

Lógica Difusa en Sistemas de control de tráfico para optimizar la gestión de semáforos y la regulación del flujo vehicular

Nadia Patricia Rodríguez Vargas, Dora María Calderón Nepamuceno

^a Universidad Autónoma del Estado de México, Av. Bordo de Xochiaca, S=N, Benito Juárez, 57000, nadia.rodriguez51096@gmail.com, México, Nezahualcoytl.

^b Universidad Autónoma del Estado de México, Av. Bordo de Xochiaca, S=N, Benito Juárez, 57000, Dora María Calderon Nepamuceno, dmcaldernn@uaemex.mx, México, Nezahualcoytl.

Resumen

Se presenta un sistema de inferencia difusa diseñado para el control del tráfico y la regulación de semáforos, basado en la Teoría de los Conjuntos Difusos que permite representar la incertidumbre y la imprecisión inherentes a las condiciones del tráfico. Esta metodología se implementó en MATLAB utilizando el método de membresía triangular (trimf) en las variables de entrada y salida debido a su capacidad para modelar distribuciones con forma triangular de manera simple y versátil. La elección del trimf demostró ser efectiva al proporcionar resultados precisos y fácilmente interpretables, lo cual es fundamental en entornos dinámicos como el control de tráfico. Este enfoque se destaca por su utilidad en la toma de decisiones robustas en situaciones cambiantes, enfatizando la importancia de seleccionar funciones de membresía adecuadas para garantizar resultados confiables y comprensibles. Además, se especificaron reglas difusas que relacionan las variables de entrada con la variable de salida, permitiendo realizar inferencias sobre la duración del semáforo verde en función de las condiciones del tráfico de manera eficiente y adaptable. En conclusión, este trabajo demuestra la efectividad de la lógica difusa aplicada al control de tráfico, proporcionando una herramienta valiosa para la toma de decisiones en entornos dinámicos y destacando la importancia de la elección cuidadosa de técnicas de modelado para obtener resultados confiables y útiles.

Palabras clave: Inferencia difusa, Control del tráfico, Regulación de semáforos, Lógica difusa, Etiqueta Lingüística.

Abstract

A fuzzy inference system designed for traffic control and traffic light regulation is presented, based on Fuzzy Set Theory that allows representing the uncertainty and imprecision inherent to traffic conditions. This methodology was implemented in MATLAB using the triangular membership method (trimf) on input and output variables due to its ability to model triangular-shaped distributions in a simple and versatile way. The trimf selection proved to be effective in providing accurate and easily interpretable results, which is essential in dynamic environments such as traffic control. This approach stands out for its usefulness in making sound decisions in changing situations, emphasizing the importance of selecting appropriate membership functions to

ensure reliable and understandable results. In addition, fuzzy rules are specified that relate the input variables to the output variable, allowing inferences to be made about the duration of the green traffic light based on traffic conditions in an efficient and adaptive manner. In conclusion, this work demonstrates the effectiveness of fuzzy logic applied to traffic control, providing a valuable tool for decision making in dynamic environments and highlighting the importance of a careful selection of modeling techniques to obtain reliable and useful results.

Keywords: Fuzzy inference, Traffic control, Traffic light regulation, Fuzzy logic, Linguistic etiquette.

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la evolución de las grandes capitales, hemos sido testigos de un aumento constante en el flujo vehicular, un fenómeno que, desafortunadamente, no siempre ha ido acompañado por un desarrollo proporcional de la infraestructura vial. Esta disparidad ha generado situaciones críticas en las que el volumen de tránsito en ciertos puntos excede ampliamente la capacidad máxima de las vías [1]. Consecuentemente, en el caso específico de la Ciudad de México, estas situaciones críticas se traducen en una serie de impactos negativos derivados del tráfico diario. La congestión vehicular en las calles de la CDMX ha contribuido significativamente a problemas medioambientales, aumentando los niveles de contaminación atmosférica y auditiva. Además, se han registrado incrementos en los tiempos de traslado, afectando la eficiencia de la movilidad urbana y generando altos niveles de estrés en conductores y peatones [2].

Ante este desafío, la implementación de sistemas de control de tráfico inteligente se presenta como una herramienta esencial para gestionar la congestión y atenuar las consecuencias adversas asociadas al tráfico diario mediante el uso de la lógica difusa [3].

Adentrándonos en los fundamentos de la lógica difusa, es esencial destacar su capacidad para modelar la incertidumbre y la imprecisión inherentes a las dinámicas variables de las redes de tráfico. La lógica difusa no solo se adapta a la naturaleza compleja de las interacciones vehiculares, sino que también ofrece un marco flexible para la toma de decisiones en situaciones donde las reglas tradicionales basadas en lógica booleana podrían resultar limitadas [4]. A medida que examinamos más a fondo las aplicaciones específicas de la lógica difusa en la gestión de semáforos, exploraremos cómo este enfoque revolucionario puede ajustar dinámicamente los tiempos de señalización en función de la densidad del tráfico, las condiciones climáticas y otros factores ambientales. Además, nos sumergiremos en el papel crucial de la lógica difusa en la mejora de la adaptabilidad del sistema a condiciones cambiantes en tiempo real,

permitiendo una respuesta ágil ante eventos imprevistos y garantizando la eficiencia continua del flujo vehicular.

La lógica difusa se puede considerar como una herramienta matemática de amplio alcance cuya aplicabilidad se fundamenta en la idea de conjuntos con límites imprecisos, utilizados en situaciones donde la información es imperfecta. Se encarga de abordar cuestiones vinculadas a la imprecisión, la incertidumbre y el razonamiento aproximado, proporcionando un marco que acepta la imprecisión y la verdad parcial sin depender de un enfoque estadístico. Este enfoque puede construirse mediante la incorporación del conocimiento de expertos.

Definición de conjuntos difusos La “teoría de conjuntos difusos” parte de la teoría clásica de conjuntos, añadiendo una función de pertenencia al conjunto μ generalmente definida como un número x entre 0 y 1 (el intervalo $[0,1]$) [5], en lugar de la pertenencia clásica binaria definida en el conjunto $\{0,1\}$. Así, se introduce el concepto de conjunto difuso asociado a un determinado valor lingüístico, definido por una palabra, adjetivo o etiqueta lingüística A . Entonces se puede decir que un conjunto difuso A se define como una función de pertenencia que enlaza o empareja los elementos de un dominio o universo de discurso X con elementos del intervalo $[0,1]$, para cada conjunto difuso se define una función de pertenencia o inclusión $\mu_A(x)$, que representa el grado en que un valor para la variable x está incluido en el concepto representado por la etiqueta A .

En la Teoría de los conjuntos difusos, se introduce otro elemento fundamental conocido como variables lingüísticas. Estas variables tienen la capacidad de expresar descripciones vagas en lenguaje natural mediante términos matemáticos precisos, y representan una forma de compactar información, un proceso denominado granulación [6]. Su utilidad radica en la capacidad para caracterizar fenómenos que carecen de definiciones claras o que son difíciles de definir, o incluso ambos [7]. Formalmente, una variable lingüística se define, según [8], mediante $\langle N, U, T(N), M \rangle$, donde:

- N representa el nombre de la variable lingüística y U denota el dominio subyacente.
- $T(N)$ corresponde al conjunto de términos o etiquetas lingüísticas que la variable N puede adquirir.
- M se refiere a una regla semántica que establece la asociación entre cada elemento de $T(N)$ y un conjunto difuso en U , seleccionado entre todas las posibles opciones.

2. CONTENIDO

No hay un procedimiento estándar definido para llevar a cabo un análisis difuso; no obstante, es factible establecer pasos de trabajo que conduzcan a un sólido diseño del sistema de inferencia difusa. La metodología propuesta en este estudio se

basa en el método de conocimiento experto, siguiendo las directrices generales que comprende cuatro componentes fundamentales, tal como se detalla a continuación. Diversos autores, incluyendo a [9-10], han aplicado con éxito esta metodología, cuyos pasos se resumen a continuación:

1. Definir los objetivos, las restricciones y el comportamiento del sistema de inferencia difusa.
2. Selección de las variables.
3. Selección de la estrategia difusa o fusificación de las variables.
4. Construcción de la base de reglas.
5. Selección de la lógica de toma de decisiones, no es más que seleccionar el tipo específico de sistema de inferencia difusa.
6. Selección de la estrategia de defusificación.
7. Ejecutar pruebas para validar el sistema de inferencia difusa y verificar si la solución es compatible con el paso 1. Se modifican los parámetros del sistema de inferencia difusa para aumentar la precisión del modelo.

7.1 Refinar el diseño

7.2 Necesidad de mejora: Ir al paso 1.

A continuación, se proporciona una breve descripción de las variables utilizadas para llevar a cabo la evaluación en este contexto específico. Estas variables están asociadas con aspectos clave de la regulación del tráfico, y se han definido con sus respectivas etiquetas lingüísticas para capturar la complejidad y variabilidad de las condiciones de la vía.

Este enfoque busca mejorar la toma de decisiones en tiempo real en el control de semáforos y la gestión del flujo vehicular, aprovechando la capacidad de la lógica difusa para manejar la imprecisión y la incertidumbre inherentes a estas situaciones.

VARIABLES DE ENTRADA

Se utilizaron estas directrices para definir las variables de entrada en el sistema de inferencia difusa para el control del tráfico y la regulación de semáforos debido a su relevancia en la gestión eficiente de la circulación vehicular. Proporcionando así información clave para el sistema de control de tráfico basado en lógica difusa, permitiendo una gestión más eficiente y adaptable de la circulación vehicular en diferentes condiciones y momentos del día.

Trafico: Esta variable representa la densidad de vehículos en la zona de control. Se mide en vehículos por minuto y se puede categorizar en conjuntos difusos como "Bajo", "Moderado" y "Alto". La densidad de tráfico influye directamente en la eficiencia del flujo vehicular y la capacidad de la infraestructura vial.

Congestión: La congestión refleja el nivel de obstrucción o saturación en la zona de control de tráfico. Puede medirse mediante la velocidad promedio de los vehículos y la

ocupación de la vía. Los conjuntos difusos asociados podrían incluir "Baja", "Moderada" y "Alta", permitiendo al sistema adaptarse a diferentes grados de congestión.

Hora del Día: Esta variable considera la variación temporal del tráfico. La definición de conjuntos difusos para momentos como "Hora Pico de la Mañana", "Hora Pico de la Tarde" o "Horas Nocturnas" permite al sistema ajustar dinámicamente la gestión del tráfico según patrones de demanda específicos del tiempo del día.

Condiciones Meteorológicas: La inclusión de esta variable permite al sistema ajustarse a condiciones climáticas cambiantes. Conjuntos difusos como "Claro", "Lluvia Ligeramente", "Lluvia Intensa" y otros, permiten adaptar la regulación del tráfico para mantener la seguridad y la eficiencia en diversas condiciones meteorológicas.

Eventos Especiales: Esta variable aborda eventos temporales que pueden afectar significativamente el tráfico, como festivales, desfiles o eventos deportivos. Los conjuntos difusos asociados podrían incluir "Sin Evento", "Evento Pequeño" y "Evento Grande", permitiendo una adaptación sensible a cambios repentinos en la demanda de tráfico.

Día de la semana: Esta variable lingüística, en el contexto de la lógica difusa, busca capturar la variabilidad temporal del tráfico en función de los días de la semana. Se categoriza en conjuntos difusos que reflejan conceptos como "Principio de Semana", "Mitad de Semana" y "Fin de Semana". Estos conjuntos difusos permiten una adaptación dinámica de la regulación del tráfico, considerando patrones específicos asociados a diferentes días de la semana.

Variables de salida

Duración del Verde del Semáforo: Esta variable determina el tiempo durante el cual el semáforo permanece en verde en una intersección específica. La duración óptima del verde se determina teniendo en cuenta factores como la densidad del tráfico, la congestión y otros parámetros del sistema de control de tráfico. Conjuntos difusos como "Corto", "Moderado" y "Largo" permiten ajustar dinámicamente el tiempo de señalización verde para optimizar el flujo vehicular y minimizar el tiempo de espera.

Duración del Amarillo del Semáforo: Esta variable especifica el tiempo durante el cual el semáforo muestra luz amarilla antes de cambiar a rojo. La duración del amarillo es crítica para garantizar transiciones seguras entre luces. Conjuntos difusos como "Corto", "Moderado" y "Largo" permiten adaptar la duración del amarillo según las condiciones de tráfico y mejorar la seguridad en la intersección.

Duración del Rojo del Semáforo: Indica el tiempo que el semáforo permanece en rojo antes de volver a verde. Esta variable se ajusta considerando factores como la congestión y

la demanda del tráfico en la intersección. Conjuntos difusos como "Corto", "Moderado" y "Largo" permiten controlar la duración del rojo de manera proporcional a la complejidad del entorno vial.

Las variables de salida se vuelven elementos esenciales en la implementación de estrategias de control de tráfico adaptable en redes semaforizadas. La adaptabilidad en el contexto del control de tráfico implica la capacidad dinámica del sistema para responder a las cambiantes condiciones del entorno vial. El objetivo principal de estas estrategias es maximizar la seguridad vial y minimizar el costo para los usuarios, medido en términos de eficiencia y fluidez del tráfico. En conjunto, estas variables trabajan en armonía para lograr un control de tráfico inteligente y adaptable [11].

Modelado del problema

Con el propósito de abordar la problemática mencionada en relación con la lógica difusa en sistemas de control de tráfico para optimizar la gestión de semáforos y la regulación del flujo vehicular, se desarrolló un sistema de inferencia difusa. En este sistema, cada una de las variables previamente discutidas fue concebida como una variable lingüística. Dado que las valoraciones lingüísticas, esenciales para el funcionamiento del sistema, pueden ser obtenidas mediante la consulta a expertos, se permitió asignar valores numéricos en el intervalo de $[0,10]$ para cada etiqueta lingüística. Estos valores se representaron de manera adecuada mediante números difusos triangulares y trapeciales.

La elección de funciones de pertenencia triangulares y trapeciales se basa en su capacidad para modelar de manera efectiva la incertidumbre y la imprecisión en las variables lingüísticas utilizadas en sistemas de control de tráfico basados en lógica difusa. Estas funciones permiten definir conjuntos difusos que representan términos lingüísticos como "bajo", "medio" y "alto" de forma más flexible y ajustada a la realidad del sistema. Además, la elección de una escala que abarque desde 0 hasta 10 ($[0,10]$) contribuye a identificar de manera efectiva el universo de discurso de todas las variables lingüísticas, lo que mejora la eficiencia en la gestión de semáforos y la regulación del flujo vehicular al permitir una representación más precisa y adaptable de las condiciones del tráfico.

La elección de una escala que abarcara desde 0 hasta 10 ($[0,10]$) fue motivada por su flexibilidad, interpretación intuitiva, adecuación al contexto y compatibilidad con el modelo difuso, lo que contribuye a una representación más precisa y efectiva de las variables en el sistema de control de tráfico basado en lógica difusa esta permitió identificar de manera efectiva el universo de discurso de todas las variables lingüísticas, contribuyendo así a mejorar la eficiencia en la gestión de semáforos y la regulación del flujo vehicular en sistemas de control de tráfico basados en lógica difusa [12].

Construcción de las funciones de pertenencia

A partir de los criterios anteriores, dentro del universo de discurso de cada variable lingüística se asignó un conjunto de etiquetas lingüísticas que aparecen en la Tabla 1, por solo mencionar una breve descripción de funciones de pertenencia para las variables:

Intensidad de Tráfico:

Baja: Función de pertenencia triangular, con su pico en el valor mínimo de intensidad de tráfico y su base ampliándose hacia los valores moderados.

Moderada: Función de pertenencia trapezoidal, abarcando valores moderados y con una transición suave hacia los extremos.

Alta: Función de pertenencia triangular, con su pico en el valor máximo de intensidad de tráfico y su base ampliándose hacia los valores moderados.

Nivel de Obstrucción:

Bajo: Función de pertenencia triangular, con su pico en el valor mínimo de obstrucción y su base ampliándose hacia los valores moderados.

Moderado: Función de pertenencia trapezoidal, abarcando valores moderados y con una transición suave hacia los extremos.

Alto: Función de pertenencia triangular, con su pico en el valor máximo de obstrucción y su base ampliándose hacia los valores moderados.

Variación Temporal:

Hora Pico de la Mañana: Función de pertenencia trapezoidal, con su base cubriendo las horas específicas de la mañana y una transición suave hacia las horas previas y posteriores.

Hora Pico de la Tarde: Función de pertenencia trapezoidal, abarcando las horas específicas de la tarde y con una transición suave hacia las horas circundantes.

Horas Nocturnas: Función de pertenencia trapezoidal, cubriendo las horas nocturnas con transiciones suaves hacia las horas previas y posteriores.

Condiciones Climáticas:

Claro: Función de pertenencia triangular, con su pico en el valor máximo de claridad y su base ampliándose hacia los valores de condiciones menos claras.

Lluvia Ligera: Función de pertenencia trapezoidal, abarcando valores de lluvia ligera con transiciones suaves hacia los extremos.

Lluvia Intensa: Función de pertenencia triangular, con su pico en el valor máximo de intensidad de lluvia y su base ampliándose hacia los valores de lluvia ligera.

Día de la Semana:

Principio de Semana: Función de pertenencia trapezoidal, con su base cubriendo los días lunes y martes y transiciones suaves hacia los extremos.

Mitad de Semana: Función de pertenencia trapezoidal, abarcando los días miércoles y jueves con transiciones suaves hacia los extremos.

Fin de Semana: Función de pertenencia trapezoidal, cubriendo los días viernes, sábado y domingo con transiciones suaves hacia los extremos.

Eventos Temporales:

Sin Evento: Función de pertenencia triangular, con su pico en el valor mínimo de eventos temporales y su base ampliándose hacia los valores moderados.

Evento Pequeño: Función de pertenencia trapezoidal, abarcando valores moderados de eventos pequeños con transiciones suaves hacia los extremos.

Evento Grande: Función de pertenencia triangular, con su pico en el valor máximo de eventos grandes y su base ampliándose hacia los valores moderados.

Tabla 1. Variables y Etiquetas lingüísticas.

Variable	Etiqueta Lingüística	Intervalo Difuso
Intensidad de Tráfico	Baja, Moderada, Alta	Baja: [0, 5], Moderada: [3, 8], Alta: [5, 10]
Nivel de Obstrucción	Bajo, Moderado, Alto	Bajo: [0, 4], Moderado: [2, 7], Alto: [5, 10]
Variación Temporal	Pico de la Mañana, Pico de la Tarde, Horas Nocturnas	Pico de la Mañana: [5, 8], Pico de la Tarde: [3, 7], Horas Nocturnas: [1, 5]
	Claro, Lluvia Ligera, Lluvia Intensa	Claro: [0, 4], Lluvia Ligera: [2, 7], Lluvia Intensa: [5, 10]
Eventos Temporales	Sin Evento, Evento Pequeño, Evento Grande	Sin Evento: [0, 4], Evento Pequeño: [2, 7], Evento Grande: [5, 10]
Día de la Semana	Principio de Semana, Mitad de Semana, Fin de Semana	Principio de Semana: [0, 3], Mitad de Semana: [2, 7], Fin de Semana: [5, 10]

Fuente: Elaboración propia.

Estos intervalos difusos representan aproximadamente la pertenencia de un valor dado a cada etiqueta lingüística. Entre estas variables, se destaca la 'Variación Temporal', la cual refleja la fluctuación del tráfico a lo largo del día.

En la Tabla 2, se presenta un ejemplo con los intervalos difusos y etiquetas lingüísticas asociadas a esta variable, permitiendo visualizar de manera clara y concisa la representación difusa de la variación temporal.

Tabla 2. Representación explícita de la función de pertenencia difusa asociada a la variable de variación temporal.

Variación Temporal	Etiqueta Lingüística	Intervalo Difuso
2.5	Pico de la mañana	Pico de la Mañana: [5, 8]
6.8	Pico de la tarde	Pico de la Tarde: [3, 7]
4.2	Horas Nocturnas	Horas Nocturnas: [1, 5]

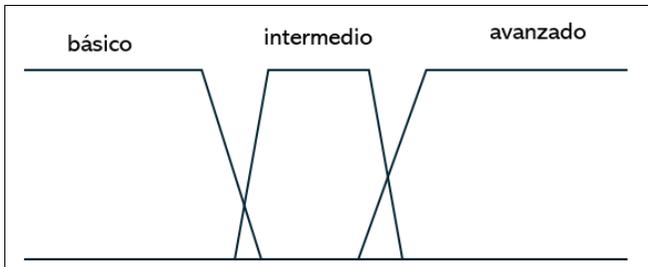
Fuente: Elaboración propia.

Relaciones entre las variables y la variable objetivo

La implementación de la lógica difusa en sistemas de control de tráfico representa una estrategia innovadora para optimizar la gestión de semáforos y la regulación del flujo vehicular. Al emplear este enfoque, se logra una adaptabilidad y flexibilidad superiores en la toma de decisiones, permitiendo una gestión más eficiente y dinámica de los semáforos.

Esta técnica contribuye significativamente a mejorar la fluidez del tráfico, respondiendo de manera inteligente a las condiciones cambiantes de la vía y mejorando la experiencia de conducción.

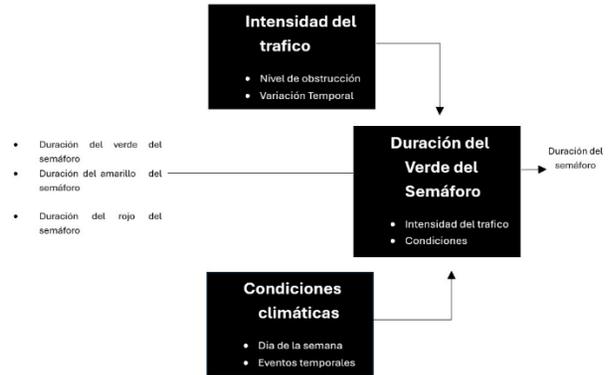
Figura 1. Conjunto difuso de la variable de entrada y de salida del sistema de inferencia difusa



Fuente: Elaboración propia.

En el contexto de la lógica difusa, los conjuntos y los operadores difusos desempeñan un papel fundamental, actuando como el sujeto y el verbo. La manera de condensar esta información se logra a través de las reglas difusas, las cuales sirven como una expresión en lenguaje natural de los conocimientos, ya sean empíricos o no, que se poseen acerca de un problema en el mundo real según el tema previamente discutido esta información se representa en el sistema de inferencia de la figura 2.

Figura 2. Estructura del sistema de inferencia



Fuente: Elaboración propia.

En el contexto de la lógica difusa, los conjuntos y los operadores difusos constituyen elementos fundamentales, actuando como el sujeto y el verbo en la formulación de esta lógica. Estos conjuntos y operadores difusos son comparados a un sujeto y un verbo en la formulación de la lógica difusa. Las reglas difusas son utilizadas para condensar la información, sirviendo como una representación en lenguaje natural de los conocimientos, ya sean empíricos o no, relacionados con un problema específico en el mundo real lo cual se ejemplifica en la tabla 3.

Tabla 3. Sistema de inferencia difusa

No.	SI	ENTONCES
1	Intensidad de Tráfico: Baja	Ajustar Duración del Verde: Corta
	Nivel de Obstrucción: Moderado	
	Eventos Temporales: Evento Pequeño	
2	Intensidad de Tráfico: Alta	Ajustar Duración del Verde: Larga
	Nivel de Obstrucción: Moderado	
	Variación Temporal: Pico de la Mañana	
	Día de la Semana: Principio de Semana	
3	Intensidad de Tráfico: Baja	Ajustar Duración del Verde: Media
	Nivel de Obstrucción: Moderado	
	Variación Temporal: Horas Nocturnas	
	Clima: Lluvia Intensa	
	Eventos Temporales: Evento Grande	
	Día de la Semana: Mitad de Semana	

Fuente: Elaboración propia.

Luego de haber analizado las variables lingüísticas con sus respectivas combinaciones mediante reglas difusas se utilizó la función de membresía triangular, para definir los conjuntos difusos en las variables de entrada y salida. La elección de la función de membresía triangular es común en la lógica difusa debido a su simplicidad y versatilidad para modelar distribuciones con forma triangular.

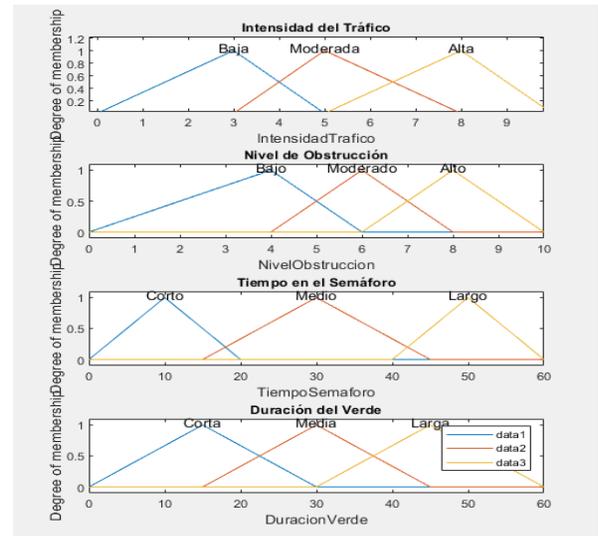
3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los conjuntos difusos definidos mediante trimf permiten una representación efectiva de las variables lingüísticas en el sistema, como la intensidad del tráfico, el nivel de obstrucción, el tiempo en el semáforo y la duración del verde como se muestra en la figura 3. La función de membresía triangular proporciona una forma fácil de interpretar y ajustar los conjuntos difusos, permitiendo una modelización más precisa de las relaciones entre las variables de entrada y salida.

Durante la inferencia difusa, se evaluaron diferentes combinaciones de intensidad de tráfico, nivel de obstrucción y tiempo en el semáforo para estimar la duración del verde. La simplicidad y la interpretación intuitiva de la función de membresía triangular facilitan la comprensión de los resultados del sistema de inferencia, permitiendo una toma de decisiones más transparente en el control del tráfico y la gestión de semáforos. En resumen, el método de membresía triangular ha demostrado ser una elección efectiva para modelar variables lingüísticas en este sistema de inferencia difusa, proporcionando resultados precisos y fácilmente interpretables.

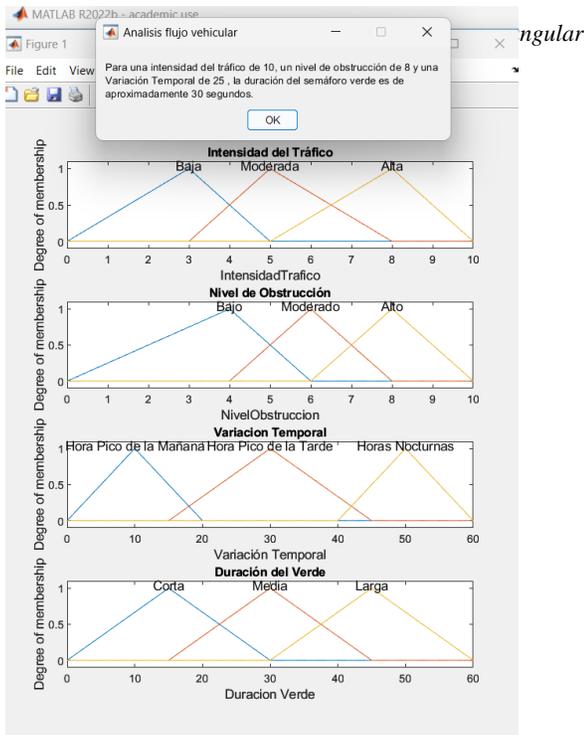
De acuerdo con el proceso de inferencia difusa, se evaluaron diversas combinaciones de intensidad de tráfico, nivel de obstrucción y tiempo en el semáforo para estimar la duración del verde. Un ejemplo específico muestra que, para una intensidad del tráfico de 10, un nivel de obstrucción de 8 y un tiempo en el semáforo de 25 segundos, el sistema de inferencia predice una duración del semáforo verde de aproximadamente 30 segundos.

Figura 3. Resultado método de membresía triangular



Fuente: Elaboración propia.

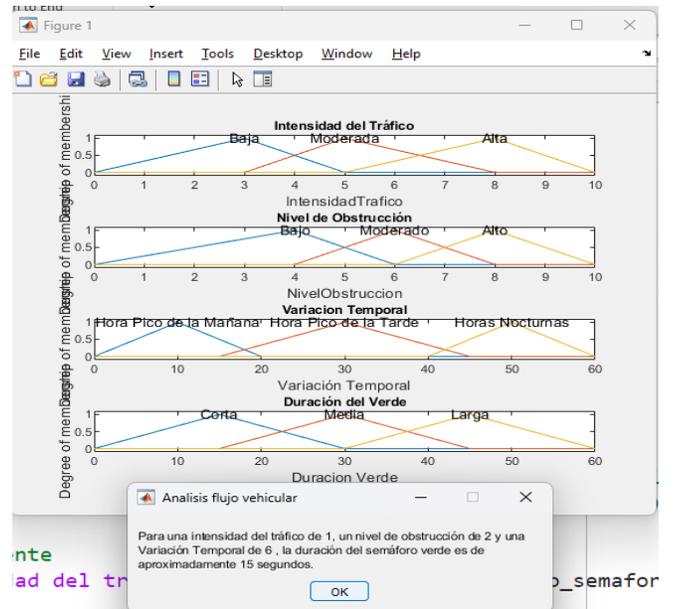
Estos resultados son coherentes con la lógica difusa incorporada en el sistema, donde valores más altos de intensidad de tráfico y nivel de obstrucción, junto con un tiempo más prolongado en el semáforo, conducen a una duración prevista del verde más extensa. Este ejemplo ilustra la capacidad del sistema para adaptarse a diferentes condiciones de tráfico y proporcionar salidas ajustadas a las variables de entrada específicas. La utilización de funciones de membresía triangulares en las variables de entrada y salida contribuye a la interpretación intuitiva de estos resultados, facilitando la comprensión y toma de decisiones en el contexto del control del tráfico y la gestión de semáforos.



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4, Figura 5, Figura 6, se muestra el resultado de la tabla 4 donde se les asignan valores a las variables de entrada. En estas figuras se muestran las estimaciones de salida para cada uno de los valores.

Figura 3. Resultado método de membresía triangular N° 1



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Resultados

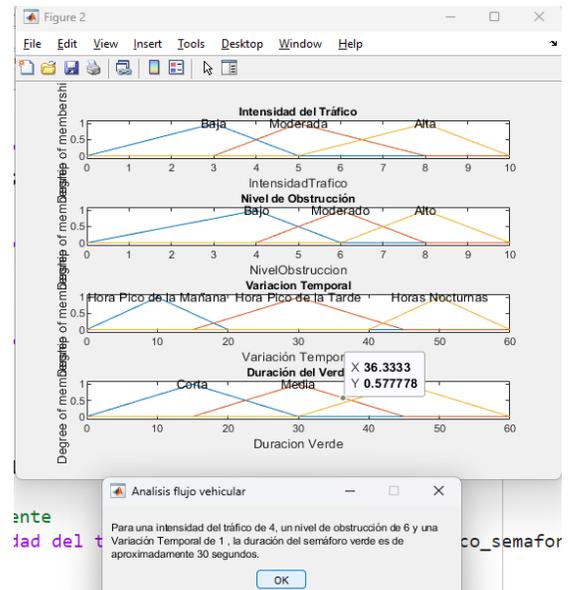
N°	Intensidad de Tráfico	Nivel de Obstrucción	Variación Temporal	Duración del Verde (segundos)
1	Bajo	2	6	15
2	Bajo	6	1	30
3	Bajo	9	8	30
4	Moderado	4	7	30
5	Moderado	7	5	30
6	Moderado	10	5	30
7	Alto	5	1	30
8	Alto	8	5	30
9	Alto	10	3	30

Fuente: Elaboración propia.

En esta Tabla 4, el nivel de obstrucción se representa en una escala Baja: [0, 5], Moderada: [3, 8], Alta: [5, 10], así mismo el Nivel de obstrucción, Variación Temporal tienen sus rangos de pertenencia las cuales se especificaron en la Tabla 1. Variables y Etiquetas lingüísticas.

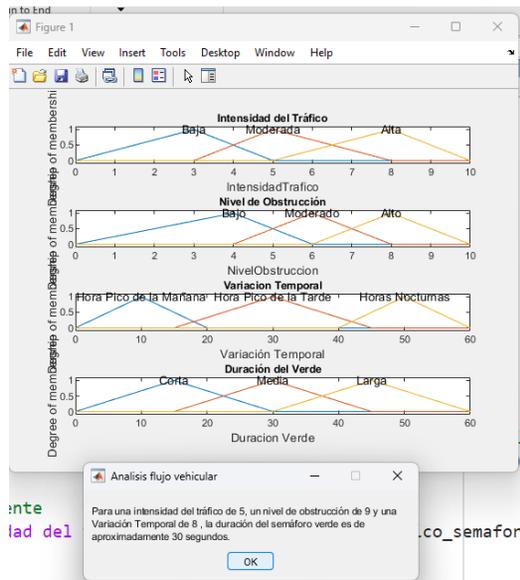
Los resultados muestran cómo la duración del verde del semáforo se adapta según la intensidad del tráfico, La variación Temporal y el nivel de obstrucción, demostrando la capacidad del sistema de lógica difusa para ajustar sus salidas de acuerdo con las variables de entrada específicas en el contexto del control del tráfico y la gestión de semáforos.

Figura 5. Resultado método de membresía triangular N° 2



Fuente: Elaboración propia.

Figure 6. Resultado método de membresía triangular N° 3



Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Los sistemas de semáforos tradicionales tienen la necesidad de adoptar enfoques más avanzados y adaptativos, como los sistemas basados en lógica difusa, para mejorar la gestión del tráfico y la experiencia de conducción en entornos urbanos a continuación se enlistan algunas de las características de estos mismos:

1. Duración Fija del Verde: Los semáforos tradicionales operan con tiempos fijos de señalización, sin adaptarse dinámicamente a las condiciones del tráfico en tiempo real.
2. Gestión Estática del Flujo Vehicular: No consideran múltiples variables como la intensidad del tráfico, el nivel de obstrucción o las condiciones climáticas al determinar la duración del verde.
3. Experiencia del Usuario Limitada: La falta de adaptabilidad puede conducir a tiempos de espera prolongados y a una experiencia de conducción menos eficiente para los usuarios.
4. Impacto Ambiental Potencialmente Mayor: Al no optimizar el flujo vehicular, los semáforos

tradicionales pueden contribuir a una mayor congestión y emisiones de contaminantes.

5. Menor Flexibilidad en la Gestión del Tráfico: La falta de inteligencia en la toma de decisiones limita la capacidad de los semáforos tradicionales para gestionar eficazmente situaciones de tráfico complejas.

Al realizar el análisis, teniendo en cuenta los resultados obtenidos a través del algoritmo de lógica difusa proporciona una visión clara de las ventajas significativas que este enfoque ofrece se concluye las siguientes ventajas de los sistemas de semáforos basados en lógica difusa ofrecen varias mejoras fundamentales:

- Los sistemas de semáforos basados en lógica difusa ofrecen varias mejoras fundamentales:
- Adaptación Dinámica: La capacidad de ajustar la duración del verde en tiempo real optimiza la fluidez del tráfico y reduce los tiempos de espera.
- Gestión Inteligente del Flujo Vehicular: La consideración de múltiples variables permite tomar decisiones más informadas y eficientes.
- Experiencia del Usuario Mejorada: La reducción de la congestión y los tiempos de espera mejora la calidad del viaje para los usuarios.
- Impacto Ambiental Reducido: La optimización del flujo vehicular contribuye a una menor emisión de contaminantes y una menor huella ambiental.

REFERENCIAS

- [1] Pedraza-Martínez, L. F., Hernández-Suárez, C. A., & López-Sarmiento, D. A. (2013). Sistema de comunicación TCP/IP para el control de una intersección de tráfico vehicular. Ingeniería. Investigación y Tecnología, XIV(4),583-594.[fecha de Consulta 1 de Diciembre de 2023].
- [2] Pedraza, L. F., Hernández, C. A., & López, D. A. (2012). Control de tráfico vehicular usando ANFIS. Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería, 20(1), 79-88.
- [3] Enrique Urrego, G., Calderón, F. C., Forero, A., & Quiroga, J. A. (2009). Adquisición de variables de tráfico vehicular usando visión por computador. Revista de Ingeniería,(30), 7-15.
- [4] Renier Esquivei García, Gerardo Félix Benjamín (2014). Evaluación del impacto de la capacitación con lógica difusa, Ingeniare. Rev. chil. ing. vol.22 no.1 Arica. Scielo
- [5] A. Kulkarni. "Computer vision and fuzzy-neuronal systems". Prentice Hall PTR. New York, USA. Vol. 1, p. 509. 2001. ISBN: 0135705991.
- [6] L. Stefanini, L.Sorini and M.L. Gerra. "Parametric representation of fuzzy numbers and application to fuzzy

- calculus". Fuzzy Sets and Systems. Vol. 157, Issue 24, pp. 2423-2455. 2006. ISSN: 0165-0114.
- [7] L. Zadeh. "The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I". Information Sciences. Vol. 8, Issue 3, pp. 199-249. 1975. ISSN: 0020-0255.
- [8] L. Zadeh. "The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-III". Information Sciences. Vol. 9, pp. 43-80. 1975. ISSN: 0020-0255.
- [9] C. Lee. "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controllers-II". IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics. Vol. 20, pp. 419-433. 1990. ISSN: 0018-9472.
- [10] W. Pedrycz. "Fuzzy Control and Fuzzy Systems". Research Studies Press. Second edition. Taunton, Somerset, England. Vol. 1, p. 350. 1993. ISBN: 0863801315.
- [11] W. Pedrycz. "Fuzzy Control and Fuzzy Systems". Research Studies Press. Second edition. Taunton, Somerset, England. Vol. 1, p. 350. 1993. ISBN: 0863801315.
- [12] R. Yager and D. Filev. "Essentials of Fuzzy Modeling and Control". Wiley Interscience. New York, USA. Vol. 1, p. 388. 1994. ISBN: 0471017612.
- [13] MATLAB. (Versión R2022b). Statistics and Machine Learning Toolbox. Natick, Massachusetts: The MathWorks, Inc. 2022.