



*Modelo del Tráfico Vehicular en la Avenida 9 de Octubre de Riobamba*

*Model of Vehicular Traffic on Avenida 9 de Octubre in Riobamba*

*Maquete de Tráfego de Veículos na Avenida 9 de Octubre em Riobamba*

Henry Mauricio Villa Yáñez <sup>1</sup>

[hvilla@unach.edu.ec](mailto:hvilla@unach.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-4076-5211>

**Correspondencia:** [hvilla@unach.edu.ec](mailto:hvilla@unach.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 03 de febrero de 2024 \* **Aceptado:** 18 de febrero de 2024 \* **Publicado:** 04 de marzo de 2024

- I. Máster Universitario en Ingeniería Matemática y Computación. Magíster en Seguridad Telemática. Docente en la Universidad Nacional de Chimborazo en la Facultad de Ciencias Políticas y Administrativas. Riobamba-Ecuador.

## Resumen

La ciudad de Riobamba-Ecuador ha experimentado un incremento en su parque automotor, lo que conlleva a un incremento en la congestión vehicular y sumándole a este inconveniente el uso de equipos de control de tránsito obsoletos, hace que la congestión vehicular sea caótica. Por ese motivo, se desarrolló un modelo para simular el comportamiento de los semáforos con la utilización de un sensor que permita determinar si hay muchos vehículos en la cola de espera, con esta información se modifica los tiempos de fase verde los semáforos o se mantiene el tiempo fijo establecido. Para la simulación se tomó los datos durante las horas de mayor afluencia que es en la mañana, con estos datos se obtuvo: distribuciones de llegada, porcentajes de salidas, el ciclo que realizan los semáforos y los tiempos de las fases de estos. Se realizaron dos simulaciones una con el escenario real y otra con uso del sensor. Con los resultados obtenidos se hizo una comparación con el tiempo promedio de espera en la cola y la longitud media de las colas. Se observó que con el uso del sensor no invasivo se descongestiona el tráfico en los semáforos A y D ubicados en la calle principal que es la Avenida 9 de octubre, pero en las calles secundarias que se ubican los semáforos B y C hubo un incremento en el tiempo promedio de espera en la cola, como en la longitud media de las colas, mejorando el flujo vehicular en la avenida principal.

**Palabras Clave:** sensor; tráfico vehicular; semáforos.

## Abstract

The city of Riobamba-Ecuador has experienced an increase in its vehicle fleet, which leads to an increase in vehicle congestion and adding to this inconvenience the use of obsolete traffic control equipment, makes vehicle congestion chaotic. For this reason, a model was developed to simulate the behavior of traffic lights with the use of a sensor that allows determining if there are many vehicles in the waiting queue. With this information, the green phase times of the traffic lights are modified or the traffic lights are maintained. established fixed time. For the simulation, the data were taken during the busiest hours, which is in the morning, with these data we obtained: arrival distributions, percentages of departures, the cycle carried out by the traffic lights and the times of their phases. Two simulations were carried out, one with the real scenario and the other with the use of the sensor. With the results obtained, a comparison was made with the average waiting time in the queue and the average length of the queues. It was observed that with the use of the non-invasive sensor, traffic is decongested at traffic lights A and D located on the main street, which is

Avenida 9 de Octubre, but on the secondary streets where traffic lights B and C are located, there was an increase in the average waiting time in the queue, as well as the average length of the queues, improving vehicular flow on the main avenue.

**Keywords:** sensor; Vehicular traffic; traffic lights.

### Resumo

A cidade de Riobamba-Ecuador tem experimentado um aumento em sua frota de veículos, o que leva ao aumento do congestionamento de veículos e somando a este inconveniente o uso de equipamentos obsoletos de controle de trânsito, torna o congestionamento de veículos caótico. Por este motivo, foi desenvolvido um modelo para simular o comportamento dos semáforos com a utilização de um sensor que permite determinar se há muitos veículos na fila de espera. Com esta informação, são modificados os tempos da fase verde dos semáforos ou o semáforos são mantidos.horário fixo estabelecido. Para a simulação os dados foram retirados no horário de maior movimento, que é pela manhã, com estes dados obtivemos: distribuições de chegadas, percentuais de saídas, o ciclo realizado pelos semáforos e os horários de suas fases. Foram realizadas duas simulações, uma com o cenário real e outra com a utilização do sensor. Com os resultados obtidos foi feita uma comparação com o tempo médio de espera na fila e o comprimento médio das filas. Observou-se que com a utilização do sensor não invasivo o trânsito é descongestionado nos semáforos A e D localizados na rua principal, que é a Avenida 9 de Octubre, mas nas ruas secundárias onde estão localizados os semáforos B e C, houve aumento no tempo médio de espera nas filas, bem como no comprimento médio das filas, melhorando o fluxo de veículos na avenida principal.

**Palavras-chave:** sensor; Tráfego de veículos; luzes de trânsito.

### Introducción

La ciudad de Riobamba o conocida también como San Pedro de Riobamba, es la capital de la provincia de Chimborazo y fue la primera ciudad española fundada en Ecuador, se encuentra rodeada por varios volcanes, entre ellos están el Carihuairazo, el Altar, el Tungurahua y el Chimborazo. Su población oscila aproximadamente entre los 246.891 habitantes. En los últimos años el tener un automóvil se ha vuelto una necesidad en los hogares, y en la ciudad de Riobamba se ha registrado un aumento del parque automotor de un 16,87% por año (Massón, 2019). Debido

a este incremento, es muy común ver congestión vehicular en las principales calles de la ciudad, en especial en las horas pico.

Una de las calles de mayor tráfico vehicular en Riobamba es la Avenida 9 de octubre. En esta avenida, circulan tanto vehículos livianos como pesados, entre los que se destacan, buses interprovinciales y camiones. Por este motivo, se ha identificado como problemática: la congestión en el tramo de la Avenida 9 de octubre entre Avenida Atahualpa y Carabobo, siendo caótico en las horas de mayor tránsito. Además, otra de las principales razones por la que esta Avenida se encuentra saturada es el uso de equipos de control de tránsito obsoletos, por ejemplo, los semáforos de tiempo fijo. En este tipo de semáforos, su ciclo, secuencia de intervalos y duración están programados para que sean invariables.

Generalmente los semáforos de tiempo fijo tienen 3 luces: Rojo (parar), Amarillo (prevención) y Verde (avanzar). El tener semáforos de tiempo fijo no ayuda a mejorar el tráfico vehicular. Sin embargo, si se modifica los tiempos de la fase verde en el semáforo, cuando se detecte que hay una cantidad determinada de vehículos, ayuda a descongestionar el flujo vehicular.

Según Carrasco y Clavijo (2021), para definir el modelo de simulación más adecuado se debe considerar los principales parámetros de control que tiene un semáforo, siendo:

- **Ciclo:** Es el tiempo que tarda el semáforo para realizar una secuencia completa de las indicaciones de este.
- **Fase:** Son las acciones que realiza el semáforo individualmente
- **Secuencia de fases:** Es el orden establecido en el que van a ocurrir las fases del ciclo
- **Movimiento:** Son las maniobras de un mismo acceso que tienen el derecho de paso y hacen una misma fila

Los sensores de semáforos son dispositivos que detecta estímulos externos y emite una respuesta de acuerdo con estos estímulos. Existen diferentes tipos de sensores para la detección de presencia de vehículos, entre los principales se tiene: (Hall, 2021).

- **Sensores invasivos:** Son aquellos que se instalan directamente sobre o debajo del asfalto, y son los más usados para mediciones del tráfico vehicular. Una desventaja de este tipo de sensores es en su instalación debido a que es necesario parar el tráfico vehicular en la vía.
- **Sensores no invasivos:** Estos sensores se basan en la propagación de ondas. A diferencia de los Sensores Invasivos para su instalación no es necesario interrumpir el tráfico por lo que es fácil su instalación, además no afecta ni la calidad ni la seguridad de la vía.

La simulación es un instrumento que ayuda a realizar el diseño y las operaciones de sistemas de procesos complejos. Los resultados que se obtienen de una simulación no son exactos, pero si son aproximaciones muy buenas. Para realizar un modelo de simulación se necesita de un conjunto de técnicas con las cuales un ordenador imita como es el comportamiento del sistema seleccionado del mundo real (Méndez, 2021).

Se han realizado investigaciones acerca del tráfico vehicular como la de Morales y González (2013), en la que desarrollan un sistema de semáforos inteligentes con la ayuda de sensores de ultrasonido, está basado en un pequeño pic microcontrolador que está programado con algoritmos para que sea capaz de tomar decisiones que ayude a establecer una rutina para el cambio de luces en los semáforos, además, este sistema en determinadas situaciones reduce los tiempos de espera de los vehículos lo que hace que el flujo vehicular mejore en las intersecciones. Además, realiza un cuadro comparativo entre un sistema inteligente y un sistema tradicional.

En el estudio de Gustavo y Cueva (2015), se realizan un modelo de semáforo inteligente que funcione con energía renovable para que no contamine el medio ambiente, para eso usaron un panel solar y un banco de baterías fotovoltaicas, contribuyendo a un ahorro económico para la ciudad. Además, implementaron formas adicionales de colores en el semáforo para ayudar a las personas que sufren de daltonismo y que no sufran inconvenientes al manejar un vehículo. Y el semáforo como es inteligente con los sensores de ultrasonido puede realizar cambios de luz cuando detecta la presencia de peatones o vehículos.

Igualmente, en la investigación de Ayala (2012), realizan 4 escenarios y un escenario real. Se hace una comparación entre los parámetros: Número de autos detenidos, tiempo de viaje y tiempo de espera de los 4 escenarios. En el primer escenario hay una reducción del 5% en el número de autos detenidos, pero en los otros parámetros se mantienen iguales al escenario real. En el segundo escenario también hay una reducción del 3% pero hay un incremento del 6% en el tiempo de viaje. En el tercer escenario hay un incremento de casi el 4% en el número de autos detenidos, por lo que le hace el escenario menos favorable. Y en el escenario 4 hay una reducción del 9% en el tiempo de viaje, pero los otros parámetros se mantienen iguales al escenario real. En el estudio de Narváez (2007), realizan un análisis para mejorar la calidad del servicio mejorando los tiempos de demora, velocidad y reduciendo la cantidad de vehículos en espera. El software fue desarrollado en LabVIEW, además la utilización de video cámaras ayudó a una óptima información para el control del tráfico vehicular. En la simulación se observó que a los 15 minutos el comportamiento del

tráfico vehicular entra a un estado estable, brindando más seguridad a los peatones como a los conductores, en comparación con el sistema real de fases fijas.

En la investigación de Atiencia y Ramírez (2013), se diseña un controlador usando ANFIS (Sistema de Inferencia Difusa basado en redes neuronales adaptivas), que controla la temporización y sincronización de la secuencia de semáforos, además, este controlador fue desarrollado en Matlab. Con los resultados obtenidos de la simulación se muestra que hay descongestión vehicular sobre los semáforos de la Av. Colón.

En la investigación de Monterrey y Sosa (2020), se muestra un sistema de semaforización inteligente para controlar el flujo vehicular a partir del procesamiento de imágenes. Este sistema se utiliza cuando los vehículos se encuentran detenidos en el semáforo, a fin de tomar imágenes de la cantidad de vehículos que se presentan en la vía. Se envía estas imágenes mediante API al servidor, donde se procesa la imagen, lo que implica menos consumo de recursos informáticos y ayuda a que el sistema no falle en situaciones donde se puedan presentar fallas eléctricas en la intersección. Además, el sistema cuenta con la capacidad de alimentarse por medio de energía renovable, siendo amigable al medio ambiente.

En el estudio de Jacobo (2015), evaluaron la Av. La Reforma de México, debido a que es una avenida con mayor concentración de vehículos, está avenida dispone de semáforos de tiempo fijo. Y se propone la utilización del sensor TrafiCam para generar tiempos dinámicos, modificando el tiempo de fase verde de la intersección para cada sentido de circulación. Al implementar y simular este sistema en las intersecciones se obtienen mejoras y se optimiza la viabilidad. Con estos resultados se concluye que se debe fomentar la implementación en todas las intersecciones semaforizadas. En la investigación de Lema et. al. (2012), se estudia el problema de regulación del tráfico a través del ajuste de los ciclos de los semáforos, proponiendo para su resolución un algoritmo heurístico. Los resultados que se obtuvieron permitieron tener colas más cortas, con un tiempo computacional más adecuado.

En el estudio de Gutiérrez (2017), el problema a solucionar es el control semafórico de la ciudad de Puno en Perú, que, al contar semáforos de tiempo fijo, sin sensores que generen información del estado del tráfico, ocasionando demora en el flujo vehicular, contaminación ambiental y aumentando el estrés de los conductores. Se propone desarrollar un sistema de control de tráfico vehicular centralizado, donde los semáforos estén conectados a una red industrial con la cual se



podrá controlar y monitorear el funcionamiento. Concluyen que el proyecto mejora el flujo vehicular.

Finalmente, en el trabajo realizado por Carrasco et. al. (2021), se realizó un levantamiento de la siguiente información: geometría de la vía, conteos volumétricos con su composición, conteos de vehículos que giran y los que continúan la calle Mariscal Lamar. Y se determinó: el tipo de control recomendado de las intersecciones (semáforos, redondel, prioridad, paso a desnivel), el diseño del tiempo de ciclo óptimo de las 4 intersecciones con mayor flujo de vehículos y la sincronización de los semáforos. Se calculó los tiempos óptimos de ciclos y la sincronización semafórica, se realizó una comparación con los tiempos actuales, los cuales estuvieron dentro del rango recomendado por el método utilizado.

La justificación del presente trabajo se centró en tratar de solucionar los problemas relacionados al flujo de tráfico, realizando una simulación del tráfico vehicular, modificando el tiempo de fase verde del semáforo con la ayuda de un sensor. El objetivo de modificar el tiempo de fase verde en el semáforo es evitar la congestión vehicular, puesto que, el aumentar el tiempo de fase verde, incrementa la cantidad de vehículos que circulen. Esto ayuda a que los conductores no pierdan su tiempo por mantenerse esperando en largas colas. Además, ayuda a disminuir la probabilidad de accidentes de tránsito, debido a que los conductores al encontrarse esperando por mucho tiempo en la fila, pueden perder la concentración y calma. Finalmente, disminuye el consumo innecesario de combustible por encontrarse detenido, pero con el motor encendido. Es importante revisar que las colas en los semáforos no aumenten demasiado. Para eso, como novedad de la investigación, se propuso el uso del sensor, que realiza un conteo de los vehículos detenidos en la cola y envía una señal al semáforo. Éste mediante un algoritmo recibe dicha señal y con ese número de vehículos detenidos va a determinar si es necesario aumentar el tiempo de fase verde o mantener el tiempo fijo programado.

### **Metodología**

La metodología que se ha seguido en el presente trabajo se ha basado en el método científico y se realizaron las siguientes fases: Análisis de las fases de los semáforos de la avenida 9 de octubre, determinación del tipo de sensor y modelo de simulación.

### Análisis de las Fases de los Semáforos

En todo el Ecuador se ha observado el aumento del parque automotor, lo que conlleva a que se aumente la congestión vehicular. Para el presente trabajo se consideró un tramo de la Avenida 9 de octubre entre la Avenida Atahualpa y la calle Carabobo de la ciudad de Riobamba.

### Descripción del Entorno

En el tramo de la Avenida antes mencionado, existen 12 semáforos de tiempo fijo, el semáforo que está en el sentido sur a norte de la Avenida 9 de octubre se denomina Semáforo A. El semáforo que está en el sentido oeste a este denomina Semáforo B. El semáforo que está en el sentido este a oeste se denomina Semáforo C. El semáforo en el sentido norte a sur se denomina Semáforo D. Actualmente el funcionamiento de los semáforos está definido por ciclos y fases ya establecidos. Al observar el comportamiento de los 4 semáforos se determinó que posee tres fases: Verde, Amarillo y Rojo. Se utilizó un cronómetro para tomar los tiempos de cada fase de los semáforos, y determinar la sincronización del ciclo de los semáforos. Con esas mediciones se obtuvo los siguientes resultados:

- El tiempo de las fases asignados para el Semáforo A y C que están ubicados en la Avenida 9 de octubre son: Verde 22 segundos; Amarillo 4 segundos y Rojo 86 segundos
- El tiempo de la fase asignados para el Semáforo B ubicado en la Avenida Atahualpa y para el Semáforo D ubicado en la calle Carabobo son: Verde 16 segundos; Amarillo 4 segundos y Rojo 86 segundos.

La secuencia que siguen los semáforos como se describe en la Tabla 1.

- ✓ Cuando el Semáforo A está en verde, los Semáforos B, C y D están en rojo.
- ✓ Cuando el Semáforo B está en verde, los Semáforos A, C y D están en rojo.
- ✓ Cuando el Semáforo C está en verde, los Semáforos A, B, y D están en rojo.
- ✓ Cuando el Semáforo D está en verde, los Semáforos A, B y C están en rojo.

**Tabla 1.** Secuencia de los semáforos

SEMÁFORO	Semáforo A	Semáforo B	Semáforo C	Semáforo D
<b>1 ciclo</b>	Verde	Rojo	Rojo	Rojo
	Amarillo	Rojo	Rojo	Rojo
	Rojo	Verde	Rojo	Rojo
	Rojo	Amarillo	Rojo	Rojo
	Rojo	Rojo	Verde	Rojo



Rojo	Rojo	Amarillo	Rojo
Rojo	Rojo	Rojo	Verde
Rojo	Rojo	Rojo	Amarillo

**Fuente.** Elaboración propia a partir de la observación

Con el estudio del comportamiento del tráfico vehicular del tramo la Avenida 9 de octubre se pudo determinar que los tiempos de llegadas entre los vehículos tiene un comportamiento de una distribución exponencial, y debido a que cada semáforo cuenta con dos carriles o dos colas, cada cola o carril se comporta de manera diferente a las demás.

### **Determinación del Tipo de Sensor**

Considerando las particularidades analizadas, se determinó usar un sensor no invasivo de cámara. En este caso se seleccionó el sensor TrafiCam, debido a que es un sensor de presencia de vehículos que combina una cámara y un detector de video. Este sensor detecta la presencia de vehículos que se aproximan a un cruce o que esperan ante una intersección. Además, este sensor es capaz de detectar vehículos tanto en el día como en la noche, realizar un conteo de estos, detectar si existe contraflujo vehicular para no tener datos inexactos y se puede adaptar a cualquier superficie. Los sensores TrafiCam son utilizados para que las operaciones de los controladores de semáforos sean más dinámicas (Ayala & Cueva, 2015).

### **Modelo de Simulación**

- **Descripción del Modelo**

El modelo se describe a través de las siguientes fórmulas y valores que han sido considerados para el desarrollo de la simulación, siendo las siguientes:

- **Variable aleatoria exponencial para el tiempo de llegadas**

(1)

$$x = \frac{-\log(R)}{\lambda}$$

Donde:

$x$  = Variable aleatoria exponencial

$R$  = Número aleatorio

$\lambda$  = Número de llegadas de vehículos en un segundo.

Para determinar el modelo de simulación se consideró el número de llegadas de los vehículos con un cronómetro, tomando los tiempos de llegada de los vehículos, y esos valores se procesaron en una hoja de cálculo de Excel para obtener el promedio del tiempo de llegadas.

- ✓ Semáforo A y D: Como los semáforos A y D se encuentran en la Avenida 9 de octubre, tienen el tiempo base de llegadas de los vehículos es de 3.5796 segundos, teniendo el valor de lambda de:

(2)

$$\lambda = \frac{1}{0.035796}$$

- ✓ Semáforo B y C: Como los semáforos B y C se encuentran en las calles secundarias de la Avenida 9 de octubre, tienen el tiempo base de llegadas de los vehículos que es de 6.9568 segundos, teniendo el valor de lambda de:

(3)

$$\lambda = \frac{1}{0.069568}$$

- **Porcentajes de salidas de los vehículos**

- Semáforo A
  - El 30% de veces salieron 8 vehículos.
  - El 60% de veces salieron 9 vehículos.
  - El 10% de veces salieron 10 vehículos.
- Semáforo B
  - El 50% de veces salieron 8 vehículos.
  - El 30% de veces salieron 9 vehículos.
  - El 20% de veces salieron 10 vehículos.
- Semáforo C
  - El 70% de veces salieron 8 vehículos.
  - El 15% de veces salieron 9 vehículos.
  - El 15% de veces salieron 10 vehículos.
- Semáforo D
  - El 10% de veces salieron 7 vehículos.
  - El 30% de veces salieron 8 vehículos.
  - El 40% de veces salieron 9 vehículos.

- El 20% de veces salieron 10 vehículos.

- **Longitud media de la cola de espera**

(4)

$$\frac{\sum(\text{tiempo\_llegada} - \text{tiempo\_salida})}{\text{tiempo\_simulacion}}$$

Donde:

*tiempo\_llegada* = Tiempo de llegada de un vehículo a la cola

*tiempo\_salida* = Tiempo de salida de un vehículo de la cola

*tiempo\_simulacion* = Tiempo total de la simulación.

- **Tiempo medio de espera en la cola**

(5)

$$\frac{\sum(\text{tiempo\_llegada} - \text{tiempo\_salida}) * \text{tiempos}}{\text{tiempo\_simulacion}}$$

Donde:

*tiempo\_llegada* = Tiempo de llegada de un vehículo a la cola

*tiempo\_salida* = Tiempo de salida de un vehículo de la cola

*tiempo\_simulacion* = Tiempo total de la simulación.

*tiempos* = Vector de ceros y unos (uno indica si quedaron vehículos a la cola y cero indica que no quedaron vehículos en la cola).

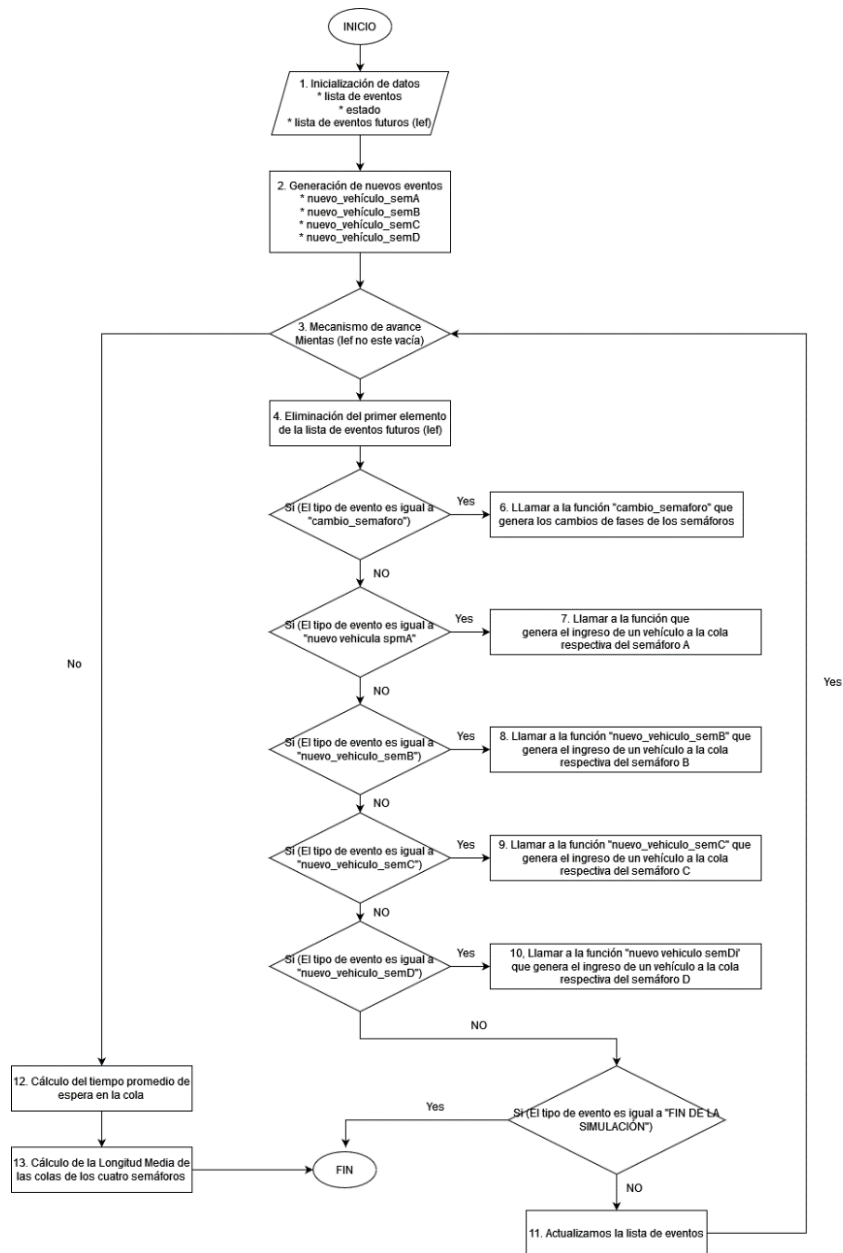
Para las pruebas se realizaron dos simulaciones:

- La primera simulando el comportamiento actual de los semáforos en la hora pico.
- La segunda simulando el comportamiento de los semáforos en ese mismo ambiente (hora pico) pero considerando la ayuda del sensor.

- **Diagrama de Flujo del Simulador**

En la Figura 1 se encuentra el diseño del diagrama del flujo del simulador.

**Figura 1.** *Diagrama de Flujo del Simulador*



**Fuente.** Elaboración propia

• **Estructura de la Simulación**

Se realizó la simulación la plataforma de programación y cálculo numérico Matlab. La estructura de la Simulación es la siguiente:

1. Inicialización de datos

- a. Lista de Eventos: Es una lista ordenada cronológicamente en la que se guardan todos los eventos que se generan en el sistema, se le puede decir que es una lista que resume todo lo que pasó en la simulación.
  - b. Estado: Es una lista con el evento que ocurre en ese instante de tiempo.
  - c. Lef: Lista de Eventos Futuros, es una lista que nos garantiza que en la simulación vayamos en orden y que no nos olvidemos de algún evento.
2. Mecanismo de Avance mismo que fue programado en Matlab la simulación con los semáforos de tiempo fijo y de la simulación de los semáforos con el sensor.
  3. Cálculo de los Tiempos promedios en la Cola y Longitud media de las colas

Como se mencionó anteriormente cada cola tiene un comportamiento diferente por lo que se hace el cálculo por cada cola de los semáforos. Además, en Matlab se realizaron los cálculos tanto de la simulación de semáforos de tiempo fijo como de la simulación de semáforos con sensor.

## Resultados

Para los resultados se utilizaron los parámetros:

- **Estado**: listado de los estados del modelo
- **Evento\_act**: listado de eventos a realizarse
- **Lef**: lista de eventos futuros, lista que garantiza que la simulación se ejecute en orden y no olvidar eventos
- **Lista\_eventos**: lista ordenada cronológicamente en la que se guardan todos los eventos que se generan en el sistema.
- **Longitud\_cola**: promedio de vehículos ubicados en la cola del semáforo en el tiempo de estudio
- **Nuevo\_evento**: lista de eventos para cambiar la fase del semáforo
- **Numevent**: número de eventos generados en el modelo
- **Tiempo\_espera**: promedio del tiempo de espera en el semáforo en el lapso de estudio
- **Tiempo\_simulación**: tiempo en la ejecución de la simulación

## Simulaciones

En la Tabla 2, se detalla un resumen de la primera simulación (tiempo fijo) y segunda simulación (semáforo con sensor):

**Tabla 2.** Resumen de la primera simulación

<b>Parámetro</b>	<b>Primera</b>	<b>Segunda simulación</b>
estado	1x1 struct	1x1 struct
evento_act	1x1 struct	1x1 struct
lef	1x4 struct	1x4 struct
lista_eventos	1x10000 struct	1x10000 struct
longitudCola1_semA	22.5942 vehículos	21.3284 vehículos
longitudCola1_semB	3.5947 vehículos	15.3788 vehículos
longitudCola1_semC	3.3117 vehículos	11.3021 vehículos
longitudCola1_semD	32.2646 vehículos	17.6109 vehículos
longitudCola2_semA	22.1928 vehículos	16.5185 vehículos
longitudCola2_semB	2.9740 vehículos	11.7420 vehículos
longitudCola2_semC	2.7642 vehículos	8.7736 vehículos
longitudCola2_semD	32.3992 vehículos	13.7709 vehículos
nuevo_evento	1x1 struct	1x1 struct
numevent	2763	2613
tiempo_espera_c1_semA	1.2066 segundos	0.7512 segundos
tiempo_espera_c1_semB	0.0227 segundos	0.7877 segundos
tiempo_espera_c1_semC	0.0350 segundos	0.8775 segundos
tiempo_espera_c1_semD	1.7707 segundos	0.3296 segundos
tiempo_espera_c2_semA	1.2018 segundos	0.7377 segundos
tiempo_espera_c2_semB	0.0163 segundos	1.1654 segundos
tiempo_espera_c2_semC	0.0265 segundos	0.9323 segundos
tiempo_espera_c2_semD	1.8685 segundos	0.3024 segundos
tiempo_simulación	30.0008 segundos	30.0044 segundos

**Fuente.** Elaboración propia en base a los cálculos realizados

### Cuadro comparativo de las dos simulaciones

En las Tablas 3, 4, 5, y 6 se hace una comparación entre los resultados obtenidos de los semáforos A, B, C y D respectivamente en las dos simulaciones.

**Tabla 3.** Cuadro comparativo de los resultados del semáforo A de las dos simulaciones

	<b>Simulación 1</b>		<b>Simulación 2</b>	
	<b>Semáforo A</b>		<b>Semáforo A</b>	
	<b>Cola 1</b>	<b>Cola 2</b>	<b>Cola 1</b>	<b>Cola 2</b>
<b>Tiempo promedio de espera en la cola</b>	1.2066	1.2018	0.7512	0.7377
<b>Longitud media de la cola</b>	22.5942	22.1928	21.3284	16.5185

**Fuente.** Elaboración propia en base a los cálculos realizados



**Tabla 4.** Cuadro comparativo de los resultados del semáforo B de las dos simulaciones

	<b>Simulación 1</b>		<b>Simulación 2</b>	
	<i>Semáforo B</i>		<i>Semáforo B</i>	
	<u><i>Cola 1</i></u>	<u><i>Cola 2</i></u>	<u><i>Cola 1</i></u>	<u><i>Cola 2</i></u>
<b>Tiempo promedio de espera en la cola</b>	0.0227	0.0163	0.7877	1.1654
<b>Longitud media de la cola</b>	3.5947	2.9740	15.3788	11.7420

*Fuente.* Elaboración propia en base a los cálculos realizados

**Tabla 5.** Cuadro comparativo de los resultados del semáforo C de las dos simulaciones

	<b>Simulación 1</b>		<b>Simulación 2</b>	
	<i>Semáforo C</i>		<i>Semáforo C</i>	
	<u><i>Cola 1</i></u>	<u><i>Cola 2</i></u>	<u><i>Cola 1</i></u>	<u><i>Cola 2</i></u>
<b>Tiempo promedio de espera en la cola</b>	0.0350	0.0265	0.8775	0.9323
<b>Longitud media de la cola</b>	3.3117	2.7642	11.3021	8.7736

*Fuente.* Elaboración propia en base a los cálculos realizados

**Tabla 6.** Cuadro comparativo de los resultados del semáforo D de las dos simulaciones

	<b>Simulación 1</b>		<b>Simulación 2</b>	
	<i>Semáforo D</i>		<i>Semáforo D</i>	
	<u><i>Cola 1</i></u>	<u><i>Cola 2</i></u>	<u><i>Cola 1</i></u>	<u><i>Cola 2</i></u>
<b>Tiempo promedio de espera en la cola</b>	1.7707	1.8685	0.3296	0.3024
<b>Longitud media de la cola</b>	32.2646	32.3992	17.6109	13.7709

*Fuente.* Elaboración propia en base a los cálculos realizados

## Discusión

El presente trabajo de investigación contribuye a la creciente literatura sobre el análisis de tráfico vehicular considerando los estudios más relacionados como los realizados por Jacobo (2015), Ayala (2012), Gutiérrez (2017) en los que se utiliza diferentes medios como: sensores, software, entre otros. En este caso, la presente investigación, ha desarrollado un modelo matemático y se ha

enfocado en realizar dos simulaciones en horas pico en los semáforos ubicados en la avenida 9 de octubre considerando el tiempo promedio de espera en la cola y la longitud media de la cola en dos, la primera considera el semáforo estándar y la segunda considerando el uso del sensor TrafiCam. En las simulaciones se consideran los siguientes parámetros: listas de eventos, lista de estados, lista de los eventos futuros (lef), mecanismos de avances a través del modelamiento matemático, que permitieron generar una simulación adecuada para la solución de problemas en el tráfico vehicular. Una vez implementado el modelo de simulación se obtuvieron los resultados en los dos escenarios, los cuales fueron comparados, de lo cual los semáforos A y D ubicados en la avenida 9 de octubre mejoran los tiempos promedio de espera y en la longitud media de la cola, descongestionando el tráfico vehicular en esta avenida principal. En un futuro se puede incorporar a la simulación otros parámetros como la velocidad de los vehículos, giros a la derecha e izquierda, reacción de los conductores al ponerse en verde el semáforo entre otros, con la finalidad de mejorar la toma de decisiones en la modificación del comportamiento de los semáforos generando un mejor desempeño.

### Conclusiones

- Del semáforo A en la cola 1 el tiempo promedio de espera tiene una diferencia de 0.4554, es decir una mejora del 37.74% y en la longitud media de la cola tiene una diferencia de 1.2658, es decir una mejora del 5.60%. En la cola 2 el tiempo promedio de espera tiene diferencia de 0.4641, es decir una mejora del 38.62% y la longitud media de la cola tiene una diferencia de 5.6743, es decir una mejora del 25.57%.
- Del semáforo B en la cola 1 el tiempo promedio de espera tiene una diferencia de -0.765, es decir un incremento del 97.12% y en la longitud media de la cola tiene una diferencia de -11.7841, es decir un incremento del 76.63%. En la cola 2 el tiempo promedio de espera tiene diferencia de -1.1491, es decir un incremento del 98.60% y la longitud media de la cola tiene una diferencia de -8.768, es decir una mejora del 74.67%. Estos incrementos en las métricas de “Tiempo promedio de espera en la cola” y “Longitud de la cola” del semáforo B, es debido a que cuando el sensor detecta que en una de las colas de un semáforo hay más de vehículos esperando aumenta 9 segundos al tiempo de la fase del verde de ese semáforo. Lo que hace que las otras colas de los otros semáforos se incrementen y esperen más tiempo. Además, el tiempo de fase de los verdes de las calles secundarias es menor (16 segundos) a comparación del tiempo de fase verde de las calles principales que es de 22 segundos.

- Del semáforo C en la cola 1 el tiempo promedio de espera tiene una diferencia de 0.8425, es decir un incremento del 96.01% y en la longitud media de la cola tiene una diferencia de -7.9904, es decir un incremento del 70.70%. En la cola 2 el tiempo promedio de espera tiene diferencia de -0.9058, es decir un incremento del 97.16% y la longitud media de la cola tiene una diferencia de -6.0094, es decir una mejora del 68.49%. Estos incrementos en las métricas de “Tiempo promedio de espera en la cola” y “Longitud de la cola” del semáforo C, al igual que el semáforo B, es debido a que cuando el sensor detecta que en una de las colas de un semáforo hay más de vehículos esperando aumenta 9 segundos al tiempo de la fase del verde de ese semáforo. Lo que hace que las otras colas de los otros semáforos se incrementen y esperen más tiempo. Además, el tiempo de fase de los verdes de las calles secundarias es menor (16 segundos) a comparación del tiempo de fase verde de las calles principales que es de 22 segundos.
- Del semáforo D en la cola 1 el tiempo promedio de espera tiene una diferencia de 1.4411, es decir una mejora del 81.39% y en la longitud media de la cola tiene una diferencia de 14.6537, es decir una mejora del 45.42%. En la cola 2 el tiempo promedio de espera tiene diferencia de 1.5661, es decir una mejora del 83.82% y la longitud media de la cola tiene una diferencia de 18.6283, es decir una mejora del 57.50%.
- Al realizar el modelo propuesto y simularlo, en los semáforos con mayor afluencia de vehículos, siendo los semáforos A y D de la avenida 9 de octubre, se observa una mejoría en la fluidez del tráfico vehicular, ya que el tiempo en espera y la longitud de la cola disminuye.

En los semáforos B y C, que se encuentran en las calles secundarias existe un incremento tanto en el tiempo de espera como en la longitud de la cola, debido a que existe mayor afluencia vehicular en la avenida principal donde se encuentran los semáforos A y D, por tanto, se puede notar que se ha dado prioridad al tráfico de dicha avenida principal

## Referencias

Atiencia, N., & Ramírez, V. (2013). Control de tráfico vehicular usando un sistema neuro-difuso tipo ANFIS. Revista Politécnica, 33(1).  
[https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/view/88](https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/88)

- Ayala, A. (2012). Simulación de tráfico en el tramo de la Av. Interoceánica comprendido entre la calle González Suárez y Francisco Pizarro (Bachelor's thesis, Quito) <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/3783>
- Ayala, G., & Cueva, W. (2015). Modelado de un Sistema de SemafORIZACIÓN de Bajo Costo, Basado en Tecnología LED y Energías Renovables, Utilizando Señales de Sensores Digitales y Algoritmos Computacionales para la Gestión de Tráfico Vehicular y Peatonal [Grado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://201.159.223.180/bitstream/3317/4466/1/T-UCSG-PRE-TEC-IECA-38.pdf>
- Carrasco, J., Gustavo, A., & Clavijo, W. (2021). Diseño de la red semafórica de la calle Mariscal Lamar desde la calle Manuel Vega hasta la calle Tarqui (Tesis de Pregrado, Universidad de Cuenca). Repositorio Institucional. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/778>
- Google maps. (2021). Obtenido de <https://www.google.com.ec/maps/@-1.6766821,-78.659449,20z>
- Google maps. (2021). Av. 9 de Octubre. Obtenido de <https://www.google.com.ec/maps/@-1.6764388,-78.6594051,3a,75y,146h,88.31t,0.07r/data=!3m6!1e1!3m4!1s0h9uCvHDbeJsH1jYC-wVQw!2e0!7i13312!8i6656>
- Google maps. (2021). Ave Atahualpa. Obtenido de [https://www.google.com.ec/maps/@-1.6768763,-78.6593684,3a,75y,59.19h,95.21t,0.07r/data=!3m6!1e1!3m4!1sKEhB41\\_RsdI7s0e6rXsizA!2e0!7i13312!8i6656](https://www.google.com.ec/maps/@-1.6768763,-78.6593684,3a,75y,59.19h,95.21t,0.07r/data=!3m6!1e1!3m4!1sKEhB41_RsdI7s0e6rXsizA!2e0!7i13312!8i6656)
- Gutiérrez, C. (2017). Diseño e implementación de un sistema de control neuro- difuso en un centro de control y monitoreo de tráfico vehicular centralizado para la ciudad de Puno. [Grado, Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/6803>
- Hall, T. (2021). Universidad EAFIT. Cómo funcionan los semáforos?. <https://www.eafit.edu.co/ninos/reddelaspreguntas/Paginas/como-funcionan-los-semaforos.aspx>
- Jacobo, A. (2015). Sistema de Semáforos Inteligentes Utilizado Sensores de Presencia. Aplicaciones de la Ingeniería, 2(3), 147-152.

[https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Aplicaciones\\_de\\_la\\_Ingenieria/vol2num3/Aplicaciones\\_de\\_la\\_Ingenieria\\_Vol2\\_Num3\\_3.pdf](https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Aplicaciones_de_la_Ingenieria/vol2num3/Aplicaciones_de_la_Ingenieria_Vol2_Num3_3.pdf)

Lema, C. P. (2012). Regulación de las cuatro fases de los ciclos de los semáforos de un cruce urbano mediante un algoritmo basado en recocido simulado. XX Jornadas ASEPUMA – VIII Encuentro Internacional, 20, 103. <https://acortar.link/wuBOEd>

Massón, A. (2019, febrero 4). Movilidad sostenible, apuesta urgente. Diario Los Andes. <https://www.diariolosandes.com.ec/movilidad-sostenible-apuesta-urgente/>

Méndez, N. (2021). Ventajas y Desventajas de la Simulación. Universidad de Salamanca. [https://cidta.usal.es/cursos/simulacion/modulos/cursos/uni\\_02/u2c4s3.htm](https://cidta.usal.es/cursos/simulacion/modulos/cursos/uni_02/u2c4s3.htm)

Monterrey, Á., & Sosa, C. (2020). Diseño de un sistema de semaforización inteligente para controlar flujo vehicular a partir de procesamiento de imágenes [Grado, Universidad Piloto de Colombia]. Repositorio Institucional. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/9865>

Morales, R., & González, J. (2013). Control del tráfico vehicular por medio de semaforos inteligentes [Grado, Universidad Rafael Urdaneta]. <https://pdfcoffee.com/semaforo-pdf-arduino-unlocked-5-pdf-free.html>

Narvaez, Y. (2007). Análisis y control de tráfico vehicular en zonas críticas de la ciudad de Quito, mediante simulación [Maestría, Escuela Politécnica Nacional]. BIBDIGITAL. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19506>

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).