

**APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE COLAS Y ANFIS PARA UN SISTEMA DE
REDES DE LÍNEAS DE ESPERA CON BLOQUEOS Y REPROCESOS**



**UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**

CHANTAL ZULEIMA GONZALEZ GONZALEZ

Cod. 20141015234

Proyecto de Grado

Director

Ing. Eduyn Ramiro López Santana, PhD.

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

BOGOTÁ D.C

2021

Contenido

INTRODUCCIÓN	6
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	7
1.1 Antecedentes	7
1.2 Planteamiento del problema	9
1.3. Objetivos de la investigación.....	10
1.3.1 Objetivo General	10
1.3.2. Objetivos Específicos.....	10
1.4 Marco Metodológico.....	10
CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL	13
2.1 Marco teórico.....	13
2.1.1 Sistemas de Colas	13
2.1.2. Redes de Colas	17
2.1.3 ANFIS	19
2.2 Estado del arte	22
CAPITULO III: MODELO PROPUESTO	34
CAPITULO IV: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CASO DE ESTUDIO	38
Modelación de sistema de inferencia difusa Mamdani FIS	39
CAPITULO V: RESULTADOS Y ANALISIS.....	50
5.1 Modelo sistema de colas.....	50
5.2 Modelo red de colas.....	64
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
BIBLIOGRAFIA.....	92
ANEXOS	96

Lista de tablas

Tabla 1 Resumen del alcance de las investigaciones de los antecedentes del estudio	8
Tabla 2 Actividades metodológicas, resultados y recursos a emplear en el estudio de investigación	11
Tabla 3 Estado del arte	23
Tabla 4. Parámetros funciones de pertenencia Fuzzy Inference System (FIS)	40
Tabla 5 Resumen de los resultados de aplicación de las políticas de secuenciación en el sistema de colas.....	64
Tabla 6 Resumen de los resultados de aplicación de las políticas de secuenciación en la red de colas.....	84

Lista de figuras

Figura 1 Sistema de Colas.....	14
Figura 2 Red de Colas	17
Figura 3 Sistema de Inferencia difusa.....	19
Figura 4 Arquitectura de ANFIS con nueve reglas	20
Figura 5 Diseño metodológico del ANFIS.....	35
Figura 6 Selección de método FIS Neuro Fuzzy Designer	36
Figura 7 Funciones de pertenencia, Mamdani.	37
Figura 8 Mamdani, Controlador difuso.....	39
Figura 9 Reglas controlador difuso Mamdani.....	41
Figura 10 Grafica Longitud de fila vs utilización vs tiempo de flujo	41
Figura 11 Grafica Bloqueo vs utilización vs tiempo de flujo	42
Figura 12 Grafica Bloqueo vs Longitud de cola vs tiempo de flujo	42
Figura 13 Diseño del ANFIS (training data).....	43
Figura 14 Variables de entrada y salida ANFIS.....	44
Figura 15 Estructura del ANFIS	44
Figura 16 Modelo del Sistema de colas	47
Figura 17 Modelo de la Red de colas.....	48
Figura 18 Resultados entrenamiento de error escenario 1 sistema de colas en 100 épocas (I) método híbrido y (II) retropropagación.....	51
Figura 19 Resultados entrenamiento de error escenario 1 sistema de colas en 500 épocas (I) método híbrido y (II) retropropagación.....	51
Figura 20 Resultados entrenamiento de error escenario 1 sistema de colas en 1000 épocas (I) método híbrido y (II) retropropagación.....	52
Figura 21 Resultados ANFIS propuesto para el escenario 1 del sistema de colas (I)Reglas de decisión y (II) Grafica de superficie.....	52
Figura 22 Resultados Escenario 1 del bloqueo del modelo de colas para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable	53
Figura 23 Resultados Escenario 1 de utilización del modelo de colas para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable	54
Figura 24 Resultados Escenario 1 de longitud de cola del modelo de colas para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	54

Figura 25 Resultados entrenamiento de error escenario 2 sistema de colas en 100 épocas (I) método híbrido y (II) retropropagación.....	55
Figura 26 Resultados entrenamiento de error escenario 2 en 500 épocas (I) método híbrido y (II) retropropagación.....	56
Figura 27 Resultados entrenamiento de error escenario 2 en 1000 épocas (I) método híbrido y (II) retropropagación.....	56
Figura 28 Resultados ANFIS propuesto para el escenario 2 del sistema de colas (I)Reglas de decisión y (II) Grafica de superficie.....	57
Figura 29 Resultados escenario 2 del bloqueo del modelo de colas para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	57
Figura 30 Resultados escenario 2 de utilización del modelo de colas para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	58
Figura 31 Resultados escenario 2 de Longitud de cola del modelo de colas para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	59
Figura 32 Resultados entrenamiento de error escenario 3 en 100 épocas (I) método híbrido y (II) retropropagación.....	60
Figura 33 Resultados entrenamiento de error escenario 3 en 500 épocas (I) método híbrido y (II) retropropagación.....	60
Figura 34 Resultados entrenamiento de error escenario 3 en 1000 épocas (I) método híbrido y (II) retropropagación.....	61
Figura 35 Resultados ANFIS propuesto para el escenario 3 del sistema de colas (I)Reglas de decisión y (II) Grafica de superficie.....	61
Figura 36 Resultados escenario 3 de bloqueo del modelo de colas para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	62
Figura 37 Resultados escenario 3 de utilización del modelo de colas para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	63
Figura 38 Resultados escenario 3 de longitud de cola del modelo de colas para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	63
Figura 39 Resultados de bloqueo escenario 1, estación 1 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	65
Figura 40 Resultados de utilización escenario 1, estación 1 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	66
Figura 41 Resultados de longitud de cola escenario 1, estación 1 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	66
Figura 42 Resultados de bloqueo escenario 1, estación 2 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	67
Figura 43 Resultados de utilización escenario 1, estación 2 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	68
Figura 44 Resultados de longitud de cola escenario 1, estación 2 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	69
Figura 45 Resultados de bloqueo escenario 1, estación 3 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	70
Figura 46 Resultados de utilización escenario 1, estación 3 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	70
Figura 47 Resultados de longitud de cola escenario 1, estación 3 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	71
Figura 48 Resultados de bloqueo escenario 2, estación 1 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	72

Figura 49 Resultados de utilización escenario 2, estación 1 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	72
Figura 50 Resultados de longitud de cola escenario 2, estación 1 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	73
Figura 51 Resultados de bloqueo escenario 2, estación 2 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	74
Figura 52 Resultados de utilización escenario 2, estación 2 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	74
Figura 53 Resultados de longitud de cola escenario 2, estación 2 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	75
Figura 54 Resultados de bloqueo escenario 2, estación 3 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	76
Figura 55 Resultados de utilización escenario 2, estación 3 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	76
Figura 56 Resultados de longitud de cola escenario 2, estación 3 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	77
Figura 57 Resultados de bloqueo escenario 3, estación 1 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	78
Figura 58 Resultados de utilización escenario 3, estación 1 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	79
Figura 59 Resultados de longitud de cola escenario 3, estación 1 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	79
Figura 60 Resultados de bloqueo escenario 3, estación 2 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	80
Figura 61 Resultados de utilización escenario 3, estación 2 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	81
Figura 62 Resultados de longitud de cola escenario 3, estación 2 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	81
Figura 63 Resultados de bloqueo escenario 3, estación 3 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	82
Figura 64 Resultados de utilización escenario 3, estación 3 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	83
Figura 65 Resultados de longitud de cola escenario 3, estación 3 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable.....	84
Figura 66 Modelo sistema de caso de estudio de un proceso hospitalario.....	85
Figura 67 Resultados de la generación del ANFIS en el entrenamiento de error con 1000 épocas con el método de optimización (I) híbrido (II) Retropropagación.	86
Figura 68 Resultados del sistema de caso de estudio del indicador de bloqueo para la estación de radicación (I) sin controlador y (II) ANFIS.....	86
Figura 69 Resultados del sistema del caso de estudio del indicador de utilización para la estación de radicación (I) sin controlador y (II) ANFIS.	87
Figura 70 Resultados del sistema del caso de estudio del indicador de longitud de cola para la estación de radicación (I) sin controlador y (II) caso de estudio ANFIS.	87
Figura 71 Resultados del sistema del caso de estudio del indicador de bloqueo para la estación de pertenencia (I) sin controlador y (II) caso de estudio ANFIS.	88
Figura 72 Resultados del sistema del caso de estudio del indicador de utilización para la estación de pertenencia (I) sin controlador y (II) caso de estudio ANFIS.	88
Figura 73 Resultados del sistema del caso de estudio del indicador de utilización para la estación de pertenencia (I) sin controlador y (II) caso de estudio ANFIS.	89

INTRODUCCIÓN

En la actualidad continuamente se evidencia la necesidad de aumentar la capacidad de respuesta de los sistemas de colas o redes desde la atención de servicio al cliente hasta la línea de producción, teniendo en cuenta los diferentes factores que generan una parada para el sistema lo que conlleva a un mayor uso de los recursos y en consecuencia aumento de los gastos en las organizaciones. Desde la teoría de colas se analiza cómo influyen las variables o factores sobre el rendimiento de un sistema y a su vez se realizan estudios que mejoren el desempeño general de cada uno, por esta razón este documento se desarrolla con el objetivo de analizar el comportamiento y desempeño del sistema de colas que presenta casos de bloqueos y reprocesos empleando un modelo combinado de líneas de espera y ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System).

En este caso se desarrolla una caracterización de las variables donde se establecen las reglas difusas por medio de etiquetas lingüísticas como bajo, medio y alto este es un nivel para cada variable y al combinarlos varía el tiempo de flujo estableciendo 27 reglas en total, a partir de estas reglas se crea el controlador difuso y el ANFIS se crea con la información extraída de una simulación discreta del modelo de sistema básico con distribución uniforme de la secuenciación de las entidades, por medio del software Matlab se crea un sistema de inferencia difusa para cada escenario establecido que se encarga de ubicar las entidades de arriba hacia los servidores con base en tres variables de entrada (utilización, longitud de cola y bloqueo) las cuales influyen de manera determinante en el comportamiento de la variable de salida el tiempo de flujo.

El documento se investiga en el primer capítulo cual es la problemática a tratar además de los antecedentes de este tipo de sistemas de colas, el siguiente capítulo se realiza una identificación de los estudios que se han desarrollado desde el año 2010 hasta la fecha que involucren variables o factores que intervienen en el funcionamiento del sistema y por otra parte las características de un sistema de inferencia difusa, en el otro capítulo se realiza la descripción del sistema generado en el estudio y cuál es su estructura de modelo, para finalmente en el capítulo 4 analizar el comportamiento del sistema de acuerdo con el rendimiento de las variables en los diferentes escenarios establecidos donde se evidencia una mejora notable del sistema en algunos de los casos en comparación con los métodos tradicionales de la teoría.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes

Para el desarrollo de esta investigación es necesario contar con un punto válido de partida, en el cual se presenten trabajos previos y aceptados ante la comunidad académica, de tal forma que le generen robustez, validez y una fuente confiable de información a la misma. Al explorar en la bibliografía se han encontrado diferentes autores que han trabajado de forma directa o indirecta acerca del tema de la presente investigación, algunos de ellos merecen una mención especial, ya que pueden servir en gran medida como sustento para el desarrollo de este trabajo.

Los principales autores que referencian un antecedente en este tema de investigación son:

Inicialmente se tienen a (López-Santana et al., 2017). con su artículo “A fuzzy inference system to scheduling tasks in queueing systems”, en el cual se propone utilizar un sistema de inferencia difusa para determinar el estado de las variables de estado en un sistema de colas que evidencia la mejora del rendimiento en comparación con la programación tradicional.

Por otro lado, este estudio contribuye en gran medida a la investigación debido a que presenta un análisis enfocado hacia los sistemas de colas y logra caracterizar algunos factores de éxito en esta área. Es posible que parte de esta investigación sea extrapolable para la identificación de las características que busca el presente estudio.

En segundo lugar, se tienen a (Sanga & Jain, 2019) quienes a través de “Cost optimization and ANFIS computing for admission control of M/M/1/K queue with general retrial times and discouragement ”, buscaron determinar los factores de control para un modelo de colas con procesos de arribo que tienen tiempos desanimados y de reintento por medio de los enfoques de ANFIS donde se evidencia la implementación con éxito del modelo para sistemas complejos.

Estos autores desarrollaron un análisis cuantitativo por medio del indicador de costos mínimo que se genera en el sistema de colas a través de las funciones del software Matlab en donde mostraron la diferencia de los resultados entre cada modelo, y como el ANFIS se adapta en mayor medida a los requerimientos del sistema.

Por su parte, (Joseph, 2020) a través de “Queuing Theory and Modeling Emergency Department Resource Utilization”, analizan la eficiencia del sistema de colas en un departamento de emergencias teniendo en cuenta la teoría de colas como modelo de simulación, donde se evidencia la diferencia que presentan los tiempos de llegada como los tiempos de servicios dependiendo el tipo de paciente que asista al lugar, con este análisis se identifican los objetivos a administrar para mejorar la respuesta del sistema.

Los autores Korenevskaya, M., Zayats, O., Ilyashenko, A., & Muliukha, V c en “Retrial Queuing System with Randomized Push-Out Mechanism and Non-Preemptive Priority” del 2019 buscaron determinar si la gestión de un sistema que presenta dos tipos de clientes con un mecanismo de gestión de búferes push-out aleatorio, es decir, se establece un bloqueo de ingreso para los clientes secundarios en el sistema, lo que permite reducir la cola que se genera y aumentar el rendimiento del modelo.

En otro contexto,(Li et al., 2018) con su trabajo sobre “Network-based queuing model for simulating passenger throughput at an airport security checkpoint” de 2018 describen distintos modelo con una combinación de estrategias para el sistema en las filas y el servicio que se presta donde se determina que dividir el sistema y generar una red abierta al dividir los procesos, mejora el rendimiento del mismo.

Los autores realizaron un analisis con el modelo ANFIS (Mucsi et al., 2011) en “An Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for estimating the number of vehicles for queue management at signalized intersections.” Por medio de la información que se recolecta de una intersección señalizada, en el cual se describe la aplicación del método de lógica difusa en conjunto con el NVDZ (programa para estimar la cantidad de autos en una zona) para contribuir con la gestión de las colas e identificar los cuellos de botella, se demostró que es factible.

Finalmente, (Chude-Olisah et al., 2013) en “Fuzzy-based dynamic distributed queue scheduling for packet switched networks”, Aborda la lógica difusa para la programación de colas para establecer un análisis del control para el tráfico de internet, con base en tres estacionalidades alta, media y baja, teniendo en cuenta variaciones como posible caída del paquete y límite de la cola. En los resultados se demuestra que la estrategia se adapta a los requerimientos del sistema y proporciona una buena utilización además de minimizar el retraso de la cola en comparación con las otras estrategias.

Como resultado de este análisis de las investigaciones que anteceden al presente estudio se estructura una tabla en la cual se resume el alcance de cada uno:

Tabla 1 Resumen del alcance de las investigaciones de los antecedentes del estudio

Autores	Alcance
(López-Santana et al., 2017)	Se evidencia la mejora en la respuesta de un sistema al secuenciar los servidores en un sistema de colas y una red de colas con un ANFIS.
(Sanga & Jain, 2019)	Se determina la efectividad en la integración de los enfoques de la teoría de colas y ANFIS en un sistema de colas que optimiza el costo en los procesos.
(Joseph, 2020)	Se establece la importancia de la teoría de colas ya que proporciona las bases del conocimiento que permiten analizar los factores determinantes en el rendimiento de un sistema de colas y generar mejoras.

(Li et al., 2018)	Se analiza el comportamiento de la red de colas en diferentes configuraciones según las características de las estaciones o puntos de atención que mejora su rendimiento de atención.
(Mucsi et al., 2011)	Se demuestra como el modelo del ANFIS permite aumentar la respuesta de un sistema de colas, al modificar su configuración y tiempos según lo requieren los agentes del sistema (cuellos de botella).
(Chude-Olisah et al., 2013)	Se compara el rendimiento del sistema al implementar la lógica difusa en su proceso y atender las limitaciones del sistema.

Fuente: Elaboración propia

En conclusión, los ANFIS que se aplican en sistemas de colas o redes permiten mejorar la capacidad de respuesta del sistema, al tener en cuenta las características que los diferencian como la atención de los clientes / su limitación en capacidad, o las variables que intervienen en el funcionamiento del mismo de manera directa como la utilización y tiempo de espera de los clientes/agentes, por lo cual se evidencia el potencial de integrar estos dos campos de investigación en sistemas productivos o de atención al cliente.

1.2 Planteamiento del problema

En la actualidad se está empezando a ver la alta aplicabilidad que tienen los procesos de simulación de las situaciones que se presentan en las organizaciones como alternativa de solución a diferentes problemas, tales como lo sería responder a los requerimientos del sistema que generan mayor tiempo de espera para los clientes para este caso se presenta un bloqueo sea por una parada programada o imprevista de las actividades además de los reprocesos sea por una inconformidad o una falla que inciden de manera directa en los resultados de las organizaciones y a lo mejor aún no han sido exploradas pero que generan una complejidad al sistema y una variación en su nivel de desempeño, por lo que, este es el momento para analizar la capacidad de respuesta del sistema, según los indicadores de la teoría de los tiempos de servicio y el tiempo medio en cola de acuerdo con el tipo de modelo que se aplique de acuerdo con el estudio desarrollado en el documento de los ingenieros.(López-Santana et al., 2019) donde se analiza un sistema de colas y una red de colas con unas características establecidas en el estudio.

¿Cómo secuenciar las actividades de un sistema de colas que presenta bloqueos y reprocesos teniendo en cuenta los indicadores de desempeño de utilización, longitud de cola y bloqueo?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

Analizar el comportamiento y desempeño del sistema de colas que presenta casos de bloqueos y reprocesos empleando un modelo combinado de líneas de espera y ANFIS.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar los conceptos necesarios del bloqueo y reproceso en un sistema, en conjunto con la programación de cada modelo necesario para comprender el comportamiento del mismo.
- Establecer las reglas y componentes del modelo de ANFIS y teoría de colas aplicable a la programación de trabajos en el sistema de redes de colas.
- Evaluar el comportamiento del modelo planteado en diferentes escenarios de simulación.

1.4 Marco Metodológico

Como ya se ha dicho, la finalidad de este trabajo investigativo es la de establecer el comportamiento y desempeño del sistema de colas. Por lo cual, el tipo de estudio más adecuado para esto es uno de carácter analítico, en el cual se pretende a través de la simulación del modelo, hacer un análisis de los comportamientos del sistema y la comparación con los marcos de referencia de la investigación por esta razón se realiza una recolección de información con los antecedentes del estudio.

Inicialmente se busca el desarrollo de un marco referencial sólido, que permita identificar los factores a analizar en el modelo y el procedimiento adecuado para simularlo en el software Matlab, posteriormente se pretende realizar la recolección y análisis de los datos e información asociada a los modelos de programación seleccionados, generando una comparación de la eficiencia de los indicadores de desempeño para el sistema.

Finalmente, se realizará una explicación clara de cómo influye el modelo en el sistema y como se convierte en un factor diferencial para el objeto de estudio.

Tabla 2 Actividades metodológicas, resultados y recursos a emplear en el estudio de investigación

Objetivo específico	Actividades	Resultados	Recursos empleados
Identificar los conceptos necesarios del bloqueo y reproceso en un sistema, en conjunto con la programación de cada modelo necesario para comprender el comportamiento del mismo	Establecer las características de programación de las variables de estudio Identificación de la metodología de sistemas de colas	Características del sistema a modelar Formulación el problema de estudio Modelo de programación para el caso de estudio	Fuentes secundarias de información (Bases de datos científicos)
Establecer las reglas y componentes del modelo de ANFIS y teoría de colas aplicable a la programación de trabajos en el sistema de redes de colas.	Revisión bibliográfica en las bases de artículos publicados acerca de la temática Desarrollar el modelo de reglas para aplicar a los escenarios Diseñar y estructurar el modelo ANFIS de acuerdo con las características del caso.	Selección de las reglas de decisión a implementar en el sistema de estudio. Modelo de reglas para los escenarios. Modelo ANFIS para el caso.	Fuentes secundarias de información (Bases de datos científicos)
Evaluar el comportamiento del modelo planteado en diferentes escenarios de simulación.	Implementar el modelo de Simulación de teoría de colas con las reglas establecidas. Identificar y generar datos para pruebas. Establecer los escenarios de simulación Ejecutar y analizar el comportamiento de los escenarios	Establecer los indicadores de desempeño de los modelos simulados. Datos de pruebas. Escenarios de simulación Análisis de los escenarios	Matlab

Fuente: Elaboración propia

1.5 Justificación

Por medio de los avances que se han generado en la ingeniería se destaca la simulación de procesos como un sistema de colas con los cuales analizar el comportamiento de los indicadores de desempeño del sistema de acuerdo con el tipo de modelo que se aplique es importante porque en la actualidad se requieren de estrategias que aporten una alternativa de solución a diferentes necesidades de las organizaciones para satisfacer los requerimientos de los clientes.

Las investigaciones que se ha desarrollado en los últimos años en ocasiones no tienen en cuenta las variables de los bloqueos y reprocesos en el sistema, por lo cual con base en estudios realizados por los autores al analizar un sistema de colas por medio de unas reglas de decisión al combinar la teoría de líneas de espera con la lógica difusa ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System). Es prudente hacer este tipo de estudio al ver oportunidades de mejora en los sistemas que cumplan con estas características tal como se ha nombrado en la definición del problema, aunque se encuentran más factores que inciden en el sistema, siempre es necesario aprovechar las nuevas metodologías para beneficiar los procesos en las organizaciones y apoyar la toma de decisiones.

Las posibles aplicaciones prácticas del sistema de inferencia difusa se presenta de la mano de los avances tecnológicos en este caso con los sensores como por ejemplo para máquinas automatizadas de acuerdo con unas especificaciones de los productos o artículos que se fabrican en una línea de producción se puede lograr una maximización del rendimiento por medio del análisis de los factores que inciden directamente en el sistema como puede ser la velocidad de la línea, la tasa de atención entre otros que ocasionan paradas o reprocesos en una operación.

CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL

En el siguiente capítulo se realiza una investigación de los campos de la ingeniería que tratan sobre la teoría de colas y la lógica difusa en este caso ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) en los sistemas, para establecer cuáles son los conceptos que preceden en estas áreas y su aplicación en diferentes áreas. Inicialmente se relaciona el marco teórico en el que se sustentan las teorías que se implementaran en el trabajo y el estado del arte donde se identifican cuáles han sido los estudios realizados en estos campos de acción hasta la fecha desde las bases de datos como Scopus y IEEE.

2.1 Marco teórico

2.1.1 Sistemas de Colas

Un sistema de colas hace referencia a un modelo de un sistema que presta un servicio sea para un cliente, producto o máquina que tienen unas propiedades de arribo para ser atendidos lo cual puede generar una cola en el proceso de espera de esta atención (Baldwin et al., 2003), en estos sistemas se destaca la capacidad de servicio que tiene una organización en alguno de sus procesos para generar un menor tiempo de espera. Es necesario conocer algunas medidas de desempeño con las cuales se estudian estos sistemas:

Para el análisis de estos sistemas se implementa la teoría de colas que se encarga de la simulación por medio de modelos matemáticos establecidos en los últimos años con unas propiedades específicas como lo determina el autor (Little & Graves, 2008) que establece una ley para el cálculo de una medida de desempeño del sistema de colas muy importante: el número promedio de clientes en un sistema (L) el cual se determina con la multiplicación entre la tasa promedio de llegada de los clientes al sistema (λ) por el tiempo promedio que el cliente está en el sistema (W). Con esta permite analizar cuál es el rendimiento de la cola de acuerdo con la información suministrada y de esta forma establecer las posibles acciones de mejora.

$$L = \lambda * W \quad (1)$$

Como también es la utilización del sistema la cual se determina con la tasa de servicio del sistema (μ) y la tasa de llegada de los clientes (λ), para determinar cuál es la capacidad de respuesta a los requerimientos de las operaciones en los procesos.

Como se identifica en la figura 1 las principales variables que se analizan en un sistema con la teoría de colas es el ingreso o tasa de llegada de los clientes, la longitud de la cola que se genera para esperar por un servicio y la capacidad de la estación de servicio que en conjunto determinan la utilización para las organizaciones o entidades que tienen procesos con estas características.

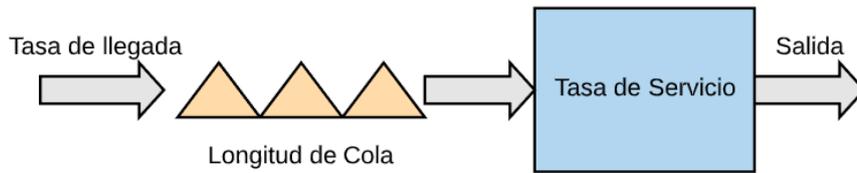


Figura 1 Sistema de Colas

Fuente: Elaboración propia

Como la ecuación de Little se encuentra otra que permite identificar la utilización de un sistema de colas y analiza más factores que influyen en la espera de un cliente o agente para recibir un servicio. La ecuación de Kingman (Kingman, 1961). Esta tiene en cuenta tres variables esenciales en la teoría de colas donde interrelaciona los tiempos en los procesos de llegada y servicio, la utilización del sistema y la variación del mismo, con el objetivo de cuantificar la cantidad de tiempo que dura el cliente, producto o agente en la cola.

$$W = V * U * T \quad (2)$$

En esta ecuación (2) la V hace referencia a la variabilidad del sistema, U es la utilización y T es el tiempo. Existen diferentes eventos que pueden generar una variación en los sistemas dependiendo sus características: En la realidad los sistemas no son perfectos por lo cual presentan paradas, reprocesos, bloqueos y estos se ocasionan según los requerimientos del proceso, como por ejemplo la compra de un medicamento el usuario debe dirigirse a la caja para pagar y enseguida al almacén para recibir su compra, si en este proceso ocurre una falla se debe reprocesar la actividad o iniciar de nuevo. (Korenevskaya et al., 2019).

Además del autor (Kendall, 1953) con su notación (A/S/c/X/v) que permite identificar las características principales del sistema, donde (A) es el proceso de arribo al sistema, (S) la distribución del tiempo del servicio y finalmente (c) la cantidad de servidores que prestan el servicio que pueden ser desde maquinas o personas, mientras (X) hace referencia a la capacidad del sistema es la suma de la cola y los servidores del mismo además del (v) que es la disciplina de la cola.

En estos casos los procesos de arribo determinan el patrón de llegada de los clientes y el proceso de servicio como se presta el servicio en la estación, estos se clasifican en diferentes tipos de distribuciones estadísticas de acuerdo con las particularidades del mismo pueden ser exponenciales, poisson, uniformes, normales, entre otras. De la misma forma la disciplina de la cola puede ser FIFO (First in, - first out) en donde el cliente que primero llegue a la fila ingresa a la estación, en cambio LIFO (Last in, first out) establece un orden de atención primero para la última persona en llegar al sistema, aunque este tipo de disciplina es poco utilizada, otra conocida es el RR (Round robin) que establece un servicio equitativo para los clientes y por último el equiprobable que determina un ponderado de la cantidad de servidores para atender a los requerimientos del cliente en el sistema.

Variabilidad en el sistema

Partiendo de la notación de Kendall se logran establecer algunas características únicas de cada sistema a estudiar por medio de la teoría de colas como es el caso de los bloqueos y los reprocesos como se especifica (Spearman, M. L., & Hopp, 1996), a continuación:

Bloqueos:

De acuerdo con los estudios previos a esta investigación se evidencia la necesidad de cuantificar el impacto o efecto que genera un bloqueo en una cola y desde la notación anterior se puede establecer con la letra X, donde la fila tiene una capacidad limitada de usuarios tanto en proceso como en cola que le permite tener un control del mismo que puede estar dado por políticas de la producción o por la utilización de las maquinas en los procesos. Por ejemplo: actualmente las empresas por la situación de emergencia que genera la pandemia no pueden recibir más de 20 personas en una oficina con ciertas características, esto representa un bloqueo para el sistema.

Este se puede establecer el efecto que tiene en un sistema G/G/1 se implementan las siguientes ecuaciones considerando las variables de desempeño de la teoría de colas, teniendo en cuenta la ecuación (2) y (1):

$$CT_q(G/G/1) = \left(\frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right) \left(\frac{u}{1-u} \right) t_e \quad (3)$$

La c_a^2 es el coeficiente de variabilidad de la tasa de arribos al sistema, c_e^2 es el coeficiente de variabilidad de la tasa efectiva de proceso en el sistema, la u representa la utilización y t_e tiempo efectivo del modelo.

Para el caso de un sistema de colas en donde la utilización es menor que 1 y con un bloqueo se tiene en cuenta la siguiente formula (Spearman, M. L., & Hopp, 1996):

$$WIP_{nb} = \left(\frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right) \left(\frac{u^2}{1-u} \right) + u \quad (4)$$

Y se calcula el rendimiento del sistema:

$$TH \approx \left(\frac{1-u \rho^{b-1}}{1-u^2 \rho^{b-1}} \right) r_a \quad (5)$$

Donde el ρ se determina con la fórmula:

$$\rho = \left(\frac{WIP_{nb} - u}{WIP_{nb}} \right) \quad (6)$$

Con base en estas fórmulas se determina el rendimiento de un sistema que presenta un bloqueo en la capacidad de la atención para el usuario.

Reprocesos:

Otro factor que incide en el rendimiento de un sistema de colas son las retroalimentaciones o reprocesos, esto ocurre generalmente en una etapa de gestión de calidad o por fallas en las operaciones. Para las organizaciones es necesario cuantificar el efecto que genera esta actividad para los sistemas de colas como se evidencia en la figura

2, esta se puede establecer por medio de una probabilidad de evento como es el caso que se tendrá en cuenta en este estudio.

De acuerdo con investigaciones (Spearman, M. L., & Hopp, 1996), el reproceso influye directamente en la utilización de los modelos dado que incrementa la cantidad de tiempo de los procesos, donde se debe tener en cuenta en el cálculo del desempeño del sistema para identificar el efecto directo que genera. Como se establece en la siguiente formulación matemática basada en la ecuación de Kingman, partiendo de supuestos valores para c_a^2 de 1, y de t_o de 1 y c_o de 0 para lograr evidenciar como se realiza la formulación de manera teórica:

$$\begin{aligned}
 CT &= \left(\frac{c_a^2 + c_e^2}{2} \right) \left(\frac{u}{1-u} \right) t_e + t_e \\
 &= \left(\frac{1+p}{2} \right) \left(\frac{(1/(3(1-p)))}{1-(1/(3(1-p)))} \right) \frac{1}{1-p} + \frac{1}{1-p} \quad (7)
 \end{aligned}$$

Por otra parte los autores (Chen & Ye, 2016) estableces las leyes de la variabilidad, utilización y reproceso de una línea de espera, especificando el impacto directo en la desviación estándar y media de los sistemas de cola. Sin embargo, generalmente se realiza el cálculo de este factor en software de simulación dada su complejidad de cálculo para un sistema con una gran cantidad de variables.

Variables de decisión

Las variables de decisión en este caso hacen referencia a los indicadores de desempeño, con base en el rendimiento de cada uno de estos se realiza la toma de decisiones en las organizaciones con el objetivo de optimizar los costos, tiempos y efectividad en los procesos que sean necesarios. En la presente investigación se establecen como variables principales la utilización, la longitud de cola, el bloqueo y el tiempo en espera, los cuales se explicarán enseguida (Singer, M., Donoso, P., & Scheller-Wolf, n.d.):

Utilización: Hace referencia a la razón entre la cantidad de servidores (cajeros, estaciones, etc.) ocupados y la cantidad disponible en un sistema. Por ejemplo, en un sistema bancario se cuenta con tres cajeros de atención al cliente y al medio día se encuentran los tres ocupados esto quiere decir que el sistema presenta un 100% de ocupación de su capacidad de atención.

Longitud de cola: Hace referencia al promedio de la cantidad de agentes en cola de espera de recibir un determinado servicio como son las colas que se generan en los parques de diversiones para ingresar a una atracción mecánica, puede ser de 3, 6 o más usuarios dependiendo de las características de la atención, por otra parte, también puede ser la cantidad de productos en espera de ser procesados, o llamadas en espera en un call center.

Bloqueo: De acuerdo con la definición anterior, el bloqueo representa la cantidad de unidades en el sistema de acuerdo con la capacidad limitante del mismo, por ejemplo, el control de la cantidad de agentes que se encuentran en un sistema en un lapso de tiempo como en un sistema bancario en la actualidad por las restricciones sanitarias de todos los países se permite el ingreso de máximo 20 personas.

Reproceso: Son las actividades o productos inconformes que requieren de la integración nuevamente al sistema por un error, por ejemplo, en un proceso administrativo de una autorización de un procedimiento el hecho de que falte un documento genera una devolución de la documentación hasta que cumpla con todo lo establecido, esto es un reproceso dado que requiere de una segunda revisión en la misma área. Este reproceso se establece por medio de valores de probabilidad.

Tiempo de espera: Como su nombre lo indica es el tiempo total que requiere un agente en un sistema para recibir un servicio y este varía dependiendo de la cantidad de servidores que tenga el sistema además de la cantidad de agentes en espera, entre otras variables que influyen en este. Por ejemplo, se continúa con el ejemplo del sistema bancario si una persona ingresa al sistema a las 11.30 am y se retira del mismo a las 12.40pm, quiere decir que invirtió 1 hora y 10 minutos en obtener el servicio requerido.

2.1.2. Redes de Colas

Una red de colas es un entorno que se constituye de dos o más sistemas de colas los cuales tienen sus propias características y se interrelacionan entre sí por medio de los agentes que se encuentran en mismo que pueden ser desde redes abiertas (los clientes no tienen restricción de ingreso ni salida) o redes cerradas que tiene unos límites. (Baldwin et al., 2003).

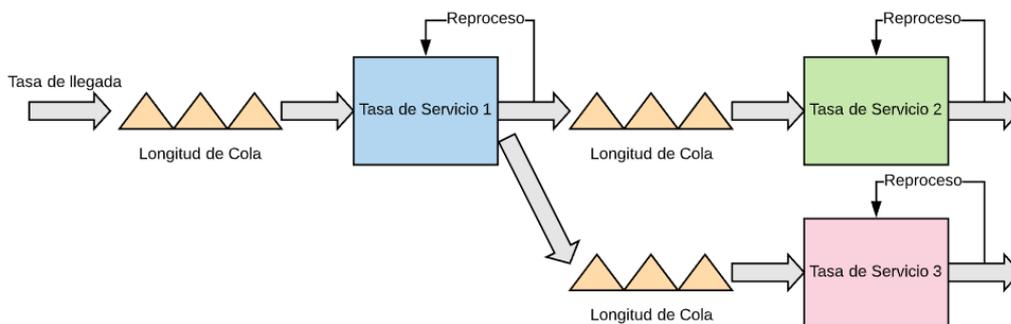


Figura 2 Red de Colas

Fuente: Elaboración propia

En las redes de colas se presenta una combinación de servidores y longitud de la cola que puede ocasionar una congestión en algunas de las zonas al presentarse situaciones de parada, por lo cual es necesario analizarlo como una unidad compuesta de estaciones, estas se analizan por medio de la teoría de colas de acuerdo con sus propiedades como pueden ser redes cerradas, abiertas o mixtas. Esta característica de las redes tiene en cuenta el tipo de llegada de los clientes y la salida, para ser específico en la red cerrada los clientes realizan sus procesos por etapas según los requerimientos y no tienen salida, ni llegada de otras fuentes, mientras las redes abiertas permiten el ingreso de clientes de diferentes fuentes y pueden abandonar la red en el momento que adquieran el servicio teniendo en cuenta unas probabilidades por estación (Baldwin et al., 2003).

Por medio de esta disciplina de la teoría de colas se desarrolla un análisis a los agentes y su comportamiento en las colas subyacentes como cuellos de botella en estaciones o una mayor cantidad de reprocesos que dependen de una probabilidad en el sistema y varía según las consideraciones de enrutamiento del proceso, en estas redes se analiza individualmente cada estación de servicio según la notación de Kendall, con el objetivo de simplificar el estudio de observación e integración del conjunto de la red.

Además de identificar los efectos del cambio, sus parámetros, pero sin que sea necesario que el usuario realice los cálculos por sí mismo para mejorar la respuesta satisfactoria tanto para el cliente como para el personal encargado de la entidad o servicio que se presta, dado que esto generaría mayores tiempos de análisis. La teoría de colas permite identificar las características que ralentizan las operaciones para que las organizaciones tomen decisiones con base en un análisis matemático por medio de los softwares de simulación que generan graficas de los indicadores de rendimiento.

Redes de Jackson

Estas redes pueden ser de dos tipos cerradas o abiertas, y cumplen con las siguientes condiciones para ser catalogadas como red de Jackson: Existe solo un tipo de trabajo en la red, el enrutamiento de los clientes es probabilístico, cada estación tiene una cola, una cantidad constante de trabajos en la red y se pueden analizar individualmente las estaciones para conocer el desempeño del sistema en total. Y se diferencia de otros tipos de redes porque permite el enrutamiento de los clientes o productos hacia estaciones anteriores a la que se encuentran como se evidencia en la figura 2, en este caso solo ingresan nuevamente a la estación, esto permite realizar un análisis con base en los sistemas de colas con tasas de arribo generales (Melamed, 1979).

Ecuaciones de trafico

Como primera medida es necesario recordar la propiedad de equilibrio o ecuación de balance de las redes de colas que establece que todo lo que ingresa al sistema debe salir en la misma cantidad, es decir la tasa de arribo y la tasa de salda de la cola es igual:

$$\mu_1 p_1 = \lambda_0 p_0 \quad (8)$$

El arribo de los clientes en la fila de una estación j es equivalente a la suma de todo lo que ingresa a la estación sea de una nueva fuente o una estación anterior, como se establece en la siguiente formulación(Hum et al., 2018):

$$\lambda_j = \lambda_0 p_{0,j} + \sum_{i=1} \lambda_i p_{i,j} \quad ; \text{ para los } j = 1, 2, 3, \dots, M \quad (9)$$

Donde $p_{i,j}$ representa la probabilidad de que un cliente o producto pase de la cola i y se dirija a la cola j , y se entiende $p_{0,j}$ indica la distribución de los arribos a la cola, en cambio $p_{i,0}$ indica las salidas de la estación, incluyendo la propiedad de las probabilidades que especifica que la suma de todas las probabilidades de una cola debe sumar.

$$\sum_{i=0}^n p_i = 1 \quad ; \text{ para los } i = 0, 1, 2, 3, \dots, n \quad (10)$$

2.1.3 ANFIS

ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) Es un sistema adaptativo de inferencia difusa basado en red es un tipo de red neuronal que aprende con la experiencia y tiene la característica de generalización con los principios de lógica difusa que establece un conjunto de reglas difusas IF-THEN. (Jung Bok Jo, Y. Tsujimura, 1994) dentro de estas reglas se tiene en cuenta la incertidumbre de los sistemas de acuerdo con la variabilidad que se presenta según las reglas establecidas de determinadas variables. Una característica principal del sistema es su enfoque de ampliar las opciones que se pueden obtener de un proceso entre los dos extremos de las posibles situaciones como se plantea en los ejemplos de la verdad absoluta o la falsedad total en las variables de salida, de acuerdo con las reglas que se establecen en las operaciones de entrada.

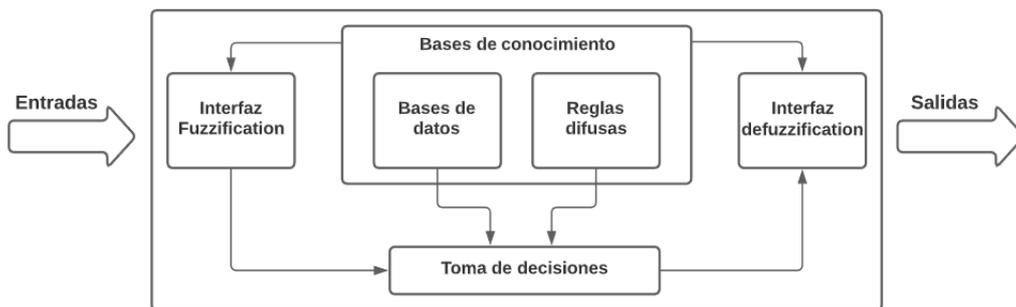


Figura 3 Sistema de Inferencia difusa

Fuente: Elaboración propia, basado en (Jang, 1993)

Según lo establecen los autores que han trabajado con el sistema de inferencia difusa en la figura 3 se evidencian cuáles son los elementos principales para el desarrollo del modelo y se destaca la toma de decisiones con base en las reglas definidas para los datos que ingresan al proceso con el objetivo de comprar según las premisas establecidas inicialmente, donde:

1. Interfaz Fuzzification: Establece una escala entre los valores nítidos de las variables de entrada al sistema y los transfiere a la lingüística determinada en los conjuntos difusos.
2. Bases de conocimiento: Es la base central de las reglas lingüísticas que establecen el control de las variables sean de entrada o salida, generalmente estas reglas son formuladas con base en políticas de operación definidas para el controlador.
3. Lógica de decisiones: Se encuentra dentro de las reglas del modelo en el controlador, que hace referencia a la toma de decisiones según los parámetros establecidos que se basa en las condiciones lógicas.
4. Interfaz Defuzzification: Decodifica la escala de valores universales del modelo difuso en modo nítido para obtener la acción de control pertinente, como puede ser por medio del método de izquierda máxima y derecha máxima.

A partir de los planteamientos del autor (Zadeh, 1965) acerca de los conjuntos difusos, en los cuales establece las clasificaciones de pertenencia de las variables de un sistema

que se pueden encontrar entre el 0 y el 1, especificando las posibles aproximaciones a cada uno de los límites del sistema. Hacen parte esencial del proceso elementos como premisas y consecuencias de los parámetros que tiene en cuenta las variables de entrada y salida del proceso.

Uno de los autores que aportan a los sistemas de lógica difusa es (Mamdani, 1975) con el diseño de los controladores de reglas para el modelo (FIS) Sistema de inferencia difusa, el cual involucra variables reales en la entrada y salida del sistema, con condicionales de decisión, con la siguiente estructura de reglas: “Si X_1 es A_1 y X_n es A_n entonces Y es B ” en este caso las variables del modelo son X y Y . La cantidad de reglas que se establezcan dependen del autor que construya el modelo, y este valor se duplica al realizar la combinación de las mismas, como se evidencia en la figura 4 la variable x tiene 3 reglas y la misma cantidad la variable y , lo que genera 9 reglas en general para el modelo.

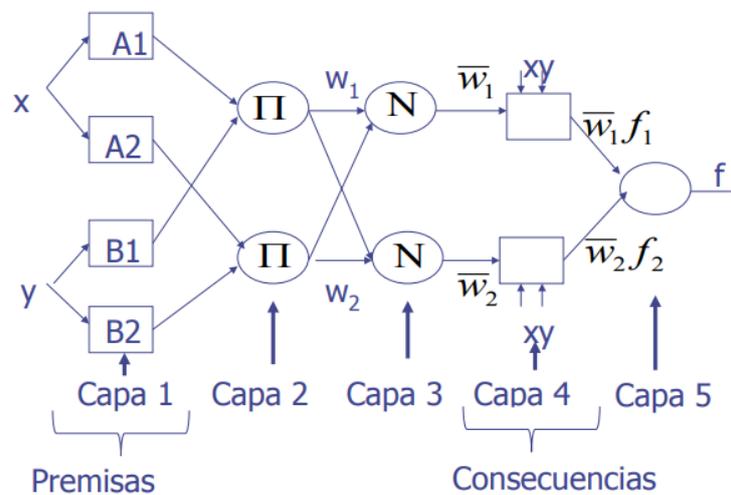


Figura 4 Arquitectura de ANFIS con nueve reglas

Fuente: (Correa-Henao, G. J., & Montoya-Suárez, 2013)

En la figura anterior se identifica como se interconectan las premisas y el conjunto de reglas de difusión en cada una de las 5 capas del sistema ANFIS en este caso se generan 9 combinaciones de las reglas del sistema como se evidencia con las variables X y Y .

Capas del ANFIS

El modelo inicial establece 5 capas en el sistema de inferencia difuso teniendo en cuenta las reglas anteriormente mencionadas, las cuales se describen a continuación (Jang, 1993):

1. “Cada nodo i en esta capa es un nodo cuadrado que se asocia con una función de nodo”

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) \tag{11}$$

En este caso x es la variable de entrada al sistema, A es la etiqueta asignada en la función, O_i^1 la es la función de membresía de A y especifica en que grado se cumple con el cuantificador A , generalmente $\mu_{A_i}(x)$ se encuentra en un rango del $[0,1]$.

2. “Cada nodo de esta capa es un nodo circular Π que se encarga de multiplicar las señales entrantes y remitir el producto” por ejemplo la ecuación 12 representa la multiplicación de las dos variables que ingresan a la capa y esta salida representa la fuerza de disparo de una regla.

$$w_i = \mu_{A_i}(x) * \mu_{B_i}(y) \quad ; \text{ para los } i = 1,2. \quad (12)$$

3. “Cada nodo de esta capa es un nodo circular N ” como se identifica en la figura 4 hacia cada nodo se dirigen todos los salientes de la capa 2 donde se calcula el nodo i -esimo calcula la razón del nodo i -esimo con la fuerza del disparo de las reglas a la suma del disparo de todas las reglas.

$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \quad ; \text{ para los } i = 1,2. \quad (13)$$

4. “Cada nodo i en esta capa es un nodo cuadrado con una función de nodo”

$$O_i^4 = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (14)$$

Donde \bar{w}_i es la salida de la capa anterior y las letras (p , q , r) son parámetros consecuentes.

5. Esta capa solo cuenta con un nodo circular Σ que se encarga del cálculo de la salida general como suma de todas las señales entrantes

$$O_i^5 = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i \bar{w}_i f_i}{\sum_i \bar{w}_i} \quad (15)$$

En conjunto con estas capas se forma el sistema adaptativo difuso por medio de la red difusa establecida en cada nodo.

En los siguientes años se propone otro diseño del controlador de reglas difusas por (Takagi, T., & Sugeno, 1985) en este caso el controlador no requiere de una interfaz de defuzzification para la salida de las variables, dado que se calcula con la media ponderada de la salida de cada una de las reglas. Y si tiene en cuenta la linealidad de las reglas en su combinación e incluye unos parámetros reales en la ecuación de condicionalidad.

Métodos de optimización del ANFIS

El sistema de inferencia difusa cuenta con dos tipos de métodos de optimización de los parámetros tanto de salida como de entrada para la ejecución del algoritmo de

aprendizaje, utilizados en la generación de la estructura del ANFIS donde se determinan las funciones de membresía de las variables de entrada y la variable de salida con base en el error del entrenamiento, lo cual determina la capacidad del modelo para ajustarse al comportamiento de las variables analizadas. Para este caso se analizan dos métodos:

Retropropagación

Este método consiste en integrar los parámetros de la lógica difusa hacia atrás, es decir, desde las variables de salida a través de las capas del sistema difuso hasta las variables de entrada, basada en una combinación de tácticas de aprendizaje. En este método se analiza la interacción de las variables de acuerdo con su comportamiento en la red y de esta forma comprender la respuesta del sistema ante estas situaciones, con el objetivo de optimizar las actividades, este procedimiento de aprendizaje es repetitivo para buscar una respuesta a las variaciones en la ejecución que sean correspondientes a la realidad del sistema que se desea estudiar. (Lalis J.T, 2014)

Híbrido

En el sistema de lógica difusa este método se identifica por un algoritmo de aprendizaje híbrido que radica en un arreglo automático de Sugeno-ANFIS teniendo en cuenta cada tipo y formación de salidas de una composición lineal promediada de los consecuentes. Este método de aprendizaje híbrido se caracteriza por las dos fases que se ejecutan, primero la identificación del consecuente parámetros (feed forward) por medio de la utilización del componente de aprendizaje de FIS estructurado de acuerdo con la arquitectura neural integrado con el estimador de cuadrados, además del pase hacia atrás en donde se reestablecen los parámetros de la proposición que se genera en el error del algoritmo de retropropagación. (Joelianto, E., & Rahmat, 2008)

2.2 Estado del arte

A continuación, en la tabla 2 se identifican cuáles son los estudios que se han realizado de teoría de colas y lógica difusa en los últimos años a partir del 2010 desde las bases de datos especializadas “Scopus” e “IEEE”, con el objetivo de analizar las metodologías implementadas y los resultados obtenidos en las investigaciones, así como los modelos estructurados.

Tabla 3 Estado del arte

N°	Titulo / Autor/ Año	Objetivo	Variables	Descripción del modelo	Resultados
1	<p>An Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for estimating the number of vehicles for queue management at signalized intersections.</p> <p>(Mucsi et al., 2011)</p>	<p>Estimar el número de vehículos que se encuentran en la intersección señalizada por medio de la gestión de la teoría de colas.</p>	<p>[V1] Tasa de arribo [V2] Tasa de servicio [V3] Capacidad de la cola</p>	<p>Análisis de la intersección, se recolecta la información. Teniendo en cuenta lógica difusa, se implementa el ANFIS con las reglas en conjunto con el NVDZ (programa para estimar la cantidad de autos en una zona) para contribuir con la gestión de las colas e identificar los cuellos de botella.</p>	<p>Se reconoce la capacidad del sistema vehicular al mejorar los indicadores de las colas de espera que se generan en la intersección analizada con el modelo, con respecto a modelos tradicionales de la teoría de colas.</p>
2	<p>An integrated artificial neural network-computer simulation for optimization of complex tandem queue systems. (Azadeh, A., Faiz, Z.S., Asadzadeh, S.M., Tavakkoli-Moghaddam, 2011)</p>	<p>Describir un entorno de simulación de una red de sistemas de colas en tándem G/G/K con redes neuronales para optimizar el rendimiento de los sistemas.</p>	<p>[V1] Tasa de arribo. [V2] Tasa de servicio. [V3] Número máximo de servidores. [V4] Tiempo de espera promedio.</p>	<p>La estructura se trabaja integra en el modelo el ANN (Red neuronal Artificial) y la simulación de sistemas, para un sistema de colas tándem G/G/K se analizan 63 distribuciones de probabilidad para las tasas de entrada y salida, y se seleccionan 30 muestras para validar la efectividad del sistema según el rendimiento del mismo, por medio del software de simulación Matlab.</p>	<p>El modelo integrado de ANN y simulación de un sistema de colas es capaz de mejorar el desempeño de un sistema teniendo en cuenta las restricciones, limitaciones del sistema y los objetivos, generando un ahorro en los tiempos de ejecución y análisis de los escenarios.</p>
3	<p>Fuzzy-based dynamic distributed queue scheduling for packet switched networks.</p> <p>(Chude-Olisah et al., 2013)</p>	<p>Aborda la lógica difusa para la programación de colas por medio de un análisis del control del tráfico de internet, con base en tres</p>	<p>[V1] Naturaleza de la Tasa de arribo. [V2] Tasa de servicio. [V3] Utilización del sistema. [V4] Política de servicio.</p>	<p>Programación difusa Se desarrolla un modelo difuso teniendo en cuenta la naturaleza de las llegadas al sistema y estableciendo tres tipos de colas de priorización baja, media, alta.</p>	<p>En los resultados se demuestra que la estrategia se adapta a los requerimientos del sistema y proporciona una buena utilización además de</p>

		estacionalidades alta, media y baja, teniendo en cuenta variaciones como posible caída del paquete y límite de la cola.		Se realiza una comparación con las estrategias tradicionales de servicio.	minimizar el retraso de la cola en comparación con las otras estrategias.
4	A fuzzy inference system to scheduling tasks in queuing systems. (López-Santana et al., 2017)	Se estudia el rendimiento de un sistema de colas con unas características generales con un sistema de inferencia difuso.	[V1] Tasa de arribo [V2] Tasa de servicio [V3] Utilización del sistema [V4] Reproceso	Se caracteriza una red de colas con una notación M/M/4 en la cual se formula e implementa un sistema de inferencia difuso teniendo cuenta la teoría de colas en conjunto factores de variabilidad como la retroalimentación de trabajos y en un segundo modelo sin esta, en comparación con reglas como Robin round y equiprobable, identificando con los indicadores de desempeño del sistema la efectividad de la aplicación.	Se evidencia la mejora del desempeño del sistema al implementar el sistema de inferencia difusa para aumentar la utilización del mismo y la longitud de la cola, en comparación con las diferentes reglas o políticas de programación.
5	Performance modeling and ANFIS computing for finite buffer retrial queue under F-policy (Jain & Sanga, 2017)	Se analiza el rendimiento de un sistema de máquinas que puede fallar independientemente para ingresar al servicio de reparación.	[V1] Promedio de máquinas en el sistema. [V2] Promedio de máquinas averiadas. [V3] Probabilidad de ocupación del servidor. [V4] Costo de operación.	Se integran la política de servicio F, el enfoque de ANFIS y el problema de nuevos intentos de nuevo juicio (cola) para un sistema de máquinas que pueden fallar e ingresar al sistema de mantenimiento y reparación, estableciendo 6 membresías de pertenencia.	Se demuestra que el modelo implementado con el enfoque ANFIS permite identificar la viabilidad del alcance y utilidad del enfoque para la predicción del desempeño de un sistema complejo.

6	Modeling assignment of quay cranes using queueing theory for minimizing CO2 emission at a container terminal (Liu & Ge, 2018)	El objetivo del modelo propuesto es minimizar la emisión de CO ₂ durante un proceso de descarga de contenedores de grúas de muelle a AGV optimizando el número de grúas por medio de la teoría de colas.	[V1] Tasa de arribo de las grúas de muelle [V2] Tasa de servicio los vehículos [V3] Longitud de la línea de espera [V4] Utilización del sistema	Con base en la teoría de colas que modela el comportamiento de espera de los AGV frente a las grúas de muelle teniendo en cuenta la cantidad de grúas en servicio, se comparan los sistemas M/M/1 y M/M/3. Se propone un modelo de programación matemática convexa para minimizar la emisión de CO ₂ en el proceso de descarga y traslado de contenedores desde un barco a AGV en una terminal de contenedores cuando el número de grúas de muelle es la variable de decisión.	La investigación en este artículo determina que el número óptimo de grúas aumenta con la tasa de llegada esperada de AGV y el consumo medio de combustible por AGV por hora, pero disminuye con la tasa media de servicio de cola.
7	Measurement and optimization of responsiveness in supply chain networks with queueing structures (Hum et al., 2018)	Se analiza la cadena de suministro como una red de colas de tipo Jackson para optimizar la capacidad de respuesta e índices de efectividad de las etapas del proceso.	[V1] Servidores [V2] Capacidad finita [V3] Tasa de servicio [V4] Probabilidades de enrutamiento	Se realiza una formulación matemática que optimice las variables de la capacidad de respuesta del sistema de colas como variables de decisión, teniendo en cuenta los costos en la aceleración de las operaciones en cada etapa y la tasa de servicio, en conjunto con las restricciones con base en los teoremas de redes de colas.	Se evidencia que la capacidad de respuesta del sistema de colas de la cadena de suministro depende de las tasas de servicio de las etapas del sistema, donde se optimiza los costos asociados a la operación.
8	Heterogeneous two-server queueing system with reverse balking and renegeing	Evaluar los efectos que genera en el sistema de las variaciones de las	[V1] Probabilidad de ocupación [V2] Regeneración [V3] Bloqueo	Se considera un sistema de colas con dos servidores que presentan unas condiciones de bloqueo, regeneración y	De acuerdo con los resultados obtenidos por las propuestas del modelo los

	(Bouchentouf & Messabihi, 2018)	probabilidades de regeneración, de bloqueo y de retención de clientes con respecto al modelo económico del sistema.	[V4] Tasa de servicio [V5] Tasa de arribo	retención de clientes por medio de probabilidades para medir el efecto que genera a nivel general en el modelo del sistema teniendo en cuenta los indicadores de desempeño.	efectos del bloqueo de acceso a los clientes generan un impacto negativo, en cambio la retención de clientes mejora el sistema y su capacidad de respuesta.
9	for simulating passenger throughput at an airport security Network-based queuing model checkpoint. (Li et al., 2018)	Establecen modelos de estructura de cola por los procesos que debe realizar un pasajero en puesto de control de seguridad en un aeropuerto combinando estrategias para conocer cual aumenta el rendimiento de la red de colas.	[V1] Servidores [V2] Tasa de arribo [V3] Tasa de servicio [V4] Redes de colas	Técnica de análisis de simulación Con los procesos del control de seguridad se implementa la teoría de colas al establecer un modelo matemático para las estrategias que realizan los pasajeros en este puesto. Se analizan los sistemas M/M/1 y M/M/n. Se determinan 3 tipos de servidores con diferentes distribuciones que respondan a la necesidad del sistema y se evalúa su efectividad por medio de la simulación.	Se determina que dividir el sistema y generar una red abierta con cada uno de los procesos a ejecutar en el control de seguridad es el modelo que optimiza la operación del aeropuerto, dado que mejora el rendimiento del mismo con la configuración y red M/M/1 con n sistemas.
10	An analysis of queues with delayed information and time-varying arrival rates. (Pender et al., 2018)	Se realiza un análisis del comportamiento de decisión de los clientes que arriban al sistema de colas con dos tipos de informaciones de la longitud de la cola o la	[V1] Longitud de la cola [V2] Tiempo de espera en cola [V3] Servidores [V4] Llegadas estacionarias	El modelo de elección se basa en un Modelo logit multinomial (MNL) y ecuaciones diferenciales lineales de retardo para determinar los indicadores de desempeño de cada modelo en el sistema de colas M/M/inf. El primer modelo de fluido con retraso constante y el segundo con llegadas	En el caso de la llegada constante de ambos modelos, es posible derivar un umbral explícito viejo para el retraso crítico donde por debajo del umbral las dos colas están equilibradas. Cuando la variación de tiempo es

		información del tiempo de espera.		variables en el tiempo en los dos se integra numéricamente la teoría de colas en las ecuaciones diferenciales para comparar los resultados.	pequeña, por medio de técnicas asintóticas demostraron que el nuevo umbral cambia cuando la frecuencia de la tasa de llegada es el doble que la frecuencia de retardo.
11	Scheduling in queueing systems and networks using ANFIS (López-Santana et al., 2019)	Propone utilizar un sistema de inferencia difusa para determinar el estado de las variables de tasa de arribo, tasa de servicio y utilización del sistema, en un sistema de colas y una red de colas por medio de los modelos tradicionales de la disciplina y el ANFIS.	[V1] Tasa de arribo [V2] Tasa de servicio [V3] Utilización del sistema	Se establece un modelo con un sistema de colas con la configuración G/G/4 el cual se corre con 1000 unidades de tiempos. Parámetros de las variables: Tasa de arribo: Distribución uniforme entre [0.5 min y 1 min]. Tasa de servicio: Distribución uniforme entre [1.5 min y 3 min]. Reproceso: Probabilidad e un 20% Se realiza una simulación con cuatro métodos: Round Robin (RR), Equiprobable, FIS y ANFIS para determinar cuál mejora el rendimiento del sistema con valores de pertenencia bajo, medio y alto.	En la simulación realizada se evidencia que el modelo ANFIS genera una optimización de los resultados de los indicadores de desempeño de los modelos analizados desde la utilización hasta la longitud de cola para los clientes y se evidencia el rendimiento del sistema y la red de colas en comparación con la programación tradicional.
12	Cost optimization and ANFIS computing for admission control of M/M/1/K queue with	Investigaron como determinar los factores de control para un	[V1] Tasa de arribo [V2] Capacidad del sistema [V3] Tasa de servicio	Se realiza una integración de los cálculos de los costos con respecto a la teoría de colas para identificar el impacto de la	Se evidencia la implementación con éxito del modelo para sistemas

	<p>general retrial times and discouragement.</p> <p>(Sanga & Jain, 2019)</p>	<p>modelo de colas con procesos de arribo que tienen tiempos desanimados y de reintento por medio de los enfoques de ANFIS.</p>	<p>[V4] Indicador de costos mínimo.</p>	<p>lógica difusa en el proceso de monitoreo de la cola de espera.</p> <p>Analizando el costo optimo y el control de admisión al sistema por medio de ANFIS.</p>	<p>complejos, demostraron la diferencia de los resultados entre cada modelo, y como el ANFIS se adapta en mayor medida a los requerimientos del sistema.</p>
13	<p>Retrial Queuing System with Randomized Push-Out Mechanism and Non-Preemptive Priority.</p> <p>(Korenevskaya et al., 2019)</p>	<p>Analizar la gestión de un sistema que presenta dos tipos de clientes con un mecanismo de gestión de búferes push-out aleatorio para los clientes secundarios en el sistema por medio de la teoría de colas.</p>	<p>[V1] Tasa de arribo [V2] Tipo de clientes [V3] Bloqueo de ingreso</p>	<p>Se establecen los dos tipos de clientes con un mecanismo de gestión de búferes push-out aleatorio, es decir, un bloqueo de ingreso para los clientes secundarios en el sistema, con respecto a los primarios que tienen prioridad de atención por medio de una formulación matemática que se modela en un software.</p>	<p>La simulación del sistema en el modelo de prioridad de los clientes permite reducir la cola que se genera y aumentar el rendimiento del sistema para maximizar los beneficios de la organización. De acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación este modelo incrementa la efectividad y respuesta de un sistema con estas características.</p>
14	<p>Analysis of a single server batch arrival unreliable queue with balking and general retrial time.</p> <p>(Zirem et al., 2019)</p>	<p>Analizar el comportamiento de un sistema con una cola de reintentos, de un solo servidor que este sujeto</p>	<p>[V1] Probabilidad de un sistema vacío. [V2] probabilidad de un servidor inactivo. [V3] Probabilidad de un servidor ocupado.</p>	<p>Se implementa un modelo con el método de la función generadora de probabilidad, donde se establecen las fórmulas de probabilidad para las situaciones que se pueden presentar en el</p>	<p>Se evidencia que el modelo de la función generadora permite identificar cuáles son las probabilidades de ocurrencia de las situaciones</p>

		a averías y tiempo reservado, identificando el desempeño del sistema en situaciones de congestión.	[V4] probabilidad de falla en el servidor.	sistema definido del número de clientes en el sistema cuando está inactivo, ocupado, en reparación y reservado se encuentra utilizando la técnica de variable suplementaria, además que la estabilidad se alcanza cuando la utilización es menor que 1.	que influyen en el sistema, como pueden ser las averías, reparaciones y reservas que paran el proceso.
15	Ships shore service optimization using the queueing theory. (Bebic et al., 2019)	Este documento analiza el uso de la plantilla de Excel simplificada para la teoría de colas como solución de resolución de problemas para organizar el horario de los equipos de servicio internos de mantenimiento para diésel revisión del generador en un barco.	[V1] Tasa de arribo [V2] Utilización del sistema [V3] Tasa de servicio [V4] Costos de operación.	Teniendo en cuenta la información real que es almacenada en el sistema de mantenimiento, se confirma que es un proceso markoviano y se formula la plantilla con la teoría de colas evaluando los indicadores de desempeño partiendo de las características específicas del caso, dado el hecho de que los equipos de servicio están llegando a el barco (cliente), no al revés.	Los resultados generados por la plantilla de Excel formulada por los investigadores permiten la optimización de las operaciones y costos para este tipo de empresas marítimas con características similares lo que permite aumentar el nivel de servicio a un 96% y apoyar los procesos de toma de decisión con base en el costo de mantenimiento interno y externo.
16	Optimisation of service capacity based on queueing theory. (Dorda et al., 2019)	La investigación se centra en la optimización de la capacidad de servicio en	[V1]Capacidad de servicio [V2] Reparadores (servidor)	La aplicación de la teoría de colas en el estudio se basa en el sistema de mantenimiento de máquinas por parte de los reparadores teniendo en cuenta el	De acuerdo con los resultados de la simulación del caso se evidencia que la diferencia entre 9 y 8

		el área de ingeniería mecánica con base en la teoría de colas.	[V3]Costos de operación. [V4]Tiempo entre fallas de [V5]Tiempo de reparación	costo que genera la operación y las variables de tiempo de reparación, cantidad de máquinas (clientes) y reparadores con una variación en la simulación, el caso se formula con estas características y se basa en redes de Petri como un modelo de cola de fuente infinita, este modelo se simula en el software CPN para realizar el análisis transitorio y de estado estable de los indicadores de desempeño.	reparadores en el sistema es bajo, mientras que con un reparador se obtiene una utilización de aproximadamente el 100% y con 8 reparadores seria de 21% cada uno, es decir que los tiempos de subutilización aumentan en este caso. Además los costos de operación se optimizan con 3 reparadores en la empresa.
17	Nonlinear dynamics in queueing theory: Determining the size of oscillations in queues with delay (Novitzky et al., 2019)	Se evalúa el comportamiento de la amplitud del retraso de la cola por medio de los dos métodos establecidos en la investigación con teoría de colas de acuerdo con el error en la amplitud de la respuesta al sistema.	[V1] Longitud de la cola [V2] Tiempo en cola [V3] Información real [V4] Amplitud del retraso de la cola	Se describe el comportamiento cualitativo de las longitudes de la cola y luego aproximan la amplitud de oscilaciones mediante el método de Lindstedt de ecuaciones diferenciales y el método de función pendiente basado en la teoría de bifurcación, teniendo en cuenta las variables de decisión de la teoría de colas en este caso longitud de la cosa y las tasas de arribo en conjunto con la tasa de servicio. Donde se compara el desempeño de las dos técnicas para evaluar la estimación de la longitud de la cola con el menor error absoluto.	Se evidencia que el modelo función pendiente presenta un menor error en el resultado, lo cual indica que es óptima la utilización la función de pendiente para predecir la amplitud cuando el retraso es suficientemente mayor que el valor crítico, mientras que el método de Lindstedt es preferible cuando la demora está cerca del límite.

18	Queuing Theory and Modeling Emergency Department Resource Utilization. (Joseph, 2020)	Analizan la eficiencia del sistema de colas en un departamento de emergencias teniendo en cuenta la teoría de colas como modelo de simulación.	[V1] Tasa de arribo [V2] Capacidad del sistema [V3] Tasa de servicio	Teoría de colas Establece cuales son las características del sistema en el departamento de urgencias desde la fuente de llegada de los usuarios al triaje y la tasa de servicio de las enfermeras encargadas, analizando como la cantidad de servidores incide en la capacidad del sistema.	Se evidencia la diferencia que presentan los tiempos de llegada como los tiempos de servicios dependiendo el tipo de paciente que asista al lugar, con este análisis se identifican los objetivos a administrar para mejorar la respuesta del sistema.
19	Retrial queue with multiple repairs, multiple services and non preemptive priority. (Bhagat & Jain, 2020)	Se analiza el rendimiento de un sistema que presenta prioridad en la atención y una confiabilidad baja del servidor por medio de un modelo matemático.	[V1] Proceso de llegada [V2] Prioridad de clientes [V3] Proceso de avería y reparación. [V4] Rechazo [V5] Proceso de servicio	El modelo analiza un sistema de salud de nuevo juicio basado en una cola de llegada no confiable, para pacientes prioritarios y ordinarios que pueden ingresar a la cola de reintentos, por medio de la función generadora de probabilidad se analizan los estados del sistema.	Se evidencia que la longitud de la cola para los dos tipos de cliente aumenta proporcionalmente con la tasa de llegada, mientras el número de clientes disminuye al aumentar la tasa de reparación. En conjunto estos elementos permitirían mejorar la respuesta del sistema de salud.
20	Transient solution of a heterogeneous queuing system with balking and catastrophes. (Kumar et al., 2020)	Se analiza el comportamiento de un sistema de colas con servidores heterogéneos en comparación de un	[V1] Múltiples Servidores heterogéneos [V2] Tasa de arribo [V3] Tasa de servicio	Se establece un modelo de análisis basado en la función de generación de probabilidad técnica, donde se identifican las variaciones que de los sistemas que tienen retención de clientes	Se evidencia que el sistema de colas con servidores heterogéneos presenta una menor tasa de regeneración y se evidencia un mayor

		sistema con servidores homogéneos.	[V4]Probabilidades estacionarias.	de acuerdo con sus medidas de desempeño, al analizar la heterogeneidad del sistema y cuál es el efecto de la modificación de las probabilidades estacionarias.	desempeño en comparación a los servidores homogéneos.
--	--	------------------------------------	-----------------------------------	--	---

Fuente: Elaboración propia

A partir de esta investigación realizada en el estado del arte, se analizan los estudios desarrollados recientemente acerca de la integración de sistemas de colas con factores de variabilidad y un sistema de inferencia difusa, los diferentes autores se enfocan en realizar un análisis de sistemas simulados por medio de softwares que permitan identificar el comportamiento de las medidas de desempeño del sistema total, en donde se identifica la aplicación y optimización de los sistemas con estos modelos en comparación con modelos tradicionales de la teoría de colas. En la mayoría de los estudios se analizan con datos aleatorios de los programas, mientras la aplicación en datos reales es baja dada la caracterización que se debe realizar para clasificar cada una de estas. Sin embargo, se evidencian pocos artículos de investigación que analicen estos sistemas en conjunto y en el mayor de los casos se desarrolla el estudio con información real de sistemas o redes de colas por el requerimiento de una mejora en los procesos o estaciones de servicio de una organización.

Conviene destacar las variables que son más utilizadas en los estudios como la tasa de arribo, tasa de servicio y la utilización, las cuales son básicas en los estudios de teorías de colas para el análisis de los sistemas en conjunto con el desempeño de la capacidad o rendimiento de los mismos que permite evaluar las mejoras en cada caso. Por esta razón son pocos los que implementan variables como el reproceso de las entidades en el sistema o los bloqueos de los servidores, los cuales no se tienen cuenta dada la variabilidad que le generan a los modelos en la simulación, dado que en la realidad estas situaciones se presentan cuando falla una máquina, se terminan los insumos de producción o por diferentes causas lo que incide directamente en la capacidad de respuesta y comportamiento de estos sistemas. Además, los modelos utilizados en los artículos referenciados se basan en la mayoría de casos de una programación matemática por medio de programación lineal, ecuaciones diferenciales, la función generadora de probabilidad y los modelos de simulación y softwares especializados en la teoría de colas como Matlab y CPN. Se evidencia la escasa aplicación de la lógica difusa y el Sistema de inferencia neuro-difuso adaptativo en estos casos de estudio para mejorar el comportamiento de los sistemas modelado.

Finalmente, se identifican los artículos con mayor relevancia en las bases de datos que evalúan los sistemas de colas teniendo en cuenta factores de incertidumbre como el bloqueo, una falla, los reprocesos, la regeneración de clientes y demás actividades que inciden directamente en el rendimiento de un proceso de manufactura o servicio al cliente.

CAPITULO III: MODELO PROPUESTO

En este capítulo se describe el modelo a implementar para el estudio de un problema de secuenciación de sistemas de colas con el enfoque de la lógica difusa en comparación con las políticas tradicionales de la teoría, especificando las características de las variables del sistema de colas y de la red de colas para el análisis.

Como primera medida se establece como ecuación principal del proceso la ecuación de Kingman con la salida del tiempo de ciclo en el sistema (W) y la entrada de la longitud de la cola (Ql) en esta variable se tiene en cuenta el bloqueo de las líneas de espera de acuerdo con la capacidad asignada a cada unidad y la utilización (u):

$$W = VUT \quad (16)$$

En conjunto con la ley de Little y su ecuación (1) donde L es el promedio de unidades que pasan por el sistema y W el tiempo promedio de una entidad en el sistema integrado teniendo en cuenta también el tiempo de espera, son los indicadores de desempeño más empleados en el estudio de sistemas de colas, por lo que permiten realizar un análisis cuantitativo de las variables que intervienen en los procesos, que a su vez son determinantes para determinar el comportamiento de un sistema de colas y la base fundamental en este estudio de investigación con la propuesta de establecer la estructura del Mamdani FIS en la fuzzification y defuzzification de las interfaces, además de suministrar los datos para la generación del ANFIS con la aplicación del software de Matlab.

Diseño metodológico

El diseño metodológico del ANFIS que busca dar respuesta al planteamiento del problema del caso de estudio, se estructura un diagrama de acción para la creación del Sistema de inferencia neuro-difuso adaptativo, como se evidencia en la figura 5. Teniendo en cuenta la premisa de realizar el estudio con base en información recolectada de la simulación discreta de un modelo de colas sin controladores en la cual se identifica la interacción de las variables en un sistema convencional.

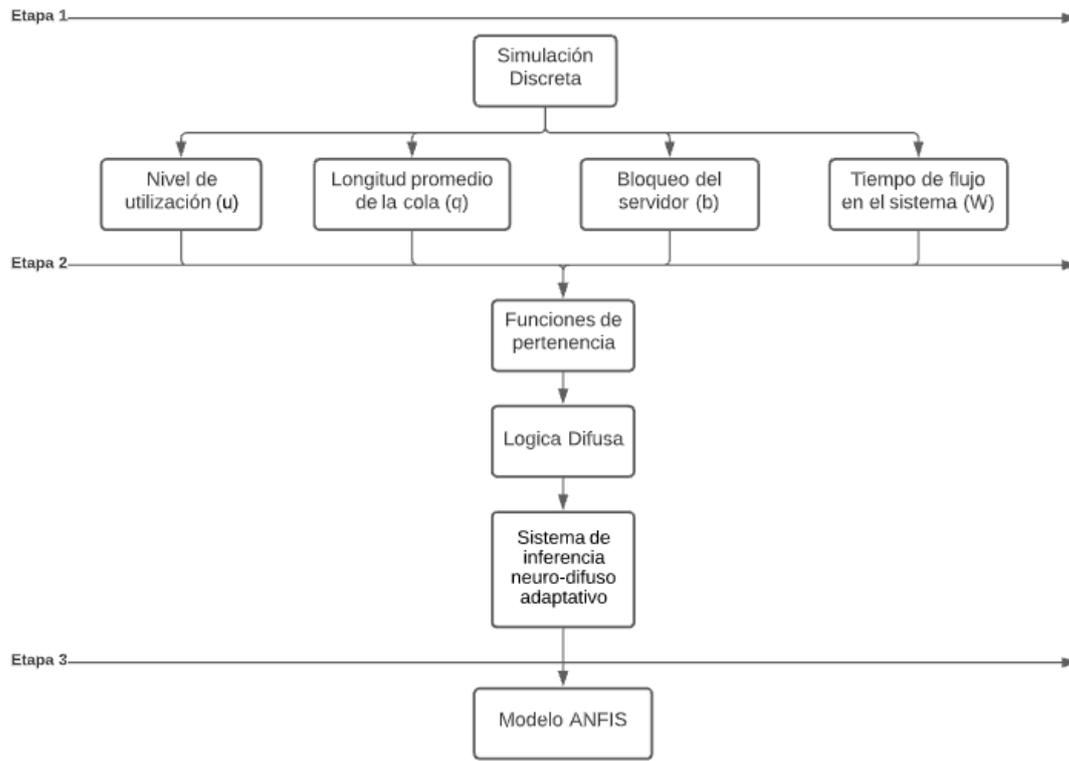


Figura 5 Diseño metodológico del ANFIS

Fuente: Elaboración propia

En la etapa 1, como primera actividad se estructura el modelo de colas en la herramienta de SimEvents del entorno de Simulink, Matlab; en el cual se incluye un generador de entidades conectado con el interruptor de selección de uno de los cuatro servidores los cuales tienen entidades de colas y una programación de los reprocesos de las entidades que salen del sistema, el diseño del sistema de colas se realiza sin condicionales en la selección de los servidores, es decir, no se tiene en cuenta el comportamiento de las variables objetivo. Enseguida se designan los tres escenarios de análisis del sistema teniendo en cuenta la variabilidad de la tasa entre llegadas de las entidades al sistema (baja, media, alta), donde se ejecuta el modelo con 1000 unidades de tiempo en cada uno de los escenarios para la generación de los datos de los indicadores de desempeño. Con base en los resultados de la simulación del modelo se forman los conjuntos difusos y funciones de membresía que correspondan para cada servidor i en la fase j , con un comportamiento coherente de las variables:

- Utilización ($U_{i,j}$)
- Bloqueo de la cola ($b_{i,j}$)
- Tiempo de ciclo en el sistema ($W_{i,j}$)
- Longitud promedio de la cola ($QL_{i,j}$)

En la etapa 2, partiendo de la premisa que no se cuenta con información real de algún sistema de colas es necesario ejecutar simulaciones con diferentes escenarios, con el objetivo de recopilar la información y comportamiento de cada una de las variables en una configuración G/G/4/40, a partir de estos datos se emplea la aplicación Neuro Fuzzy Designer de Matlab para la generación del ANFIS de las tres variables, se precisa realizar

el entrenamiento de error del sistema por medio de dos enfoques de optimización primero con el método híbrido y enseguida retropropagación como se evidencia en la figura 6, se realiza la modificación de la cantidad de épocas del entrenamiento del modelo difuso entre 100, 500 y 1000 para identificar cual es respuesta del sistema generado a partir de la información.

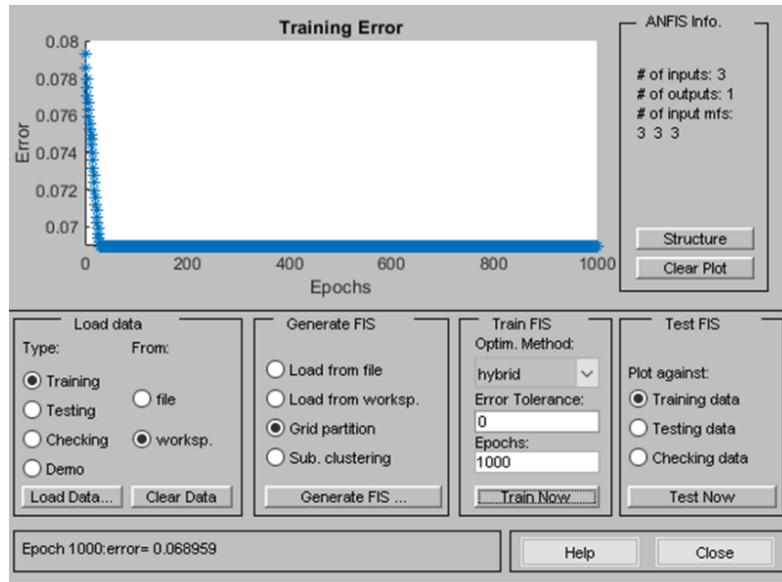


Figura 6 Selección de método FIS Neuro Fuzzy Designer

Fuente: Elaboración propia entorno Matlab.

Y como complemento de este se formulan las reglas de difusión con el enfoque recolectada Mamdani el sistema de inferencia difusa (FIS) implementando la aplicación Fuzzy Logic Designer del mismo software de acuerdo con la figura 7, se establecen las etiquetas lingüísticas base como “bajo”, “medio” y “alto” en las que se tiene en cuenta el comportamiento de las variables de entrada y la influencia en la variable de salida, con los enfoques de los conjuntos difusos como es el triangular, trapezoidal, sigmoidea, entre otros en el que se establecen los parámetros de la integración de cada una de las variables y su inferencia en el tiempo de flujo en el sistema, un ejemplo de las reglas de lingüísticas del tipo condicional *si, entonces*: “ Si el nivel de utilización del servidor el medio, la longitud promedio de la cola es media y el nivel de bloqueo del servidor es alto, entonces el tiempo de flujo es medio”. Este sistema de inferencia difusa se selecciona como un controlador difuso para el sistema con el objeto de crear un control en las variables establecidas que sea abierto y discreto.

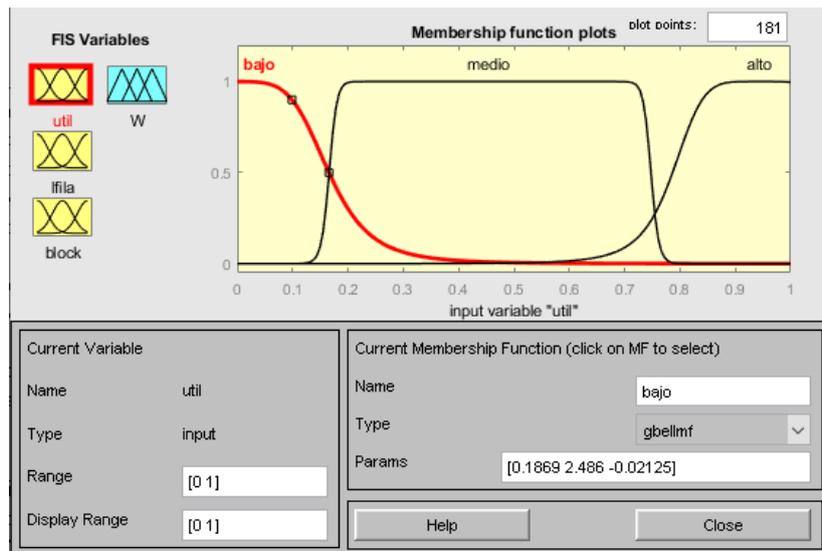


Figura 7 Funciones de pertenencia, Mamdani.

Fuente: Elaboración propia entorno Matlab.

Finalmente, en la etapa 3 se integra al modelo de colas el Sistema de inferencia neuro-difuso adaptativo y el Controlador difuso Mamdani en la formulación matemática de la función Matlab que permite realizar la selección del servidor en el ingreso de nuevos usuarios, con el objetivo de analizar la respuesta del sistema de colas con lógica difusa en comparación de un sistema libre de controladores.

En el capítulo 3, se describe la generación de los sistemas difusos para un sistema de colas y la red de colas de acuerdo con la investigación de operaciones y la lógica difusa según estudios recientes como se evidencia en el diseño metodológico las etapas que establecen la secuencia de actividades a desarrollar con la aplicación del software Matlab y su aplicación de diseño de sistemas de lógica difusa, en la cual se determinan los conjuntos difusos y las funciones de pertenencia de cada una de las variables asociadas al modelo, en conjunto con el controlador difuso que permite establecer de manera gráfica y cuantitativa el comportamiento sistemático de los parámetros que compone el modelo desarrollado.

CAPITULO IV: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CASO DE ESTUDIO

En este capítulo se desarrolla el modelo de colas como parte de una continuación o estudio futuro del artículo de investigación “*Scheduling in queueing systems and networks using ANFIS*” realizado por los autores López-Santana, Méndez-Giraldo, & Figueroa-García en el año 2019 quienes plantean como estudio futuro la integración de nuevas variables y mas replicas de la simulacion del sistema y red de colas para analizar el comportamiento de los indicadores de desempeño de cada uno de estos. Por esta razon se continua la investigacion con las características establecidas en este caso de éxito de la aplicación e integracion de un ANFIS con la teoria de colas. El prototipo modelado inicialmente es un sistema de colas con una configuración G/G/4/40 sin controladores (distribución uniforme) un sistema de colas conformado por cuatro servidores con sus correspondientes filas de espera los cuales cuentan con unas características limitadas de capacidad de atención según la tasa de arribo general de los clientes o de los productos que ingresan al sistema para recibir un servicio determinado que cuenta con una tasa de servicio general.

Con el objetivo de generar los datos e información necesaria acerca del comportamiento de las variables del sistema como primera parte del diseño metodológico del proyecto, se realiza una réplica del sistema con 1000 unidades de tiempo para cada uno de los tres escenarios establecidos tanto para el sistema de colas como para la red de colas. Enseguida se utiliza la aplicación del software Matlab en la creación del ANFIS (con los datos simulados anteriormente) donde se establecen la cantidad de etiquetas lingüísticas para las variables en este caso tres: alto, medio y bajo. En conjunto con el análisis del entrenamiento de error del ANFIS creado donde se busca maximizar la efectividad del modelo creado, por lo cual se tienen en cuenta dos métodos de optimización del entrenamiento del error y se analizan tres épocas (100, 500 y 1000). Además de configurar las reglas difusas para el controlador FIS con base en la estructura fundamental de estos según las bases teóricas de cada metodología se tiene en cuenta la combinación de las tres variables con sus etiquetas, lo cual genera 27 reglas para el sistema del ANFIS y el FIS.

Para este caso de estudio se determinan tres variables básicas para analizar en el sistema las cuales influyen directamente en el funcionamiento de las actividades en todos los sistemas además de una cuarta que se tiene en cuenta en el modelo sin tener una información cuantitativa que la represente. Con base en los estudios que se describen en el marco de referencia se analizan como variables principales: la utilización, la longitud promedio de la cola y el bloqueo del sistema estas en conjunto generan el tiempo de flujo en el sistema cada una cuenta con sus indicadores de desempeño que permiten estudiar la variación que ejercen en el modelo de colas. Por otra parte, la cuarta variable que está implícita en el sistema es el reproceso de las tareas en el sistema con una probabilidad asignada por los autores del estudio, teniendo en cuenta que es una actividad que se realizar constantemente en los sistemas independiente del tipo de tareas se analiza de esta forma generando una influencia en el modelo.

Modelación de sistema de inferencia difusa Mamdani FIS

Como se determinó anteriormente, las variables a evaluar en esta investigación son la utilización ($\rho_{i,j}$), la longitud promedio de la cola ($L_{i,j}$), el bloqueo ($b_{i,j}$), y el tiempo de flujo del sistema ($W_{i,j}$) teniendo en cuenta los índices empleados para la red de colas en donde se establece la i como el escenario que se analiza y la j establece la estación, así por medio de conjuntos difusos que permitan corresponder a los requerimientos eventuales del sistema de colas o red de colas, en este caso se requiere de un controlador difuso que complemente la función del ANFIS en la respuesta a la capacidad del sistema para responder a una nueva variación de su comportamiento de acuerdo con la tasa de arribo de los clientes. Para establecer este controlador se utiliza la aplicación de lógica difusa del programa Matlab en el cual se crean las tres variables de entrada y la variable de salida que interactúan en el sistema de estudio como se evidencia en la figura 8, cada una de estas se integran con el controlador difuso para establecer unos parámetros de comportamiento entre las posibles situaciones que se presenten en una corrida del modelo.

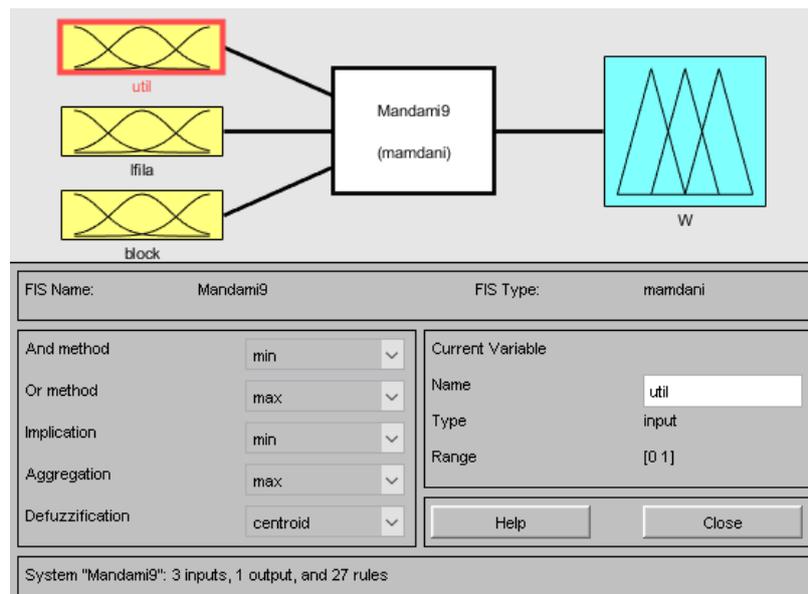


Figura 8 Mamdani, Controlador difuso

Fuente: Elaboración propia entorno Matlab.

Por esta razón es necesario establecer tres etiquetas lingüísticas para los conjuntos difusos que determinan un nivel de comportamiento de cada variable que tengan en cuenta las variaciones del sistema en general, por ejemplo, cuando la capacidad de la cola de los servidores está al límite se puede decir que se genera un bloqueo alto y de esta forma establecer una etiqueta cualitativa a una condición que es cuantitativa con base en los indicadores de desempeño. En esta investigación se seleccionan tres posibles comportamientos “Bajo”, “Medio” y “Alto” se establecen las posibles combinaciones que se pueden presentar por etiqueta en el sistema, con las cuales se determina un comportamiento de la variable de salida que sea coherente con la realidad de los sistemas de colas y sus teorías básicas en estos casos como se evidencia en la Tabla 3 se genera una combinación tres por tres con un total de veintisiete reglas difusas en el controlador.

Tabla 4. Parámetros funciones de pertenencia Fuzzy Inference System (FIS)

Regla de lógica difusa	Nivel de utilización	Longitud promedio de la cola	Bloqueo del sistema	Tiempo de flujo (Variable de salida)
1	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
2	Bajo	Bajo	Medio	Medio
3	Bajo	Bajo	Alto	Medio
4	Bajo	Medio	Bajo	Bajo
5	Bajo	Medio	Medio	Medio
6	Bajo	Medio	Alto	Alto
7	Bajo	Alto	Bajo	Alto
8	Bajo	Alto	Medio	Alto
9	Bajo	Alto	Alto	Alto
10	Medio	Bajo	Bajo	Bajo
11	Medio	Bajo	Medio	Medio
12	Medio	Bajo	Alto	Medio
13	Medio	Medio	Bajo	Medio
14	Medio	Medio	Medio	Medio
15	Medio	Medio	Alto	Alto
16	Medio	Alto	Bajo	Alto
17	Medio	Alto	Medio	Alto
18	Medio	Alto	Alto	Alto
19	Alto	Bajo	Bajo	Medio
20	Alto	Bajo	Medio	Medio
21	Alto	Bajo	Alto	Alto
22	Alto	Medio	Bajo	Medio
23	Alto	Medio	Medio	Medio
24	Alto	Medio	Alto	Alto
25	Alto	Alto	Bajo	Alto
26	Alto	Alto	Medio	Alto
27	Alto	Alto	Alto	Alto

Fuente: Elaboración propia

Las reglas difusas de las variables de entrada permiten parametrizar la conducta de estas en el modelo establecido, con el objetivo de ampliar las respuestas del sistema ante situación de este tipo cuantificadas por medio de los indicadores estadísticos seleccionados en el software. Es necesario resaltar que no todas estas combinaciones pueden presentarse en la realidad como cuando la utilización tiene un nivel bajo, el bloqueo del sistema presenta un nivel alto y el promedio de la longitud de cola un nivel medio.

Estas se grafican por la aplicación como se evidencia en la figura 9. (Se adjunta el correspondiente archivo del aplicativo nombrado como Anexo 1 Mamdani).

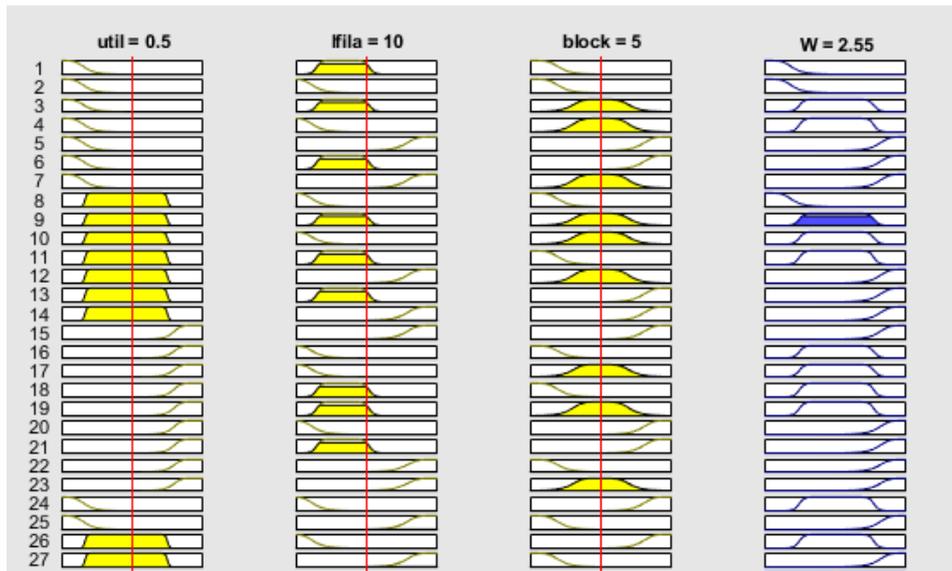


Figura 9 Reglas controlador difuso Mamdani

Fuente: Elaboración propia entorno Matlab.

Además, se generan unas graficas de desempeño de las variables en conjunto en este caso se limita a un plano cartesiano de tres ejes por las características del software las cuales se asemejan a un comportamiento real en un sistema de colas con estas variaciones como se evidencia de la figura 10 a la 12, representan la interacción entre los parámetros analizados de manera coherente.

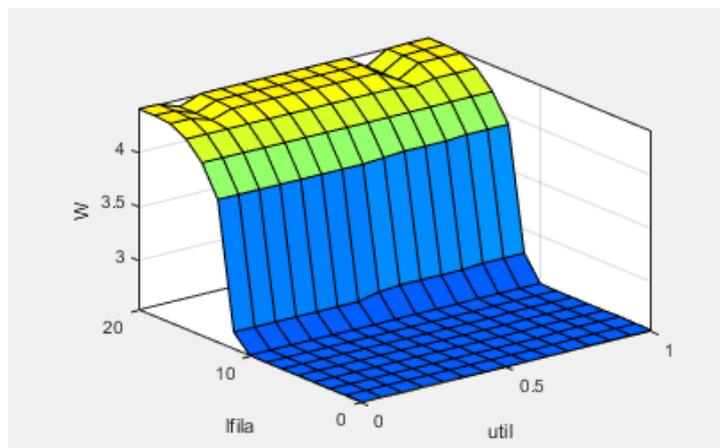


Figura 10 Grafica Longitud de fila vs utilización vs tiempo de flujo

Fuente: Elaboración propia entorno Matlab.

La figura 10 representa la interacción entre la longitud de la cola y la utilización hacia el tiempo de flujo en el sistema como se evidencia en la gráfica son variables proporcionales, es decir, cuando aumenta una de estas se refleja en las otras dos dado que están interrelacionadas en el sistema de colas.

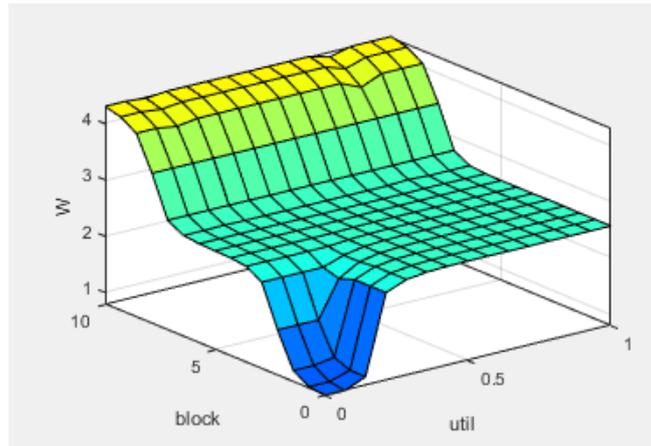


Figura 11 Grafica Bloqueo vs utilización vs tiempo de flujo

Fuente: Elaboración propia entorno Matlab.

La figura 11 representa las variables de bloqueo y utilización con respecto al tiempo de flujo en el sistema para este caso se evidencia una proporcionalidad en las variables de entrada y salida, dado que incrementan equitativamente en el gráfico.

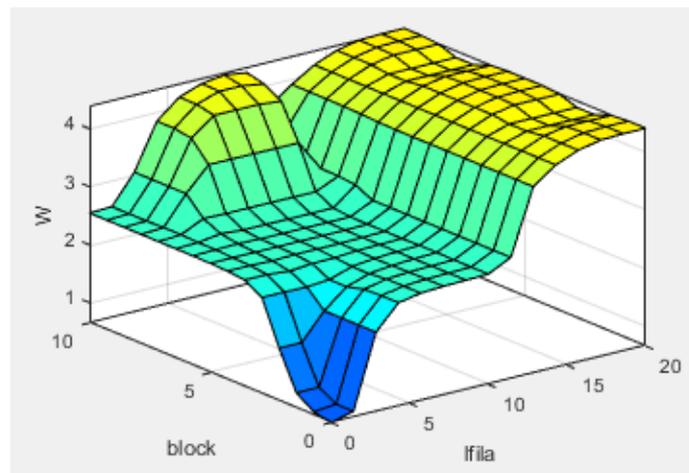


Figura 12 Grafica Bloqueo vs Longitud de cola vs tiempo de flujo

Fuente: Elaboración propia entorno Matlab.

En la figura 12 se grafica el comportamiento de las variables de bloqueo y longitud de la cola con respecto al tiempo de flujo, partiendo de la premisa que estas dos variables están conectadas por la condición de interrelación que presentan.

Modelación de sistema Adaptativo de inferencia difusa ANFIS

El sistema adaptativo de inferencia difusa para su generación requiere de información cuantitativa de las variables involucradas tanto de entrada como de salida que permitan identificar las diferentes características de su comportamiento en el modelo, al estructurarse por medio de la aplicación de Matlab - SimEvents el modelo del sistema de

colas seleccionado inicialmente en el estudio, se realizan la ejecución de la simulación con una distribución uniforme con el objetivo de recolectar los datos para cada uno de los escenarios establecidos.

El modelo de colas se compone por un generador de entidades, las colas de ingreso a los servicios y los servidores de atención principalmente, para realizar el registro de los resultados (información inicial) se realiza la corrida del sistema de colas con sus características primarias estableciendo las estadísticas de desempeño que correspondan a las variables a analizar, en seguida se procede a ejecutar el modelo en varias ocasiones donde se almacenan los datos por corrida para el desarrollo de la siguiente fase en la construcción del ANFIS.

Como se evidencia en la figura 13 se utiliza la aplicación de Matlab en el entrenamiento de la información recolectada anteriormente, implementando la generación FIS Grid partition al establecer tres variables de entrada y una de salida, seleccionando unas funciones de membresía de (3,3,3) que se complementen con la configuración determinada en el controlador Mamdani.

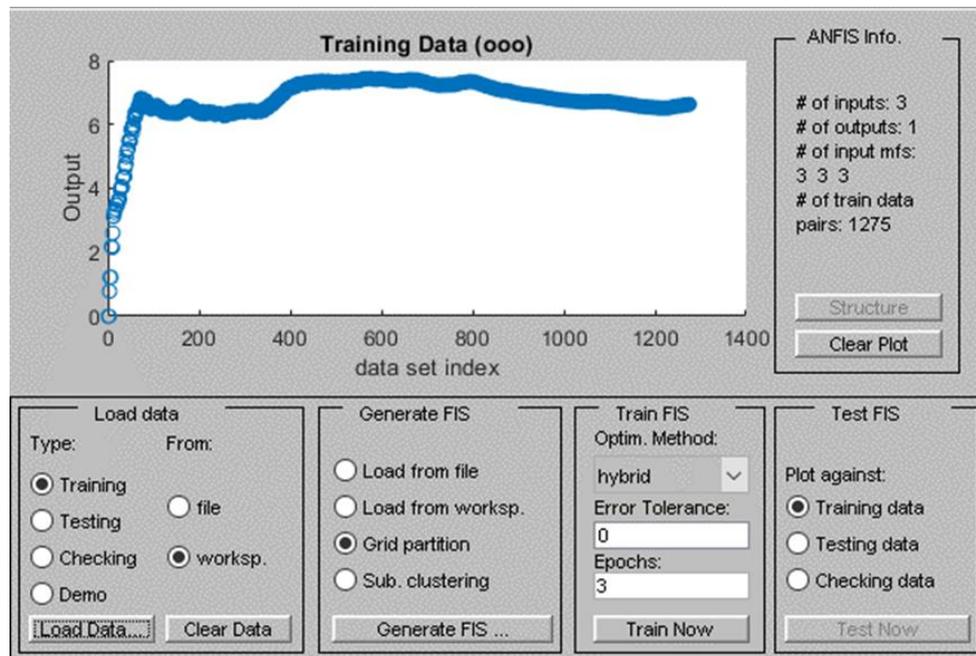


Figura 13 Diseño del ANFIS (training data)

Fuente: Elaboración propia entorno Matlab.

A partir de este diseño y generación del ANFIS se construye el Sugeno con sus partes ya establecidas como se determina en la figura 14 en la cual se unifica el comportamiento de las variables con el aplicativo del sistema adaptativo de lógica difusa para determinar el comportamiento de la variable de salida.

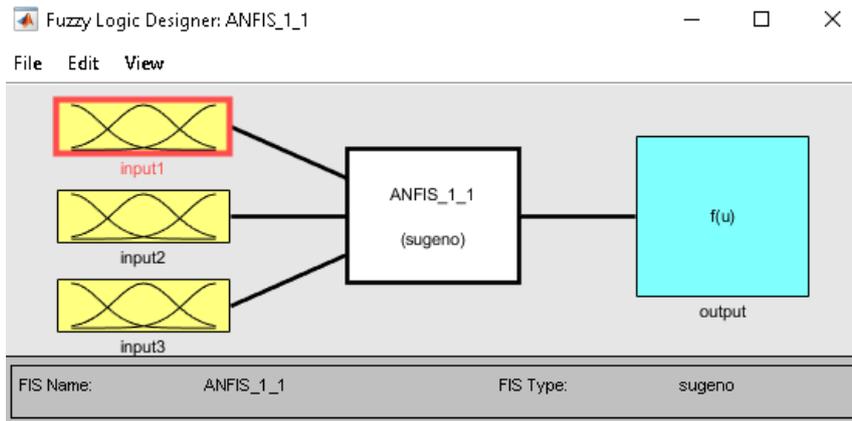


Figura 14 Variables de entrada y salida ANFIS

Fuente: Elaboración propia entorno Matlab.

Además de una estructura del modelo del ANFIS que se integra de las entradas las etiquetas lingüísticas, que a su vez sus combinaciones determinan la cantidad de reglas que tiene el modelo difuso formando una red con cada una de estas como se refleja en la figura 15.

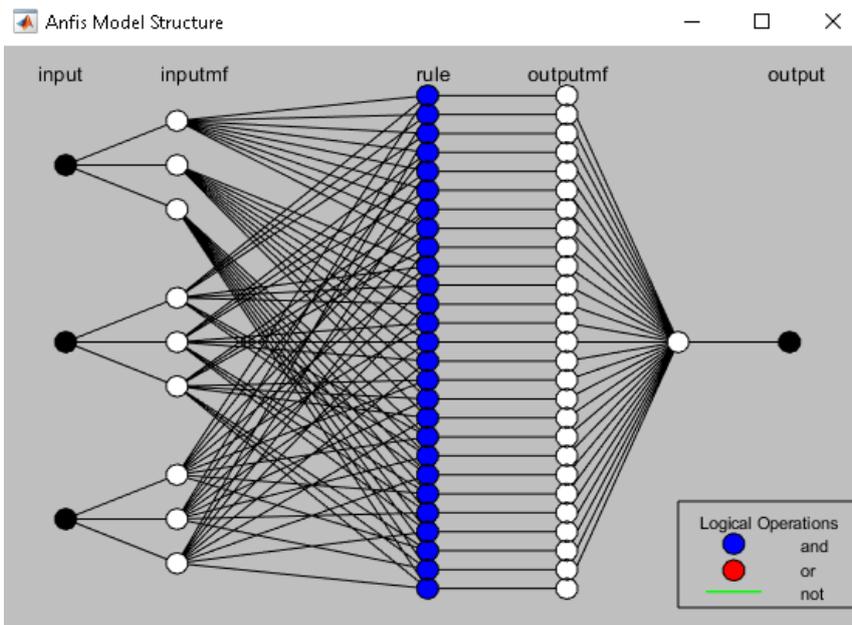


Figura 15 Estructura del ANFIS

Fuente: Elaboración propia entorno Matlab.

Formulación matemática

De acuerdo con el propósito del estudio realizado en este trabajo las principales variables de análisis son la utilización (u), la longitud promedio de la cola (q) y el bloqueo del sistema (b), con estas medidas de desempeño se formula una programación matemática

con ecuaciones condicionales de selección del servidor para ingresar la entidad que arriba al sistema teniendo en cuenta la capacidad de cada uno de los servidores para optimizar el servicio que se presta en el modelo (la función se encuentra en los modelos del sistema de colas y red de colas).

Función Matlab

Utilizando el software Matlab se formula cada variable asociada al comportamiento del sistema con el Mamdani FIS y el ANFIS, en la primera parte de la formulación se establece la función que lee estos dos controladores difusos por medio del código del software “readfis”, “evalfis” entre otros, de los cuales se generan las variables resultantes para el Mamdani (n1, n2, n3 y n4) y ANFIS (nn1, nn2, nn3 y nn4).

A partir de la generación de estas variables con la aplicación de los controladores se realiza la comparación de los valores generados para cada servidor, esto se establece por medio de las restricciones condicionales *if* donde compara los valores de la evaluación del ANFIS en el sistema, es decir, su valor resultante además de las variables de decisión, en el caso de seleccionar el primer servidor se emite un mensaje en el cual el valor de la variable (y) es el número 1, en cambio para los demás sería; 2, 3 o 4 respectivamente. Donde se selecciona el servidor que tiene menor ocupación de acuerdo con los indicadores de desempeño y la aplicación del ANFIS.

```
function [y,uu,ll,yy,ut,q1,data1,b,b1] =
fcn(q1,q2,q3,q4,u1,u2,u3,u4,b1,b2,b3,b4,n)
n1=0;
n2=0;
n3=0;
n4=0;
nn1=0; nn2=0; nn3=0; nn4=0;

coder.Extrinsic('readfis','evalfis','disp','diary',
'load','genfis','anfis','open','matfile');

%a=readfis('FIS_tiempo_flujo_mamdani_ajustado');
%a=readfis('Mandami6');
a1=readfis('Mandami9');
a=readfis('anfis_5');

n1=evalfis([u1,q1,b1], a);
n2=evalfis([u2,q2,b2], a);
n3=evalfis([u3,q3,b3], a);
n4=evalfis([u4,q4,b4], a);

nn1=evalfis([u1,q1,b1], a1);
nn2=evalfis([u2,q2,b2], a1);
nn3=evalfis([u3,q3,b3], a1);
nn4=evalfis([u4,q4,b4], a1);

y1=0;
    if nn1<=nn2 && nn1<=nn3 && nn1<=nn4
        y1=1;
    elseif nn2<=nn1 && nn2<=nn3 && nn2<=nn4
        y1=2;
    elseif nn3<=nn1 && nn3<=nn2 && nn3<=nn4
        y1=3;
    else
```

```

        y1=4;
    end

p=1;
if p<1
    r=rand;
    if (n>=40)
        if q1<=q2 && q1<=q3 && q1<=q4
            y=1;
        elseif q2<=q1 && q2<=q3&& q2<=q4
            y=2;
        elseif q3<=q1 && q3<=q2&& q3<=q4
            y=3;
        else
            y=4;
        end
    else
        if r<=0.25
            y=1;
        elseif r<=0.5
            y=2;
        elseif r<=0.75
            y=3;
        else
            y=4;
        end
    end
else
    r=rand;
    if (n>=40)
        if n1<=n2 && n1<=n3 && n1<=n4
            y=1;
        elseif n2<=n1 && n2<=n3 && n2<=n4
            y=2;
        elseif n3<=n1 && n3<=n2 && n3<=n4
            y=3;
        else
            y=4;
        end
    else
        if r<=0.25
            y=1;
        elseif r<=0.5
            y=2;
        elseif r<=0.75
            y=3;
        else
            y=4;
        end
    end
end

if (n>=40)
    if b1<=b2 && b1<=b3 && b1<=b4
        y=1;
    elseif b2<=b1 && b2<=b3&& b2<=b4
        y=2;
    elseif b3<=b1 && b3<=b2&& b3<=b4
        y=3;
    else

```

```

        y=4;
    end
end

%storedata (u1,q1,y);

ut=[u1,u2,u3,u4];
bl=[b1,b2,b3,b4];
data1=[(u1+u2+u3+u4)/4,(q1+q2+q3+q4)/4,(n1+n2+n3+n4)/4,(b1+b2+b3+b4)/4];

q1=[q1,q2,q3,q4];
uu=[u1,u2,u3,u4];
ll=[q1,q2,q3,q4];
yy=[y,y1];
b=[b1,b2,b3,b4];
disp([uu,ll,n1,n2,n3,n4,yy,y1,b,b1]);

```

Modelo Sistema de colas

En el estudio se formula un sistema de colas con configuración G/G/4/40 de acuerdo con la notación de Kendal, en este modelo se determinan 4 servidores de atención al servicio de las entidades que ingresan al sistema con una tasa de arribo que sigue una distribución uniforme entre 0.5 y 1 min. Mientras la tasa de servicio sigue una distribución uniforme entre 1.5 y 3.0 min, además de la probabilidad del reproceso de las entidades de un 20% con una metodología de fila FIFO (First in First out). Este prototipo es modelado en el software Matlab con la herramienta SimEvents del entorno de Simulink.

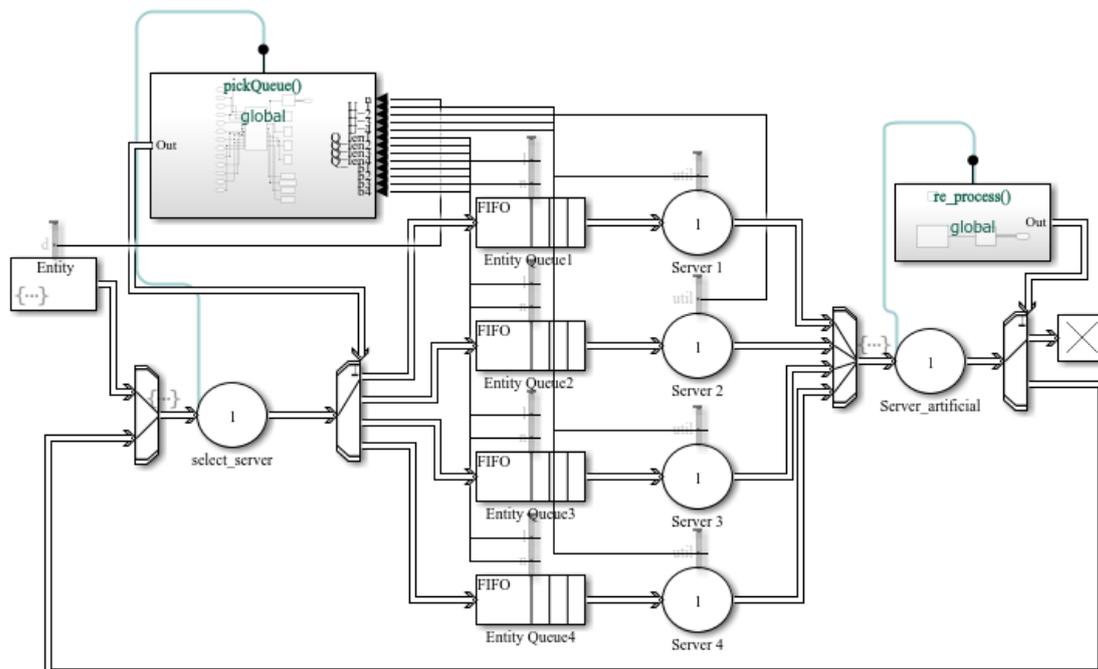


Figura 16 Modelo del Sistema de colas

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

Como parte de la investigación se analiza no solo desde una perspectiva de interacción por lo cual se analiza la respuesta del modelo en una red de cola compuesta por tres sistemas de colas conectados por los servicios que se realizan de forma secuencial, como se puede presentar en un entorno real como en los procesos notariales o bancarios donde se requiere de diferentes procesos para culminar una actividad general, teniendo en cuenta que los sistemas de colas se encuentran en todas las estaciones que requieran de esperar para recibir un servicio determinado.

Modelo Redes de colas

La red de colas está compuesta por tres sistemas de colas con las características especificadas anteriormente se establece un ingreso dirigido a cada una de las estaciones desde la primera estación y su probabilidad de reproceso, esto con el objetivo de conocer el comportamiento del modelo desarrollado del sistema adaptativo de lógica difusa como se evidencia en la figura 17. (Modelo adjunto en el archivo Anexo 3 Red).

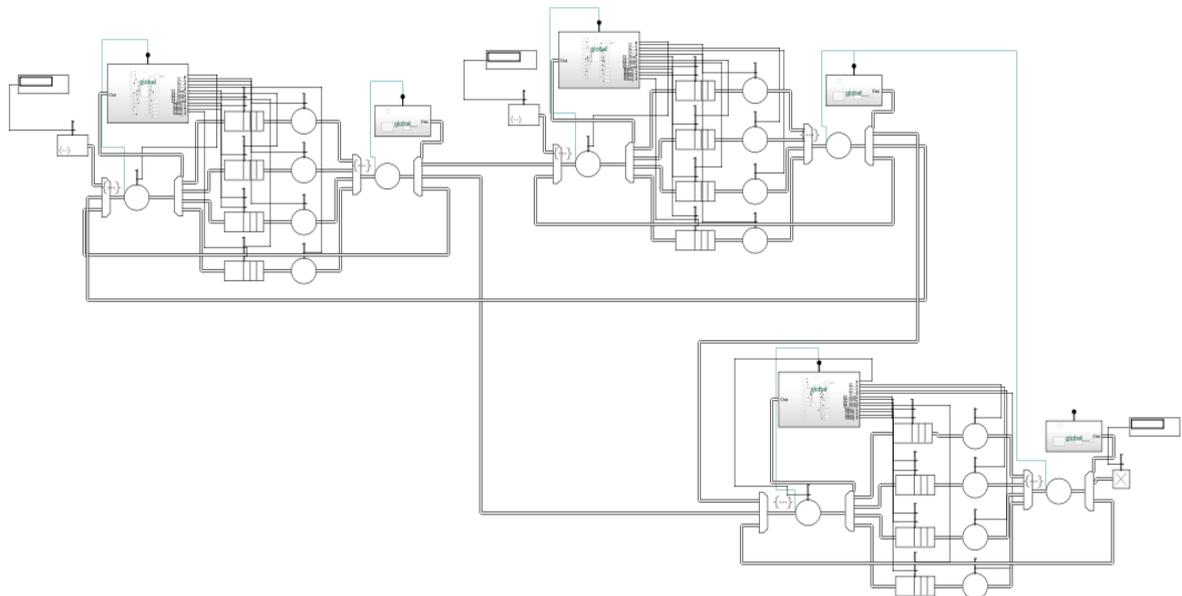


Figura 17 Modelo de la Red de colas

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

Caso real: Investigación de una red de colas

En la integración de la teoría de colas y el ANFIS de este documento no solo se analiza en modelos de software, sino también en un sistema real que puede mejorar sus condiciones de operación y a su vez que optimice sus niveles de atención al cliente. Para este caso es un sistema de un proceso hospitalario.

Con el objetivo de establecer la efectividad del modelo del sistema de inferencia difusa desarrollado con las tres variables de entrada seleccionadas, se realiza la aplicación y análisis en un estudio de caso real implementado en el trabajo de grado de maestría (Flórez Becerra, 2016) donde el investigador recolecta la información real de un sistema de servicio administrativo en una entidad promotora de salud y establece las

características de estos datos por medio de análisis de entrada y estadística, en donde identifica el tipo de distribución que sigue la tasa de arribo y la tasa de servicio de cada estación o proceso que conforman el sistema.

A partir del análisis de estos datos en el estudio se formula un modelo con las mismas características y se ejecuta una primera simulación discreta con la cual se obtienen los datos para la generación del ANFIS y una segunda ejecución del sistema donde se evidencia la efectividad del modelo propuesto para este tipo de sistema, sin embargo, es necesario resaltar que las entidades de colas no tienen una capacidad finita de trabajos en cola por lo cual se diferencia de los modelos anteriores. (Modelo adjunto en el archivo Anexo 7 caso real).

ESCENARIOS

Para el análisis del comportamiento del sistema con respecto a cada una de las políticas de secuenciación seleccionadas y el ANFIS propuesto es necesario establecer unos escenarios en los cuales se presenta una variación en el tiempo de arribo de entidades al sistema identificados con unas etiquetas:

- ✓ Bajo
- ✓ Medio
- ✓ Alto

las cuales a su vez influyen directamente en la tasa de arribo del sistema generando en el primer caso una alta fluencia de entidades al sistema, por ejemplo, en un sistema bancario este se presenta al medio día dado que es el momento cuando se presenta mayor congestión. Para una tasa de arribo media hace referencia a los lapsos de tiempo en que el sistema tiene una fluencia media de entidades esto se puede dar en el caso del ejemplo del banco después de las 10 de la mañana y finalmente para una tasa de arribo baja cuando el tiempo de arribo es alto, es decir que entre el arribo de la primera entidad y la segunda se encuentra una gran diferencia de tiempo se presenta cuando por ejemplo son las 8 de la mañana en un banco y los usuarios arriban cada media hora.

Se establecen estos tres escenarios de comparación para la red y sistema de colas con el objetivo de evidenciar cual es el comportamiento de cada uno con respecto a cada política y cuál de estas optimiza el servicio del sistema para las entidades de arribo, además de permitir analizar esa variación en los arribos al sistema.

CAPITULO V: RESULTADOS Y ANALISIS

En este capítulo se analizará el comportamiento de un sistema de inferencia difusa aplicado a un sistema de colas, una red de colas y un estudio de caso real desarrollado en otro documento, las características de estos modelos se identificaron en el capítulo anterior de este estudio, de acuerdo con la investigación y estableciendo una comparación de los resultados obtenidos en las simulaciones ejecutadas para tres escenarios de diferentes tasas de arribo en los dos casos del sistema y red donde se evidencia la respuesta del modelo generado y su efectividad con respecto a las políticas tradicionales de secuenciación.

5.1 Modelo sistema de colas

Se evidencia en el modelo del sistema de colas de la figura 16 algunas de las características básicas del sistema con una configuración G/G/4/10, disciplina de fila FIFO con 4 servidores que componen la estación teniendo en cuenta que el proceso de arribo de las entidades se determina por un tiempo de arribo que sigue una distribución uniforme para analizar el comportamiento de las políticas se establecen tres escenarios que modifican el tiempo de arribo en bajo (0.5 y 1.0 min), medio (0.5 y 1.5 min) y alto (1.0 y 2.0 min), los cuales a su vez determinan la tasa de arribo donde influyen en las variables de entrada del modelo, los servidores tienen un tiempo de servicio basado en una distribución uniforme entre 1.5 y 3.0 minutos, con una probabilidad del 20% de reproceso de las entidades y una capacidad por cada servidor de 10 entidades. (Modelo adjunto en el archivo Anexo 2 Sistema).

De acuerdo con esta configuración del sistema se ejecuta la simulación con 1000 unidades de tiempo inicialmente para una distribución uniforme de la secuenciación y enseguida con las 3 políticas de selección del servidor de atención para las entidades, en este caso se analiza el modelo que sigue una distribución uniforme a partir del cual se genera la información inicial para el entrenamiento de los datos con el objetivo de crear el modelo de ANFIS, cuando se cuenta con la configuración se ejecuta la simulación y las demás políticas de Round robin y Equiprobable, las cuales se comparan con base en las gráficas de los indicadores de rendimiento.

Es necesario desarrollar el análisis del entrenamiento de error del ANFIS generado con el objetivo de mejorar la capacidad de respuesta del modelo, se establece una comparación de cada escenario señalado de acuerdo con el método de optimización híbrido y de retropropagación para 100, 500 y 1000 épocas.

5.1.1 ESCENARIO 1

Este escenario establece un tiempo de arribo entre 0.5 y 1.0 minutos siguiendo una distribución uniforme, como se determinó anteriormente en las siguientes figuras se evidencia la respuesta del modelo en el entrenamiento de error y en los indicadores de desempeño seleccionados (Configuración Anfis adjunto en el archivo Anexo 3 Anfis esc1).

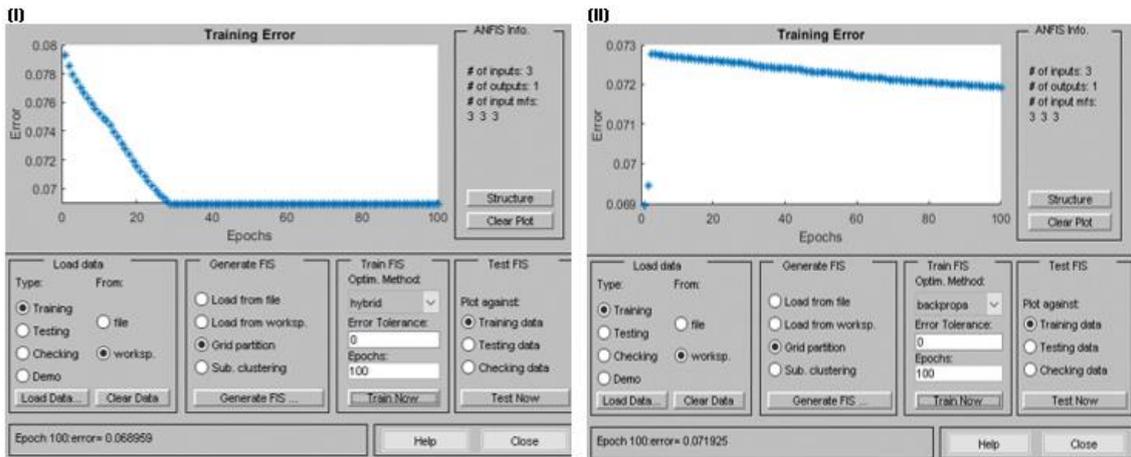


Figura 18 Resultados entrenamiento de error escenario 1 sistema de colas en 100 épocas (I) método híbrido y (II) retropropagación

Fuente: Elaboración propia, Neuro Fuzzy Designer / Matlab.

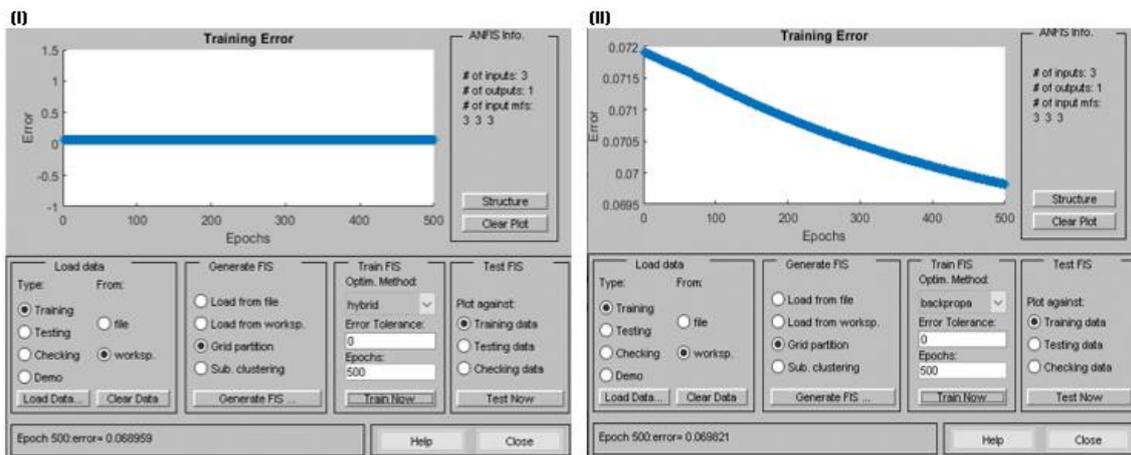


Figura 19 Resultados entrenamiento de error escenario 1 sistema de colas en 500 épocas (I) método híbrido y (II) retropropagación

Fuente: Elaboración propia, Neuro Fuzzy Designer / Matlab.

Se realiza el entrenamiento de error con una variación de las épocas para cada método de optimización como se evidencia en las anteriores figuras 18 a la 20 los resultados establecen una proporcionalidad en la disminución del error al aumentar la cantidad de épocas en cada entrenamiento, como en el caso de la figura 20 se evidencia el menor error con el método retropropagación de 0.068092 con una ejecución del entrenamiento de 1000 épocas.

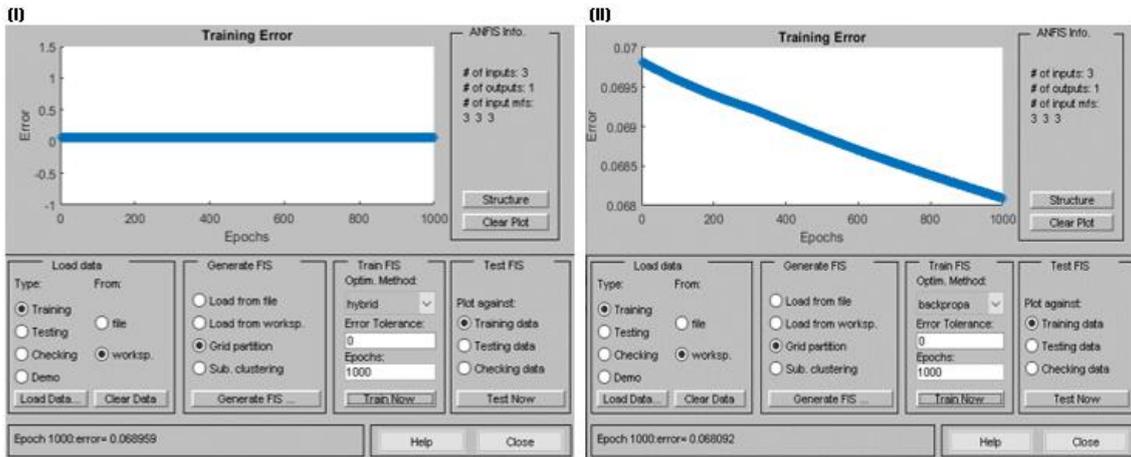


Figura 20 Resultados entrenamiento de error escenario 1 sistema de colas en 1000 épocas (I) método híbrido y (II) retropropagación

Fuente: Elaboración propia, Neuro Fuzzy Designer / Matlab.

A partir de la generación del ANFIS propuesto y desarrollar los correspondientes entrenamientos de error se establecen dos características que grafica la aplicación del software como se evidencia en la figura 21 en (I) se establecen las reglas de decisión que tiene el modelo y en (II) se representa el comportamiento de las variables de entrada con respecto a la variable de salida en este caso el tiempo de flujo en el sistema de las entidades.

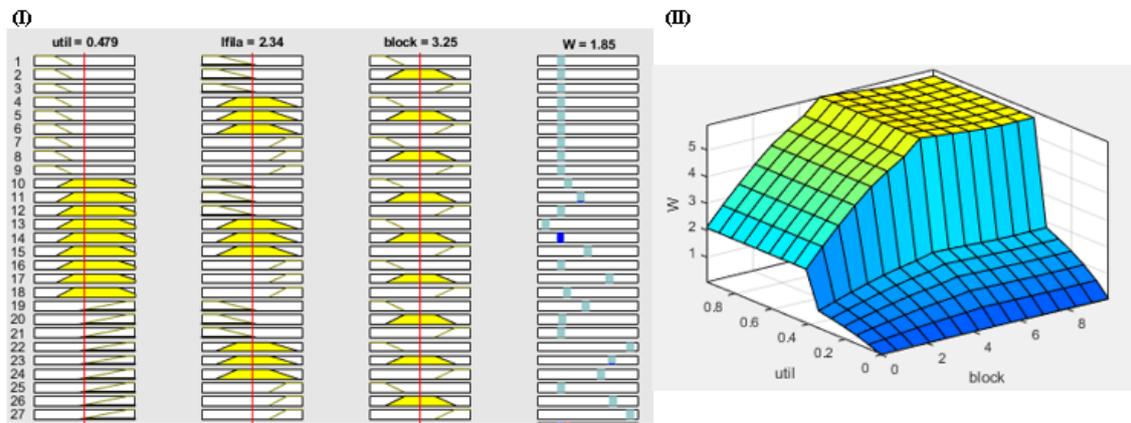


Figura 21 Resultados ANFIS propuesto para el escenario 1 del sistema de colas (I)Reglas de decisión y (II) Grafica de superficie.

Fuente: Elaboración propia, Neuro Fuzzy Designer / Matlab.

Se realiza una simulación con 1000 unidades de tiempo para las tres políticas de configuración en el sistema de colas donde se evidencia la respuesta de cada una de acuerdo con las siguientes graficas en los indicadores de desempeño.

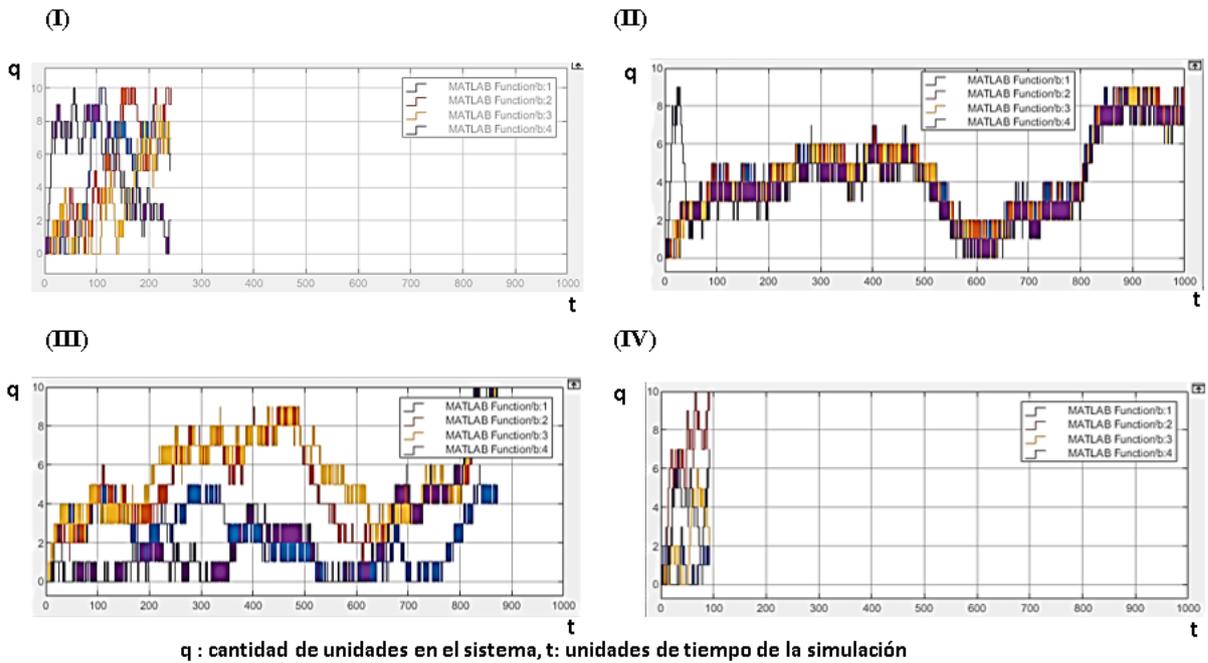


Figura 22 Resultados Escenario 1 del bloqueo del modelo de colas para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab.

La figura 22 establece la respuesta del sistema con respecto al indicador de bloqueo donde se evidencia que la simulación (I) sin controlador se presenta un bloqueo en el tiempo alrededor de 250 en donde finaliza la ejecución del modelo, por otra parte, el (II) ANFIS completa la ejecución de la corrida sin presentar una interrupción como las política equiprobable y Round Robin. La figura 23 representa gráficamente el comportamiento del modelo de acuerdo con la política seleccionada, se evidencia un mayor rendimiento con la política del ANFIS (II) con una utilización de aproximadamente 1 por la cual se logra completar la ejecución del modelo en la cantidad de unidades de tiempo establecidas en comparación de las otras políticas que se bloquean con antelación.

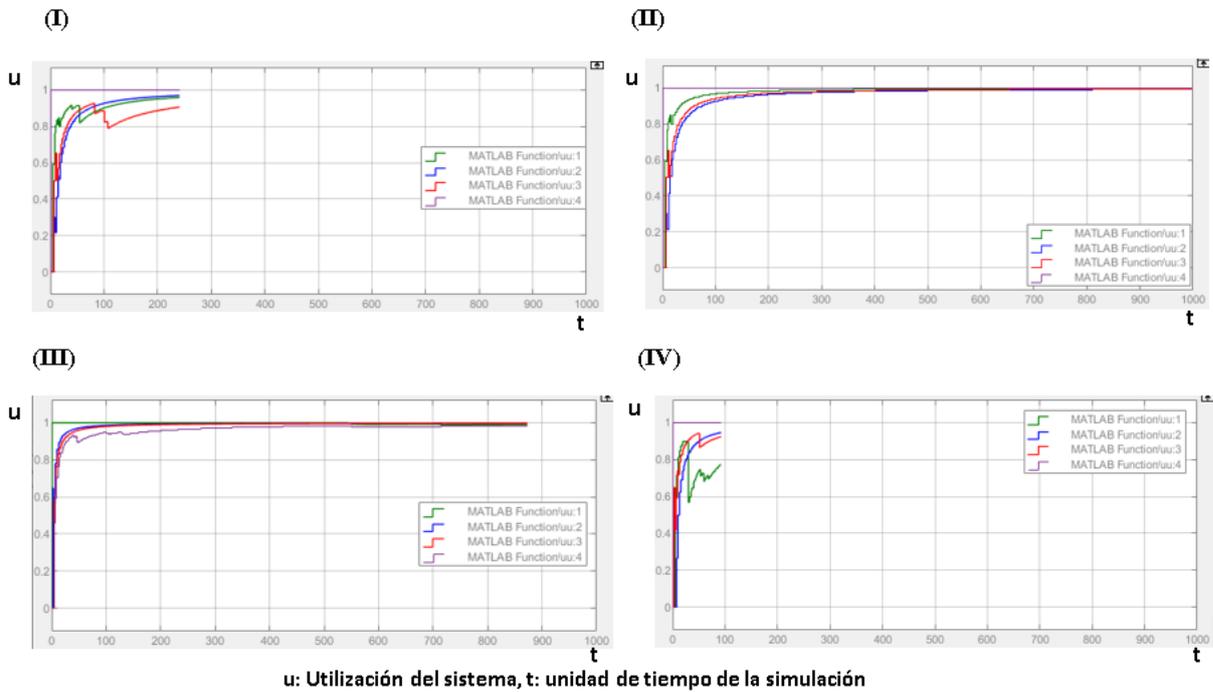


Figura 23 Resultados Escenario 1 de utilización del modelo de colas para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab.

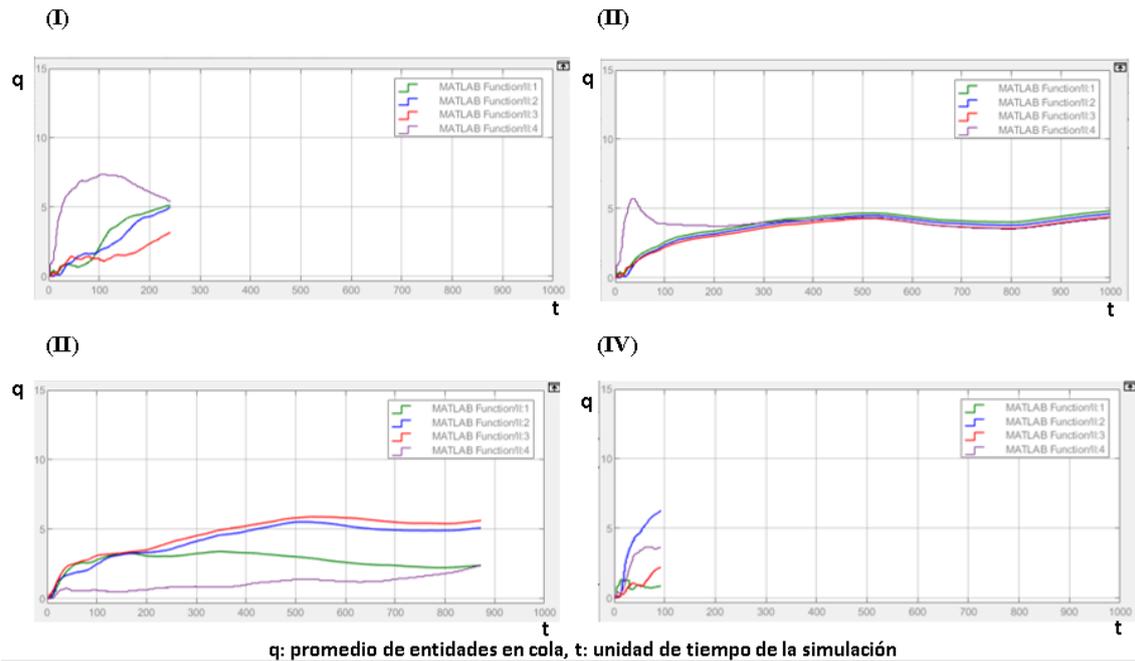


Figura 24 Resultados Escenario 1 de longitud de cola del modelo de colas para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab.

Y el ultimo indicador de longitud de cola (Figura 24) representa la variación de las filas en el sistema en conjunto para los cuatro servidores, los niveles de cola del sistema tienen una variación media que se aproxima a 5 al aumentar las unidades de tiempo para la

configuración ANFIS que es la única que finaliza la ejecución de la simulación, se evidencia una distribución similar en la cantidad de entidades que hacen fila en cada uno de los servidores, en cambio para las políticas (III) y (IV) las filas de los servidores no se integran por el contrario presentan una variación en sus graficas.

En el escenario 1 se presenta una tasa alta de arribo de las entidades al sistema por lo cual se genera un bloqueo en determinada unidad de tiempo en la política que no tiene un controlador de entidades, de acuerdo con el comportamiento de cada indicador de rendimiento la configuración del ANFIS es adecuada para mejorar el desempeño del modelo en comparación con las demás políticas.

5.1.2 ESCENARIO 2

En este escenario se establece un tiempo de arribo de 0.5 y 1.5 minutos de acuerdo con una distribución uniforme siendo la tasa media de arribo de las entidades, se ejecuta el modelo sin controlador una simulación discreta con el objetivo de generar los datos iniciales que permite desarrollar los siguientes pasos para la creación del ANFIS, en las siguientes figuras se evidencia los resultados del modelo presentado a partir del entrenamiento de error, las reglas difusas y la gráfica de superficie, con base en este modelo se simulan las tres políticas seleccionadas para realizar el análisis comparativo de acuerdo con los indicadores de rendimiento (Configuración Anfis adjunto en el archivo Anexo 4 Anfis esc2).

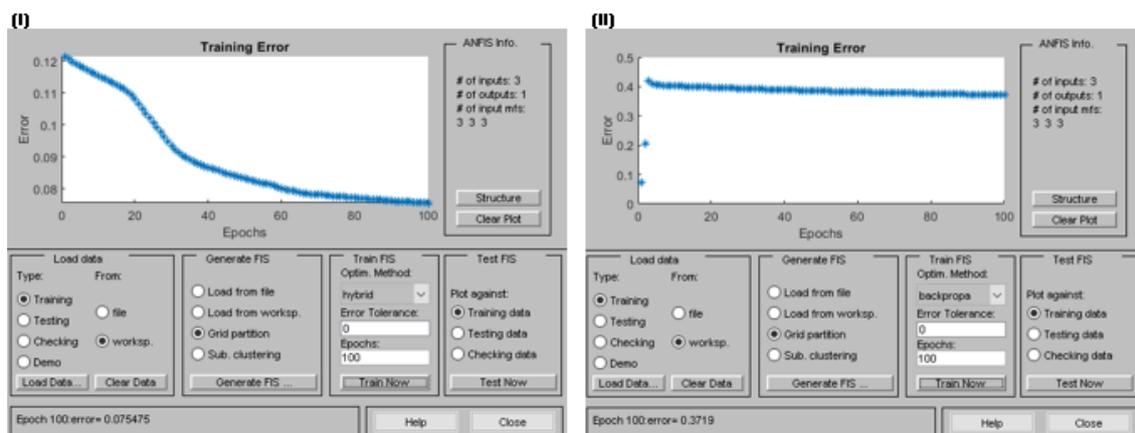


Figura 25 Resultados entrenamiento de error escenario 2 sistema de colas en 100 épocas (I) método híbrido y (II) retropropagación

Fuente: Elaboración propia, Neuro Fuzzy Designer / Matlab.

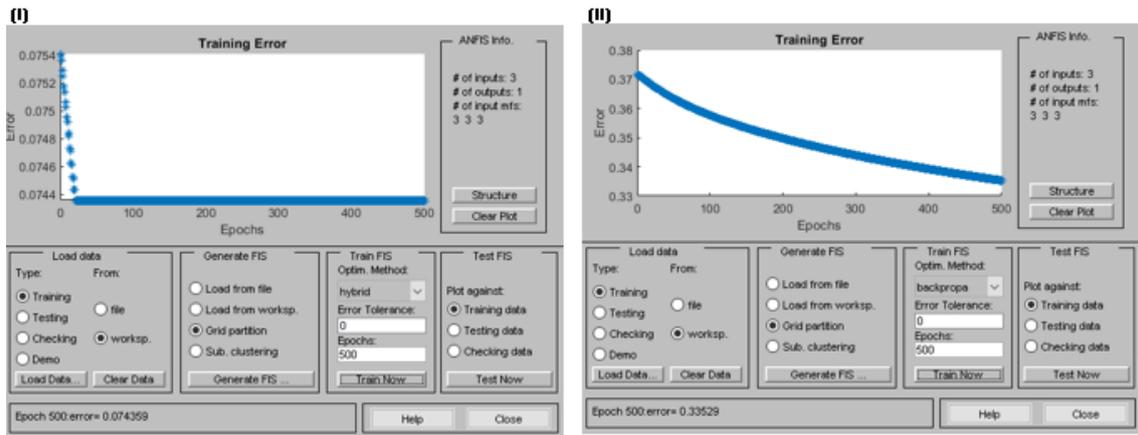


Figura 26 Resultados entrenamiento de error escenario 2 en 500 épocas (I) método híbrido y (II) retropropagación

Fuente: Elaboración propia, Designer Neuro Fuzzy / Matlab.

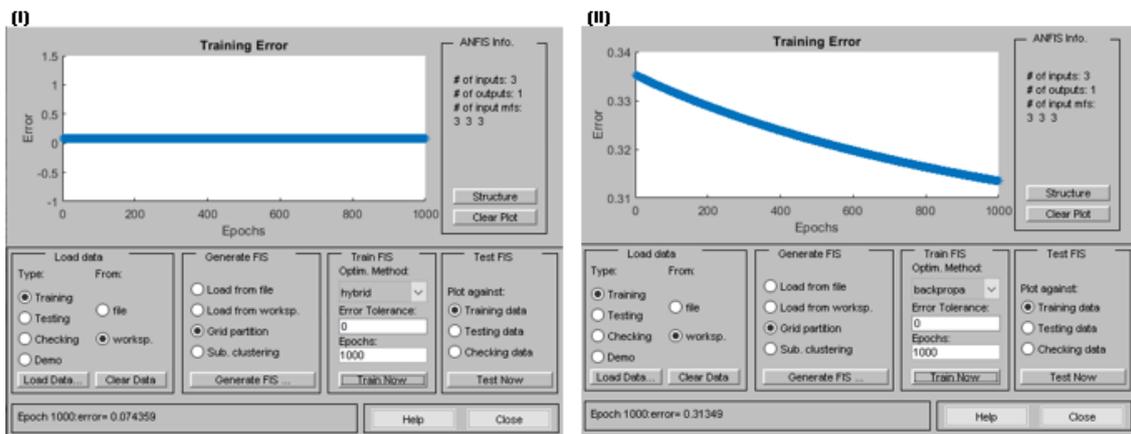


Figura 27 Resultados entrenamiento de error escenario 2 en 1000 épocas (I) método híbrido y (II) retropropagación

Fuente: Elaboración propia, Designer Neuro Fuzzy / Matlab.

La generación de la configuración ANFIS se realiza con la aplicación del software Matlab en el que es necesario desarrollar un entrenamiento error, para establecer cuantitativamente el error que se genera con los datos seleccionados. En las figuras 25 a la 27 se representan los resultados de los dos métodos de optimización del programa para 100, 500 y 1000 épocas respectivamente. Se evidencia una disminución del error en los tres casos al aumentar la cantidad de épocas por entrenamiento al realizar una comparación de cada una de las gráficas el método híbrido presenta un mayor rendimiento en comparación con el método de retropropagación con un valor de 0.07435.

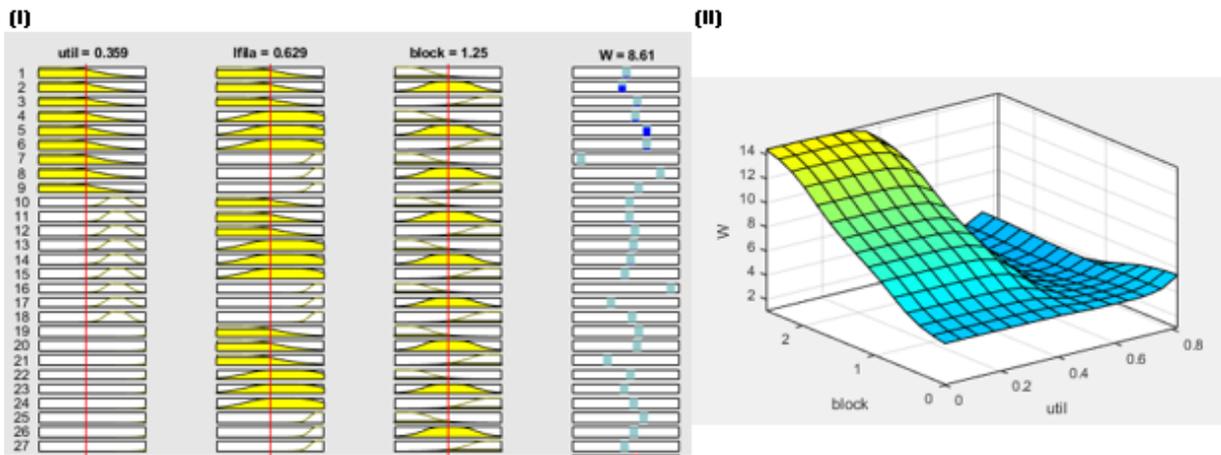
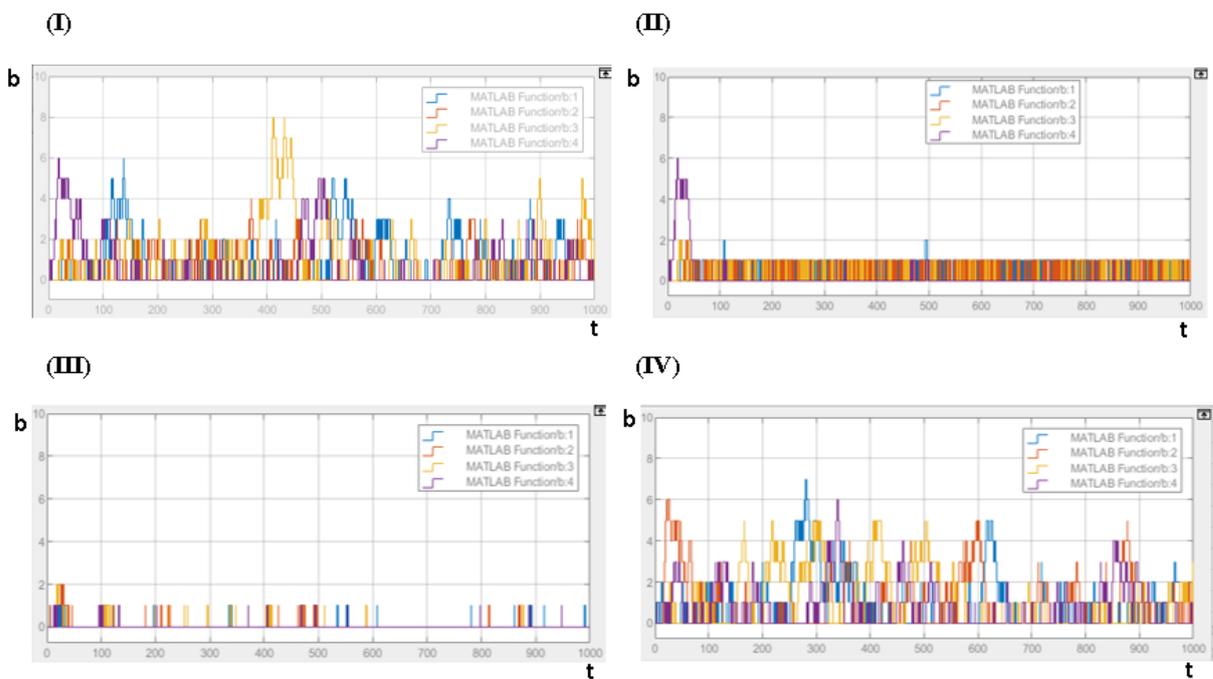


Figura 28 Resultados ANFIS propuesto para el escenario 2 del sistema de colas
 (I)Reglas de decisión y (II) Grafica de superficie.

Fuente: Elaboración propia, Neuro Fuzzy Designer / Matlab.

A partir de la creación del ANFIS en el software se identifican las 27 reglas de decisión y la gráfica de superficie donde se evidencia el comportamiento que tienen las variables de entra con respecto al tiempo de flujo en el sistema para una entidad, de acuerdo con la gráfica (II) la utilización del escenario 2 es menor en comparación del escenario anterior dado que se disminuye la tasa de arribo para los servidores como se analiza en las siguientes graficas.



b: cantidad de unidades en bloqueo, t: unidad de tiempo de la simulación

Figura 29 Resultados escenario 2 del bloqueo del modelo de colas para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

De acuerdo con la figura 29 se evidencia un nivel medio de bloqueo del sistema para la distribución uniforme y la política equiprobable además de una disminución en la cantidad de entidades por parte de la política ANFIS y Round Robin aumentando el ingreso a los servidores esta última mejora el desempeño del modelo.

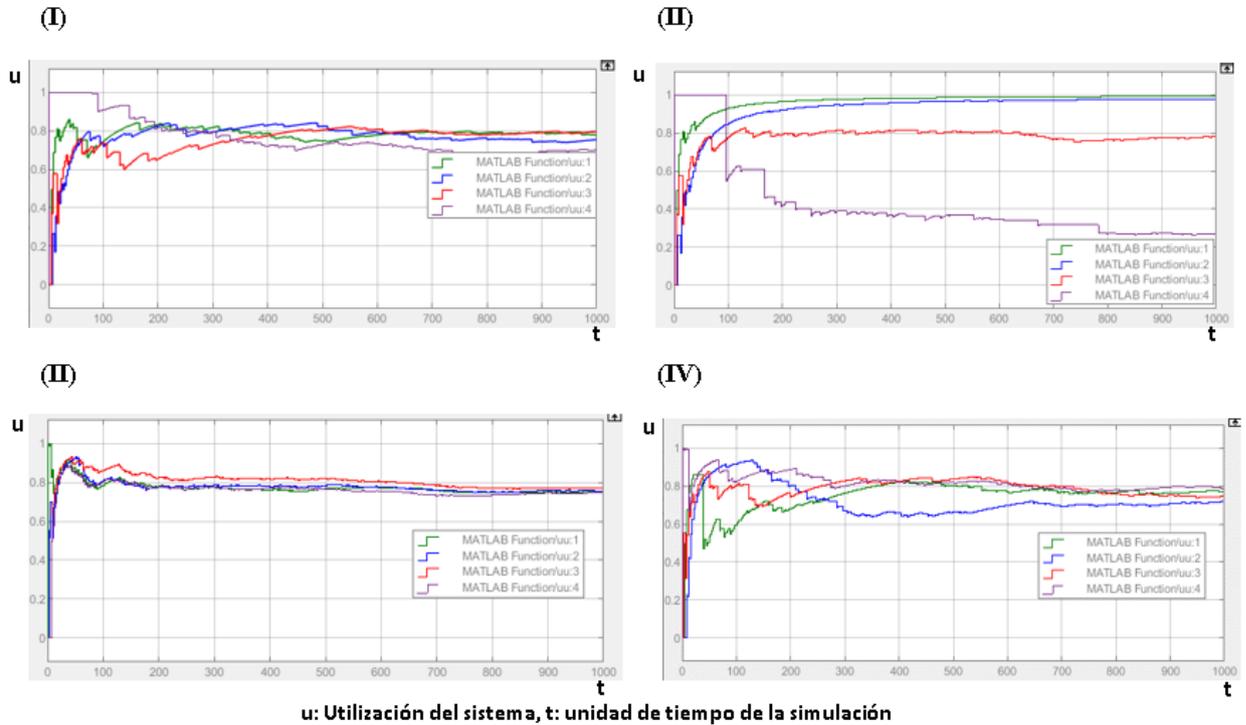


Figura 30 Resultados escenario 2 de utilización del modelo de colas para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

El comportamiento de las gráficas 30 y 31 representa la respuesta del sistema de la capacidad de los servidores en su utilización además de la longitud de cola de las entidades para usar la competitividad del sistema y responder a la necesidad de los clientes con efectividad, para este escenario se presenta una utilización de aproximadamente 1 de los recursos por medio de la política ANFIS y para las otras políticas de alrededor de 0.8.

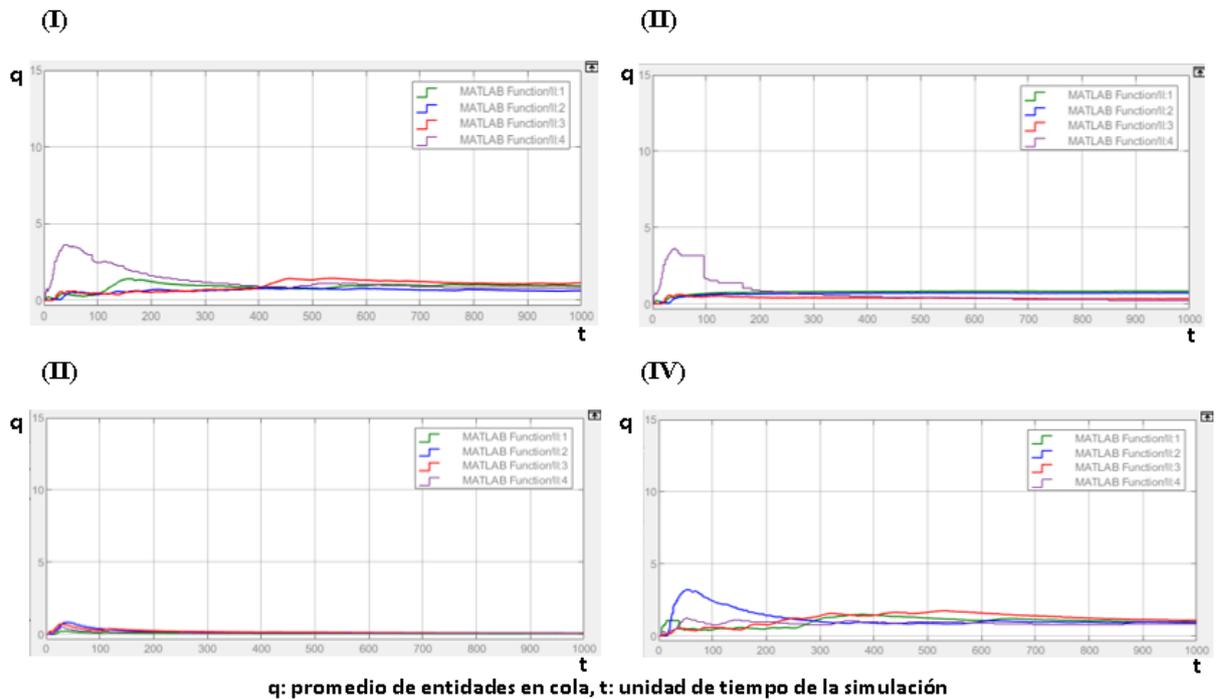


Figura 31 Resultados escenario 2 de Longitud de cola del modelo de colas para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

El escenario dos establece una tasa de arribo media para el sistema lo que permite tener un tiempo de holgura entre los arribos de las entidades en comparación con el escenario uno y para este caso la política que responde a la mejora del sistema es Round robín.

5.1.3 ESCENARIO 3

Este escenario establece un tiempo de arribo de 1.0 y 2.0 minutos de acuerdo con una distribución uniforme, como se determinó en el capítulo anterior en las siguientes figuras se grafican los resultados del modelo, la creación del ANFIS con base en los datos generados a partir de la simulación discreta, el entrenamiento de error, las reglas difusas, la gráfica de superficie y los indicadores de desempeño seleccionados (Configuración Anfis adjunto en el archivo Anexo 5 Anfis esc 3).

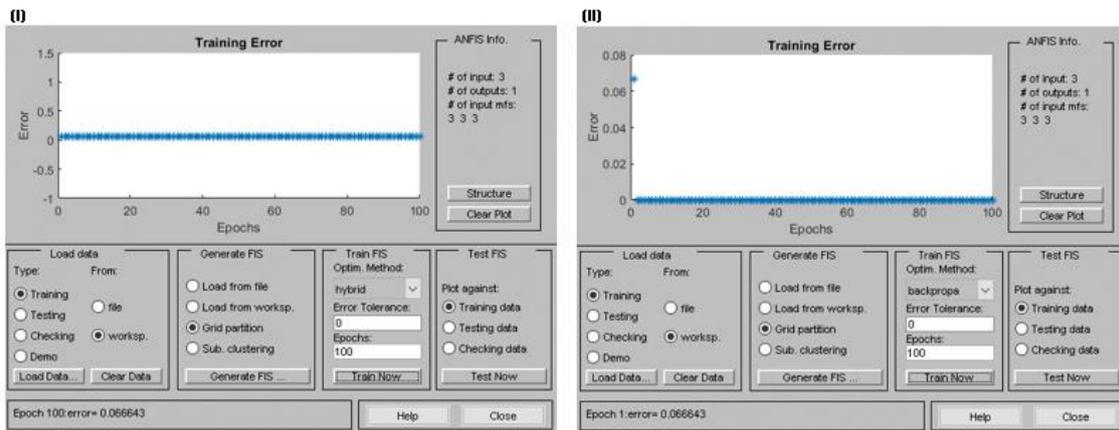


Figura 32 Resultados entrenamiento de error escenario 3 en 100 épocas (I) método híbrido y (II) retropropagación

Fuente: Elaboración propia, Designer Neuro Fuzzy / Matlab.

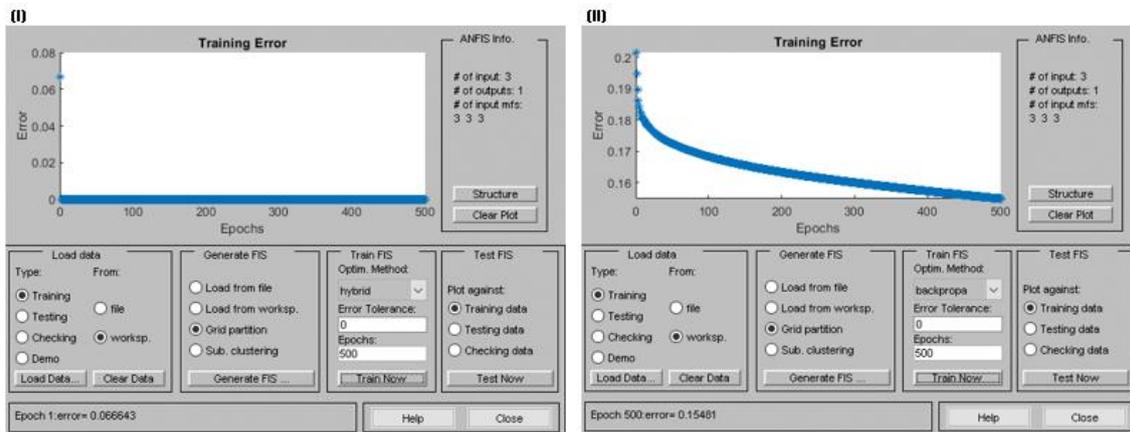


Figura 33 Resultados entrenamiento de error escenario 3 en 500 épocas (I) método híbrido y (II) retropropagación

Fuente: Elaboración propia, Designer Neuro Fuzzy / Matlab.

Con base en las figuras 32 a la 34 se analiza el comportamiento del entrenamiento de error del sistema de inferencia a partir de los datos generados, para este caso en el escenario 3 el error tiene un valor constante de 0.0666 en todas las épocas establecidas para el método híbrido, sin embargo, para el método de retropropagación después de 500 aumenta el error, es decir, que el método de optimización que se ajusta a los requerimientos del estudio es el híbrido.

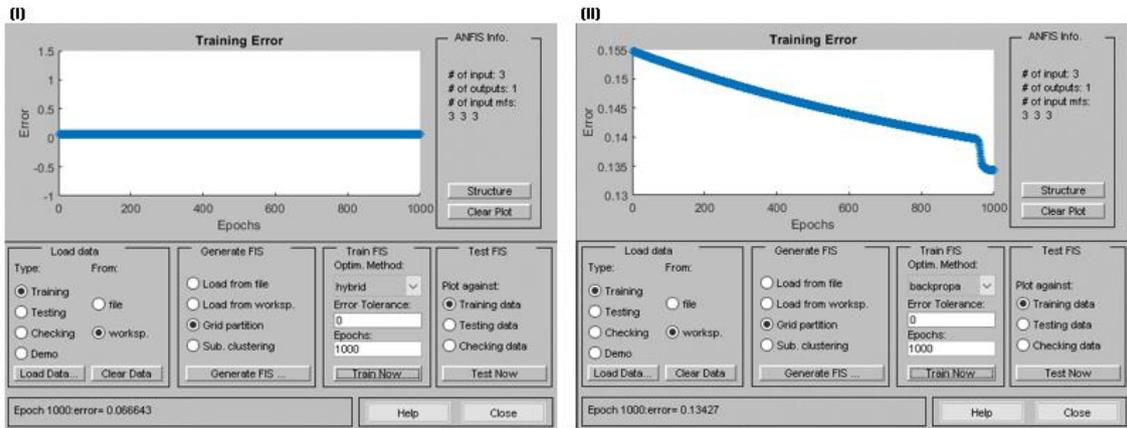


Figura 34 Resultados entrenamiento de error escenario 3 en 1000 épocas (I) método híbrido y (II) retropropagación

Fuente: Elaboración propia, Designer Neuro Fuzzy / Matlab.

A continuación, se presenta la configuración de la política ANFIS con las reglas de difusión generadas en el software y la gráfica de superficie que representa el comportamiento de las variables de entrada con respecto al tiempo de flujo en el sistema. En la figura 35 en comparación con los escenarios anteriores disminuye la afluencia en el sistema lo cual permite responder de manera oportuna a los requerimientos de las entidades.

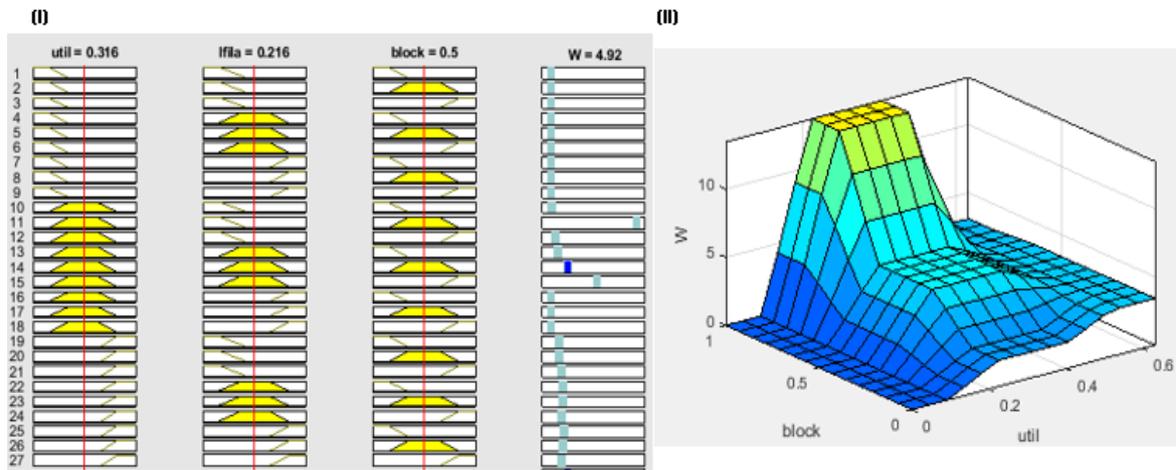


Figura 35 Resultados ANFIS propuesto para el escenario 3 del sistema de colas (I)Reglas de decisión y (II) Grafica de superficie.

Fuente: Elaboración propia, Designer Neuro Fuzzy / Matlab.

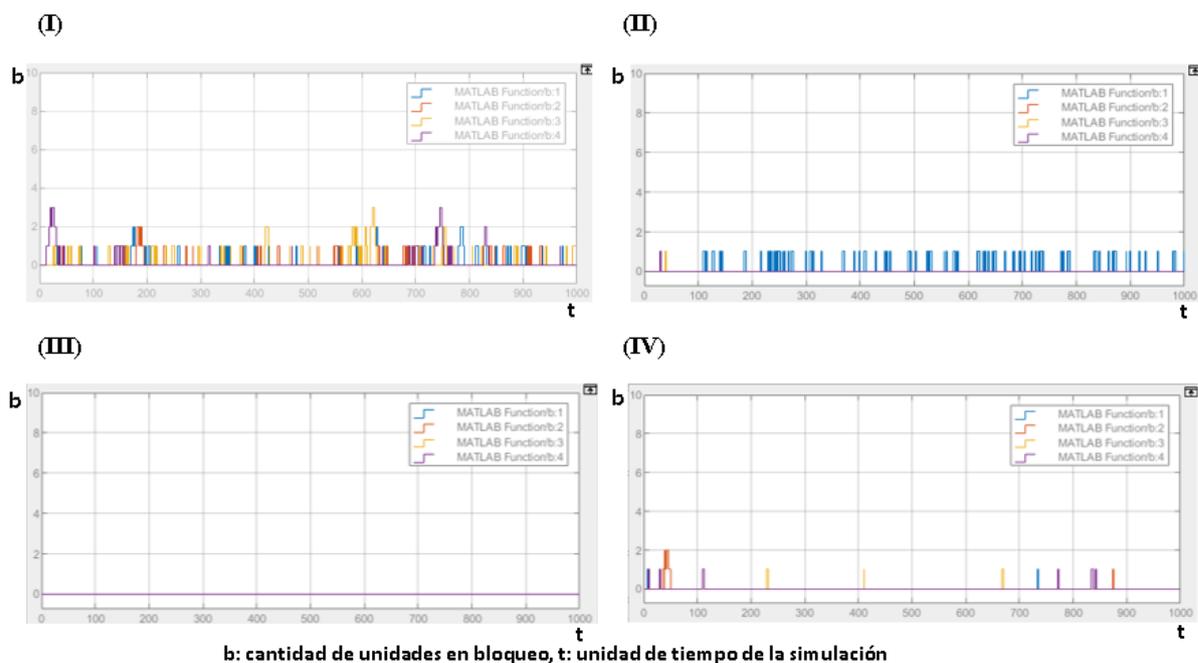


Figura 36 Resultados escenario 3 de bloqueo del modelo de colas para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

Por otra parte, para el escenario tres la figura 36 y 37 se evidencia que el bloqueo del sistema es bajo debido a la disminución en la cantidad de entidades que ingresan al sistema y de esta forma se tiene cuenta con el tiempo además de los recursos suficientes para atender cada entidad en el momento en que ingresa por esta razón, disminuyen la utilización y la longitud de cola para este escenario independiente de la política que se está analizando dado que ninguna de los tres indicadores se alcanza una utilización media de su capacidad.

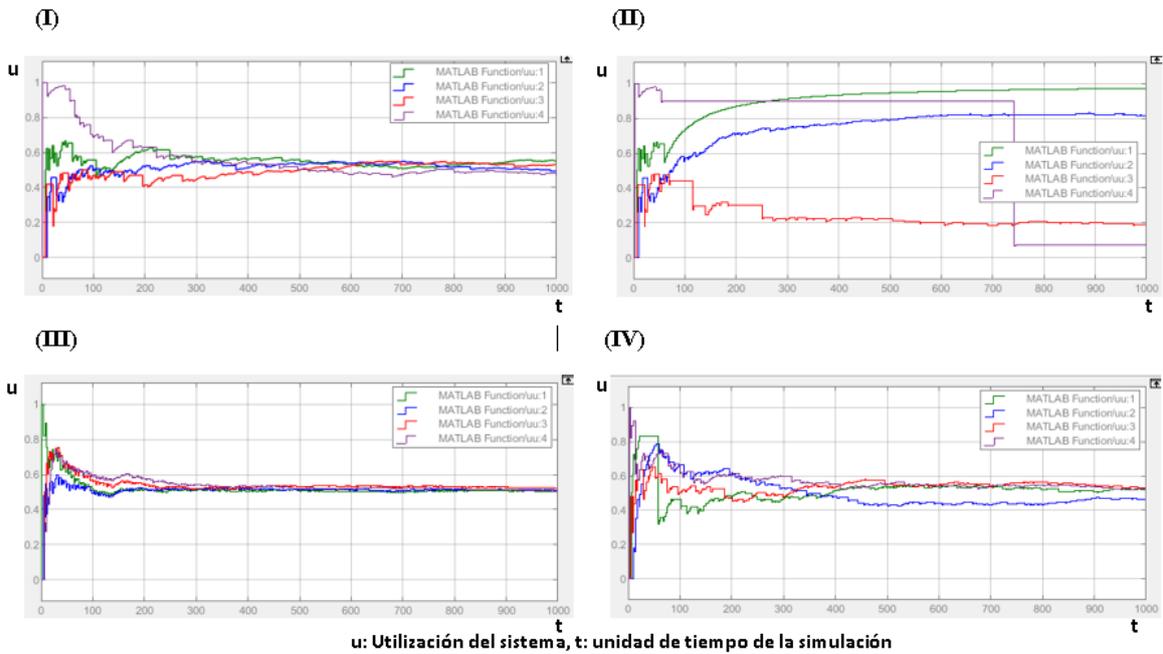


Figura 37 Resultados escenario 3 de utilización del modelo de colas para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

Al tener una tasa de arribo baja en el escenario propuesto, se observa a través de la figura 37 que las cuatro graficas presentan un rendimiento de la utilización de aproximadamente el 0.4, pero se presenta una gran variación entre los servidores en el modelo usando la política ANFIS esto se puede presentar debido a la ocupación de cada servidor y la secuenciación establecida en la función Matlab, frente a las demás configuraciones, las cuales mantienen una variación baja entre sus servidores y constante.

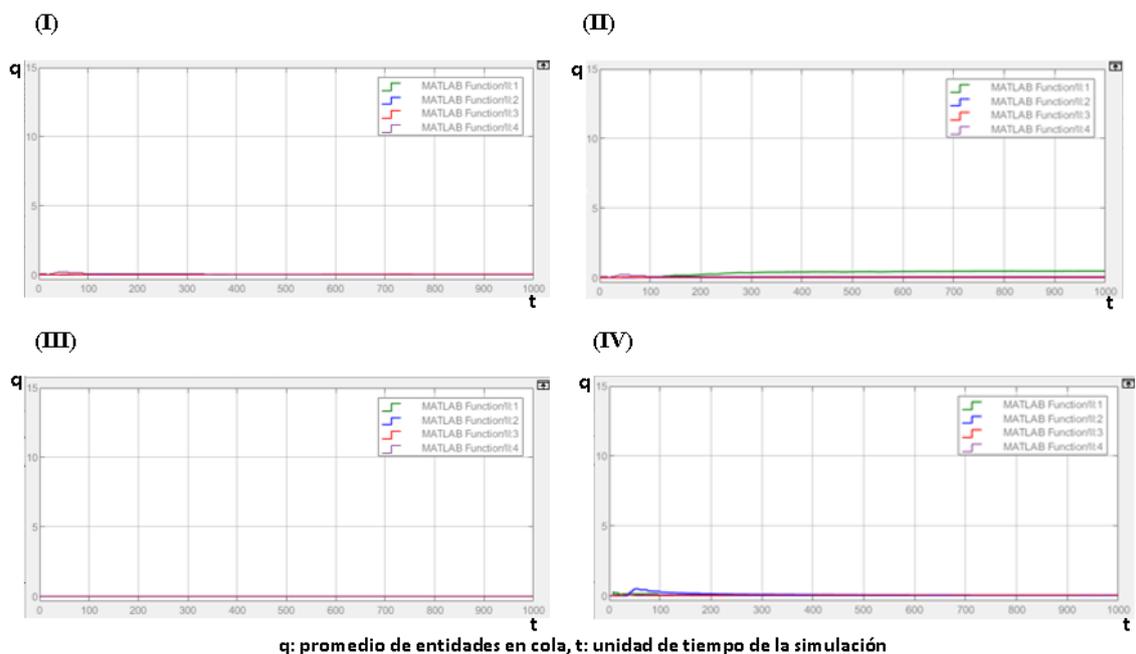


Figura 38 Resultados escenario 3 de longitud de cola del modelo de colas para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

El rendimiento de la longitud de la cola observado en el escenario 3 no presenta ninguna variación significativa entre los resultados de las diferentes políticas, como se aprecia en la figura 38, esto es debido a que al tener una tasa de arribo baja, el sistema no presenta instantes de tiempo considerables para que se presenten una variación en la longitud de cola y se verifica por medio de la figura 37 donde es constante la utilización y solo alcanza la mitad de la capacidad del sistema.

Para el escenario 3 no se evidencia una notable diferencia entre las políticas analizadas, sin embargo, la política (III) Round robín presenta una menor variación en bloqueo, longitud de cola y su utilización converge al 0.4 para todos sus servidores. Por lo cual esta es la política que mejora el rendimiento del sistema con estas características.

Tabla 5 Resumen de los resultados de aplicación de las políticas de secuenciación en el sistema de colas

Escenario	Política que optimiza el sistema
Uno	ANFIS
Dos	Round robín
Tres	Round robín

Fuente: Elaboración propia

Como se evidencia los resultados de cada escenario y su rendimiento para el sistema, en dos de los tres escenarios analizados la política de secuenciación round robín es la que genera una mejora en el desempeño del sistema al disminuir el bloqueo en el sistema e integrar el nivel de utilización de los cuatro servidores, sin embargo para el caso del 1 escenario el ANFIS presenta resultados relevantes dado que permite la finalización completa de la simulación con las 1.000 unidades de tiempo y mantiene un nivel de utilización de aproximadamente un 80%.

5.2 Modelo red de colas

Como se evidencia en la figura 17 el modelo de la red de colas se compone de 3 estaciones de servicio en las cuales cada una cuenta con cuatro servidores de atención con una capacidad de 10 entidades por servidor teniendo en cuenta el flujo de entidades dentro de la Red se establecen unas probabilidades de enrutamiento y de reproceso de cada una de las estaciones, las entidades o clientes se generan a partir de una distribución uniforme donde se establecen tres escenarios de estudios con el objetivo de identificar el comportamiento de la red con diferentes tasas de arribo y la respuesta del sistema de inferencia difuso a cada uno de estos. A continuación, se adjuntan los resultados de los indicadores de desempeño correspondientes a la gráfica con distribución uniforme (sin políticas de secuenciación) y las tres políticas aplicadas a la red de colas (Modelo adjunto en el archivo Anexo 3 Red).

5.2.1 ESCENARIO 1

Este escenario se configura con una tasa de arribo alta donde la estación 1 tiene un tiempo de arribo de 0.3 a 1 y la estación 2 de 1 a 3, en la estación tres ingresan las entidades de

la estación 1 y 2 por lo cual no cuenta con un generador de entidades, se realiza la simulación inicial del modelo sin políticas de secuenciación con la cual se obtienen los datos para la creación del ANFIS correspondiente, se desarrolla en análisis de los resultados de la ejecución de los modelos por estación en 500 unidades de tiempo para todos los casos establecidos.

Estación 1

Se evidencia la configuración del ANFIS para el escenario 1 estación 1 en el Anexo 10.

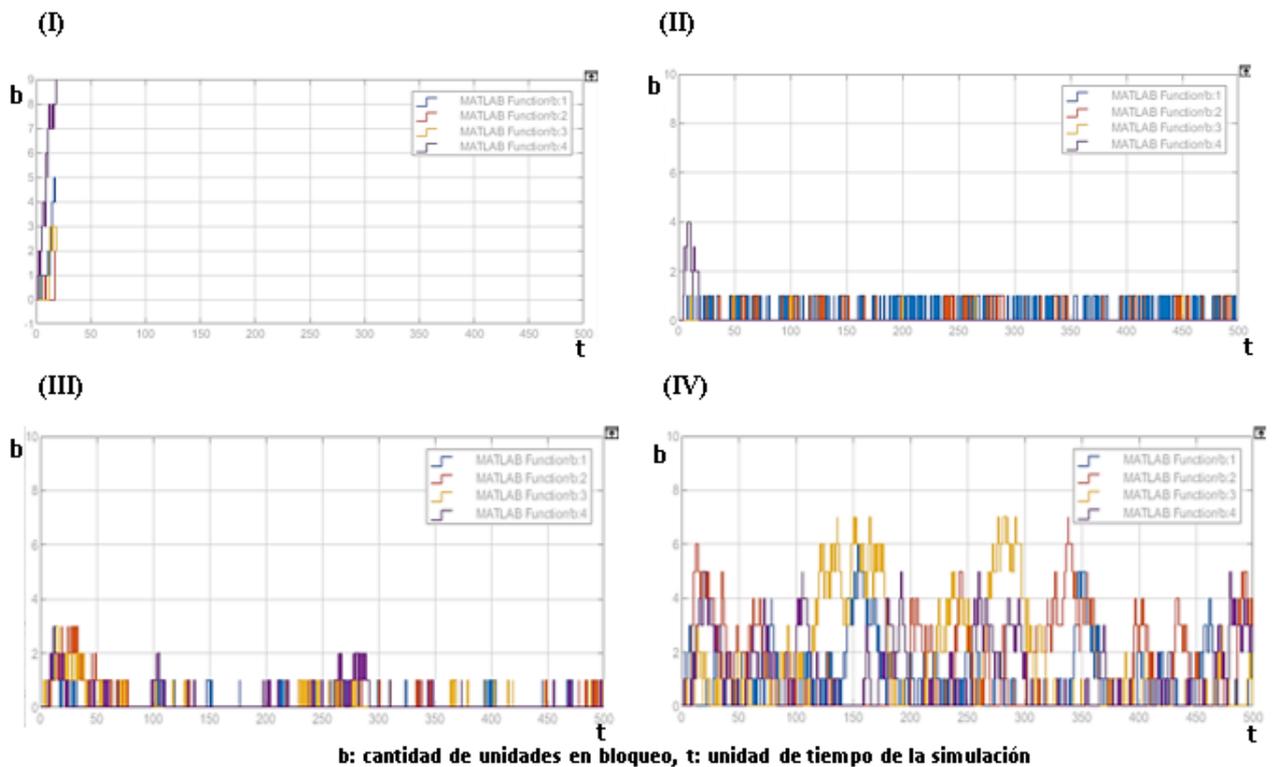


Figura 39 Resultados de bloqueo escenario 1, estación 1 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robin y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

Al ejecutar el escenario 1 en la estación 1, se presenta un bloqueo total del sistema en el modelo son controlador antes de completarse las 50 unidades de tiempo; la configuración ANFIS tiene un pico de 4 entidades al comienzo del escenario, pero posterior no vuelve a presentar picos iguales o superiores a 2; la política equiprobable, presenta mayor cantidad de picos que la configuración ANFIS, pero ninguno de estos mayores a 4.

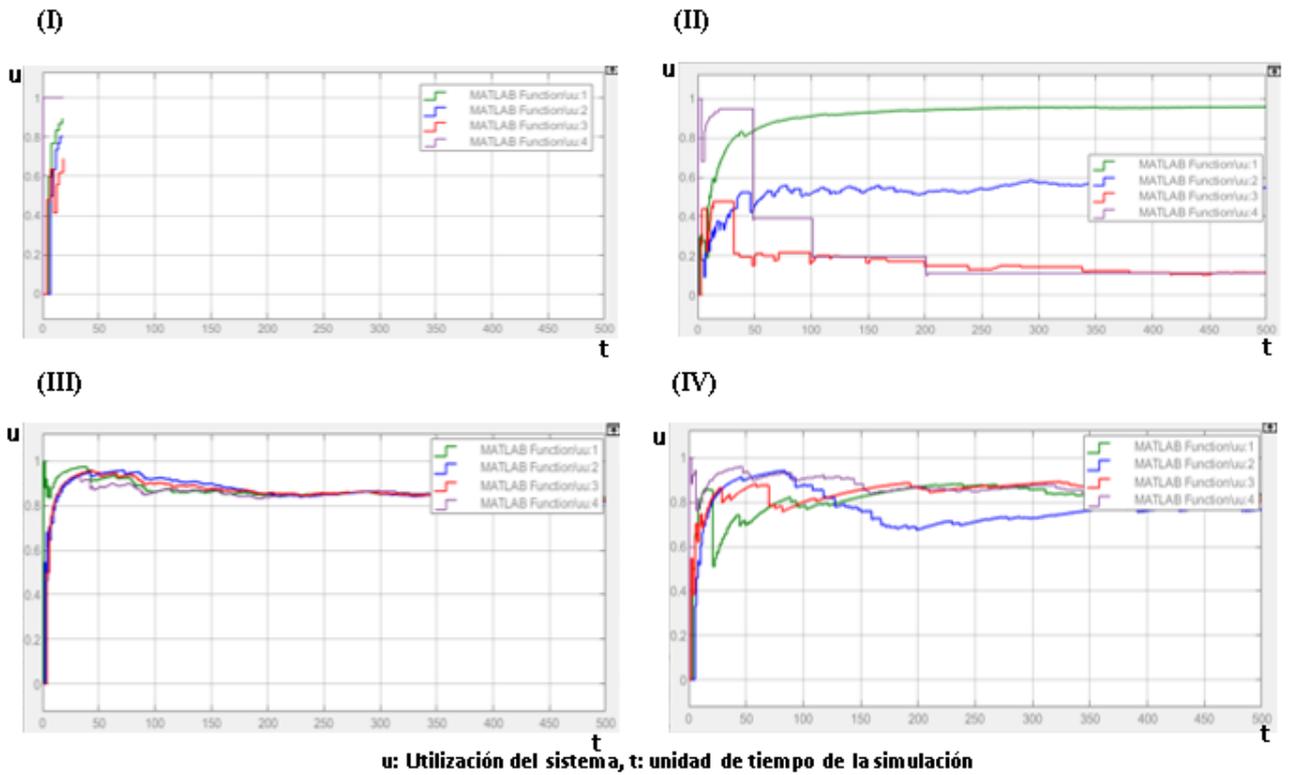


Figura 40 Resultados de utilización escenario 1, estación 1 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

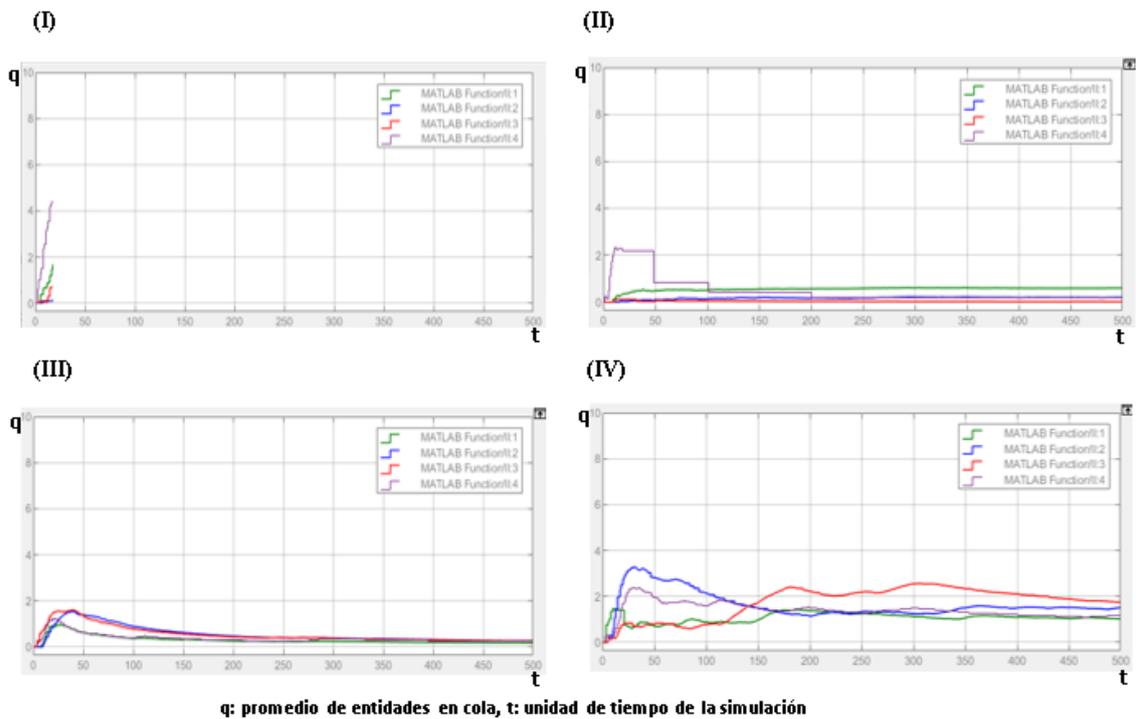


Figura 41 Resultados de longitud de cola escenario 1, estación 1 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

Como se observa en la figura 40, las políticas round robín y equiprobable tienen una estandarización de la utilización al final de la simulación de entre el 0.8 y el 1, aunque este último se estandariza aproximadamente después de las 200 unidades de tiempo, sin embargo, para la configuración ANFIS se evidencia una diferencia en la distribución de la utilización de sus servidores y en ese caso el servidor 1 presenta una mayor utilización en comparación de los demás.

La longitud de la cola en la estación 1 con el escenario 1 presenta mayor fluctuación en el modelo equiprobable, teniendo 3 de los 4 servidores con un promedio de cola superior a dos entidades en algún momento de la simulación, a diferencia de ANFIS que solo presenta un servidor con esa característica y el equiprobable que no la presenta. Es de destacar que la política equiprobable presenta una menor varianza entre sus servidores a lo largo de la simulación. Teniendo en cuenta los tres indicadores anteriores en este caso la política Round robín presenta una uniformidad en el desempeño de la estación 1, en comparación con las demás políticas que generan mayor variación.

Estación 2

Se evidencia la configuración del ANFIS para el escenario 1 estación 2 en el Anexo 11.

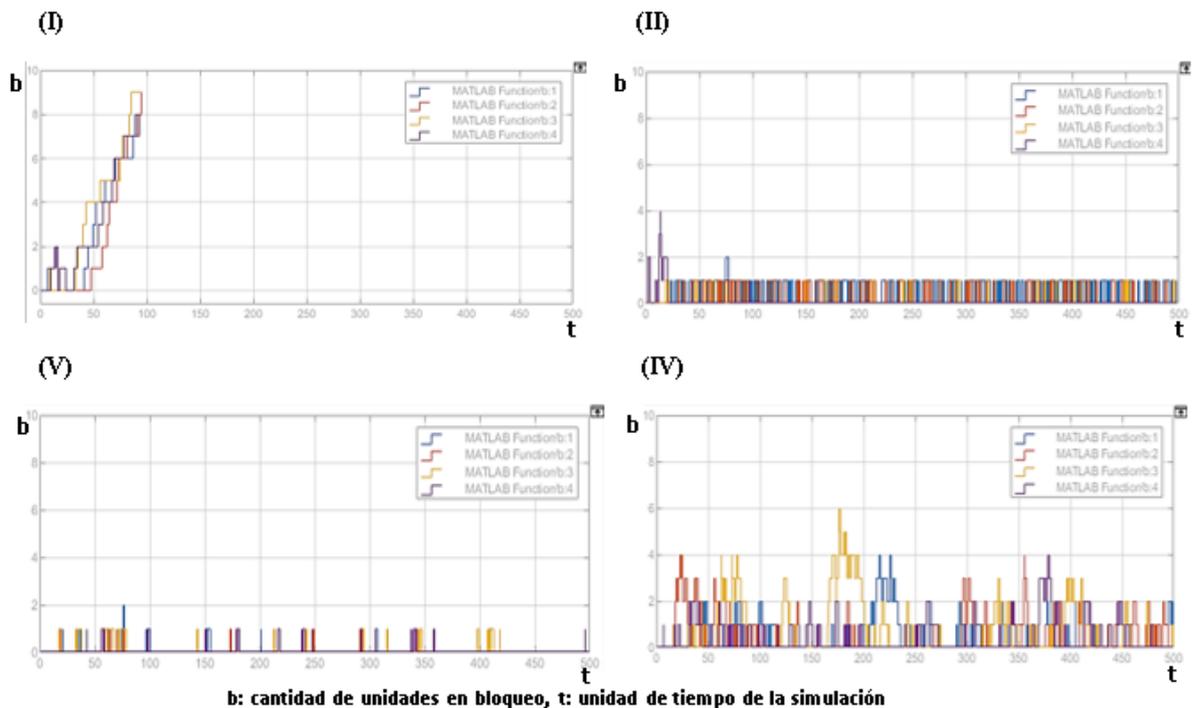


Figura 42 Resultados de bloqueo escenario 1, estación 2 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

Al igual que en la estación 1, al ejecutar el escenario 1 para la estación 2, el modelo sin controlador finaliza la ejecución de la simulación antes de completar las 100 unidades de tiempo, debido a un bloqueo del sistema. Así mismo, los otros tres modelos presentan

semejanza con los resultados presentados en la figura 42, pero es de destacar que la política (III) Round robín no presenta bloqueos superiores a 2 entidades, y la (IV) equiprobable tiene menor cantidad de bloqueos que la estación 1 con el escenario número 2.

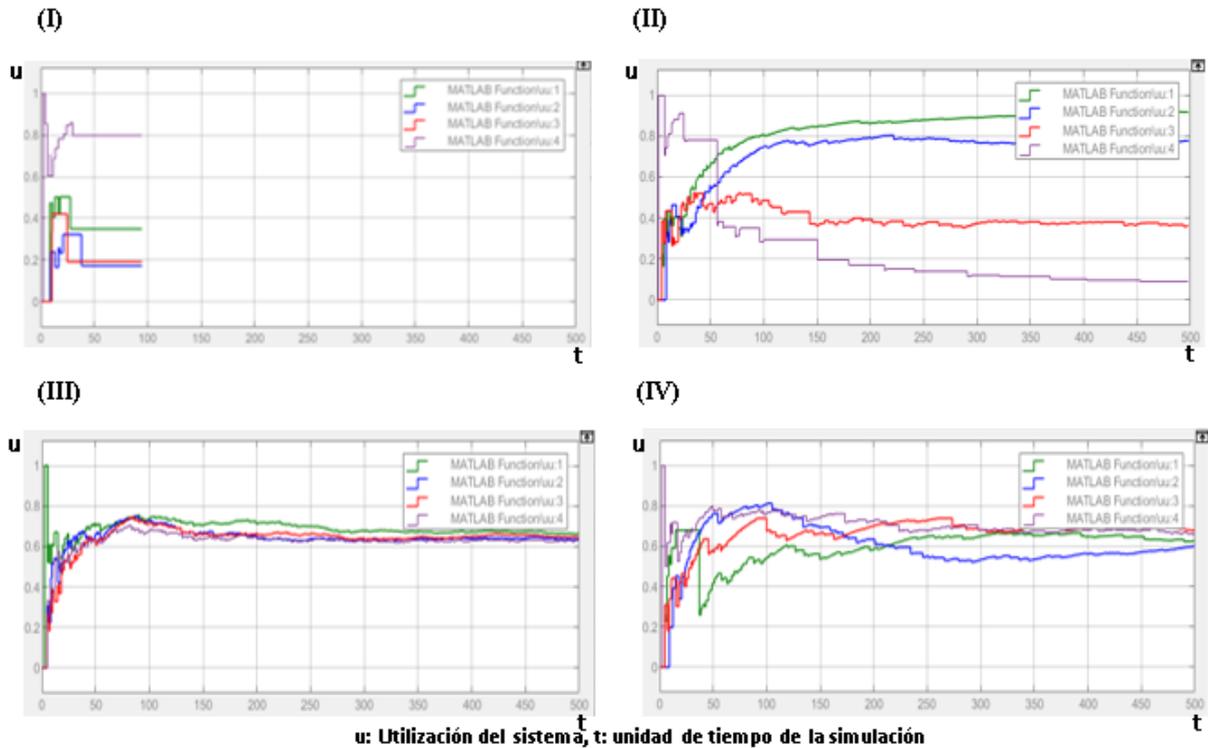


Figura 43 Resultados de utilización escenario 1, estación 2 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

En la figura 43, se puede apreciar una utilización entre el 0.6 y el 0.8 de los servidores de la política (III) Round robín, teniendo una variabilidad muy baja desde el comienzo de la simulación, caso contrario con la configuración ANFIS y equiprobable, que presentan una variabilidad mayor, y el modelo ANFIS no finaliza con una utilización equivalente entre sus servidores esto se puede dar debido a las restricciones del modelo en la cual se tiene en cuenta la variación de todos los servidores y se asigna al que presente una menor cantidad de entidades en los tres indicadores.

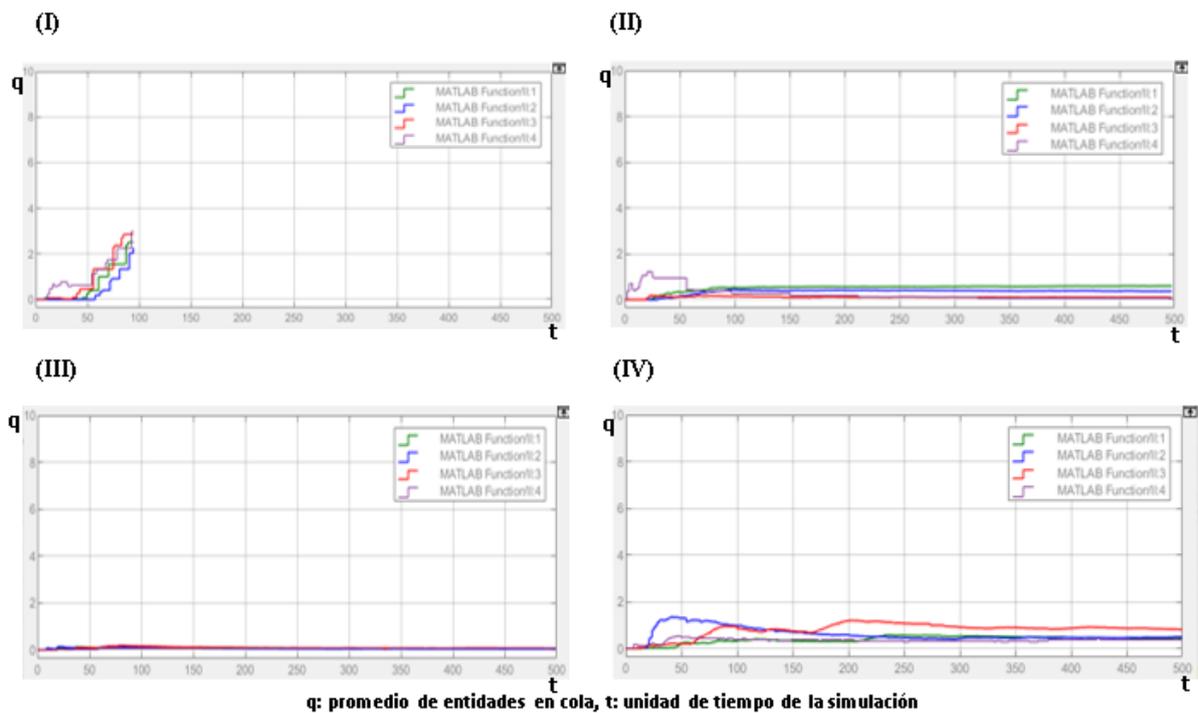


Figura 44 Resultados de longitud de cola escenario 1, estación 2 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

En la figura 47 se aprecia un promedio de cola más constante durante la simulación de 500 unidades de tiempo, al ejecutar la política Round robín, seguido de la ANFIS, el cual presenta algunos servidores que distan de un promedio de cero entidades con mayor facilidad que la configuración anterior; así mismo, la secuenciación equiprobable tiene la mayor variación entre los modelos que completaron la simulación.

Para el caso de la estación 2 la política (III) Round robín genera un mayor rendimiento de los servidores para todos los indicadores de desempeño analizados anteriormente donde los niveles de bloqueo son bajos, la utilización converge a un valor de 0.6 y la longitud de cola se mantiene estable entre 0 y 1.

Estación 3

Se evidencia la configuración del ANFIS para el escenario 1 estación 3 en el Anexo 12.

De manera similar a las demás estaciones presentadas anteriormente en el escenario 1, el modelo de distribución uniforme (I) o sin controlador presenta un bloqueo que impide la continuación del modelo antes de las 50 unidades de tiempo; la configuración ANFIS y round robín tienen la menor cantidad de bloqueos, siendo solo para 2 y 1 servidores respectivamente superior 2 entidades al comienzo de la simulación; la política equiprobable presenta la mayor cantidad de bloqueos entre las configuraciones que completan la simulación, sin embargo, no supera 8 entidades a la vez en el sistema.

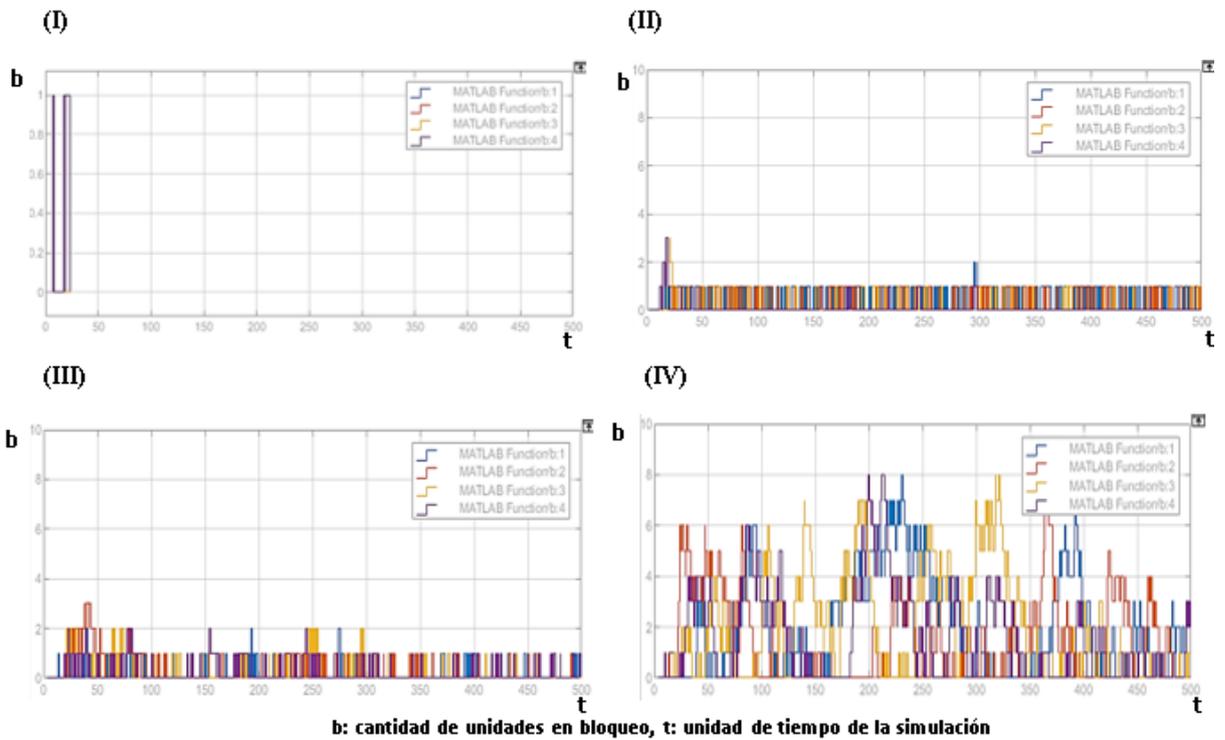


Figura 45 Resultados de bloqueo escenario 1, estación 3 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

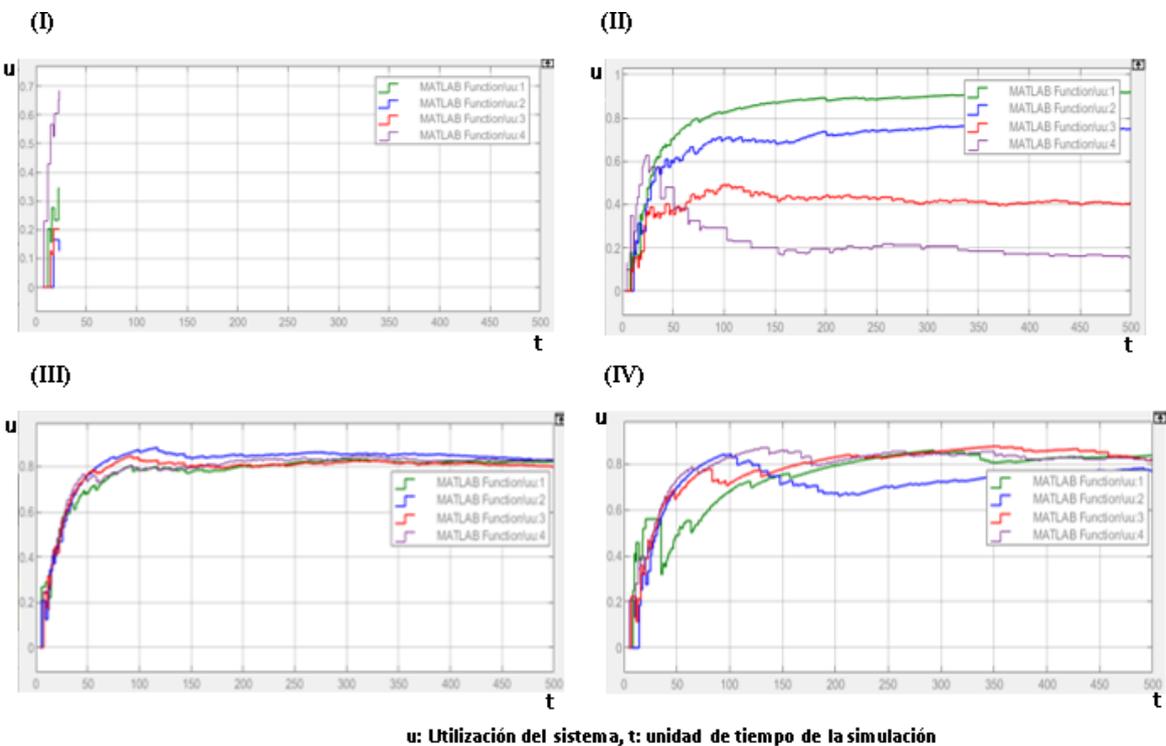


Figura 46 Resultados de utilización escenario 1, estación 3 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

Como se aprecia en la figura 46, la configuración ANFIS presenta el servidor con la mayor utilización, siendo muy cercano al 1, pero en contraparte también presenta el servidor con la menor utilización (inferior al 0.2 al final de la simulación); las configuraciones round robín y equiprobable tienen a estabilizar la utilización de todos sus servidores cerca al 0.8. A diferencia de cómo se observa en la figura 47, la política equiprobable tiene un promedio de longitud de cola rondando las dos entidades, mientras que la Round robín tiene tendencia a tener una longitud de cola cerca a cero entidades.

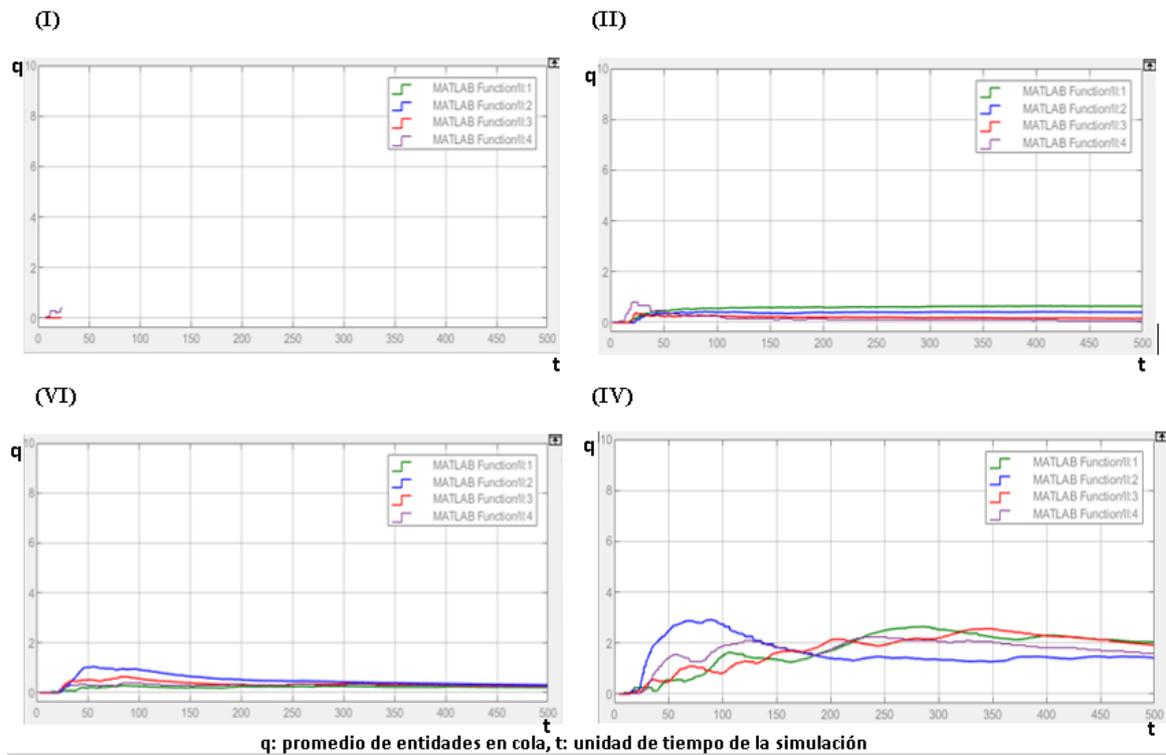


Figura 47 Resultados de longitud de cola escenario 1, estación 3 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

En términos generales la política de secuenciación (III) Round robín presenta un mayor desempeño para el escenario 1 en las tres estaciones de servicio y sus correspondientes indicadores de rendimiento.

5.2.2 ESCENARIO 2

Para el escenario 2 se establece una tasa de arribo media con una distribución uniforme en las estaciones 1 y 2, donde la estación 1 tiene un tiempo de arribo de 0.5 a 1.5 y la 2 de 1.5 a 3.5, todos los servidores del modelo se configuran con un tiempo de servicio que sigue una distribución uniforme de 1.5 a 3.5 unidades de tiempo.

Estación 1

Se evidencia la configuración del ANFIS para el escenario 2 estación 1 en el Anexo 13.

De acuerdo con las figuras 48 a la 50 los indicadores están representando los resultados para la estación uno en el escenario dos es necesario tener en cuenta que es la tasa de arribo media en la cual el modelo inicialmente presenta un alto nivel de bloqueo (figura

48) de entidades para el ingreso a los servidores y se evidencia una mejora en el comportamiento de la variable al ejecutar las políticas ANFIS (II) y Round Robin (III) sin embargo esta última minimiza en mayor medida la cantidad de bloqueo para todos los servidores y notablemente para el 1 que se representa por el color azul.

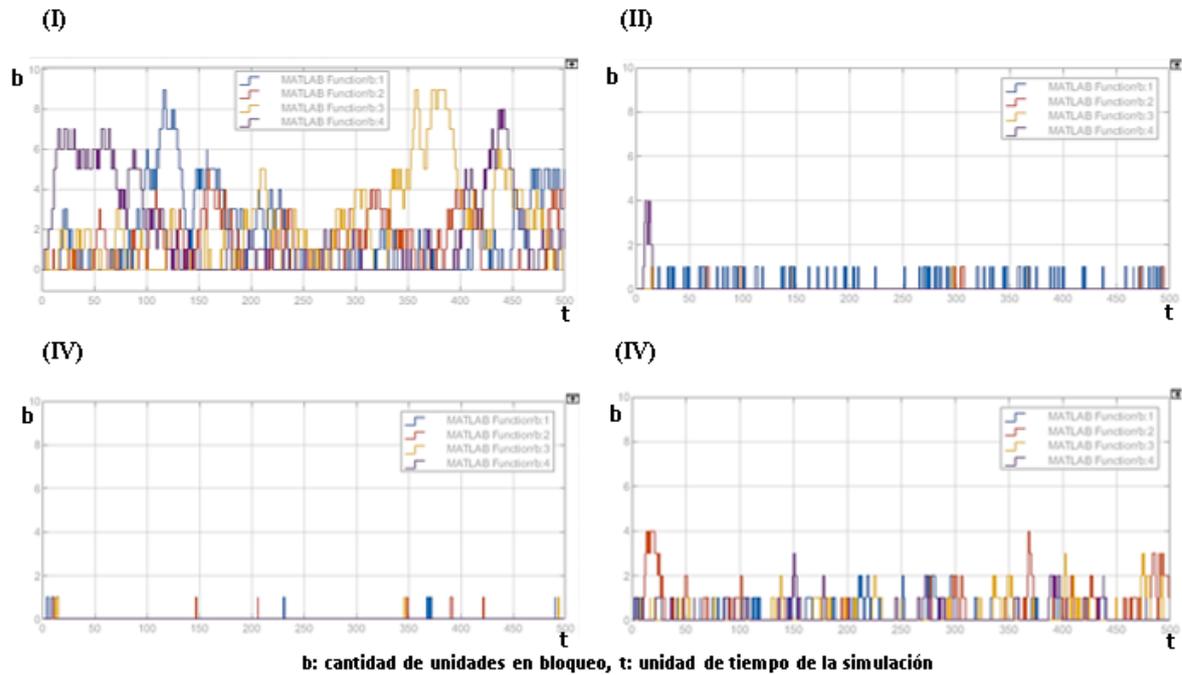


Figura 48 Resultados de bloqueo escenario 2, estación 1 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

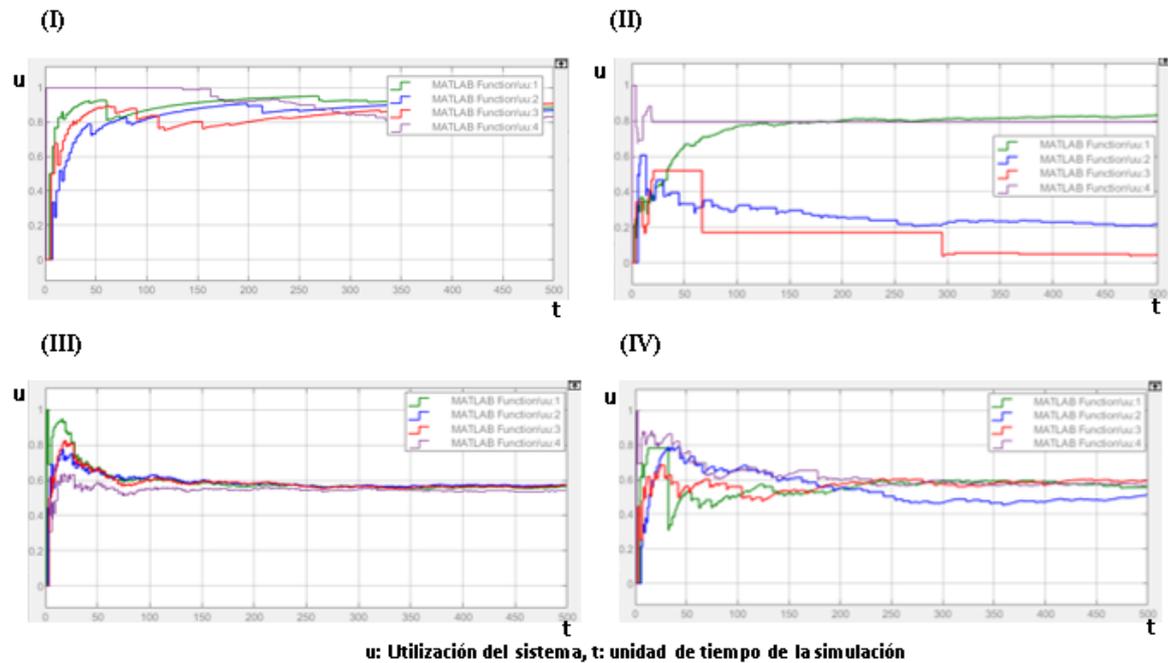


Figura 49 Resultados de utilización escenario 2, estación 1 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

En este caso el modelo presenta una variación en la selección de los servidores donde se evidencia una mayor utilización en los servidores 1 y 4 en comparación con el 2 y el 3, Como se observa en la figura 49, las políticas equiprobable y round robín tienen una tendencia de la utilización al final de la simulación de entre el 0.8 y el 1, aunque este último se estandariza aproximadamente después de las 200 unidades de tiempo.

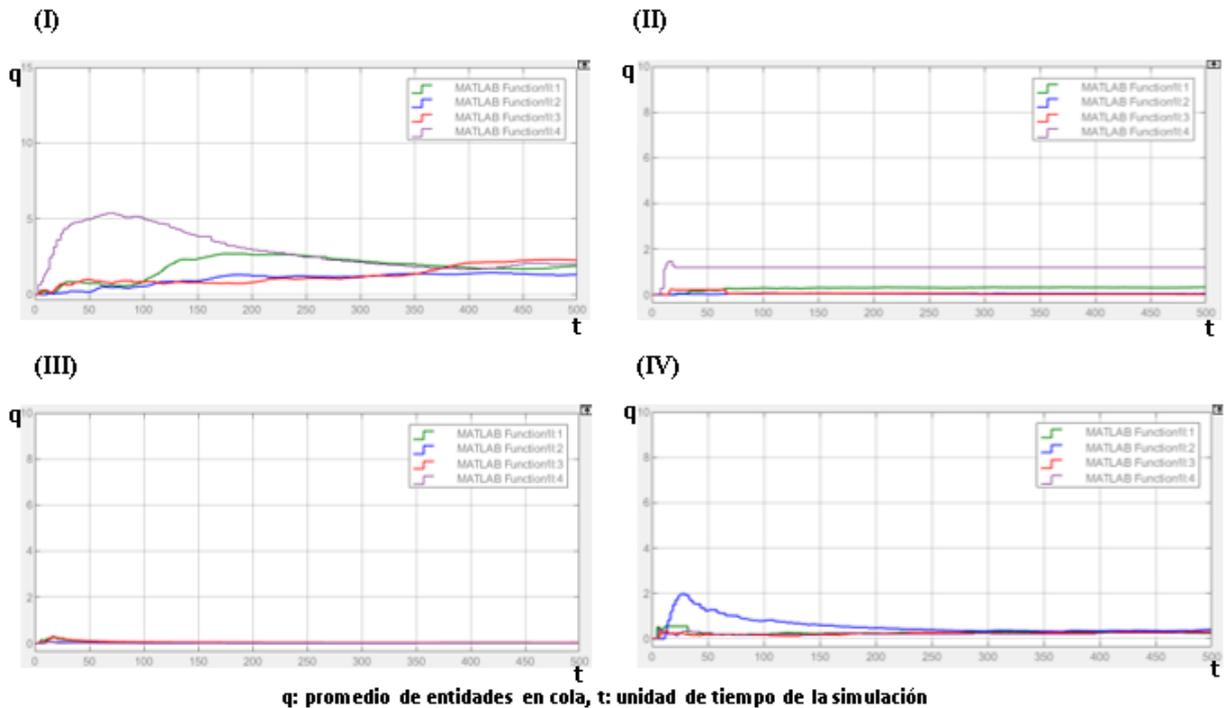


Figura 50 Resultados de longitud de cola escenario 2, estación 1 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

En las figuras 49 y 50, la longitud de cola presenta su mayor valor en la política (II) y (IV) en comparación con la política (III), en este caso la política Round robín genera un mayor rendimiento en el sistema en donde se evidencia una disminución de la fila y la utilización además de unificar los cuatro servidores hacia aproximadamente 0.6

En términos generales la estación 1 presenta un mayor desempeño con la política Round robín de acuerdo con las gráficas anteriores de los indicadores de desempeño para el caso del escenario 2.

Estación 2

Se evidencia la configuración del ANFIS para el escenario 2 estación 2 en el Anexo 14.

El modelo presentado en la estación 2 ejecutando el escenario 2, presenta niveles de bloqueo del sistema inferiores a 6 con la configuración (I) sin controlador o con una distribución uniforme, por otra parte, disminuye la cantidad para inferiores a 4 en la política equiprobable, sin embargo, las configuraciones con menor variación son (II) y (III) como se aprecia en la figura 51, pero cabe destacar que la configuración Round robín presenta un mejor rendimiento que el ANFIS.

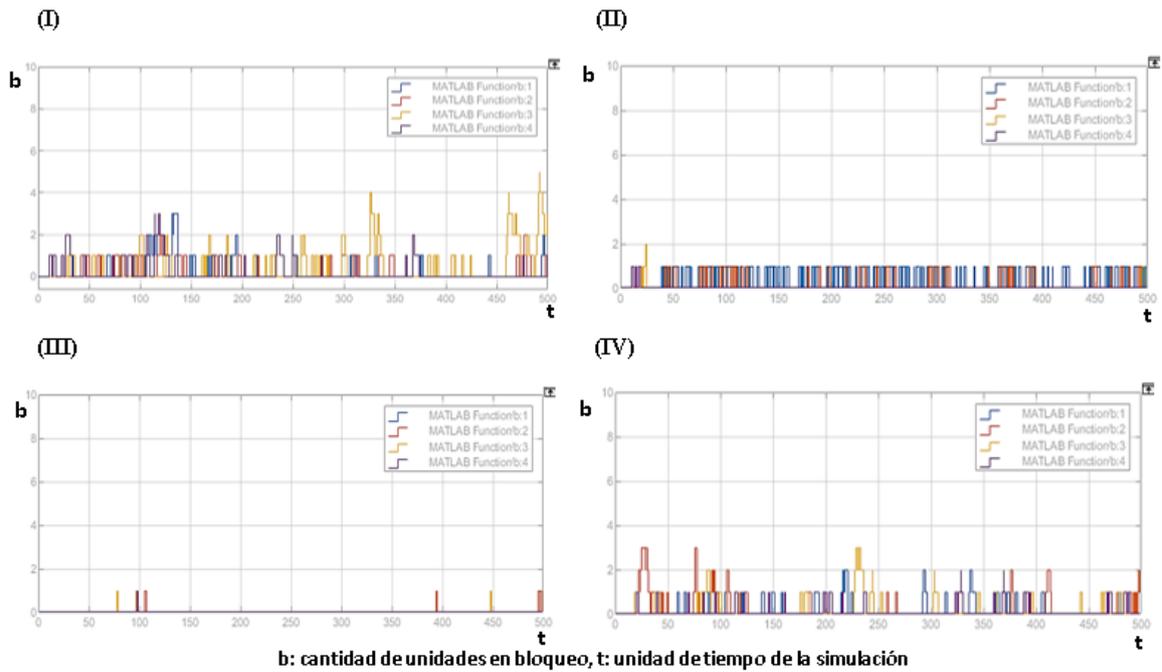


Figura 51 Resultados de bloqueo escenario 2, estación 2 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

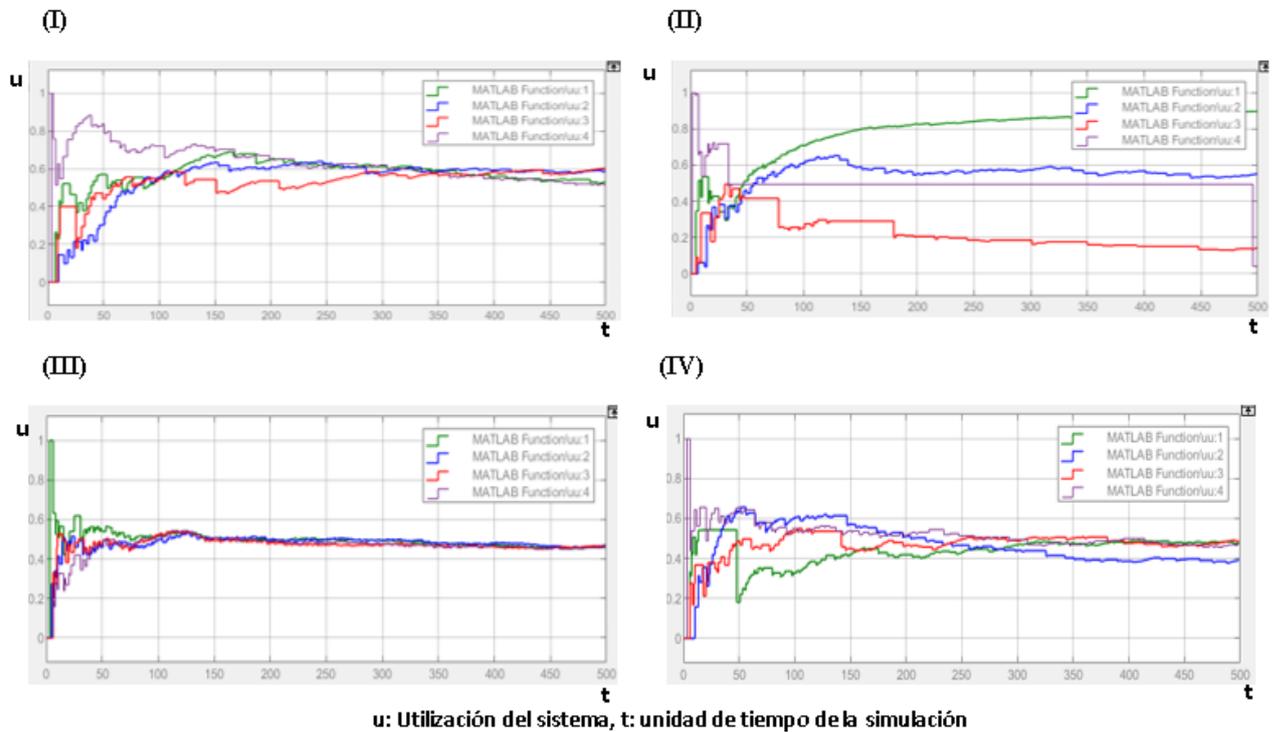


Figura 52 Resultados de utilización escenario 2, estación 2 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

En la figura 52, se puede apreciar una utilización entre el 0.6 y el 0.8 de los servidores de la política (III) Round robín, teniendo una variabilidad muy baja desde el comienzo de la

simulación, caso contrario con las configuraciones ANFIS y equiprobable, que presentan una variabilidad mayor, y el modelo ANFIS no finaliza con una utilización equivalente entre sus servidores, esto puede ser un resultado de las restricciones de selección establecidas en la función Matlab donde se analiza el comportamiento de todos los servidores y se selecciona de acuerdo con los valores de todos los indicadores.

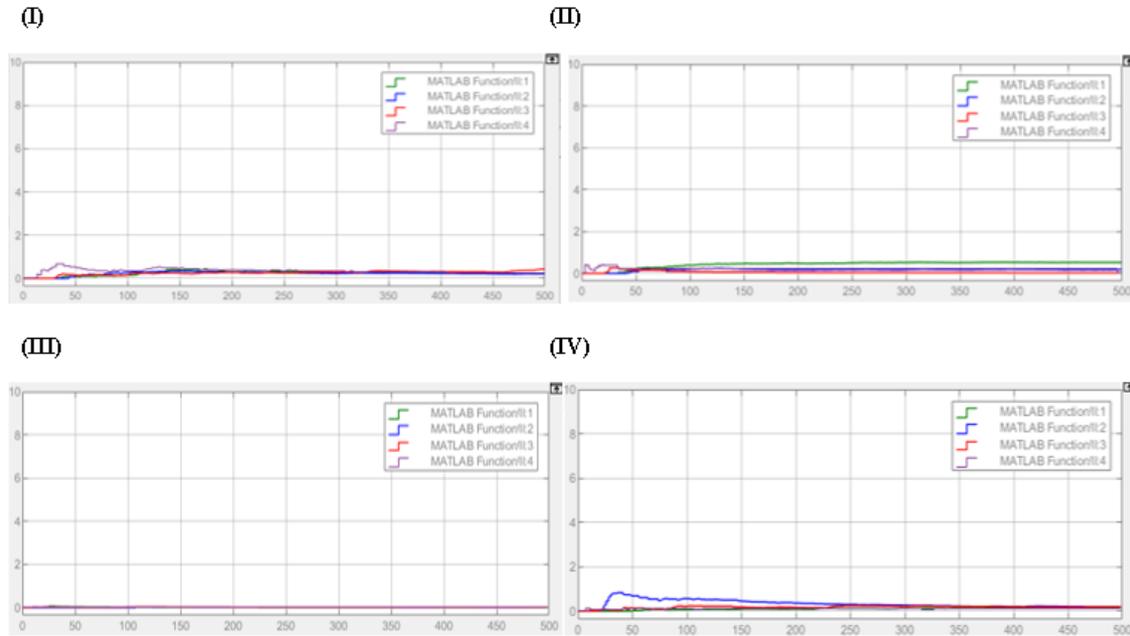


Figura 53 Resultados de longitud de cola escenario 2, estación 2 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

En la figura 53 se aprecia un promedio de cola constante durante la simulación, en la política Round robín, seguido de la política ANFIS, el cual presenta algunos servidores que distan de un promedio de cero entidades con mayor facilidad que la secuenciación (III); así mismo, la política equiprobable tiene la mayor variación entre los resultados de las gráficas que completaron la simulación.

Para este caso de la estación 2 se evidencia un mejor desempeño al ejecutar la simulación con la política de secuenciación Round robín de acuerdo con las graficas anteriores, los resultados presentados para la configuración ANFIS se acercan a esta, sin embargo, tiene una mayor variabilidad.

Estación 3

Se evidencia la configuración del ANFIS para el escenario 2 estación 3 en el Anexo 15.

A diferencia de la estación 2, en la estación número 3 al simular el escenario 2, presenta una mayor cantidad de bloqueos en todas las configuraciones, siendo más parecida a la estación 1; observando la figura 54, se tiene que la secuenciación sin controlador presenta un pico superior a 8 entidades en el servidor 3, llegando casi a la capacidad máxima del sistema. La configuración (II) ANFIS tiene un pico superior a 4 entidades al comienzo de la simulación, al igual que la política (IV) equiprobable, pero siendo este igual a 6 y teniendo mayor cantidad de fluctuaciones oscilantes entre 2 y 6 unidades, y a diferencia

de todas las configuraciones, la política de secuenciación (III) round robín no presenta bloqueos iguales o mayores a dos entidades.

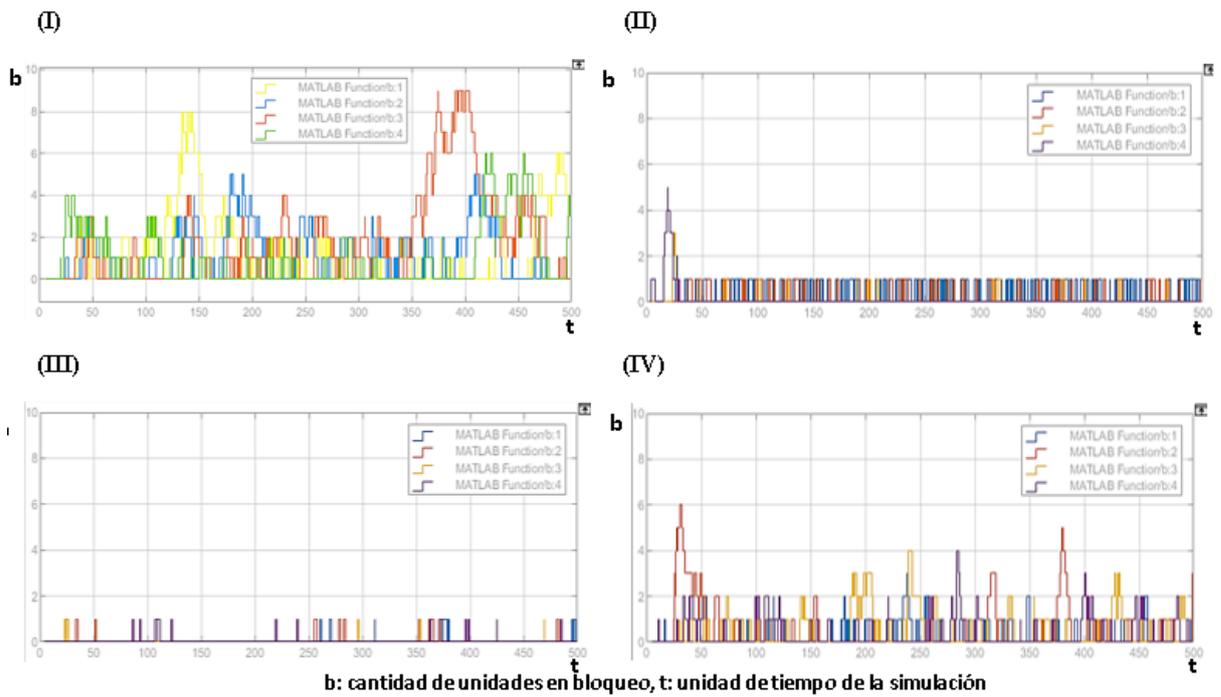


Figura 54 Resultados de bloqueo escenario 2, estación 3 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

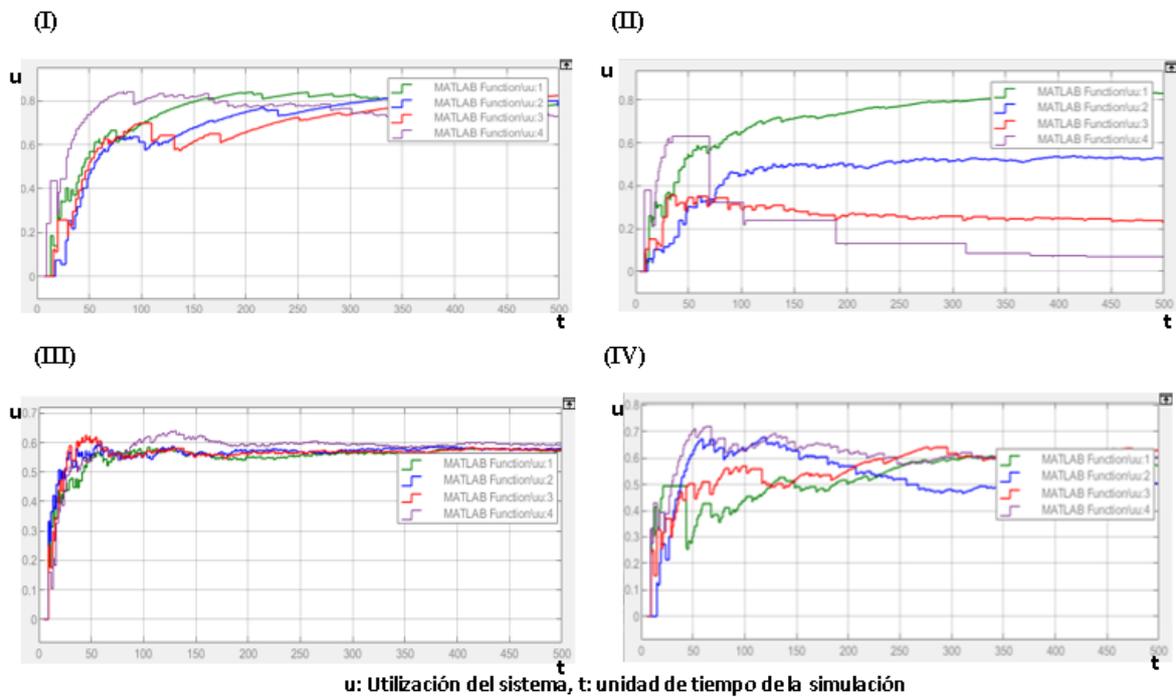


Figura 55 Resultados de utilización escenario 2, estación 3 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

Como se observa en las otras 2 estaciones al ejecutar un escenario con una tasa de arribos media, la política (III) Round robín es el que menor variación tiene entre sus servidores y se estandariza con una utilización cercana al 0.6, mientras la política (II) ANFIS presenta la mayor variación entre sus servidores oscilando entre el 0 y el 0.8 de utilización al final de la simulación.

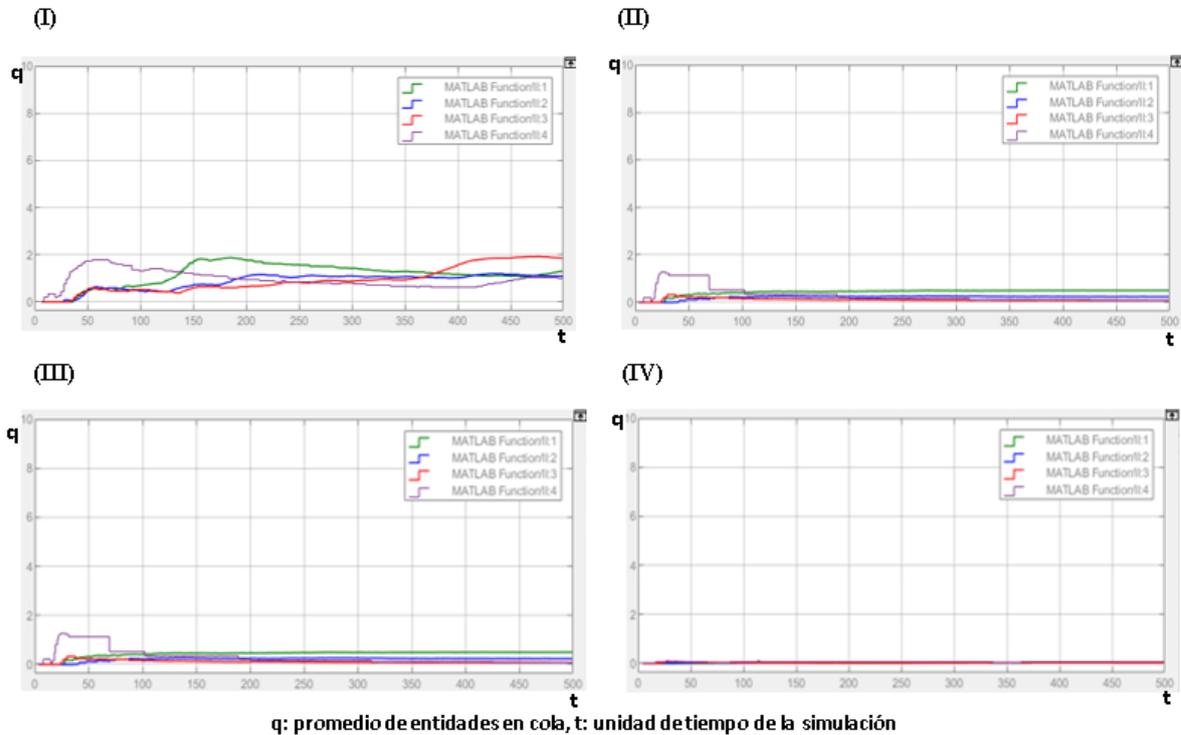


Figura 56 Resultados de longitud de cola escenario 2, estación 3 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

Como se observa en la figura 56, la configuración que mantiene un menor promedio de longitud de cola entre todos sus servidores es la (IV) equiprobable, tendiendo a mantenerse cercana a cero; las configuración (II) ANFIS y (III) Round robín tienen mayor variación entre servidores, pero se mantiene una longitud de cola muy cercana a cero entidades; y en contraparte la simulación inicial (I) sin controlador presenta un alza en el promedio llegando a dos entidades en un servidor casi al final de la simulación.

De acuerdo con los análisis anteriores para el escenario 2 la política de secuenciación de Round robín presenta un mejor resultado para los tres indicadores de desempeño al disminuir la variación del bloqueo y la longitud de cola por otra parte integra la utilización en aproximadamente 0.6 para todos los servidores.

5.2.3 ESCENARIO 3

Para el escenario 3 se establece una tasa de arribo media con una distribución uniforme en las estaciones 1 y 2, donde la estación 1 tiene un tiempo de arribo de 1.0 a 2.0 y la 2 de 2.0 a 4.0, todos los servidores del modelo se configuran con un tiempo de servicio que sigue una distribución uniforme de 1.5 a 3.5 unidades de tiempo.

Estación 1

Se evidencia la configuración del ANFIS para el escenario 3 estación 1 en el Anexo 16.

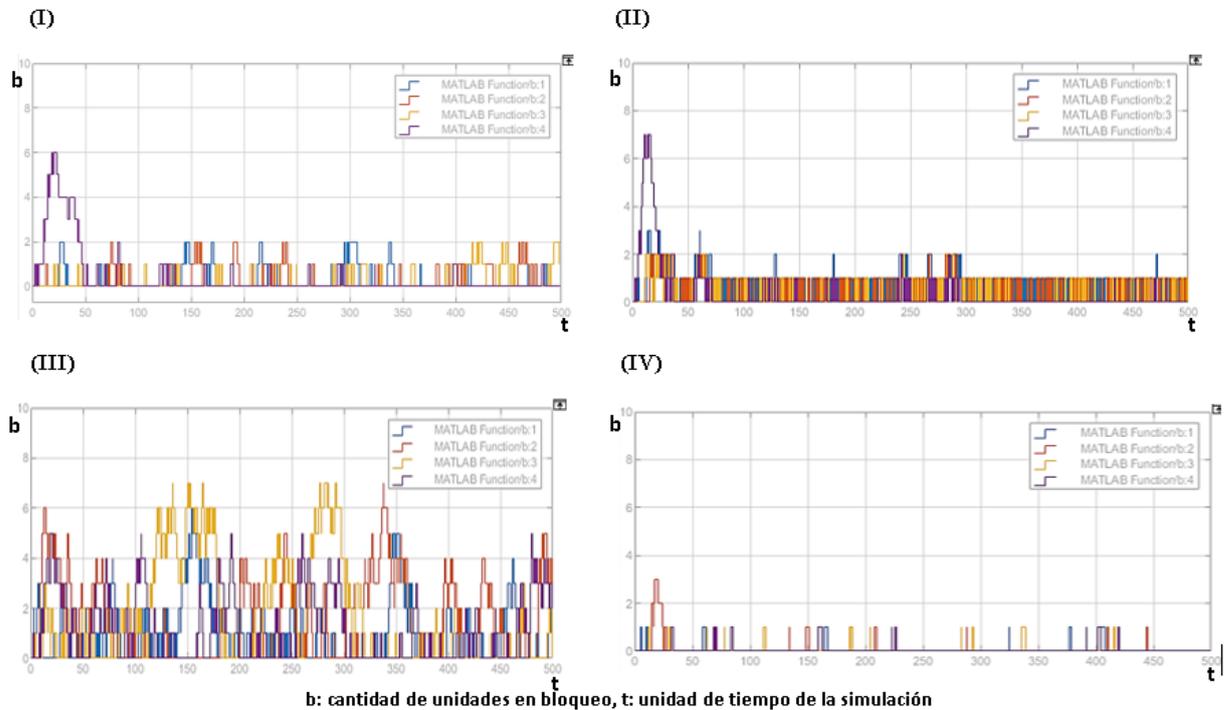


Figura 57 Resultados de bloqueo escenario 3, estación 1 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

Si se compara la estación 1 en los tres escenarios presentados en la figura 33 (escenario 1), figura 42 (escenario 2) y figura 57 (escenario 3), se observa que, a diferencia de los escenarios con tasa de arribo alta y media, en donde las políticas de (II) ANFIS y (III) Round robín tenían la menor cantidad de bloqueos en frecuencia o cantidad, en el escenario 3 (tasa de arribo baja) la política (IV) equiprobable es quien presenta las mejores características. He igualmente la simulación (I) Sin controlador que presentaba la tasa de bloqueos más alta o que no permitía ejecutar el escenario en su totalidad, se presenta en este escenario como una mejor alternativa que la configuración Round Robín y ANFIS, ya que no presenta bloqueos mayores a 6 entidades antes de las 50 épocas y posterior a ellas sus bloqueos son menores o iguales a 2 entidades.

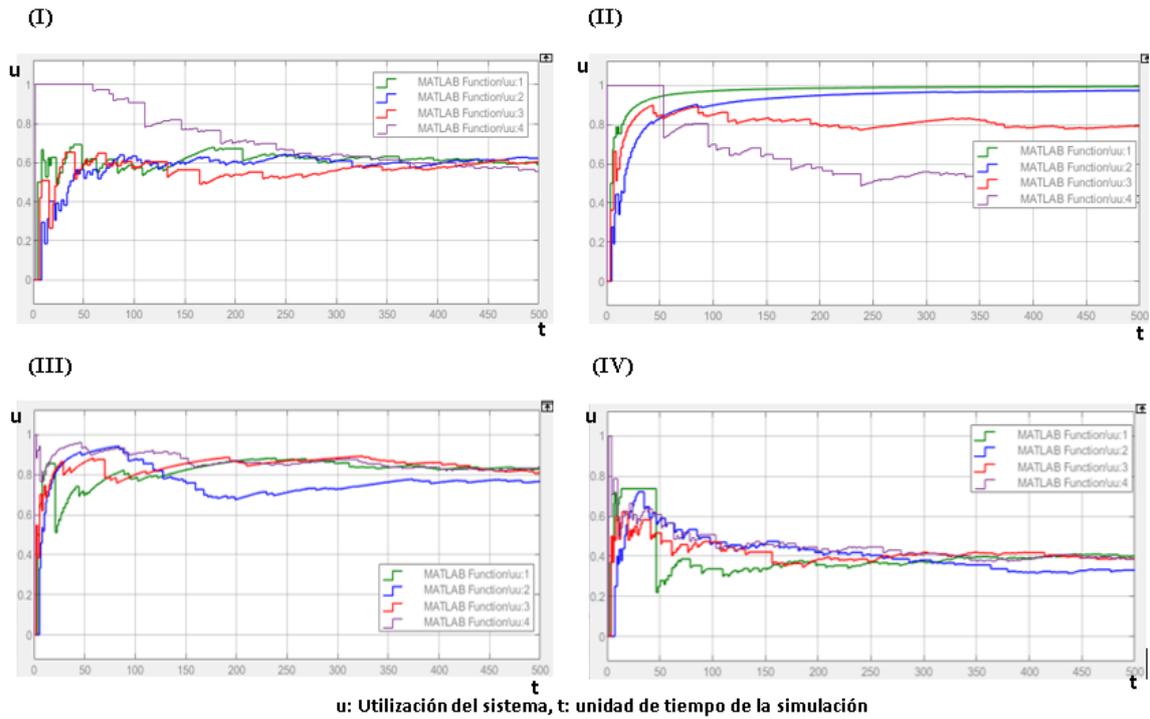


Figura 58 Resultados de utilización escenario 3, estación 1 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

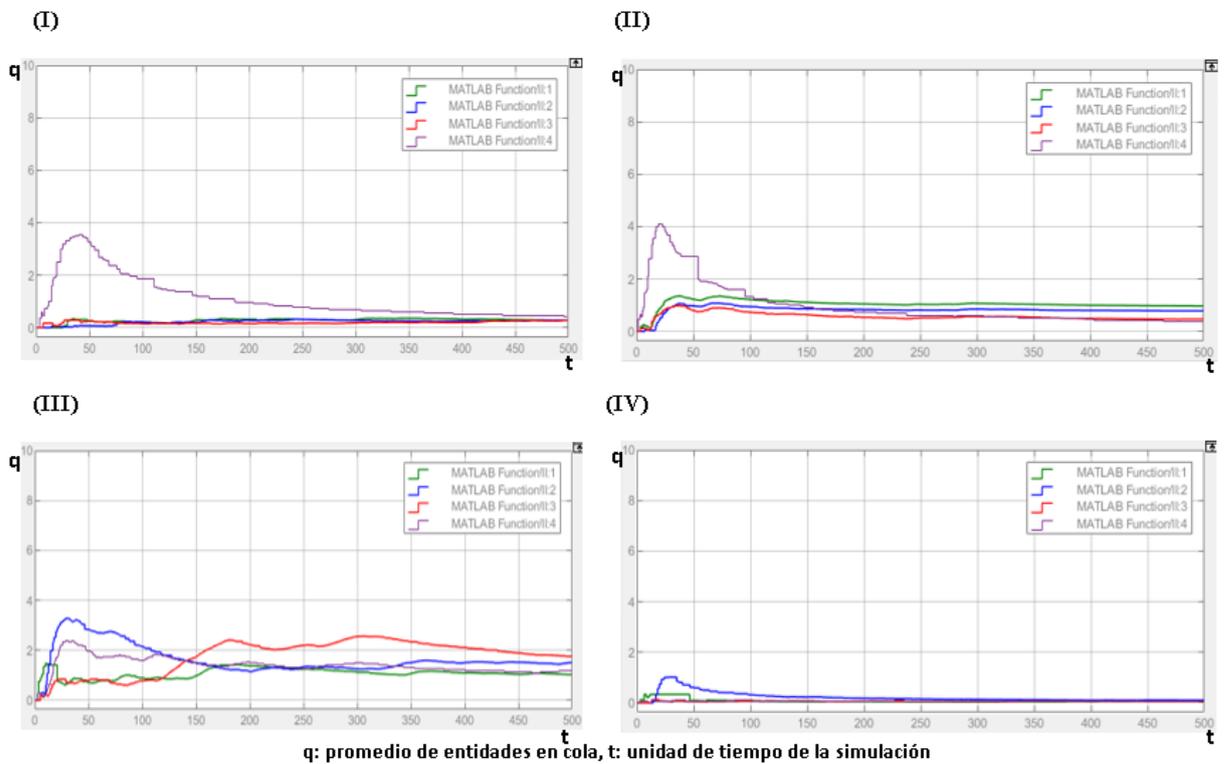


Figura 59 Resultados de longitud de cola escenario 3, estación 1 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

Como se aprecia en la figura 58, las configuraciones Round robín, sin controlador y equiprobable, estandarizan la utilización de sus servidores a lo largo de la simulación (0.8, 0.6 y 0.4 respectivamente) a diferencia del ANFIS el cual tiene utilidades de servidores que oscilan entre el 0.4 y 1.

Referente a la longitud de cola presentada en la estación 1, ejecutando el escenario 3, la configuración equiprobable presenta la menor varianza y el menor promedio de longitud de cola entre los cuatro modelos; el modelo Round robín, tiene la mayor variabilidad entre sus servidores, pero estandarizándolos muy cercano a 2 entidades en cola al final de la simulación.

ESTACIÓN 2

Se evidencia la configuración del ANFIS para el escenario 3 estación 2 en el Anexo 17.

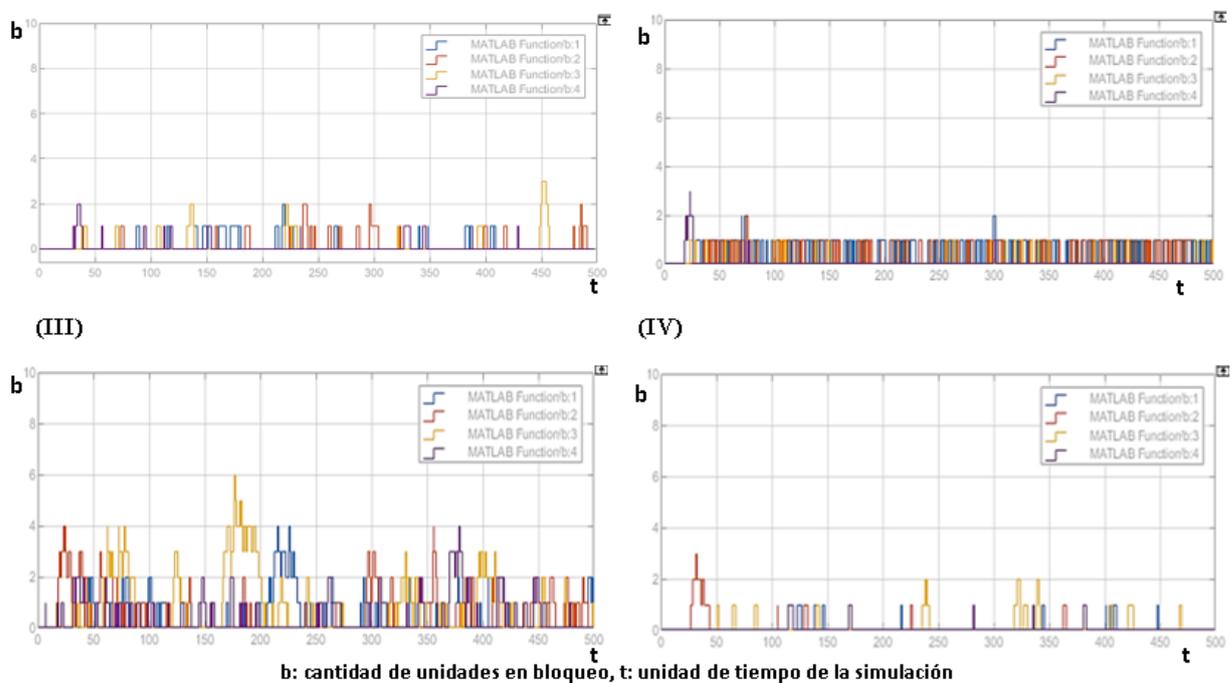


Figura 60 Resultados de bloqueo escenario 3, estación 2 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

Al igual que en la estación 1, en la estación 2 al presentar el escenario 3, se tiene que la configuración Round robín presenta el mayor número de bloqueos, siendo la única que supera las cuatro entidades a la vez en el sistema; por otro lado y como se observa en la figura 60, la configuración ANFIS, sin controlador y equiprobable presentan sola mente un pico que supera las dos entidades en el sistema, y en el orden en que se mencionan, se tiene de mayor a menor cantidad de bloqueos en el sistema.

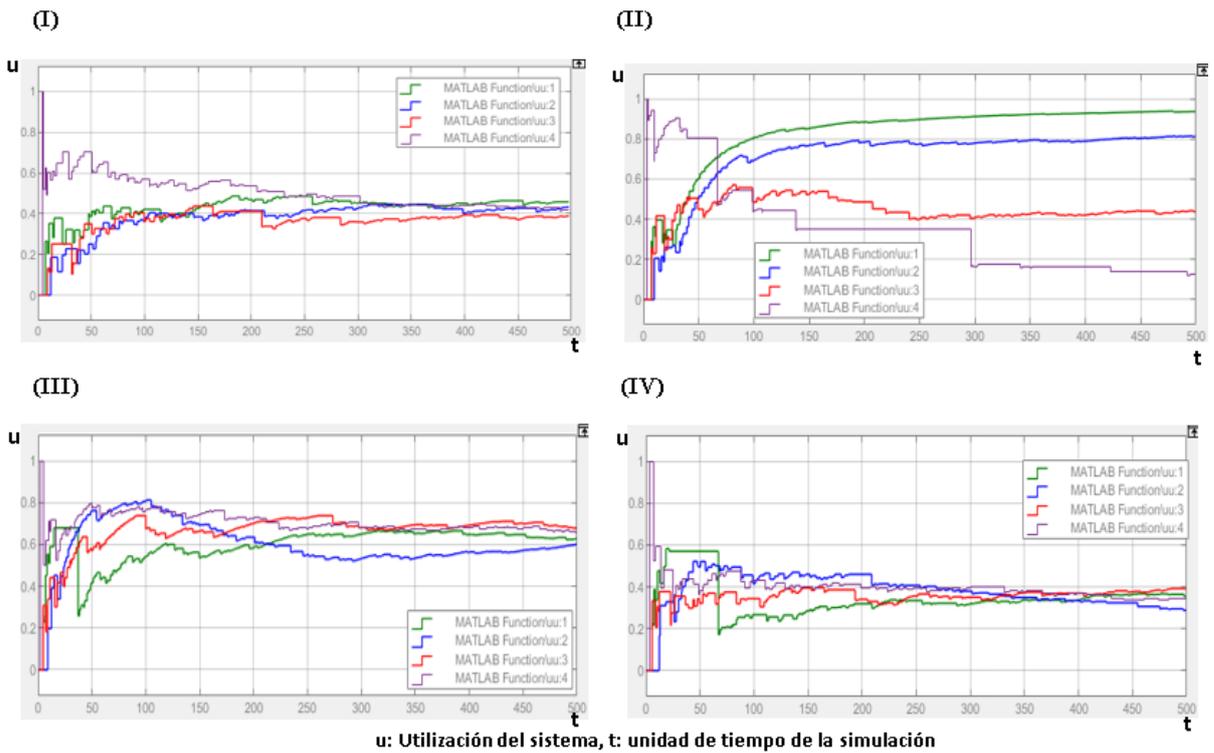


Figura 61 Resultados de utilización escenario 3, estación 2 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

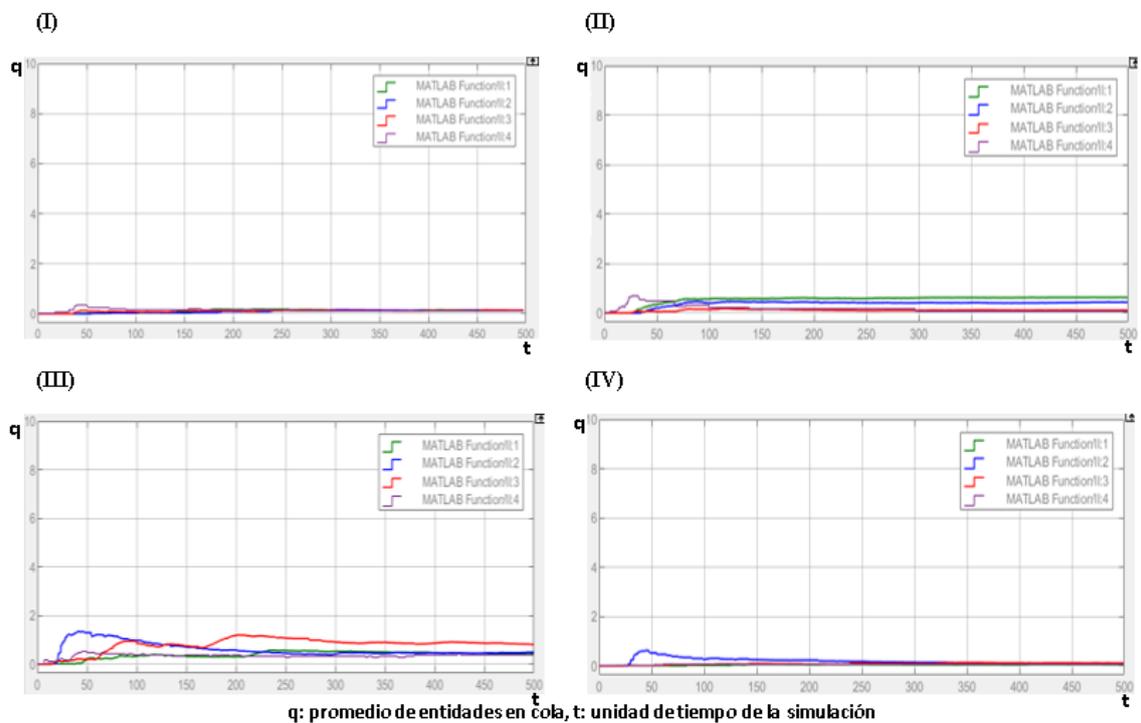


Figura 62 Resultados de longitud de cola escenario 3, estación 2 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

Como se observa en la figura 61, el modelo ANFIS presenta la mayor tasa de variación en la utilización de sus servidores, teniendo dos de estos en una utilización entre el 0.8 y el 1, un tercer servidor con una utilización superior al 0.4 y el último inferior al 0.2. Por otro lado, las demás configuraciones se estandarizan en una utilización del 0.4 (sin controlador y equiprobable) y 0.6 round robín.

Finalmente, para el tercer indicador, se aprecia en la figura 62 que el modelo sin controlador es el que presenta la menor fluctuación entre los servidores y tiene una tendencia al igual que el modelo equiprobable a tener una cola alrededor de cero entidades. Por otro lado, las configuraciones ANFIS y round robín, tienen mayor variabilidad a lo largo de la simulación, y el promedio de la longitud de la cola entre los servidores se encuentran entre 0 y 2 entidades.

ESTACIÓN 3

Se evidencia la configuración del ANFIS para el escenario 3 estación 3 en el Anexo 18.

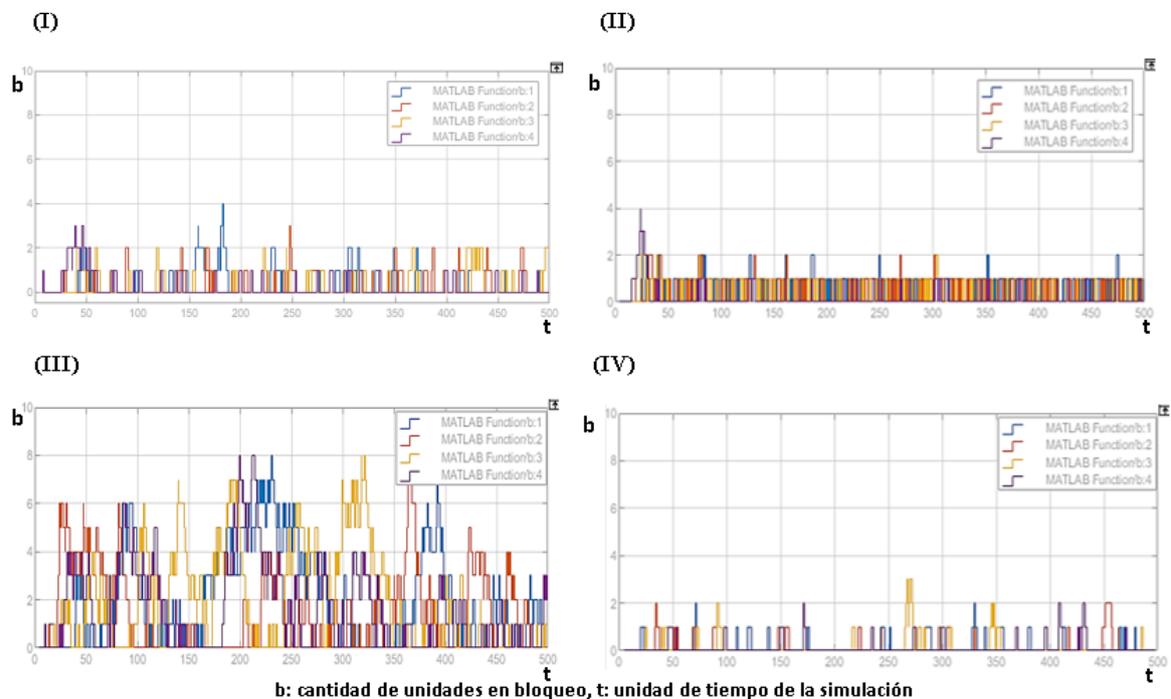


Figura 63 Resultados de bloqueo escenario 3, estación 3 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

De igual forma a como se vio anteriormente, el ejecutar el escenario 3, la estación 3 presenta con el modelo round robín una mayor tasa de bloqueos que los demás modelos, adicionalmente en la figura 57 se aprecia que la configuración equiprobable presenta la menor cantidad de entidades en cola, no siendo mayores o iguales a 4 en ningún momento.

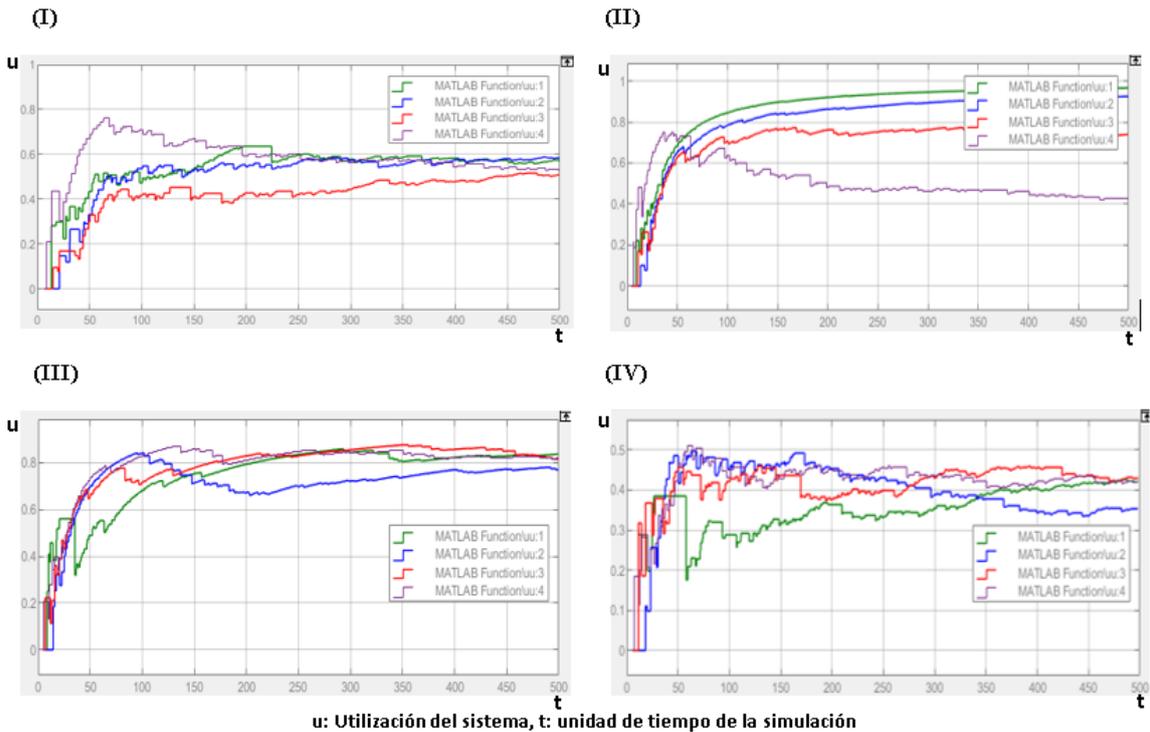


Figura 64 Resultados de utilización escenario 3, estación 3 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

Referente a la utilización de los servidores, es posible apreciar a través de la figura 58 que el modelo de Round robín presenta un promedio de utilización de 0.8 con la menor variabilidad, aunque es de destacar que el modelo ANFIS presenta dos servidores con casi un 1 de utilización de recursos, seguido de un servidor por debajo del 0.8 y otro por encima del 0.4. Por otro lado, la configuración sin controlador se posiciona de terceras en la utilización, dado que presenta un promedio de utilización de sus servidores del 0.6, mientras que, el modelo Equiprobable a pesar de tener una alta fluctuación del indicador entre el tiempo 50 y 250, se estandarizan 3 de sus 4 servidores, terminando la simulación con una utilización superior al 0.4 y el cuarto servidor entre el 0.3 y el 0.4.

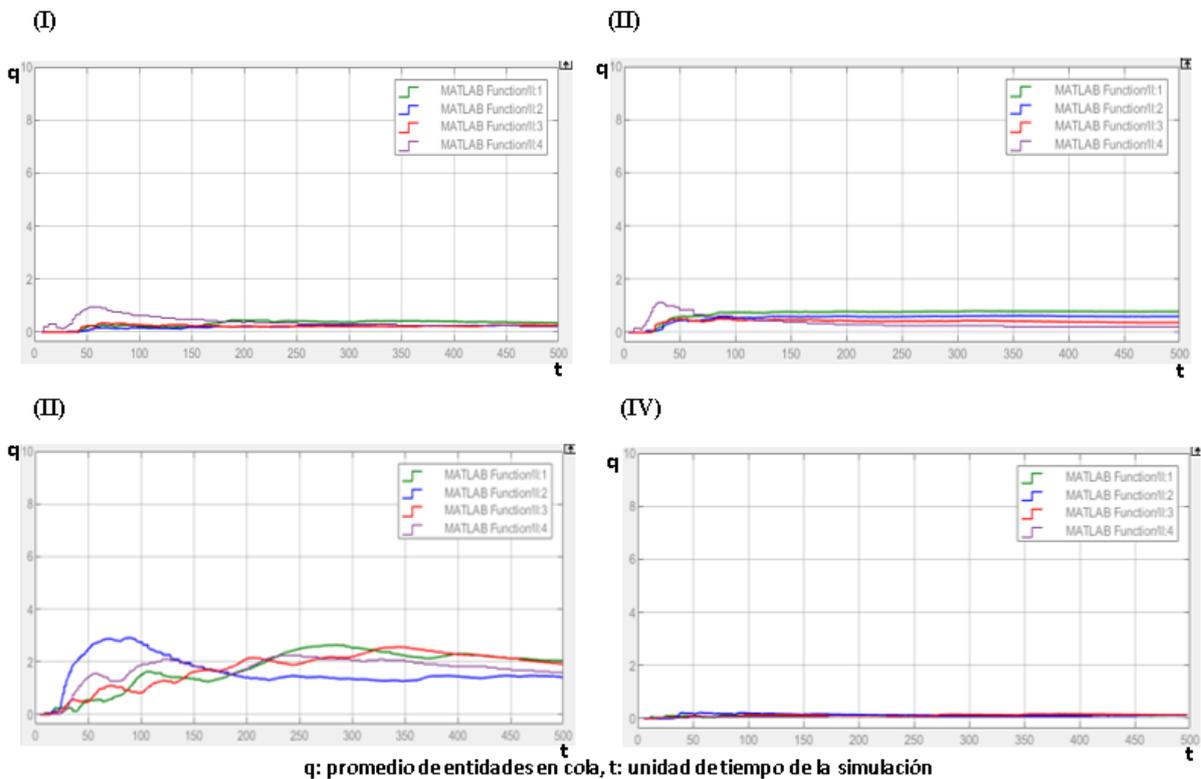


Figura 65 Resultados de longitud de cola escenario 3, estación 3 del modelo de red para: (I) sin controlador, (II) ANFIS, (III) Round robín y (IV) Equiprobable

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

Finalmente, para la estación 3, al simular el escenario 3, se determina que el modelo Round Robin al igual que en la estación 1, presenta la mayor varianza entre sus servidores, tendiendo todos estos a tener un promedio cercano a dos entidades en cola en todo momento; por otro lado, los modelos restantes presentan poca fluctuación a lo largo del escenario, y tienen un promedio de longitud de cola cercano a cero entidades.

Para este escenario y sus tres estaciones la política (IV) Equiprobable es la única que logra generar unos valores bajos en sus niveles de bloqueo, utilización y longitud de cola, lo cual hace que sea la mejor configuración para la red de colas

En conclusión, la red de colas presenta diferentes desempeños del sistema de acuerdo con el tipo de escenario que se analice y la política de secuenciación aplicada por lo cual fue necesario integrar los resultados en la siguiente tabla resumen de cuál fue la política que mejora el rendimiento del sistema con respecto a la simulación inicial de la red.

Tabla 6 Resumen de los resultados de aplicación de las políticas de secuenciación en la red de colas

Escenario	Política que optimiza la red
Uno	Round robín
Dos	Round robín
Tres	Equiprobable

Fuente: Elaboración propia

CASO REAL

Con el objetivo de establecer la efectividad del modelo del sistema de inferencia difusa desarrollado con las tres variables de entrada seleccionadas, se realiza la aplicación y análisis en un estudio de caso real implementado en el trabajo (Flórez Becerra, 2016) se recolecta información real de un sistema de servicio administrativo en una entidad promotora de salud, a partir de los datos obtenidos en el estudio se formula un modelo con estas características se realiza una simulación discreta con la cual se obtienen los datos para la generación del ANFIS y una segunda ejecución del sistema donde se evidencia la efectividad del modelo propuesto para este tipo de sistema, sin embargo, es necesario resaltar que las entidades de colas no tienen una capacidad finita de trabajos en cola por lo cual se diferencia de los modelos anteriores. (Modelo adjunto en el archivo Anexo 7 caso real).

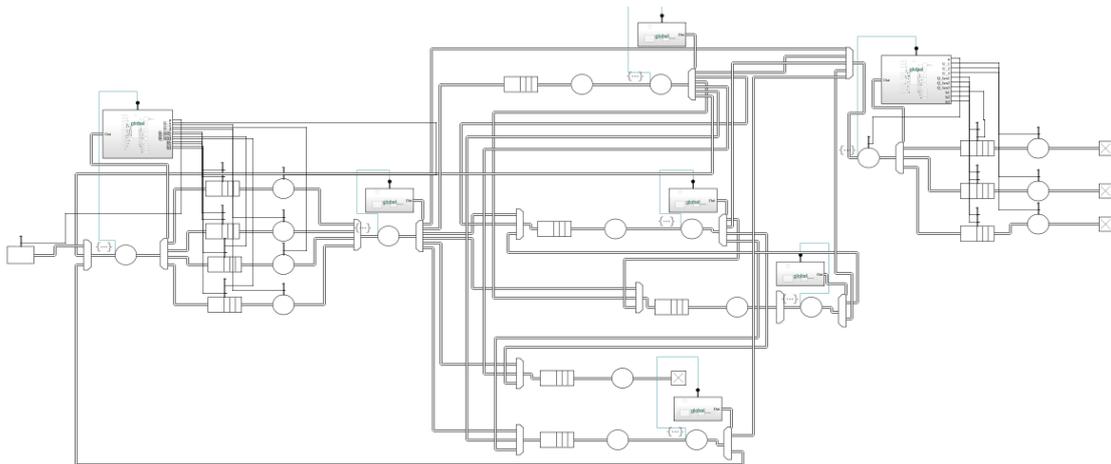


Figura 66 Modelo sistema de caso de estudio de un proceso hospitalario

Fuente: Elaboración propia a partir de (Flórez Becerra, 2016), SimEvents / Matlab

La red de colas cuenta con dos procesos de mayor capacidad: la radicación y la pertenencia además de procesos adicionales para el desarrollo de la actividad administrativa, por lo cual se seleccionan estos dos para la generación y aplicación de la configuración ANFIS de acuerdo como se ha establecido en este estudio. Inicialmente se ejecuta el modelo para 500 unidades de tiempo y una distribución uniforme o sin controlador para la generación de los datos iniciales que es requerida en la creación del ANFIS.

A partir de este paso se realiza el entrenamiento de error para las dos estaciones como se evidencia a continuación en las figuras y se implementan los dos métodos de optimización. Enseguida se ejecuta el modelo con el ANFIS y se toma un registro de los resultados obtenidos en los indicadores de desempeño. (Configuración Anfis adjunto en el archivo Anexo 8 Anfis rad).

En este caso el error en la generación del ANFIS es bajo y el método que optimiza este error es el híbrido con 0.0564 para 1000 épocas, como se había establecido anteriormente la relación entre la cantidad de épocas y la disminución del error.

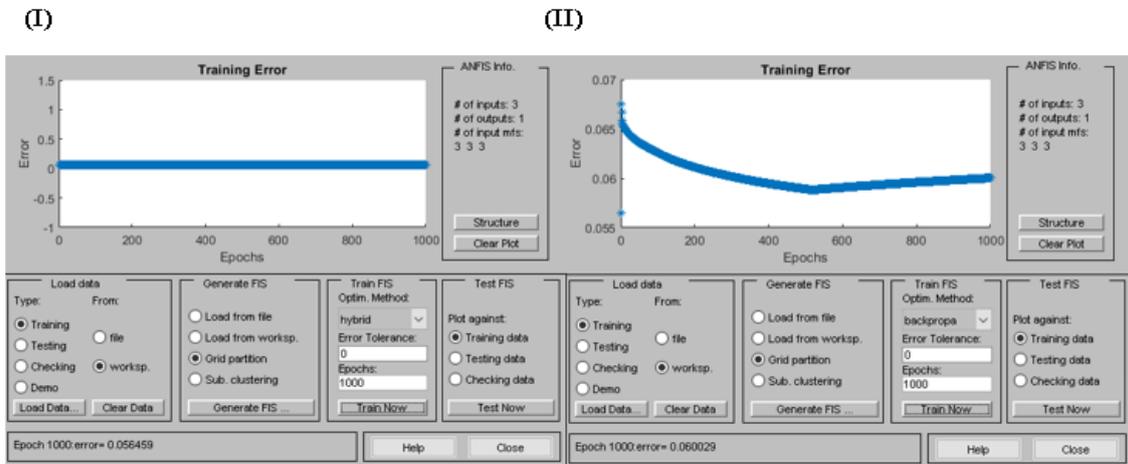


Figura 67 Resultados de la generación del ANFIS en el entrenamiento de error con 1000 épocas con el método de optimización (I) híbrido (II) Retropropagación.

Estación de radicación

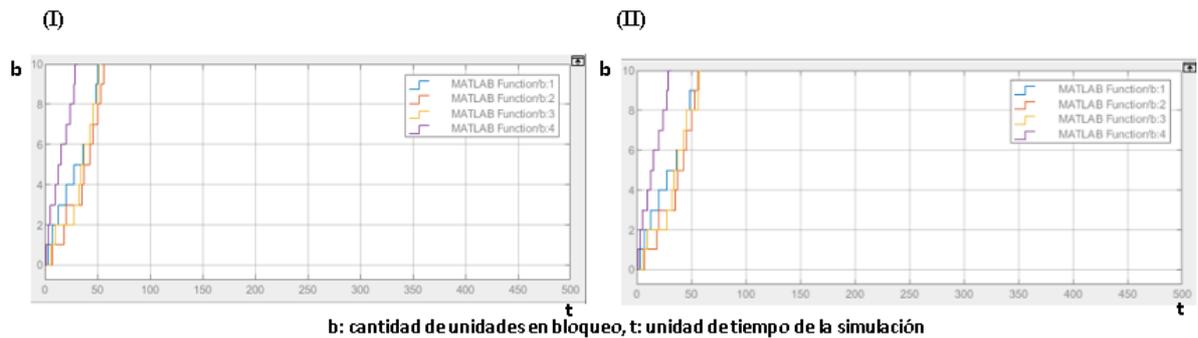


Figura 68 Resultados del sistema de caso de estudio del indicador de bloqueo para la estación de radicación (I) sin controlador y (II) ANFIS.

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

De acuerdo con la figura 68 no se evidencia una diferencia entre las dos simulaciones realizadas para el indicador de bloqueo dado que se ejecuta el modelo de acuerdo con las características iniciales establecidas en el estudio (Flórez Becerra, 2016) por esta razón no se cuenta con la información suficiente para establecer si la configuración ANFIS mejora el sistema.

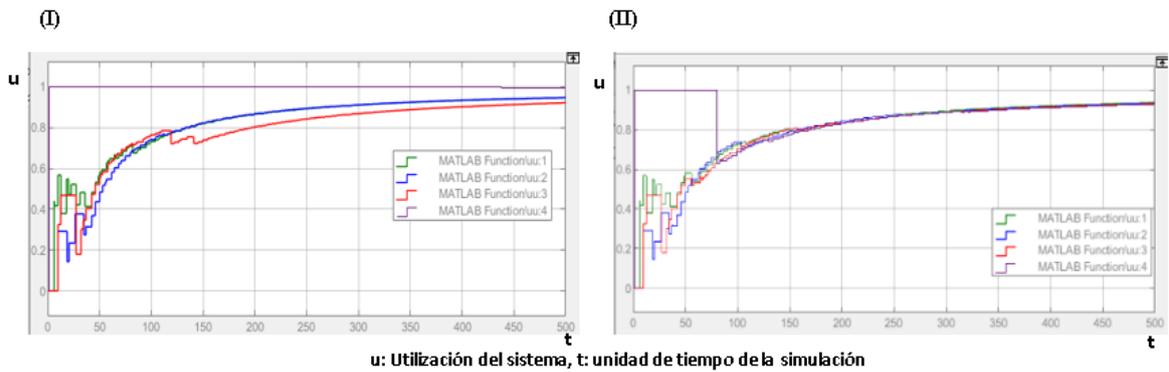


Figura 69 Resultados del sistema del caso de estudio del indicador de utilización para la estación de radicación (I) sin controlador y (II) ANFIS.

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

Para el caso del indicador de utilización y la longitud de cola la similitud entre las gráficas es alta dado que al ejecutar la simulación con la configuración ANFIS por una parte se integra la utilización de los servidores en menores unidades de tiempo, sin embargo, converge al mismo valor de 0.8 aproximadamente. Mientras la longitud de cola se dispersa los valores generados para los 4 servidores y presenta una alta variación, por lo cual no es una política que mejore el rendimiento del sistema para este caso.

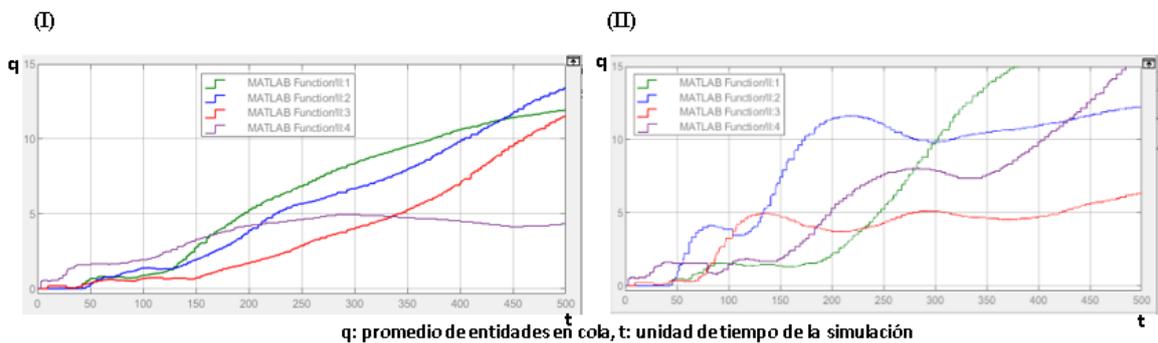


Figura 70 Resultados del sistema del caso de estudio del indicador de longitud de cola para la estación de radicación (I) sin controlador y (II) caso de estudio ANFIS.

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

Estación de pertenencia

Para la segunda estación de la red de colas se presenta una situación similar como en la anterior estación se realiza un análisis de los resultados obtenidos. (Configuración Anfis adjunto en el archivo Anexo 9 Anfis per).

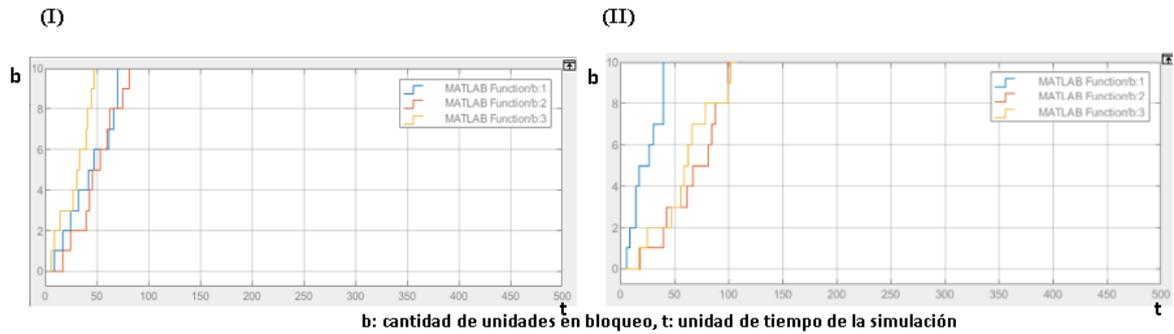


Figura 71 Resultados del sistema del caso de estudio del indicador de bloqueo para la estación de pertenencia (I) sin controlador y (II) caso de estudio ANFIS.

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

Esta estación se compone por tres servidores los cuales presentan un alto nivel de bloqueo al inicio de la simulación y en el caso del (II) ANFIS es notable en la figura 71 la variación en la selección del servidor 1 el cual presenta un mayor nivel de bloqueo con respecto a los demás.

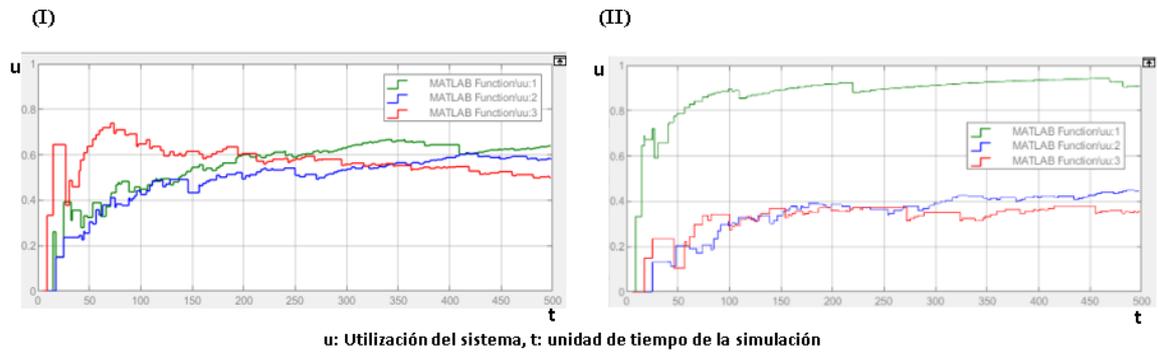


Figura 72 Resultados del sistema del caso de estudio del indicador de utilización para la estación de pertenencia (I) sin controlador y (II) caso de estudio ANFIS.

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

De acuerdo con las figuras 72 la utilización de la estación se altera notablemente para la configuración ANFIS donde se selecciona con mayor frecuencia el primer servidor lo cual genera una evidente variación con una mayor utilización mientras los otros servidores convergen a 0.4 lo cual no alcanza la capacidad media del sistema, en cambio para la simulación (I) converge la utilización de todos los servidores a 0.6. Y finalmente en la longitud de cola presenta una mayor cola en el ANFIS.

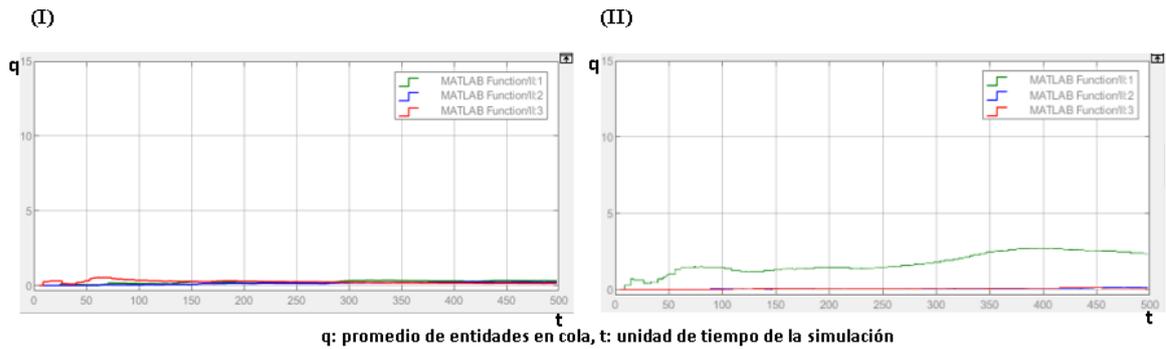


Figura 73 Resultados del sistema del caso de estudio del indicador de utilización para la estación de pertenencia (I) sin controlador y (II) caso de estudio ANFIS.

Fuente: Elaboración propia, SimEvents / Matlab

De acuerdo con las anteriores graficas se evidencia que la configuración ANFIS para el caso de estudio real no tiene las características suficientes para mejora el rendimiento del sistema por el contrario se evidencia una notable variación en sus indicadores. Este resultado puede estar dado por la limitación de la información del sistema y la cantidad de datos que permitan establecer con efectividad las fluctuaciones de las variables que intervienen en el sistema.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

De acuerdo con los resultados presentados en el capítulo anterior para la primera parte del estudio donde se realiza el análisis comparativo del ANFIS y políticas de secuenciación tradicionales para un sistema de colas se evidencia diferencias entre los escenarios establecidos, donde en el caso del escenario 1 en el cual presenta una tasa de arribo alta la configuración propuesta de ANFIS mejora el rendimiento del sistema, sin embargo, para los siguientes escenarios no se presenta el mismo comportamiento y la política Round robin es la que genera una menor variación en los indicadores de desempeño además de una unificación en el rendimiento y utilización de todos los servidores, lo cual genera una optimización en la prestación del servicio del sistema.

A partir de estos resultados es necesario resaltar la efectividad del ANFIS para situaciones de mayor congestión en el sistema como es el caso del escenario 1 donde se presenta un aumento en los arribos de entidades por lo que se generan líneas de espera y ocupación del sistema, se evidencia una mejora al tener en cuenta que el ANFIS logra una ejecución de la simulación completa en las 1000 unidades de tiempo en comparación con las demás configuraciones y su respuesta a las variables de entrada se bloquea, es decir, responde al requerimiento de los clientes o productos que se encuentran en cola permitiendo disminuir los tiempos de espera en el sistema, sin embargo, para el siguiente escenario se ajustan las políticas tradicionales dado que se evidencia una mejora en el rendimiento de las variables analizadas como es la disminución en la cantidad de entidades en espera y de manera proporcional del bloqueo.

Como resultado del estudio de la red de colas que se compone por tres estaciones de servicio donde también se analizan los tres escenarios con la variación de la tasa de arribo, en este caso el modelo propuesto ANFIS no genera una mejora en más de un 80% de las simulaciones al analizar el comportamiento individual de las estaciones y los escenarios establecidos como consecuencia se evidencia una notable mejora del sistema al disminuir el promedio de la longitud de cola, el bloqueo en cada estación y por su parte aumentar el aprovechamiento de los recursos existentes con la configuración Round robin de acuerdo con los resultados del escenario 1 en todas sus estaciones, esto se puede presentar dada la limitación de las características del sistema en donde solo se analizan tres variables de entrada y no se pueden cuantificar más factores que intervienen en un sistema real.

Además del análisis del caso de estudio de (Flórez Becerra, 2016) donde se observa una mínima variación en la disminución del bloqueo y el promedio de la longitud de cola que presenta el proceso por lo cual no es suficiente para afirmar la efectividad del ANFIS para este sistema real, sin embargo, es necesario resaltar que las características iniciales de este estudio no tienen en cuenta el bloqueo del sistema y una limitación en la capacidad de atención de las entidades que arriban al sistema por lo cual pueden generar estos resultados.

Para concluir este estudio se destaca efectividad de la aplicación de un sistema de inferencia difusa ANFIS para sistemas que presenten altos niveles de bloqueo y/o

congestión en sus líneas de espera, esta situación se presenta en eventos cotidianos dadas las actuales políticas de salud en donde no se permite el ingreso de más de 20 personas a un lugar cerrado como puede ser una entidad bancaria, un restaurante entre otros, lo cual puede ocurrir por ejemplo en horas pico cuando no se permite el ingreso de más personas y para cada una puede aumentar el tiempo de espera dependiendo de la posición que ocupe en la cola, el sistema al establecer una selección del agente que presenta el servicio de acuerdo con su rendimiento permite disminuir el tiempo de espera y estos a su vez el bloqueo y el promedio de la longitud de cola donde la utilización aumenta.

Por otra parte, en los casos donde se presentan tasas media y baja de arribo se puede manejar la atención de las entidades en el sistema empleando los métodos tradicionales de la teoría dado que si mejoran el comportamiento de las variables como es la utilización y el bloqueo del sistema además del rendimiento general del mismo como se reflejó en los indicadores de desempeño del capítulo anterior.

Entonces las aplicaciones prácticas de este tipo de sistemas en contextos reales se puede presentar en sistemas como líneas de producción que implementan sensores de movimiento para establecer la secuencia de los productos de acuerdo con la etapa del proceso en la cual se encuentre como es por ejemplo cuando se etiqueta una crema se requiere de una selección instantánea de la banda transportadora que debe seguir el producto de acuerdo con la disponibilidad de las maquinas conectadas de esta manera disminuye la cantidad de unidades en cola y mejora la capacidad de producción de la línea. Otra posible aplicación se puede dar en semáforos de puntos con mayor fluencia vehicular en el cual se regule el cambio de las luces de acuerdo con el tráfico que se presente.

Trabajos futuros

Finalmente, los estudios siguientes a desarrollar es analizar y caracterizar un sistema real de colas con un sistema de inferencia lógica difusa donde es importante identificar cuáles son las variables que intervienen en mayor proporción en el proceso o atención, además de una recolección de datos suficiente como puede ser una cantidad superior a 100 unidades de tiempo dado que en este caso genera una limitación para el estudio de los sistemas. Además, se puede realizar un cambio en la configuración del sistema de inferencia donde se analicen una menor cantidad de reglas de inferencia que se presenten de acuerdo al caso o así mismo aumentar la cantidad de variables de entrada que influyen directamente en el comportamiento del sistema en general.

BIBLIOGRAFIA

- Azadeh, A., Faiz, Z.S., Asadzadeh, S.M., Tavakkoli-Moghaddam, R. (2011). An integrated artificial neural network-computer simulation for optimization of complex tandem queue systems. *Math. Comput. Simul.*, 82, 666–678. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2011.06.009>
- Baldwin, R. O., Davis IV, N. J., Midkiff, S. F., & Kobza, J. E. (2003). Queueing network analysis: concepts, terminology, and methods. *Journal of Systems and Software*, 66(2), 99–117. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0164-1212\(02\)00068-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0164-1212(02)00068-7)
- Bebic, D., Stazic, L., & Komar, I. (2019). Ships shore service optimization using the queueing theory. *International Journal of Simulation Modelling*, 18(4), 596–607. [https://doi.org/10.2507/IJSIMM18\(4\)488](https://doi.org/10.2507/IJSIMM18(4)488)
- Bhagat, A., & Jain, M. (2020). Retrial queue with multiple repairs, multiple services and non preemptive priority. *Opsearch*, 57(3), 787–814. <https://doi.org/10.1007/s12597-020-00443-y>
- Bouchentouf, A. A., & Messabihi, A. (2018). Heterogeneous two-server queueing system with reverse balking and reneging. *Opsearch*, 55(2), 251–267. <https://doi.org/10.1007/s12597-017-0319-4>
- Chen, H., & Ye, H. Q. (2016). An Examination of Some Factory Physics Principles. *Journal of the Operations Research Society of China*, 4(2), 131–145. <https://doi.org/10.1007/s40305-015-0115-x>
- Chude-Olisah, C. C., Chude-Okonkwo, U. A. K., Bakar, K. A., & Sulong, G. (2013). Fuzzy-based dynamic distributed queue scheduling for packet switched networks. *Journal of Computer Science and Technology*, 28(2), 357–365. <https://doi.org/10.1007/s11390-013-1336-2>
- Correa-Henao, G. J., & Montoya-Suárez, L. M. (2013). Aplicación del modelo ANFIS para predicción de series de tiempo. *Lámpsakos*, 9, 12–25.
- Dorda, M., Teichmann, D., & Graf, V. (2019). Optimisation of service capacity based on queueing theory. *MM Science Journal*, 2019(October), 2975–2981. https://doi.org/10.17973/MMSJ.2019_10_201889
- Flórez Becerra, G. (2016). *Diseño de un Sistema Multiagente de Programación de Tareas Basado en Técnicas de Inteligencia Artificial y Simulación Discreta para Sistemas de Servicio Tipo Red de Colas Multi-Clase*.
- Hum, S. H., Parlar, M., & Zhou, Y. (2018). Measurement and optimization of responsiveness in supply chain networks with queueing structures. *European Journal of Operational Research*, 264(1), 106–118. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.05.009>
- Jain, M., & Sanga, S. S. (2017). Performance modeling and ANFIS computing for finite buffer retrial queue under F-policy. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 547, 248–258. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3325-4_25
- Jang, J. S. R. (1993). ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 23(3), 665–685.

<https://doi.org/10.1109/21.256541>

- Joelianto, E., & Rahmat, B. (2008). Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) with Error Back propagation Algorithm using Mapping Function. *International Journal of Artificial Intelligence*, 1(A08).
- Joseph, J. W. (2020). Queuing Theory and Modeling Emergency Department Resource Utilization. *Emergency Medicine Clinics of North America*, 38(3), 563–572. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.emc.2020.04.006>
- Jung Bok Jo, Y. Tsujimura, M. G. y G. Y. (1994). A network model based on fuzzy queueing system. *IEEE 3rd International Fuzzy Systems Conference, Orlando, FL*, 3, 1951–1956. doi: 10.1109/FUZZY.1994.343551.
- Kendall, D. G. (1953). Stochastic Processes Occurring in the Theory of Queues and their Analysis by the Method of the Imbedded Markov Chain. *The Annals of Mathematical Statistics*, 24(3), 338–354. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177728975>
- Kingman, J. (1961). La cola de servidor único en el tráfico pesado. *Procedimientos Matemáticos de La Sociedad Filosófica de Cambridge*, 57(4), 902–904. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.02.016>
- Korenevskaya, M., Zayats, O., Ilyashenko, A., & Muliukha, V. (2019). Retrial Queuing System with Randomized Push-Out Mechanism and Non-Preemptive Priority. *Procedia Computer Science*, 150, 716–725. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.02.016>
- Kumar, R., Sharma, S., Soodan, B. S., Vijaya Laxmi, P., & Som, B. K. (2020). Transient solution of a heterogeneous queueing system with balking and catastrophes. In *Reliability: Theory and Applications* (Vol. 15, Issue 1). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.24411/1932-2321-2020-11004>
- Lalis J.T, G. B. . and B. Y. (2014). An Adaptive Stopping Criterion for Backpropagation Learning in Feedforward Neural Network. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, 9(8), 149–156.
- Li, Y., Gao, X., Xu, Z., & Zhou, X. (2018). Network-based queueing model for simulating passenger throughput at an airport security checkpoint. *Journal of Air Transport Management*, 66, 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.09.013>
- Little, J. D. C., & Graves, S. C. (2008). Little’s law. In *International Series in Operations Research and Management Science* (Vol. 115, pp. 81–100). Springer New York LLC. https://doi.org/10.1007/978-0-387-73699-0_5
- Liu, D., & Ge, Y. E. (2018). Modeling assignment of quay cranes using queueing theory for minimizing CO2 emission at a container terminal. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 61, 140–151. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.06.006>
- López-Santana, Franco, & Figueroa-Garcia. (2017). A fuzzy inference system to scheduling tasks in queueing systems. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 10363 LNAI, 286–297. https://doi.org/10.1007/978-3-319-63315-2_25

- López-Santana, Méndez-Giraldo, & Figueroa-García. (2019). Scheduling in queueing systems and networks using ANFIS. In *Studies in Fuzziness and Soft Computing* (Vol. 377, pp. 349–372). Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-030-10463-4_18
- Mamdani, S. A. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, *1*, 1-13.
- Melamed, B. (1979). Characterizations of Poisson traffic streams in Jackson queueing networks. *Advances in Applied Probability*, *11*(2), 422–438. <https://doi.org/10.2307/1426847>
- Mucsi, K., Khan, A. M., & Ahmadi, M. (2011). An Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for estimating the number of vehicles for queue management at signalized intersections. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *19*(6), 1033–1047. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trc.2011.05.016>
- Novitzky, S., Pender, J., Rand, R. H., & Wesson, E. (2019). Nonlinear dynamics in queueing theory: Determining the size of oscillations in queues with delay. *SIAM Journal on Applied Dynamical Systems*, *18*(1), 279–311. <https://doi.org/10.1137/18M1170637>
- Pender, J., Rand, R. H., & Wesson, E. (2018). An analysis of queues with delayed information and time-varying arrival rates. *Nonlinear Dynamics*, *91*(4), 2411–2427. <https://doi.org/10.1007/s11071-017-4021-0>
- Sanga, S. S., & Jain, M. (2019). Cost optimization and ANFIS computing for admission control of M/M/1/K queue with general retrial times and discouragement. *Applied Mathematics and Computation*, *363*, 124624. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.amc.2019.124624>
- Singer, M., Donoso, P., & Scheller-Wolf, A. (n.d.). Una introducción a la teoría de colas aplicada a la gestión de servicios. *Revista Abante*, *11*(2), 93-120.
- Spearman, M. L., & Hopp, W. J. (1996). Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management. In *Irwin, Chicago, IL* (p. 439).
- Takagi, T., & Sugeno, M. (1985). Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, *1*, 116-132.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, *8*(3), 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- Zirem, D., Boualem, M., Adel-Aissanou, K., & Aïssani, D. (2019). Analysis of a single server batch arrival unreliable queue with balking and general retrial time. *Quality Technology and Quantitative Management*, *16*(6), 672–695. <https://doi.org/10.1080/16843703.2018.1510359>

LISTA ANEXOS

Anexo 1 Mamdani.....	96
Anexo 2 Sistema	96
Anexo 3 Red	96
Anexo 4 Anfis esc 1.....	96
Anexo 5 Anfis esc 2.....	96
Anexo 6 Anfis esc 3.....	96
Anexo 7 Caso real.....	96
Anexo 8 Anfis radicación	96
Anexo 9 Anfis pertenencia.....	96
Anexo 10 Entrenamiento de error, reglas difusas y grafica de superficie red de colas, Escenario 1/ Estación 1.....	97
Anexo 11 Entrenamiento de error, reglas difusas y grafica de superficie red de colas, Escenario 1/ Estación 2.....	99
Anexo 12 Entrenamiento de error, reglas difusas y grafica de superficie red de colas, Escenario 1/ Estación 3.....	101
Anexo 13 Entrenamiento de error, reglas difusas y grafica de superficie red de colas, Escenario 2/ Estación 1.....	103
Anexo 14 Entrenamiento de error, reglas difusas y grafica de superficie red de colas, Escenario 2/ Estación 2.....	105
Anexo 15 Entrenamiento de error, reglas difusas y grafica de superficie red de colas, Escenario 2/ Estación 3.....	107
Anexo 16 Entrenamiento de error, reglas difusas y grafica de superficie red de colas, Escenario 3/ Estación 1.....	109
Anexo 17 Entrenamiento de error, reglas difusas y grafica de superficie red de colas, Escenario 3/ Estación 2.....	111
Anexo 18 Entrenamiento de error, reglas difusas y grafica de superficie red de colas, Escenario 3/ Estación 3.....	113

ANEXOS

Anexo 1 Mamdani

Archivo adjunto en los anexos digitales

Anexo 2 Sistema

Archivo adjunto en los anexos digitales

Anexo 3 Red

Archivo adjunto en los anexos digitales

Anexo 4 Anfis esc 1

Archivo adjunto en los anexos digitales

Anexo 5 Anfis esc 2

Archivo adjunto en los anexos digitales

Anexo 6 Anfis esc 3

Archivo adjunto en los anexos digitales

Anexo 7 Caso real

Archivo adjunto en los anexos digitales

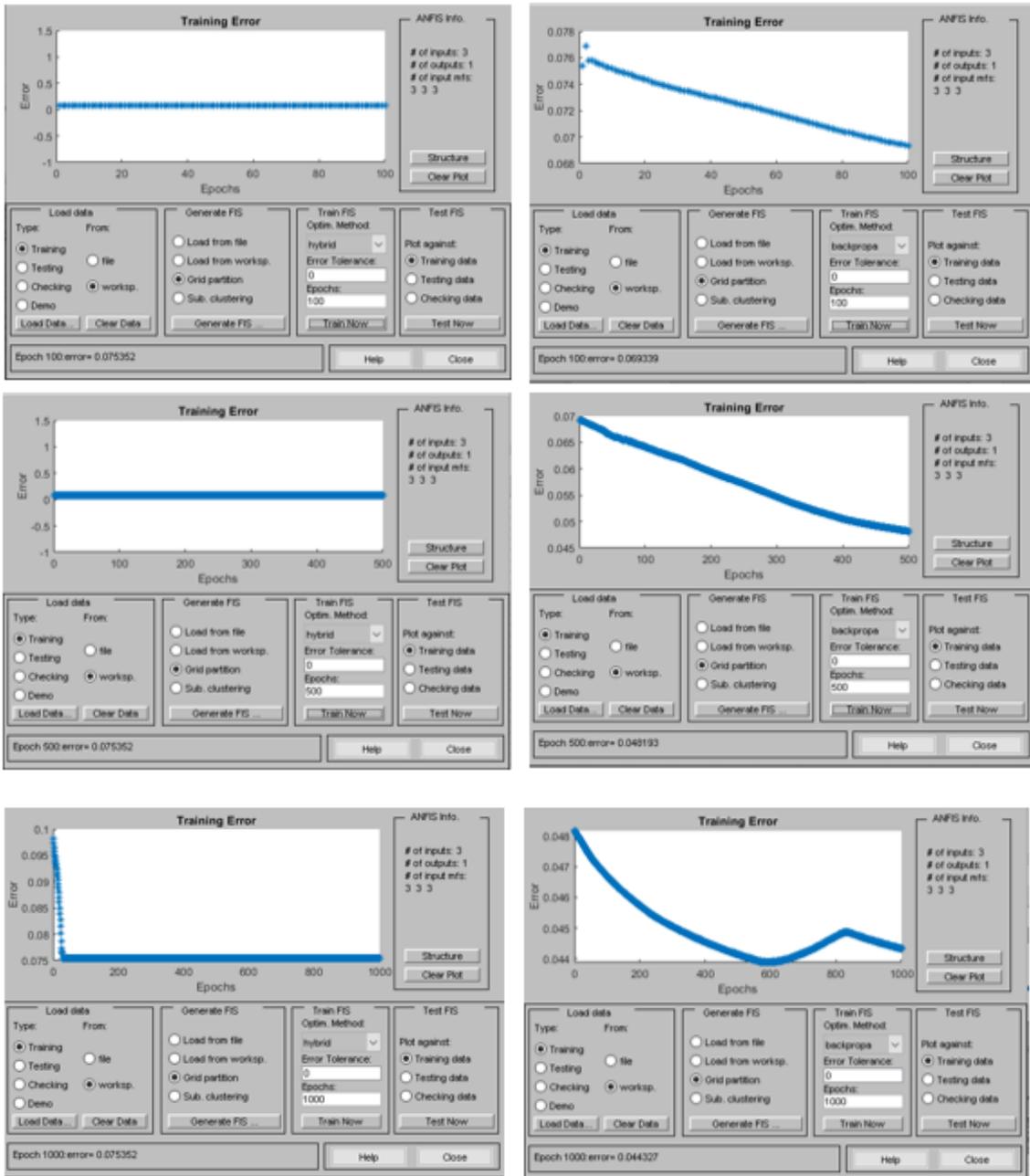
Anexo 8 Anfis radicación

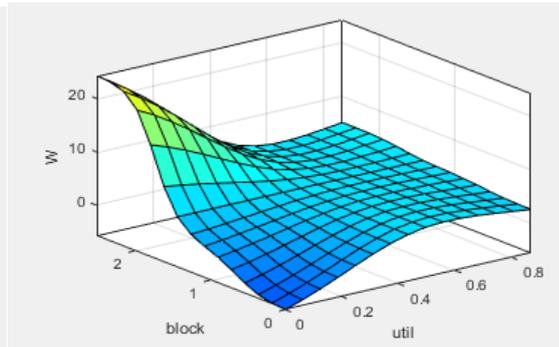
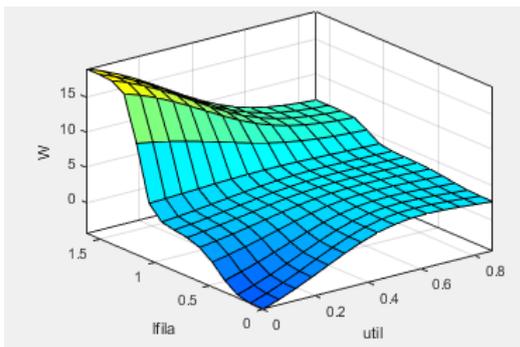
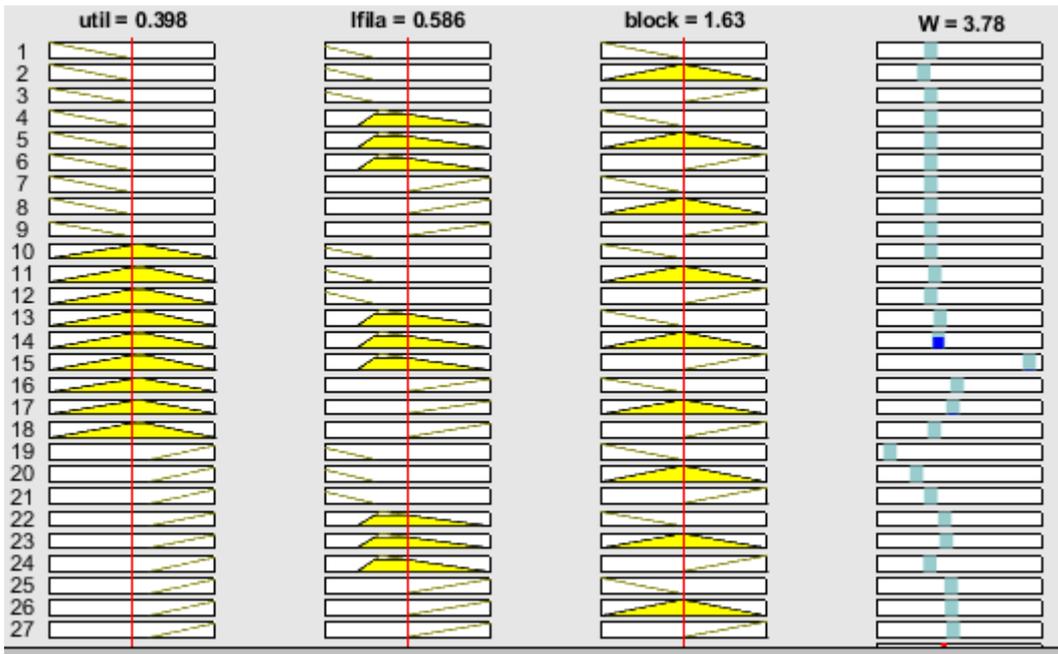
Archivo adjunto en los anexos digitales

Anexo 9 Anfis pertenencia

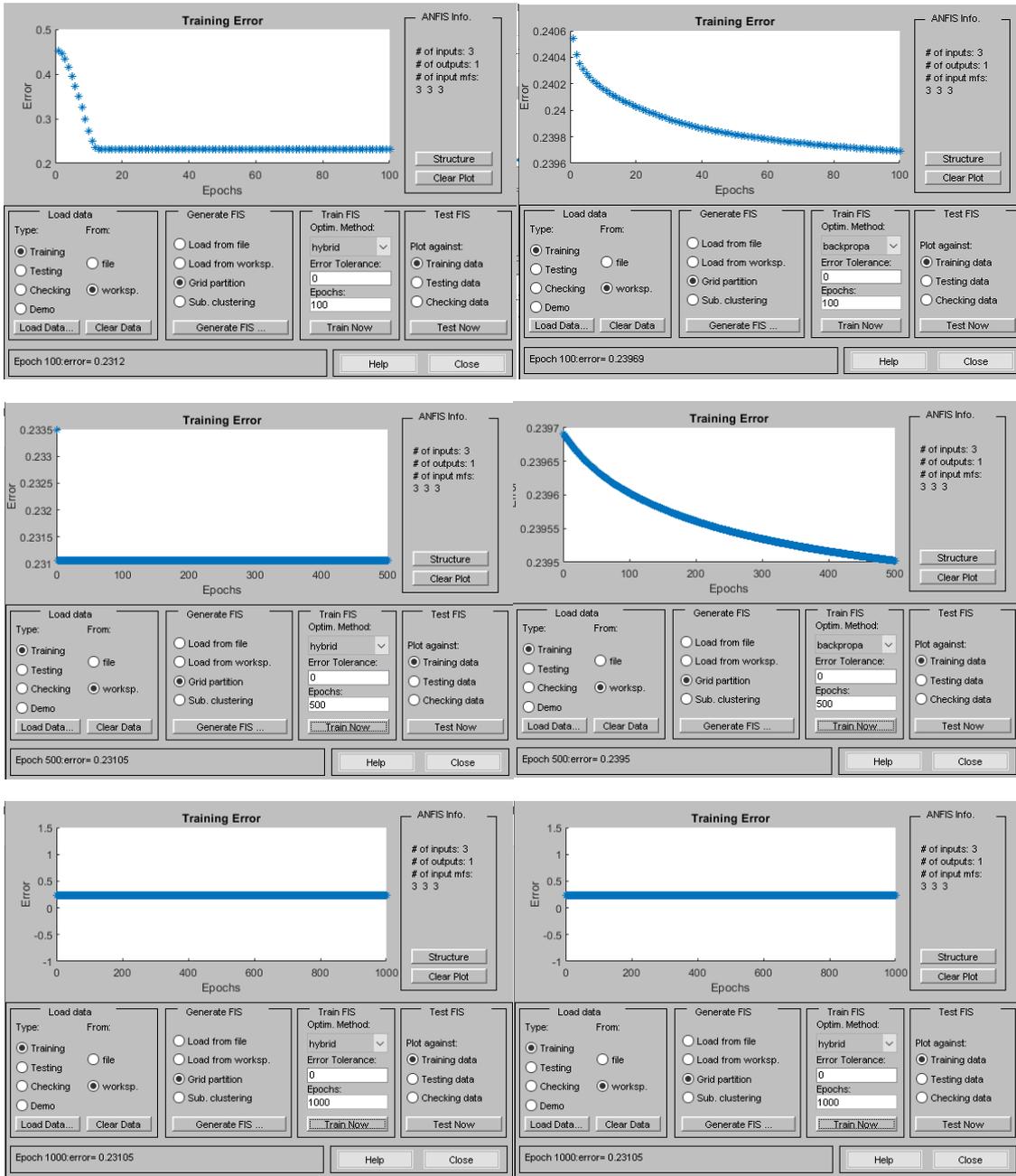
Archivo adjunto en los anexos digitales

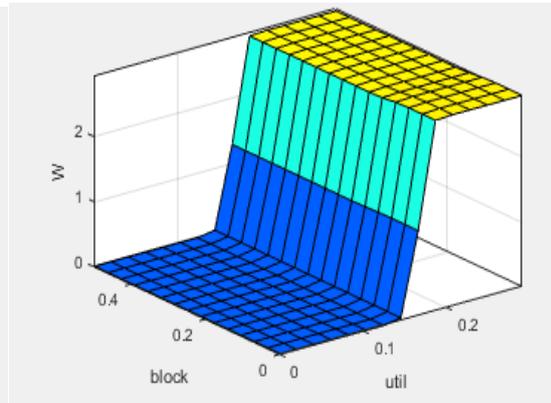
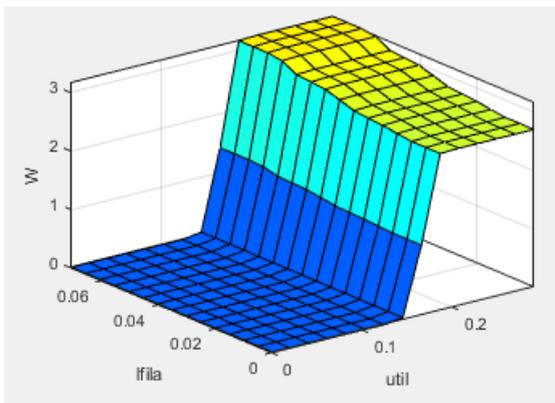
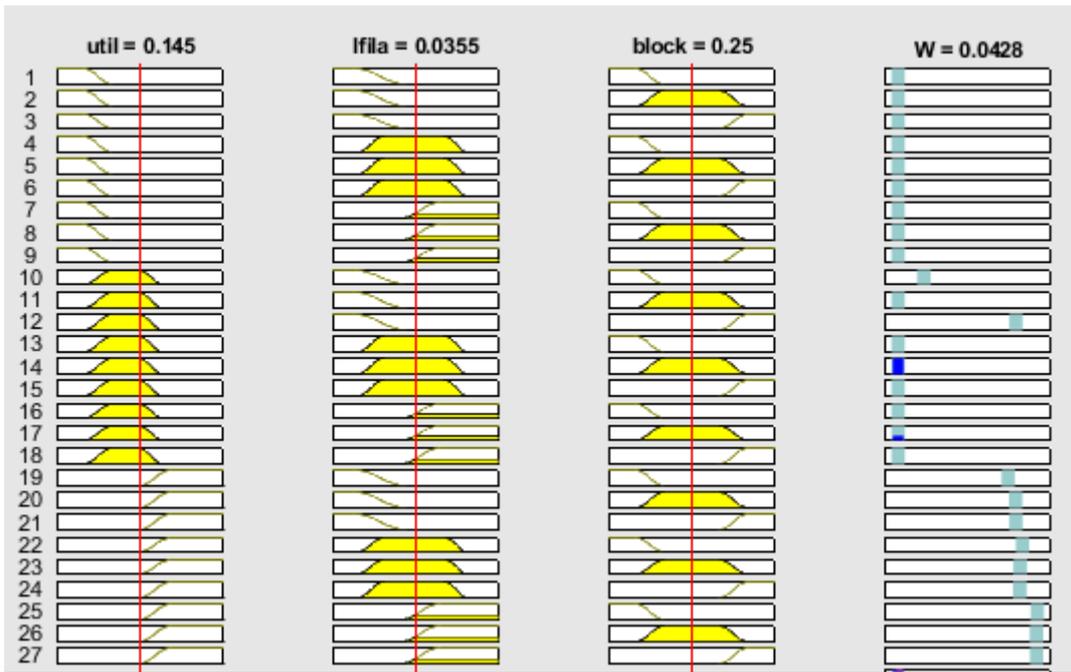
Anexo 10 Entrenamiento de error, reglas difusas y grafica de superficie red de colas, Escenario 1/ Estación 1.



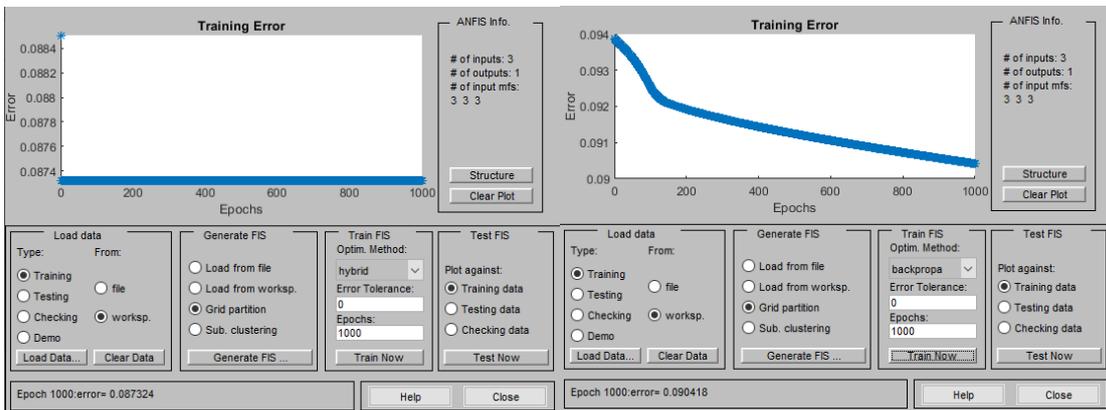
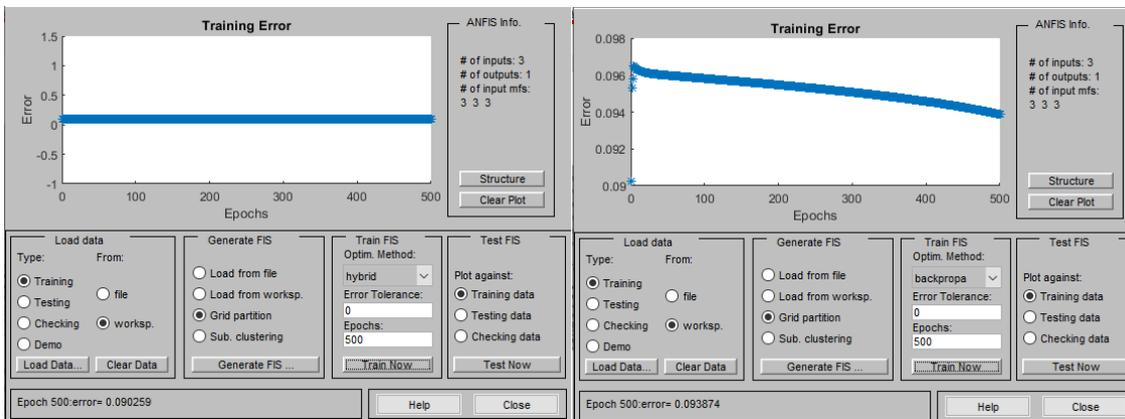
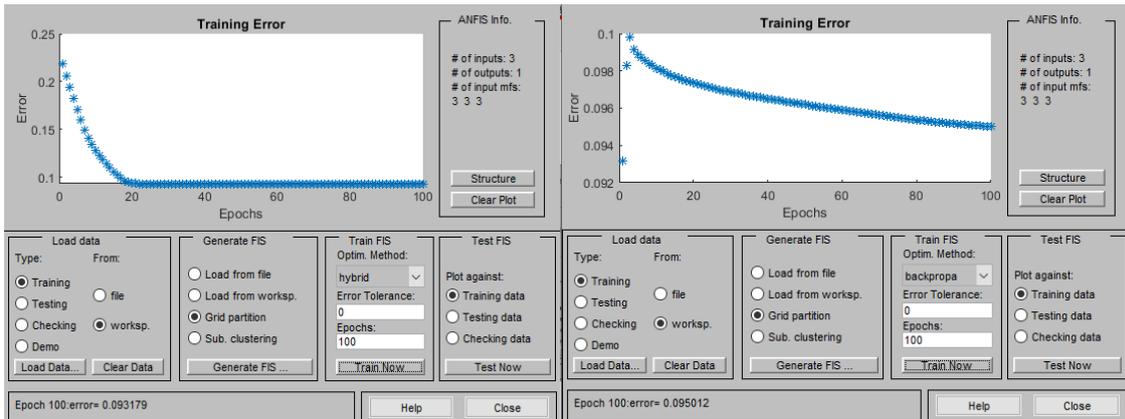


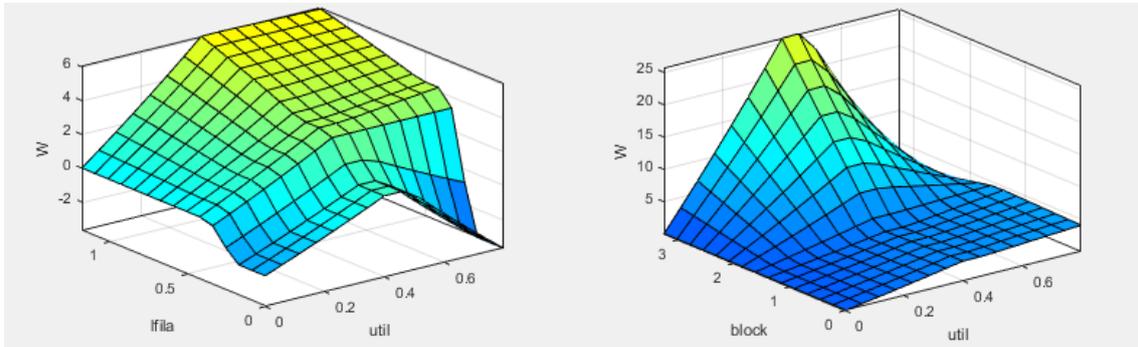
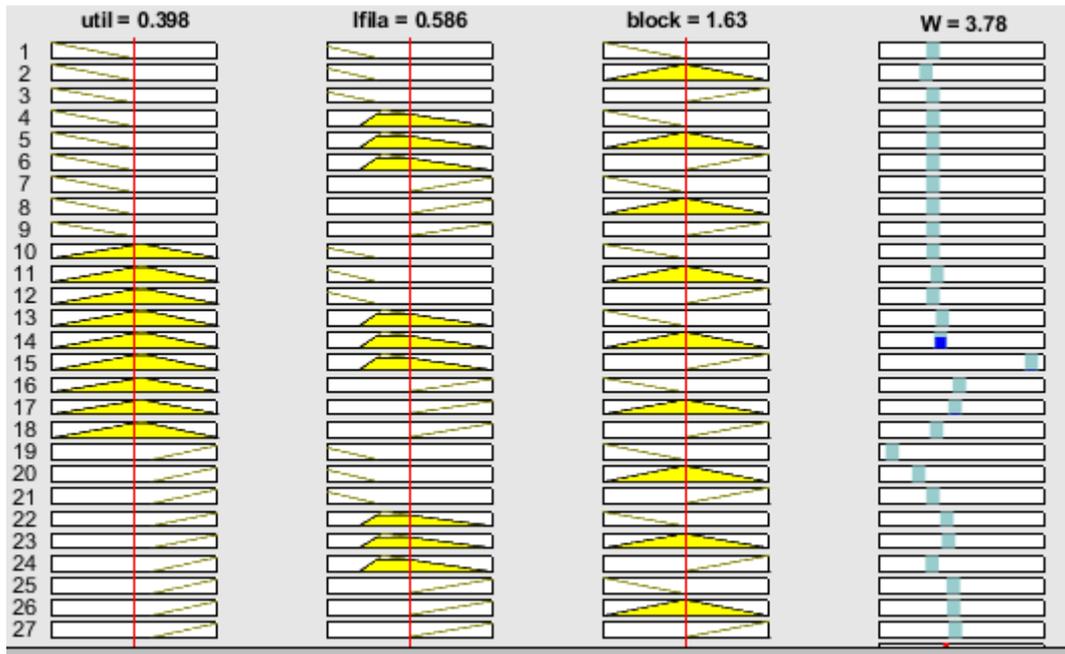
Anexo 11 Entrenamiento de error, reglas difusas y grafica de superficie red de colas, Escenario 1/ Estación 2.



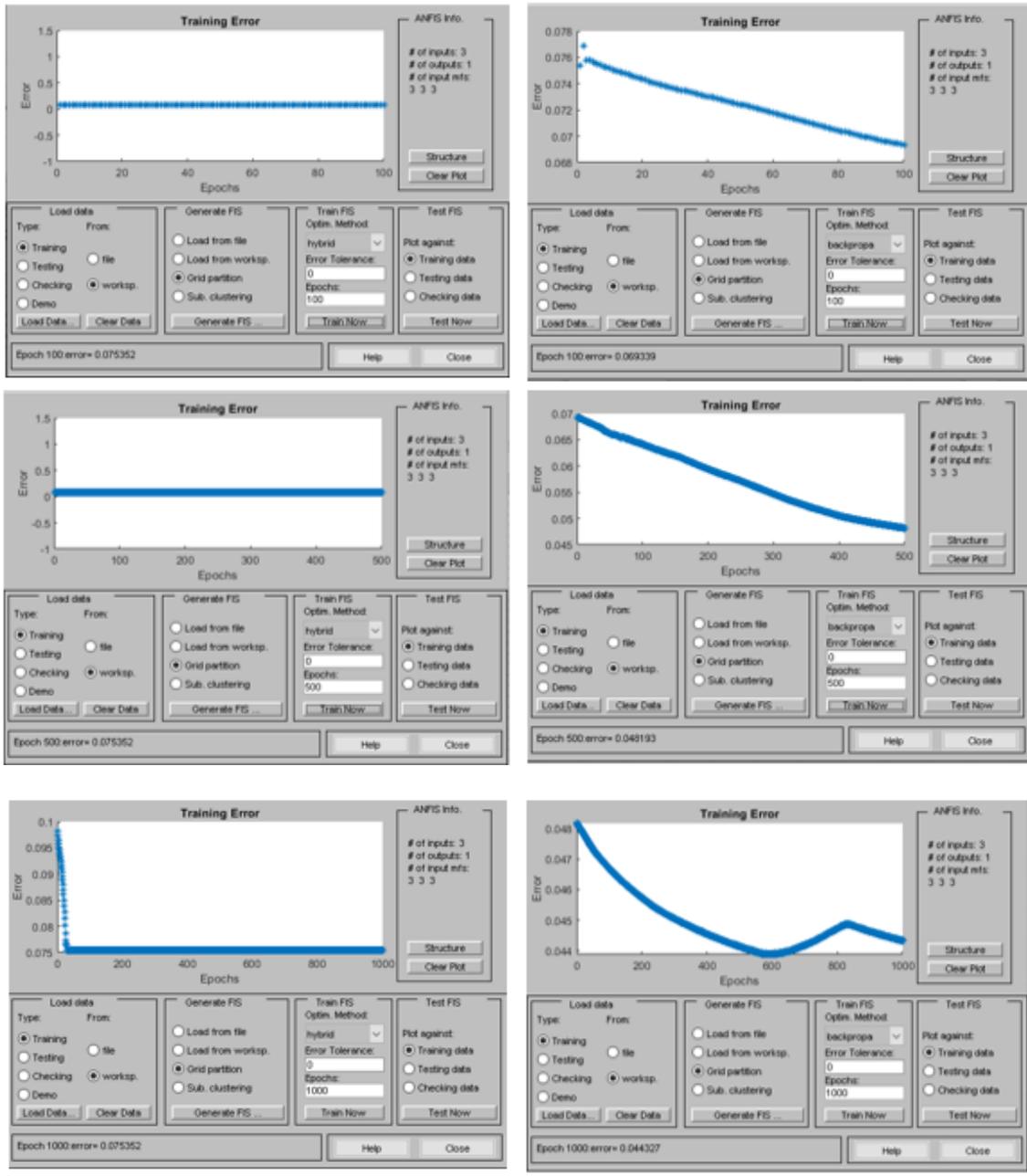


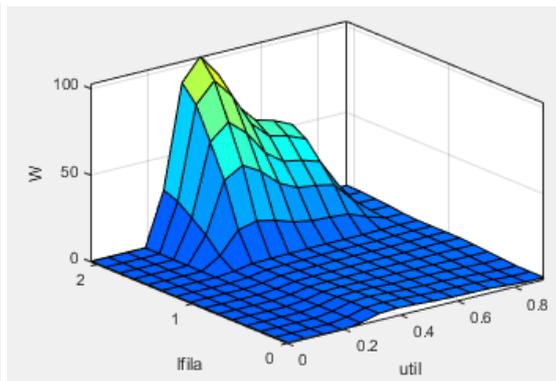
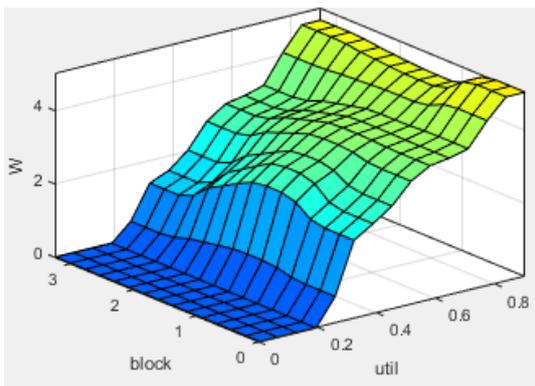
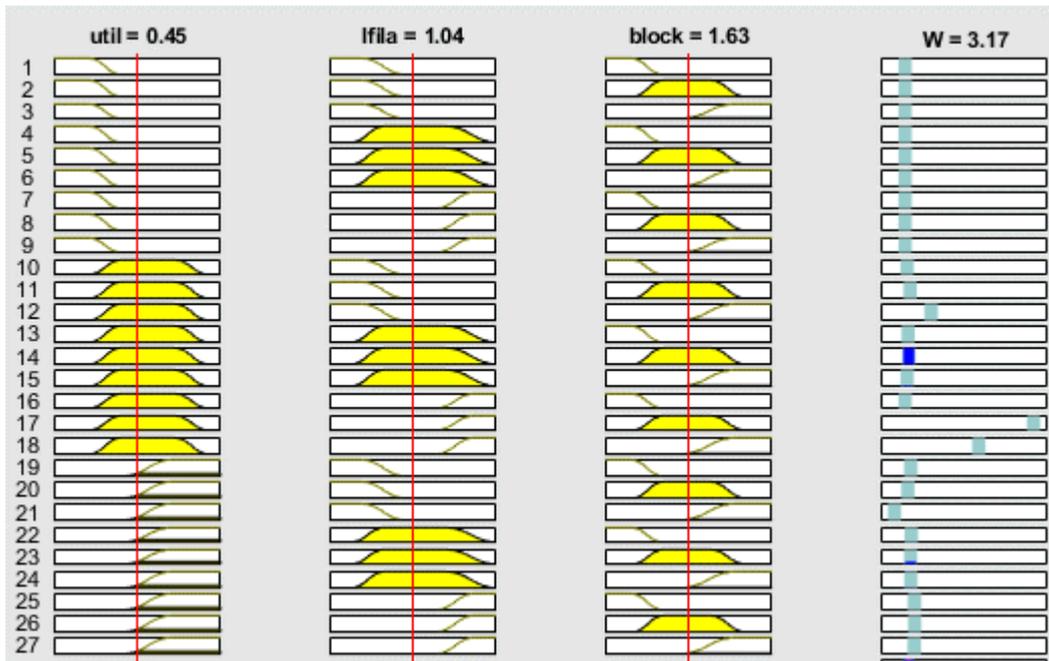
Anexo 12 Entrenamiento de error, reglas difusas y grafica de superficie red de colas, Escenario 1/ Estación 3.



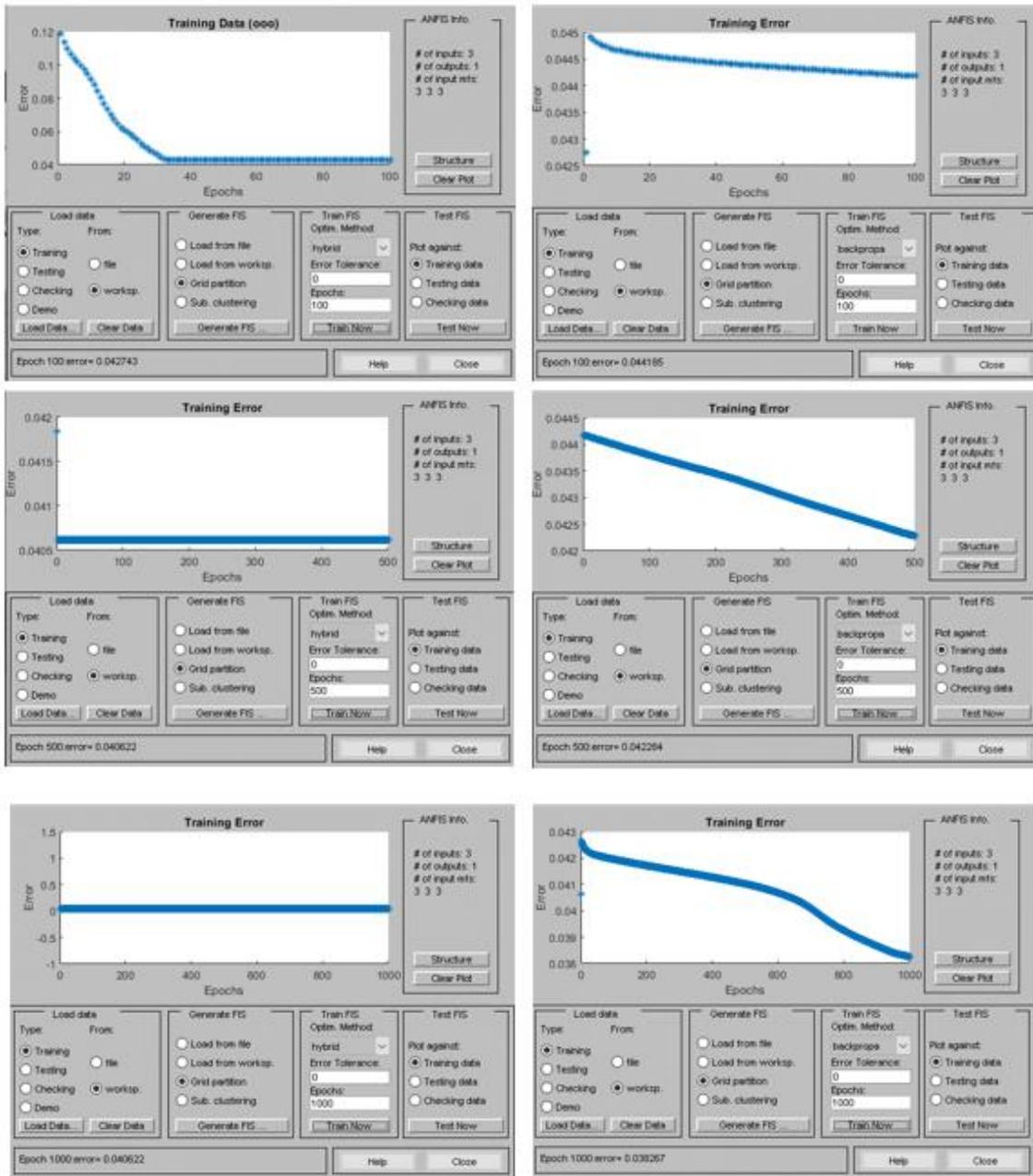


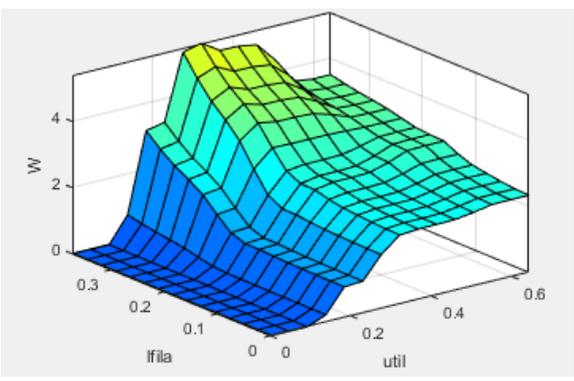
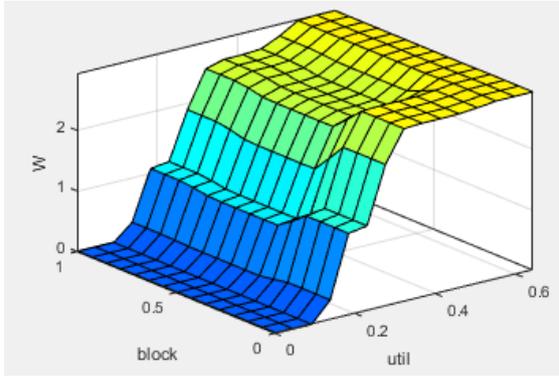
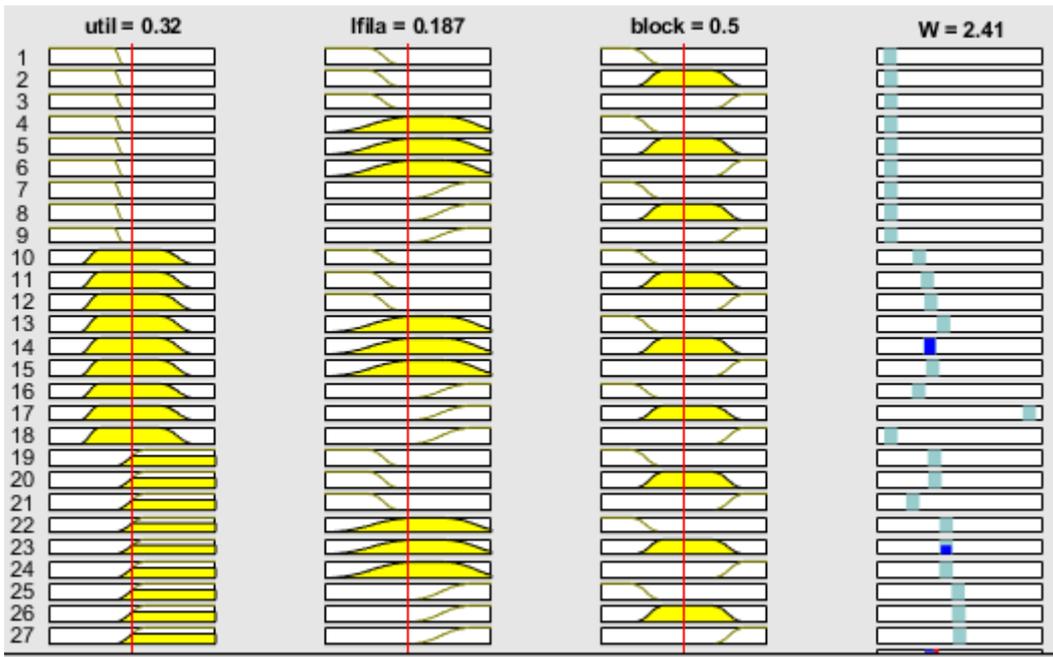
Anexo 13 Entrenamiento de error, reglas difusas y grafica de superficie red de colas, Escenario 2/ Estación 1.



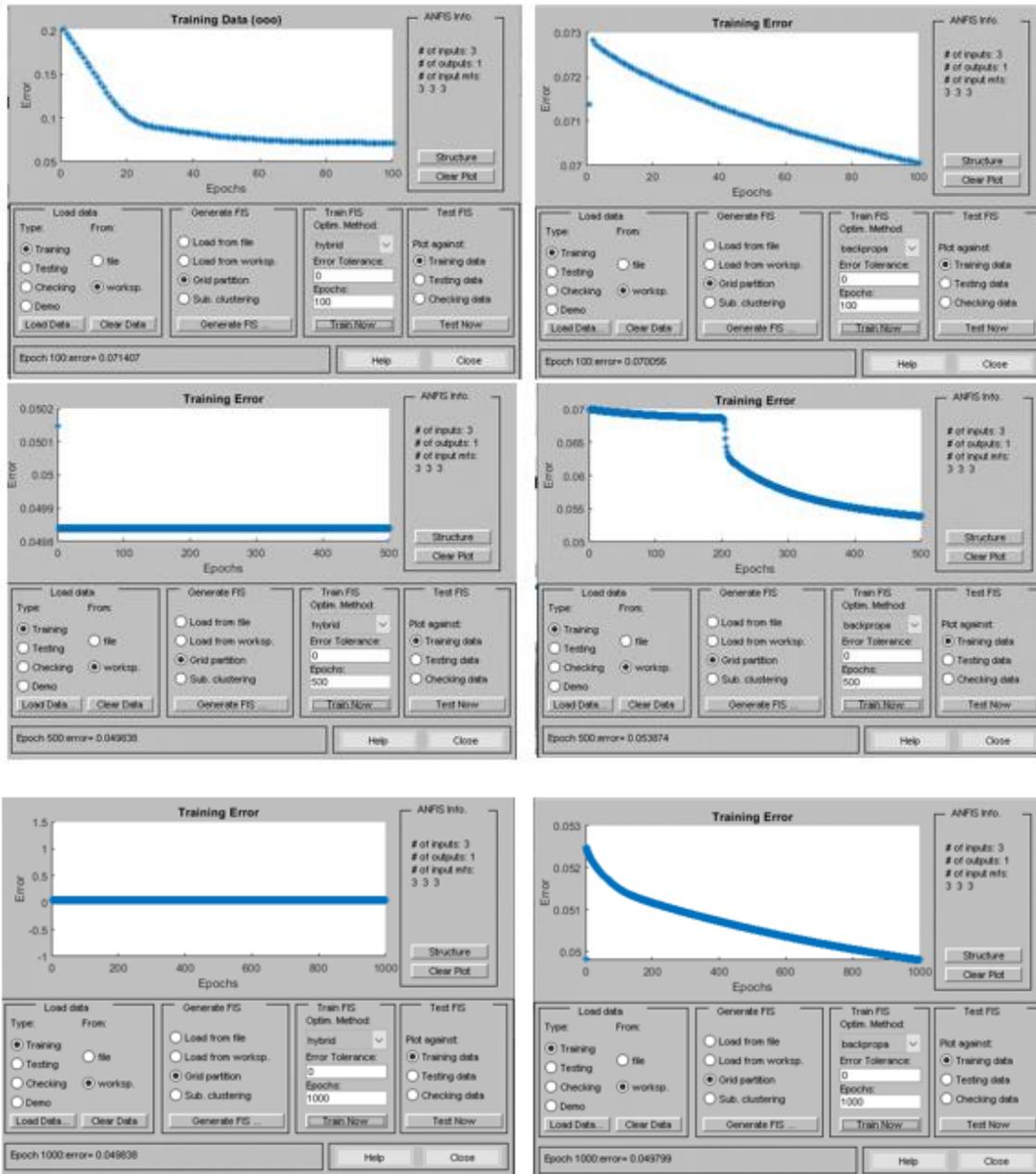


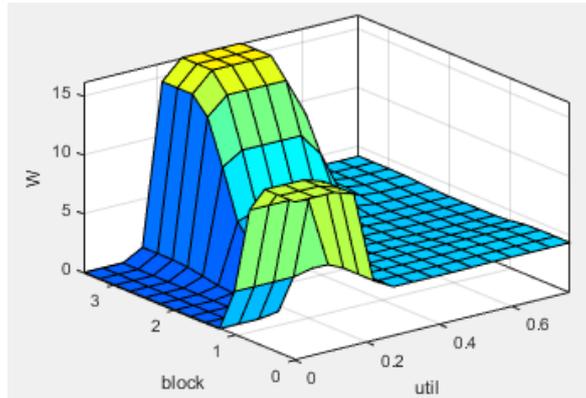
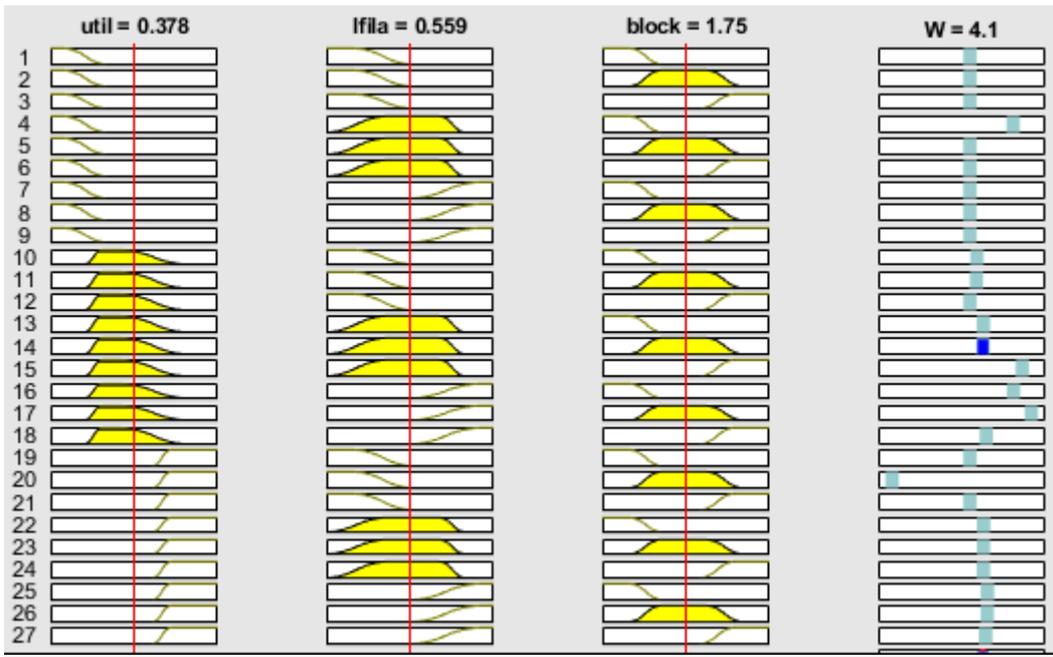
Anexo 14 Entrenamiento de error, reglas difusas y grafica de superficie red de colas, Escenario 2/ Estación 2.



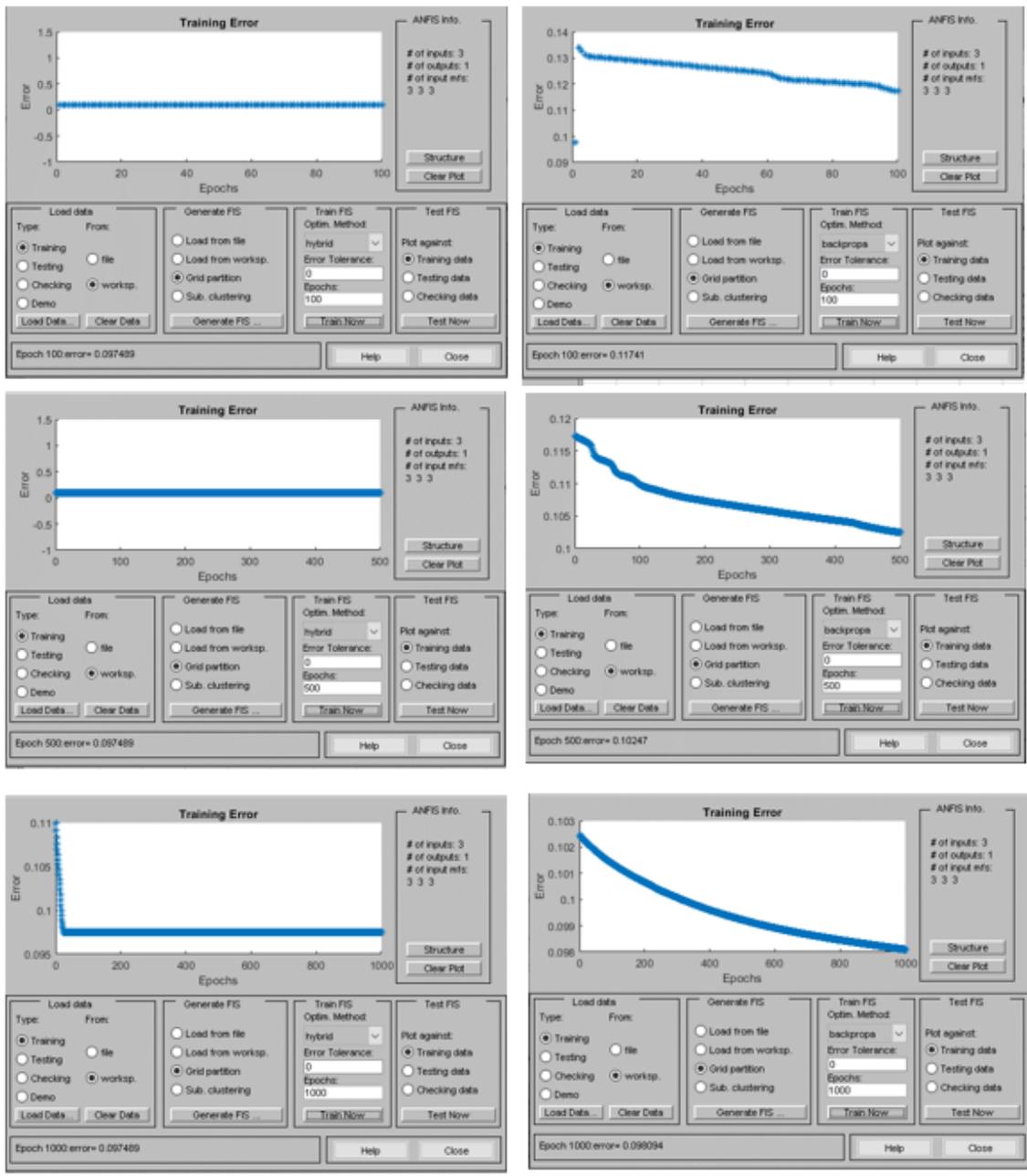


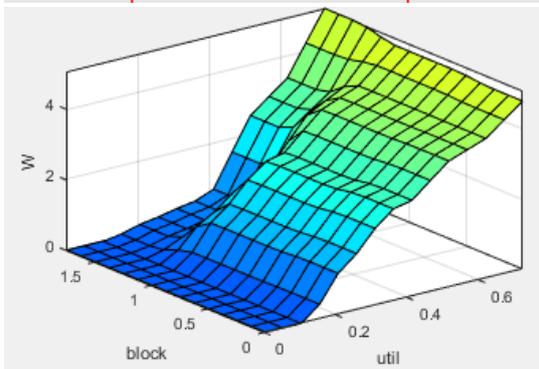
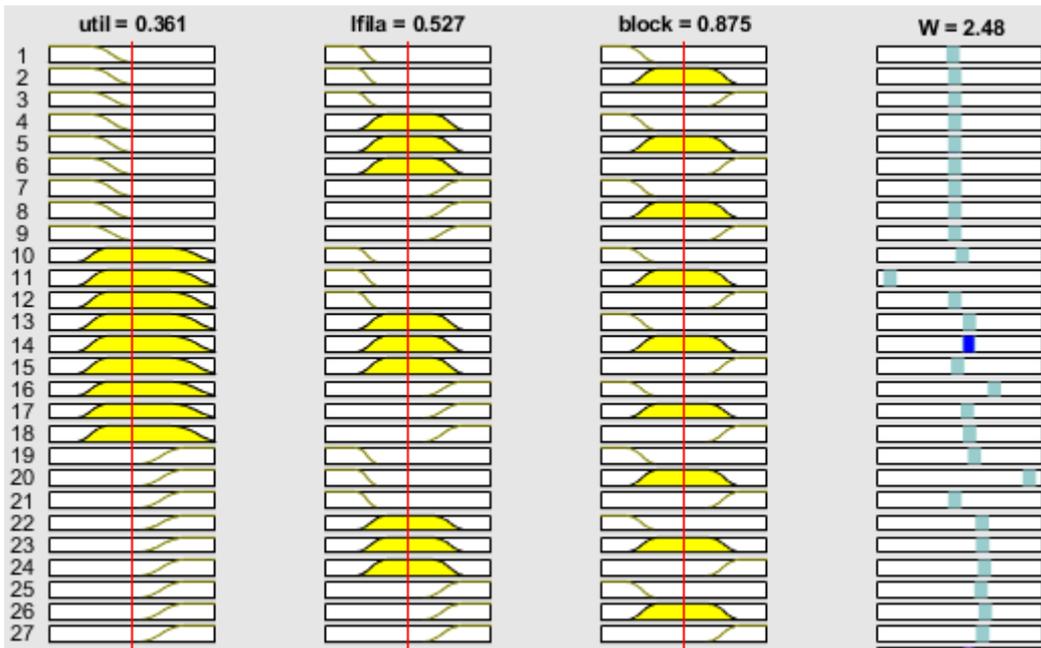
Anexo 15 Entrenamiento de error, reglas difusas y grafica de superficie red de colas, Escenario 2/ Estación 3.



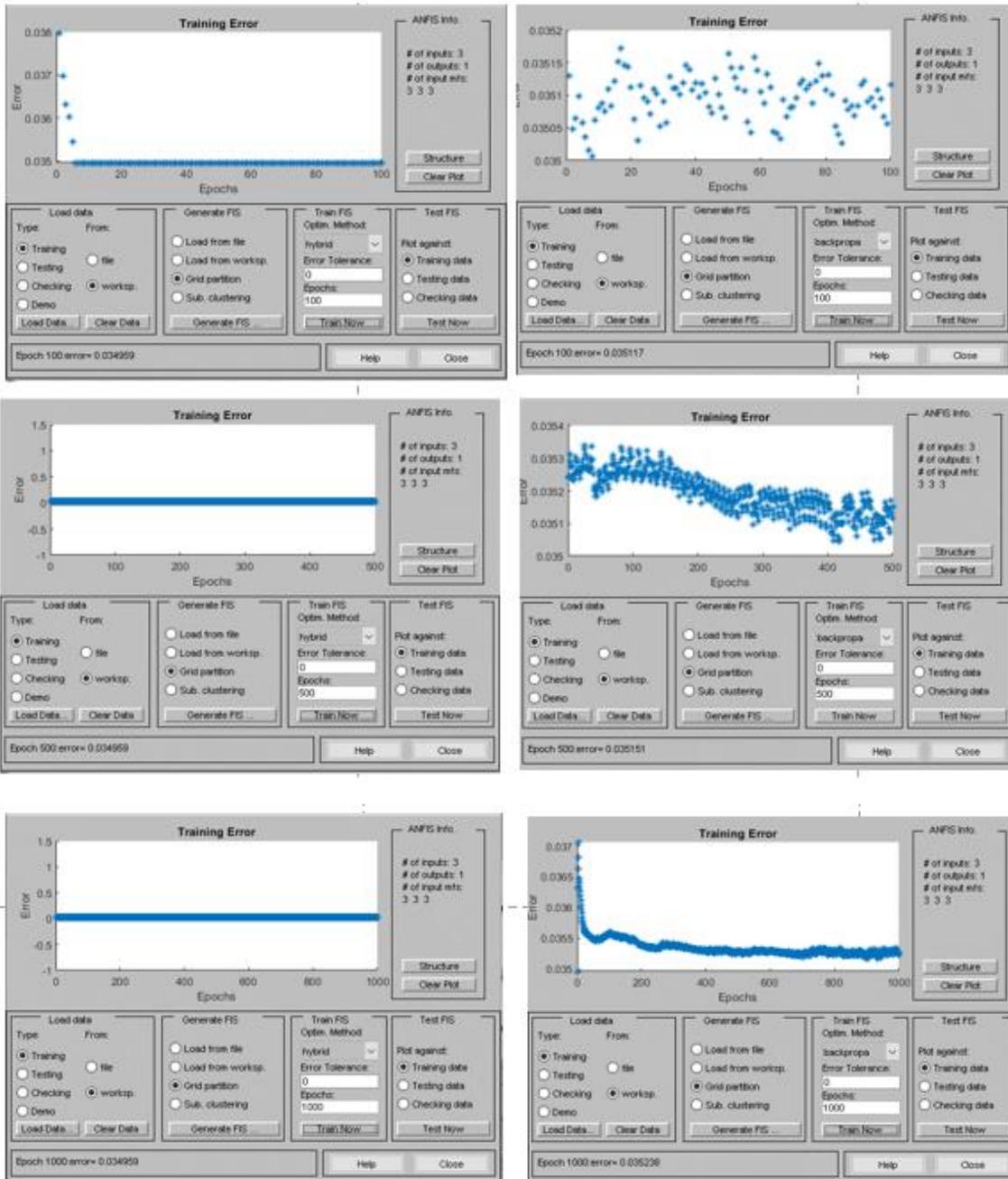


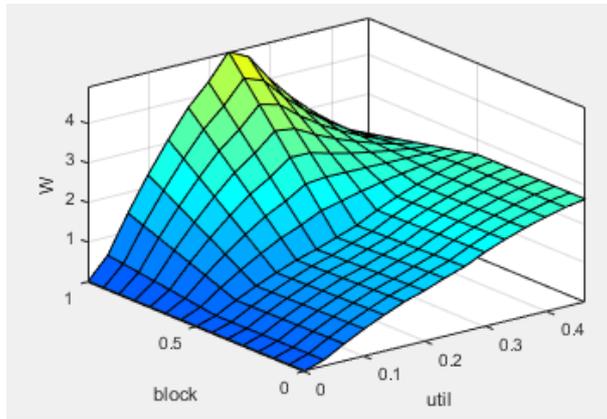
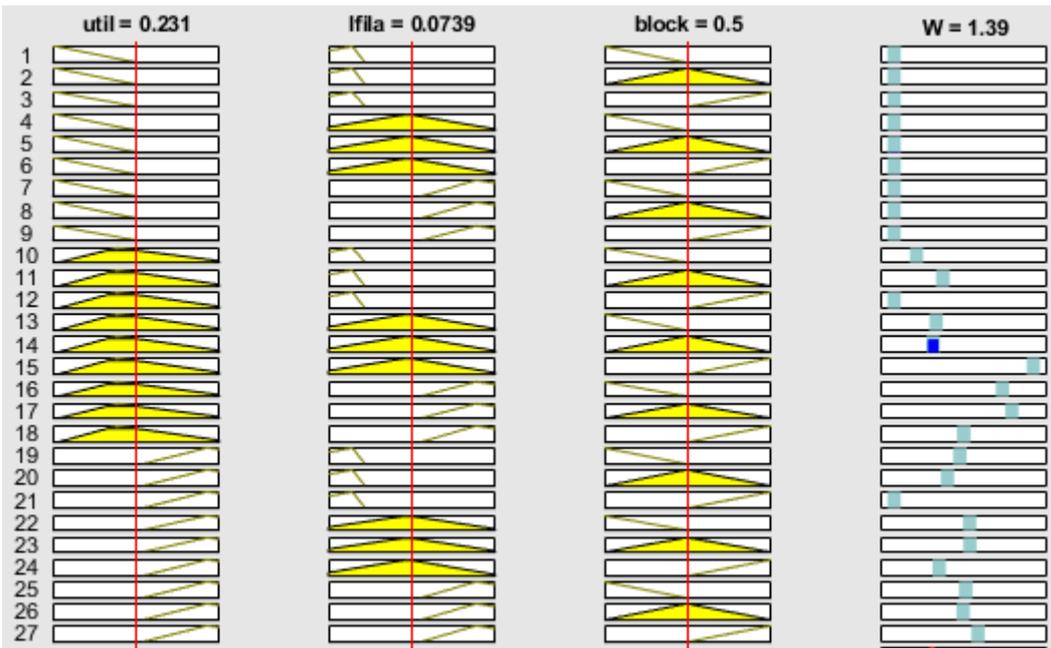
Anexo 16 Entrenamiento de error, reglas difusas y grafica de superficie red de colas, Escenario 3/ Estación 1.





Anexo 17 Entrenamiento de error, reglas difusas y grafica de superficie red de colas, Escenario 3/ Estación 2.





Anexo 18 Entrenamiento de error, reglas difusas y grafica de superficie red de colas, Escenario 3/ Estación 3.

