipo Trapezoidal:*

Se define por cuatro puntos a , b , c , d ; como se muestra en la FIGURA A2. Esta función se utiliza habitualmente en sistemas sencillos, pues permite definir un conjunto difuso con escasos datos, y calcular su valor de pertenencia con pocos cálculos. Se emplea especialmente en sistemas basados en microprocesadores.

Figura A2. Esquema de la función tipo trapezoidal

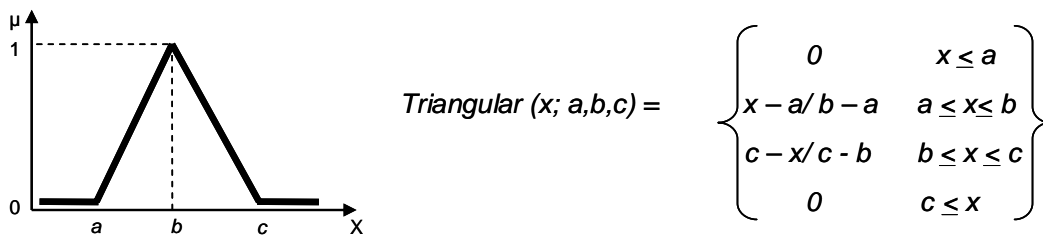


Fuente: [10]

- *Función tipo Triangular:*

La función triangular al igual que la trapezoidal se utiliza en mayor proporción en aplicaciones industriales reales, pero presentan la desventaja de no ser muy suaves en los puntos donde se forman sus ángulos, como se observa en la FIGURA A3.

Figura A3. Esquema de la función tipo triangular

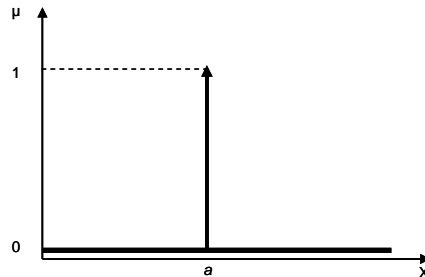


Fuente: [10]

- *Función tipo Singleton:*

La función Singleton tiene valor 1 sólo para un punto a y 0 para el resto (FIGURA A4), se utiliza habitualmente en sistemas difusos simples para definir los conjuntos difusos de las particiones de las variables de salida, pues permite simplificar los cálculos y requiere menos memoria para almacenar la base de reglas.

Figura A4. Esquema de la función tipo Singleton

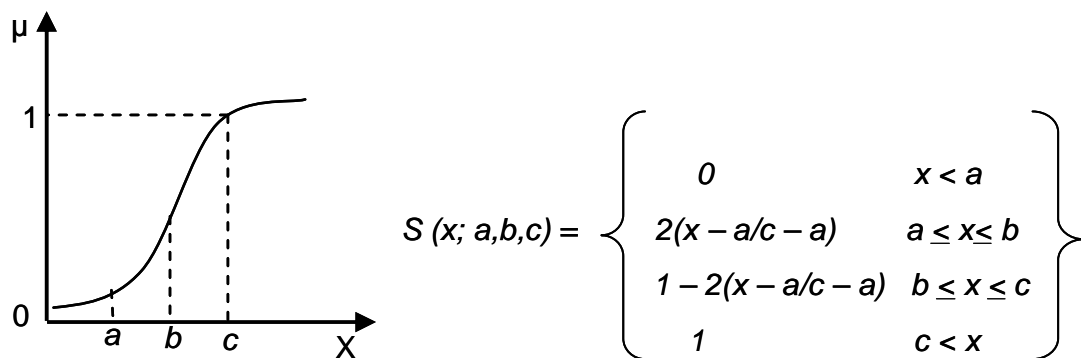


Fuente: [10]

- *Función tipo S:*

Esta función resulta adecuada para modelar propiedades como grande, mucho, positivo, etc. Se caracteriza por tener un valor de inclusión distinto de 0 para un rango de valores por encima de cierto punto a, siendo 0 por debajo de a, y 1 para valores mayores de c, como se muestra en la FIGURA A5.

Figura A5. Esquema de la función tipo S

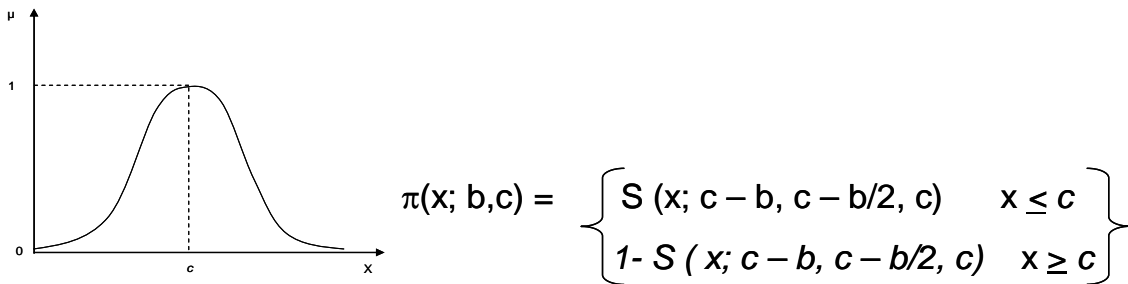


Fuente: [10]

- *Función tipo π :*

Esta función tiene forma de campana (FIGURA A6), y resulta adecuada para los conjuntos definidos en torno a un valor c , como medio, normal, cero, etc. Puede definirse también utilizando expresiones analíticas exponenciales o cuadráticas, como la bien conocida campana de Gauss.

Figura A6. Esquema de la función tipo π



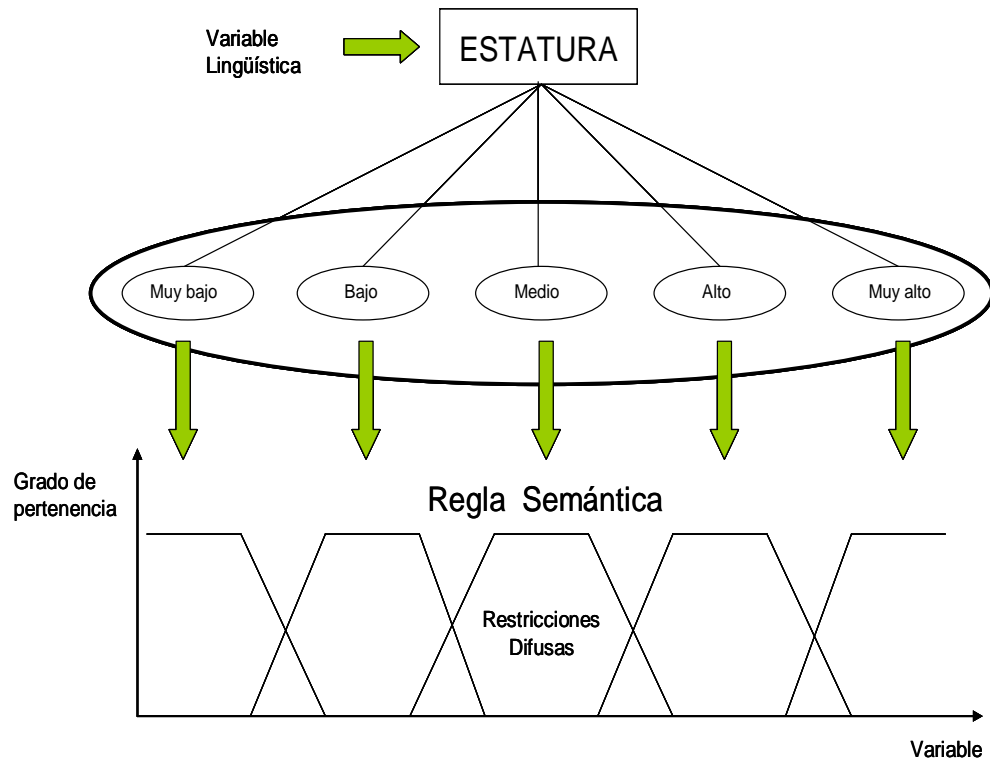
Fuente: [10]

VARIABLE LINGÜÍSTICA [10]

Es aquélla que puede tomar por valor términos del lenguaje natural, como mucho, poco, positivo, negativo, etc., que son las palabras que desempeñan el papel de etiquetas en un conjunto difuso.

En la FIGURA A7 se esquematiza el funcionamiento de las variables lingüísticas en la lógica difusa.

Figura A7. Esquema del funcionamiento de las variables lingüísticas.



Fuente: autores del proyecto

En términos más formales y de acuerdo al esquema anterior, una variable lingüística se define por una tupla $(A, T(A), U, G, M)$, donde A representa el nombre de la variable, $T(A)$ es el conjunto de términos que nombran los valores x que pueden tomar A , valores que son conjuntos difusos en U donde esta es universo del discurso de la variable x ; por último, G es una regla sintáctica para la generación de los nombres de los valores de x , y M es una regla semántica para asociar un significado a cada valor.

PARTICIONES DIFUSAS [10]

Se conoce por partición difusa al subconjunto de un conjunto difuso que se ha definido para una variable. Así, para la variable estatura una posible partición sería la correspondiente a la FIGURA A7 con cinco subconjuntos difusos, cada uno identificado por una etiqueta (muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto) y una función

de membresía. Se dice que dos subconjuntos difusos están solapados si su intersección es no nula; de este modo el solapamiento es la relación del número de elementos que comparte con otros subconjuntos de la misma partición, respecto del número total de elementos que lo forman.

Para la realización de controladores basados en lógica difusa se han de definir particiones de las variables del controlador. Normalmente se recomienda que estas particiones sean números impares como son 3, 5 o 7 subconjuntos difusos, pues la complejidad no es excesiva y estos permiten una precisión suficiente en la descripción; además se requiere de un solapamiento del 20% al 50 %.

ANEXO B. CONCEPTOS BÁSICOS DE LA ESTRUCTURA DE UN SID

- *Fusificación*

Convierte la entrada crisp (valor numérico) en un valor difuso determinado con la función de membresía.

- *Base de conocimiento*

Esta base de datos es descrita por expertos en el proceso, para definir las funciones de membresía.

- *Base de reglas difusas*

Las reglas difusas combinan uno o más conjuntos difusos de entrada, llamados premisas, y les asocian un conjunto difuso de salida, llamado consecuencia. Básicamente las reglas difusas son de tipo IF-THEN (si-entonces).

La base de reglas difusas es representada en una tabla o matriz conocida como la FAM (*fuzzy associative memory*). Estas permiten realizar una representación gráfica de las relaciones entre dos variables lingüísticas de entrada y la variable lingüística de salida, pero requiere que se indique explícitamente todas las reglas que se pueden formar con las variables de entrada. Cuando el número de conjuntos de cada una de las particiones de entrada crece, las FAM se hacen difícilmente manejables. Es posible definir FAM de más de dos dimensiones, pero su tamaño se hace rápidamente excesivo y son más difíciles aún de manipular. En su lugar se suelen trabajar con varias FAM de dimensión dos, para así definir subconjuntos de reglas que asocien las entradas de dos en dos en la base de reglas general.

A modo de ejemplo, la siguiente regla se extrae de la FAM presentada en la FIGURA B1, usando el formato básico de una regla difusa IF-THEN (si-entonces).

R: Si ENTRADA 1 es PP y ENTRADA 2 es NP Entonces SALIDA es NP

Y utiliza abreviaturas para las variables lingüísticas: Negativo Grande (NG), Negativo Pequeño (NP), cero (Z), Positivo Pequeño (PP) y Positivo Grande (PG); esta denotación varía según el interés. [10]

Figura B1. Estructura para una base de reglas difusas (FAM)

		ENTRADA 1				
		NG	NP	Z	PP	PG
ENTRADA 2	NG	NG	NP	NP	NP	NP
	NP	NP	Z	PP	NP	Z
	Z	NP	PP	Z	PG	PP
	PP	Z	PP	PP	Z	PP
	PG	PP	PP	PP	PP	PG

Fuente: [10]

- *Mecanismo de Inferencia* [10]

Es un sistema que interpreta las reglas difusas con el fin de obtener los valores de salida a partir de las variables lingüísticas de entrada; en la actualidad contamos con seis mecanismos de inferencia, que serán presentados en la TABLA B2, donde la definición de estos mecanismos se basan en la implementación de una ecuación que relaciona las funciones de membresías de la entrada (A) y la salida (B).

- *Defusificación* [3]

Pese a que las aplicaciones no pueden interpretar los valores lingüísticos obtenidos, se hace necesario utilizar las funciones de membresía para retransformar los valores difusos nuevamente en valores crisp. En la TABLA B3 se

presentan los métodos mas utilizados para el proceso de defusificación, donde se tiene en cuenta el tipo de Sistema de Inferencia Difusa (SID), concepto que se abordará más adelante.

Tabla B2. Mecanismos de inferencia difusa

Mecanismos de inferencia difusa	Definición
Regla del mínimo	$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \min[\mu_A(x), \mu_B(y)]$
Regla del producto	$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \mu_A(x)\mu_B(y)$
Regla aritmética	$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \min[1, 1 - \mu_A(x) + \mu_B(y)]$
Regla max-min	$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \max\{\min[\mu_A(x), \mu_B(y)], 1 - \mu_A(x)\}$
Regla Booleana	$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \max\{1 - \mu_A(x), \mu_B(y)\}$
Regla de Goguen	$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \begin{cases} 1 & \mu_A(x) \leq \mu_B(y) \\ \frac{\mu_B(y)}{\mu_A(x)} & \mu_A(x) > \mu_B(y) \end{cases}$

Fuente: [10]

Tabla B3. Métodos de defusificación de acuerdo al tipo de FIS

Método de Defusificación		Sistema de inferencia difusa
Máximo	$y = \arg \sup_{y \in V} (\mu_{B^i}(y))$	SID Tipo Mamdani
Mediade centros	$y = \frac{\sum_{l=1}^M y^{-l} (\mu_{B^i}(y^{-l}))}{\sum_{l=1}^M (\mu_{B^i}(y^{-l}))}$	
Centro de área	$y = \frac{\sum_{l=1}^M M^l (\mu_{B^i}(y^{-l}))}{\sum_{l=1}^M A^l (\mu_{B^i}(y^{-l}))} = \frac{\sum_{l=1}^M \int \mu_{B^i}(y^{-l})^2 dy M^l (\mu_{B^i}(y^{-l}))}{\sum_{l=1}^M \int \mu_{B^i}(y^{-l}) dy}$	
Mediaponderada	$y = \frac{\sum_{l=1}^M y^l (\mu_{A^i}(x))}{\sum_{l=1}^M (\mu_{A^i}(x))}$	SID Tipo Sugeno

Fuente: Autores del proyecto

ANEXO C. DESCRIPCIÓN Y COMPARACIÓN DE LOS DOS TIPOS DE SID.

- *Mamdani:*

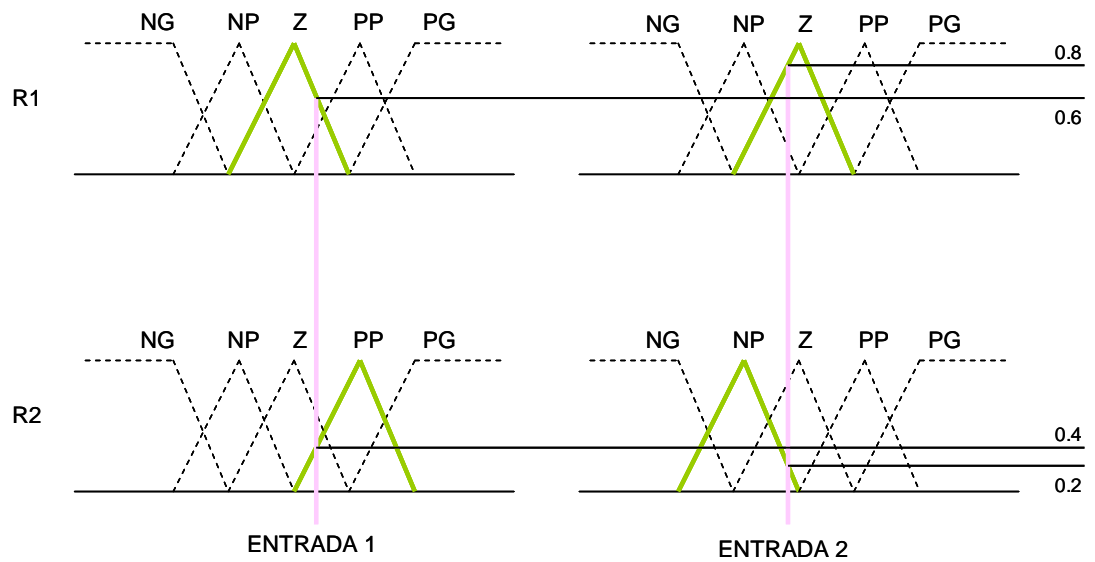
El SID tipo Mamdani utiliza un conjunto de reglas difusas adquiridas experimentalmente, garantizando de esta manera un fácil desarrollo del sistema ya que no requiere un modelamiento matemático para obtener el universo del discurso; en consecuencia para este tipo de SID las reglas difusas tienen la siguiente estructura:

R1: Si ENTRADA 1 es Z y ENTRADA 2 es Z Entonces SALIDA es Z

R2: Si ENTRADA 1 es PP y ENTRADA 2 es NP Entonces SALIDA es NP

Para formalizar los conceptos vistos de lógica difusa, se analizará la siguiente aplicación de un SID tipo Mamdani, donde éste presenta dos entradas crisp que serán convertidas rápidamente en difusas por la acción de las funciones de membresía tipo triangular, dando como respuesta un valor lingüístico en cierto grado de pertenencia, por ende estos valores serán representados por dos reglas difusas, cada una indicando una posible respuesta, como se puede observar en la FIGURA C1.

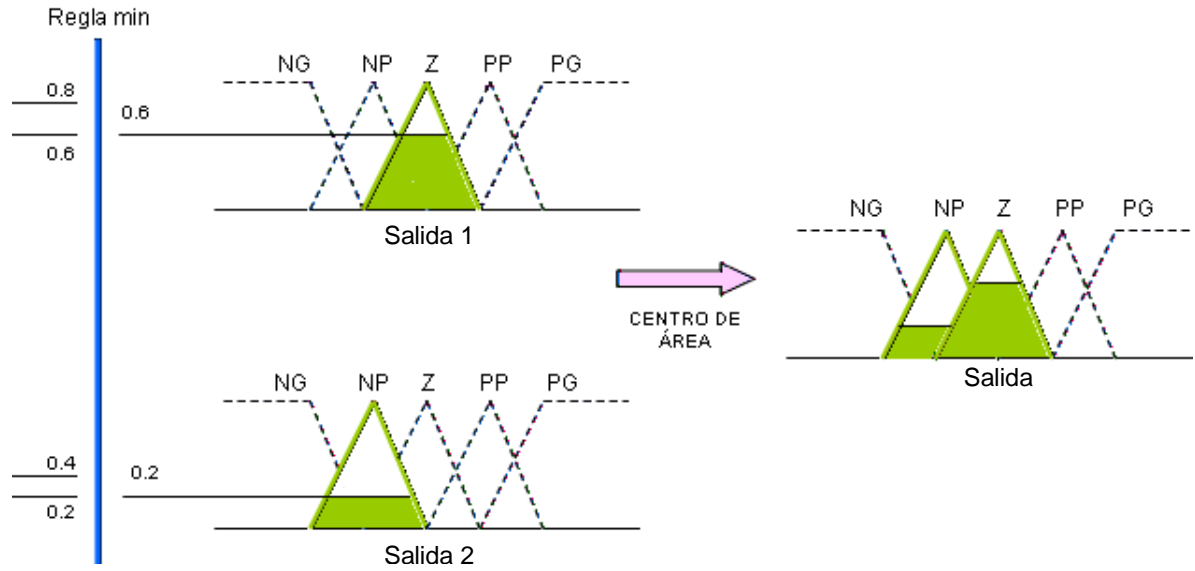
Figura C1 Cálculo de las premisas a partir de las reglas R1 y R2 para un SID tipo Mamdani.



Fuente: [10]

Con estos valores el sistema procesa a aplicar la regla de mínimo como mecanismo de inferencia para obtener una salida difusa que inmediatamente será transformada en crisp por un defusificador de centro de área, como se ilustra en la FIGURA C2.

Figura C2. Conjuntos difusos de salida dados por la aplicación de regla de mínimo como mecanismo de inferencia y cálculo del valor final por centro de área.



Fuente: [10]

- *Sugeno:*

El SID tipo Sugeno a diferencia de el Mamdani requiere de una función crisp (polinomial o constante) para generar las reglas difusas, garantizando de esta manera simplicidad en los cálculos de salida y mayor eficiencia computacional, aunque este tipo de SID no resulta tan adecuado para expresar el conocimiento de los expertos. En consecuencia las reglas difusas para éste tienen la siguiente estructura:

R: Si ENTRADA 1 es Z y ENTRADA 2 es Z Entonces SALIDA es

$$x = f(\text{ENTRADA 1}, \text{ENTRADA 2})$$

ANEXO D. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS RNA

DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UNA NEURONA ARTIFICIAL GENERAL.

Como se observó en la FIGURA 2 la neurona artificial luce similar a su contraparte biológica. Los elementos que constituyen a la neurona de etiqueta i son los siguientes: [10]

- Conjunto de entradas, $x_j(t)$.
- Pesos sinápticos, w_{ij} : representan la intensidad de interacción entre cada neurona presináptica j y la neurona postsináptica i .
- Regla de propagación, $h_i(t)$: proporciona el valor del potencial postsináptico de la neurona i en función de sus pesos y entradas.
- Función de activación, $a_i(t)$: proporciona el estado de activación actual de la neurona, en función de su estado anterior y de su potencial postsináptico actual.

La función de activación se suele considerar determinista, y en la mayor parte de los modelos es monótona creciente y continua, como se observa habitualmente en las neuronas biológicas.

- Función de salida, $y_i(t)$: proporciona la salida global de la neurona i en función de su estado de activación actual. Muy frecuentemente la función de salida es simplemente la identidad, de modo que el estado de activación de la neurona se considera como la propia salida.

CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES.

Arquitectura de las redes neuronales artificiales

Se denomina arquitectura a la topología, estructura o patrón de conexionado de una red neuronal. En una RNA los nodos se conectan por medio de sinapsis, ésta estructura de conexiones sinápticas determina el comportamiento de la red.

Las neuronas se suelen agrupar en unidades estructurales que denominamos capas, a partir de su situación dentro de la RNA, se pueden distinguir tres tipos de capas:

Entrada: Es la capa que recibe directamente la información proveniente de las fuentes externas de la RNA.

Ocultas: Son internas a la RNA y no tienen contacto directo con el entorno exterior. El número de niveles ocultos puede estar entre cero y un número elevado. Las neuronas de las capas ocultas pueden estar interconectadas de distintas maneras, lo que determina, junto con su número, las distintas tipologías de RNA.

Salida: Transfieren información de la RNA hacia el exterior.

En términos topológicos las RNA se clasifican según el número de capas o el tipo de conexiones entre neuronas.

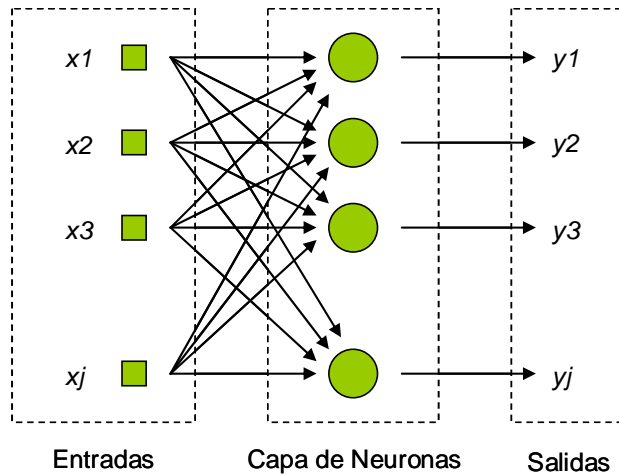
- *RNA monocapa:*

Se establecen conexiones laterales entre las neuronas que pertenecen a la única capa que constituye la RNA. También pueden existir *conexiones auto-recurrentes* (salida de una neurona conectada a su propia entrada). En la FIGURA D1 se presenta el esquema de una RNA monocapa.

- *RNA multicapas:*

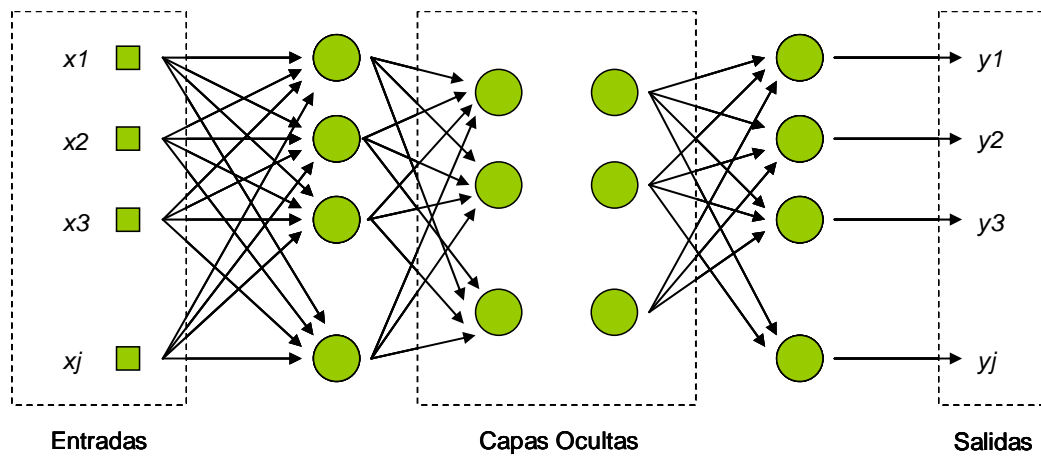
Son aquellas que disponen de conjuntos de neuronas agrupadas en varios niveles o capas (FIGURA D2). En estos casos, una forma para distinguir la capa a la que pertenece una neurona, consistiría en fijarse en el origen de las señales que recibe a la entrada y el destino de la señal de salida.

Figura D1. Esquema de una RNA monocapa.



Fuente: [3]

Figura D2. Esquema de una RNA con multicapas



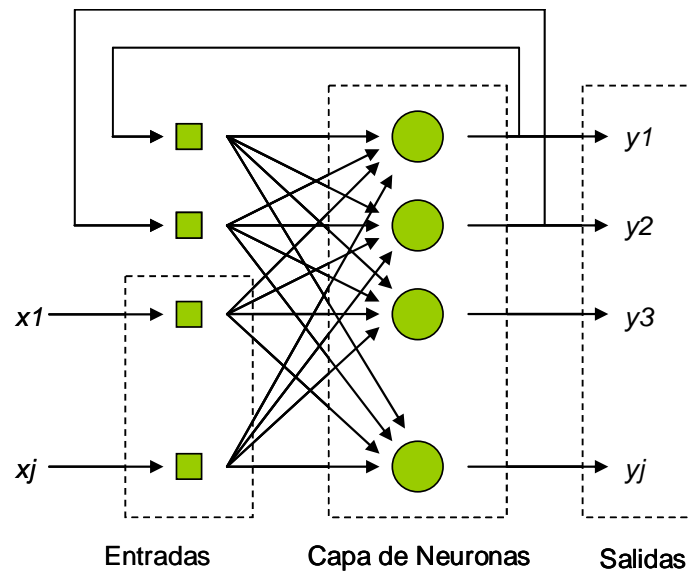
Fuente: [3]

- *RNA realimentada:*

Se caracterizan porque se crean bucles en las neuronas de la RNA mediante el uso de las llamadas conexiones recurrentes, apareciendo conexiones de una

neurona con ella misma (FIGURA D3), conexiones entre neuronas de una misma capa o conexiones de las neuronas de una capa a la capa anterior.

Figura D3. Esquema de una RNA realimentada.

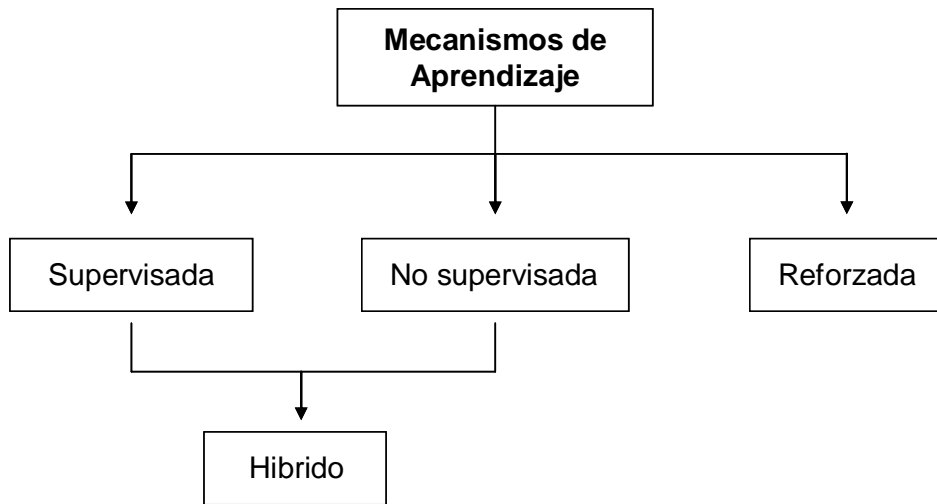


Fuente: [3]

MECANISMO DE APRENDIZAJE

El aprendizaje o entrenamiento, es el proceso por el cual una RNA modifica sus pesos en respuesta a una información de entrada. Los cambios que se producen durante el proceso de aprendizaje se reducen a la destrucción, modificación y creación de conexiones entre las neuronas. En la FIGURA D4 se presentan los diferentes mecanismos de aprendizaje.

Figura D4. Mecanismos de aprendizaje

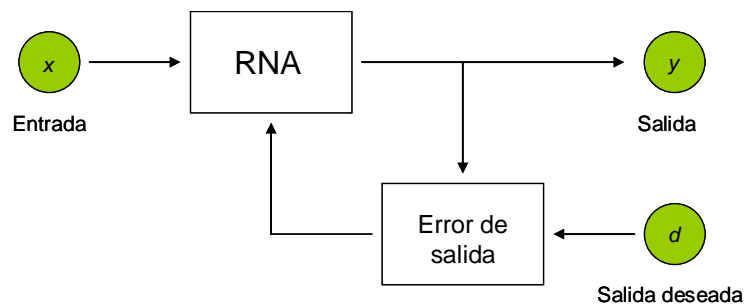


Fuente: autores del proyecto

- *RNA con aprendizaje supervisado:*

Se caracteriza porque el proceso de aprendizaje se realiza mediante un entrenamiento controlado por un agente externo (supervisor, maestro) que determina la respuesta que debería generar la RNA a partir de una entrada determinada (FIGURA D5). El supervisor comprueba la salida de la RNA y en el caso de que esta no coincida con la deseada, se procederá a modificar los pesos de las conexiones, con el fin de conseguir que la salida obtenida se aproxime a la deseada.

Figura D5. Diagrama del funcionamiento del aprendizaje supervisado.

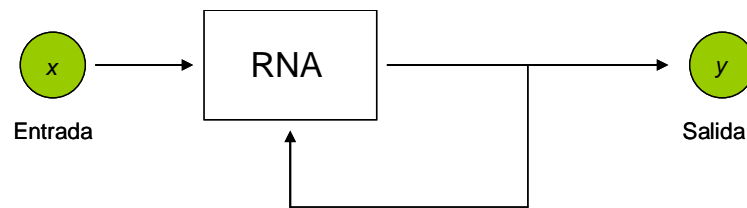


Fuente: autores del proyecto

- *RNA con aprendizaje no supervisado:*

También conocido como auto-supervisado, no requieren influencia externa para ajustar los pesos de las conexiones entre sus neuronas (FIGURA D6). La RNA no recibe ninguna información por parte del entorno que le indique si la salida generada en respuesta a una determinada entrada, es o no correcta; por ello, suele decirse que estas RNA son capaces de *auto-organizarse*.

Figura D6. Diagrama del funcionamiento del aprendizaje no supervisado.



Fuente: autores del proyecto

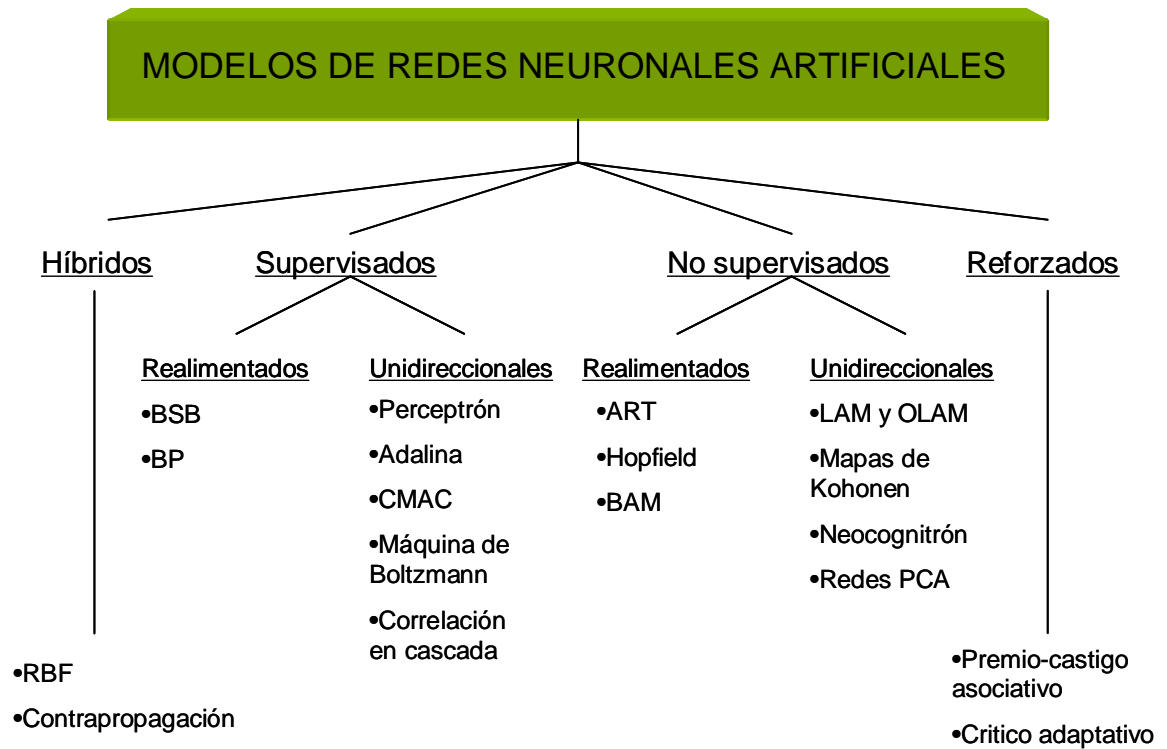
Estas RNA deben encontrar las características, regularidades, correlaciones o categorías que se pueden establecer entre los datos que se presenten en su entrada. Puesto que no hay un supervisor que indique a la RNA que respuesta debe generar ante una entrada concreta.

Este tipo de aprendizaje suele ser computacionalmente menos complejos que los supervisados, pero también son menos exactos sus resultados.

CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS DE LAS RNA

De acuerdo a las dos características de las RNA ya vistas, se conocen alrededor de unos cincuenta modelos de RNA, aunque aproximadamente una quincena son utilizados con asiduidad en aplicaciones prácticas. Algunos de estos modelos se presentan en la FIGURA D7.

Figura D7. Clasificación de los modelos de las RNA de acuerdo a la arquitectura de la RNA y el mecanismo de aprendizaje.



Fuente: [10]

ANEXO E. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA HERRAMIENTA ANFIS DE MATLAB.

ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System)

Es un método que permite sintonizar o crear la base de reglas de un sistema difuso; usando un sistema de entrada-salida, esta función ANFIS de MATLAB constituye un sistema de inferencia difusa tipo sugeno, donde los parámetros del ascendente (constante que caracterizan las funciones de membresía) y los del consecuente (lineales de la salida del modelo de inferencia) se ajustan usando un algoritmo de Backpropagation. Esto permite que los sistemas difusos aprendan de los datos que están modelando. ANFIS utiliza un modelo de validación llamado sistema de comprobación que permite comparar los datos de prueba con los datos entrenados.

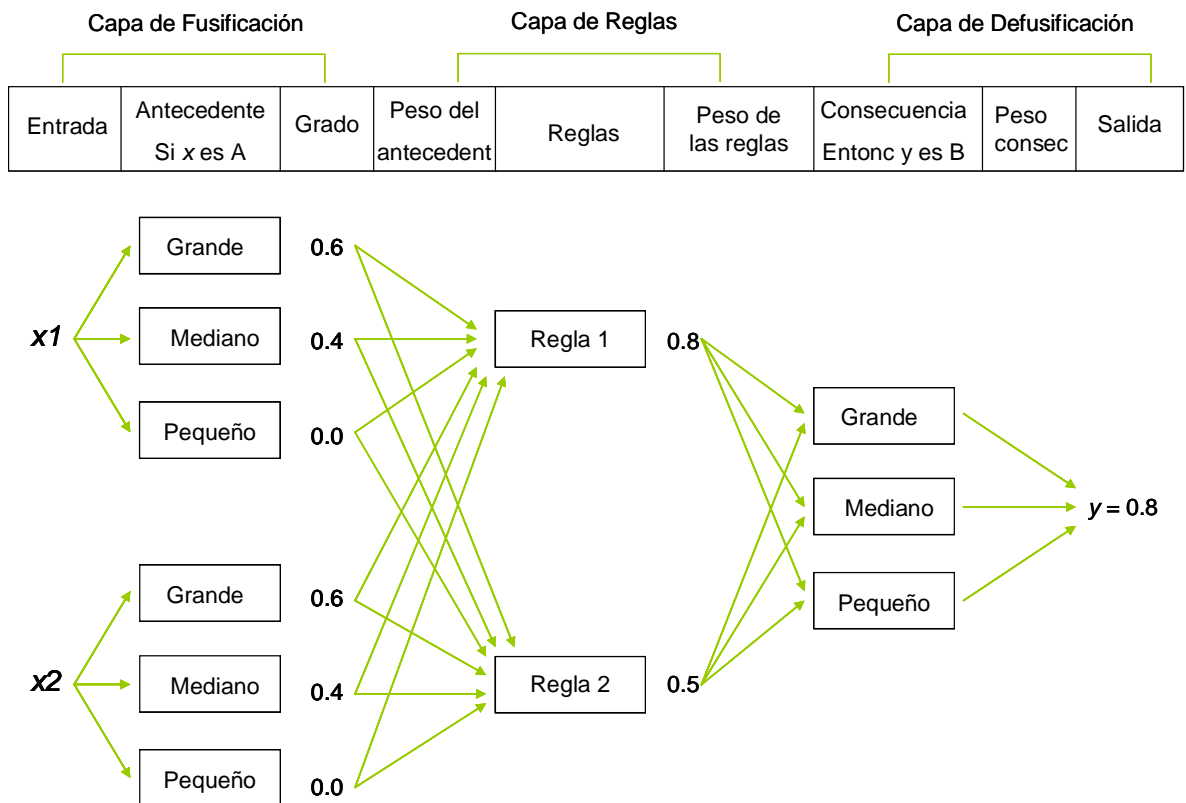
Características de ANFIS:

- Los sistemas de inferencia deben ser de tipo Sugeno de orden primero o cero.
- El sistema solo tiene una salida, obtenida usando el peso promedio como método de defusificación. Toda función de membresía de salida debe ser del mismo tipo (lineal o constante). Estas limitaciones también se le atribuyen a que los sistema de inferencia son de tipo sugeno.
- Ninguna regla comparte las funciones de membresía de salida, por ende el número de funciones de membresía es igual al número de reglas, y a su vez cada regla tiene un peso determinado.

ANEXO F. EXPLICACIÓN DETALLADA DEL FUNCIONAMIENTO Y ENTRENAMIENTO DE UN SISTEMAS NEURO-DIFUSO.

En la capa de fusificación, cada función de membresía de entrada del antecedente de una regla difusa representa una neurona. Los parámetros de estas neuronas, como los vértices de las funciones, pueden ser entrenados para determinar la forma final y la ubicación de las funciones de membresía.

Figura F1. Esquema del funcionamiento y entrenamiento de un sistema neuro-difuso.



Fuente: [3]

El grado de pertenencia que indica la certeza de “X1 es grande” es 0.6, “X1 es mediano” es 0.4, y “X1 es pequeño” es 0.0. Las salidas de estas neuronas, que equivalen a las funciones de membresía que se encuentran conectadas a la capa de reglas como lo especifican las reglas difusas y a través de enlaces con pesos

que representan el proceso de agregación de las variables lingüísticas del proceso de entrada.

La capa de reglas constituye la base de reglas difusas; cada neurona representa una regla difusa de tipo IF-THEN. Las salidas de las neuronas están conectadas a la capa de defusificación a través de enlaces con pesos, los pesos de estos enlaces representan la significancia relativa de las reglas asociadas con las neuronas. Sus valores pueden ser asignados de acuerdo al conocimiento a priori o inicializados como 1.0 y luego entrenados para reflejar su importancia real para las funciones de membresía de salida contenidas en la capa de defusificación.

La función de la capa de Defusificación, es la evaluación de las reglas; en éste cada consecuente “Entonces Y es B” como función de membresía de salida representa por una neurona; la certeza de cada consecuente es calculada, y es considerada como lo bien que se ajustan las reglas que tienen el mismo consecuente (proceso de agregación del resultado). Los pesos de cada enlace de salida de estas neuronas representan los centros de área de cada función de membresía del consecuente y son entrenables, la salida final es entonces calculada por el método de defusificación. La FIGURA F1 esquematiza el funcionamiento y entrenamiento del anterior sistema neuro-difuso.

Para realizar el entrenamiento del sistema neuro-difuso del anterior caso; la estructura de la FIGURA F1 puede ser configurada con valores iniciales obtenidos del conocimiento a priori, y luego, sintonizados utilizando un algoritmo de entrenamiento tal como Retropropagación del Error (BP), de la siguiente manera:

Paso 1: Presentar una muestra de entrada, y computar la salida correspondiente

Paso 2: Computar el error entre la salida y el valor objetivo

Paso 3: Se ajustan los pesos de conexión y las funciones de membresía.

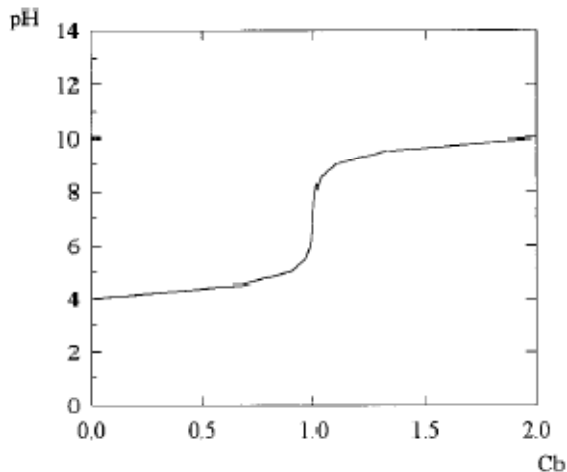
Paso 4: Si el error es mayor que la tolerancia, volver al paso 2, si no es así, el entrenamiento ha sido finalizado.

ANEXO G. CONTROL DE PH EN AGUAS RESIDUALES

El control del pH desempeña un papel importante en varios procesos industriales tales como tratamiento de aguas residuales, coagulación y precipitación, flotación de minerales, biotecnología y electroquímica.

La neutralización se sujeta a muchas dificultades debido a sus no linealidades inherentes y a su alta sensibilidad a las pequeñas perturbaciones alrededor del punto de equivalencia. En la FIGURA G1 se esquematiza una curva de titulación, donde se puede observar de mejor forma los anteriores conceptos.

Figura G1. Curva de titulación



Fuente: [6]

Como se observa, la curva de titulación da directamente el modelo del proceso de neutralización, ya que es la relación directa entre el pH y el flujo de la base o la concentración de ésta en el reactor.

Por ejemplo, para un ácido monoprótico fuerte, hay tres zonas claramente diferenciadas: a bajas concentraciones de la base hay una zona en la cual el pH varía ligeramente; la segunda zona es la llamada zona de amortiguamiento, en ésta ocurren pequeñas variaciones en la concentración debido a un cambio de repente en la curva de pH. Finalmente hay una tercera zona en la cual los cambios

de pH son pequeños como en la primera. Debido a la forma de la curva, el controlador debe ser lo suficientemente versátil. Rápido en la zonas de amortiguación y sensible alrededor de la neutralidad (Moore, 1978).

Con frecuencia las corrientes que se están neutralizando son desconocidas, de composición variante y presentan combinaciones de diferentes ácidos o/y bases.

Como resultado de estas características, se han desarrollado varias estrategias, como son: control PI modificado, control adaptativo, y predictivo-adaptativo. Sin embargo, estas técnicas de control padecen de uno o más de los siguientes inconvenientes:

- Se emplea un modelo con dinámica lineal, por ende no son compensadas las no linealidades del proceso.
- El comportamiento de tiempo variable se asume lentamente
- Las acciones de control son generadas usando cálculos iterativos, los cuales pueden no converger.
- La aproximación es evaluada usando un sistema de pH no amortiguado el cual no cuenta para la variable tiempo natural de los procesos industriales.

Por esto y otros inconvenientes la mayoría de las técnicas de control de pH no dirigen adecuadamente las características del proceso.

En consecuencia los sistemas de inferencia difusa se consideran como la mejor estrategia de afrontar este tipo de controladores, de manera no matemática, basándose en reglas heurísticas definidas por los expertos.

ANEXO H. PARÁMETROS REQUERIDOS POR LOS BALANCES DE MASA DEL PROCESO DE MEZCLADO DE ACEITE DE OLIVA.

En la TABLA H1 se presentan los parámetros requeridos por los balances de masa para la obtención de la base de datos.

Tabla H1. Parámetros requeridos por los balances de masa del proceso de mezclado de aceite de oliva en estado estable.

PARÁMETROS	
F2	10 m ³ /h
F0	46 m ³ /h
H1	2 m
H2	3 m
DTk1	1 m
DTk2	2 m
ATk1	0.785398 m ²
ATk2	3.141593 m ²
Vtk1	1.570796327 m ³
Vtk2	9.424777961 m ³
Dtub1	0.0508 m
Dtub2	0.0508 m
Atub1	0.002027 m ²
Atub2	0.002026 m ²
Paso	0.002

Fuente: Autores del proyecto.

ANEXO I. BASE DE DATOS DEL PROCESO DE MEZCLADO DE ACEITE DE OLIVA.

En la TABLA I1 se presenta la base de datos extraida de excel a partir de sus balances de masa.

1 Tabla I1. Base de datos a partir de los balances de masa

t	H ₁ (m)	dH ₁ /dt	F ₁ (m ³ /h)	H ₂ (m)	dH ₂ /dt	F ₃ (m ³ /h)
0	2,0000	0,37284627	45,7072	3,0000	-0,08672398	55,9796
0,002	2,0007	0,36199816	45,7157	2,9998	-0,08349684	55,9780
0,004	2,0015	0,35146763	45,7240	2,9997	-0,08036824	55,9764
0,006	2,0022	0,34124524	45,7320	2,9995	-0,07733526	55,9749
0,008	2,0029	0,33132189	45,7398	2,9993	-0,07439503	55,9735
0,01	2,0035	0,32168873	45,7473	2,9992	-0,07154481	55,9721
0,012	2,0042	0,31233718	45,7547	2,9991	-0,06878191	55,9708
0,014	2,0048	0,30325891	45,7618	2,9989	-0,06610374	55,9695
0,016	2,0054	0,29444586	45,7687	2,9988	-0,06350777	55,9683
0,018	2,0060	0,28589021	45,7755	2,9987	-0,06099156	55,9671
0,02	2,0066	0,27758435	45,7820	2,9985	-0,05855275	55,9659
0,022	2,0071	0,26952093	45,7883	2,9984	-0,05618902	55,9648
0,024	2,0076	0,26169282	45,7945	2,9983	-0,05389816	55,9638
0,026	2,0082	0,25409307	45,8004	2,9982	-0,051678	55,9628
0,028	2,0087	0,24671497	45,8062	2,9981	-0,04952643	55,9618
0,03	2,0092	0,239552	45,8119	2,9980	-0,04744142	55,9609
0,032	2,0097	0,23259784	45,8173	2,9979	-0,045421	55,9600
0,034	2,0101	0,22584635	45,8226	2,9978	-0,04346325	55,9592
0,036	2,0106	0,21929158	45,8278	2,9977	-0,0415663	55,9584
0,038	2,0110	0,21292775	45,8328	2,9976	-0,03972836	55,9576
0,04	2,0114	0,20674927	45,8376	2,9976	-0,03794768	55,9568
0,042	2,0118	0,20075069	45,8423	2,9975	-0,03622254	55,9561
0,044	2,0122	0,19492674	45,8469	2,9974	-0,03455132	55,9555
0,046	2,0126	0,18927231	45,8513	2,9973	-0,0329324	55,9548
0,048	2,0130	0,18378242	45,8557	2,9973	-0,03136423	55,9542
0,05	2,0134	0,17845227	45,8598	2,9972	-0,02984532	55,9536
0,052	2,0137	0,17327716	45,8639	2,9972	-0,02837419	55,9530
0,054	2,0141	0,16825258	45,8679	2,9971	-0,02694943	55,9525
0,056	2,0144	0,16337411	45,8717	2,9970	-0,02556966	55,9520
0,058	2,0148	0,15863747	45,8754	2,9970	-0,02423355	55,9515
0,06	2,0151	0,15403854	45,8790	2,9969	-0,02293981	55,9511
0,062	2,0154	0,14957327	45,8825	2,9969	-0,02168717	55,9507

0,064	2,0157	0,14523777	45,8859	2,9969	-0,02047441	55,9503
0,066	2,0160	0,14102824	45,8892	2,9968	-0,01930036	55,9499
0,068	2,0162	0,13694102	45,8924	2,9968	-0,01816385	55,9495
0,07	2,0165	0,13297252	45,8956	2,9967	-0,01706378	55,9492
0,072	2,0168	0,12911928	45,8986	2,9967	-0,01599907	55,9489
0,074	2,0170	0,12537795	45,9015	2,9967	-0,01496865	55,9486
0,076	2,0173	0,12174525	45,9044	2,9966	-0,01397152	55,9483
0,078	2,0175	0,11821802	45,9072	2,9966	-0,01300668	55,9480
0,08	2,0178	0,11479319	45,9098	2,9966	-0,01207317	55,9478
0,082	2,0180	0,11146777	45,9125	2,9966	-0,01117007	55,9475
0,084	2,0182	0,10823886	45,9150	2,9965	-0,01029646	55,9473
0,086	2,0184	0,10510366	45,9175	2,9965	-0,00945146	55,9471
0,088	2,0187	0,10205942	45,9198	2,9965	-0,00863423	55,9470
0,09	2,0189	0,09910352	45,9222	2,9965	-0,00784394	55,9468
0,092	2,0191	0,09623337	45,9244	2,9965	-0,00707979	55,9467
0,094	2,0193	0,09344647	45,9266	2,9965	-0,00634099	55,9465
0,096	2,0194	0,09074042	45,9287	2,9964	-0,00562679	55,9464
0,098	2,0196	0,08811284	45,9308	2,9964	-0,00493645	55,9463
0,1	2,0198	0,08556146	45,9328	2,9964	-0,00426927	55,9462
0,102	2,0200	0,08308407	45,9347	2,9964	-0,00362455	55,9461
0,104	2,0201	0,08067851	45,9366	2,9964	-0,00300162	55,9461
0,106	2,0203	0,07834269	45,9385	2,9964	-0,00239983	55,9460
0,108	2,0205	0,07607459	45,9403	2,9964	-0,00181854	55,9460
0,11	2,0206	0,07387224	45,9420	2,9964	-0,00125714	55,9459
0,112	2,0207	0,07173373	45,9437	2,9964	-0,00071504	55,9459
0,114	2,0209	0,06965719	45,9453	2,9964	-0,00019166	55,9459
0,116	2,0210	0,06764084	45,9469	2,9964	0,00031357	55,9459
0,118	2,0212	0,06568292	45,9484	2,9964	0,00080118	55,9459
0,12	2,0213	0,06378174	45,9499	2,9964	0,00127172	55,9459
0,122	2,0214	0,06193565	45,9514	2,9964	0,00172568	55,9459
0,124	2,0216	0,06014304	45,9528	2,9964	0,00216358	55,9460
0,126	2,0217	0,05840238	45,9541	2,9964	0,00258589	55,9460
0,128	2,0218	0,05671214	45,9555	2,9964	0,00299308	55,9461
0,13	2,0219	0,05507086	45,9567	2,9964	0,00338561	55,9461
0,132	2,0220	0,05347713	45,9580	2,9964	0,00376392	55,9462
0,134	2,0221	0,05192956	45,9592	2,9964	0,00412844	55,9462
0,136	2,0222	0,05042681	45,9604	2,9964	0,00447959	55,9463
0,138	2,0223	0,04896759	45,9615	2,9964	0,00481778	55,9464
0,14	2,0224	0,04755063	45,9627	2,9965	0,00514338	55,9465
0,142	2,0225	0,04617471	45,9637	2,9965	0,0054568	55,9466
0,144	2,0226	0,04483863	45,9648	2,9965	0,00575839	55,9467
0,146	2,0227	0,04354124	45,9658	2,9965	0,00604851	55,9468
0,148	2,0228	0,04228141	45,9668	2,9965	0,00632752	55,9469
0,15	2,0229	0,04105807	45,9678	2,9965	0,00659575	55,9470
0,152	2,0230	0,03987014	45,9687	2,9965	0,00685354	55,9472

0,154	2,0230	0,03871661	45,9696	2,9965	0,00710119	55,9473
0,156	2,0231	0,03759647	45,9705	2,9965	0,00733902	55,9474
0,158	2,0232	0,03650876	45,9713	2,9966	0,00756733	55,9476
0,16	2,0233	0,03545254	45,9722	2,9966	0,00778641	55,9477
0,162	2,0233	0,03442689	45,9730	2,9966	0,00799655	55,9478
0,164	2,0234	0,03343094	45,9737	2,9966	0,00819802	55,9480
0,166	2,0235	0,03246381	45,9745	2,9966	0,00839108	55,9481
0,168	2,0235	0,03152467	45,9752	2,9966	0,00857599	55,9483
0,17	2,0236	0,03061272	45,9760	2,9967	0,00875301	55,9485
0,172	2,0237	0,02972716	45,9767	2,9967	0,00892238	55,9486
0,174	2,0237	0,02886724	45,9773	2,9967	0,00908434	55,9488
0,176	2,0238	0,0280322	45,9780	2,9967	0,00923911	55,9490
0,178	2,0238	0,02722132	45,9786	2,9967	0,00938693	55,9491
0,18	2,0239	0,02643392	45,9792	2,9968	0,00952799	55,9493
0,182	2,0239	0,0256693	45,9798	2,9968	0,00966252	55,9495
0,184	2,0240	0,0249268	45,9804	2,9968	0,00979072	55,9497
0,186	2,0240	0,0242058	45,9810	2,9968	0,00991279	55,9498
0,188	2,0241	0,02350565	45,9815	2,9968	0,01002892	55,9500
0,19	2,0241	0,02282577	45,9821	2,9968	0,01013929	55,9502
0,192	2,0242	0,02216556	45,9826	2,9969	0,01024409	55,9504
0,194	2,0242	0,02152445	45,9831	2,9969	0,01034349	55,9506
0,196	2,0243	0,02090189	45,9836	2,9969	0,01043766	55,9508
0,198	2,0243	0,02029734	45,9841	2,9969	0,01052677	55,9510
0,2	2,0243	0,01971029	45,9845	2,9970	0,01061098	55,9512
0,202	2,0244	0,01914022	45,9850	2,9970	0,01069044	55,9514
0,204	2,0244	0,01858664	45,9854	2,9970	0,0107653	55,9516
0,206	2,0245	0,01804908	45,9858	2,9970	0,01083572	55,9518
0,208	2,0245	0,01752707	45,9862	2,9970	0,01090183	55,9520
0,21	2,0245	0,01702017	45,9866	2,9971	0,01096377	55,9522
0,212	2,0246	0,01652792	45,9870	2,9971	0,01102168	55,9524
0,214	2,0246	0,01604992	45,9874	2,9971	0,01107568	55,9526
0,216	2,0246	0,01558575	45,9878	2,9971	0,01112591	55,9528
0,218	2,0247	0,015135	45,9881	2,9971	0,01117248	55,9530
0,22	2,0247	0,01469729	45,9885	2,9972	0,01121551	55,9532
0,222	2,0247	0,01427225	45,9888	2,9972	0,01125513	55,9534
0,224	2,0248	0,0138595	45,9891	2,9972	0,01129143	55,9536
0,226	2,0248	0,01345869	45,9894	2,9972	0,01132454	55,9539
0,228	2,0248	0,01306947	45,9897	2,9973	0,01135455	55,9541
0,23	2,0248	0,01269151	45,9900	2,9973	0,01138157	55,9543
0,232	2,0249	0,01232448	45,9903	2,9973	0,01140569	55,9545
0,234	2,0249	0,01196807	45,9906	2,9973	0,01142702	55,9547
0,236	2,0249	0,01162197	45,9909	2,9974	0,01144564	55,9549
0,238	2,0249	0,01128588	45,9911	2,9974	0,01146165	55,9551
0,24	2,0250	0,01095951	45,9914	2,9974	0,01147513	55,9553
0,242	2,0250	0,01064258	45,9916	2,9974	0,01148618	55,9556

0,244	2,0250	0,01033482	45,9919	2,9974	0,01149487	55,9558
0,246	2,0250	0,01003596	45,9921	2,9975	0,01150128	55,9560
0,248	2,0250	0,00974574	45,9923	2,9975	0,01150549	55,9562
0,25	2,0251	0,00946392	45,9926	2,9975	0,01150758	55,9564
0,252	2,0251	0,00919025	45,9928	2,9975	0,01150762	55,9566
0,254	2,0251	0,00892449	45,9930	2,9976	0,01150568	55,9568
0,256	2,0251	0,00866642	45,9932	2,9976	0,01150183	55,9571
0,258	2,0251	0,00841581	45,9934	2,9976	0,01149614	55,9573
0,26	2,0251	0,00817245	45,9936	2,9976	0,01148867	55,9575
0,262	2,0252	0,00793613	45,9938	2,9977	0,01147948	55,9577
0,264	2,0252	0,00770664	45,9939	2,9977	0,01146864	55,9579
0,266	2,0252	0,00748379	45,9941	2,9977	0,01145621	55,9581
0,268	2,0252	0,00726739	45,9943	2,9977	0,01144224	55,9583
0,27	2,0252	0,00705724	45,9945	2,9977	0,01142679	55,9586
0,272	2,0252	0,00685317	45,9946	2,9978	0,01140991	55,9588
0,274	2,0252	0,00665501	45,9948	2,9978	0,01139166	55,9590
0,276	2,0253	0,00646257	45,9949	2,9978	0,01137208	55,9592
0,278	2,0253	0,0062757	45,9951	2,9978	0,01135123	55,9594
0,28	2,0253	0,00609423	45,9952	2,9979	0,01132915	55,9596
0,282	2,0253	0,00591801	45,9954	2,9979	0,01130589	55,9598
0,284	2,0253	0,00574689	45,9955	2,9979	0,01128149	55,9600
0,286	2,0253	0,00558071	45,9956	2,9979	0,011256	55,9603
0,288	2,0253	0,00541934	45,9957	2,9979	0,01122947	55,9605
0,29	2,0253	0,00526264	45,9959	2,9980	0,01120192	55,9607
0,292	2,0254	0,00511047	45,9960	2,9980	0,01117341	55,9609
0,294	2,0254	0,0049627	45,9961	2,9980	0,01114396	55,9611
0,296	2,0254	0,0048192	45,9962	2,9980	0,01111362	55,9613
0,298	2,0254	0,00467985	45,9963	2,9981	0,01108243	55,9615
0,3	2,0254	0,00454453	45,9964	2,9981	0,01105041	55,9617
0,302	2,0254	0,00441313	45,9965	2,9981	0,01101761	55,9619
0,304	2,0254	0,00428552	45,9966	2,9981	0,01098405	55,9621
0,306	2,0254	0,00416161	45,9967	2,9981	0,01094976	55,9623
0,308	2,0254	0,00404127	45,9968	2,9982	0,01091479	55,9625
0,31	2,0254	0,00392442	45,9969	2,9982	0,01087915	55,9627
0,312	2,0254	0,00381095	45,9970	2,9982	0,01084289	55,9629
0,314	2,0255	0,00370076	45,9971	2,9982	0,01080601	55,9631
0,316	2,0255	0,00359375	45,9972	2,9983	0,01076856	55,9633
0,318	2,0255	0,00348984	45,9973	2,9983	0,01073056	55,9635
0,32	2,0255	0,00338893	45,9973	2,9983	0,01069203	55,9637
0,322	2,0255	0,00329094	45,9974	2,9983	0,010653	55,9639
0,324	2,0255	0,00319579	45,9975	2,9983	0,0106135	55,9641
0,326	2,0255	0,00310338	45,9976	2,9984	0,01057354	55,9643
0,328	2,0255	0,00301365	45,9976	2,9984	0,01053316	55,9645
0,33	2,0255	0,00292651	45,9977	2,9984	0,01049236	55,9647
0,332	2,0255	0,00284189	45,9978	2,9984	0,01045118	55,9649

0,334	2,0255	0,00275972	45,9978	2,9984	0,01040963	55,9651
0,336	2,0255	0,00267993	45,9979	2,9985	0,01036773	55,9653
0,338	2,0255	0,00260244	45,9980	2,9985	0,01032551	55,9655
0,34	2,0255	0,00252719	45,9980	2,9985	0,01028298	55,9657
0,342	2,0255	0,00245412	45,9981	2,9985	0,01024015	55,9659
0,344	2,0255	0,00238316	45,9981	2,9986	0,01019705	55,9661
0,346	2,0255	0,00231426	45,9982	2,9986	0,0101537	55,9663
0,348	2,0256	0,00224734	45,9982	2,9986	0,01011011	55,9665
0,35	2,0256	0,00218236	45,9983	2,9986	0,01006629	55,9667
0,352	2,0256	0,00211926	45,9983	2,9986	0,01002226	55,9668
0,354	2,0256	0,00205798	45,9984	2,9987	0,00997803	55,9670
0,356	2,0256	0,00199848	45,9984	2,9987	0,00993363	55,9672
0,358	2,0256	0,0019407	45,9985	2,9987	0,00988906	55,9674
0,36	2,0256	0,00188458	45,9985	2,9987	0,00984434	55,9676
0,362	2,0256	0,00183009	45,9986	2,9987	0,00979948	55,9678
0,364	2,0256	0,00177718	45,9986	2,9988	0,00975449	55,9680
0,366	2,0256	0,00172579	45,9986	2,9988	0,00970939	55,9681
0,368	2,0256	0,00167589	45,9987	2,9988	0,00966418	55,9683
0,37	2,0256	0,00162744	45,9987	2,9988	0,00961888	55,9685
0,372	2,0256	0,00158038	45,9988	2,9988	0,0095735	55,9687
0,374	2,0256	0,00153469	45,9988	2,9988	0,00952805	55,9689
0,376	2,0256	0,00149032	45,9988	2,9989	0,00948254	55,9690
0,378	2,0256	0,00144722	45,9989	2,9989	0,00943698	55,9692
0,38	2,0256	0,00140538	45,9989	2,9989	0,00939138	55,9694
0,382	2,0256	0,00136475	45,9989	2,9989	0,00934575	55,9696
0,384	2,0256	0,00132529	45,9990	2,9989	0,00930009	55,9697
0,386	2,0256	0,00128697	45,9990	2,9990	0,00925442	55,9699
0,388	2,0256	0,00124976	45,9990	2,9990	0,00920875	55,9701
0,39	2,0256	0,00121362	45,9990	2,9990	0,00916307	55,9703
0,392	2,0256	0,00117853	45,9991	2,9990	0,00911741	55,9704
0,394	2,0256	0,00114446	45,9991	2,9990	0,00907177	55,9706
0,396	2,0256	0,00111137	45,9991	2,9991	0,00902615	55,9708
0,398	2,0256	0,00107923	45,9992	2,9991	0,00898056	55,9709
0,4	2,0256	0,00104803	45,9992	2,9991	0,00893501	55,9711
0,402	2,0256	0,00101773	45,9992	2,9991	0,00888951	55,9713
0,404	2,0256	0,00098883	45,9992	2,9991	0,00884406	55,9714
0,406	2,0256	0,00095973	45,9992	2,9991	0,00879867	55,9716
0,408	2,0256	0,00093198	45,9993	2,9992	0,00875334	55,9718
0,41	2,0256	0,00090503	45,9993	2,9992	0,00870807	55,9719
0,412	2,0256	0,00087886	45,9993	2,9992	0,00866289	55,9721
0,414	2,0256	0,00085345	45,9993	2,9992	0,00861778	55,9723
0,416	2,0257	0,00082878	45,9993	2,9992	0,00857275	55,9724
0,418	2,0257	0,00080481	45,9994	2,9992	0,00852782	55,9726
0,42	2,0257	0,00078154	45,9994	2,9993	0,00848298	55,9727
0,422	2,0257	0,00075895	45,9994	2,9993	0,00843823	55,9729

0,424	2,0257	0,000737	45,9994	2,9993	0,00839359	55,9731
0,426	2,0257	0,00071569	45,9994	2,9993	0,00834906	55,9732
0,428	2,0257	0,000695	45,9995	2,9993	0,00830464	55,9734
0,43	2,0257	0,00067491	45,9995	2,9993	0,00826033	55,9735
0,432	2,0257	0,00065539	45,9995	2,9994	0,00821614	55,9737
0,434	2,0257	0,00063644	45,9995	2,9994	0,00817207	55,9738
0,436	2,0257	0,00061804	45,9995	2,9994	0,00812813	55,9740
0,438	2,0257	0,00060017	45,9995	2,9994	0,00808431	55,9741
0,44	2,0257	0,00058282	45,9995	2,9994	0,00804063	55,9743
0,442	2,0257	0,00056597	45,9996	2,9994	0,00799708	55,9744
0,444	2,0257	0,0005496	45,9996	2,9995	0,00795367	55,9746
0,446	2,0257	0,00053371	45,9996	2,9995	0,00791039	55,9747
0,448	2,0257	0,00051828	45,9996	2,9995	0,00786726	55,9749
0,45	2,0257	0,0005033	45,9996	2,9995	0,00782428	55,9750
0,452	2,0257	0,00048875	45,9996	2,9995	0,00778144	55,9752
0,454	2,0257	0,00047461	45,9996	2,9995	0,00773875	55,9753
0,456	2,0257	0,00046089	45,9996	2,9996	0,00769621	55,9755
0,458	2,0257	0,00044757	45,9996	2,9996	0,00765382	55,9756
0,46	2,0257	0,00043463	45,9997	2,9996	0,00761116	55,9757
0,462	2,0257	0,00042206	45,9997	2,9996	0,00756952	55,9759
0,464	2,0257	0,00040986	45,9997	2,9996	0,00752761	55,9760
0,466	2,0257	0,00039801	45,9997	2,9996	0,00748586	55,9762
0,468	2,0257	0,0003865	45,9997	2,9996	0,00744427	55,9763
0,47	2,0257	0,00037532	45,9997	2,9997	0,00740285	55,9764
0,472	2,0257	0,00036447	45,9997	2,9997	0,00736159	55,9766
0,474	2,0257	0,00035393	45,9997	2,9997	0,00732049	55,9767
0,476	2,0257	0,0003437	45,9997	2,9997	0,00727957	55,9769
0,478	2,0257	0,00033376	45,9997	2,9997	0,00723881	55,9770
0,48	2,0257	0,00032411	45,9997	2,9997	0,00719823	55,9771
0,482	2,0257	0,00031474	45,9998	2,9997	0,00715781	55,9773
0,484	2,0257	0,00030564	45,9998	2,9998	0,00711757	55,9774
0,486	2,0257	0,0002968	45,9998	2,9998	0,0070775	55,9775
0,488	2,0257	0,00028822	45,9998	2,9998	0,00703761	55,9777
0,49	2,0257	0,00027989	45,9998	2,9998	0,00699789	55,9778
0,492	2,0257	0,0002718	45,9998	2,9998	0,00695835	55,9779
0,494	2,0257	0,00026394	45,9998	2,9998	0,00691898	55,9781
0,496	2,0257	0,00025631	45,9998	2,9998	0,00687979	55,9782
0,498	2,0257	0,0002489	45,9998	2,9999	0,00684078	55,9783
0,5	2,0257	0,0002417	45,9998	2,9999	0,00680195	55,9784
0,502	2,0257	0,00023471	45,9998	2,9999	0,00676329	55,9786
0,504	2,0257	0,00022793	45,9998	2,9999	0,00672482	55,9787
0,506	2,0257	0,00022134	45,9998	2,9999	0,00668652	55,9788
0,508	2,0257	0,00021494	45,9998	2,9999	0,00664841	55,9789
0,51	2,0257	0,00020872	45,9998	2,9999	0,00661047	55,9791
0,512	2,0257	0,00020269	45,9998	3,0000	0,00657271	55,9792

0,514	2,0257	0,00019683	45,9998	3,0000	0,00653514	55,9793
0,516	2,0257	0,00019114	45,9998	3,0000	0,00649775	55,9794
0,518	2,0257	0,00018561	45,9999	3,0000	0,00646053	55,9796
0,52	2,0257	0,00018024	45,9999	3,0000	0,0064235	55,9797
0,522	2,0257	0,00017503	45,9999	3,0000	0,00638665	55,9798
0,524	2,0257	0,00016997	45,9999	3,0000	0,00634998	55,9799
0,526	2,0257	0,00016506	45,9999	3,0000	0,00631349	55,9800
0,528	2,0257	0,00016028	45,9999	3,0001	0,00627719	55,9802
0,53	2,0257	0,00015565	45,9999	3,0001	0,00624106	55,9803
0,532	2,0257	0,00015115	45,9999	3,0001	0,00620512	55,9804
0,534	2,0257	0,00014678	45,9999	3,0001	0,00616936	55,9805
0,536	2,0257	0,00014254	45,9999	3,0001	0,00613377	55,9806
0,538	2,0257	0,00013841	45,9999	3,0001	0,00609837	55,9807
0,54	2,0257	0,00013441	45,9999	3,0001	0,00606315	55,9808
0,542	2,0257	0,00013053	45,9999	3,0001	0,00602811	55,9810
0,544	2,0257	0,00012675	45,9999	3,0002	0,00599325	55,9811
0,546	2,0257	0,00012309	45,9999	3,0002	0,00595857	55,9812
0,548	2,0257	0,00011953	45,9999	3,0002	0,00592407	55,9813
0,55	2,0257	0,00011607	45,9999	3,0002	0,00588975	55,9814
0,552	2,0257	0,00011272	45,9999	3,0002	0,00585561	55,9815
0,554	2,0257	0,00010946	45,9999	3,0002	0,00582164	55,9816
0,556	2,0257	0,00010629	45,9999	3,0002	0,00578786	55,9817
0,558	2,0257	0,00010322	45,9999	3,0002	0,00575425	55,9818
0,56	2,0257	0,00010024	45,9999	3,0002	0,00572082	55,9819
0,562	2,0257	9,7338E-05	45,9999	3,0003	0,00568756	55,9821
0,564	2,0257	9,4523E-05	45,9999	3,0003	0,00565449	55,9822
0,566	2,0257	9,179E-05	45,9999	3,0003	0,00562159	55,9823
0,568	2,0257	8,9136E-05	45,9999	3,0003	0,00558886	55,9824
0,57	2,0257	8,6559E-05	45,9999	3,0003	0,00555631	55,9825
0,572	2,0257	8,4057E-05	45,9999	3,0003	0,00552394	55,9826
0,574	2,0257	8,1626E-05	45,9999	3,0003	0,00549174	55,9827
0,576	2,0257	7,9266E-05	45,9999	3,0003	0,00545971	55,9828
0,578	2,0257	7,6974E-05	45,9999	3,0004	0,00542785	55,9829
0,58	2,0257	7,4749E-05	45,9999	3,0004	0,00539617	55,9830
0,582	2,0257	7,2588E-05	45,9999	3,0004	0,00536466	55,9831
0,584	2,0257	7,0489E-05	45,9999	3,0004	0,00533333	55,9832
0,586	2,0257	6,8451E-05	45,9999	3,0004	0,00530216	55,9833
0,588	2,0257	6,6472E-05	45,9999	3,0004	0,00527116	55,9834
0,59	2,0257	6,455E-05	45,9999	3,0004	0,00524034	55,9835
0,592	2,0257	6,2684E-05	46,0000	3,0004	0,00520968	55,9836
0,594	2,0257	6,0871E-05	46,0000	3,0004	0,00517919	55,9837
0,596	2,0257	5,9111E-05	46,0000	3,0004	0,00514887	55,9838
0,598	2,0257	5,7402E-05	46,0000	3,0005	0,00511872	55,9839
0,6	2,0257	5,5743E-05	46,0000	3,0005	0,00508873	55,9840
0,602	2,0257	5,4131E-05	46,0000	3,0005	0,00505891	55,9841

0,604	2,0257	5,2566E-05	46,0000	3,0005	0,00502926	55,9842
0,606	2,0257	5,1046E-05	46,0000	3,0005	0,00499977	55,9843
0,608	2,0257	4,957E-05	46,0000	3,0005	0,00497045	55,9843
0,61	2,0257	4,8137E-05	46,0000	3,0005	0,00494128	55,9844
0,612	2,0257	4,6745E-05	46,0000	3,0005	0,00491228	55,9845
0,614	2,0257	4,5394E-05	46,0000	3,0005	0,00488345	55,9846
0,616	2,0257	4,4081E-05	46,0000	3,0005	0,00485477	55,9847
0,618	2,0257	4,2807E-05	46,0000	3,0006	0,00482626	55,9848
0,62	2,0257	4,1569E-05	46,0000	3,0006	0,0047979	55,9849
0,622	2,0257	4,0367E-05	46,0000	3,0006	0,00476971	55,9850
0,624	2,0257	3,92E-05	46,0000	3,0006	0,00474167	55,9851
0,626	2,0257	3,8067E-05	46,0000	3,0006	0,0047138	55,9852
0,628	2,0257	3,6966E-05	46,0000	3,0006	0,00468608	55,9852
0,63	2,0257	3,5897E-05	46,0000	3,0006	0,00465851	55,9853
0,632	2,0257	3,4859E-05	46,0000	3,0006	0,00463111	55,9854
0,634	2,0257	3,3851E-05	46,0000	3,0006	0,00460385	55,9855
0,636	2,0257	3,2873E-05	46,0000	3,0006	0,00457676	55,9856
0,638	2,0257	3,1922E-05	46,0000	3,0006	0,00454981	55,9857
0,64	2,0257	3,0999E-05	46,0000	3,0007	0,00452302	55,9858
0,642	2,0257	3,0103E-05	46,0000	3,0007	0,00449638	55,9859
0,644	2,0257	2,9233E-05	46,0000	3,0007	0,0044699	55,9859
0,646	2,0257	2,8387E-05	46,0000	3,0007	0,00444356	55,9860
0,648	2,0257	2,7567E-05	46,0000	3,0007	0,00441738	55,9861
0,65	2,0257	2,677E-05	46,0000	3,0007	0,00439134	55,9862
0,652	2,0257	2,5996E-05	46,0000	3,0007	0,00436546	55,9863
0,654	2,0257	2,5244E-05	46,0000	3,0007	0,00433972	55,9863
0,656	2,0257	2,4514E-05	46,0000	3,0007	0,00431413	55,9864
0,658	2,0257	2,3805E-05	46,0000	3,0007	0,00428868	55,9865
0,66	2,0257	2,3117E-05	46,0000	3,0007	0,00426339	55,9866
0,662	2,0257	2,2449E-05	46,0000	3,0008	0,00423823	55,9867
0,664	2,0257	2,18E-05	46,0000	3,0008	0,00421322	55,9867
0,666	2,0257	2,1169E-05	46,0000	3,0008	0,00418836	55,9868
0,668	2,0257	2,0557E-05	46,0000	3,0008	0,00416364	55,9869
0,67	2,0257	1,9963E-05	46,0000	3,0008	0,00413906	55,9870
0,672	2,0257	1,9386E-05	46,0000	3,0008	0,00411462	55,9871
0,674	2,0257	1,8825E-05	46,0000	3,0008	0,00409033	55,9871
0,676	2,0257	1,8281E-05	46,0000	3,0008	0,00406617	55,9872
0,678	2,0257	1,7752E-05	46,0000	3,0008	0,00404216	55,9873
0,68	2,0257	1,7239E-05	46,0000	3,0008	0,00401828	55,9874
0,682	2,0257	1,6741E-05	46,0000	3,0008	0,00399454	55,9874
0,684	2,0257	1,6257E-05	46,0000	3,0008	0,00397094	55,9875
0,686	2,0257	1,5787E-05	46,0000	3,0009	0,00394747	55,9876
0,688	2,0257	1,533E-05	46,0000	3,0009	0,00392414	55,9877
0,69	2,0257	1,4887E-05	46,0000	3,0009	0,00390095	55,9877
0,692	2,0257	1,4457E-05	46,0000	3,0009	0,00387789	55,9878

0,694	2,0257	1,4039E-05	46,0000	3,0009	0,00385497	55,9879
0,696	2,0257	1,3633E-05	46,0000	3,0009	0,00383217	55,9880
0,698	2,0257	1,3238E-05	46,0000	3,0009	0,00380951	55,9880
0,7	2,0257	1,2856E-05	46,0000	3,0009	0,00378699	55,9881
0,702	2,0257	1,2484E-05	46,0000	3,0009	0,00376459	55,9882
0,704	2,0257	1,2123E-05	46,0000	3,0009	0,00374232	55,9882
0,706	2,0257	1,1773E-05	46,0000	3,0009	0,00372019	55,9883
0,708	2,0257	1,1432E-05	46,0000	3,0009	0,00369818	55,9884
0,71	2,0257	1,1102E-05	46,0000	3,0009	0,0036763	55,9884
0,712	2,0257	1,0781E-05	46,0000	3,0010	0,00365455	55,9885
0,714	2,0257	1,0469E-05	46,0000	3,0010	0,00363292	55,9886
0,716	2,0257	1,0166E-05	46,0000	3,0010	0,00361142	55,9886
0,718	2,0257	9,8723E-06	46,0000	3,0010	0,00359005	55,9887
0,72	2,0257	9,5869E-06	46,0000	3,0010	0,0035688	55,9888
0,722	2,0257	9,3097E-06	46,0000	3,0010	0,00354767	55,9888
0,724	2,0257	9,0406E-06	46,0000	3,0010	0,00352667	55,9889
0,726	2,0257	8,7792E-06	46,0000	3,0010	0,0035058	55,9890
0,728	2,0257	8,5253E-06	46,0000	3,0010	0,00348504	55,9890
0,73	2,0257	8,2788E-06	46,0000	3,0010	0,0034644	55,9891
0,732	2,0257	8,0395E-06	46,0000	3,0010	0,00344389	55,9892
0,734	2,0257	7,807E-06	46,0000	3,0010	0,0034235	55,9892
0,736	2,0257	7,5813E-06	46,0000	3,0010	0,00340322	55,9893
0,738	2,0257	7,3621E-06	46,0000	3,0010	0,00338307	55,9894
0,74	2,0257	7,1493E-06	46,0000	3,0011	0,00336303	55,9894
0,742	2,0257	6,9425E-06	46,0000	3,0011	0,00334311	55,9895
0,744	2,0257	6,7418E-06	46,0000	3,0011	0,00332331	55,9896
0,746	2,0257	6,5469E-06	46,0000	3,0011	0,00330362	55,9896
0,748	2,0257	6,3576E-06	46,0000	3,0011	0,00328405	55,9897
0,75	2,0257	6,1738E-06	46,0000	3,0011	0,00326459	55,9897
0,752	2,0257	5,9953E-06	46,0000	3,0011	0,00324525	55,9898
0,754	2,0257	5,8219E-06	46,0000	3,0011	0,00322602	55,9899
0,756	2,0257	5,6536E-06	46,0000	3,0011	0,0032069	55,9899
0,758	2,0257	5,4902E-06	46,0000	3,0011	0,0031879	55,9900
0,76	2,0257	5,3314E-06	46,0000	3,0011	0,00316901	55,9900
0,762	2,0257	5,1773E-06	46,0000	3,0011	0,00315023	55,9901
0,764	2,0257	5,0276E-06	46,0000	3,0011	0,00313156	55,9902
0,766	2,0257	4,8822E-06	46,0000	3,0011	0,003113	55,9902
0,768	2,0257	4,7411E-06	46,0000	3,0011	0,00309455	55,9903
0,77	2,0257	4,604E-06	46,0000	3,0011	0,0030762	55,9903
0,772	2,0257	4,4709E-06	46,0000	3,0012	0,00305797	55,9904
0,774	2,0257	4,3416E-06	46,0000	3,0012	0,00303984	55,9904
0,776	2,0257	4,2161E-06	46,0000	3,0012	0,00302182	55,9905
0,778	2,0257	4,0942E-06	46,0000	3,0012	0,00300391	55,9906
0,78	2,0257	3,9758E-06	46,0000	3,0012	0,0029861	55,9906
0,782	2,0257	3,8609E-06	46,0000	3,0012	0,00296839	55,9907

0,784	2,0257	3,7492E-06	46,0000	3,0012	0,00295079	55,9907
0,786	2,0257	3,6408E-06	46,0000	3,0012	0,0029333	55,9908
0,788	2,0257	3,5356E-06	46,0000	3,0012	0,00291591	55,9908
0,79	2,0257	3,4333E-06	46,0000	3,0012	0,00289862	55,9909
0,792	2,0257	3,3341E-06	46,0000	3,0012	0,00288143	55,9909
0,794	2,0257	3,2377E-06	46,0000	3,0012	0,00286434	55,9910
0,796	2,0257	3,1441E-06	46,0000	3,0012	0,00284735	55,9911
0,798	2,0257	3,0532E-06	46,0000	3,0012	0,00283047	55,9911
0,8	2,0257	2,9649E-06	46,0000	3,0012	0,00281368	55,9912
0,802	2,0257	2,8792E-06	46,0000	3,0012	0,00279699	55,9912
0,804	2,0257	2,7959E-06	46,0000	3,0012	0,0027804	55,9913
0,806	2,0257	2,7151E-06	46,0000	3,0013	0,00276391	55,9913
0,808	2,0257	2,6366E-06	46,0000	3,0013	0,00274752	55,9914
0,81	2,0257	2,5603E-06	46,0000	3,0013	0,00273122	55,9914
0,812	2,0257	2,4863E-06	46,0000	3,0013	0,00271502	55,9915
0,814	2,0257	2,4144E-06	46,0000	3,0013	0,00269892	55,9915
0,816	2,0257	2,3446E-06	46,0000	3,0013	0,00268291	55,9916
0,818	2,0257	2,2768E-06	46,0000	3,0013	0,00266699	55,9916
0,82	2,0257	2,211E-06	46,0000	3,0013	0,00265117	55,9917
0,822	2,0257	2,1471E-06	46,0000	3,0013	0,00263544	55,9917
0,824	2,0257	2,085E-06	46,0000	3,0013	0,00261981	55,9918
0,826	2,0257	2,0247E-06	46,0000	3,0013	0,00260427	55,9918
0,828	2,0257	1,9662E-06	46,0000	3,0013	0,00258882	55,9919
0,83	2,0257	1,9093E-06	46,0000	3,0013	0,00257346	55,9919
0,832	2,0257	1,8541E-06	46,0000	3,0013	0,00255819	55,9920
0,834	2,0257	1,8005E-06	46,0000	3,0013	0,00254301	55,9920
0,836	2,0257	1,7485E-06	46,0000	3,0013	0,00252792	55,9921
0,838	2,0257	1,6979E-06	46,0000	3,0013	0,00251293	55,9921
0,84	2,0257	1,6488E-06	46,0000	3,0013	0,00249802	55,9922
0,842	2,0257	1,6011E-06	46,0000	3,0013	0,00248319	55,9922
0,844	2,0257	1,5548E-06	46,0000	3,0014	0,00246846	55,9922
0,846	2,0257	1,5099E-06	46,0000	3,0014	0,00245381	55,9923
0,848	2,0257	1,4662E-06	46,0000	3,0014	0,00243925	55,9923
0,85	2,0257	1,4238E-06	46,0000	3,0014	0,00242478	55,9924
0,852	2,0257	1,3827E-06	46,0000	3,0014	0,00241039	55,9924
0,854	2,0257	1,3427E-06	46,0000	3,0014	0,00239608	55,9925
0,856	2,0257	1,3039E-06	46,0000	3,0014	0,00238187	55,9925
0,858	2,0257	1,2662E-06	46,0000	3,0014	0,00236773	55,9926
0,86	2,0257	1,2296E-06	46,0000	3,0014	0,00235368	55,9926
0,862	2,0257	1,194E-06	46,0000	3,0014	0,00233971	55,9926
0,864	2,0257	1,1595E-06	46,0000	3,0014	0,00232583	55,9927
0,866	2,0257	1,126E-06	46,0000	3,0014	0,00231202	55,9927
0,868	2,0257	1,0934E-06	46,0000	3,0014	0,0022983	55,9928
0,87	2,0257	1,0618E-06	46,0000	3,0014	0,00228466	55,9928
0,872	2,0257	1,0311E-06	46,0000	3,0014	0,0022711	55,9929

0,874	2,0257	1,0013E-06	46,0000	3,0014	0,00225763	55,9929
0,876	2,0257	9,7234E-07	46,0000	3,0014	0,00224423	55,9929
0,878	2,0257	9,4423E-07	46,0000	3,0014	0,00223091	55,9930
0,88	2,0257	9,1693E-07	46,0000	3,0014	0,00221767	55,9930
0,882	2,0257	8,9042E-07	46,0000	3,0014	0,0022045	55,9931
0,884	2,0257	8,6467E-07	46,0000	3,0014	0,00219142	55,9931
0,886	2,0257	8,3967E-07	46,0000	3,0015	0,00217841	55,9932
0,888	2,0257	8,1539E-07	46,0000	3,0015	0,00216548	55,9932
0,89	2,0257	7,9182E-07	46,0000	3,0015	0,00215263	55,9932
0,892	2,0257	7,6893E-07	46,0000	3,0015	0,00213985	55,9933
0,894	2,0257	7,4669E-07	46,0000	3,0015	0,00212715	55,9933
0,896	2,0257	7,251E-07	46,0000	3,0015	0,00211453	55,9934
0,898	2,0257	7,0414E-07	46,0000	3,0015	0,00210197	55,9934
0,9	2,0257	6,8378E-07	46,0000	3,0015	0,0020895	55,9934
0,902	2,0257	6,6401E-07	46,0000	3,0015	0,00207709	55,9935
0,904	2,0257	6,4481E-07	46,0000	3,0015	0,00206477	55,9935
0,906	2,0257	6,2617E-07	46,0000	3,0015	0,00205251	55,9936
0,908	2,0257	6,0807E-07	46,0000	3,0015	0,00204033	55,9936
0,91	2,0257	5,9048E-07	46,0000	3,0015	0,00202821	55,9936
0,912	2,0257	5,7341E-07	46,0000	3,0015	0,00201617	55,9937
0,914	2,0257	5,5683E-07	46,0000	3,0015	0,00200421	55,9937
0,916	2,0257	5,4073E-07	46,0000	3,0015	0,00199231	55,9937
0,918	2,0257	5,251E-07	46,0000	3,0015	0,00198048	55,9938
0,92	2,0257	5,0992E-07	46,0000	3,0015	0,00196873	55,9938
0,922	2,0257	4,9517E-07	46,0000	3,0015	0,00195704	55,9939
0,924	2,0257	4,8086E-07	46,0000	3,0015	0,00194542	55,9939
0,926	2,0257	4,6695E-07	46,0000	3,0015	0,00193387	55,9939
0,928	2,0257	4,5345E-07	46,0000	3,0015	0,00192239	55,9940
0,93	2,0257	4,4034E-07	46,0000	3,0015	0,00191098	55,9940
0,932	2,0257	4,2761E-07	46,0000	3,0015	0,00189964	55,9940
0,934	2,0257	4,1525E-07	46,0000	3,0015	0,00188836	55,9941
0,936	2,0257	4,0324E-07	46,0000	3,0016	0,00187715	55,9941
0,938	2,0257	3,9158E-07	46,0000	3,0016	0,00186601	55,9941
0,94	2,0257	3,8026E-07	46,0000	3,0016	0,00185493	55,9942
0,942	2,0257	3,6927E-07	46,0000	3,0016	0,00184392	55,9942
0,944	2,0257	3,5859E-07	46,0000	3,0016	0,00183297	55,9942
0,946	2,0257	3,4822E-07	46,0000	3,0016	0,00182209	55,9943
0,948	2,0257	3,3815E-07	46,0000	3,0016	0,00181127	55,9943
0,95	2,0257	3,2838E-07	46,0000	3,0016	0,00180052	55,9943
0,952	2,0257	3,1888E-07	46,0000	3,0016	0,00178983	55,9944
0,954	2,0257	3,0966E-07	46,0000	3,0016	0,0017792	55,9944
0,956	2,0257	3,0071E-07	46,0000	3,0016	0,00176864	55,9944
0,958	2,0257	2,9202E-07	46,0000	3,0016	0,00175814	55,9945
0,96	2,0257	2,8357E-07	46,0000	3,0016	0,0017477	55,9945
0,962	2,0257	2,7537E-07	46,0000	3,0016	0,00173733	55,9945

0,964	2,0257	2,6741E-07	46,0000	3,0016	0,00172701	55,9946
0,966	2,0257	2,5968E-07	46,0000	3,0016	0,00171676	55,9946
0,968	2,0257	2,5217E-07	46,0000	3,0016	0,00170657	55,9946
0,97	2,0257	2,4488E-07	46,0000	3,0016	0,00169643	55,9947
0,972	2,0257	2,378E-07	46,0000	3,0016	0,00168636	55,9947
0,974	2,0257	2,3092E-07	46,0000	3,0016	0,00167635	55,9947
0,976	2,0257	2,2425E-07	46,0000	3,0016	0,0016664	55,9948
0,978	2,0257	2,1776E-07	46,0000	3,0016	0,0016565	55,9948
0,98	2,0257	2,1147E-07	46,0000	3,0016	0,00164667	55,9948
0,982	2,0257	2,0535E-07	46,0000	3,0016	0,00163689	55,9949
0,984	2,0257	1,9942E-07	46,0000	3,0016	0,00162717	55,9949
0,986	2,0257	1,9365E-07	46,0000	3,0016	0,00161751	55,9949
0,988	2,0257	1,8805E-07	46,0000	3,0016	0,00160791	55,9949
0,99	2,0257	1,8262E-07	46,0000	3,0016	0,00159836	55,9950
0,992	2,0257	1,7734E-07	46,0000	3,0016	0,00158887	55,9950
0,994	2,0257	1,7221E-07	46,0000	3,0017	0,00157944	55,9950
0,996	2,0257	1,6723E-07	46,0000	3,0017	0,00157006	55,9951
0,998	2,0257	1,6239E-07	46,0000	3,0017	0,00156074	55,9951
1	2,0257	1,577E-07	46,0000	3,0017	0,00155148	55,9951
1,002	2,0257	1,5314E-07	46,0000	3,0017	0,00154226	55,9952
1,004	2,0257	1,4871E-07	46,0000	3,0017	0,00153311	55,9952
1,006	2,0257	1,4441E-07	46,0000	3,0017	0,001524	55,9952
1,008	2,0257	1,4024E-07	46,0000	3,0017	0,00151496	55,9952
1,01	2,0257	1,3618E-07	46,0000	3,0017	0,00150596	55,9953
1,012	2,0257	1,3224E-07	46,0000	3,0017	0,00149702	55,9953
1,014	2,0257	1,2842E-07	46,0000	3,0017	0,00148813	55,9953
1,016	2,0257	1,2471E-07	46,0000	3,0017	0,0014793	55,9954
1,018	2,0257	1,211E-07	46,0000	3,0017	0,00147051	55,9954
1,02	2,0257	1,176E-07	46,0000	3,0017	0,00146178	55,9954
1,022	2,0257	1,142E-07	46,0000	3,0017	0,0014531	55,9954
1,024	2,0257	1,109E-07	46,0000	3,0017	0,00144448	55,9955
1,026	2,0257	1,0769E-07	46,0000	3,0017	0,0014359	55,9955
1,028	2,0257	1,0458E-07	46,0000	3,0017	0,00142737	55,9955
1,03	2,0257	1,0155E-07	46,0000	3,0017	0,0014189	55,9955
1,032	2,0257	9,8619E-08	46,0000	3,0017	0,00141047	55,9956
1,034	2,0257	9,5767E-08	46,0000	3,0017	0,0014021	55,9956
1,036	2,0257	9,2998E-08	46,0000	3,0017	0,00139377	55,9956
1,038	2,0257	9,031E-08	46,0000	3,0017	0,0013855	55,9956
1,04	2,0257	8,7698E-08	46,0000	3,0017	0,00137727	55,9957
1,042	2,0257	8,5163E-08	46,0000	3,0017	0,0013691	55,9957
1,044	2,0257	8,2701E-08	46,0000	3,0017	0,00136097	55,9957
1,046	2,0257	8,0309E-08	46,0000	3,0017	0,00135289	55,9957
1,048	2,0257	7,7987E-08	46,0000	3,0017	0,00134485	55,9958
1,05	2,0257	7,5733E-08	46,0000	3,0017	0,00133687	55,9958
1,052	2,0257	7,3543E-08	46,0000	3,0017	0,00132893	55,9958

1,054	2,0257	7,1417E-08	46,0000	3,0017	0,00132104	55,9958
1,056	2,0257	6,9352E-08	46,0000	3,0017	0,0013132	55,9959
1,058	2,0257	6,7347E-08	46,0000	3,0017	0,0013054	55,9959
1,06	2,0257	6,5399E-08	46,0000	3,0017	0,00129765	55,9959
1,062	2,0257	6,3509E-08	46,0000	3,0018	0,00128994	55,9959
1,064	2,0257	6,1672E-08	46,0000	3,0018	0,00128228	55,9960
1,066	2,0257	5,9889E-08	46,0000	3,0018	0,00127467	55,9960
1,068	2,0257	5,8158E-08	46,0000	3,0018	0,0012671	55,9960
1,07	2,0257	5,6476E-08	46,0000	3,0018	0,00125958	55,9960
1,072	2,0257	5,4843E-08	46,0000	3,0018	0,0012521	55,9961
1,074	2,0257	5,3258E-08	46,0000	3,0018	0,00124467	55,9961
1,076	2,0257	5,1718E-08	46,0000	3,0018	0,00123728	55,9961
1,078	2,0257	5,0222E-08	46,0000	3,0018	0,00122993	55,9961
1,08	2,0257	4,877E-08	46,0000	3,0018	0,00122263	55,9962
1,082	2,0257	4,736E-08	46,0000	3,0018	0,00121537	55,9962
1,084	2,0257	4,5991E-08	46,0000	3,0018	0,00120815	55,9962
1,086	2,0257	4,4661E-08	46,0000	3,0018	0,00120098	55,9962
1,088	2,0257	4,337E-08	46,0000	3,0018	0,00119385	55,9962
1,09	2,0257	4,2116E-08	46,0000	3,0018	0,00118676	55,9963
1,092	2,0257	4,0898E-08	46,0000	3,0018	0,00117971	55,9963
1,094	2,0257	3,9716E-08	46,0000	3,0018	0,00117271	55,9963
1,096	2,0257	3,8568E-08	46,0000	3,0018	0,00116574	55,9963
1,098	2,0257	3,7452E-08	46,0000	3,0018	0,00115882	55,9964
1,1	2,0257	3,637E-08	46,0000	3,0018	0,00115194	55,9964
1,102	2,0257	3,5318E-08	46,0000	3,0018	0,0011451	55,9964
1,104	2,0257	3,4297E-08	46,0000	3,0018	0,0011383	55,9964
1,106	2,0257	3,3305E-08	46,0000	3,0018	0,00113154	55,9964
1,108	2,0257	3,2342E-08	46,0000	3,0018	0,00112482	55,9965
1,11	2,0257	3,1407E-08	46,0000	3,0018	0,00111815	55,9965
1,112	2,0257	3,0499E-08	46,0000	3,0018	0,00111151	55,9965
1,114	2,0257	2,9617E-08	46,0000	3,0018	0,00110491	55,9965
1,116	2,0257	2,8761E-08	46,0000	3,0018	0,00109835	55,9965
1,118	2,0257	2,7929E-08	46,0000	3,0018	0,00109182	55,9966
1,12	2,0257	2,7122E-08	46,0000	3,0018	0,00108534	55,9966
1,122	2,0257	2,6338E-08	46,0000	3,0018	0,0010789	55,9966
1,124	2,0257	2,5576E-08	46,0000	3,0018	0,00107249	55,9966
1,126	2,0257	2,4837E-08	46,0000	3,0018	0,00106612	55,9967
1,128	2,0257	2,4119E-08	46,0000	3,0018	0,00105979	55,9967
1,13	2,0257	2,3421E-08	46,0000	3,0018	0,0010535	55,9967
1,132	2,0257	2,2744E-08	46,0000	3,0018	0,00104724	55,9967
1,134	2,0257	2,2087E-08	46,0000	3,0018	0,00104103	55,9967
1,136	2,0257	2,1448E-08	46,0000	3,0018	0,00103485	55,9967
1,138	2,0257	2,0828E-08	46,0000	3,0018	0,0010287	55,9968
1,14	2,0257	2,0226E-08	46,0000	3,0018	0,00102259	55,9968
1,142	2,0257	1,9641E-08	46,0000	3,0018	0,00101652	55,9968

1,144	2,0257	1,9073E-08	46,0000	3,0018	0,00101049	55,9968
1,146	2,0257	1,8522E-08	46,0000	3,0018	0,00100449	55,9968
1,148	2,0257	1,7986E-08	46,0000	3,0018	0,00099852	55,9969
1,15	2,0257	1,7466E-08	46,0000	3,0019	0,00099259	55,9969
1,152	2,0257	1,6961E-08	46,0000	3,0019	0,0009867	55,9969
1,154	2,0257	1,6471E-08	46,0000	3,0019	0,00098084	55,9969
1,156	2,0257	1,5994E-08	46,0000	3,0019	0,00097502	55,9969
1,158	2,0257	1,5532E-08	46,0000	3,0019	0,00096923	55,9970
1,16	2,0257	1,5083E-08	46,0000	3,0019	0,00096347	55,9970
1,162	2,0257	1,4647E-08	46,0000	3,0019	0,00095775	55,9970
1,164	2,0257	1,4223E-08	46,0000	3,0019	0,00095206	55,9970
1,166	2,0257	1,3812E-08	46,0000	3,0019	0,00094641	55,9970
1,168	2,0257	1,3413E-08	46,0000	3,0019	0,00094079	55,9970
1,17	2,0257	1,3025E-08	46,0000	3,0019	0,00093521	55,9971
1,172	2,0257	1,2648E-08	46,0000	3,0019	0,00092965	55,9971
1,174	2,0257	1,2283E-08	46,0000	3,0019	0,00092413	55,9971
1,176	2,0257	1,1928E-08	46,0000	3,0019	0,00091865	55,9971
1,178	2,0257	1,1583E-08	46,0000	3,0019	0,00091319	55,9971
1,18	2,0257	1,1248E-08	46,0000	3,0019	0,00090777	55,9971
1,182	2,0257	1,0923E-08	46,0000	3,0019	0,00090238	55,9972
1,184	2,0257	1,0607E-08	46,0000	3,0019	0,00089702	55,9972
1,186	2,0257	1,03E-08	46,0000	3,0019	0,00089169	55,9972
1,188	2,0257	1,0002E-08	46,0000	3,0019	0,0008864	55,9972
1,19	2,0257	9,7131E-09	46,0000	3,0019	0,00088114	55,9972
1,192	2,0257	9,4323E-09	46,0000	3,0019	0,0008759	55,9972
1,194	2,0257	9,1595E-09	46,0000	3,0019	0,0008707	55,9973
1,196	2,0257	8,8947E-09	46,0000	3,0019	0,00086553	55,9973
1,198	2,0257	8,6375E-09	46,0000	3,0019	0,00086039	55,9973
1,2	2,0257	8,3878E-09	46,0000	3,0019	0,00085529	55,9973
1,202	2,0257	8,1453E-09	46,0000	3,0019	0,00085021	55,9973
1,204	2,0257	7,9098E-09	46,0000	3,0019	0,00084516	55,9973
1,206	2,0257	7,6811E-09	46,0000	3,0019	0,00084014	55,9974
1,208	2,0257	7,459E-09	46,0000	3,0019	0,00083515	55,9974
1,21	2,0257	7,2433E-09	46,0000	3,0019	0,00083019	55,9974
1,212	2,0257	7,0339E-09	46,0000	3,0019	0,00082526	55,9974
1,214	2,0257	6,8306E-09	46,0000	3,0019	0,00082036	55,9974
1,216	2,0257	6,6331E-09	46,0000	3,0019	0,00081549	55,9974
1,218	2,0257	6,4413E-09	46,0000	3,0019	0,00081065	55,9975
1,22	2,0257	6,255E-09	46,0000	3,0019	0,00080584	55,9975
1,222	2,0257	6,0742E-09	46,0000	3,0019	0,00080105	55,9975
1,224	2,0257	5,8986E-09	46,0000	3,0019	0,0007963	55,9975
1,226	2,0257	5,728E-09	46,0000	3,0019	0,00079157	55,9975
1,228	2,0257	5,5624E-09	46,0000	3,0019	0,00078687	55,9975
1,23	2,0257	5,4016E-09	46,0000	3,0019	0,0007822	55,9975
1,232	2,0257	5,2454E-09	46,0000	3,0019	0,00077755	55,9976

1,234	2,0257	5,0938E-09	46,0000	3,0019	0,00077293	55,9976
1,236	2,0257	4,9465E-09	46,0000	3,0019	0,00076835	55,9976
1,238	2,0257	4,8035E-09	46,0000	3,0019	0,00076378	55,9976
1,24	2,0257	4,6646E-09	46,0000	3,0019	0,00075925	55,9976
1,242	2,0257	4,5297E-09	46,0000	3,0019	0,00075474	55,9976
1,244	2,0257	4,3987E-09	46,0000	3,0019	0,00075026	55,9976
1,246	2,0257	4,2716E-09	46,0000	3,0019	0,0007458	55,9977
1,248	2,0257	4,1481E-09	46,0000	3,0019	0,00074138	55,9977
1,25	2,0257	4,0281E-09	46,0000	3,0019	0,00073697	55,9977
1,252	2,0257	3,9117E-09	46,0000	3,0019	0,0007326	55,9977
1,254	2,0257	3,7986E-09	46,0000	3,0019	0,00072825	55,9977
1,256	2,0257	3,6887E-09	46,0000	3,0019	0,00072392	55,9977
1,258	2,0257	3,5821E-09	46,0000	3,0019	0,00071962	55,9977
1,26	2,0257	3,4785E-09	46,0000	3,0019	0,00071535	55,9978
1,262	2,0257	3,378E-09	46,0000	3,0019	0,0007111	55,9978
1,264	2,0257	3,2803E-09	46,0000	3,0019	0,00070688	55,9978
1,266	2,0257	3,1854E-09	46,0000	3,0019	0,00070268	55,9978
1,268	2,0257	3,0933E-09	46,0000	3,0019	0,00069851	55,9978
1,27	2,0257	3,0039E-09	46,0000	3,0020	0,00069437	55,9978
1,272	2,0257	2,917E-09	46,0000	3,0020	0,00069024	55,9978
1,274	2,0257	2,8327E-09	46,0000	3,0020	0,00068614	55,9978
1,276	2,0257	2,7508E-09	46,0000	3,0020	0,00068207	55,9979
1,278	2,0257	2,6713E-09	46,0000	3,0020	0,00067802	55,9979
1,28	2,0257	2,594E-09	46,0000	3,0020	0,00067399	55,9979
1,282	2,0257	2,5191E-09	46,0000	3,0020	0,00066999	55,9979
1,284	2,0257	2,4462E-09	46,0000	3,0020	0,00066601	55,9979
1,286	2,0257	2,3755E-09	46,0000	3,0020	0,00066206	55,9979
1,288	2,0257	2,3068E-09	46,0000	3,0020	0,00065813	55,9979
1,29	2,0257	2,2401E-09	46,0000	3,0020	0,00065422	55,9979
1,292	2,0257	2,1753E-09	46,0000	3,0020	0,00065034	55,9980
1,294	2,0257	2,1124E-09	46,0000	3,0020	0,00064647	55,9980
1,296	2,0257	2,0514E-09	46,0000	3,0020	0,00064264	55,9980
1,298	2,0257	1,992E-09	46,0000	3,0020	0,00063882	55,9980
1,3	2,0257	1,9345E-09	46,0000	3,0020	0,00063503	55,9980
1,302	2,0257	1,8785E-09	46,0000	3,0020	0,00063126	55,9980
1,304	2,0257	1,8242E-09	46,0000	3,0020	0,00062751	55,9980
1,306	2,0257	1,7715E-09	46,0000	3,0020	0,00062378	55,9980
1,308	2,0257	1,7203E-09	46,0000	3,0020	0,00062008	55,9981
1,31	2,0257	1,6705E-09	46,0000	3,0020	0,0006164	55,9981
1,312	2,0257	1,6222E-09	46,0000	3,0020	0,00061274	55,9981
1,314	2,0257	1,5753E-09	46,0000	3,0020	0,0006091	55,9981
1,316	2,0257	1,5298E-09	46,0000	3,0020	0,00060548	55,9981
1,318	2,0257	1,4855E-09	46,0000	3,0020	0,00060189	55,9981
1,32	2,0257	1,4426E-09	46,0000	3,0020	0,00059831	55,9981
1,322	2,0257	1,4009E-09	46,0000	3,0020	0,00059476	55,9981

1,324	2,0257	1,3604E-09	46,0000	3,0020	0,00059123	55,9981
1,326	2,0257	1,321E-09	46,0000	3,0020	0,00058772	55,9982
1,328	2,0257	1,2828E-09	46,0000	3,0020	0,00058423	55,9982
1,33	2,0257	1,2458E-09	46,0000	3,0020	0,00058076	55,9982
1,332	2,0257	1,2097E-09	46,0000	3,0020	0,00057731	55,9982
1,334	2,0257	1,1748E-09	46,0000	3,0020	0,00057388	55,9982
1,336	2,0257	1,1408E-09	46,0000	3,0020	0,00057048	55,9982
1,338	2,0257	1,1078E-09	46,0000	3,0020	0,00056709	55,9982
1,34	2,0257	1,0758E-09	46,0000	3,0020	0,00056372	55,9982
1,342	2,0257	1,0447E-09	46,0000	3,0020	0,00056037	55,9982
1,344	2,0257	1,0145E-09	46,0000	3,0020	0,00055705	55,9982
1,346	2,0257	9,8513E-10	46,0000	3,0020	0,00055374	55,9983
1,348	2,0257	9,5665E-10	46,0000	3,0020	0,00055045	55,9983
1,35	2,0257	9,29E-10	46,0000	3,0020	0,00054718	55,9983
1,352	2,0257	9,0213E-10	46,0000	3,0020	0,00054393	55,9983
1,354	2,0257	8,7605E-10	46,0000	3,0020	0,0005407	55,9983
1,356	2,0257	8,5073E-10	46,0000	3,0020	0,00053749	55,9983
1,358	2,0257	8,2613E-10	46,0000	3,0020	0,0005343	55,9983
1,36	2,0257	8,0225E-10	46,0000	3,0020	0,00053113	55,9983
1,362	2,0257	7,7904E-10	46,0000	3,0020	0,00052798	55,9983
1,364	2,0257	7,5653E-10	46,0000	3,0020	0,00052484	55,9984
1,366	2,0257	7,3465E-10	46,0000	3,0020	0,00052173	55,9984
1,368	2,0257	7,1341E-10	46,0000	3,0020	0,00051863	55,9984
1,37	2,0257	6,9279E-10	46,0000	3,0020	0,00051555	55,9984
1,372	2,0257	6,7275E-10	46,0000	3,0020	0,00051249	55,9984
1,374	2,0257	6,5329E-10	46,0000	3,0020	0,00050944	55,9984
1,376	2,0257	6,3442E-10	46,0000	3,0020	0,00050642	55,9984
1,378	2,0257	6,1607E-10	46,0000	3,0020	0,00050341	55,9984
1,38	2,0257	5,9826E-10	46,0000	3,0020	0,00050042	55,9984
1,382	2,0257	5,8095E-10	46,0000	3,0020	0,00049745	55,9984
1,384	2,0257	5,6416E-10	46,0000	3,0020	0,0004945	55,9984
1,386	2,0257	5,4784E-10	46,0000	3,0020	0,00049156	55,9985
1,388	2,0257	5,3202E-10	46,0000	3,0020	0,00048864	55,9985
1,39	2,0257	5,1663E-10	46,0000	3,0020	0,00048574	55,9985
1,392	2,0257	5,0169E-10	46,0000	3,0020	0,00048286	55,9985
1,394	2,0257	4,8718E-10	46,0000	3,0020	0,00047999	55,9985
1,396	2,0257	4,7311E-10	46,0000	3,0020	0,00047714	55,9985
1,398	2,0257	4,5943E-10	46,0000	3,0020	0,00047431	55,9985
1,4	2,0257	4,4614E-10	46,0000	3,0020	0,00047149	55,9985
1,402	2,0257	4,3325E-10	46,0000	3,0020	0,00046869	55,9985
1,404	2,0257	4,2072E-10	46,0000	3,0020	0,00046591	55,9985
1,406	2,0257	4,0855E-10	46,0000	3,0020	0,00046314	55,9985
1,408	2,0257	3,9675E-10	46,0000	3,0020	0,00046039	55,9986
1,41	2,0257	3,8527E-10	46,0000	3,0020	0,00045766	55,9986
1,412	2,0257	3,7412E-10	46,0000	3,0020	0,00045494	55,9986

1,414	2,0257	3,6331E-10	46,0000	3,0020	0,00045224	55,9986
1,416	2,0257	3,5281E-10	46,0000	3,0020	0,00044956	55,9986
1,418	2,0257	3,426E-10	46,0000	3,0020	0,00044689	55,9986
1,42	2,0257	3,327E-10	46,0000	3,0020	0,00044423	55,9986
1,422	2,0257	3,2308E-10	46,0000	3,0020	0,00044159	55,9986
1,424	2,0257	3,1374E-10	46,0000	3,0020	0,00043897	55,9986
1,426	2,0257	3,0467E-10	46,0000	3,0020	0,00043637	55,9986
1,428	2,0257	2,9586E-10	46,0000	3,0020	0,00043378	55,9986
1,43	2,0257	2,8731E-10	46,0000	3,0020	0,0004312	55,9986
1,432	2,0257	2,7901E-10	46,0000	3,0020	0,00042864	55,9987
1,434	2,0257	2,7094E-10	46,0000	3,0020	0,00042609	55,9987
1,436	2,0257	2,631E-10	46,0000	3,0020	0,00042356	55,9987
1,438	2,0257	2,5549E-10	46,0000	3,0020	0,00042105	55,9987
1,44	2,0257	2,481E-10	46,0000	3,0020	0,00041855	55,9987
1,442	2,0257	2,4094E-10	46,0000	3,0020	0,00041606	55,9987
1,444	2,0257	2,3397E-10	46,0000	3,0020	0,00041359	55,9987
1,446	2,0257	2,272E-10	46,0000	3,0020	0,00041114	55,9987
1,448	2,0257	2,2064E-10	46,0000	3,0020	0,0004087	55,9987
1,45	2,0257	2,1425E-10	46,0000	3,0020	0,00040627	55,9987
1,452	2,0257	2,0805E-10	46,0000	3,0020	0,00040386	55,9987
1,454	2,0257	2,0204E-10	46,0000	3,0020	0,00040146	55,9987
1,456	2,0257	1,962E-10	46,0000	3,0021	0,00039908	55,9987
1,458	2,0257	1,9052E-10	46,0000	3,0021	0,00039671	55,9988
1,46	2,0257	1,8502E-10	46,0000	3,0021	0,00039435	55,9988
1,462	2,0257	1,7966E-10	46,0000	3,0021	0,00039201	55,9988
1,464	2,0257	1,7447E-10	46,0000	3,0021	0,00038968	55,9988
1,466	2,0257	1,6943E-10	46,0000	3,0021	0,00038737	55,9988
1,468	2,0257	1,6453E-10	46,0000	3,0021	0,00038507	55,9988
1,47	2,0257	1,5977E-10	46,0000	3,0021	0,00038278	55,9988
1,472	2,0257	1,5515E-10	46,0000	3,0021	0,00038051	55,9988
1,474	2,0257	1,5066E-10	46,0000	3,0021	0,00037825	55,9988
1,476	2,0257	1,4629E-10	46,0000	3,0021	0,000376	55,9988
1,478	2,0257	1,4207E-10	46,0000	3,0021	0,00037377	55,9988
1,48	2,0257	1,3797E-10	46,0000	3,0021	0,00037155	55,9988
1,482	2,0257	1,3399E-10	46,0000	3,0021	0,00036935	55,9988
1,484	2,0257	1,301E-10	46,0000	3,0021	0,00036715	55,9988
1,486	2,0257	1,2634E-10	46,0000	3,0021	0,00036497	55,9989
1,488	2,0257	1,2268E-10	46,0000	3,0021	0,00036281	55,9989
1,49	2,0257	1,1914E-10	46,0000	3,0021	0,00036065	55,9989
1,492	2,0257	1,1569E-10	46,0000	3,0021	0,00035851	55,9989
1,494	2,0257	1,1235E-10	46,0000	3,0021	0,00035638	55,9989
1,496	2,0257	1,091E-10	46,0000	3,0021	0,00035427	55,9989
1,498	2,0257	1,0595E-10	46,0000	3,0021	0,00035216	55,9989
1,5	2,0257	1,0289E-10	46,0000	3,0021	0,00035007	55,9989
1,502	2,0257	9,9917E-11	46,0000	3,0021	0,00034799	55,9989

1,504	2,0257	9,7025E-11	46,0000	3,0021	0,00034593	55,9989
1,506	2,0257	9,4225E-11	46,0000	3,0021	0,00034387	55,9989
1,508	2,0257	9,1497E-11	46,0000	3,0021	0,00034183	55,9989
1,51	2,0257	8,8846E-11	46,0000	3,0021	0,0003398	55,9989
1,512	2,0257	8,6288E-11	46,0000	3,0021	0,00033778	55,9989
1,514	2,0257	8,3794E-11	46,0000	3,0021	0,00033578	55,9989
1,516	2,0257	8,1364E-11	46,0000	3,0021	0,00033378	55,9990
1,518	2,0257	7,9012E-11	46,0000	3,0021	0,0003318	55,9990
1,52	2,0257	7,6732E-11	46,0000	3,0021	0,00032983	55,9990
1,522	2,0257	7,4508E-11	46,0000	3,0021	0,00032787	55,9990
1,524	2,0257	7,2347E-11	46,0000	3,0021	0,00032593	55,9990
1,526	2,0257	7,0266E-11	46,0000	3,0021	0,00032399	55,9990
1,528	2,0257	6,8233E-11	46,0000	3,0021	0,00032207	55,9990
1,53	2,0257	6,6258E-11	46,0000	3,0021	0,00032016	55,9990
1,532	2,0257	6,4347E-11	46,0000	3,0021	0,00031825	55,9990
1,534	2,0257	6,2485E-11	46,0000	3,0021	0,00031637	55,9990
1,536	2,0257	6,0673E-11	46,0000	3,0021	0,00031449	55,9990
1,538	2,0257	5,8932E-11	46,0000	3,0021	0,00031262	55,9990
1,54	2,0257	5,722E-11	46,0000	3,0021	0,00031076	55,9990
1,542	2,0257	5,5564E-11	46,0000	3,0021	0,00030892	55,9990
1,544	2,0257	5,3966E-11	46,0000	3,0021	0,00030708	55,9990
1,546	2,0257	5,241E-11	46,0000	3,0021	0,00030526	55,9990
1,548	2,0257	5,0896E-11	46,0000	3,0021	0,00030345	55,9990
1,55	2,0257	4,9425E-11	46,0000	3,0021	0,00030165	55,9991
1,552	2,0257	4,799E-11	46,0000	3,0021	0,00029986	55,9991
1,554	2,0257	4,6597E-11	46,0000	3,0021	0,00029807	55,9991
1,556	2,0257	4,5254E-11	46,0000	3,0021	0,0002963	55,9991
1,558	2,0257	4,3947E-11	46,0000	3,0021	0,00029455	55,9991
1,56	2,0257	4,2675E-11	46,0000	3,0021	0,0002928	55,9991
1,562	2,0257	4,1446E-11	46,0000	3,0021	0,00029106	55,9991
1,564	2,0257	4,0238E-11	46,0000	3,0021	0,00028933	55,9991
1,566	2,0257	3,9073E-11	46,0000	3,0021	0,00028761	55,9991
1,568	2,0257	3,795E-11	46,0000	3,0021	0,0002859	55,9991
1,57	2,0257	3,6849E-11	46,0000	3,0021	0,00028421	55,9991
1,572	2,0257	3,5783E-11	46,0000	3,0021	0,00028252	55,9991
1,574	2,0257	3,4746E-11	46,0000	3,0021	0,00028084	55,9991
1,576	2,0257	3,3751E-11	46,0000	3,0021	0,00027917	55,9991
1,578	2,0257	3,2777E-11	46,0000	3,0021	0,00027752	55,9991
1,58	2,0257	3,1818E-11	46,0000	3,0021	0,00027587	55,9991
1,582	2,0257	3,0902E-11	46,0000	3,0021	0,00027423	55,9991
1,584	2,0257	3,0013E-11	46,0000	3,0021	0,0002726	55,9991
1,586	2,0257	2,9139E-11	46,0000	3,0021	0,00027098	55,9991
1,588	2,0257	2,8308E-11	46,0000	3,0021	0,00026938	55,9992
1,59	2,0257	2,7491E-11	46,0000	3,0021	0,00026778	55,9992
1,592	2,0257	2,6688E-11	46,0000	3,0021	0,00026619	55,9992

1,594	2,0257	2,5921E-11	46,0000	3,0021	0,00026461	55,9992
1,596	2,0257	2,5167E-11	46,0000	3,0021	0,00026303	55,9992
1,598	2,0257	2,4443E-11	46,0000	3,0021	0,00026147	55,9992
1,6	2,0257	2,3746E-11	46,0000	3,0021	0,00025992	55,9992
1,602	2,0257	2,3057E-11	46,0000	3,0021	0,00025838	55,9992
1,604	2,0257	2,2389E-11	46,0000	3,0021	0,00025684	55,9992
1,606	2,0257	2,1728E-11	46,0000	3,0021	0,00025532	55,9992
1,608	2,0257	2,1103E-11	46,0000	3,0021	0,0002538	55,9992
1,61	2,0257	2,0492E-11	46,0000	3,0021	0,00025229	55,9992
1,612	2,0257	1,9902E-11	46,0000	3,0021	0,0002508	55,9992
1,614	2,0257	1,9334E-11	46,0000	3,0021	0,00024931	55,9992
1,616	2,0257	1,8773E-11	46,0000	3,0021	0,00024783	55,9992
1,618	2,0257	1,8218E-11	46,0000	3,0021	0,00024636	55,9992
1,62	2,0257	1,7693E-11	46,0000	3,0021	0,00024489	55,9992
1,622	2,0257	1,7181E-11	46,0000	3,0021	0,00024344	55,9992
1,624	2,0257	1,6691E-11	46,0000	3,0021	0,00024199	55,9992
1,626	2,0257	1,6215E-11	46,0000	3,0021	0,00024056	55,9992
1,628	2,0257	1,5739E-11	46,0000	3,0021	0,00023913	55,9992
1,63	2,0257	1,5291E-11	46,0000	3,0021	0,00023771	55,9993
1,632	2,0257	1,4843E-11	46,0000	3,0021	0,0002363	55,9993
1,634	2,0257	1,441E-11	46,0000	3,0021	0,00023489	55,9993
1,636	2,0257	1,3983E-11	46,0000	3,0021	0,0002335	55,9993
1,638	2,0257	1,36E-11	46,0000	3,0021	0,00023211	55,9993
1,64	2,0257	1,3202E-11	46,0000	3,0021	0,00023073	55,9993
1,642	2,0257	1,2825E-11	46,0000	3,0021	0,00022936	55,9993
1,644	2,0257	1,2449E-11	46,0000	3,0021	0,000228	55,9993
1,646	2,0257	1,2093E-11	46,0000	3,0021	0,00022665	55,9993
1,648	2,0257	1,1745E-11	46,0000	3,0021	0,0002253	55,9993
1,65	2,0257	1,1397E-11	46,0000	3,0021	0,00022397	55,9993
1,652	2,0257	1,107E-11	46,0000	3,0021	0,00022264	55,9993
1,654	2,0257	1,0743E-11	46,0000	3,0021	0,00022131	55,9993
1,656	2,0257	1,0445E-11	46,0000	3,0021	0,00022	55,9993
1,658	2,0257	1,0139E-11	46,0000	3,0021	0,00021869	55,9993
1,66	2,0257	9,8481E-12	46,0000	3,0021	0,0002174	55,9993
1,662	2,0257	9,571E-12	46,0000	3,0021	0,0002161	55,9993
1,664	2,0257	9,2797E-12	46,0000	3,0021	0,00021482	55,9993
1,666	2,0257	9,0168E-12	46,0000	3,0021	0,00021355	55,9993
1,668	2,0257	8,7539E-12	46,0000	3,0021	0,00021228	55,9993
1,67	2,0257	8,5052E-12	46,0000	3,0021	0,00021102	55,9993
1,672	2,0257	8,2565E-12	46,0000	3,0021	0,00020976	55,9993
1,674	2,0257	8,022E-12	46,0000	3,0021	0,00020852	55,9993
1,676	2,0257	7,7875E-12	46,0000	3,0021	0,00020728	55,9993
1,678	2,0257	7,5602E-12	46,0000	3,0021	0,00020605	55,9994
1,68	2,0257	7,3541E-12	46,0000	3,0021	0,00020483	55,9994
1,682	2,0257	7,1338E-12	46,0000	3,0021	0,00020361	55,9994

1,684	2,0257	6,9349E-12	46,0000	3,0021	0,0002024	55,9994
1,686	2,0257	6,7288E-12	46,0000	3,0021	0,0002012	55,9994
1,688	2,0257	6,537E-12	46,0000	3,0021	0,00020001	55,9994
1,69	2,0257	6,3594E-12	46,0000	3,0021	0,00019882	55,9994
1,692	2,0257	6,1675E-12	46,0000	3,0021	0,00019764	55,9994
1,694	2,0257	5,9899E-12	46,0000	3,0021	0,00019646	55,9994
1,696	2,0257	5,8051E-12	46,0000	3,0021	0,0001953	55,9994
1,698	2,0257	5,6559E-12	46,0000	3,0021	0,00019414	55,9994
1,7	2,0257	5,4783E-12	46,0000	3,0021	0,00019298	55,9994
1,702	2,0257	5,3362E-12	46,0000	3,0021	0,00019184	55,9994
1,704	2,0257	5,1728E-12	46,0000	3,0021	0,0001907	55,9994
1,706	2,0257	5,0235E-12	46,0000	3,0021	0,00018957	55,9994
1,708	2,0257	4,8814E-12	46,0000	3,0021	0,00018844	55,9994
1,71	2,0257	4,7393E-12	46,0000	3,0021	0,00018732	55,9994
1,712	2,0257	4,6043E-12	46,0000	3,0021	0,00018621	55,9994
1,714	2,0257	4,4693E-12	46,0000	3,0021	0,00018511	55,9994
1,716	2,0257	4,3414E-12	46,0000	3,0021	0,00018401	55,9994
1,718	2,0257	4,2064E-12	46,0000	3,0021	0,00018291	55,9994
1,72	2,0257	4,0785E-12	46,0000	3,0021	0,00018183	55,9994
1,722	2,0257	3,9719E-12	46,0000	3,0021	0,00018075	55,9994
1,724	2,0257	3,8654E-12	46,0000	3,0021	0,00017967	55,9994
1,726	2,0257	3,7446E-12	46,0000	3,0021	0,00017861	55,9994
1,728	2,0257	3,6451E-12	46,0000	3,0021	0,00017755	55,9994
1,73	2,0257	3,5385E-12	46,0000	3,0021	0,00017649	55,9994
1,732	2,0257	3,439E-12	46,0000	3,0021	0,00017545	55,9994
1,734	2,0257	3,3467E-12	46,0000	3,0021	0,0001744	55,9995
1,736	2,0257	3,2401E-12	46,0000	3,0021	0,00017337	55,9995
1,738	2,0257	3,1477E-12	46,0000	3,0021	0,00017234	55,9995
1,74	2,0257	3,0482E-12	46,0000	3,0021	0,00017132	55,9995
1,742	2,0257	2,963E-12	46,0000	3,0021	0,0001703	55,9995
1,744	2,0257	2,8848E-12	46,0000	3,0021	0,00016929	55,9995
1,746	2,0257	2,7924E-12	46,0000	3,0021	0,00016828	55,9995
1,748	2,0257	2,7143E-12	46,0000	3,0021	0,00016728	55,9995
1,75	2,0257	2,6432E-12	46,0000	3,0021	0,00016629	55,9995
1,752	2,0257	2,558E-12	46,0000	3,0021	0,0001653	55,9995
1,754	2,0257	2,4869E-12	46,0000	3,0021	0,00016432	55,9995
1,756	2,0257	2,4158E-12	46,0000	3,0021	0,00016335	55,9995
1,758	2,0257	2,3519E-12	46,0000	3,0021	0,00016238	55,9995
1,76	2,0257	2,2666E-12	46,0000	3,0021	0,00016141	55,9995
1,762	2,0257	2,2098E-12	46,0000	3,0021	0,00016045	55,9995
1,764	2,0257	2,1458E-12	46,0000	3,0021	0,0001595	55,9995
1,766	2,0257	2,0677E-12	46,0000	3,0021	0,00015855	55,9995
1,768	2,0257	2,0179E-12	46,0000	3,0021	0,00015761	55,9995
1,77	2,0257	1,9611E-12	46,0000	3,0021	0,00015668	55,9995
1,772	2,0257	1,9114E-12	46,0000	3,0021	0,00015575	55,9995

1,774	2,0257	1,8545E-12	46,0000	3,0021	0,00015482	55,9995
1,776	2,0257	1,7906E-12	46,0000	3,0021	0,0001539	55,9995
1,778	2,0257	1,7479E-12	46,0000	3,0021	0,00015299	55,9995
1,78	2,0257	1,6982E-12	46,0000	3,0021	0,00015208	55,9995
1,782	2,0257	1,6485E-12	46,0000	3,0021	0,00015118	55,9995
1,784	2,0257	1,5916E-12	46,0000	3,0021	0,00015028	55,9995
1,786	2,0257	1,549E-12	46,0000	3,0021	0,00014939	55,9995
1,788	2,0257	1,5135E-12	46,0000	3,0021	0,0001485	55,9995
1,79	2,0257	1,4637E-12	46,0000	3,0021	0,00014762	55,9995
1,792	2,0257	1,4211E-12	46,0000	3,0021	0,00014674	55,9995
1,794	2,0257	1,3856E-12	46,0000	3,0021	0,00014587	55,9995
1,796	2,0257	1,3358E-12	46,0000	3,0021	0,000145	55,9995
1,798	2,0257	1,3003E-12	46,0000	3,0021	0,00014414	55,9995
1,8	2,0257	1,2648E-12	46,0000	3,0021	0,00014329	55,9995
1,802	2,0257	1,2221E-12	46,0000	3,0021	0,00014244	55,9996
1,804	2,0257	1,1866E-12	46,0000	3,0021	0,00014159	55,9996
1,806	2,0257	1,1582E-12	46,0000	3,0021	0,00014075	55,9996
1,808	2,0257	1,1298E-12	46,0000	3,0021	0,00013991	55,9996
1,81	2,0257	1,0871E-12	46,0000	3,0021	0,00013908	55,9996
1,812	2,0257	1,0587E-12	46,0000	3,0021	0,00013826	55,9996
1,814	2,0257	1,0232E-12	46,0000	3,0021	0,00013744	55,9996
1,816	2,0257	9,9476E-13	46,0000	3,0021	0,00013662	55,9996
1,818	2,0257	9,6634E-13	46,0000	3,0021	0,00013581	55,9996
1,82	2,0257	9,3792E-13	46,0000	3,0021	0,000135	55,9996
1,822	2,0257	9,2371E-13	46,0000	3,0021	0,0001342	55,9996
1,824	2,0257	8,9528E-13	46,0000	3,0021	0,0001334	55,9996
1,826	2,0257	8,6686E-13	46,0000	3,0021	0,00013261	55,9996
1,828	2,0257	8,3844E-13	46,0000	3,0021	0,00013183	55,9996
1,83	2,0257	8,1002E-13	46,0000	3,0021	0,00013104	55,9996
1,832	2,0257	7,887E-13	46,0000	3,0021	0,00013026	55,9996
1,834	2,0257	7,6028E-13	46,0000	3,0021	0,00012949	55,9996
1,836	2,0257	7,3896E-13	46,0000	3,0021	0,00012872	55,9996
1,838	2,0257	7,2475E-13	46,0000	3,0021	0,00012796	55,9996
1,84	2,0257	7,0344E-13	46,0000	3,0021	0,0001272	55,9996
1,842	2,0257	6,8923E-13	46,0000	3,0021	0,00012644	55,9996
1,844	2,0257	6,6791E-13	46,0000	3,0021	0,00012569	55,9996
1,846	2,0257	6,537E-13	46,0000	3,0021	0,00012495	55,9996
1,848	2,0257	6,3238E-13	46,0000	3,0021	0,0001242	55,9996
1,85	2,0257	6,1107E-13	46,0000	3,0021	0,00012347	55,9996
1,852	2,0257	5,8975E-13	46,0000	3,0021	0,00012273	55,9996
1,854	2,0257	5,6843E-13	46,0000	3,0021	0,000122	55,9996
1,856	2,0257	5,5422E-13	46,0000	3,0021	0,00012128	55,9996
1,858	2,0257	5,3291E-13	46,0000	3,0021	0,00012056	55,9996
1,86	2,0257	5,258E-13	46,0000	3,0021	0,00011984	55,9996
1,862	2,0257	5,1159E-13	46,0000	3,0021	0,00011913	55,9996

1,864	2,0257	4,9738E-13	46,0000	3,0021	0,00011843	55,9996
1,866	2,0257	4,9027E-13	46,0000	3,0021	0,00011772	55,9996
1,868	2,0257	4,7606E-13	46,0000	3,0021	0,00011702	55,9996
1,87	2,0257	4,6185E-13	46,0000	3,0021	0,00011633	55,9996
1,872	2,0257	4,5475E-13	46,0000	3,0021	0,00011564	55,9996
1,874	2,0257	4,3343E-13	46,0000	3,0021	0,00011495	55,9996
1,876	2,0257	4,2633E-13	46,0000	3,0021	0,00011427	55,9996
1,878	2,0257	4,1211E-13	46,0000	3,0021	0,00011359	55,9996
1,88	2,0257	3,979E-13	46,0000	3,0021	0,00011292	55,9996
1,882	2,0257	3,908E-13	46,0000	3,0021	0,00011225	55,9996
1,884	2,0257	3,6948E-13	46,0000	3,0021	0,00011158	55,9996
1,886	2,0257	3,6238E-13	46,0000	3,0021	0,00011092	55,9997
1,888	2,0257	3,4106E-13	46,0000	3,0021	0,00011026	55,9997
1,89	2,0257	3,2685E-13	46,0000	3,0021	0,0001096	55,9997
1,892	2,0257	3,2685E-13	46,0000	3,0021	0,00010895	55,9997
1,894	2,0257	3,1264E-13	46,0000	3,0021	0,00010831	55,9997
1,896	2,0257	3,0553E-13	46,0000	3,0021	0,00010766	55,9997
1,898	2,0257	3,0553E-13	46,0000	3,0021	0,00010702	55,9997
1,9	2,0257	2,9843E-13	46,0000	3,0021	0,00010639	55,9997
1,902	2,0257	2,9843E-13	46,0000	3,0021	0,00010576	55,9997
1,904	2,0257	2,9132E-13	46,0000	3,0021	0,00010513	55,9997
1,906	2,0257	2,7711E-13	46,0000	3,0021	0,0001045	55,9997
1,908	2,0257	2,7001E-13	46,0000	3,0021	0,00010388	55,9997
1,91	2,0257	2,7001E-13	46,0000	3,0022	0,00010327	55,9997
1,912	2,0257	2,629E-13	46,0000	3,0022	0,00010265	55,9997
1,914	2,0257	2,558E-13	46,0000	3,0022	0,00010204	55,9997
1,916	2,0257	2,4158E-13	46,0000	3,0022	0,00010144	55,9997
1,918	2,0257	2,4158E-13	46,0000	3,0022	0,00010084	55,9997
1,92	2,0257	2,3448E-13	46,0000	3,0022	0,00010024	55,9997
1,922	2,0257	2,3448E-13	46,0000	3,0022	9,9642E-05	55,9997
1,924	2,0257	2,2737E-13	46,0000	3,0022	9,905E-05	55,9997
1,926	2,0257	2,1316E-13	46,0000	3,0022	9,8462E-05	55,9997
1,928	2,0257	2,0606E-13	46,0000	3,0022	9,7878E-05	55,9997
1,93	2,0257	2,0606E-13	46,0000	3,0022	9,7297E-05	55,9997
1,932	2,0257	1,9895E-13	46,0000	3,0022	9,6719E-05	55,9997
1,934	2,0257	1,9185E-13	46,0000	3,0022	9,6145E-05	55,9997
1,936	2,0257	1,9185E-13	46,0000	3,0022	9,5574E-05	55,9997
1,938	2,0257	1,7764E-13	46,0000	3,0022	9,5006E-05	55,9997
1,94	2,0257	1,7764E-13	46,0000	3,0022	9,4442E-05	55,9997
1,942	2,0257	1,7053E-13	46,0000	3,0022	9,3881E-05	55,9997
1,944	2,0257	1,6342E-13	46,0000	3,0022	9,3324E-05	55,9997
1,946	2,0257	1,5632E-13	46,0000	3,0022	9,277E-05	55,9997
1,948	2,0257	1,5632E-13	46,0000	3,0022	9,2219E-05	55,9997
1,95	2,0257	1,4211E-13	46,0000	3,0022	9,1672E-05	55,9997
1,952	2,0257	1,35E-13	46,0000	3,0022	9,1127E-05	55,9997

1,954	2,0257	1,279E-13	46,0000	3,0022	9,0586E-05	55,9997
1,956	2,0257	1,279E-13	46,0000	3,0022	9,0048E-05	55,9997
1,958	2,0257	1,1369E-13	46,0000	3,0022	8,9514E-05	55,9997
1,96	2,0257	1,1369E-13	46,0000	3,0022	8,8982E-05	55,9997
1,962	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	8,8454E-05	55,9997
1,964	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	8,7929E-05	55,9997
1,966	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	8,7407E-05	55,9997
1,968	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	8,6888E-05	55,9997
1,97	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	8,6372E-05	55,9997
1,972	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	8,5859E-05	55,9997
1,974	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	8,5349E-05	55,9997
1,976	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	8,4842E-05	55,9997
1,978	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	8,4339E-05	55,9997
1,98	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	8,3838E-05	55,9997
1,982	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	8,334E-05	55,9997
1,984	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	8,2845E-05	55,9997
1,986	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	8,2353E-05	55,9997
1,988	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	8,1864E-05	55,9997
1,99	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	8,1378E-05	55,9997
1,992	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	8,0895E-05	55,9997
1,994	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	8,0415E-05	55,9997
1,996	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	7,9937E-05	55,9997
1,998	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	7,9463E-05	55,9998
2	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	7,8991E-05	55,9998
2,002	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	7,8522E-05	55,9998
2,004	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	7,8056E-05	55,9998
2,006	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	7,7592E-05	55,9998
2,008	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	7,7131E-05	55,9998
2,01	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	7,6674E-05	55,9998
2,012	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	7,6218E-05	55,9998
2,014	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	7,5766E-05	55,9998
2,016	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	7,5316E-05	55,9998
2,018	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	7,4869E-05	55,9998
2,02	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	7,4424E-05	55,9998
2,022	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	7,3982E-05	55,9998
2,024	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	7,3543E-05	55,9998
2,026	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	7,3106E-05	55,9998
2,028	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	7,2672E-05	55,9998
2,03	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	7,2241E-05	55,9998
2,032	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	7,1812E-05	55,9998
2,034	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	7,1385E-05	55,9998
2,036	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	7,0962E-05	55,9998
2,038	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	7,054E-05	55,9998
2,04	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	7,0121E-05	55,9998
2,042	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,9705E-05	55,9998

2,044	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,9291E-05	55,9998
2,046	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,888E-05	55,9998
2,048	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,8471E-05	55,9998
2,05	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,8064E-05	55,9998
2,052	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,766E-05	55,9998
2,054	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,7258E-05	55,9998
2,056	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,6859E-05	55,9998
2,058	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,6462E-05	55,9998
2,06	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,6067E-05	55,9998
2,062	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,5675E-05	55,9998
2,064	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,5285E-05	55,9998
2,066	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,4898E-05	55,9998
2,068	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,4512E-05	55,9998
2,07	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,4129E-05	55,9998
2,072	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,3749E-05	55,9998
2,074	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,337E-05	55,9998
2,076	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,2994E-05	55,9998
2,078	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,262E-05	55,9998
2,08	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,2248E-05	55,9998
2,082	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,1878E-05	55,9998
2,084	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,1511E-05	55,9998
2,086	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,1146E-05	55,9998
2,088	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,0783E-05	55,9998
2,09	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,0422E-05	55,9998
2,092	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	6,0063E-05	55,9998
2,094	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,9706E-05	55,9998
2,096	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,9352E-05	55,9998
2,098	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,8999E-05	55,9998
2,1	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,8649E-05	55,9998
2,102	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,8301E-05	55,9998
2,104	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,7955E-05	55,9998
2,106	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,7611E-05	55,9998
2,108	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,7269E-05	55,9998
2,11	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,6929E-05	55,9998
2,112	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,6591E-05	55,9998
2,114	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,6255E-05	55,9998
2,116	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,5921E-05	55,9998
2,118	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,5589E-05	55,9998
2,12	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,5258E-05	55,9998
2,122	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,493E-05	55,9998
2,124	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,4604E-05	55,9998
2,126	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,428E-05	55,9998
2,128	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,3958E-05	55,9998
2,13	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,3637E-05	55,9998
2,132	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,3319E-05	55,9998

2,134	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,3002E-05	55,9998
2,136	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,2688E-05	55,9998
2,138	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,2375E-05	55,9998
2,14	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,2064E-05	55,9998
2,142	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,1755E-05	55,9998
2,144	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,1447E-05	55,9998
2,146	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,1142E-05	55,9998
2,148	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,0838E-05	55,9998
2,15	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,0536E-05	55,9998
2,152	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	5,0236E-05	55,9998
2,154	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	4,9938E-05	55,9998
2,156	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	4,9642E-05	55,9998
2,158	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	4,9347E-05	55,9998
2,16	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	4,9054E-05	55,9998
2,162	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	4,8763E-05	55,9998
2,164	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	4,8473E-05	55,9998
2,166	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	4,8185E-05	55,9998
2,168	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	4,7899E-05	55,9998
2,17	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	4,7615E-05	55,9999
2,172	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	4,7332E-05	55,9999
2,174	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	4,7051E-05	55,9999
2,176	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	4,6772E-05	55,9999
2,178	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	4,6494E-05	55,9999
2,18	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	4,6218E-05	55,9999
2,182	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	4,5943E-05	55,9999
2,184	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	4,5671E-05	55,9999
2,186	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	4,5399E-05	55,9999
2,188	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	4,513E-05	55,9999
2,19	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	4,4862E-05	55,9999
2,192	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	4,4596E-05	55,9999
2,194	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	4,4331E-05	55,9999
2,196	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	4,4068E-05	55,9999
2,198	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	4,3806E-05	55,9999
2,2	2,0257	9,9476E-14	46,0000	3,0022	4,3546E-05	55,9999

Fuente: Autores del proyecto

ANEXO J. RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS DOS APLICACIONES ABORDADAS EN EL PROYECTO

De acuerdo al desarrollo del control de nivel en lazo abierto, se obtienen los resultados presentados en la TABLA J1.

Tabla J1. Resultados obtenidos a partir del desarrollo del control de nivel en lazo abierto de un proceso de mezclado de aceite de oliva.

Datos de entrenamiento			Datos FIS sugeno			Datos FIS sugeno entrenado		
F0	F2	H	F0	F2	H	F0	F2	H
28	4	0,9803	28	4	1	28	4	0,977
28	5	1,0426	28	5	1,07	28	5	1,04
28	6	1,1067	28	6	1,13	28	6	1,1
28	7	1,1728	28	7	1,2	28	7	1,17
28	8	1,2408	28	8	1,27	28	8	1,24
28	9	1,3107	28	9	1,33	28	9	1,31
28	10	1,3826	28	10	1,4	28	10	1,38
28	11	1,4563	28	11	1,47	28	11	1,45
28	12	1,5320	28	12	1,53	28	12	1,53
28	13	1,6096	28	13	1,6	28	13	1,6
28	14	1,6891	28	14	1,7	28	14	1,69
28	15	1,7705	28	15	1,8	28	15	1,77
28	16	1,8538	28	16	1,9	28	16	1,85
32	4	1,2408	32	4	1,44	32	4	1,25
32	5	1,3107	32	5	1,51	32	5	1,32
32	6	1,3825	32	6	1,57	32	6	1,39
32	7	1,4563	32	7	1,64	32	7	1,46
32	8	1,5320	32	8	1,73	32	8	1,54
32	9	1,6095	32	9	1,81	32	9	1,62
32	10	1,6890	32	10	1,9	32	10	1,69
32	11	1,7705	32	11	1,98	32	11	1,78
32	12	1,8538	32	12	2,07	32	12	1,86
32	13	1,9391	32	13	2,15	32	13	1,94
32	14	2,0262	32	14	2,25	32	14	2,03
32	15	2,1153	32	15	2,35	32	15	2,12
32	16	2,2063	32	16	2,45	32	16	2,21
36	4	1,5320	36	4	1,86	36	4	1,53
36	5	1,6095	36	5	1,93	36	5	1,6
36	6	1,6890	36	6	2	36	6	1,68
36	7	1,7704	36	7	2,07	36	7	1,76
36	8	1,8538	36	8	2,17	36	8	1,85
36	9	1,9390	36	9	2,27	36	9	1,93
36	10	2,0262	36	10	2,37	36	10	2,02
36	11	2,1153	36	11	2,48	36	11	2,11

36	12	2,2062	36	12	2,58	36	12	2,2
36	13	2,2991	36	13	2,68	36	13	2,29
36	14	2,3939	36	14	2,78	36	14	2,39
36	15	2,4906	36	15	2,88	36	15	2,49
36	16	2,5892	36	16	2,98	36	16	2,58
39	4	1,7704	39	4	2,11	39	4	1,77
39	5	1,8538	39	5	2,19	39	5	1,86
39	6	1,9390	39	6	2,28	39	6	1,94
39	7	2,0262	39	7	2,36	39	7	2,03
39	8	2,1152	39	8	2,46	39	8	2,12
39	9	2,2062	39	9	2,56	39	9	2,21
39	10	2,2991	39	10	2,66	39	10	2,3
39	11	2,3939	39	11	2,78	39	11	2,4
39	12	2,4906	39	12	2,9	39	12	2,49
39	13	2,5891	39	13	3,01	39	13	2,59
39	14	2,6896	39	14	3,11	39	14	2,69
39	15	2,7920	39	15	3,21	39	15	2,8
39	16	2,8963	39	16	3,31	39	16	2,9
42	4	2,0261	42	4	2,36	42	4	2,02
42	5	2,1152	42	5	2,46	42	5	2,11
42	6	2,2062	42	6	2,55	42	6	2,2
42	7	2,2990	42	7	2,65	42	7	2,29
42	8	2,3938	42	8	2,75	42	8	2,39
42	9	2,4905	42	9	2,85	42	9	2,49
42	10	2,5891	42	10	2,95	42	10	2,58
42	11	2,6896	42	11	3,08	42	11	2,69
42	12	2,7919	42	12	3,21	42	12	2,79
42	13	2,8962	42	13	3,34	42	13	2,89
42	14	3,0023	42	14	3,44	42	14	3
42	15	3,1103	42	15	3,54	42	15	3,11
42	16	3,2202	42	16	3,64	42	16	3,21
44	4	2,2061	44	4	2,54	44	4	2,2
44	5	2,2990	44	5	2,64	44	5	2,3
44	6	2,3938	44	6	2,73	44	6	2,39
44	7	2,4905	44	7	2,82	44	7	2,49
44	8	2,5890	44	8	2,92	44	8	2,59
44	9	2,6895	44	9	3,02	44	9	2,69
44	10	2,7919	44	10	3,12	44	10	2,79
44	11	2,8961	44	11	3,26	44	11	2,89
44	12	3,0022	44	12	3,39	44	12	3
44	13	3,1103	44	13	3,52	44	13	3,11
44	14	3,2201	44	14	3,63	44	14	3,22
44	15	3,3319	44	15	3,74	44	15	3,33
44	16	3,4455	44	16	3,84	44	16	3,44
46	4	2,3937	46	4	2,74	46	4	2,4
46	5	2,4904	46	5	2,82	46	5	2,49
46	6	2,5890	46	6	2,91	46	6	2,59
46	7	2,6894	46	7	2,99	46	7	2,69
46	8	2,7918	46	8	3,09	46	8	2,79

46	9	2,8960	46	9	3,19	46	9	2,9
46	10	3,0022	46	10	3,29	46	10	3
46	11	3,1102	46	11	3,42	46	11	3,11
46	12	3,2201	46	12	3,56	46	12	3,22
46	13	3,3318	46	13	3,69	46	13	3,33
46	14	3,4454	46	14	3,81	46	14	3,45
46	15	3,5609	46	15	3,92	46	15	3,57
46	16	3,6782	46	16	4,04	46	16	3,69
49	4	2,6894	49	4	3,03	49	4	2,68
49	5	2,7917	49	5	3,1	49	5	2,79
49	6	2,8959	49	6	3,17	49	6	2,89
49	7	3,0020	49	7	3,24	49	7	2,99
49	8	3,1100	49	8	3,34	49	8	3,1
49	9	3,2199	49	9	3,44	49	9	3,21
49	10	3,3316	49	10	3,54	49	10	3,32
49	11	3,4452	49	11	3,67	49	11	3,44
49	12	3,5607	49	12	3,8	49	12	3,55
49	13	3,6780	49	13	3,94	49	13	3,66
49	14	3,7971	49	14	4,07	49	14	3,8
49	15	3,9181	49	15	4,2	49	15	3,92
49	16	4,0410	49	16	4,33	49	16	4,05
52	4	3,0019	52	4	3,24	52	4	3
52	5	3,1099	52	5	3,32	52	5	3,11
52	6	3,2197	52	6	3,4	52	6	3,22
52	7	3,3315	52	7	3,49	52	7	3,33
52	8	3,4450	52	8	3,6	52	8	3,45
52	9	3,5605	52	9	3,71	52	9	3,56
52	10	3,6778	52	10	3,82	52	10	3,68
52	11	3,7969	52	11	3,96	52	11	3,8
52	12	3,9179	52	12	4,1	52	12	3,92
52	13	4,0407	52	13	4,25	52	13	4,04
52	14	4,1653	52	14	4,36	52	14	4,17
52	15	4,2918	52	15	4,47	52	15	4,29
52	16	4,4200	52	16	4,59	52	16	4,41
54	4	3,2196	54	4	3,36	54	4	3,22
54	5	3,3313	54	5	3,46	54	5	3,34
54	6	3,4449	54	6	3,56	54	6	3,45
54	7	3,5603	54	7	3,65	54	7	3,56
54	8	3,6776	54	8	3,77	54	8	3,68
54	9	3,7967	54	9	3,89	54	9	3,8
54	10	3,9177	54	10	4,01	54	10	3,92
54	11	4,0405	54	11	4,16	54	11	4,05
54	12	4,1651	54	12	4,32	54	12	4,17
54	13	4,2915	54	13	4,47	54	13	4,3
54	14	4,4198	54	14	4,56	54	14	4,42
54	15	4,5498	54	15	4,66	54	15	4,54
54	16	4,6816	54	16	4,75	54	16	4,65
57	4	3,5601	57	4	3,55	57	4	3,56
57	5	3,6773	57	5	3,67	57	5	3,67

57	6	3,7964	57	6	3,78	57	6	3,79
57	7	3,9174	57	7	3,9	57	7	3,91
57	8	4,0401	57	8	4,03	57	8	4,04
57	9	4,1647	57	9	4,17	57	9	4,16
57	10	4,2911	57	10	4,3	57	10	4,28
57	11	4,4194	57	11	4,47	57	11	4,42
57	12	4,5494	57	12	4,63	57	12	4,55
57	13	4,6812	57	13	4,8	57	13	4,69
57	14	4,8148	57	14	4,87	57	14	4,8
57	15	4,9502	57	15	4,93	57	15	4,91
57	16	4,9502	57	16	5	57	16	5,01

Fuente: Autores del proyecto

De acuerdo al desarrollo del control de pH, se obtienen los resultados presentados en la TABLA J2.

Tabla J2. Resultados obtenidos a partir del desarrollo del control de pH de un proceso de neutralización de aguas residuales.

Datos FIS Mamdani			Datos FIS sugeno			Datos FIS sugeno entrenado		
v	e	S	v	e	S	v	e	S
-4	-7	-0,726	-4	-7	-0,72	-4	-7	-0,716
-4	-6	-0,726	-4	-6	-0,72	-4	-6	-0,716
-4	-5	-0,711	-4	-5	-0,704	-4	-5	-0,702
-4	-4	-0,53	-4	-4	-0,588	-4	-4	-0,565
-4	-3	-0,445	-4	-3	-0,507	-4	-3	-0,464
-4	-2	-0,394	-4	-2	-0,442	-4	-2	-0,337
-4	-1	-0,199	-4	-1	-0,198	-4	-1	-0,209
-4	0	-0,05	-4	0	-0,045	-4	0	-0,05
-4	1	0,0843	-4	1	-0,0625	-4	1	0,0845
-4	2	0,15	-4	2	0,173	-4	2	0,186
-4	3	0,249	-4	3	0,225	-4	3	0,236
-4	4	0,342	-4	4	0,28	-4	4	0,306
-4	5	0,396	-4	5	0,359	-4	5	0,4
-4	6	0,4	-4	6	0,37	-4	6	0,409
-4	7	0,4	-4	7	0,37	-4	7	0,409
-3,5	-7	-0,726	-3,5	-7	-0,72	-3,5	-7	-0,716
-3,5	-6	-0,726	-3,5	-6	-0,72	-3,5	-6	-0,716
-3,5	-5	-0,711	-3,5	-5	-0,704	-3,5	-5	-0,702
-3,5	-4	-0,563	-3,5	-4	-0,588	-3,5	-4	-0,565
-3,5	-3	-0,445	-3,5	-3	-0,507	-3,5	-3	-0,464

-3,5	-2	-0,394	-3,5	-2	-0,442	-3,5	-2	-0,373
-3,5	-1	-0,199	-3,5	-1	-0,198	-3,5	-1	-0,209
-3,5	0	-0,05	-3,5	0	-0,045	-3,5	0	-0,05
-3,5	1	0,0843	-3,5	1	-0,0626	-3,5	1	0,0845
-3,5	2	0,15	-3,5	2	0,173	-3,5	2	0,186
-3,5	3	0,249	-3,5	3	0,225	-3,5	3	0,236
-3,5	4	0,342	-3,5	4	0,28	-3,5	4	0,306
-3,5	5	0,396	-3,5	5	0,359	-3,5	5	0,4
-3,5	6	0,4	-3,5	6	0,37	-3,5	6	0,409
-3,5	7	0,4	-3,5	7	0,37	-3,5	7	0,409
-3	-7	-0,726	-3	-7	-0,72	-3	-7	-0,716
-3	-6	-0,726	-3	-6	-0,72	-3	-6	-0,716
-3	-5	-0,711	-3	-5	-0,704	-3	-5	-0,702
-3	-4	-0,563	-3	-4	-0,588	-3	-4	-0,565
-3	-3	-0,445	-3	-3	-0,507	-3	-3	-0,464
-3	-2	-0,394	-3	-2	-0,442	-3	-2	-0,373
-3	-1	-0,199	-3	-1	-0,198	-3	-1	-0,209
-3	0	-0,05	-3	0	-0,045	-3	0	-0,05
-3	1	0,0843	-3	1	-0,0626	-3	1	0,0845
-3	2	0,15	-3	2	0,173	-3	2	0,186
-3	3	0,249	-3	3	0,225	-3	3	0,236
-3	4	0,342	-3	4	0,28	-3	4	0,306
-3	5	0,396	-3	5	0,359	-3	5	0,4
-3	6	0,4	-3	6	0,37	-3	6	0,409
-3	7	0,4	-3	7	0,37	-3	7	0,409
-2,5	-7	-0,716	-2,5	-7	-0,72	-2,5	-7	-0,716
-2,5	-6	-0,716	-2,5	-6	-0,72	-2,5	-6	-0,716
-2,5	-5	-0,702	-2,5	-5	-0,702	-2,5	-5	-0,701
-2,5	-4	-0,563	-2,5	-4	-0,588	-2,5	-4	-0,565
-2,5	-3	-0,448	-2,5	-3	-0,511	-2,5	-3	-0,468
-2,5	-2	-0,394	-2,5	-2	-0,442	-2,5	-2	-0,373
-2,5	-1	-0,201	-2,5	-1	-0,2	-2,5	-1	-0,211
-2,5	0	-0,05	-2,5	0	-0,045	-2,5	0	-0,05
-2,5	1	0,0853	-2,5	1	-0,0603	-2,5	1	0,0854
-2,5	2	0,15	-2,5	2	0,173	-2,5	2	0,186
-2,5	3	0,252	-2,5	3	0,228	-2,5	3	0,239
-2,5	4	0,342	-2,5	4	0,28	-2,5	4	0,306
-2,5	5	0,396	-2,5	5	0,358	-2,5	5	0,399
-2,5	6	0,4	-2,5	6	0,37	-2,5	6	0,409
-2,5	7	0,4	-2,5	7	0,37	-2,5	7	0,409
-2	-7	-0,526	-2	-7	-0,551	-2	-7	-0,53
-2	-6	-0,526	-2	-6	-0,551	-2	-6	-0,53

-2	-5	-0,522	-2	-5	-0,536	-2	-5	-0,516
-2	-4	-0,479	-2	-4	-0,463	-2	-4	-0,428
-2	-3	-0,383	-2	-3	-0,407	-2	-3	-0,363
-2	-2	-0,329	-2	-2	-0,344	-2	-2	-0,28
-2	-1	-0,203	-2	-1	-0,193	-2	-1	-0,174
-2	0	-0,05	-2	0	-0,0419	-2	0	-0,05
-2	1	0,0861	-2	1	0,0339	-2	1	0,0356
-2	2	0,15	-2	2	0,161	-2	2	0,178
-2	3	0,254	-2	3	0,222	-2	3	0,251
-2	4	0,342	-2	4	0,277	-2	4	0,308
-2	5	0,396	-2	5	0,362	-2	5	0,396
-2	6	0,4	-2	6	0,379	-2	6	0,408
-2	7	0,4	-2	7	0,379	-2	7	0,408
-1,5	-7	-0,433	-1,5	-7	-0,48	-1,5	-7	-0,442
-1,5	-6	-0,433	-1,5	-6	-0,48	-1,5	-6	-0,442
-1,5	-5	-0,429	-1,5	-5	-0,47	-1,5	-5	-0,434
-1,5	-4	-0,38	-1,5	-4	-0,403	-1,5	-4	-0,362
-1,5	-3	-0,318	-1,5	-3	-0,367	-1,5	-3	-0,322
-1,5	-2	-0,238	-1,5	-2	-0,298	-1,5	-2	-0,237
-1,5	-1	-0,216	-1,5	-1	-0,193	-1,5	-1	-0,161
-1,5	0	-0,05	-1,5	0	-0,0406	-1,5	0	-0,05
-1,5	1	0,0843	-1,5	1	0,0735	-1,5	1	0,0134
-1,5	2	0,15	-1,5	2	0,147	-1,5	2	0,168
-1,5	3	0,249	-1,5	3	0,216	-1,5	3	0,254
-1,5	4	0,342	-1,5	4	0,274	-1,5	4	0,308
-1,5	5	0,396	-1,5	5	0,362	-1,5	5	0,393
-1,5	6	0,4	-1,5	6	0,383	-1,5	6	0,408
-1,5	7	0,4	-1,5	7	0,383	-1,5	7	0,408
-1	-7	-0,4	-1	-7	-0,45	-1	-7	-0,402
-1	-6	-0,4	-1	-6	-0,45	-1	-6	-0,402
-1	-5	-0,396	-1	-5	-0,439	-1	-5	-0,393
-1	-4	-0,342	-1	-4	-0,368	-1	-4	-0,318
-1	-3	-0,254	-1	-3	-0,322	-1	-3	-0,265
-1	-2	-0,15	-1	-2	-0,283	-1	-2	-0,215
-1	-1	-0,0861	-1	-1	-0,179	-1	-1	-0,141
-1	0	-0,05	-1	0	-0,04	-1	0	-0,05
-1	1	-0,0861	-1	1	0,0847	-1	1	-0,0055
-1	2	0,15	-1	2	0,161	-1	2	0,176
-1	3	0,254	-1	3	0,207	-1	3	0,245
-1	4	0,342	-1	4	0,272	-1	4	0,308
-1	5	0,396	-1	5	0,369	-1	5	0,398
-1	6	0,4	-1	6	0,385	-1	6	0,408

-1	7	0,4	-1	7	0,385	-1	7	0,408
0	-7	-0,726	0	-7	-0,69	0	-7	-0,724
0	-6	-0,726	0	-6	-0,69	0	-6	-0,724
0	-5	-0,711	0	-5	-0,679	0	-5	-0,71
0	-4	-0,563	0	-4	-0,6	0	-4	-0,568
0	-3	-0,445	0	-3	-0,545	0	-3	-0,462
0	-2	-0,397	0	-2	-0,493	0	-2	-0,375
0	-1	-0,226	0	-1	-0,257	0	-1	-0,23
0	0	0,00	0	0	0,00089	0	0	1,91E-07
0	1	0,226	0	1	0,142	0	1	0,228
0	2	0,397	0	2	0,31	0	2	0,382
0	3	0,445	0	3	0,396	0	3	0,458
0	4	0,563	0	4	0,543	0	4	0,566
0	5	0,711	0	5	0,751	0	5	0,711
0	6	0,726	0	6	0,78	0	6	0,725
0	7	0,726	0	7	0,78	0	7	0,725
0,5	-7	-0,4	0,5	-7	-0,38	0,5	-7	-0,408
0,5	-6	-0,4	0,5	-6	-0,38	0,5	-6	-0,408
0,5	-5	-0,396	0,5	-5	-0,368	0,5	-5	-0,399
0,5	-4	-0,342	0,5	-4	-0,28	0,5	-4	-0,308
0,5	-3	-0,249	0,5	-3	-0,218	0,5	-3	-0,24
0,5	-2	-0,15	0,5	-2	-0,179	0,5	-2	-0,181
0,5	-1	-0,0843	0,5	-1	-0,084	0,5	-1	-0,0777
0,5	0	-1,72E-19	0,5	0	0,00	0,5	0	7,94E-08
0,5	1	0,0843	0,5	1	0,0974	0,5	1	0,0789
0,5	2	0,15	0,5	2	0,198	0,5	2	0,185
0,5	3	0,249	0,5	3	0,232	0,5	3	0,236
0,5	4	0,342	0,5	4	0,281	0,5	4	0,306
0,5	5	0,396	0,5	5	0,35	0,5	5	0,399
0,5	6	0,4	0,5	6	0,36	0,5	6	0,408
0,5	7	0,4	0,5	7	0,36	0,5	7	0,408
1	-7	-0,4	1	-7	-0,41	1	-7	-0,409
1	-6	-0,4	1	-6	-0,41	1	-6	-0,409
1	-5	-0,396	1	-5	-0,399	1	-5	-0,398
1	-4	-0,342	1	-4	-0,331	1	-4	-0,307
1	-3	-0,254	1	-3	-0,286	1	-3	-0,244
1	-2	-0,15	1	-2	-0,243	1	-2	-0,18
1	-1	-0,0861	1	-1	-0,0969	1	-1	-0,0777
1	0	0,05	1	0	0,051	1	0	0,05
1	1	0,202	1	1	0,183	1	1	0,2
1	2	0,394	1	2	0,449	1	2	0,377
1	3	0,449	1	3	0,519	1	3	0,464

1	4	0,563	1	4	0,589	1	4	0,562
1	5	0,699	1	5	0,693	1	5	0,702
1	6	0,713	1	6	0,71	1	6	0,717
1	7	0,713	1	7	0,71	1	7	0,717
1,5	-7	-0,4	1,5	-7	-0,408	1,5	-7	-0,408
1,5	-6	-0,4	1,5	-6	-0,408	1,5	-6	-0,408
1,5	-5	-0,396	1,5	-5	-0,393	1,5	-5	-0,392
1,5	-4	-0,342	1,5	-4	-0,331	1,5	-4	-0,308
1,5	-3	-0,249	1,5	-3	-0,291	1,5	-3	-0,251
1,5	-2	-0,15	1,5	-2	0,234	1,5	-2	-0,172
1,5	-1	-0,0843	1,5	-1	-0,103	1,5	-1	-0,0825
1,5	0	0,05	1,5	0	0,0519	1,5	0	0,05
1,5	1	0,199	1,5	1	0,196	1,5	1	0,209
1,5	2	0,394	1,5	2	0,431	1,5	2	0,36
1,5	3	0,445	1,5	3	0,526	1,5	3	0,476
1,5	4	0,563	1,5	4	0,588	1,5	4	0,563
1,5	5	0,711	1,5	5	0,683	1,5	5	0,694
1,5	6	0,726	1,5	6	0,708	1,5	6	0,718
1,5	7	0,726	1,5	7	0,708	1,5	7	0,718
2	-7	-0,4	2	-7	-0,404	2	-7	-0,408
2	-6	-0,4	2	-6	-0,404	2	-6	-0,408
2	-5	-0,396	2	-5	-0,392	2	-5	-0,394
2	-4	-0,342	2	-4	-0,332	2	-4	-0,308
2	-3	-0,254	2	-3	-0,292	2	-3	-0,251
2	-2	-0,15	2	-2	-0,244	2	-2	-0,176
2	-1	-0,0861	2	-1	-0,101	2	-1	-0,0803
2	0	0,05	2	0	0,054	2	0	0,05
2	1	0,202	2	1	0,198	2	1	0,206
2	2	0,394	2	2	0,441	2	2	0,372
2	3	0,449	2	3	0,522	2	3	0,475
2	4	0,563	2	4	0,585	2	4	0,564
2	5	0,699	2	5	0,682	2	5	0,699
2	6	0,713	2	6	0,703	2	6	0,719
2	7	0,713	2	7	0,703	2	7	0,719
2,5	-7	-0,4	2,5	-7	-0,395	2,5	-7	-0,407
2,5	-6	-0,4	2,5	-6	-0,395	2,5	-6	-0,407
2,5	-5	-0,396	2,5	-5	-0,386	2,5	-5	-0,396
2,5	-4	-0,342	2,5	-4	-0,329	2,5	-4	-0,307
2,5	-3	-0,252	2,5	-3	-0,291	2,5	-3	-0,243
2,5	-2	-0,15	2,5	-2	-0,252	2,5	-2	-0,181
2,5	-1	-0,0853	2,5	-1	-0,0999	2,5	-1	-0,0778
2,5	0	0,05	2,5	0	0,059	2,5	0	0,05

2,5	1	0,201	2,5	1	0,209	2,5	1	0,204
2,5	2	0,394	2,5	2	0,442	2,5	2	0,378
2,5	3	0,448	2,5	3	0,506	2,5	3	0,464
2,5	4	0,563	2,5	4	0,574	2,5	4	0,565
2,5	5	0,702	2,5	5	0,675	2,5	5	0,706
2,5	6	0,716	2,5	6	0,69	2,5	6	0,722
2,5	7	0,716	2,5	7	0,69	2,5	7	0,722
3	-7	-0,4	3	-7	-0,395	3	-7	-0,407
3	-6	-0,4	3	-6	-0,395	3	-6	-0,407
3	-5	-0,396	3	-5	-0,387	3	-5	-0,397
3	-4	-0,342	3	-4	-0,329	3	-4	-0,307
3	-3	-0,249	3	-3	-0,288	3	-3	-0,24
3	-2	-0,15	3	-2	-0,252	3	-2	-0,181
3	-1	-0,0843	3	-1	-0,0983	3	-1	-0,0765
3	0	0,05	3	0	0,059	3	0	0,05
3	1	0,199	3	1	0,206	3	1	0,202
3	2	0,394	3	2	0,442	3	2	0,378
3	3	0,445	3	3	0,502	3	3	0,459
3	4	0,563	3	4	0,574	3	4	0,565
3	5	0,711	3	5	0,676	3	5	0,708
3	6	0,726	3	6	0,69	3	6	0,722
3	7	0,726	3	7	0,69	3	7	0,722
3,5	-7	-0,4	3,5	-7	-0,395	3,5	-7	-0,407
3,5	-6	-0,4	3,5	-6	-0,395	3,5	-6	-0,407
3,5	-5	-0,396	3,5	-5	-0,387	3,5	-5	-0,397
3,5	-4	-0,342	3,5	-4	-0,329	3,5	-4	-0,307
3,5	-3	-0,249	3,5	-3	-0,288	3,5	-3	-0,24
3,5	-2	-0,15	3,5	-2	-0,252	3,5	-2	-0,181
3,5	-1	-0,0843	3,5	-1	-0,0983	3,5	-1	-0,0765
3,5	0	0,05	3,5	0	0,059	3,5	0	0,05
3,5	1	0,199	3,5	1	0,206	3,5	1	0,202
3,5	2	0,394	3,5	2	0,442	3,5	2	0,378
3,5	3	0,445	3,5	3	0,502	3,5	3	0,459
3,5	4	0,563	3,5	4	0,574	3,5	4	0,565
3,5	5	0,711	3,5	5	0,676	3,5	5	0,708
3,5	6	0,726	3,5	6	0,69	3,5	6	0,722
3,5	7	0,726	3,5	7	0,69	3,5	7	0,722
4	-7	-0,4	4	-7	-0,395	4	-7	-0,407
4	-6	-0,4	4	-6	-0,395	4	-6	-0,407
4	-5	-0,396	4	-5	-0,387	4	-5	-0,397
4	-4	-0,342	4	-4	-0,329	4	-4	-0,307
4	-3	-0,249	4	-3	-0,288	4	-3	-0,24

4	-2	-0,15	4	-2	-0,252	4	-2	-0,181
4	-1	-0,0843	4	-1	-0,0983	4	-1	-0,0765
4	0	0,05	4	0	0,059	4	0	0,05
4	1	0,199	4	1	0,206	4	1	0,202
4	2	0,394	4	2	0,442	4	2	0,378
4	3	0,445	4	3	0,502	4	3	0,459
4	4	0,563	4	4	0,574	4	4	0,565
4	5	0,711	4	5	0,676	4	5	0,708
4	6	0,726	4	6	0,69	4	6	0,722
4	7	0,726	4	7	0,69	4	7	0,722

Fuente: Autores del proyecto