



Diseño metodológico de un sistema de semáforos inteligentes para la reducción de tráfico vehicular

Leonardo Andrés Gutiérrez Daza & Daniel Alejandro Angulo

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Caribe. Barranquilla, Colombia.

leonardo.gutierrez1@uac.edu.co, daniel.angulo1@uac.edu.co

Recibido: Septiembre 08, 2022

Recibido en su versión corregida: Octubre 23, 2022

Aceptación: Octubre 31, 2022

<https://doi.org/10.54606/Sextante2022.v27.02>

Cómo citar: Gutiérrez Daza, L. A., Angulo, D. A. (2022). Diseño de sistema de semáforos inteligentes para reducción de tráfico vehicular. Revista Sextante, 27, pp. 10 - 17, 2022.

Resumen

El presente artículo se propuso desarrollar la implementación de una red de semáforos sobre un sector ausente de ellos, debido a la generación de embotellamientos por falta de control vehicular. Para ello se desarrolló un sistema automático encargado de regular el flujo de vehículos de acuerdo con los requerimientos; esto se generó al observar qué variables se deben tener en cuenta. Por tanto, se empleó una metodología práctica para la toma de flujo vehicular en las calles de interés. Dicha metodología consistió en alimentar el software de mando haciendo el respectivo control, que es regulado en tiempo real; por otro lado, este realiza predicciones de acuerdo con el flujo obtenido en la semana anterior, con el fin de determinar los tiempos de marcha y paro de los semáforos. La programación se realizó por medio del lenguaje PYTHON, se empleó un Framework llamado FLASK, que determina la parte visual y analítica del desarrollo. La lógica programada se desarrolló con PLC, el cual se encargó de la parte del funcionamiento, esto es el encendido, el apagado, la toma de datos en tiempo real y seguridades del hardware de los semáforos. Con ello se obtuvo una interfaz capaz de interpretar el flujo vehicular y establecer los tiempos requeridos para una reducción de tráfico vehicular.

Palabras clave: Ecuación de tráfico; Flujo; Framework flask; Lógica programada; Semáforos; PLC; Python; Toma de datos en tiempo real.

Methodological design of an intelligent traffic light system for the reduction of vehicular traffic

Abstract

In this article, it has proposed to develop the implementation of a traffic light network in a sector that lacks them, increasing the lack of control of vehicular flow that generates traffic jams. For this, an automatic system will be developed, which is responsible for regulating the flow of vehicles following the requirements. This will be generated by analyzing which variables have to be considered. Making a practical methodology for taking vehicle flow in the streets of interest to feed a software, which will be responsible for making such management, regulating in real-time, and making predictions according to the flow obtained in the previous week to determine the start and stop times of the traffic lights. Programming was done through the PYTHON language using a Framework called FLASK, which will be in charge of the visual and analytical part of the development. The programmed logic was developed with a PLC, which will be in charge of the operation, on, off, data collection in real-time, and security of the traffic lights hardware, thus obtaining an interface capable of interpreting the vehicular flow and establishing the times required for a reduction of vehicular traffic.

Keywords: Flow; Framework flask; Programmed logic; PLC; Python; Traffic lights; Traffic equation; Real time data acquisition.



1. Introducción

Todo país presenta un problema de flujo en sus calles y carreteras. Esto se ve reflejado en las congestiones vehiculares que propician las horas pico. Esto plantea una serie de problemas de toda índole, puesto que tales congestiones originan un comportamiento en las personas que se dirigen a sus trabajos y casas, trayendo consigo pérdidas económicas (Maya, 2021), ya sea en combustible o en servicios de transporte, o la generación de un gasto adicional al gobierno en el área de salud por la cantidad de agentes contaminantes que produce un vehículo al estar estacionado con el motor encendido. Como también la generación de una conducción agresiva en los conductores, lo que equivale a un comportamiento inadecuado del motor, produciendo una combustión incompleta, emitiendo más contaminantes a la atmosfera (Morocho, 2020). Sobre todo, esta problemática urbana desarrolla una alta congestión vehicular: accidentes automovilísticos que pueden atentar contra la vida de los conductores, como los de los peatones que circulan por dicha ruta (Ruiz, 2016).

Para ello se han buscado alternativas que alivianen el problema, por ejemplo, la construcción de puentes para evitar los cruces de calles, la construcción de vías alternas, un sistema de transporte público que pueda hacer que las personas no utilicen sus autos, la construcción de segundos pisos en las calles, la sincronización de los semáforos, los semáforos inteligentes que se adaptan automáticamente al tráfico etc. Dicho esto, la siguiente investigación se enfocó en los semáforos, puesto que son unos de los elementos cruciales para una logística vehicular y control de tráfico.

Estos se han definido como dispositivos de señalación que regulan la circulación de vehículos y peatones en las vías, asignando el derecho de paso de vehículos y peatones secuencialmente por las indicaciones de luces de color rojo, amarillo y verde, operadas por un control de tráfico electrónico.

En el presente artículo se empleó una metodología práctica (descrita con mayor detalle en el apartado #3, donde se explica el método implementado para el desarrollo de este, dividido en distintos ítems que describen una fase práctica, una fase de análisis de datos y una fase de desarrollo de lógica electrónica).

Esto debido a que los semáforos que se encuentran instalados en la ciudad están en labor desde hace más de 20 años (Bayuelo, 1991), uno que otro ha sido reemplazado, otros han sido instalados más recientemente, pero a pesar del tiempo la tecnología que estos presentan no es muy significativa, como es el caso que desde el 2010 hay unos sectores de la ciudad que presentan semáforos inteligentes (Tiempo, 2010; Heraldo, 2012); entre ellos se pueden clasificar los semáforos totalmente accionados, semáforos parcialmente accionados, semáforos ajustados al tráfico, donde cada uno tiene su propio control basado en su aplicación. De acuerdo con Franco (2008), para la instalación de semáforos no es aconsejable establecer valores mínimos. En cambio, se ha de tomar las variables de

tráficos de las cuales destacan: volumen vehicular, tránsito cruzado, volumen en horas máximas, circulación de peatones, fluctuaciones de tránsito, etc. Como se muestra en la Sección 2 del estado del arte, donde se determinan las variables y formulas a utilizar para el análisis y la programación del sistema. Los semáforos inteligentes instalados para la ciudad de Barranquilla están categorizados por reducción del tiempo de acuerdo con la prioridad del peatón y del sistema de transporte público Transmetro respectivamente, funcionando de forma tal que el peatón presiona un pulsador que manda una señal al semáforo reduciendo el tiempo de la señal lumínica verde, con esto se permite el paso al peatón. Por su parte, el semáforo inteligente utilizado en la línea del Transmetro, funciona con un dispositivo de radio que se instala en los buses; esta manda una señal a los semáforos de la vía principal por la que circulen logrando que reduzca su tiempo de espera.

No obstante, no en todas las calles se pueden encontrar dichos semáforos; además, la red electrónica de los semáforos instalados sea o no inteligentes, solo abordan unos pocos problemas de los que usualmente presentan en el momento de máximo flujo vehicular; de hecho, aún hay intercepciones en Barranquilla que no cuentan con una red de semáforos, aumentando el problema de congestión en zonas de la ciudad. A pesar del avance que ha tenido la ciudad de Barranquilla en el ámbito de infraestructura vial, en la ciudad aún se presenta un problema de tráfico vehicular, este problema no es una sorpresa, puesto que, como anterior mente se dijo, hasta los países más desarrollados presentan este problema como consecuencia del crecimiento de la población, el aumento de la compra de vehículos debido a los bajos costos actuales de fabricación que los vuelve más accesibles, las constantes reconstrucciones de vías y mantenimiento de estas.

Por tanto, para este artículo se plantea un diseño para una red de semáforo inteligente capaz de identificar el flujo vehicular en tiempo real y modificar el tiempo de las señales lumínicas de acuerdo con ello, esto busca disminuir varios problemas de congestión al tiempo.

Este artículo presentó el desarrollo de un sistema de semáforos para la instalación de este. En otras palabras, se busca la optimización de tiempos y obtener un flujo constante de los sentidos de la vía, para ello se realizó una búsqueda bibliográfica de programación e instalación de los distintos semáforos; por ejemplo, en la Sección 3 se describen las ecuaciones para determinar el flujo de vías basado en la densidad vehicular, además de describir la metodología a implementar. La diversidad de cruces que se pueden dar por las distintas vías provoca que en la zona central de estos se presenten atascamientos. El proyecto que se elaboró trae consigo beneficios en el área de gestión vehicular, de seguridad vial, disminución de gases contaminantes, entre otros. Lo anterior, debido que al implementar semáforos en el bulevar (ver [Figura 1](#) y [2](#)) se consigue un flujo vehicular controlado, lo que reduce la contaminación auditiva, estrés y posibles accidentes (Ramírez, 2005; Oscar, 2016; Escoto-Sotelo, 2017).

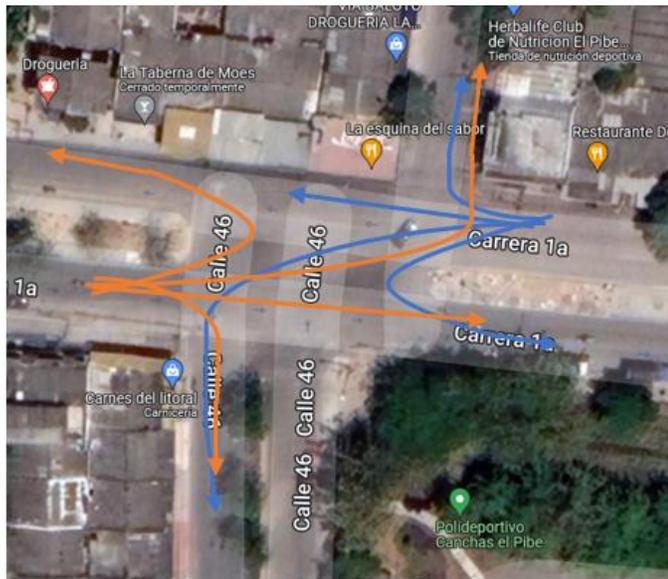


Figura 1. Cruce dados entre carrera 1A.

Fuente: Los autores.



Figura 2. Cruce dado entre calle 46.

Fuente: Los autores.

En otras palabras, cada vehículo va a tener su tiempo estipulado para hacer su debido cruce sin que ningún vehículo ubicado transversalmente a estos los interrumpa.

Por otro lado, al implementarlos se haría una modificación en la calle que obligaría al Ministerio de Transporte a aumentar el señalamiento de cruces peatonales para la seguridad de ellos. Como también se propone un sistema de semáforos autónomos que serían replicados en otras intercepciones, con el fin de actualizar los semáforos de Barranquilla, que llevan más de 25 años de uso.

2. Estado del arte

Se establecen el control de los parámetros de los semáforos con base a un estudio estadístico diseñado por Webster, en Inglaterra durante los años 60, que es el más usado en la mayoría de los países para la instalación de

semáforos. Por su parte, Menéndez propone actualizar el método aplicado en Cuba, de una década atrás a la de Webster, al usar el método estadístico Poisson (María Liliana Alba Menéndez, 2013), que ha sido usado por Fonseca en su trabajo para la programación de semáforos en hora pico, junto a la lengua de programación C++. Esto con el fin de trazar estrategias metodológicas orientadas por parte del Centro Nacional de Ingeniería de Tránsito, que regular el diseño de las temporizaciones semaforicas y el aumento de la calidad de la operación en las redes viales (Fonseca Guilarte, 2014). Por su parte Domínguez plantea una actualización computacional usando el método LQM, basado para la optimización de flujos. Esta emplea ecuaciones diferenciales, además de un método de Recorrido Simulado, como técnica de optimización, dado que el problema analizado es no-convexo, es decir la función objetivo puede presentar varios mínimos (o máximos) locales (Domínguez & Hugo, 2016).

El control de los semáforos ha sido una prioridad en cuestión de flujo y movilidad de los vehículos a medida que aumenta la población y las ciudades se van volviendo cada vez más grandes. Por tanto, ya no se puede contar únicamente con una programación preestablecida para los semáforos, sino lograr que este varíe con respecto a la densidad de tráfico por sección de horario, (Bances, Navarro, Armando) donde se ha aplicado inteligencia artificial para mitigar tanto el tráfico como la generación de gases contaminantes, para ello se utilizaron los siguientes instrumentos: sensores, cámaras y uso de programación, logrando hacer un sistema más autónomo; con este se abandonaron los sistemas manuales de cambio de parámetros de los semáforos (Molina-Navarro, 2016; Jacobo, 2015; Bances Santamaría, 2014). Se conoce que para la programación de los semáforos se usa lógica programada como lo es en sistema de PLC, Microcontrolador PIC y Raspberry pi.

Machada propone el uso de microcontroladores por Arduino, con ayuda del software Matlab, el cual envía imágenes digitales de la densidad del tráfico vehicular, este determina y el Microcontrolador cambia la duración de la luz verde, dada para cada carretera según el número de vehículos existentes en la vía de tránsito.

Sin embargo, Morales diseñó una metodología que combina la lógica programada de sistema Raspberry Pi con los microcontroladores Arduino, programado de manera inteligente con algoritmos para la toma de decisiones en el área del control de tráfico vehicular (Ninacansaya, 2016) (Rafael José Morales Linares, 2013).

Por otro lado, Gonzales propone el uso de programas de simulación (ProModel), que se introducen los valores de las variables contempladas en la situación actual como lo son: tiempos de ciclos de los semáforos, los desfases de tiempos entre estos, entradas promedio de vehículos al circuito, entre otras (Restrepo, 2010). Para ello se realizó la toma de datos presencial del flujo de vehículos en una calle en específico, transcribiéndolos después al programa de simulación. Para ser comparados con datos teóricos

tomados de la “Teoría de Colas”, lo cual concluyó en que el modelo teórico demostró que las colas del sistema se encontraban colapsadas, esto se debe a que la tasa de entrada es mayor que la tasa de servicio del sistema.

Para afirmar la posición de un semáforo antes de ello se ha de conocer cómo es el flujo vehicular que pasa por la zona de estudio, esto busca conocer si es factible o no la instalación de estos. Para ello se presentan características y comportamientos que ayudan al análisis de una red vehicular que se puede describir con ecuaciones físicas y matemáticas, obteniendo con ello modelos microscópicos o macroscópicos (Caicedo, 2014).

Para la comprensión de lo anterior se tiene en cuenta la teoría del flujo de tráfico, la cual ayuda a comprender los comportamientos dinámicos e interacciones entre las principales variables que definen un tráfico en sentido lineal: velocidad, densidad y flujo (Cárdenas, 2007). La aplicación de esta teoría va dirigida hacia el diseño de vías, como para la gestión de tráfico, realizando la ubicación de nuevos semáforos, la reubicación de estos o corrección de temporizadores de estos. Para el análisis se definen las principales variables fundamentales (Tarquino, 2011).

• **Densidad (ρ):** es la cantidad de vehículos presentes en un segmento de la vía y puede asociarse con la concentración vehicular. Generalmente se expresa en vehículos por kilómetro (veh/Km) o en vehículos por kilómetro por carril ($veh/km/carril$).

• **Flujo (q):** cantidad de vehículos que circulan por un determinado punto de la vía. Se expresa en vehículos por hora (veh/h).

• **Velocidad (v):** relaciona la distancia recorrida en una unidad de tiempo y normalmente se expresa en kilómetros por hora (Km/h). La velocidad puede diferir entre cada vehículo, por tanto, es común trabajar con valores promedio, temporales o espaciales. La velocidad media temporal está definida por la Ecuación 1:

$$v_t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (1)$$

Donde n es el número de vehículos que pasan por un punto de la vía y v_i es su velocidad.

Asimismo, la velocidad media espacial se define como se muestra en la Ecuación 2:

$$v_s = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{v_i}} \quad (2)$$

Considerando el modelo de i como se muestra en la Ecuación 3:

$$i = \frac{L}{t_i} \quad (3)$$

Donde L es la longitud de la vía y t_i es el tiempo que tarda el vehículo i en recorrer, entonces es posible expresar la Ecuación 2 como la Ecuación 4.

$$\bar{v}_s = \frac{nL}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (4)$$

El flujo se puede definir de dos maneras (Caicedo, 2014).

- Flujo ininterrumpido: regulado por otros vehículos (nivel de congestión) o por las interacciones vehículo-vía.
- Flujo interrumpido: regulado por señales externas como semáforos.

La que para este artículo se ha de tomar un flujo interrumpido, definido como una relación entre la velocidad y la densidad (ver Ecuación 5).

$$q = \rho \bar{v}_s \quad (5)$$

De acuerdo con B. Greenshields (B. Greenshields, 1935), el cual fue uno de los pioneros en el estudio del tráfico, explica la relación de velocidad media espacial, flujo y densidad de vehículos en una vía.

Con lo cual se obtiene una aproximación lineal entre la velocidad y la densidad dada por la Ecuación 6:

$$(\rho) \bar{v}_s = v_m - \left(\frac{v_m}{\rho_m}\right) \rho \quad (6)$$

Ya teniendo un comportamiento lineal del tráfico en una vía, y definido las variables fundamentales como lo son velocidad, densidad y flujo se puede establecer los parámetros necesarios para realizar un estudio de campo; esto determinará el flujo del tráfico por horas, para definir el tiempo de cada color del semáforo

3. Metodología

En el siguiente apartado metodológico se explicó los métodos de control que se realizaron para el desarrollo del proyecto: toma de datos y análisis de datos figura (ver Figura 3), donde se explicó, a través de un flujograma, la secuencia a seguir en los bloques principales. Cada uno de ellos tiene unos parámetros a seguir para el cumplimiento de estos; a partir de lo anterior se obtienen los datos de tiempo que se requieren para la programación del sistema electrónico.

3.1. Parámetros de obtención de datos.

Determinación de zona

En este inciso se escogió el sector de estudio, para ello se determinó el flujo de vehículos que transitan por las vías cercanas a estos para establecer el tamaño de muestra, además se tomó la distancia desde el semáforo ubicado en la calle 45 hasta la calle 46 (ver Figura 2), es decir sentido sur-norte, la cual, por medio de Google Mas, se estableció que eran 350 metros; para facilidad de la medición se tomó la misma medida para el sentido norte-sur, debido a que este no tiene semáforos a distancias cercanas.

Toma de datos (ver Figura 3)

Para el segundo inciso, se deben definir el tamaño de muestra a evaluar en las distintas horas de la práctica, y para definir estas horas se van a escoger las horas de mayor flujo, debido a que es el comportamiento más tranquilo de flujo. Para la toma de datos se necesitan diferentes instrumentos entre ellos:

- A) Conos, se ubican en el comienzo y final del tramo.
- B) Cronómetros, se establece el tiempo de las muestras en transcurrir del cono A al cono B.
- C) Contador, instrumento para realizar conteo de muestra.

Análisis matemático

Se establecieron las variables y constantes con base a las ecuaciones generales de tráfico, determinadas en la sección anterior, las ecuaciones son transcritas en un programa por el cual se nos facilitó la obtención de los resultados y nos arrojó el comportamiento del flujo y el tiempo óptimo para cada señal de color de los semáforos.

3.2. Sistema PY

Posteriormente, se realizó la programación en sistema PLC, figura (n), el cual funciona con una distribución de tiempos por sección horaria. En cada tiempo de semáforo se distribuyeron como “momentos” (ver Figura 4). En primera instancia se sustrajeron los datos correspondientes a 1 semana, obtenidos de la toma de campo, corroborando que los datos son idóneos y no tienen alguna falla por

comunicación o fallos del sistema, si estos datos no son correctos se procede a tomar los datos predeterminados para evitar conflictos en el sistema. Al corroborar los datos y tener todos los datos idóneos se procedió a generar los cálculos para obtener los tiempos de marcha y paro de los “momentos”, una vez el sistema corroboró que los cálculos estimados son correctos se procedió a dar la orden de inicio a los momentos del PLC.

Una vez obtenida la confirmación de inicio del momento inicial por parte del PLC, se dio la orden de encendido al temporizador, en simultaneidad se tomaron los datos en tiempo real.

Una vez culminado el tiempo estipulado para el momento, se envió la orden de finalización del momento presente, al recibir la confirmación de culminación se procedió a guardar la información obtenida en la base de datos y en simultaneidad se envió la orden de inicio al siguiente “momento” al PLC repitiendo el proceso entre cada momento, generando un ciclo de sistema.

3.3. Proceso de desarrollo PLC

El equipo inició con valores por defecto para generar los cálculos base, una vez iniciado el proceso de seguridad para determinar que el sistema se encuentra “OK”, el sistema quedó a la espera del inicio del “momento”. Una vez obtenida la orden de inicio del “momento” por parte del sistema PY se procedió a encender los relevos indicadores correspondientes a cada “momento”, al tener confirmación de encendido por parte de los relevos se envió la confirmación de inicio al sistema PY, en simultaneidad se enviaron constantemente los datos obtenidos en tiempo real, los cuales generan los nuevos cálculos.

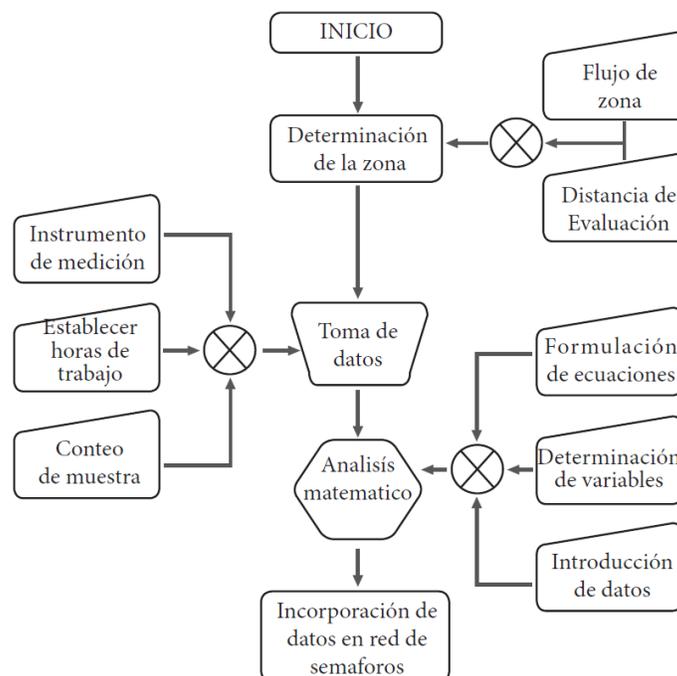


Figura 3. Flujograma metodología aplicada para toma de datos.
Fuente: Los autores.

Se recibió la orden de culminación del momento y se procedió a desactivar los relevos concernientes a dicho “momento”, una vez recibida la confirmación por parte de los relevos se envió la orden de culminación del momento activo al sistema PY, quedando a la espera para el inicio del “momento” siguiente; cabe resaltar que dicho sistema contiene seguridades para evitar fallos y accidentes por parte del hardware, garantizando el óptimo funcionamiento del ciclo de control.

La toma de datos se realizó en el lapso de una semana, a través de un coteo vehicular de acuerdo con el ciclo del horario, este se ejecutó en 3 días de la semana laboral y en 2 días del fin de semana en la ruta de la carrera 1A sentido Sur-Norte (ver [Figura 1](#)), obteniendo el siguiente cuadro donde se representa la cantidad de vehículos que cruzaron por el bulevar por hora.

En [Figura 4](#) se aprecia que los mayores picos de tráfico se encuentran en las llamadas horas pico, con base a esto se dispuso a hacer el estudio en franja horaria más significativa, es decir a aquellos donde hay mayores puntos cercanos a la línea de tendencia que para este estudio ronda desde las 11 a.m. hasta las 4 p.m. Para la toma de datos de las variables de interés se fragmentó dicha franja en 2 partes. La primera parte corresponde a las horas de mayor tráfico que, de acuerdo con el gráfico, oscilan entre las 11 a.m. y las 1 p.m. De igual modo, se tomó las horas de menor flujo entre las 2 p.m. y las 4 p.m.

Se realizó el mismo conteo vehicular, pero en este caso fue para el sentido contrario de la carrera 1A; es decir, sentido Norte – Sur en donde se obtuvieron los valores mostrados en la [Figura 5](#).

Para este sentido de la vía se destacó que donde se encuentra mayor flujo vehicular son entre las 7 y 8 de la mañana, y entre las 5 hasta las 7 de la noche, dejando al resto de horas con un flujo promedio. Por lo que, para el estudio, se tomaron 3 de las horas promedios y 3 de las horas de mayor flujo.

4. Resultados

De acuerdo con la toma de datos de ambos sentidos de la vía, y con base a las horas establecidas, se realizó un conteo general con una muestra de 60 vehículos distribuidos en las franjas previamente descritas. Luego se definió una distancia de 350 metros antes del cruce, de ahí se evaluaba un vehículo y se registraba el tiempo que le tomaba recorrer dicha distancia; y por la variedad de segundos se establecieron intervalos de 5 segundos con un valor máximo de 30 segundos, que fue el tiempo máximo alcanzado en la muestra. Para el análisis de datos se establecieron unas tablas de frecuencias las cuales corresponden a la [Tabla 1](#) y [Tabla 2](#).

Acto seguido, se hizo la toma de datos en las respectivas horas, tomando como referencia la distancia entre el semáforo de la calle 45 hasta la esquina, para implementar el semáforo en la calle 46, dando como resultado una

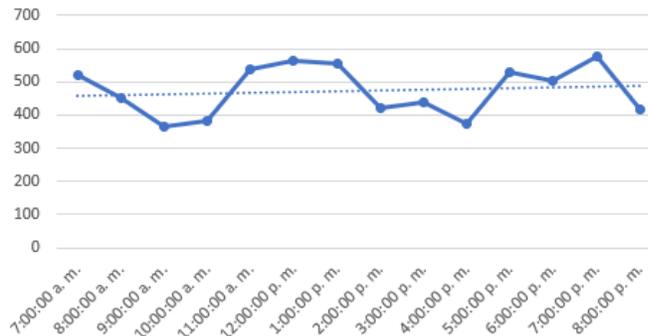


Figura 4. Demanda horaria de tráfico.

Fuente: Los autores.



Figura 5. Demanda horaria de tráfico sentido Norte - Sur.

Fuente: Los autores.

Tabla 1. Sentido Sur-Norte

Intervalos (s)	Muestra (x)	Distancia (m)	Frecuencia
(0 - 5)	3	350	0,05
(6 - 10)	20	350	0,333333333
(11 - 15)	15	350	0,25
(16 - 20)	14	350	0,233333333
(21 - 25)	5	350	0,083333333
(26 - 30)	3	350	0,05
	60		1

Fuente: Los autores.

Tabla 2. Sentido Norte-Sur.

Intervalos (s)	Muestra (x)	Distancia (m)	Frecuencia
(0 - 5)	2	350	0,033333333
(6 - 10)	14	350	0,233333333
(11 - 15)	26	350	0,433333333
(16 - 20)	12	350	0,2
(21 - 25)	5	350	0,083333333
(26 - 30)	1	350	0,016666667

Fuente: Los autores.

distancia de 350 metros. Por consiguiente, se tomó una muestra de 60 vehículos, donde se puede apreciar que el tiempo de recorrido más recurrente para el sentido Sur-Norte es de 6 a 10 segundos, y para el tramo de Norte-Sur es de 11 a 15 segundos.

5. Conclusión

Teniendo en cuenta la poca información recopilada en el tiempo de investigación se logró establecer las horas de

mayor flujo vehicular, y con ello un estimado del tiempo que requiere un vehículo para poder pasar por la intercepción. Asimismo, el funcionamiento preliminar del sistema, que determinará el flujo vehicular en las distintas horas del trayecto basado en un comportamiento vehicular lineal, donde se espera una pendiente positiva en horas pico y una pendiente negativa en horas valles. Asimismo, y con base al flujo, el sistema del semáforo establecerá un tiempo adecuado para cada señal lumínica de este, esperando con esto disminuir el tráfico generado en las distintas horas.

6. Recomendaciones

En primer lugar, realizar un mayor número de mediciones; intentarlo en otra zona de la ciudad, como la implementación de otro modelo de tráfico para aumentar la precisión de los datos obtenidos explicados en el estado del arte. Para mayor garantía del rendimiento que trae consigo la implementación del modelo de semáforos, se recomienda utilizar un simulador de tráfico con el que se evalúe el comportamiento actual del tráfico y cómo cambiaría al implementar semáforos en la zona.

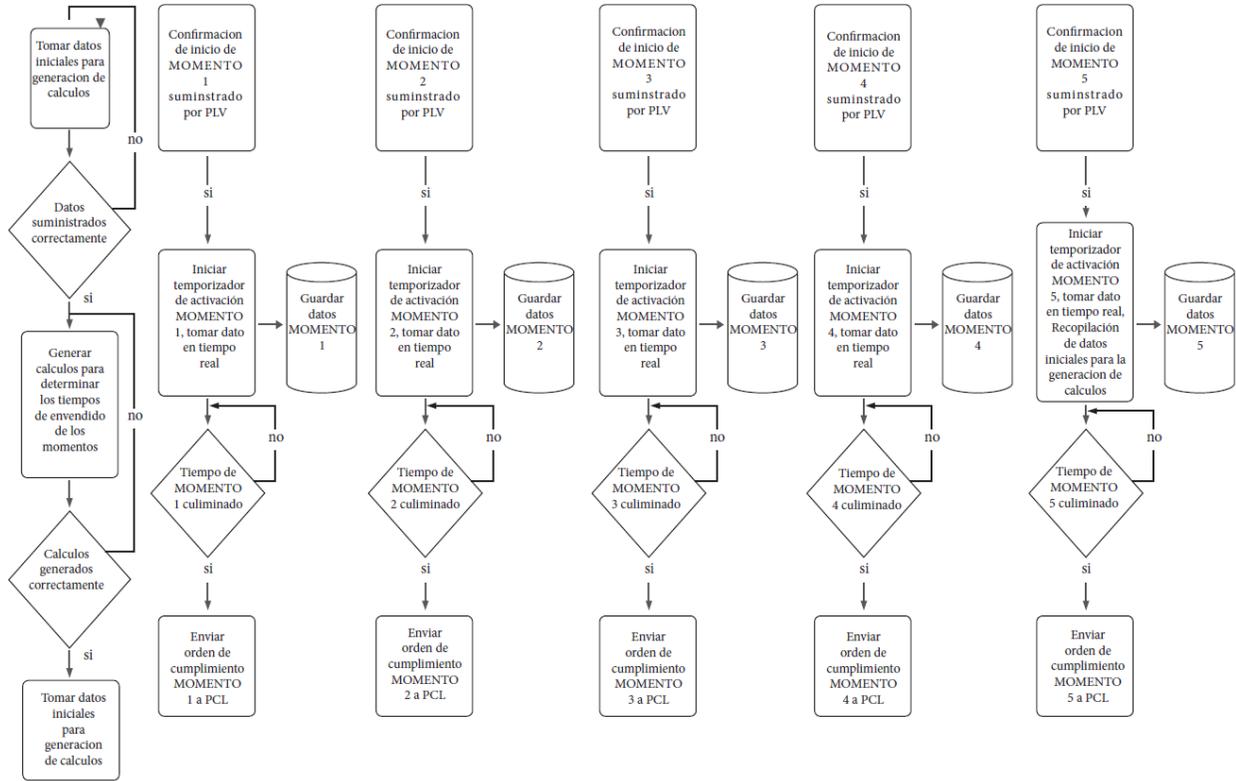
Referencias

- [1] A. C. - S. S. - F. G. Z. - F. B. Maya, «*BID*,» *MoviliBlog*, 17 junio 2021. [En línea]. Available: <https://blogs.iadb.org/transporte/es/cuanto-nos-cuesta-la-congestion-en-america-latina-y-el-caribe/>.
- [2] O. E. B. C. - J. L. F. MOROCHO, «ANÁLISIS DEL ESTILO DE CONDUCCIÓN DE UN VEHÍCULO CHEVROLET AVEO MEDIANTE EL ESTUDIO DE SEÑALES PID'S PARA LA DETERMINACIÓN DE SU INFLUENCIA EN LAS EMISIONES CONTAMINANTES EN LA CIUDAD DE CUENCA,» UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, CUENCA, 2020.
- [3] A. N. H. José Ignacio Ruiz1, «Accidentes de tránsito con heridos en Colombia según fuentes de información: caracterización general y tipologías de accidentes,» *Revista CES Psicología*, vol. 9, nº 1, pp. 32 - 46, 2016.
- [4] Y. D. BAYUELO, «BARRANQUILLA: LUZ ROJA A SEMÁFOROS,» *EL TIEMPO*, 06 agosto 1991.
- [5] E. Tiempo, «Barranquilla: Inauguración de semáforos inteligentes,» *El Tiempo*, 03 mayo 2010.
- [6] E. HERALDO, «Entra en funcionamiento sistema de semáforos prioritarios para Transmetro,» *HERALDO*, 04 septiembre 2012.
- [7] L. Franco, «Aplicación de Simulación en el Control de Tráfico, una Propuesta para Ciudad del Este,» *ARTÍCULOS CIENTÍFICOS – INFORMÁTICA*, nº 4, pp. 75 - 82, 2008.
- [8] D. J. RAMÍREZ, «SIMULACIÓN Y CONTROL DE TRÁFICO VEHICULAR POR SEMAFORIZACIÓN,» Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, 2005.
- [9] O. T. V. OSCAR, «EVALUACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO POR ANÁLISIS DE TRAFICO EN LA INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA MARISCAL CASTILLA – JULIO SUMAR EL TAMBO, 2015,» UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DE PERÚ, Huancayo, 2016.
- [10] E. A. * Z.-R. J. M. B.-M. O. y B.-P. J. C. ESCOTO-SOTELO, «Detección y mejora de tiempos en el flujo vehicular con semáforo inteligente controlador de tráfico para disminuir las emisiones de CO2,» *Revista de Ingeniería Innovativa*, vol. 1, nº 1, pp. 1-8, 2017.
- [11] O. H. M. María Liliana Alba Menéndez, «Comparación de dos métodos de diseño para ciclos de semáforos,» *RCI*, vol. IV, nº 1, pp. 41 - 49, 2013.
- [12] G. S. P. F. S. A. A. G. B. A. Orlando Fonseca Guilarte1*, «Una herramienta para simular y analizar el flujo de tráfico en un cruce regulado por semáforos con tiempos de ciclos variables,» *SciElo*, vol. 8, nº 1, 2014.
- [13] C. V. H. Domínguez Patricia Neri, «Un enfoque de optimización para el control de semáforos,» de XII Congreso de Ingeniería del Transporte, Valencia, 2016.
- [14] A. Z.-C. S. R.-P. M. y L.-L. E. MOLINA-NAVARRO, «Los semáforos inteligentes en la logística urbana sustentable,» *Aplicaciones de la ingeniería*, vol. 3, nº 9, pp. 26-33, 2016.
- [15] A. JACOBO, «Sistema de Semáforos Inteligentes Utilizado Sensores de Presencia,» *Aplicaciones de la Ingeniería*, vol. 2, nº 3, pp. 147-152, 2015.
- [16] M. F. R. M. María Violeta Bances Santamaría1, «SEMÁFOROS INTELIGENTES PARA LA REGULACIÓN DEL,» *Ingeniería: Ciencia, Tecnología e*, vol. 1, nº 1, pp. 37 -45, 2014.
- [17] A. R. M. NINACANSAYA, «ANALISIS Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TRAFICO VEHICULAR UTILIZANDO SEMAFOROS INTELIGENTES CON TECNOLOGÍA ARDUINO,» UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO, Puno-Perú, 2016.
- [18] J. J. G. S. Rafael Jose Morales Linares, «Control de tráfico vehicular por medio de semáforos inteligentes,» Universidad Rafael Urdaneta, Venezuela, 2013.
- [19] E. J. S. A. MAURICIO GONZÁLEZ RESTREPO, «APLICACIÓN DE TEORIA DE COLAS EN LOS SEMAFOROS PARA MEJORAR LA MOVILIDAD EN LA CARRERA 7 ENTRE CALLES 15 Y 20 DE LA CIUDAD DE PEREIRA,» UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, Pereira, 2010.
- [20] C. R. P. Caicedo, «Desarrollo de un modelo dinámico de tráfico multimodal (automóviles articulados, peatones y bicicletas) con fines de control,» Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2014.

[21] R. M. a. J. Cárdenas, *Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y Aplicaciones*, Bogotá: Alfaomega, 2007.

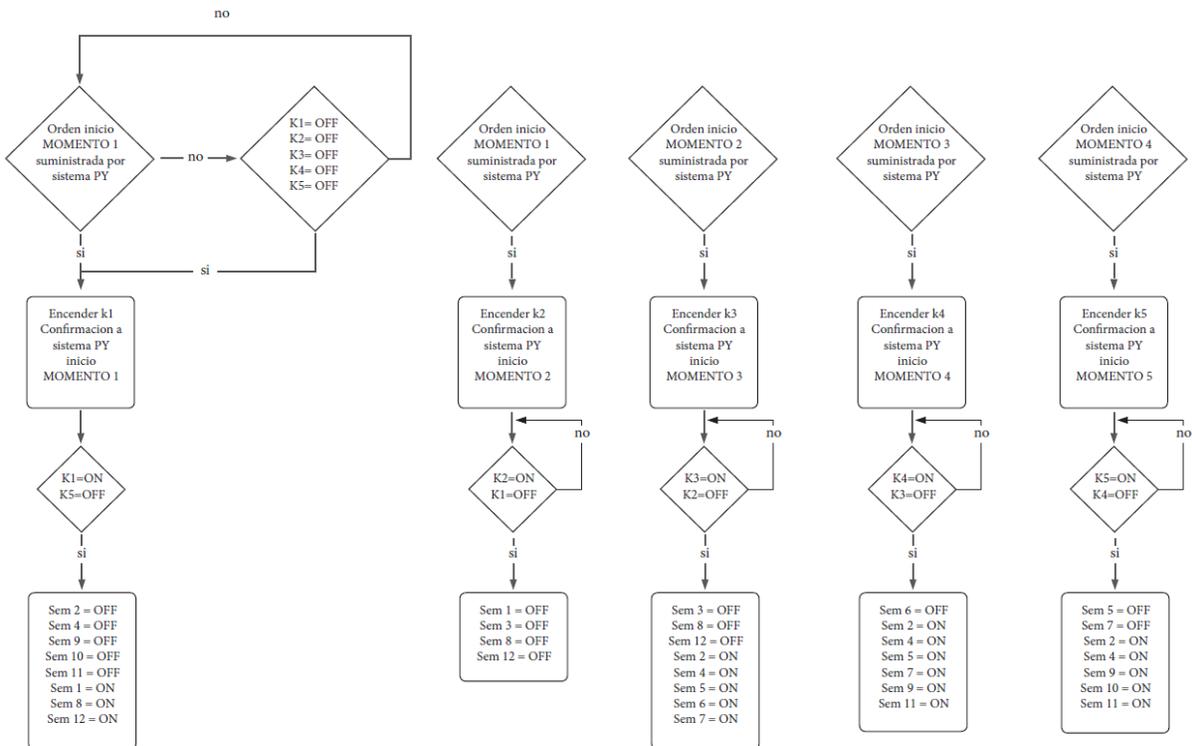
[23] J. B. W. C. a. H. M. B. Greenshields, «A Study in Highway Capacity,» *Highway Research Board Proceedings*, vol. 14, pp. 448-477, 1935.

[22] F. Tarquino, «Simulación Microscópica de Tránsito para Coordinación de Semáforos en Progresión en vías Congestionadas de Lima Metropolitana,» 2011.



Anexo 1. Diagrama de flujo sistema PY.

Fuente: Los autores.



Anexo 2. Diagrama de flujo lógica PLC.

Fuente: Los autores.