

Control of vehicular traffic in a simulated environment using fuzzy inference algorithms implemented in PLC

Meliton Dayer Salas Galindo¹; Marco Antonio Torres Curo²; Pedro Huamaní-Navarrete³
^{1,2,3}Ricardo Palma University, Perú, meliton.salas@urp.edu.pe, mtorres@urp.edu.pe, phuamani@urp.edu.pe

Abstract— *In this article, the combination of software tools such as TIA Portal, PLC, LabVIEW, OPC Server, and MATLAB was used to address the challenge of vehicular traffic control in a simulated environment. Therefore, the objective was to develop a fuzzy inference algorithm implemented in a programmable logic controller, with the support of a Matlab software Simulink library, to control vehicular traffic at the intersection of two main avenues in the Santiago de Surco district, in Lima, Peru. To do this, the LabVIEW programming environment was used, which allowed the creation of a graphical interface capable of simulating vehicular traffic, as close to real conditions as possible. This simulator was based on observable data collected from the field that allowed the generation of various traffic scenarios. In addition, the MATLAB Fuzzy Logic toolbox was used to implement the fuzzy inference algorithm, based on the observed conditions. Then, a PLC and TIA Portal software were used to supervise and simulate control of the traffic lights and traffic sensors. Likewise, communication between LabVIEW, MATLAB and the PLC was achieved using the OPC Server, which allowed the transfer of data and commands between these platforms efficiently. In this way, this proposal was tested in a virtual laboratory environment, obtaining significant results in terms of traffic fluidity, and a reduction in congestion times at the analyzed intersection.*

Keywords— *fuzzy algorithm, LabVIEW, Matlab, TIA Portal, OPC server, traffic control.*

Control del tráfico vehicular en un entorno simulado utilizando algoritmos de inferencia difusa implementado en PLC

Meliton Dayer Salas Galindo¹; Marco Antonio Torres Curo²; Pedro Huamaní-Navarrete³

^{1,2,3}Ricardo Palma University, Perú, meliton.salas@urp.edu.pe, mtorres@urp.edu.pe, phuamani@urp.edu.pe

Resumen— En este artículo se utilizó la combinación de herramientas de software como TIA Portal, PLC, LabVIEW, OPC Server y MATLAB, para abordar el desafío del control de tráfico vehicular en un entorno simulado. Por lo cual, se tuvo como objetivo desarrollar un algoritmo de inferencia difusa implementado en un controlador lógico programable, con apoyo de una librería del Simulink del software Matlab, para controlar el tráfico vehicular en la intersección de dos avenidas principales del distrito de Santiago de Surco, en Lima, Perú. Para ello, se utilizó el entorno de programación LabVIEW que permitió crear una interfaz gráfica capaz de simular el tráfico vehicular, lo más próximo a condiciones reales. Este simulador se basó en datos observables recopilados de campo que permitió la generación de escenarios de variados tráficos. Además, se empleó el toolbox Fuzzy Logic del MATLAB para la implementación del algoritmo de inferencia difusa, en función a las condiciones observadas. Luego, se utilizó un PLC y el software TIA Portal para supervisar, controlar de forma simulada los semáforos y sensores de tráfico. Asimismo, la comunicación entre LabVIEW, MATLAB y el PLC se logró mediante el uso del OPC Server, que permitió la transferencia de datos y comandos entre estas plataformas de manera eficiente. De esta manera, esta propuesta fue sometida a pruebas en un entorno de laboratorio virtual, obteniendo resultados significativos en cuanto a la fluidez del tráfico, y una reducción en los tiempos de congestión en la intersección analizada.

Palabras claves— algoritmo difuso, LabVIEW, Matlab, TIA Portal, OPC server, control de tráfico.

I. INTRODUCCIÓN

A medida que se avanza en la era de la automatización y la digitalización, los sistemas de control inteligentes se hacen más necesarios que nunca; y, principalmente para solucionar el problema de la congestión vehicular que se agudiza día a día, debido a las actuales infraestructuras viales que no están preparadas para soportar la alta densidad vehicular, lo que conlleva a una situación de congestión constante.

Por tal razón, es de suma importancia la búsqueda de alternativas que permitan reducir de manera efectiva la congestión vehicular, para mejorar la calidad de vida del ciudadano y la movilidad urbana, así como también alcanzar una planificación urbana y desarrollo sostenible.

Tal es así que, este trabajo de investigación se centró en dar solución a la congestión vehicular en la intersección de dos avenidas principales del distrito de Santiago de Surco de la ciudad de Lima, Perú; pues, dicha congestión otorga un impacto negativo en términos de pérdida de tiempo en el

traslado y movilidad, contaminación ambiental y disminución de la productividad de las personas. Asimismo, este trabajo se adentra en la integración de diferentes tecnologías tales como la de los Controladores Lógicos Programables (PLC), el software LabVIEW, el servidor OPC, el algoritmo de inferencia difusa y el software Matlab, con la finalidad de alcanzar soluciones efectivas en cuanto a la comunicación entre diferentes dispositivos industriales y la gestión del tráfico vehicular en entornos urbanos.

Tal es así que, según [1] se alcanzó a monitorear y controlar remotamente parámetros eléctricos utilizando un PLC, el software LabVIEW, y el OPC server como interfaz para la comunicación, lo que brindó una comprensión del control utilizando estos tres elementos. Luego, en [2] se propuso el uso de un OPC Server como interfaz de comunicación entre dos controladores distintos, y la importancia de la interfaz hombre-máquina para facilitar la supervisión y operación de la comunicación. Y, de igual forma, en [3] se presentó una mejora del control y monitoreo entre dos marcas diferentes de PLC al utilizar el servidor NI OPC server y el LabVIEW como interfaz de software para lograr esta interoperabilidad.

Por otro lado, el trabajo de [4] otorgó un mayor entendimiento para centralizar varios sensores en la aplicación de gestión de tráfico en LabVIEW, al representarse un modelo de sensores inteligentes de tráfico destinados a una plataforma hardware in the loop (HIL). Asimismo, en la propuesta de una alternativa de sistemas de control de tráfico vehicular, utilizando la teoría de la Lógica Difusa, permitió mejorar la programación de los semáforos para un tráfico más fluido y seguro [5].

Igualmente, en [6], se recomendaron algoritmos y softwares destinados al control de tráfico para el transporte urbano terrestre. A la par, en el trabajo de [7] se mostró el uso del LabVIEW, DAQ's, módulo Arduino y sensores virtuales en la implementación de un controlador de tráfico inteligente. Por otro lado, la propuesta de [8] con la implementación de un programa de simulación utilizando Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (LabVIEW), contribuyó en la aplicabilidad de la medición de la densidad del tráfico y el tiempo de duración del semáforo.

Y, de igual forma, el desarrollo de un sistema de control para semáforos basado en PLC permitió generar las salidas y la respectiva cuenta regresiva en estos dispositivos, tal como

fue señalado en [9]. Complementariamente, se evidenció el desarrollo de un controlador difuso utilizando el software LabVIEW para un PLC, a través de un NI OPC server permitiendo regular el nivel de agua en un tanque [10].

II. MARCO TEÓRICO

Se dan las definiciones referentes al desarrollo de esta investigación, la cual fue producto de la sustentación de tesis para obtener el título de Ingeniero Electrónico, en la Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú [11].

A. NI OPC Server

Según [12], es un software desarrollado por National Instruments que actúa como un servidor OPC (Open Platform Communications), proporcionando una interfaz de comunicación estándar que permite la conectividad entre sistemas de control y dispositivos en entornos industriales, independientes de los protocolos de comunicación utilizados. Además, ofrece una configuración y gestión de etiquetas, que permite a los usuarios acceder y supervisar variables y datos relevantes de los dispositivos conectados.

B. Simulador PLC-SIM

Según [13], es una herramienta que emula el funcionamiento de un PLC en un entorno virtual, por lo cual proporciona una plataforma de pruebas y desarrollo para programadores y técnicos que hace posible la prueba, diseño y depuración de programas de control sin necesidad de contar con un PLC físico. Además, el simulador en mención, ofrece funcionalidades similares a las de un PLC real, permitiendo simular entradas y salidas, realizar programación lógica, monitorear el estado de las variables y observar el comportamiento del sistema controlado.

C. Software Net To PLC Sim

En [14], se define como un software que proporciona una solución de simulación para la comunicación entre sistemas de automatización industrial y controladores lógicos programables. Además, permite simular la interacción entre un sistema de control en tiempo real, como un PLC, y una interfaz de usuario en un entorno virtual sin la necesidad de tener un hardware, ahorrando costos y tiempo durante el proceso de desarrollo y puesta en marcha de sistemas de automatización.

D. Algoritmo de inferencia difusa

Técnica que trata la información imprecisa en nuestro lenguaje natural, tal como estatura media o temperatura baja, en términos de conjuntos difusos. Además, este algoritmo hace uso de un conjunto de reglas para definir acciones, y como también combinando ciertas variables de entrada para producir una o varios valores en las variables de salida [15].

III. ETAPAS DE DESARROLLO DEL PROYECTO

El proyecto fue desarrollado en cuatro etapas, iniciando con la recopilación y análisis de los parámetros viales a partir de una observación in situ. Luego, se continuó con el

desarrollado de la interfaz gráfica para la simulación del tráfico utilizando el software LabVIEW. Y posteriormente, como el propósito fue la comunicación con el PLC, se realizó la comunicación a través del OPC Server realizando la configuración con el software PLC-SIM y la dirección IP correspondiente. Seguidamente, en la figura 1 se muestra la representación del principio de funcionamiento de esta propuesta; en ella se observa la comunicación bidireccional entre el PLC-SIM y el OPC Servers para la comunicación de variables globales y la simulación del PLC, así como una Red Interna para facilitar la intercomunicación de todas las variables involucradas en el proceso con la interfaz gráfica desarrollada en el LabVIEW.

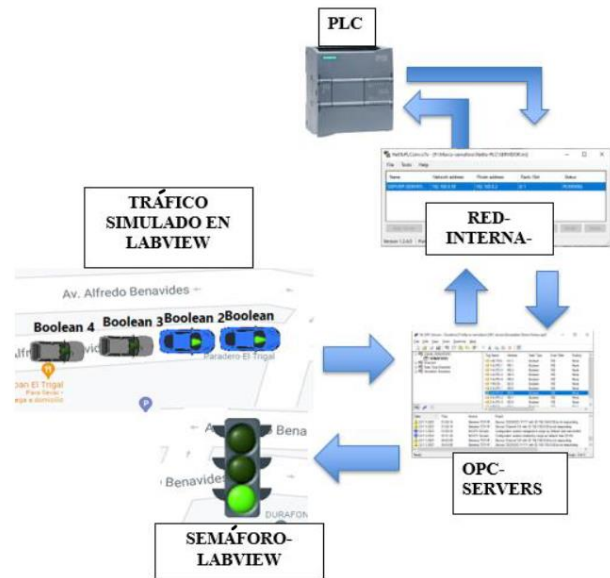


Fig. 1. Diagrama del tipo pictográfico representando el principio de funcionamiento de la propuesta.

A. Recopilación y análisis de parámetros viales

Esta etapa consistió en la recopilación de datos pertinentes al tráfico vehicular en las intersecciones de las avenidas Alfredo Benavides y Velazco Astete en el distrito de Santiago de Surco, en Lima, Perú, las cuales participan como principales medios para el desplazamiento hacia y desde el sur de la ciudad, y que a su vez se interconectan con otras dos principales avenidas Caninos del Inca y Ayacucho. Por lo cual, se incluyeron datos de volúmenes de tráfico, tiempos de viaje y patrones de movimiento de vehículos, relacionados con la congestión vehicular.

Luego, se continuó con el análisis minucioso con la finalidad de profundizar en los patrones y las particularidades del tráfico en la intersección de las avenidas en mención. Para ello, se aplicaron técnicas de observación in situ para identificar el flujo vehicular en diferentes horarios y días, lo que permitió detectar factores repetitivos. A continuación, las tablas I, II y III contienen los tiempos de duración de los semáforos correspondientes a las avenidas de interés, para un

TABLA I
TIEMPOS DE ENCENDIDO DE SEMÁFOROS EN SEGUNDO, PARA INTERSECCIÓN DE
AVENIDAS ALFREDO BENAVIDES Y VELASCO ASTETE

TIEMPOS DE ENCENDIDO DE SEMÁFOROS EN SEGUNDO, PARA INTERSECCIÓN DE
AVENIDAS ALFREDO BENAVIDES Y VELASCO ASTETE

TIEMPOS DE ENCENDIDO DE SEMÁFOROS EN SEGUNDO, PARA INTERSECCIÓN DE
AVENIDAS ALFREDO BENAVIDES Y CAMINOS DEL INCA

TIEMPOS DE ENCENDIDO DE SEMÁFOROS EN SEGUNDO, PARA INTERSECCIÓN DE
AVENIDAS ALFREDO BENAVIDES Y AYACUCHO

cual corresponde al entorno de simulación y a su vez contiene las características mencionadas en el párrafo anterior en cuanto a la programación realizada en la ventana diagrama de bloques.

C. Comunicación con OPC server

Para establecer la comunicación entre el LabVIEW y el PLC, simulado a través del software PLC-SIM, se colocó en marcha un servidor OPC server para habilitar el acceso a dicho

simulador, a través de la red con una comunicación TCP/IP (Iso-On-TCP). Este proceso requirió la creación de una red local en la computadora, la cual funcionó como interfaz de comunicación. Entonces, una vez establecida dicha red con la dirección IP 192.168.0.50 y una subred de 255.255.255.0, se procedió con la configuración del software NetToPLCsim, permitiendo facilitar el acceso al simulador del PLC-SIM.



Fig. 3. Interfaz gráfica realizada en la ventana Panel de Control del software LabVIEW, para el entorno simulado.

De igual forma, se realizó la implementación de un servidor con el software OPC server, siendo el primer paso la creación de un canal de comunicación y configuración del "DEVICE DRIVER" como Siemens TCP/IP Ethernet. Luego, se continuó con la creación del dispositivo, al que se denominó "semáforo" para su identificación en el Sistema implementado. Posteriormente, se indicó el modelo "S7-1200" y la dirección IP para la red local interna 192.168.0.50. Finalmente, se agregaron las variables globales y se continuó con la verificación obteniendo como resultado el estado de GOOD.

IV. IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO DE INFERENCIA DIFUSA EN EL PLC

La aplicación del algoritmo de inferencia difusa permitió gestionar información imprecisa relacionada con la duración del encendido de las luces verdes en los semáforos. Por lo cual, se tuvo que considerar el flujo de vehículos entrantes y

salientes en cada avenida, para identificar después de una comparación aquel que tiene el mayor flujo, permitiendo de esta manera el ajuste del tiempo de encendido de dicha luz verde. Sin embargo, cuando se tuvo resultados iguales de flujo vehicular, se dio prioridad a la avenida Alfredo Benavides que fue considerada como la más relevante. A continuación, se indica el procedimiento realizado para la implementación del algoritmo en mención.

A. Implementación de algoritmo en Matlab

En primer lugar, se utilizó el Toolbox Fuzzy Logic del software Matlab para la implementación del algoritmo de inferencia difusa [16]. De esta manera, se definieron dos variables de entrada y dos de salida con sus respectivas funciones memberships y un total de 25 reglas difusas. Seguidamente, se muestra el detalle de lo señalado.

- Variable de entrada 1: TRAF-BENAVIDES.

Representada de manera simulada —bajo el asfalto— por 24 sensores ubicados al ingreso y salida de la avenida Alfredo Benavides. A su vez, esta variable se representó por las siguientes cinco funciones memberships del tipo triangular: escasos, pocos, regulares, muchos y demasiados.

- Variable de entrada 2: TRAF-ASTETE.

Representada de manera simulada —bajo el asfalto— por 24 sensores ubicados al ingreso y salida de la avenida Velazco Astete. A su vez, esta variable se representó por las siguientes cinco funciones memberships del tipo triangular: escasos, pocos, regulares, muchos y demasiados.

- Variable de salida 1: SEMA-BENAVIDES.

Representada de manera simulada por el periodo de tiempo de encendido de la luz verde y roja del semáforo de la avenida Alfredo Benavides. A su vez, esta variable se representó por las siguientes ocho funciones memberships del tipo triangular: poco- verde, mediano-verde, regular-verde, mucho-verde, poco-rojo, mediano-rojo, regular-rojo y mucho-rojo.

- Variable de salida 2: SEMA-ASTETE.

Representada de manera simulada por el periodo de tiempo de encendido de la luz verde y roja del semáforo de la avenida Velazco Astete. A su vez, esta variable se representó por las siguientes ocho funciones memberships del tipo triangular: poco- verde, mediano-verde, regular-verde, mucho-verde, poco-rojo, mediano-rojo, regular-rojo y mucho-rojo.

- Reglas difusas.

Se establecieron un total de 25 reglas difusas las cuales fueron planteadas a partir de la observación y del análisis de campo, realizado en la intersección de las dos avenidas Velazco Astete y Alfredo Benavides del distrito de Santiago de Surco en Lima, Perú, y tomando en consideración como complemento el tráfico en otras dos avenidas principales adyacentes. Estas son las avenidas Caminos del Inca y Ayacucho. A continuación, las tablas IV y V muestran las matrices de asociación difusas de las dos variables de salida.

Asimismo, uno de los principales criterios considerados fue el otorgamiento de poco tiempo de encendido de la luz verde, en el caso que las dos avenidas objetos de estudio, presentaron el mismo número de sensores detectados; esto con la finalidad de no brindar un tiempo excesivo para una sola avenida.

B. Generación de subsistema en Simulink para el PLC

Este procedimiento consistió en encapsular el algoritmo de inferencia difusa con sus variables lingüísticas, conjunto de reglas, técnicas de fusificación y defusificación, y funciones memberships, en un bloque representativo o subsistema a través del entorno de diagramas de bloques conocido como Simulink del software Matlab, tal como se observa en la figura 4. Asimismo, se utilizó la herramienta Simulink PLC Coder que permitió general diagramas en escalera y texto estructurado independiente del hardware y a partir de modelos

de Simulink y funciones de Matlab, tal como está indicado en [17]. Por lo cual, se eligió la opción PLC Code Generation seguido de la configuración Siemens TIA Portal para el Target IDE, permitiendo la conversión del subsistema denominado “algoritmo difuso semáforos” en un bloque compatible con el software TIA portal, desarrollado por Siemens [16].

TABLA IV
MATRIZ DIFUSA CORRESPONDIENTE A LA PRIMERA VARIABLE DE SALIDA

		TRAF-ASTETE				
		Escasos	Pocos	Regulares	Muchos	Demasiados
TRAF-BENAVIDES	Escasos	poco-verde	mediano-rojo	regular-rojo	mucho-rojo	mucho-rojo
	Pocos	mediano-verde	poco-verde	mediano-rojo	regular-rojo	mucho-rojo
	Regulares	regular-verde	mediano-verde	poco-verde	mediano-rojo	regular-rojo
	Muchos	mucho-verde	regular-verde	mediano-verde	poco-verde	mediano-rojo
	Demasiados	mucho-verde	mucho-verde	regular-verde	mediano-verde	poco-verde

TABLA V
MATRIZ DIFUSA CORRESPONDIENTE A LA SEGUNDA VARIABLE DE SALIDA

		TRAF-ASTETE				
		Escasos	Pocos	Regulares	Muchos	Demasiados
TRAF-BENAVIDES	Escasos	poco-rojo	mediano-verde	regular-verde	mucho-verde	mucho-verde
	Pocos	mediano-rojo	poco-rojo	mediano-verde	regular-verde	mucho-verde
	Regulares	regular-rojo	mediano-rojo	poco-rojo	mediano-verde	regular-verde
	Muchos	mucho-rojo	regular-rojo	mediano-rojo	poco-rojo	mediano-verde
	Demasiados	mucho-rojo	mucho-rojo	regular-rojo	mediano-rojo	poco-rojo

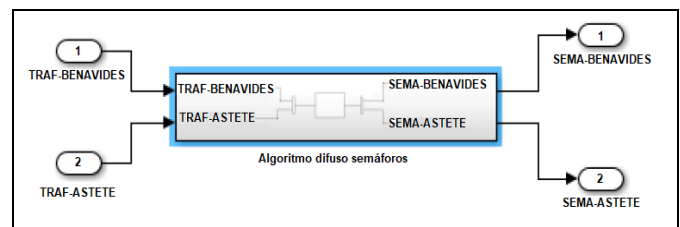


Fig. 4. Representación del bloque algoritmo difuso en el Simulink del Matlab, mostrando las variables lingüísticas de entrada y salida..

Una vez realizado tal conversión, se generó un archivo con extensión “*.slc” que fue exportado a la carpeta Fuentes Externas del TIA Portal. Luego, se optó por la opción "Generate blocks from source", y posteriormente se realizó la operación de arrastre del bloque generado hasta la carpeta principal Main (OB1), en la pestaña “Devices”, del proyecto creado en el TIA Portal. En la figura 5 se muestra la representación del algoritmo difuso como un bloque generado en el TIA Portal, con las dos entradas de tráficos para ambas avenidas, así como las variables de salida correspondiente a la situación de los semáforos.

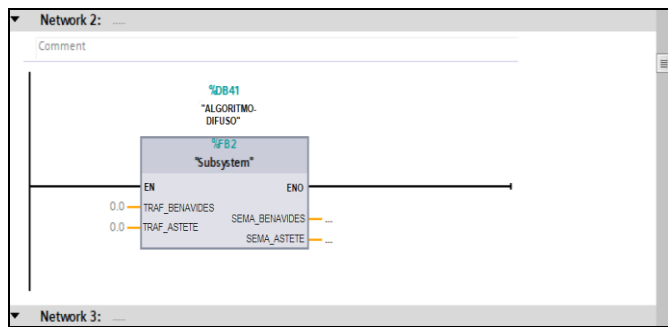


Fig. 5. Representación del bloque algoritmo difuso en el TIA Portal, mostrando las variables lingüísticas de entrada y salida..

C. Programación en PLC

La programación fue realizada utilizando el lenguaje de programación Ladder a través del software TIA Portal; por lo cual, este software recibió las simulaciones de tráfico del entorno desarrollado en el software LabVIEW. Tal es así que, la activación de los sensores generó un pulso (emulando a los sensores Loop); es decir, cuando un sensor fue activado, un contador se incrementó en uno, y cuando el sensor no era activado el contador permaneció en cero.

Asimismo, para la avenida Alfredo Benavides, se instalaron 24 sensores distribuidos equitativamente de la siguiente manera. Un grupo de 12 sensores en la dirección de este a oeste y otros 12 en la dirección de oeste a este; por lo cual, una operación adicional agrupó a los sensores activados, almacenando esta información en las variables "AUTOS-BENAVIDES-O-E" y "AUTOS-BENAVIDES-E-O". Posteriormente, estas dos variables se sumaron para obtener el valor total de vehículos en dicha avenida, lo cual se registró en una tercera variable denominada "TOTAL-BENAVIDES". Por otro lado, para el caso de la avenida Velazco Astete también se realizó la suma correspondiente de todos sus sensores activados, tanto de sur a norte como de norte a sur.

De igual forma, el bloque "ALGORITMO_DIFUSO", exportado desde Simulink, proporcionó dos valores para cada semáforo; por ello, se seleccionó el menor ya que si el valor se encontraba en el rango de 0 a 50 correspondía a la luz verde, pero si estaba en el rango de 50 a 100 correspondía a la luz roja. Entonces, cuando se activó "LUZ VERDE BENAVIDES SEMAFORO", se iniciaron dos temporizadores para controlar

los semáforos de tal avenida en ambas direcciones, de oeste a este y de este a oeste. Por tal razón, fue importante tener en cuenta que se redujo el tiempo de la luz verde en la dirección de este a oeste en 5 segundos, debido al cambio de giro hacia la avenida Velazco Astete. A continuación, la figura 6 muestra parte de la programación Ladder correspondiente a la activación de la luz verde en la avenida Alfredo Benavides.

Además, cuando se activó "LUZ ROJA BENAVIDES SEMAFORO", se encendió la luz roja en tal avenida para ambas direcciones, de oeste a este y de este a oeste. Pero, cuando se activó "LUZ VERDE ASTETE SEMAFORO", se inició un temporizador encargado de controlar la luz verde en tal avenida. De igual forma, cuando se activó "LUZ ROJA BENAVIDES SEMAFORO", se inició el temporizador de la luz roja en ambas direcciones, de norte a sur y de sur a norte.

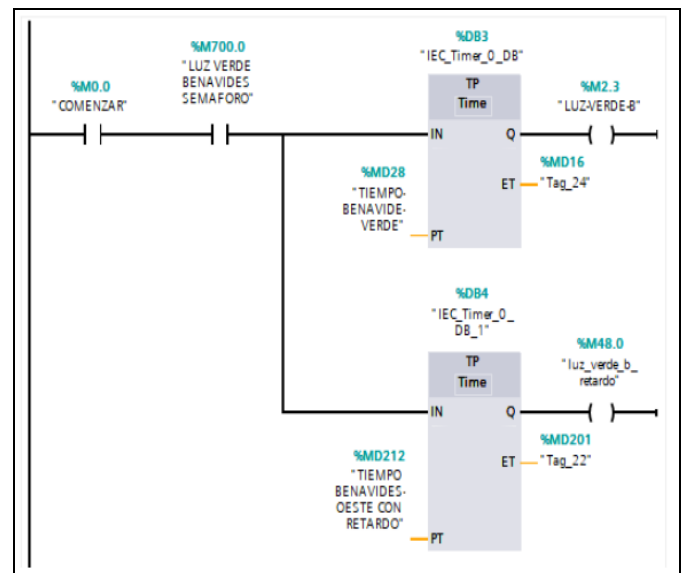


Fig. 6. Programación ladder encargada de la activación de la luz verde en la avenida Alfredo Benavides.

Por otro lado, para activar la luz amarilla, se utilizó una comparación de igualdad. Es decir, cuando el tiempo programado alcanzó su valor especificado se activó la luz amarilla en ambas avenidas. Tal es así que cuando una de las salidas fue activada, se puso en marcha el temporizador apropiado con una duración de 3 segundos lo cual coincidió con el tiempo de encendido de la luz amarilla en el semáforo correspondiente.

Adicionalmente, se incluyó la capacidad de monitorear y mostrar la cantidad de vehículos, incluyendo autos y buses, presentes en el tráfico. Para lograr esto, se implementaron específicamente 12 sensores diseñados para detectar buses utilizando contadores CTUD, los cuales proporcionaron un valor igual a uno cuando el sensor se encontraba activo y cero cuando estaba inactivo, a partir de la incorporación de un bloque de suma que permitió calcular el número total de autobuses en el tráfico.

V. RESULTADOS

Para mostrar los resultados, se realizó una simulación del tráfico en el entorno de la interfaz gráfica desarrollada para evaluar la respuesta ante situaciones aleatorias. A continuación, se evaluó la interpretación y respuesta del algoritmo de inferencia difusa ante condiciones cambiantes, permitiendo verificar la capacidad de tomar decisiones adecuadas y ajustar los tiempos de los semáforos según fuera necesario. Además, se confirmó la comunicación entre el software LabVIEW y el PLC garantizando la transmisión de los datos en tiempo real para asegurar un control efectivo del tráfico.

A. Primera prueba

Este procedimiento consistió en el diseño de una situación de tráfico aleatoria controlada por un botón específico. Al presionarse tal botón, se activaron los sensores correspondientes, que luego transmitieron los pulsos al PLC. Por lo cual, se confirmó la detección de los vehículos a partir de los sensores los cuales generaron señales en tiempo real. Estos datos fueron esenciales para que el PLC logre el ajuste de los tiempos de los semáforos de manera efectiva, garantizando un flujo de tráfico óptimo. Además, la simulación no solo ayudó a verificar el funcionamiento adecuado de los sensores y la comunicación entre los componentes del sistema, sino que también proporcionó información valiosa para afinar y mejorar la eficiencia del control de tráfico.

B. Segunda prueba

Al igual que en la prueba anterior, los datos que representaron el nivel de tráfico en ambas avenidas fueron transmitidos al bloque de algoritmo difuso. De esta manera, este bloque se responsabilizó en realizar los cálculos necesarios para determinar los tiempos asignados a cada variable de salida. Por lo cual, luego de calcular el tiempo que cada semáforo necesitó para permanecer con las luces en verde y rojo, se alcanzó el resultado de que la variable “SEMA_ASTETE” fue menor de 50, indicando que este fue el valor de la luz en verde, mientras que la variable “SEMA_BENAVIDES” alcanzó un valor de 92 superando los 50; por lo cual, se indica el tiempo para la luz roja después de haberse restado con 50. De esta manera, la acción fue de otorgar prioridad a la avenida con mayor tráfico, que en este caso fue la avenida Velazco Astete con 23 sensores detectados.

C. Tercera prueba realizada

Para esta prueba, se procedió a iniciar un temporizador que controló la activación de la luz verde en la avenida Velazco Astete, durante un periodo de 43 segundos. A su vez, estos eventos y activaciones fueron monitoreados a través de la plataforma de LabVIEW.

Por tal razón, en la figura 7 se muestra una representación de simulación con la iluminación de las luces verdes en la avenida Velazco Astete y las luces rojas en la avenida Alfredo Benavides, complementado con el tiempo visualizado en el panel de control.



Fig. 7. Simulación de una recreación de tráfico vehicular en el entorno desarrollado en el software LabVIEW.

Por lo tanto, gracias al control difuso se obtuvo menores tiempos a que los observados en el estudio de campo, demostrando que el algoritmo difuso fue la clave detrás de esta adaptabilidad al evaluar constantemente las condiciones del tráfico y ajustar dinámicamente los tiempos de encendido de la luz verde.

A continuación, en la Tabla VI, se comparte un resultado del número de autos y buses simulados con su respectivo tiempo en segundos para las luces correspondientes.

TABLA VI
CANTIDAD DE SENSORES ACTIVADOS Y TIEMPO DE ENCENDIDO DE LA LUZ VERDE

	N° autos – Av. V. Astete	N° buses – Av. V. Astete	N° autos – Av. A. Benavides	N° buses – Av. A. Benavides	Luz-Verde (A. Benavides)	Luz-Verde (V. Astete)
Prueba 1	23	0	5	5	0	43
Cantidad sensores	23	0	5	10	0	43

V. CONCLUSIONES

Con el procedimiento realizado, se implementó el entorno de simulación del flujo vehicular en la intersección de las avenidas Alfredo Benavides y Velazco Astete, con el uso del software LabVIEW. Esta implementación se basó en la recopilación previa de datos observados del lugar de estudio, lo que proporcionó una base sólida para este desarrollo. En cuanto a los resultados obtenidos no solo confirmaron un funcionamiento exitoso, sino que también revelaron una eficiencia excepcional de la simulación del tráfico vehicular. Esta eficiencia se reflejó en la optimización de los tiempos de espera en las intersecciones y en la mejora general de la gestión del tráfico.

De igual manera, en el proceso de desarrollo se llevó a cabo la implementación del algoritmo de control basado en el algoritmo de inferencia difusa utilizando el MATLAB. Posteriormente, este algoritmo se exportó al entorno de TIA Portal V14, donde se configuró y cargó como un bloque o subsistema en el PLC. La definición de las entradas, salidas y reglas difusas, proporcionó soluciones adaptadas a diversas situaciones según las variables de entrada. Y, en relación con la plataforma de simulación SIMULINK, el uso del "PLC CODER" simplificó la transferencia del MATLAB al TIA Portal, permitiendo su ejecución a través de un bloque de función.

Además, la comunicación efectiva entre las plataformas TIA Portal y LabVIEW constituyó un logro destacado en este estudio; pues, esta sinergia posibilitó la transmisión de pulsos en tiempo real y la ejecución de múltiples situaciones. Además, es importante resaltar el uso de los bloques de conteo en el entorno TIA PORTAL para la detección de vehículos, lo cual se realizó a partir de la conversión de los impulsos generados por los sensores simulados, en datos numéricos

representando una optimización significativa del proceso en general. Este procedimiento no solo permitió simular con precisión la acción del algoritmo de control basado en inferencia difusa sobre la interfaz gráfica en LabVIEW, sino que también se tradujo en mejoras palpables en la fluidez del tráfico.

De esta manera, se logró integrar tecnológicas predominantes en el mundo académico como profesional, tal es el caso del software Matlab y su librería Simulink y el PLC unido al OPC Servers, lo cual incrementa la posibilidad de una ejecución práctica para una situación real debido a que disminuye el tiempo de programación, implementación de las reglas difusas, y verificación del resultado a partir de una simulación viable y personalizada según la localización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G. Pavithra, & V. Vinayak, "Remote monitoring and control of VFD fed three phase induction motor with PLC and LabVIEW software", in 2nd International Conference on I-SMAC, August 2018, DOI: <https://doi.org/10.1109/I-SMAC.2018.8653657>
- [2] I. Pranowo, Y. Bagastama & T. Wibisono, "Communication between PLC different vendors using OPC server improved with application device", Journal Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control), 18(3), 1491–1498, June 2020, DOI: <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v18i3.14757>
- [3] I. Pranowo & D. Artanto, D. "Improved control and monitor two different PLC using LabVIEW and NI-OPC server. International Journal of Electrical and Computer Engineering, 11(4), 3003–3012, August 2021, DOI: <https://doi.org/10.11591/ijece.v11i4.pp3003-3012>
- [4] F. Codrut, I. Costea, & L. Obrega, "Model of intelligent traffic sensors - Application in hardware in the loop", in Proceedings of the International Spring Seminar on Electronics Technology, Sofia, Bulgaria, May 2017, DOI: <https://doi.org/10.1109/ISSE.2017.8000957>
- [5] A. Ruiz de Somocurcio, "Control de Tráfico Vehicular Automatizado Utilizando Lógica Difusa", Tesis para optar el título de Ingeniero Electrónico, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú, 2008.
- [6] A. Statsenko, A. Rogov, I. Obukhov, & E. Smirnova, "Developing Software and Hardware for Automation of Ground Urban Transport Traffic Management", in Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, 1102–1105, Moscow, Rusia, January 2021, DOI: <https://doi.org/10.1109/ElConRus51938.2021.9396597>
- [7] F. Nemtanu, I. Costea, D. Buretea, & L. Obreja, "Hardware in the Loop Simulation Platform for Intelligent Transport Systems", in 2017 IEEE 23rd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), Constanta, Romania, October 2017, DOI: [10.1109/SIITME.2017.8259901](https://doi.org/10.1109/SIITME.2017.8259901)
- [8] D. Princess, M. Landicho, J. Tabliga, L. Virtus, & R. Anacan, "Development of an Intelligent Traffic Control System using NI LabVIEW", in 2017 7th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE), Penang, Malaysia, November 2017, DOI: [10.1109/ICCSCE.2017.8284372](https://doi.org/10.1109/ICCSCE.2017.8284372)
- [9] M. Prabhu, A. Wardi, S. Hussain, S. Ghouse, & A. Singh, "A Comprehensive Review of PLC based Intelligent Traffic Light Control System", in 9th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions), Noida, India, November 2021, DOI: <https://doi.org/10.1109/ICRITO51393.2021.9596221>
- [10] D. Shiferaw, A. Hailegnaw, A. Assefa, D. Abebe, E. Dagne, & G. Fekadie, (febrero, 2025), "LabVIEW based Fuzzy Logic Controller for WaterLevel Control Using PLC", [Online], Disponible: https://www.researchgate.net/publication/340813089_LabVIEW_based_Fuzzy_Logic_Controller_for_PLC

- [11] M. Torres y M. Salas. “Simulación de un algoritmo de control para reducir la congestión vehicular en la intersección de dos principales avenidas en el distrito de Surco”, Tesis para optar el título de Ingeniero Electrónico, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú, 2023.
- [12] National Instruments. (diciembre, 2024). OPC Servers. [Online]. Disponible: <https://www.ni.com/es-es/support/downloads/software-products/download.opc-servers.html#305861>
- [13] GSL Industrias. (enero, 2025). [Online]. Disponible: <https://industriagsl.com/blogs/blog/plc-sim#:~:text=EI%20PLCSIM%2C%20es%20una%20aplicaci%C3%B3n,en%20una%20unidad%20de%20programas>
- [14] InfoPLC. (junio, 2024). NetToPLCsim Extensión de red para el simulador PLCSim de Siemens. [Online]. Disponible: <https://www.infoplc.net/descargas/107-siemens/software-step7-tiaportal/tia-portal/3195-nettoplcsim-extension-red-simulador-plcsim-siemens>
- [15] B. Martín del Brio y A. Sanz. *Redes Neuronales y Sistemas Difusos*. 2da Edición. Bogotá, Colombia: Alfa y Omega, 2001.
- [16] MathWorks. (mayo, 2024). Simulink PLC Coder. [Online]. Disponible: <https://es.mathworks.com/products/simulink-plc-coder.html>
- [17] MathWorks. (abril, 2024). Matlab 2023. Fuzzy Logic Toolbox. [Online]. Disponible: <https://es.mathworks.com/products/fuzzy-logic.html>