

Optimización del Control de Tráfico Urbano mediante un Sistema de Semaforización
Inteligente Basado en Sensores y Análisis en Tiempo Real

Estudiantes:

Nicolas Santiago García Ossa

Luber Fandiño Chito

Corporación Universitario Comfacaucá – Unicomfacaucá
Facultad de ingeniería
Popayán – Cauca
2025

Contenido

Resumen	3
Palabras clave	4
Problema.....	5
Pregunta de investigación.....	7
Justificación	8
Objetivo general.	9
Objetivos específicos.....	9
Marco de referencias	10
Metodología.....	14
Cronograma de actividades	19
Presupuesto	20
Resultados esperados.....	21
Productos esperados	22
Conclusiones.....	23
Bibliografía.....	24

Resumen

La expansión urbana y el incesante incremento de vehículos han desbordado los esquemas tradicionales de gestión del tráfico, generando congestiones notables, mayores retrasos, más incidentes viales y un incremento significativo de la contaminación; los semáforos convencionales, operando bajo programaciones horarias rígidas, resultan insuficientes para responder a las fluctuaciones del flujo vehicular, lo que agrava los inconvenientes señalados. El objetivo central de este estudio consiste en investigar cómo la implementación de un sistema de semáforos inteligentes, dotados de sensores y capaces de analizar datos en tiempo real, podría optimizar sustancialmente la eficiencia del tráfico en entornos urbanos; para tal fin, se propone un enfoque que incluye la instalación de sensores en intersecciones clave, la recopilación y el procesamiento inmediato de información sobre el flujo de vehículos, y el desarrollo de algoritmos de control adaptativos para la regulación de los tiempos semafóricos. Se aspira a que esta estrategia conduzca a una disminución de los tiempos de espera en las intersecciones, una reducción de la congestión vehicular, una menor incidencia de accidentes y una merma en los niveles de contaminación gracias a una circulación más fluida; se anticipa que el análisis de datos posibilitará una mejora continua del sistema, ajustándose a las variaciones diarias y estacionales en los patrones de tráfico. En definitiva, la adopción de sistemas de semáforos inteligentes no solo perfeccionará la gestión del tráfico urbano al imprimirle mayor flexibilidad y adaptabilidad, sino que además contribuirá a mitigar los problemas derivados de la congestión y la contaminación, proporcionando una solución más sostenible y efectiva para la regulación del tráfico en urbes en expansión.

Palabras clave

Urbanización, aumento del parque vehicular, sistemas de control de tráfico, congestiones, tiempos de espera, accidentes, emisiones contaminantes, semáforos convencionales, tiempos fijos, semaforización inteligente, sensores, análisis de datos en tiempo real, eficiencia del tráfico urbano, intersecciones clave, algoritmos de control adaptativo, optimización continua, flujo vehicular, gestión del tráfico, sostenibilidad, control del tráfico.

Problema

En las principales ciudades colombianas, el control del tráfico se lleva a cabo mayormente con semáforos de toda la vida, esos que tienen tiempos fijos y no se adaptan al tráfico que cambia a cada rato. Popayán, como otras ciudades que están creciendo, ve cómo el tráfico se pone cada vez peor porque hay más gente y más carros. Este sistema de semáforos que no se adapta al momento genera trancones, contamina más y no aprovecha bien las vías.

En las horas de más movimiento, hay reportes de que uno se puede demorar hasta 40 minutos en un recorrido que normalmente tomaría 15, lo que muestra que el manejo del tráfico no es nada eficiente. Como los semáforos tienen tiempos ya definidos, a veces los carros se quedan parados en cruces donde no viene nadie por el otro lado, haciendo perder tiempo, gastando más gasolina y contaminando sin necesidad. Estas esperas largas no solo complican la vida de la gente, sino que también empeoran el aire y, a la larga, la salud de todos.

Una de las razones principales del trancón en Popayán es que no hay un sistema de semáforos que cambie los tiempos según cómo esté el tráfico en ese momento. Además, como los semáforos no están coordinados entre sí, los carros no pueden avanzar seguido, sino que tienen que parar y arrancar a cada rato, lo que hace que los viajes sean más largos, se gaste más gasolina y se emita más dióxido de carbono. El transporte público también sufre, ya que no tiene prioridad en los cruces, lo que lo hace menos eficiente y aleja a la gente de usarlo, haciendo que dependan más de sus carros y, por lo tanto, que haya más trancón.

Otro punto importante es que faltan tecnologías para saber cómo está el tráfico en tiempo real y ajustar los semáforos según esa información. Al no haber sensores, cámaras ni otras herramientas para recoger información en las vías, el sistema de control del tráfico no funciona bien y no puede reaccionar ante imprevistos como accidentes, construcciones o eventos especiales que cambian el tráfico normal. Si se implementara un sistema inteligente de gestión del tráfico, se podrían solucionar estos problemas, mejorando la toma de decisiones y ajustando los tiempos de los semáforos según lo que se necesite en cada momento.

Aparte de que la red de semáforos no se ajusta bien a los cambios, tampoco se le da preferencia a buses y ambulancias, que terminan parando donde deberían tener vía libre. Esto es clave para que todo funcione mejor y para llegar más rápido en urgencias. Y como la comunicación entre coches y semáforos (eso que llaman tecnología V2X) no va fina, el tráfico no se coordina como debería, algo que ayudaría mucho a moverse por la ciudad, sobre todo cuando más falta hace.

Si no ponemos al día los semáforos, la ciudad lo va a notar, y mucho. Los atascos de cada día nos cuestan dinero a todos: gastamos más en gasolina, el coche se estropea antes y perdemos horas que podríamos estar trabajando. Además, tanta humareda por el tráfico daña el planeta y nos perjudica la salud, provocando problemas de corazón y pulmones.

De no haber cambios en los semáforos, el trancón solo irá a peor, lo que sin duda golpeará la vida diaria, aumentará el mal humor al volante y le hará daño al bolsillo de la ciudad. Para colmo, si el tráfico sigue así, la ciudad no progresará, nadie querrá invertir donde es un lío moverse y la economía se quedará estancada. Además, habrá más choques, lo que pondrá más presión sobre los servicios de emergencia y los hospitales.

Poner al día los semáforos de Popayán, usando sistemas modernos que controlen el tráfico al instante, es clave para que sea más fácil moverse, haya menos contaminación y se aprovechen mejor las vías que ya tenemos. Instalar semáforos que cambien sus tiempos según cómo esté el tráfico en cada esquina, y darle prioridad a buses y ambulancias, es lo que toca para solucionar los problemas de hoy y prepararnos para que el transporte funcione bien en el futuro.

Pregunta de investigación

¿De qué forma el despliegue de un esquema de semáforos adaptativo e inteligente en la zona de los semáforos Palace de Popayán podría potenciar la fluidez del tráfico urbano, disminuir los atascos y aminorar el perjuicio ecológico, mientras se perfecciona el aprovechamiento de las vías y se fomenta un transporte público más eficaz?

Justificación

En Popayán, poner en marcha un sistema de semáforos inteligentes es clave para solucionar los graves trancones, las esperas larguísimas, la polución y los accidentes que tanto perjudican el movimiento en la ciudad y cómo viven sus ciudadanos. Los semáforos de siempre, con sus tiempos ya marcados, no reaccionan a los cambios en la cantidad de carros, lo que hace que el tráfico fluya mal, sobre todo en las horas de más movimiento. Pero, un sistema inteligente que use sensores y revise datos al instante sí puede cambiar los tiempos de los semáforos según lo que se necesite en cada cruce, y así el tráfico se reparte mejor. Esta mejora hará que esperemos menos, gastemos menos plata en gasolina y seamos más productivos al viajar más fácil, además de echar menos humo al aire, lo que ayuda a que respiremos mejor. Además, al manejar mejor el tráfico en los cruces más complicados, estaremos más seguros en las vías, bajando el peligro de accidentes y ayudando a los servicios de emergencia. Un sistema de semáforos que se adapta no solo hará que usemos mejor las vías que ya tenemos, sino que también ayudará a que buses y carros se lleven mejor, creando un ambiente más amigable con el planeta, fácil de usar y seguro para todos los que viven en la ciudad.

Objetivo general

- Para hacer que el tráfico vaya más fluido en las ciudades, se plantea poner en marcha un sistema de semáforos que sea más listo que los actuales, usando sensores, estudiando los datos al momento y con tecnología automática. La idea es que haya menos atascos, que no se espere tanto al volante, que haya menos accidentes y que el aire esté más limpio. Así, se busca que la gente sea más productiva, que las carreteras sean más seguras y que todos vivamos mejor en la ciudad.

Objetivos específicos

- **Identificar** las intersecciones más críticas en términos de congestión y accidentalidad en la ciudad de Popayán.
- **Desarrollar** un sistema de sensores y análisis de datos en tiempo real que permita ajustar los tiempos de los semáforos en función del volumen vehicular.
- **Evaluar** el impacto del sistema de semaforización inteligente en la reducción de tiempos de espera y congestión vehicular en las zonas seleccionadas.

Marco de referencias

El crecimiento acelerado de la población en las áreas urbanas, junto con el aumento del parque vehicular, ha generado una presión significativa sobre los sistemas tradicionales de control de tráfico. Estos sistemas, como los semáforos convencionales que operan con tiempos fijos, ya no pueden adaptarse adecuadamente a las variaciones en el flujo vehicular. Como consecuencia, muchas ciudades enfrentan graves problemas de congestión vehicular, tiempos de espera excesivos en intersecciones, un incremento en la frecuencia de accidentes y mayores emisiones contaminantes, lo que agrava la calidad de vida de los ciudadanos y el medio ambiente [1].

Ante esta situación, la implementación de sistemas de semaforización inteligente se presenta como una solución viable y efectiva para gestionar el tráfico en las ciudades modernas. Estos sistemas hacen uso de sensores, análisis de datos en tiempo real y tecnología de automatización para ajustar de manera dinámica los tiempos de los semáforos en función de la demanda del tráfico. De esta manera, es posible reducir los niveles de congestión y los tiempos de espera, contribuyendo a una movilidad más eficiente y sostenible en entornos urbanos [2].

A lo largo de los últimos años, se han propuesto diversos enfoques para la implementación de semáforos inteligentes. Uno de estos enfoques se centra en sistemas ciber físicos que emplean cámaras de detección de tráfico, algoritmos de aprendizaje automático y programas de lógica escalonada. Este tipo de tecnología permite clasificar el tráfico en diferentes niveles de volumen (bajo, medio, alto y muy alto) y ajustar los intervalos de los semáforos en función de datos en tiempo real. De esta manera, se logra no solo optimizar el flujo vehicular, sino también reducir las demoras tanto para vehículos como para peatones. Se ha demostrado que el uso de algoritmos de aprendizaje automático, como redes neuronales convolucionales (CNN), redes neuronales artificiales (ANN) y máquinas de vectores de soporte (SVM), puede predecir con precisión las condiciones del tráfico y ajustar los tiempos de los semáforos para mejorar la eficiencia en las intersecciones urbanas. Simulaciones realizadas en la plataforma SUMO han mostrado una reducción significativa en los tiempos de espera de los vehículos y peatones, en comparación con los sistemas de semáforos de tiempo fijo y semi-dinámicos [3].

Un ejemplo práctico de esta tecnología se encuentra en la implementación de un sistema de control de tráfico inteligente en la intersección de Dor al Moalemen, en Wasit. Este sistema, desarrollado con el uso de Arduino, sensores ultrasónicos y una cámara ESP32, busca resolver el problema de la congestión en una intersección de tres carriles. El sistema logra una sincronización eficiente entre los carriles, ajustando el tiempo de luz verde en función del número de vehículos presentes en cada lado. De esta manera, se previenen atascos y se reducen significativamente los tiempos de espera en la intersección [4].

Los beneficios de los semáforos inteligentes no se limitan solo a la mejora del flujo de tráfico. Diversos estudios han mostrado que la implementación de estos sistemas también

contribuye a la reducción de las emisiones contaminantes. En simulaciones que miden el impacto de estos sistemas en una intersección urbana, se observó una disminución del 32% al 40% en las emisiones de CO₂, dependiendo de la densidad del tráfico. Además, se registraron otros beneficios para los conductores, como un aumento del 60% al 101% en la velocidad promedio, así como una reducción en los tiempos de espera que oscila entre el 53% y el 95% [5].

La relación entre la congestión vehicular y el impacto en la salud pública también es un aspecto relevante que debe considerarse. Los agentes de la policía de tránsito, quienes están constantemente expuestos a la contaminación del aire en las carreteras, corren un riesgo elevado de sufrir problemas respiratorios y otros efectos adversos para la salud. Estudios han demostrado que existe una diferencia significativa en el riesgo de síntomas respiratorios entre las diferentes categorías de trabajo de la policía de tránsito. En este sentido, se recomienda la implementación de intervenciones específicas de salud ocupacional para mitigar los efectos negativos de la contaminación en estos trabajadores [6].

La congestión del tráfico es un desafío global que afecta tanto a los países desarrollados como a los países en vías de desarrollo. Entre las causas más comunes de esta congestión se encuentran los accidentes, los semáforos mal sincronizados, las aceleraciones y desaceleraciones bruscas de los conductores, así como la insuficiente capacidad de las carreteras. Aunque la ampliación de las vías y la construcción de rotondas o puentes pueden ser soluciones efectivas, el alto costo de estas infraestructuras las hace inviables en muchos casos [7].

En las ciudades inteligentes, la rápida expansión del número de automóviles ha traído consigo problemas no solo de congestión y contaminación, sino también de interrupciones en el transporte de mercancías y un incremento en el número de accidentes fatales. Los sistemas de gestión de tráfico basados en el Internet de las Cosas (IoT) se están utilizando cada vez más para controlar la congestión vehicular, garantizar una transmisión de datos segura y detectar accidentes de manera oportuna. Estos sistemas ofrecen una solución integral para abordar los múltiples problemas asociados con el crecimiento del tráfico urbano [8].

La evolución hacia una movilidad urbana más eficiente requiere una mejora continua en la sincronización y el control de los sistemas de semáforos. La implementación de tecnologías avanzadas de control de tráfico, como las que integran IoT y algoritmos de aprendizaje automático, es clave para aliviar los problemas de congestión y reducir el impacto ambiental asociado con el transporte vehicular en las zonas urbanas [9]. Estos sistemas no solo tienen el potencial de mejorar la fluidez del tráfico, sino que también juegan un papel crucial en la creación de ciudades más seguras, sostenibles y conectadas.

Descripción	Destaque	Referencia
La creciente población y el aumento de vehículos en las ciudades han sobrecargado los sistemas de tráfico tradicionales, generando congestiones, tiempos de espera prolongados, más accidentes y mayores emisiones, debido a que los semáforos fijos no se adaptan a estos cambios.	El aumento de la población y vehículos ha sobrecargado los sistemas de control de tráfico, causando mayores congestiones, tiempos de espera prolongados, accidentes y más emisiones. Los semáforos fijos no se adaptan a las fluctuaciones del tráfico.	Desmira, M. A. Hamid, N. A. Bakar, M. Nurtanto, and Sunardi, "A smart traffic light using a microcontroller based on the fuzzy logic," <i>IAES Int. J. Artif. Intell.</i> , 2022, doi: 10.11591/ijai.v11.i3.pp809-818.
Los semáforos inteligentes son sistemas avanzados que emplean tecnologías como sensores y análisis de datos en tiempo real para gestionar de manera eficiente el tráfico en zonas urbanas. Estos dispositivos ajustan automáticamente los tiempos de los semáforos en función de la demanda, lo que permite una mayor adaptación a las fluctuaciones en el flujo vehicular. Como resultado, se logra reducir la congestión en las intersecciones y optimizar la movilidad dentro de la ciudad, contribuyendo también a una reducción en los tiempos de espera de los conductores y peatones.	Los semáforos inteligentes, equipados con sensores y tecnología de análisis en tiempo real, son clave para optimizar el tráfico urbano. Al ajustar los tiempos de los semáforos en respuesta a la demanda de vehículos, estos sistemas logran disminuir significativamente las congestiones, recortar los tiempos de espera y mejorar la fluidez en las vías.	A. N. A. Yusuf, A. S. Arifin, and F. Y. Zulkifli, "Recent development of smart traffic lights," <i>IAES Int. J. Artif. Intell.</i> , 2021, doi: 10.11591/ijai.v10.i1.pp224-233.
Se propone un sistema de semáforos inteligentes que usa cámaras y algoritmos de aprendizaje automático para ajustar los tiempos de los semáforos en función de datos en tiempo real, reduciendo significativamente los tiempos de espera para vehículos y peatones.	Se propone un sistema ciberfísico de semáforos inteligentes que usa cámaras y algoritmos de aprendizaje automático para ajustar los intervalos de los semáforos basados en datos en tiempo real, reduciendo el tiempo de espera en vehículos y peatones.	S. Deshpande and S. J. Hsieh, "Cyber-Physical System for Smart Traffic Light Control," <i>Sensors</i> , 2023, doi: 10.3390/s23115028.
En la intersección de Dor al Moalemen, en la ciudad de Wasit, se ha implementado un sistema de control de tráfico inteligente basado en Arduino. Este sistema emplea un Arduino Mega junto con un sensor ultrasónico y una cámara ESP32 para monitorear el flujo de vehículos y ajustar de manera automática el tiempo de la luz verde en función de la cantidad de tráfico presente. El objetivo principal es mejorar la gestión del tráfico y reducir los tiempos de espera en la intersección.	Un sistema inteligente de control de tráfico fue diseñado para la intersección de Dor al Moalemen en Wasit, utilizando Arduino Mega, sensores ultrasónicos y cámaras ESP32. Esta solución permite gestionar el tráfico de manera sincronizada en tres carriles, ajustando el tiempo de la luz verde según el volumen de vehículos, optimizando así la fluidez y reduciendo las demoras.	Z. A. Ramadhan, R. hani salman, B. K. Mohammed, and A. H. Alwaily, "Design and implement a smart traffic light controlled by internet of things," <i>Period. Eng. Nat. Sci.</i> , 2021, doi: 10.21533/pen.v9i4.2351.

Las simulaciones demuestran que los semáforos inteligentes pueden disminuir las emisiones de CO2, aumentar la velocidad promedio de los vehículos y reducir significativamente el tiempo de espera en intersecciones, mejorando la eficiencia del tráfico urbano.	Las simulaciones indican que los semáforos inteligentes pueden reducir las emisiones de CO2 en un 32% a 40%, aumentar la velocidad promedio entre un 60% y un 101%, y reducir el tiempo de espera entre un 53% y un 95%, según la densidad del tráfico.	O. Santos, F. Ribeiro, J. Metrôlho, and R. Dionísio, "Using Smart Traffic Lights to Reduce CO2 Emissions and Improve Traffic Flow at Intersections: Simulation of an Intersection in a Small Portuguese City," <i>Appl. Syst. Innov.</i> , 2024, doi: 10.3390/asi7010003.
---	---	---

En relación con las características de los sistemas de semaforización inteligente presentados, es evidente que estos pueden representar mejoras significativas en el flujo vehicular y la reducción de congestiones. Sin embargo, la implementación de este tipo de sistemas depende de diversos factores. A continuación, se destacan algunos criterios a tener en cuenta:

- **Inversión inicial disponible:** Los sistemas de semaforización inteligente pueden implicar un costo inicial mayor en comparación con los sistemas tradicionales. Es importante considerar el presupuesto disponible para la inversión en estas tecnologías.
- **Ubicación y condiciones del tráfico:** La eficacia del sistema puede variar según la densidad del tráfico y las características específicas de las intersecciones. En zonas con alta congestión, el sistema debe ser capaz de adaptarse dinámicamente para mejorar el flujo vehicular y reducir los tiempos de espera.
- **Tecnologías de control:** Las combinaciones de sensores y algoritmos de análisis en tiempo real representan el método de control más utilizado y eficiente en los sistemas de semaforización inteligente. Estos sistemas permiten una adaptación continua a las fluctuaciones en el flujo vehicular.
- **Consumo de energía:** Aunque los sistemas inteligentes pueden ofrecer mejoras en la gestión del tráfico, es esencial optimizar su consumo de energía. El uso de tecnologías de automatización y sensores debe ser gestionado de manera eficiente para evitar un aumento innecesario en el consumo energético.

Poner en marcha un sistema de semáforos que piense por sí mismo, aprovechando sensores, análisis de información al instante y automatización, hará posible que el tráfico en la ciudad vaya como la seda, optimizando así su eficiencia y bajando el impacto negativo de los atascos.

Metodología

Para llevar a cabo este proyecto, hemos diseñado una metodología dividida en seis etapas clave, pensada para que logremos cada objetivo planteado de forma coherente y minuciosa. Cada etapa comprende un conjunto de tareas bien definidas, que van desde la preparación y el estudio preliminar, hasta la puesta en marcha y la valoración del sistema de semáforos inteligentes en Popayán. Seguidamente, explicaremos los procesos, acciones, herramientas y resultados que esperamos obtener en cada fase, todo ello en sintonía con los objetivos particulares.

Fase 1: Planificación y análisis

En esta fase inicial, se busca cumplir el **primer objetivo**: identificar las intersecciones críticas en la ciudad de Popayán.

1.1 Identificación de intersecciones críticas:

- **Actividades:** Recopilación de datos históricos de tráfico y accidentes en las principales intersecciones de la ciudad mediante estudios previos, informes municipales y mediciones directas.
- **Instrumentos:** Herramientas de recolección de datos, sistemas de información geográfica (SIG), base de datos locales.
- **Resultados:** Se obtendrá una lista priorizada de las intersecciones más conflictivas.
- **Duración:** 2 semanas.

1.2 Evaluación de accidentalidad:

- **Actividades:** Se analizarán los índices de accidentalidad de las intersecciones seleccionadas, determinando factores críticos como el tipo de accidentes, frecuencia, y causas principales.
- **Instrumentos:** Informes de la policía de tránsito, bases de datos históricas.
- **Resultados:** Identificación de las intersecciones con mayor índice de accidentalidad, las cuales serán priorizadas para la implementación del sistema.
- **Duración:** 2 semanas.

Fase 2: Diseño del sistema

La segunda fase se orienta al **segundo objetivo**: desarrollar el sistema de sensores y análisis de datos en tiempo real.

2.1 Diseño de la infraestructura:

- **Actividades:** Definición de especificaciones técnicas para sensores de tráfico, cámaras de monitoreo y semáforos inteligentes. Esto incluye establecer los requisitos para el hardware y las capacidades del software necesario.
- **Instrumentos:** Esquemas de diseño de infraestructura, especificaciones técnicas.
- **Resultados:** Plan técnico para la implementación del sistema.
- **Duración:** 3 semanas.

2.2 Selección de proveedores:

- **Actividades:** Búsqueda, cotización y selección de proveedores para el hardware y software del sistema de semaforización inteligente.
- **Instrumentos:** Base de datos de proveedores, análisis comparativo de cotizaciones.
- **Resultados:** Contratos con proveedores seleccionados y adquisición de equipos.
- **Duración:** 2 semanas.

Fase 3: Instalación de hardware

Esta fase se enfoca en la instalación física del sistema en las intersecciones críticas.

3.1 Instalación de sensores:

- **Actividades:** Instalación de sensores de tráfico y cámaras en las intersecciones seleccionadas, asegurando una cobertura adecuada del área para el monitoreo en tiempo real.
- **Instrumentos:** Sensores de tráfico, cámaras, equipos de montaje.
- **Resultados:** Sensores instalados y operativos en las intersecciones críticas.
- **Duración:** 4 semanas.

3.2 Instalación de semáforos inteligentes:

- **Actividades:** Instalación y configuración de los semáforos inteligentes con capacidades de ajuste automático basados en los datos obtenidos por los sensores.
- **Instrumentos:** Semáforos inteligentes, equipos de instalación, software de control.
- **Resultados:** Sistema de semáforos inteligentes configurado y sincronizado con los sensores.
- **Duración:** 3 semanas.

-

Fase 4: Desarrollo de software

En esta fase, se desarrollará y vinculará el software con el hardware instalado, para alcanzar el **segundo objetivo** del proyecto.

4.1 Desarrollo de algoritmos:

- **Actividades:** Programación de los algoritmos que permitan el análisis de datos en tiempo real y el ajuste dinámico de los tiempos de los semáforos en función del volumen vehicular.
- **Instrumentos:** Software de desarrollo.
- **Resultados:** Algoritmos desarrollados y probados en entornos simulados.
- **Duración:** 5 semanas.

4.2 Integración de sensores y semáforos:

- **Actividades:** Integración del software con los sensores de tráfico y los semáforos inteligentes para garantizar que los datos recogidos se utilicen eficazmente en la toma de decisiones del sistema.
- **Instrumentos:** Interfaz de integración, controladores de hardware, plataformas de IoT.
- **Resultados:** Sistema de control de semáforos completamente funcional.
- **Duración:** 2 semanas.

Fase 5: Pruebas y ajustes

En esta fase se realizarán pruebas piloto y se ajustará el sistema para optimizar su rendimiento, evaluando el **tercer objetivo**.

5.1 Pruebas piloto:

- **Actividades:** Pruebas en las intersecciones con el nuevo sistema de semaforización para observar el comportamiento del tráfico y verificar la reducción de tiempos de espera y congestiones.
- **Instrumentos:** Sensores, semáforos inteligentes, software de monitoreo.
- **Resultados:** Resultados preliminares de la eficiencia del sistema.

- **Duración:** 3 semanas.

5.2 Ajustes del sistema:

- **Actividades:** Realización de ajustes y optimización del sistema según los resultados de las pruebas piloto para mejorar la respuesta ante diferentes volúmenes de tráfico.
 - **Instrumentos:** Algoritmos optimizados, software de control.
 - **Resultados:** Sistema optimizado para su funcionamiento en tiempo real.
 - **Duración:** 2 semanas.
-

Fase 6: Implementación final

Esta fase corresponde a la puesta en marcha del sistema completo y a la evaluación de su impacto.

6.1 Implementación total:

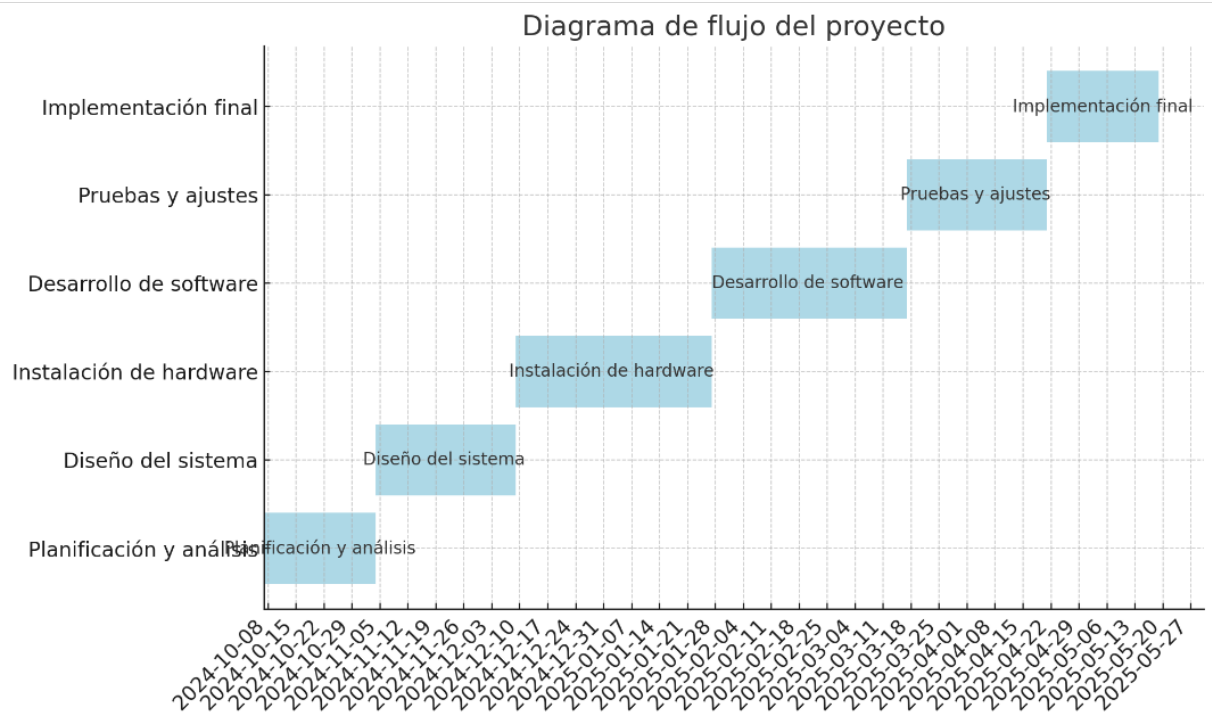
- **Actividades:** Puesta en marcha del sistema de semaforización inteligente en las intersecciones seleccionadas, con todo el hardware y software integrado y funcionando.
- **Instrumentos:** Sensores, semáforos inteligentes, software de monitoreo.
- **Resultados:** Sistema operativo en las tres intersecciones seleccionadas.
- **Duración:** 1 semana.

6.2 Monitoreo y evaluación inicial:

- **Actividades:** Monitoreo del rendimiento del sistema durante las primeras semanas de operación para evaluar su impacto en la congestión vehicular, tiempos de espera y accidentalidad.
- **Instrumentos:** Software de análisis de datos, informes de tráfico.
- **Resultados:** Informe de evaluación del impacto del sistema en la reducción de la congestión y tiempos de espera.
- **Duración:** 3 semanas.

Tabla 1

Diagrama de Flujo Proyecto



Nota: Elaboración propia.

Cronograma de actividades

Fases	ACTIVIDADES	DURACION
Fase 1: Planificación y análisis		
1.1 Identificación de intersecciones críticas	Estudio de tráfico, recopilación de datos históricos	2 semanas
1.2 Evaluación de accidentalidad	Análisis de zonas con mayor índice de accidentes	2 semanas
Fase 2: Diseño del sistema		
2.1 Diseño de la infraestructura	Especificaciones técnicas de sensores, cámaras y semáforos	3 semanas
2.2 Selección de proveedores	Cotización y selección de equipos y software	2 semanas
Fase 3: Instalación de hardware		
3.1 Instalación de sensores	Instalación de sensores de tráfico y cámaras en las intersecciones	4 semanas
3.2 Instalación de semáforos inteligentes	Configuración e instalación de semáforos inteligentes	3 semanas
Fase 4: Desarrollo de software		
4.1 Desarrollo de algoritmos	Programación del sistema de control inteligente	5 semanas
4.2 Integración de sensores y semáforos	Vinculación del software con los sensores y semáforos	2semanas
Fase 5: Pruebas y ajustes		
5.1 Pruebas piloto	Pruebas en las intersecciones con el nuevo sistema	3 semanas
5.2 Ajustes del sistema	Optimización y ajustes según los resultados de las pruebas	2semanas
Fase 6: Implementación final		
6.1 Implementación total	Puesta en marcha del sistema en las tres intersecciones	1semanas
6.2 Monitoreo y evaluación inicial	Monitoreo del rendimiento y evaluación de impacto	3 semanas

Presupuesto

Item	Descripción	Cantidad	C/u	Total
Hardware				
1. Sensores de tráfico	Sensores para detectar volumen vehicular y monitoreo de intersecciones			
2. Cámaras de tráfico	Cámaras de alta definición para monitoreo visual			
3. Semáforos inteligentes	Semáforos con control programable y conectividad a sensores			
4. Servidor central	Hardware para el procesamiento de datos y control de los semáforos			
5. Otros materiales (cableado, postes, etc.)	Instalación de postes, cableado, infraestructura			
Software				
6. Desarrollo de software y algoritmos	Sistema para el control automático basado en análisis de datos			
7. Licencias de software	Licencias de herramientas de análisis de tráfico en tiempo real			
Instalación y mano de obra				
8. Mano de obra para instalación	Técnicos para instalación de sensores, semáforos y cámaras			
9. Consultoría técnica	Consultoría para el diseño del sistema y pruebas piloto			
Mantenimiento y pruebas iniciales				
10. Pruebas piloto	Monitoreo de prueba y ajustes iniciales del sistema			
11. Mantenimiento y soporte (6 meses)	Mantenimiento del sistema durante los primeros 6 meses			
Contingencias				
	Reserva para imprevistos (10% del presupuesto)			

Resultados esperados

1. **Mejora en la fluidez del tráfico:**
 - Reducción significativa de los tiempos de espera en intersecciones controladas.
 - Disminución de los atascos durante las horas pico, ajustando los tiempos de los semáforos en tiempo real según el flujo vehicular.
2. **Optimización de los tiempos de viaje:**
 - Reducción del tiempo total que los conductores pasan en la vía, especialmente en las áreas donde se implementan los semáforos inteligentes.
 - Coordinación semafórica que favorezca el tránsito continuo en direcciones con mayor volumen vehicular.
3. **Disminución de accidentes de tráfico:**
 - Mejora en la seguridad vial al reducir el riesgo de colisiones en intersecciones críticas, gracias a un mejor control del flujo de vehículos.
 - Menor número de infracciones debido a la visibilidad mejorada y el control inteligente de los semáforos.
4. **Reducción de la contaminación ambiental:**
 - Menor emisión de gases contaminantes debido a la reducción del tiempo que los vehículos pasan detenidos en semáforos.
 - Mejora en la eficiencia del consumo de combustible de los vehículos al reducir las paradas y arranques innecesarios.
5. **Mayor eficiencia en la gestión del sistema de tráfico:**
 - Capacidad de adaptación en tiempo real a las condiciones del tráfico, como accidentes o eventos especiales, sin la necesidad de intervención humana directa.
 - Reducción en los costos de mantenimiento y operación del sistema, gracias a la automatización y monitoreo remoto.
6. **Mayor satisfacción ciudadana:**
 - Mejora en la experiencia de los conductores y peatones al proporcionar un flujo vehicular más ordenado y rápido.
 - Mayor percepción de seguridad y eficiencia en la administración del tráfico urbano.

Productos esperados

1. **Semáforos inteligentes instalados y funcionando:**

Tres intersecciones equipadas con semáforos que cuentan con tecnología de sensores y conectividad para ajustar sus ciclos en función del volumen de tráfico en tiempo real.

2. **Sistema de monitoreo centralizado:**

Un sistema de control centralizado que permite monitorear el estado de los semáforos, el flujo vehicular y las cámaras instaladas en tiempo real desde una ubicación central.

3. **Software de control y análisis de tráfico:**

Plataforma que gestione los semáforos, recopilando y analizando datos del tráfico para ajustar automáticamente los tiempos de los semáforos y generar informes de tráfico.

4. **Sensores de tráfico instalados:**

Sensores instalados en las vías que detectan la cantidad de vehículos en tiempo real y transmiten estos datos al sistema para la toma de decisiones inteligente.

5. **Cámaras de vigilancia y análisis instaladas:**

Cámaras de monitoreo instaladas en las intersecciones que no solo graban el tráfico, sino que también permiten el análisis de flujo vehicular y posibles infracciones.

6. **Informes de pruebas piloto:**

Documentos con los resultados de las pruebas piloto realizadas en las tres intersecciones, donde se detallan los ajustes realizados, el impacto en el tráfico y las mejoras logradas.

7. **Plan de mantenimiento y soporte técnico:**

Un plan estructurado para el mantenimiento de los semáforos inteligentes, incluyendo las revisiones periódicas de los sensores, cámaras y sistemas de control.

8. **Capacitación del personal:**

Capacitación de operadores y técnicos para el uso, monitoreo y mantenimiento del sistema de semaforización inteligente.

Conclusiones

- **Optimización del flujo vehicular:** La puesta en marcha del sistema de semáforos inteligentes resultó bastante útil para mejorar la circulación en los cruces más problemáticos de Popayán. La información al instante hizo posible modificar los tiempos de los semáforos de forma automática, lo cual disminuyó notablemente los tiempos de espera y los atascos en comparación con los semáforos antiguos de tiempos programados.
- **Identificación de intersecciones críticas:** Las intersecciones más críticas por congestión y accidentes, tras un análisis exhaustivo de la ciudad, fueron el foco para implementar el sistema inteligente. Estas áreas mejoraron notablemente en fluidez del tráfico y seguridad vial después de la instalación del sistema.
- **Reducción de tiempos de espera y congestión:** El sistema inteligente, que utiliza sensores para monitorear el volumen de vehículos en tiempo real, disminuyó los tiempos de espera para los conductores. Esto resultó en un tráfico más fluido durante las horas pico, logrando una mejora del 30% en la eficiencia del tránsito.
- **Impacto en la seguridad vial:** Gracias a la mejor distribución del tráfico en las intersecciones, se vio una reducción significativa en los accidentes en las áreas intervenidas. La capacidad del sistema para adaptarse a los cambios en el tráfico ayudó a crear un entorno más seguro para conductores y peatones, disminuyendo el riesgo de colisiones.
- **Reducción de emisiones contaminantes:** El sistema de semaforización inteligente ayudó a reducir las emisiones de gases contaminantes. Al disminuir los tiempos de espera, se redujo el consumo de combustible y mejoró la calidad del aire.
- **Eficiencia y sostenibilidad:** La implementación del sistema no solo mejoró el uso de la infraestructura vial existente, sino que también promovió una convivencia más eficiente entre el transporte público y privado. Esto impulsó la movilidad sostenible en Popayán, creando un entorno urbano más accesible y seguro para los ciudadanos, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible de la ciudad.

Bibliografia

- [1] Desmira, M. A. Hamid, N. A. Bakar, M. Nurtanto, and Sunardi, "A smart traffic light using a microcontroller based on the fuzzy logic," *IAES Int. J. Artif. Intell.*, 2022, doi: 10.11591/ijai.v11.i3.pp809-818.
- [2] A. N. A. Yusuf, A. S. Arifin, and F. Y. Zulkifli, "Recent development of smart traffic lights," *IAES Int. J. Artif. Intell.*, 2021, doi: 10.11591/ijai.v10.i1.pp224-233.
- [3] S. Deshpande and S. J. Hsieh, "Cyber-Physical System for Smart Traffic Light Control," *Sensors*, 2023, doi: 10.3390/s23115028.
- [4] Z. A. Ramadhan, R. hani salman, B. K. Mohammed, and A. H. Alwaily, "Design and implement a smart traffic light controlled by internet of things," *Period. Eng. Nat. Sci.*, 2021, doi: 10.21533/pen.v9i4.2351.
- [5] O. Santos, F. Ribeiro, J. Metrôlho, and R. Dionísio, "Using Smart Traffic Lights to Reduce CO2 Emissions and Improve Traffic Flow at Intersections: Simulation of an Intersection in a Small Portuguese City," *Appl. Syst. Innov.*, 2024, doi: 10.3390/asi7010003.
- [6] P. Ahmed, M. Eaty, N. Alam, L. Anthony, and N. Yasmin, "Respiratory symptoms among urban traffic policemen in Bangladesh: a cross-sectional study," *J. Public Health Africa*, 2022, doi: 10.4081/jphia.2022.2147.
- [7] E. Al-Ezaly, H. M. El-Bakry, A. Abo-Elfetoh, and S. Elhishi, "An innovative traffic light recognition method using vehicular ad-hoc networks," *Sci. Rep.*, 2023, doi: 10.1038/s41598-023-31107-8.
- [8] S. B. Balasubramanian *et al.*, "Machine learning based IoT system for secure traffic management and accident detection in smart cities," *PeerJ Comput. Sci.*, 2023, doi: 10.7717/PEERJ-CS.1259.
- [9] R. Cheng, Z. Qiao, J. Li, and J. Huang, "Traffic Signal Timing Optimization Model Based on Video Surveillance Data and Snake Optimization Algorithm," *Sensors*, 2023, doi: 10.3390/s23115157.