

Analizar la factibilidad de implementar una solución de semaforización inteligente basada en IoT (internet de las cosas) articulada con las redes de nueva generación en Florencia

Caquetá

Fabian Cruz Ballesteros

Asesor:

Fausto Miguel Castro Caicedo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería – ECBTI

Redes de Nueva Generación

2025

Resumen

La congestión vehicular en Florencia, al igual que en muchas ciudades de América Latina se caracteriza por la presencia de un número excesivo de vehículos en las calles convirtiéndose en un problema con múltiples factores que afectan negativamente la movilidad y a su vez la calidad de vida de sus habitantes. Con base en lo anterior se propone analizar la factibilidad de implementar una solución de semaforización inteligente basada en IoT (Internet de las Cosas) como primer paso para disminuir la congestión vehicular, esto implica el desarrollo de un estado del arte sobre la semaforización inteligente, identificando los desafíos y oportunidades de la implementación de este tipo de tecnologías en Florencia Caquetá. Con el desarrollo de este trabajo resulta ser un punto de partida fundamental para disminuir múltiples factores asociados al tráfico vehicular como: la contaminación, el estrés y disminución de la productividad. Adicionalmente ayudaría a fomentar el turismo y la seguridad vial.

Palabras Claves: Congestión vehicular, IoT, semaforización inteligente, tecnologías.

Abstract

Vehicular congestion in Florence, as in many cities in Latin America, is characterized by the presence of an excessive number of vehicles on the streets, becoming a problem with multiple factors that negatively affect mobility and, in turn, the quality of life of its residents.

Based on the above, it is proposed to analyze the feasibility of implementing a smart traffic light solution based on IoT (Internet of Things) as a first step to reduce vehicle congestion, this implies the development of a state of the art on smart traffic lights, identifying the challenges and opportunities of the implementation of this type of technologies in Florencia-Caquetá.

Thus, with the development of this work it turns out to be a fundamental starting point to reduce multiple factors associated with vehicular traffic such as pollution, stress and decreased productivity. On the other hand, this would also help promote tourism and road safety.

Keywords: traffic congestion, IoT, smart traffic lighting, technologies.

Tabla de Contenido

Introducción	8
Objetivos	9
Objetivo General	9
Objetivos Específicos	9
Justificación	10
Planteamiento del Problema	11
Marco Conceptual y Teórico	12
Estado del Arte Acerca de Redes IoT para Semaforización Inteligente	15
Antecedentes Históricos	15
Tecnologías y Componentes Clave.....	16
Inteligencia Artificial	17
Visión Artificial	18
Simulación de Tráfico.....	19
Protocolos de Comunicación	19
Lenguajes de Programación	20
Tecnologías de Comunicación.....	21
Controladores.....	21
Monitoreo de Tráfico	22
Casos de Estudio y Aplicaciones	25
Desafíos y Soluciones.....	26

Innovaciones Recientes.....	26
Oportunidades.....	27
Análisis	28
Desafíos	32
Ventajas	37
Desventajas	37
Mapa de Identificación Geográfica de Semáforos.....	38
Propuesta Solución Semaforización Inteligente Basada en IoT	40
Arquitectura Propuesta	40
Capa de Sensores y Actuadores	43
Capa de Red.....	49
Capa de Control	51
Referencias Bibliográficas.....	55

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Información Tecnologías</i>	23
Tabla 2 <i>Clase de Actor Vial y Cantidad</i>	29
Tabla 3 <i>Oportunidad y Descripción</i>	30
Tabla 4 <i>Desafíos y Descripciones</i>	33
Tabla 5 <i>Aspectos Positivos</i>	36

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Calle 13 Parquaderos por los dos Lados</i>	35
Figura 2 <i>Carrera 13 Descargue y Parquaderos</i>	36
Figura 3 <i>Ubicación Geográfica de Semáforos</i>	39
Figura 5 <i>Intercesión con Elementos Informáticos</i>	42
Figura 6 <i>Sensores de Proximidad</i>	44
Figura 7 <i>Sensor LiDAR</i>	46
Figura 8 <i>Sistema de Reconocimiento de Placas</i>	48
Figura 9 <i>Semáforos Modernos</i>	49

Introducción

La congestión vehicular se ha convertido en un problema crítico en muchas ciudades de América Latina, y las ciudades colombianas como Florencia, Caquetá, no es la excepción. El aumento desmedido del parque automotor, la falta de infraestructura vial adecuada y la ausencia de sistemas de control de tráfico eficientes han generado un escenario donde la movilidad urbana se ve seriamente afectada, impactando negativamente en la calidad de vida de los habitantes, la economía local y el medio ambiente. Ante esta problemática, surge la necesidad de explorar soluciones innovadoras que permitan optimizar el flujo vehicular y mejorar la seguridad vial.

En este contexto, la implementación de un sistema de semaforización inteligente basado en Internet de las Cosas (IoT) se presenta como una alternativa prometedora. Estos sistemas, equipados con tecnologías avanzadas como sensores de proximidad, LiDAR, cámaras de visión artificial y algoritmos de inteligencia artificial, pueden adaptarse dinámicamente a las condiciones del tráfico en tiempo real, reduciendo los tiempos de espera, minimizando la congestión y disminuyendo las emisiones contaminantes. Además, su integración con redes de nueva generación permitiría una comunicación eficiente entre dispositivos, facilitando la gestión centralizada y la toma de decisiones informadas.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la factibilidad de implementar una solución de semaforización inteligente en Florencia, Caquetá, evaluando sus oportunidades, desafíos y beneficios potenciales. A través de un enfoque cuantitativo y descriptivo, se examinarán las tecnologías disponibles, los casos de estudio relevantes y las condiciones específicas del municipio, con el fin de proponer una arquitectura que contribuya a una movilidad más eficiente, segura y sostenible.

Objetivos

Objetivo General

Analizar la factibilidad de implementar una solución de semaforización inteligente basada en IoT (Internet de las Cosas) articulada con las Redes de Nueva Generación para Florencia Caquetá.

Objetivos Específicos

Desarrollar el estado del arte relacionado con las redes IoT para semaforización inteligente.

Identificar las oportunidades y desafíos que presenta la implementación de semaforización inteligente en Florencia Caquetá, analizando las ventajas y desventajas de una potencial implementación.

Proponer una solución de semaforización basada en IoT para el municipio de Florencia Caquetá.

Justificación

El análisis de factibilidad de implementar una solución de semaforización inteligente es el primer paso hacia el mejoramiento de la movilidad general en Florencia Caquetá, lo cual a su vez generará diversos beneficios que repercutirán positivamente en la calidad de vida de los ciudadanos y el desarrollo de la ciudad. Algunos de los aspectos positivos de una adecuada semaforización están relacionados con: menor contaminación, disminución del estrés, mejora de la seguridad vial, beneficios económicos y fortalecimiento del turismo.

Al disminuir la congestión y los tiempos de espera en los semáforos, se reduce la cantidad de gases contaminantes emitidos por los vehículos, como dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) y material de partículas (PM), mejorando la calidad del aire y contribuyendo a un ambiente más saludable. También, los trancones que generan irritación, frustración y estrés en los conductores, una semaforización eficiente que agilice el tráfico puede contribuir a reducir estos niveles de estrés, mejorando el bienestar de la ciudadanía y la salud en general. En lo que respecta a la seguridad vial, una adecuada gestión de la movilidad a través de la semaforización puede reducir el número de accidentes de tránsito, al disminuir los tiempos de espera en los cruces, lo que permitirá mayor tiempo de reacción para los conductores y peatones.

Por otro lado, la fluidez del tráfico optimiza los tiempos de desplazamiento, lo que se traduce en ahorro de tiempo y dinero para los ciudadanos, tanto en el ámbito personal como comercial. Esto puede impulsar la productividad y la competitividad económica de la ciudad. Lo anterior también permitirá fortalecer el turismo, toda vez que una ciudad con un tránsito fluido y eficiente, genera una imagen positiva y atractiva para los visitantes, lo que puede impulsar el desarrollo del turismo y la economía local.

Planteamiento del Problema

En Florencia Caquetá, al igual que en muchas ciudades de América Latina, la congestión vehicular se ha convertido en un problema de gran magnitud que aumenta e impacta negativamente la calidad de vida de los ciudadanos. Este fenómeno afecta la economía, incrementa la accidentalidad, genera problemas de salud y afecta el medio ambiente.

La congestión vehicular tiene múltiples causas entre las que se incluyen: la falta de semáforos en algunos sectores estratégicos de la ciudad, la presencia de tecnología obsoleta en los semáforos existentes, la inadecuada infraestructura vial y la presencia de vendedores ambulantes en las vías, que sin duda alguna generan diversos desafíos para la movilidad. Adicionalmente, la congestión vehicular es potenciada por una falta de cultura vial que a su vez tiene causas como la ausencia de formación adecuada en las escuelas, la poca difusión de campañas de concientización, la falta de sanciones firmes y consistentes para las infracciones de tránsito y el irrespeto a las normas para la seguridad colectiva.

Si bien, la congestión vehicular tiene múltiples causas, uno de los aspectos más críticos está relacionado con la falta de un sistema de semaforización eficiente. Cabe destacar que actualmente no se cuenta con los estudios pertinentes para la implementación de un sistema de este tipo, por lo que en este trabajo se propone analizar la factibilidad de implementar en Florencia Caquetá, una solución de semaforización inteligente basada en IoT (Internet de las cosas) como un primer paso para la gestión de una movilidad más eficiente, segura y sostenible. La pregunta problema que se pretende responder con esta propuesta es ¿Qué tan factible es la implementación de una solución de semaforización inteligente basada en IoT (Internet de las cosas) en Florencia Caquetá?

Marco Conceptual y Teórico

La civilización ha recorrido un largo camino en cuanto a transporte. Inicialmente, la gente se desplazaba en caballos y camellos; posteriormente, se introdujeron los vehículos motorizados. Ahora, con la aparición de los sistemas de transporte inteligentes y el Internet de las cosas (IoT), el mundo está avanzando hacia la siguiente etapa en el movimiento, entrando en la era del transporte inteligente (Masur, 2020). Los semáforos inteligentes están convirtiendo esta visión en realidad gracias a una combinación de sensores, cámaras y algoritmos inteligentes, estos dispositivos analizan en tiempo real el flujo del tráfico y ajustan los tiempos de los semáforos para optimizar la movilidad, resaltando los beneficios de estos sistemas, como la reducción de congestionamientos, la disminución de la contaminación y la mejora de la seguridad vial.

Un semáforo inteligente es un sistema avanzado de control de tráfico, diseñado para gestionar de manera más eficiente el flujo vehicular y peatonal en una intersección. A diferencia de los semáforos tradicionales, que operan con ciclos fijos de luz, los semáforos inteligentes utilizan tecnología para adaptarse en tiempo real a las condiciones del tráfico. Gracias a la implementación de esta tecnología, los semáforos inteligentes pueden sincronizar el movimiento de vehículos y peatones, tomando decisiones basadas en inteligencia artificial o sensorial según sea el caso. Esto permite que el tiempo de cada fase del semáforo se ajuste dinámicamente en función del flujo de tráfico presente en la intersección (Yim & Caselli, 2024).

Los semáforos inteligentes incorporan avanzadas tecnologías con el fin de mejorar la congestión del tráfico en las ciudades, se usan elementos como cámaras de vigilancia para visión que serán monitoreadas y controladas desde computadores, detectan y cuentan los vehículos como también los peatones; de igual forma se usan detectores de bucles inductivos que al

instalarlos en el pavimento logran que los sensores detecten la presencia de vehículos mediante cambios en el campo magnético. También sensores de radar conocidos como LIDAR que representan mucho valor en los proyectos por sus capacidades, miden la velocidad y la densidad del tráfico utilizando ondas de radio o láser. Por lo tanto, han surgido algunas líneas de implementación que promueven el uso de avanzadas tecnologías de la información para el diseño, estudio y análisis de los sistemas viales. Estos dispositivos quedan equipados con tecnología avanzada que les permite recopilar información del entorno, como el volumen de tráfico y las condiciones climáticas (Mohamed & Mohammed, 2024).

Las redes de comunicaciones de datos o redes de computadoras, son una cantidad de sistemas informáticos conectados entre sí mediante una serie de dispositivos alámbricos o inalámbricos, gracias a los cuales pueden compartir información (Concepto, 2023). Lo mismo sucede con la red que conecta los semáforos, se compone de conexión de varios tipos que tendrán comunicación por cable o inalámbrica, este sistema de comunicación se compone de redes que logran que los semáforos se comuniquen entre sí, también con centros de control de tráfico, incluyendo conexiones por cable o inalámbricas, esto según sea el caso. También cuenta con protocolos de comunicación que usan estándares de comunicación de red con la finalidad de llevar el control de tráfico (Traffic Control Network Protocolo - TCNP) en el momento de intercambio información, coordinando de manera efectiva el tráfico que se mueve en el sistema semafórico.

Otra forma de instalar semáforos inteligentes es implementando microcontroladores Arduino y programarlos con el software MATLAB. Esta combinación permite analizar imágenes digitales del tráfico en tiempo real para determinar la densidad vehicular. Con esta información, el Arduino ajusta automáticamente la duración de la luz verde en intercepción, optimizando así

el flujo vehicular según las condiciones de tránsito (Daza & Angulo, 2022). La implementación de semáforos inteligentes utilizando Arduino programados con MATLAB presenta numerosas ventajas para la gestión del tráfico y optimización de los sistemas semafóricos. Esta combinación única aprovecha la potencia del software MATLAB para el análisis de datos y el control, junto con la versatilidad y bajo costo de los microcontroladores Arduino. El resultado es un sistema de gestión del tráfico eficiente, adaptable y económicamente viable, capaz de implementar soluciones inteligentes basadas en datos en tiempo real.

Existe el ambicioso proyecto de Ford, las intersecciones reguladas por semáforos no serán un obstáculo para ambulancias, policías o bomberos con un sistema de gestión de tráfico, computarizado por plataformas de software que integran datos de múltiples semáforos y sensores para gestionar y coordinar el tráfico de manera centralizada. Estos sistemas priorizan los vehículos de emergencia, permitiéndoles el paso con mayor rapidez mediante la activación de luces verdes prolongadas (García-Alcañiz, 2022).

Estado del Arte Acerca de Redes IoT para Semaforización Inteligente

La semaforización tradicional, basada en ciclos fijos o temporizadores, ha demostrado ser insuficiente para manejar la complejidad del tráfico moderno. Este enfoque estático a menudo provoca congestiones en las vías, descontento ciudadano debido a la percepción de inacción por parte de las autoridades, e incluso accidentes causados por la imprudencia de conductores desesperados. Esta situación, que empeora con el tiempo, podría mejorarse significativamente si las administraciones públicas adoptaran sistemas de semaforización más avanzados y adaptativos.

La semaforización inteligente ha emergido como un área de investigación y desarrollo crucial en los últimos años, impulsada por la necesidad de optimizar el tráfico en entornos urbanos cada vez más congestionados. Este enfoque moderno se centra en la implementación de tecnologías y componentes clave que transforman los sistemas de semaforización tradicionales en sistemas dinámicos, capaces de adaptarse a las condiciones del tráfico en tiempo real y mejorar la movilidad urbana.

Antecedentes Históricos

El primer semáforo del mundo, instalado en Londres en diciembre de 1868 por el ingeniero ferroviario John Peake Knight, marcó un hito en la historia de la seguridad vial. Este dispositivo, ubicado frente al parlamento británico de Westminster, utilizaba brazos mecánicos para regular el tráfico vehicular. Aunque rudimentario, sentó las bases para los sistemas de control de tráfico modernos (Sice, 2023).

Tecnologías y Componentes Clave

En el ámbito de la gestión y control del tráfico urbano, la implementación de tecnologías avanzadas y componentes innovadores ha revolucionado la forma en que se monitorea, analiza y optimiza el flujo vehicular. Estos avances han permitido transformar los sistemas de semaforización tradicionales en soluciones inteligentes y adaptativas, capaces de responder a las demandas dinámicas del tráfico moderno. A continuación, se presentan algunas contribuciones clave relacionadas con las tecnologías fundamentales que impulsan la semaforización inteligente.

Detección de Vehículos

Los sensores de proximidad (ultrasonido/IR) son dispositivos ampliamente utilizados en la detección vehicular debido a su capacidad para detectar la presencia de objetos o vehículos sin necesidad de contacto físico. Estos sensores operan mediante la emisión de señales (como ultrasonido, infrarrojos o campos electromagnéticos) y la detección de cambios en dichas señales cuando un objeto se encuentra dentro de su rango de alcance. Wu, (2024) presenta una guía completa sobre eficiencia vial y así lograr un sistema inteligente de gestión de tráfico que utiliza Arduino Mega 2560 y sensores ultrasónicos entre otros que hacen que el sistema detecte la presencia y densidad de vehículos en tiempo real, ajustando dinámicamente los tiempos de los semáforos para optimizar el flujo, reducir la congestión y mejorar la seguridad. Su diseño modular permite la integración con IoT para monitoreo remoto, demostrando el potencial de componentes de bajo costo para soluciones escalables en la gestión del tráfico urbano.

Los sensores magnetorresistivos son dispositivos que detectan cambios en el campo magnético causados por la presencia de objetos metálicos, como vehículos. Estos sensores son ampliamente utilizados en aplicaciones de detección vehicular debido a su alta sensibilidad, fiabilidad y capacidad para operar en condiciones ambientales adversas. Se ha creado un sistema

para detectar y clasificar vehículos utilizando un sensor magnetorresistivo triaxial de bajo costo. Sensors, (2024) presenta un sistema que explica sobre el sensor magnetorresistivo, de esta forma con un algoritmo basado en la varianza de la señal identifica vehículos en un carril y segmenta sus señales según el tiempo de entrada y salida del área de monitoreo. Se extraen cinco características de la señal para clasificar los vehículos en categorías como motocicletas, coches, autobuses y SUV. Los resultados muestran una precisión de detección del 99.05% y una precisión de clasificación del 93.66%, demostrando su eficacia en condiciones de tráfico lento y congestionado.

El sensor LiDAR Los sensores LiDAR (Light Detection and Ranging) son una tecnología clave en la detección vehicular, especialmente en aplicaciones avanzadas como vehículos autónomos, sistemas de tráfico inteligente y mapeo urbano. Utilizan pulsos de luz láser para medir distancias y crear mapas tridimensionales del entorno, lo que permite una detección precisa de vehículos, peatones y obstáculos. IBM, (2025) Explica cómo funciona y qué componentes tiene este tipo de sensores y así lograr un sistema de detección de vehículos en áreas viales complejas utilizando LiDAR y una GPU embebida (Nvidia Jetson TX2). El sistema combina algoritmos de aprendizaje no supervisado y detección para procesar nubes de puntos, logrando una precisión del 82.7% en la detección de vehículos con datos reales del LiDAR HDL-32E Velodyne. La investigación también analiza la arquitectura de sistemas LiDAR en carretera y su procesamiento de datos. Los resultados buscan apoyar a la industria, academia y agencias gubernamentales en la adopción de tecnologías LiDAR para sistemas de monitoreo vehicular

Inteligencia Artificial

La congestión del tráfico es un problema creciente en las áreas urbanas, con impactos significativos en la movilidad, la economía y el medio ambiente. Para abordar este desafío, se

han desarrollado algoritmos de predicción que utilizan datos históricos y en tiempo real para anticipar patrones de tráfico. Estos algoritmos permiten ajustar dinámicamente los ciclos de los semáforos, optimizando el flujo vehicular y reduciendo la congestión.

El crecimiento del transporte ha llevado a un aumento en el número de vehículos y accidentes de tráfico, lo que representa una amenaza para la seguridad humana. Las Redes Vehiculares Ad Hoc (VANET) son clave en los sistemas de transporte avanzados. Para abordar este problema, se están explorando técnicas de predicción de accidentes utilizando métodos como el aprendizaje automático, el aprendizaje profundo y sistemas difusos. Ali, Hussain, et al. (2024) se enfocan en analizar estos métodos y proponer mejoras para futuras investigaciones, con el objetivo de prevenir accidentes y mejorar la seguridad vial.

También, Moussa, (2019) revisan el papel de las técnicas de aprendizaje profundo en los Sistemas de Transporte Inteligente (ITS), destacando cómo se abordan desafíos complejos como la variabilidad espacial, temporal y las condiciones externas (clima, eventos sociales). Se analizan enfoques de modelado y soluciones específicas, con el objetivo de servir como puente entre las comunidades de aprendizaje automático y transporte, promoviendo futuras colaboraciones e innovaciones.

Visión Artificial

El reconocimiento de placas mediante cámaras inteligentes facilita la gestión de infracciones y el control de acceso en vías públicas, mejorando la seguridad vial. Xu, (2022) afirma que la tecnología de detección de vehículos basada en video ofrece una solución eficiente y económica, permitiendo recopilar información como velocidad, tipo de vehículo y matrícula. Estas herramientas no solo mejoran la vida cotidiana, sino que también proporcionan servicios seguros y eficientes para la administración, superando las limitaciones de los métodos

tradicionales que dependen de recursos humanos, como altos costos y baja eficiencia.

Simulación de Tráfico

Los simuladores de flujos son herramientas esenciales para modelar y prever el impacto de cambios en la red vial, existen varias herramientas de código abierto que permiten realizar simulaciones de tráfico de manera eficiente lo que permite la planificación urbana y la optimización del tráfico. Mauricio & Andrés, (2020) diseñó un sistema de semáforos inteligente que ajusta los tiempos de espera en función del número de vehículos en tiempo real, utilizando tecnología de procesamiento de imágenes. El sistema fue implementado con Lazarus y OpenGL, programado en Pascal, y procesa vídeos de tráfico en intersecciones para segmentar imágenes de vehículos y calcular la distancia y longitud de los coches en cada ruta. Esto permite determinar el tiempo óptimo para las luces verdes y rojas, reduciendo el tiempo de espera en un 45,35%. Además, este avance no solo mejora la eficiencia del tráfico, sino que también contribuye al desarrollo de ciudades inteligentes y fomenta el aprendizaje y el pensamiento computacional en la sociedad a través de la educación STEM, integrando IoT e inteligencia artificial.

Protocolos de Comunicación

El protocolo TCP/IP es ampliamente utilizado por su estabilidad y fiabilidad en la transmisión de datos, lo que lo hace ideal para sistemas de semaforización inteligente. Díaz Palacios, (2024) propone un sistema de control de semáforos centralizado que utiliza una red de comunicación inalámbrica única, con el protocolo TCP/IP como base para la transmisión de datos entre los semáforos y una administración central. El sistema fue diseñado para gestionar intersecciones urbanas comunes, implementando rutinas de control directo que permiten adaptarse a eventos extraordinarios, como cierres de carreteras por accidentes o eventos públicos. Además, se integraron rutinas de seguridad para monitorear el estado de las lámparas de los

semáforos y notificar a la administración central en caso de fallos. Utilizando un analizador lógico, se validó el sistema comparando los cronogramas teóricos y prácticos de operación, demostrando su eficacia.

La implementación del protocolo TCP/IP asegura una comunicación confiable y en tiempo real entre los dispositivos, lo que permite un control más eficiente y adaptable del tráfico. Este enfoque no solo mejora la gestión del tráfico, sino que también contribuye a reducir la congestión y la contaminación, avanzando hacia ciudades más inteligentes y sostenibles.

Lenguajes de Programación

Python, C++, Java y JavaScript son lenguajes populares para desarrollar software de control de semáforos debido a su flexibilidad y capacidad para crear soluciones personalizadas, este texto describe un sistema de gestión de tráfico inteligente que utiliza técnicas de procesamiento de imágenes para detectar y rastrear vehículos en la carretera.

El sistema compara la densidad de vehículos en cada carril de una intersección y asigna prioridades: los carriles con mayor densidad reciben una luz verde más larga, mientras que los de menor densidad obtienen una luz verde más corta. Además, el sistema puede detectar vehículos de emergencia y darles prioridad. Manzo Cruz, & Arzate Hernández, (2019). Desarrollaron un sistema utilizando OpenCV en Python y se implementó en una Raspberry Pi 3 Modelo B+ para controlar los semáforos. Las pruebas demostraron que el sistema es preciso y confiable en la detección de vehículos, priorización de carriles y sincronización del tráfico, siendo una herramienta eficaz para regular el flujo vehicular. El sistema descrito utiliza Python como lenguaje principal debido a su facilidad de uso y su capacidad para integrarse con herramientas de visión por computadora como OpenCV. Sin embargo, C++, Java y JavaScript también podrían desempeñar roles importantes en un sistema de gestión de tráfico inteligente, ya sea para

optimizar el rendimiento, crear interfaces de usuario o desarrollar aplicaciones web y servidores. La elección del lenguaje dependerá de los requisitos específicos del proyecto, como la necesidad de rendimiento en tiempo real, escalabilidad o facilidad de desarrollo.

Tecnologías de Comunicación

Bluetooth Low Energy (BLE) es una tecnología inalámbrica de bajo consumo que es ideal para dispositivos que requieren conexiones de corto alcance y baja potencia. ZeroScatter BLE es una tecnología innovadora que permite agregar comunicación inalámbrica Bluetooth Low Energy (BLE) a dispositivos como FPGA (matrices de puertas programables en campo) sin necesidad de hardware adicional. Reyes, Rosenthal, JD y Reynolds, (junio de 2024) afirma que esta tecnología utiliza un pin de E/S digital, un reloj estable y una antena de 2,4 GHz para modulares señales BLE mediante retro dispersión, permitiendo la comunicación con dispositivos como Smartphone (iOS o Android) sin modificaciones. En pruebas, se logró un alcance de más de 4 metros en interiores, demostrando su viabilidad para aplicaciones en entornos urbanos.

En el contexto de semáforos inteligentes, ZeroScatter BLE podría utilizarse en la comunicación entre vehículos y semáforos, esto permite que los vehículos envíen y reciban datos de los semáforos, optimizando el flujo de tráfico. También se integran con sistemas IoT: Facilitar la conexión de semáforos con redes inteligentes para mejorar la gestión del tráfico en ciudades.

Controladores

Arduino es una plataforma de hardware libre que ofrece flexibilidad y facilidad de programación, mientras que Raspberry Pi proporciona mayor capacidad de procesamiento y compatibilidad con múltiples lenguajes y periféricos. Bello & Rojas, (2018) afirma que este sistema aumentar la agilidad en la toma de decisiones, ahorrar tiempo y aliviar eficazmente la congestión del tráfico mediante el uso de Arduino como componente central. Nuestro enfoque

implica un dispositivo de medición de densidad de vehículos que utiliza una resistencia dependiente de la luz (LDR) y tecnología láser para medir la densidad de vehículos que pasan. Este dispositivo identifica el número máximo de automóviles dentro de un período de tiempo predeterminado.

Rubio Londoño & Álvarez Diego F, (2023) Indica que, en este estudio, se desarrolló un sistema de gestión de semáforos inteligente basado en procesamiento de imágenes y controlado por una Raspberry Pi. El sistema utiliza cámaras para capturar imágenes del tráfico y procesarlas con OpenCV y TensorFlow para contar la cantidad de vehículos. Estos datos se envían a una base de datos en un servidor, que ajusta dinámicamente la duración de los semáforos según la densidad del tráfico. Si hay 3 vehículos en la cola con el semáforo en rojo, el sistema establece un tiempo de 10 segundos para la luz verde. Por cada vehículo adicional, la duración de la luz verde aumenta 4 segundos.

Monitoreo de Tráfico

Las cámaras inteligentes permiten la detección y seguimiento de vehículos y peatones. Florentino & Gismondi, (s.f) describen un sistema de gestión de semáforos inteligente que utiliza cámaras inteligentes para optimizar el flujo de tráfico. Las cámaras capturan imágenes en tiempo real de las condiciones del tráfico, y mediante técnicas de procesamiento de imágenes y visión por computadora (usando herramientas como OpenCV y TensorFlow), se detecta y cuenta la cantidad de vehículos en la cola. Estos datos se envían a un servidor web, que ajusta dinámicamente la duración de los semáforos.

Julia F. (2024) Indica que la congestión del tráfico es un problema creciente en las ciudades debido al aumento de vehículos y conductores, para abordar este desafío, se desarrolló un sistema de control de tráfico inteligente que combina una cámara de IA y un sensor ToF

(tiempo de vuelo). Funciona cuando la cámara de IA detecta y cuenta a las personas que esperan en los pasos de peatones y el sensor ToF identifica los vehículos detenidos en el cruce.

Estos datos se envían al Arduino Mega 2560, que actúa como controlador principal, ajustando dinámicamente los semáforos para vehículos y peatones.

En la tabla uno se resume las principales categorías, descripciones y ventajas de las tecnologías relacionadas con la semaforización inteligente.

Tabla 1

Información Tecnologías

Categoría	Tecnología/ Componente	Descripción	Ventajas
Detención de Vehículos	Sensores de proximidad	Detectan la proximidad de vehículos o personas mediante ultrasonido y/o infrarrojos.	Precisión en la detección, bajo consumo de energía. Alta precisión en la detección de
	Ultrasonido/IR Sensor LiDAR	El sensor LiDAR utiliza luz láser para medir distancias y crear mapa tridimensional del entorno.	vehículos y peatones, capacidad para mapear áreas complejas y monitoreo en tiempo real.

Inteligencia Artificial	Algoritmos de predicción	Utiliza datos históricos para prever el tráfico futuro	Mejora la planificación y ajuste de los semáforos.
Visión Artificial	Reconocimiento de placas	Lee y analiza las placas de los vehículos	Facilita la gestión de infracciones
Simuladores de Tráfico con Código Abierto	Simulador de flujos	Modela y simula el flujo de tráfico	Permite prever el impacto de cambios en la red
Protocolos de Comunicación	Prototipo con Protocolo TCP/IP	Implementación de comunicación basada en TCP/IP	Estable y fiable para la transmisión de datos.
Lenguaje de Programación	Python, C++, Java, JavaScript.	Lenguajes utilizados para desarrollar el software de control de semáforos	Flexibilidad para desarrollar soluciones personalizadas
Tecnologías de Comunicación	Bluetooth Low Energy	Tecnología de comunicación inalámbrica de bajo consumo	Recomendado para dispositivos que requieren baja potencia.
Controlador	Arduino (microcontrolador)	Plataforma de hardware libre basada en una placa con un	Flexibilidad, facilidad de programación, bajo

		microcontrolador.	costo.
Controlador	Raspberry Pi B+	Es una computadora de placa única de bajo costo y alto rendimiento, capaz de ejecutar un sistema operativo completo.	Mayor capacidad de procesamiento, compatibilidad con múltiples lenguajes de programación, conexión a internet y periféricos.
Monitoreo de Tráfico	Cámaras inteligentes	Dispositivos de captura de video con capacidad de procesamiento de datos en tiempo real para análisis avanzado.	Detección y seguimiento de vehículos y peatones, reconocimiento de matrículas, análisis de incidentes.

Fuente. Páginas como ScienceDirect, Smart Cities, World, eLibro, IEEE Xplore Digital Library

Casos de Estudio y Aplicaciones

En Nezahualcóyotl, México, se ha implementado un sistema de semáforos inteligentes basado en tecnologías de visión artificial y procesamiento de imágenes. Este sistema, desarrollado con herramientas de código abierto como OpenCV, permite ajustar dinámicamente la sincronización de los semáforos en función del flujo vehicular, reduciendo los tiempos de espera y mejorando la eficiencia del tráfico (Manzo Cruz & Arzate Hernández, 2019).

En Loja, Ecuador, se ha utilizado software de simulación de tráfico como SUMO y VanetMobiSim para comparar el sistema de semaforización actual con uno propuesto basado en

regulación predefinida. Los resultados mostraron una reducción significativa en la contaminación y el número de vehículos en circulación (Samaniego-Calle, Viñán-Ludeña, Jaramillo-Sangurima, & Jácome-Galarza, 2019)

Desafíos y Soluciones

A pesar de los avances, la implementación de sistemas de semaforización inteligente enfrenta desafíos, como la necesidad de infraestructura adecuada y la accesibilidad de los usuarios. Por ejemplo, en Quito, Ecuador, el crecimiento de la población y la falta de cultura vial han exacerbado los problemas de tráfico, lo que ha llevado a la propuesta de sistemas basados en grafos no dirigidos y puntos de agregación de datos (PAD) para mejorar la eficiencia en la transmisión de información (Pérez, Benítez-Tupiza, & Jaramillo, 2020).

En Lima, Perú, se ha desarrollado un prototipo de semáforos inteligentes utilizando microcontroladores Arduino Mega y cámaras para gestionar el tráfico de manera eficiente. Este sistema, que incluye fases de recopilación de datos, análisis y pruebas de simulación. (Liendo Arévalo et al., 2023).

Innovaciones Recientes

En Buenos Aires, Argentina, ha implementado un sistema de sensores que utiliza inteligencia artificial para ajustar las frecuencias de los semáforos en tiempo real. Esta iniciativa promete mejorar significativamente la fluidez del tránsito (+Comunidad, 2022)

En Estados Unidos, empresas como AT&T y Digi han desarrollado soluciones integrales para la gestión del tráfico, incluyendo routers con actualizaciones masivas de firmware y sistemas de detección de congestión mediante radar y cámaras. Estas tecnologías permiten una sincronización adaptativa de los semáforos y respuesta rápida a fallos (Mazur, 2022)

Oportunidades y Desafíos en Implementación de Semaforización Inteligentes

El objetivo de este estudio es identificar las oportunidades y desafíos que presenta la implementación de semaforización inteligente en Florencia- Caquetá y se realizó con un análisis detallado sobre ventajas y desventajas que existen en el momento de implementar un proyecto que busca proporcionar una visión integral y facilitar la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades locales y otros actores involucrados en la planificación urbana.

Oportunidades

Florencia-Caquetá, es un municipio situado al sur de Colombia, en el pie de monte amazónico y fue fundado el 25 de diciembre de 1902, ha experimentado un crecimiento significativo tanto en población como en infraestructura desde su inicio. En la actualidad, cuenta con 179,233 habitantes aproximadamente, de los cuales 158,529 residen en la cabecera municipal, según DANE (2024). Sin embargo, la administración municipal estima que hayan 268.000 aproximadamente. A esto se suman los visitantes que llegan diariamente desde diferentes partes del país.

La actividad económica de la región se basa en la producción agrícola y mayor actividad en la ganadería de mayor extensión. También se cuentan cabildos indígenas distribuidos en 12 etnias en la parte rural mientras que urbanas reside una conocida como EtniJitoma. Estos últimos se encuentran en un sector denominado las Malvinas, donde llegaron como desplazados en los tiempos de violencia.

En marzo de 2022, el parque automotor de Florencia, Caquetá, contaba con más de 75,396 vehículos y motocicletas. Esta cifra incluye una variedad de transportes como camiones, camionetas, vehículos particulares y de servicio público, volquetas, maquinaria de obras públicas, motocarros y ciclomotores. A pesar de sus diferencias, todos estos vehículos tienden a

acumularse en las calles durante las horas de mayor circulación (Sectransito, 2022).

La ciudad cuenta con un comercio considerable, lo que presenta ventajas y desafíos, aspectos que ofrecen oportunidades para analizar y buscar mejoras oportunidades que serían de mejoramiento la ciudad de Florencia con un sistema de semáforos Inteligentes.

Análisis

La metodología empleada en esta propuesta es de tipo cuantitativo y descriptivo. Consiste en investigar y ordenar de los resultados relacionados con características, procedimientos, factores de conducta y otras variables relevantes al tema de congestión vehicular. El primer paso en este proceso es la observación, que permite analizar y estudiar los hechos y variables en cuestión.

Se realizó un análisis detallado de los resultados de aforos, y se determinó que el cruce de la consolata sitio conocido como el novillo, es una carnicería y se usa de referencia, también es uno de los principales accesos a la ciudad por este lado oeste, se incluye la esquina siguiente conocida como la guarapearía, ubicada sobre la calle 21 uniéndose sobre la carrera 15ª y no cuenta con intercepción semafórica presentando retrasos durante la hora pico de 12 a 01 de la tarde. Esta situación también se observa en otros cruces, como la glorieta del terminal, el sector conocido como caesca, zona rosa y las intersecciones del centro.

Los embotellamientos se deben a varios factores, entre ellos problemas con la sincronización de la ola verde, mal control vehicular, inadecuada semaforización y la falta de cruces semafóricos adicionales y bien distribuidos. Además, en la hora pico se observa una alta cantidad de vehículos de carga en el centro, y, para empeorar la situación, muchos de estos vehículos están descargando en ese momento.

En esta primera etapa, el objetivo es identificar de manera detallada el problema de

fondo, específicamente la congestión vehicular. Esto se realiza con el propósito de avanzar en el planeamiento de un diseño estructurado que pueda ser ejecutado técnicamente y que satisfaga las necesidades para resolver el problema de manera efectiva y definitiva.

Este análisis detallado permitirá avanzar en el planeamiento de un diseño estructurado que pueda ser ejecutado técnicamente y que cumpla con las necesidades para resolver el problema de manera efectiva, se revisó las cifras de accidentes que se han ocasionado en el municipio de Florencia Caquetá registrando una cantidad de 51 lesionados en siniestros viales en los primeros seis meses del año 2024.

Tabla 2

Clase de Actor Vial y Cantidad

Acumulado lesionados siniestros viales 2024 según condición y grupo							
Actor Vial	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Total
Peatón	1	0	0	1	1	1	4
Ciclista	0	0	0	0	0	0	0
Motociclista	1	5	8	7	4	9	34
Acompañante	2	0	2	1	3	4	12
Motociclista							
Conductor	0	0	0	0	0	0	0
Carro							
Acompañante	0	0	0	1	0	0	1
Carro							
Totales	4	5	10	10	8	14	51

Fuente. Valbuena,(2024)

Implementar un sistema de semaforización inteligente en la ciudad de Florencia Caquetá podría generar diversas oportunidades, transformando la movilidad urbana de manera significativa y que tiene el potencial tecnológico para hacer que la ciudad sea más fluida, segura, sostenible y eficiente.

Tabla 3

Oportunidad y Descripción

Oportunidad	Descripción
Impacto Ambiental Positivo.	Las reducciones de emisiones van a minimizar ya que los vehículos y motocicletas estarán menos tiempo de espera en los semáforos, esto traduce en menos emisiones contaminantes, contribuyendo a la sostenibilidad. Se eliminan los embotellamientos y los tiempos de espera, lo que implica una disminución en las emisiones de dióxido de carbono (CO ₂) y otros gases nocivos provenientes de los vehículos. Además, habría menos emisiones de partículas en suspensión (PM ₁₀ y PM _{2.5}), lo que contribuiría a mejorar la calidad del aire en la ciudad.
Optimización del Flujo Vehicular	Mejora en la fluidez del tráfico, los semáforos inteligentes se ajustan ciclos programados y tendrán variación en tiempo real según esté el sistema vehicular en movimiento, esto mejora la circulación y reduce la congestión.

Mejora de la Seguridad Vial.

Se genera coordinación eficiente de los semáforos y reduce los accidentes al gestionar mejor los flujos de tráfico y peatones, logrando un avance significativo incluyendo el afán de las personas, esto logra que disminuya velocidad, circulen más despacio, con más precaución y no tengan que pasar en rojo, lo que reduce la accidentalidad de forma positiva para Florencia Caquetá.

Reducción de Tiempos de Espera.

Abre un abanico de oportunidad para mejorar la calidad de vida en Florencia Caquetá y así aprovechar el potencial que ofrece la reducción de tiempos de espera mejorando en la ciudad que viva sin congestiones y con un futuro más prometedor. Se obtendrán datos en tiempo real que se pueden recopilar sobre el tráfico, permitiendo mejor planificación urbana y de transporte para la administración municipal.

Promoción de la Movilidad Sostenible

Se enmarca en la economía convirtiéndola en más robusta con la reducción de costos en transporte, de esa forma gastan menos combustible. También la estimulación de la economía local que consta de infraestructura para la movilidad sostenible y al ver un resultado de oportunidad la administración y el pueblo Florenciano le apuesta al mantenimiento e inversión de la malla vial y por supuesto el comercio crecerá.

Mejora de la Calidad de Vida.

Permite fortalecer el turismo, toda vez que una ciudad con un tránsito fluido y eficiente, genera una imagen positiva y atractiva para los visitantes. Logra menos tiempo de espera con el sistema de semáforos inteligentes. Contribuye a crear un entorno urbano más saludable y agradable para sus habitantes. Igualmente, el transporte público mejora y es de beneficio para empresa, dueños de buses y usuarios haciendo un recorrido más atractivo e incentivando el uso del transporte público.

La información que se presenta, se recolecto a partir de revisión de páginas web como ScienceDirect y Smart Cities y World. También, un análisis profundo fue requerido para conocer la problemática en campo, específicamente en la ciudad de Florencia Caquetá. Este conocimiento permite realizar un análisis de la realidad y evaluar la oportunidad que surge al ejecutar la propuesta.

Desafíos

Implementar un sistema de semaforización inteligente en Florencia, Caquetá, implica una serie de desafíos que se deben considerar y tener en cuenta para garantizar el éxito del proyecto.

Se describen de la siguiente forma:

Tabla 4*Desafíos y Descripciones*

Desafíos	Descripción
Aceptación Social	<p>Este es uno de los desafíos más críticos sin duda lamentablemente, es la población, está dividida políticamente y culturalmente, cuando la administración que está de turno establece un proyecto de cualquier magnitud, siendo una oportunidad positiva para la ciudad, la oposición comienza a criticar y buscar maneras de atacar. Además, existe una falta de conocimiento por parte de los habitantes y esto hace que desconozcan y quieran saber sobre los beneficios que podría aportar para todo el pueblo Florenciano en cada proyecto que se ejecuta.</p>
Cultura Ciudadana	<p>Los desconocimientos de los ciudadanos pueden no entender cómo funcionan los semáforos inteligentes y podrían resistirse al cambio debido a la falta de familiaridad con la tecnología, esta cultura es muy negativa.</p>
Vehículos mal Parqueados	<p>Esta descripción evidencia con resultados fotográficos y reales en el momento de cruzar la calle 13 donde se evidencian carros parqueados al costado derecho y por el otro lado parqueadero de motos, esto genera que el paso vehicular sea muy reducido y genera trancón malestar porque solo habría una fila para llegar al semáforo.</p> <p>Ver figura No 1.</p>
	<p>Según se evidencia en la Imagen No 3, los vehículos parquean en</p>

<p>Vehículos</p> <p>Descargando en los dos Lados de la Vía</p>	<p>cuarquier sector sin importar el error e inconveniente que están cometiendo, se ven los vehículos sobre la carrera 14 descargando mercancías y ocupan los dos lados de la vía, esto genera trancon y reducción a un solo carril la movilidad.</p> <p>De esta forma se nota la falta de compromiso en la misma ciudadanía porque ni al parquear lo hacen bien, donde llegan se paran sin preocuparse quisas de orillar bien el vehículo y es una falta que aún no se controla y la falta de curtura aliña el problema y seguiremos así si no enviamos un proyecto de vida para que se muevan los vehículos mediante un sistema inteligente.</p>
<p>Sabotaje o Vandalismo</p>	<p>Florencia tiene una invasión de motociclistas que trabajan de forma ilegal, son miles y estos son un riesgo y desafío fuerte ya que constantemente tanto autoridades locales como gremios legales buscan la forma de acabar la ilegalidad y la respuesta de estos es negativa y cada que se intenta hacer algo para solucionar estos inician con vandalismo dañando los bienes del pueblo, como son señales de tránsito y en este caso con semáforos como aconteció en una época que incendiaron las instalaciones de tránsito y transporte municipal.</p> <p>El_Espectador, (2011)</p>
<p>Integración con Infraestructuras Existentes</p>	<p>Otro desafío que existe debido a la complejidad de adaptar un sistema de semáforos inteligentes a la infraestructura de tráfico existente. Este proceso puede requerir cambios significativos en el diseño de las calles y las intersecciones. Constantemente, será necesario modificar</p>

la ubicación e instalación de los semáforos, así como realizar cambios en el cableado de todo tipo, eléctrico y de datos.

Esta integración se puede lograr a pesar de la cantidad de obstáculos.

Ciberseguridad

El sistema de semáforos inteligentes estaría conectados a redes informáticas volviéndose de esta forma vulnerables a posibles ciberataques, en la administración municipal constantemente hacen ataques cibernéticos, que no han sido graves pero el riesgo.

El contenido de esta tabla es análisis propio basado en el conocimiento de la ciudad y las situaciones negativas que enfrenta. Según un informe del periódico El Tiempo, un episodio de vandalismo afectó gravemente el tránsito municipal. Para profundizar en la realidad, se realizaron indagaciones con personas locales y se examinaron fotografías que evidencian la falta de cultura vial. Estos elementos revelan desafíos complejos en la gestión del tránsito.

Figura 1

Calle 13 Parquederos por los dos Lados



Fuente. El autor

Todo esto genera la necesidad de proyectar el sistema de semáforos inteligentes combinados con

las redes de nueva generación incluyendo el material de la oficina, secretaría de tránsito y movilidad para que todo quede digitalizado y así prevenir pérdida de información.

Figura 2

Carrera 13 Descargue y Parquaderos



Fuente: El autor.

Tabla 5 Aspectos Positivos

Reducción de Congestión: Se presentan menos atascos y circulación más fluida, contribuyendo así a menos contaminación, se minimizan los accidentes de tránsito y mejora la seguridad vial mediante sincronización y control del tráfico.

Mejora en la Salud Pública: La reducción del estrés asociado con el tráfico donde hay demoras y maltratos entre los mismos usuarios por el afán y la disminución de la exposición a contaminantes del aire, lo que promueve una ciudad más saludable.

Conservación del Medio Ambiente: Se lograr menos emisiones de gases contaminantes debido a un tráfico más eficiente y vehículos en constante movimiento, también la cultura ciudadana mejora y esto evita el arrojo de basuras en la calle como bosas y tarros de alimentos que se consumen durante el día y en la calle.

Ventajas

Al conocer que, siempre en proyectos existen obstáculos, hay que tener en cuenta que también hay ventajas significativas. Es crucial considerar que la implementación de un sistema de semáforos inteligentes en Florencia, capital caquetena. La adopción de esta tecnología puede generar un impacto considerable ofreciendo oportunidades para mejorar la calidad de vida en la región como son las que se destaca reduciendo la contaminación acústica. La optimización de la semaforización contribuye a una gestión más eficiente del tráfico y fomenta el uso de transportes más sostenibles ayudando a mantener el aire más limpio. También reduce los tiempos de espera y mejora el flujo de vehicular, se disminuyen las emisiones contaminantes.

Desventajas

Implementar semáforos inteligentes en Florencia, Caquetá, puede presentar desventajas, como costos de la implementación del sistema al realizar cambios en los semáforos actuales por nuevas estructuras, instalación y tecnologías y capacitación de personal para la operación que genera una inversión significativa.

Es importante considerar el mantenimiento y la actualización que los semáforos y sus estructuras pueden necesitar de forma regular en software. Además de los costos asociados con el mantenimiento físico. Estos aspectos pueden provocar posibles interrupciones en el servicio si no se hacen por lo que se hace necesario hacerlos

Los semáforos inteligentes dependen de una conexión estable a Internet o a una red local que es importante tener en cuenta para el correcto funcionamiento. En Florencia Caquetá hay varios proveedores de internet, conocidos como movistar, claro, vive, fibernet, globalnet, pero todos no cumplen con la conectividad necesaria, hay muchos baches para lograr una conexión

estable, es de tener en cuenta el momento de elegir cuál servicio seleccionar y que sea de alta calidad, que cumpla con el servicio las 24 horas del día, es desafío significativo al seleccionar al proveedor adecuado porque involucra conocimiento y experiencia. La calidad y estabilidad de la conexión son factores determinantes para el rendimiento óptimo del sistema de semáforos inteligentes.

Otro desafío es la resistencia al cambio, que es muy común en Florencia. Los ciudadanos y conductores pueden mostrar resistencia a adoptar un nuevo sistema de control de tráfico, especialmente si están acostumbrados a prácticas tradicionales como ignorar los semáforos en rojo, circular en contravía o estacionar en cualquier lugar omitir las señales de tránsito. La transición a un sistema de semáforos inteligentes puede requerir una adaptación significativa, y superar esta resistencia será crucial para el éxito de la implementación.

Los semáforos inteligentes, al igual que cualquier otro sistema conectado, están expuestos a riesgos informáticos. La seguridad cibernética es una preocupación importante, ya que estos sistemas pueden ser vulnerables a ataques que comprometan tanto la seguridad del tráfico como los datos personales de los usuarios. Además, existe el riesgo de daños físicos provocados por intrusos, quienes podrían robar piezas o causar deterioros. La falta de cultura ciudadana es fundamental para tenerla en cuenta en la seguridad, también la oposición política que al ver desarrollo en la ciudad se encargan de afectar negativamente el desarrollo y la gestión del sistema por parte de la administración de turno.

Estos factores deben ser considerados y gestionados adecuadamente para asegurar que la implementación de semáforos inteligentes en Florencia, Caquetá, sea efectiva y sostenible.

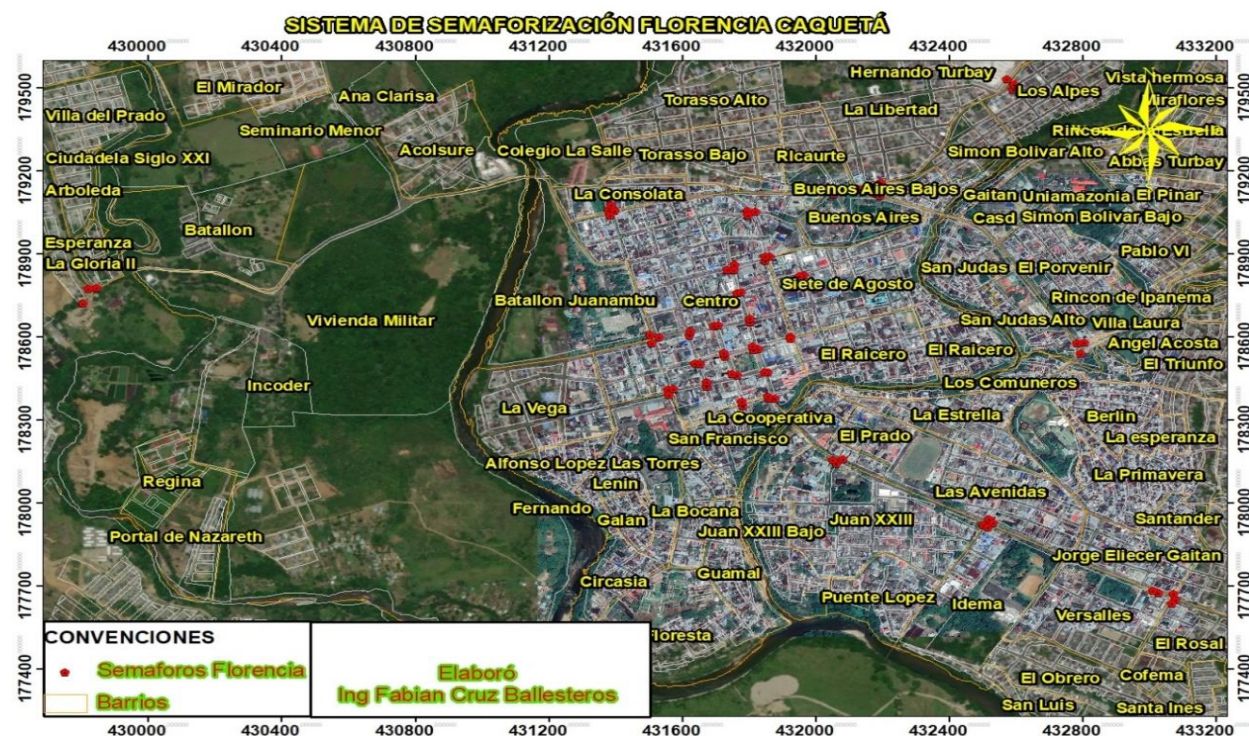
Mapa de Identificación Geográfica de Semáforos

Este mapa tiene como objetivo identificar y ubicar geográficamente los semáforos que existen

actualmente en el municipio de Florencia. Los semáforos se encuentran principalmente en el centro de la ciudad y algunos sectores aledaños, ubicados sobre las avenidas principales. La Secretaría de Tránsito Municipal (2024) afirma que actualmente existen 28 intersecciones con un total de 86 semáforos, los cuales operan mediante sistema de programación.

Figura 3

Ubicación Geográfica de Semáforos



Fuente. El autor.

Propuesta Solución SemafORIZACIÓN Inteligente basada en IoT

La gestión eficiente del tráfico se ha convertido en una necesidad sobresaliente para cualquier ciudad en constante crecimiento. En Florencia Caquetá, la congestión vehicular y los prolongados tiempos de viaje representan desafíos cotidianos que afectan la calidad de vida de los habitantes. Ante esta problemática, esta propuesta plantea una solución innovadora de semaforización inteligente, basada en tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) y alineada con las Redes de Nueva Generación; este sistema busca optimizar el flujo de tráfico, mejorar la movilidad urbana y reducir el impacto ambiental en el municipio.

La propuesta se enfoca en mantener la ubicación actual de cada semáforo. En algunos casos, podría ser necesario instalar lámparas adicionales o semáforos peatonales, pero siempre dentro de la misma intersección. Además, es fundamental que la central de control esté ubicada en la Secretaría de Tránsito y Movilidad, la cual se encuentra junto al edificio de la Alcaldía ubicada en la carrera 12, calle 15 (esquina) – centro de la ciudad.

Arquitectura Propuesta

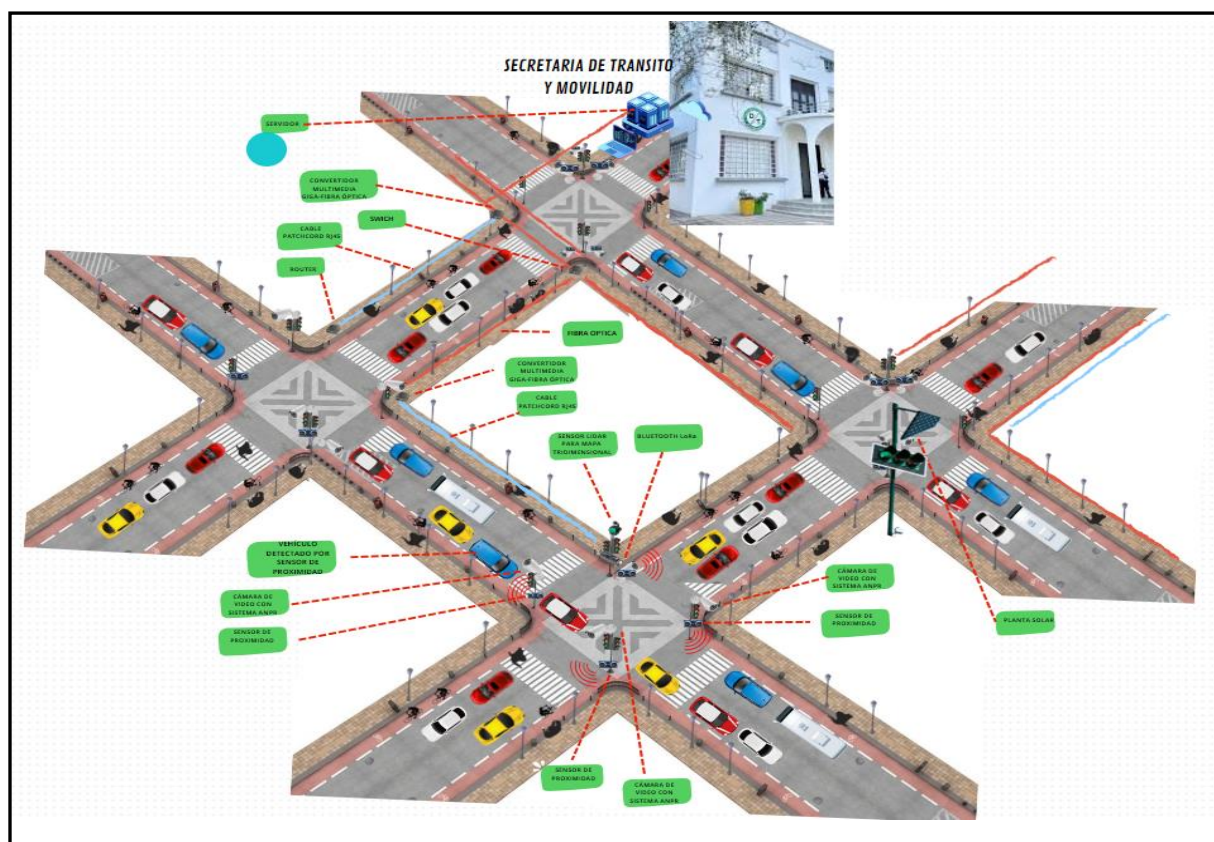
La arquitectura del sistema de semaforización inteligente se fundamenta en un diseño modular y escalable, dividido en varias capas que garantizan el funcionamiento eficiente y adaptable a las condiciones cambiantes del tráfico.

Se orienta en la intervención de 28 intersecciones y 86 semáforos totales que tiene el municipio de Florencia Caquetá; la totalidad de intersecciones que existen requieren cambios debido al alto flujo vehicular y los sitios que se encuentran con mucho fluido siempre por la carrera o calle principal dejando las otras con mucho tiempo en verde y poco vehículo en movimiento.

Según la propuesta cada intersección quedaría equipada con dispositivos Arduino, sensores LiDAR, cámaras de vigilancia con detectores de placas y sensores de proximidad. Cada componente cumple con una función y trabajan integrados para crear un sistema inteligente.

El sistema está diseñado para monitorear y controlar de manera eficiente el tráfico utilizando un enfoque inteligente y coordinado y haciendo uso de lógica difusa.

Figura 4 *Intersección Sec. Tránsito y Movilidad*



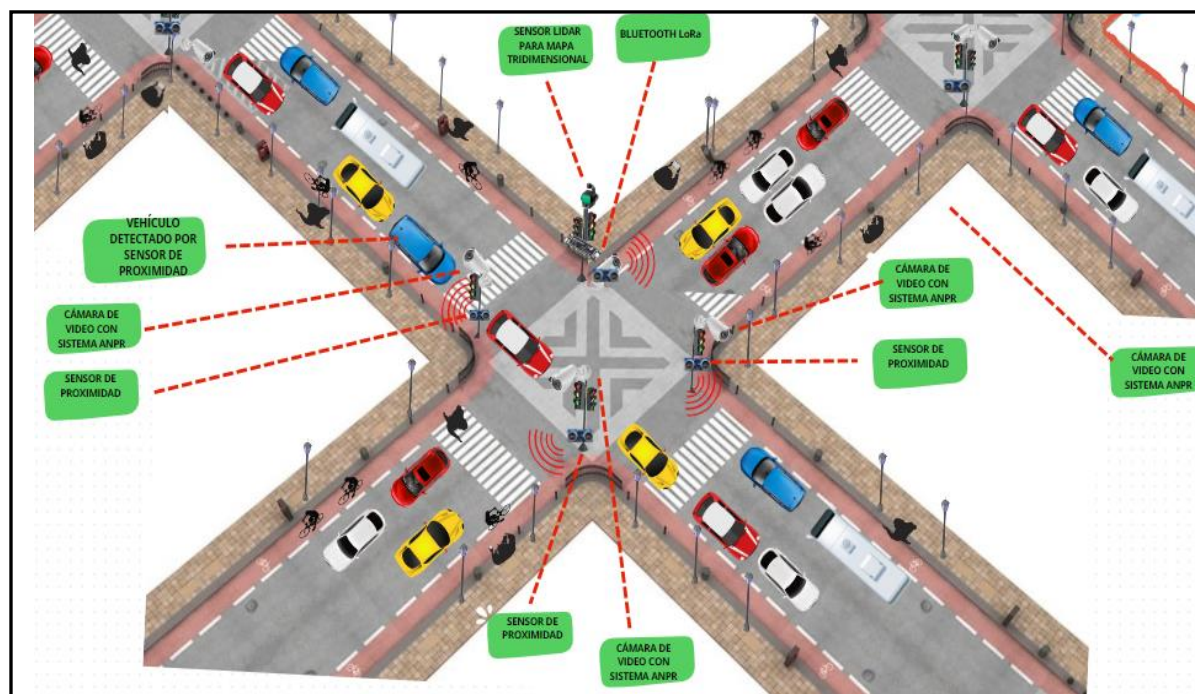
Fuente. El Autor

La figura muestra varios cruces con sus respectivos elementos, el inicio donde se encuentra el servidor principal que sería en la secretaría de tránsito y movilidad y las diferentes rutas que se integran generando un grafo para encontrasen y así coordinar todos los movimientos y cambios que requieran hacer.

Figura 5

Intercesión con Elementos Informáticos

Fuente: El autor



El sistema inteligente funciona cuando varios vehículos se acercan a una intersección, entra en acción para gestionar el tráfico de manera eficiente, este proceso se lleva a cabo mediante la integración de tecnologías avanzadas y un flujo de trabajo coordinado.

El sistema utiliza sensores LiDAR para realizar un barrido del área de la intersección y crean un mapa tridimensional en tiempo real, identificando la posición, velocidad y dirección de los vehículos. Los sensores de proximidad complementan la información del LiDAR detectando la presencia de vehículos y midiendo distancias con mayor precisión; estos sensores permiten analizar la densidad y distribución del tráfico en cada carril lo que facilita el sistema programar los semáforos e indicar los avances vehiculares.

El sistema recopila y procesa los datos obtenidos por los sensores LiDAR y de proximidad analizando qué carril tiene mayor cantidad de vehículos y cuál requiere prioridad en

el flujo de tráfico, una vez analizada la información, el sistema activa módulos Bluetooth para transmitir los datos al Arduino, que actúa como la unidad de control central.

El Arduino, previamente programado, recibe los datos y los procesa utilizando algoritmos de inteligencia artificial con el fin de que tome decisiones en tiempo real para optimizar el flujo de tráfico.

Basado en el análisis y la programación, el Arduino envía señales a los semáforos y otros dispositivos de control generando que el sistema ajuste los tiempos de los semáforos, priorizando los carriles con mayor densidad de vehículos y garantizando un tránsito fluido y seguro.

Esta arquitectura está dividida en varias capas, cada una explica de manera independiente el uso y los elementos que se usarían en la propuesta, para facilitar la comprensión de su distribución se crea un sistema eficiente y flexible que pueda adaptarse a las condiciones cambiantes del tráfico y mejorar la seguridad y fluidez en las vías con el propósito de extender el urbanismo con tecnología de punta, en este caso haciendo uso de las redes de nueva generación que llevan la comunicación a cualquier rincón del mundo.

El modelo propuesto se compone de cuatro capas: capa de sensores y actuadores, capa de control y capa de red. Las cuales se describen a continuación:

Capa de Sensores y Actuadores

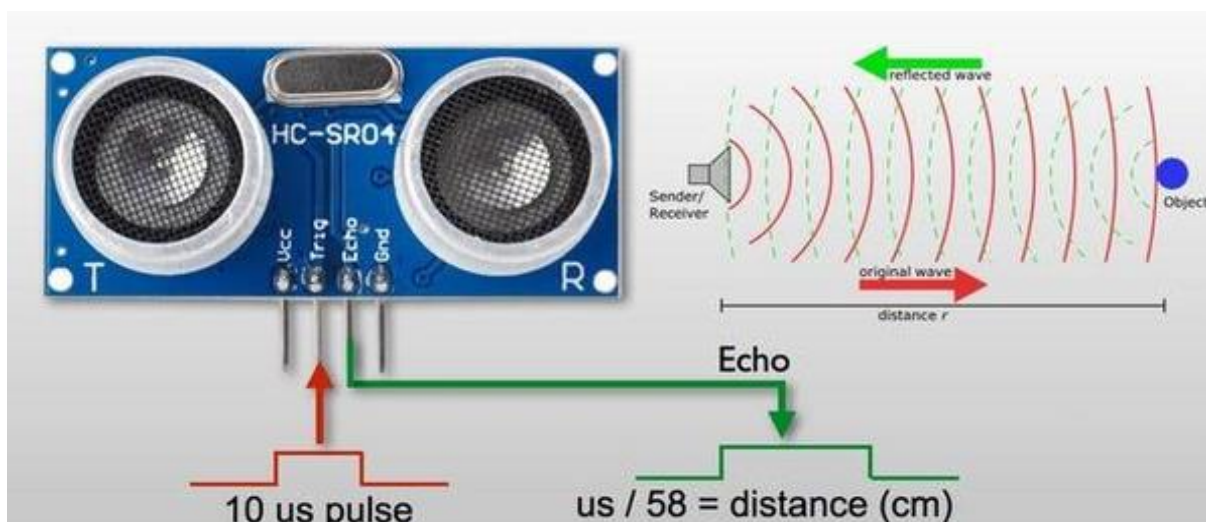
Esta capa constituye los "sentidos" y "músculos" del sistema, encargándose de capturar datos del entorno y ejecutar acciones físicas para gestionar el tráfico de manera dinámica. Su diseño combina tecnologías de detección avanzada para optimizar la movilidad urbana. Se compone de sensores de proximidad, sensor Lidar, sistemas de reconocimiento de placas y los semáforos propiamente dichos:

Sensores de Proximidad

Los sensores de proximidad ultrasónicos son dispositivos que operan emitiendo pulsos de sonido a frecuencias superiores a 20 kHz, imperceptibles para el oído humano. Al chocar con un objeto, estas ondas se reflejan de vuelta al sensor, permitiendo medir distancias en un rango de 2 cm a 4 metros. Destacan por su facilidad de instalación, bajo costo y mínimo mantenimiento, lo que los hace ideales para aplicaciones como automatización industrial (control de maquinaria), sistemas vehiculares (detección de obstáculos en estacionamientos o aproximación a semáforos) y domótica. Un ejemplo representativo es el sensor HC-SR04 mostrado en la Figura 5, ampliamente utilizado por su versatilidad y fiabilidad (Componentes, s.f.)

Figura 6

Sensores de Proximidad



Fuente. https://http2.mlstatic.com/D_NQ_NP_693674-MCO72748009471_112023-O.webp

En el contexto de la semaforización inteligente, estos sensores desempeñan un papel crucial. Su funcionamiento se basa en tres etapas: emisión de un pulso ultrasónico hacia el

vehículo, recepción del eco reflejado y cálculo de la distancia mediante el tiempo de retorno de la onda. Esta información permite al sistema ajustar dinámicamente los tiempos de los semáforos, optimizando el flujo vehicular y reduciendo congestiones. Su capacidad para operar en tiempo real los convierte en una herramienta esencial para la gestión eficiente del tráfico.

Entre las principales ventajas de estos sensores destacan su capacidad para detectar objetos de diversos materiales (metal, plástico, vidrio) sin requerir calibraciones específicas, así como su alta precisión en la identificación de componentes vehiculares como parabrisas o capós. Además, su robustez les permite funcionar en condiciones ambientales adversas, como lluvia, polvo o poca luminosidad. Estas características los posicionan como una solución versátil y confiable, mejorando significativamente la eficiencia de los sistemas de control de tráfico y garantizando un servicio adaptable a las necesidades urbanas.

Sensores LiDAR

El sensor LiDAR genera un mapa tridimensional detallado del entorno, permitiendo la identificación y clasificación precisa de objetos según sus características geométricas, diferenciando claramente entre vehículos, peatones y ciclistas. Esta capacidad complementa perfectamente a los sensores de proximidad, ya que el mapeo 3D en tiempo real proporciona datos críticos para optimizar el control del flujo vehicular, mejorando significativamente la eficiencia del sistema de semaforización.

El impacto en seguridad vial es notable: al detectar con precisión usuarios vulnerables como peatones y ciclistas, el sistema puede priorizar su paso seguro, reduciendo considerablemente el riesgo de accidentes. Además, su capacidad para identificar vehículos de emergencia permite ajustar automáticamente la secuencia semafórica, garantizando un tránsito expedito para ambulancias, bomberos y patrullas. Estas funcionalidades convierten al LiDAR en

un componente esencial para la movilidad urbana inteligente.

Complementando este sistema, las cámaras de vigilancia equipadas con tecnología ANPR (Automatic Number Plate Recognition) emplean reconocimiento óptico de caracteres (OCR) para capturar y procesar matrículas vehiculares en menos de un segundo. Esta capacidad permite no solo monitorear y regular el flujo de tráfico, sino también contribuir a la seguridad ciudadana mediante la identificación inmediata de vehículos involucrados en actividades ilícitas. La integración sinérgica de estos componentes -LiDAR, sensores de proximidad y cámaras inteligentes- conforma un sistema robusto que optimiza la movilidad mientras fortalece la seguridad vial y urbana. En la figura 6 se presenta la imagen de un sensor LiDAR

Figura 7

Sensor LiDAR



Fuente. <https://advexure.com/collections/lidar-drones-sensors/products/dji-zenmuse-l2-lidar>

Sistema de Reconocimiento Automático de Matrículas de Vehículos

El funcionamiento de estos sistemas se basa en un sofisticado proceso de tres etapas.

Primero, cámaras especializadas con iluminación infrarroja capturan imágenes de vehículos en movimiento, incluso a altas velocidades. Luego, mediante algoritmos de procesamiento de imágenes, se mejora la calidad visual, se localiza la placa y se segmentan los caracteres. Finalmente, utilizando redes neuronales convolucionales y modelos de aprendizaje profundo, se realiza el reconocimiento óptico de caracteres (OCR) con una precisión superior al 95% en condiciones óptimas.

Las aplicaciones de esta tecnología son múltiples y de gran impacto. En gestión de tráfico, permite controlar accesos restringidos, monitorear flujos vehiculares y optimizar rutas. Para seguridad pública, facilita la identificación de vehículos robados, la detección de infracciones y el combate al crimen organizado. Además, en el ámbito urbano se utiliza para sistemas de peaje electrónico, gestión de estacionamientos y análisis de movilidad, procesando cada placa en menos de 300 milisegundos.

La importancia del sistema de reconocimiento de placas radica en su capacidad para integrarse con bases de datos policiales y municipales, funcionando bajo diversas condiciones climáticas. Su continua evolución, con la incorporación de técnicas más avanzadas de IA y aprendizaje automático, promete ampliar aún más sus capacidades, consolidándolos como una herramienta indispensable para la movilidad inteligente y la seguridad urbana del futuro.

Figura 8*Sistema de Reconocimiento de Placas*

Fuente: <https://m.media-amazon.com/images/I/31V8Rty-7dL.jpg>

Los semáforos modernos son sistemas electrónicos complejos diseñados para garantizar la seguridad y eficiencia del tráfico urbano. Su funcionamiento integra tres componentes clave: las unidades de luces LED, que reemplazaron a las obsoletas bombillas incandescentes, ofreciendo un 80% más de eficiencia energética, una vida útil superior a 50,000 horas y brillo uniforme gracias a drivers electrónicos que ajustan la intensidad según las condiciones ambientales; el controlador central, que actúa como cerebro del sistema mediante PLCs (como el Siemens S7-1200) o microcontroladores (ej.: Arduino en prototipos), ejecutando algoritmos de temporización o lógica adaptativa; y la fuente de alimentación, que incluye convertidores AC/DC para operar a 12V/24V y sistemas UPS con baterías que garantizan operación ininterrumpida durante cortes de energía. Estos elementos forman la base de sistemas que han evolucionado desde mecanismos electromecánicos hasta soluciones inteligentes.

La integración de hardware y software permite a los semáforos adaptarse dinámicamente al entorno. Los drivers de las LED ajustan el brillo en niebla o nocturnidad, mientras el controlador central procesa datos en tiempo real para modificar ciclos semafóricos. En redes

complejas, sistemas SCADA coordinan múltiples intersecciones, y los respaldos de energía aseguran funcionamiento continuo. Esta evolución tecnológica, impulsada por IoT y algoritmos de control adaptativo, posiciona a los semáforos como nodos críticos en la movilidad urbana inteligente, capaces de reducir congestiones y mejorar la seguridad vial mediante respuestas precisas y automatizadas

Figura 9

Semáforos Modernos



Fuente. <https://www.keybps.com/wp-content/uploads/2018/07/unamarticulo-1200x735.jpg>

Capa de Red

Esta capa constituye el sistema nervioso del esquema de movilidad inteligente, garantizando una comunicación robusta entre los dispositivos periféricos (cámaras, sensores) y la central de control. Su función primordial es asegurar la entrega eficiente de paquetes de datos a través de infraestructuras de red, permitiendo el intercambio de información crítica entre intersecciones. En el contexto de semáforos inteligentes, esta capa transmite datos en tiempo real sobre volúmenes vehiculares, patrones de movimiento y estados de tráfico, facilitando la coordinación adaptativa que previene congestionamientos mediante rutas alternas y ajustes dinámicos (Chancay-García & García-de-la-Cruz, 2024)

Protocolos de Comunicación a Implementar:

TCP/IP: El protocolo TCP/IP desempeña un rol fundamental en los sistemas de semaforización inteligente al garantizar una transmisión confiable, ordenada y segura de datos críticos. Funciona como columna vertebral para la gestión centralizada de la red semafórica, permitiendo la transmisión de planes de sincronización desde el centro de control a los semáforos, la distribución de actualizaciones de firmware y parámetros operativos, y la consolidación de datos históricos para análisis predictivos. Además, habilita el control remoto en tiempo real mediante interfaces SCADA, asegurando que las instrucciones vitales lleguen completas y en el orden correcto gracias a mecanismos como ACK (acknowledgments) y control de congestión adaptativo.

La arquitectura en capas de TCP/IP facilita la conectividad heterogénea (fibra óptica, Ethernet, wireless backhaul) y la interoperabilidad entre dispositivos de distintos fabricantes.

Bluetooth Mesh: La tecnología Bluetooth Mesh desempeña un papel fundamental en los sistemas de semaforización inteligente al habilitar comunicaciones descentralizadas, resilientes y de ultra baja latencia en entornos urbanos. A diferencia de las arquitecturas centralizadas, esta solución crea redes en malla donde los dispositivos (semáforos, sensores y señales peatonales) se interconectan directamente dentro de un radio de ≤ 200 metros, permitiendo una sincronización automática sin depender exclusivamente del centro de control. Su capacidad de auto-organización garantiza que, si un nodo falla, la red inmediatamente reconfigura las rutas de comunicación, manteniendo la operatividad incluso durante interrupciones de la red principal. Esta característica es particularmente valiosa para la interoperabilidad local entre componentes de una misma intersección, donde la coordinación en tiempo real es crítica.

Entre sus aplicaciones más destacadas se encuentra la priorización de emergencias,

detecta un vehículo de emergencia activa una alerta que se propaga en menos de 100 ms a todos los semáforos de la ruta, creando un "corredor verde" automatizado. Igualmente, relevante es su papel en la sincronización adaptativa de grupos de semáforos, que colaborativamente ajustan sus ciclos para generar "olas verdes" basadas en el flujo vehicular real. Además, durante fallos en la comunicación con el centro de control, el sistema entra en un modo resiliente, donde los nodos mantienen operación coordinada usando lógica local, evitando así caos en el tráfico.

Las ventajas técnicas de Bluetooth Mesh lo convierten en una opción ideal para esta aplicación: su baja latencia (<100 ms) permite respuestas inmediatas, mientras que el cifrado AES-128 y la autenticación de dispositivos aseguran protección contra intrusiones. Su eficiencia energética permite que sensores y dispositivos periféricos operen durante años con baterías, reduciendo costos de mantenimiento. Además, la tecnología soporta hasta 32,000 dispositivos en una misma red, ofreciendo escalabilidad para despliegues en grandes áreas urbanas. Estas características, combinadas con su capacidad de integrarse con otras tecnologías como 5G y TCP/IP, posicionan a Bluetooth Mesh como un componente esencial para construir sistemas de semaforización verdaderamente inteligentes y confiables.

Capa de Control

Como cerebro operativo del sistema, la capa de control es el núcleo decisorio que procesa datos en tiempo real, ejecuta algoritmos de optimización y coordina todos los actuadores del sistema semafórico. Esta capa combina hardware especializado con software avanzado para lograr una gestión dinámica del tráfico, adaptándose constantemente a las condiciones cambiantes de la movilidad urbana. Su arquitectura está diseñada para integrar múltiples fuentes de información y tomar decisiones que optimicen los flujos vehiculares y peatonales.

Entre sus funciones principales destacan tres capacidades fundamentales. Primero, el

procesamiento inteligente de datos, donde analiza información en tiempo real proveniente de sensores de tráfico, detección de peatones y vehículos de emergencia, utilizando algoritmos avanzados como lógica difusa o algoritmos genéticos. Segundo, la gestión adaptativa que implementa estrategias como olas verdes coordinadas, prioridad al transporte público y planes horarios diferenciados. Tercero, la integración sistémica que permite la comunicación con intersecciones adyacentes, sistemas de transporte público y centros de control de movilidad.

Los dispositivos que conforman esta capa incluyen controladores semafóricos inteligentes de última generación, como los modelos Siemens SIP o Econolite ASC/3, equipados con módulos de comunicación V2I (Vehicle-to-Infrastructure) y capacidades de expansión modular. Complementan estos equipos unidades de procesamiento edge como gateways industriales con capacidad de inferencia AI, servidores locales para procesamiento distribuido y dispositivos IoT especializados en análisis perimetral, que permiten una toma de decisiones más cercana a la fuente de datos.

Conclusiones

La integración de tecnologías como sensores de proximidad (ultrasonido, IR, LiDAR), algoritmos de IA, visión artificial, simuladores de tráfico y controladores de bajo costo (Arduino, Raspberry Pi) en sistemas de gestión de tráfico demuestra un enfoque multifacético y eficiente para optimizar la movilidad urbana. Estas herramientas no solo mejoran la precisión en la detección de vehículos y peatones, la planificación predictiva y el monitoreo en tiempo real, sino que también ofrecen flexibilidad, escalabilidad y bajo consumo energético. La combinación de hardware accesible, protocolos de comunicación estables (TCP/IP, Bluetooth LE) y software adaptable (Python, C++, etc.) permite desarrollar soluciones personalizadas y sostenibles, capaces de reducir congestiones y anticipar escenarios complejos, consolidando así un ecosistema tecnológico integral para ciudades inteligentes.

La implementación de un sistema de semaforización inteligente en Florencia-Caquetá surge como una solución prometedora para abordar la crítica congestión vehicular, agravada por el crecimiento poblacional, el alto parque automotor (75.396 vehículos) y prácticas viales inadecuadas. Este sistema ofrece oportunidades significativas: optimización del flujo vehicular, reducción de emisiones contaminantes, mejora de la seguridad vial (evidenciada por los 51 lesionados en siniestros en 2024, principalmente motociclistas) y promoción de movilidad sostenible, lo que potenciaría la calidad de vida y el atractivo turístico. Sin embargo, su éxito enfrenta desafíos complejos, como la resistencia social y política, la falta de cultura ciudadana (ejemplificada por vehículos mal estacionados y descargas en vías principales), vulnerabilidades en ciberseguridad, altos costos de implementación y mantenimiento, y la necesidad de integración con infraestructuras obsoletas. Para lograr una transformación efectiva, se requiere un enfoque integral que combine tecnología, educación ciudadana, inversión estratégica y

colaboración interinstitucional, mitigando riesgos mediante planificación técnica rigurosa y participación comunitaria. Aunque los obstáculos son considerables, la adopción de este sistema podría posicionar a Florencia como un modelo de movilidad inteligente en la Amazonia, siempre que se equilibren innovación, sostenibilidad y compromiso social.

El diseño de una red de semaforización inteligente basada en tres capas (sensores/actuadores, control y red) ofrece un marco robusto para optimizar la movilidad urbana. La capa de sensores y actuadores, integrada por tecnologías como LiDAR, sensores de proximidad y sistemas de reconocimiento automático de matrículas de vehículos, garantiza una captura precisa de datos en tiempo real, permitiendo detectar vehículos, peatones y flujos de tráfico. La capa de control funciona como núcleo decisorio que procesa datos en tiempo real mediante algoritmos avanzados (lógica difusa) y coordina actuadores para optimizar flujos vehiculares y peatonales. Finalmente, la capa de red, mediante protocolos estables como TCP/IP, asegura una comunicación fluida y segura entre dispositivos, facilitando la integración de sistemas y la escalabilidad.

Referencias Bibliográficas

- +Comunidad. (2022). *Semáforos inteligentes para optimizar la circulación y reducir las emisiones*. Obtenido de <https://www.mascomunidad.org.ar/semaforos-inteligentes-movilidad-emisiones-carbono/>
- Ali, Y., Hussain, F., & Haque, M. M. (2024). *Avances, desafíos y futuras necesidades de investigación en modelos de predicción de accidentes basados en aprendizaje automático: una revisión sistemática*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457523004256>
- Arévalo Liendo, M. D. (2023). *Diseño metódico: Sistema inteligente para la congestión vehicular empleando micro controladores, hardware programado y patrones*. <https://research-ebSCO-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/c/5y465o/search/details/4oudmgnsff?limiters=None&q=sem%C3%A1foros+inteligentes&db=aci>.
- Bello, I. M., & Rojas, K. A. (2018). *Controladores inteligentes: Una revisión de las implicaciones de las organizaciones empresariales de diseño bajo los mecanismos del controlador inteligente*. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/items/3c1d87ff-59d9-49a9-b429-096d60f94d73>
- Chancay-García, L., & García-de-la-Cruz, I. (2024). *Semaforización Inteligente: Un Análisis a los Desafíos en la Implementación de Tecnologías y Algoritmos IoT*. Obtenido de <https://portal.amelica.org/ameli/journal/844/8445128006/html/>
- Componentes, A. y. (s.f.). *Sensor ultrasónico HC-SR04*. Obtenido de <https://puntoino.ladetec.com/puntoino/?product=sensor-ultrasonico-hc-sr04>
- Concepto. (2023). *Redes informáticas*. Obtenido de <https://concepto.de/redes->

informaticas/#queson-las-redes-informaticas

DANE. (2024). *Proyecciones de Población*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>.

Daza, L. A., & Angulo, D. A. (2022). *Diseño metodológico de un sistema de semáforos inteligentes para la reducción de tráfico vehicular*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/551579344.pdf>

Florentino, Y. I., & Gismondi, H. E. (s.f.). *Sistema Inteligente de Gestión de Semáforos en Tiempo Real*. Obtenido de <https://scielo.pt/pdf/rist/n54/1646-9895-rist-54-69.pdf>

García-Alcañiz, C. (2022). *Luz verde a los semáforos inteligentes de Ford: Así dan paso a las emergencias*. Obtenido de <https://www.caranddriver.com/es/coches/planeta-motor/a39569699/semaforos-verdes-coches-emergencia-ford/>

IBM. (2025). *¿Qué es LiDAR?* Obtenido de <https://www.ibm.com/mx-es/topics/lidar>

Manzo Cruz, F., & Arzate Hernández, L. (2019). *MANZO CRUZ, FRANCISCO; ARZATE HERNÁNDEZ, LUIS*. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/99060>

Masur, S. (2020). *Introducción al transporte inteligente: Beneficios y ejemplos*. Obtenido de <https://es.digi.com/blog/post/introduction-to-smart-transportation-benefits>

Mauricio, M. C., & Andrés, S. R. (2020). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE SEMAFORIZACIÓN INTELIGENTE PARA CONTROLAR FLUJO VEHÍCULAR A PARTIR DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES*. Obtenido de https://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/9865/ProyectoDeGraduacion_Semaforizacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mazur, S. (2022). *Gestión inteligente del tráfico en la ciudad: Soluciones de infraestructura listas para desplegar*. Obtenido de <https://es.digi.com/blog/post/smart-city-traffic->

management-solutions

Mohamed, E., & Mohammed, A.-H. (2024). *Sistemas de transporte inteligentes para ciudades inteligentes sostenibles*. Obtenido de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666691X24000277>

Moussa, M. (2019). *Aprendizaje profundo para sistemas de transporte inteligentes: un estudio de tendencias emergentes*.

https://www.researchgate.net/publication/334660151_Deep_Learning_for_Intelligent_Transportation_Systems_A_Survey_of_Emerging_Trends.

Pérez, K. E., Benítez-Tupiza, K. V., & Jaramillo, J. S. (2020). *DIMENSIONAMIENTO Y ENRUTAMIENTO DE REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS PARA MONITOREO DE TRÁFICO VEHICULAR*. Obtenido de

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-17982020000100007&lang=es.

Rubio, L., & Álvarez, D. F. (2023). *Sistema Inteligente de Semaforización Basado en Procesamiento de Imágenes/Video Programado en Raspberry*.

<https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/10975>.

Samaniego-Calle, V., Viñán-Ludeña, M. S., Jaramillo-Sangurima, W., & Jácome-Galarza.

(2019). *Semáforos inteligentes y tráfico vehicular: un caso de estudio comparativo para reducir atascos y emisiones contaminantes*. Obtenido de

<https://www.proquest.com/openview/3f3e68e1956185244d3021a820e1d14d/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>

Sensor, R. (2024). *Sensor magnetorresistivo: Para mediciones especialmente precisas*. Obtenido de <https://www.rechner-sensors.com/es/documentacion/knowledge/sensor->

magnetorresistivo

- Sice. (2023). *El semáforo: 150 años de historia*. <https://www.sice.com/insighths/el-semaforo-150-anos-de-historia/>
- Wu, J. (2024). *Comprensión de los sensores de semáforo: una guía completa para mejorar la eficiencia vial*. <https://leotek.com/traffic-light-sensors/>
- Xu, J. (2022). *Cómo la detección inteligente de infracciones de tráfico mejora la seguridad vial*. <https://www.hikvision.com/es/newsroom/blog/como-la-deteccion-inteligente-de-infracciones-de-traffic-mejora-la-seguridad-vial/>
- Yim, I., & Caselli, H. E. (2024). *Sistema Inteligente de Gestión de Semáforos en Tiempo Real*. <https://scielo.pt/pdf/rist/n54/1646-9895-rist-54-69.pdf>.