



Centro de Excelencia de Mecatrónica

Implementación de Semáforos Inteligentes para Mejorar el Congestionamiento

Vehicular.

Autores:

Jamal Josué Cuello Espinoza – 2022-0061

Albert Manuel Mesa Dipres – 2022-0503

Stevens Alexander Cueva Florián – 2021-1618

Saigel Abelanis Cuevas Familia – 2022-0534

Para la Obtención del Título – Tecnólogo en Mecatrónica

**Asesor:** Pedro Pablo Castro García

La Caleta, Boca Chica. República Dominicana.

4 de diciembre del 2024

### **Sobre Tema y Titulo**

- **Tema:** “Uso de inteligencia artificial para la gestión del tránsito.”
- **Título del trabajo:** “Implementación de Semáforos Inteligentes para Mejorar el Congestionamiento Vehicular”.

## **Agradecimientos**

**Jamal Espinoza.** Doy gracias a Dios, por la salud, fortaleza, perseverancia y sabiduría que me han guiado en este trayecto. A mi pareja y familia por ser mi mayor motivación, su sacrificio y apoyo han sido fundamentales para alcanzar mis metas. Gracias por estar siempre ahí, en los buenos y malos momentos. A los docentes del Instituto Tecnológico de las Américas (ITLA) por sus consejos y enseñanzas que han sido clave en este logro. A mis amistades de la Residencia Académica y compañeros de carrera, por su constante aliento, compañerismo y los buenos momentos y únicos vividos juntos. Este logro también es de ustedes.

**Albert Mesa.** "En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios cuya grandeza y orientación incomparable fueron fundamentales para la realización de este trabajo. Su enseñanza siendo crítica al momento de no tomar las situaciones difíciles como insuperables sino como una prueba para saber de qué soy capaz. Asimismo, agradezco a mi familia, especialmente a mis padres Mayra Dipres y Alfredo Mesa, por su apoyo incondicional durante todo este proceso. Sus palabras de aliento y comprensión fueron mi motor en los momentos más difíciles. No puedo dejar de mencionar a mis amigos, quienes siempre estuvieron presentes para escucharme y celebrar conmigo cada logro. Su amistad fue un bálsamo en esta etapa tan importante de mi vida. Agradezco a cada uno de los maestros por su transmisión de conocimiento a este proyecto. Por su apoyo hizo posible la realización de esta investigación y mi desarrollo como profesional y como ser humano. Y por último, esa persona especial que día a día me mantuvo con la frente en alto y brindándome una comprensión y cariño inconmensurable para que sea una mejor persona influyendo en mi vida profesional, Ily.

**Stevens Cueva.** Primero, agradezco a Dios por darme la fuerza, la sabiduría y las oportunidades necesarias para llevar a cabo este proyecto, guiándome en cada paso del camino. A mis compañeros de equipo, quienes con su dedicación, esfuerzo y compromiso hicieron posible que esta idea se transformara en una realidad. Su colaboración y apoyo fueron clave en cada desafío superado. A mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante y por ser mi mayor motivación. Gracias por creer en mí y estar siempre a mi lado en cada etapa de este proceso. A mis maestros Ramón Gómez, Obed de Jesús y Carlos Pichardo, les extiendo mi más profundo agradecimiento por su guía, conocimientos y consejos, que enriquecieron este proyecto y lo llevaron a otro nivel. Su ayuda ha sido invaluable para alcanzar este logro.

**Saigel Cuevas.** Agradezco a Dios por darme la resiliencia, fortaleza y salud mental para poder completar este proyecto. Dedico este proyecto con profunda gratitud a mi familia, quienes han sido mi mayor apoyo a lo largo de este proceso. A mis padres, Grinsley Cuevas y Yissel Familia, quienes con su amor, sacrificio y valores me han enseñado a perseverar incluso ante los momentos más difíciles. Gracias por inculcarme la importancia de la dedicación, la honestidad y el esfuerzo, que han sido pilares fundamentales para alcanzar esta meta. Agradezco de manera especial a los maestros que me han acompañado a lo largo de mi vida, quienes no solo compartieron sus conocimientos, sino que también me guiaron con paciencia y dedicación en mi viaje académico. Su pasión por la enseñanza y su compromiso con el crecimiento de sus estudiantes han dejado una marca indeleble en mi formación. Gracias por mostrarme que el verdadero aprendizaje no está solo en los libros, sino en la capacidad de resolver problemas y afrontar retos con creatividad y esfuerzo.

## **Dedicatoria**

Dedicamos este proyecto a Dios, quien nos ha dado salud y fortaleza para avanzar, y perseverancia para completar exitosamente este trayecto de nuestras vidas durante estos años. Agradecemos la sabiduría que ha depositado en nosotros.

A nuestras familias, por ser parte de nuestra motivación, darnos fuerza para continuar, ánimos para seguir adelante, y ayudarnos a lograr nuestras metas y objetivos en la vida. Gracias por el gran sacrificio que hicieron para que estemos aquí y por hacer posible este logro. Su presencia en los malos momentos y en los cambios de etapa ha sido invaluable.

A los docentes del Instituto Tecnológico de Las Américas (ITLA), por brindarnos oportunidades y colaborar con el logro de este objetivo. Sus sabias y buenas enseñanzas han sido fundamentales en nuestro crecimiento.

A nuestras amistades, por ser compañeros de motivación, dadores de aliento y ánimo durante nuestra convivencia. Gracias por ser parte de esta maravillosa experiencia vivida con cada uno de ustedes.

Este logro no solo es nuestro, sino también de todos ustedes. Gracias por creer en nosotros, darnos ánimos, consuelo y por acompañarnos en este arduo viaje que ha estado lleno de maravillosas y únicas experiencias inolvidables. Su amor y apoyo han sido el motor que nos impulsó a llegar hasta aquí y finalizar nuestras carreras.

## Resumen

Este estudio se centra en el diseño, implementación y evaluación de un sistema de semáforo inteligente como solución innovadora para optimizar la regulación del tráfico vehicular. El objetivo principal es mejorar la eficiencia en la gestión del tránsito y reducir los tiempos de espera mediante el uso de inteligencia artificial y tecnologías avanzadas de detección.

Se emplearon enfoques metodológicos cualitativos y cuantitativos para evaluar la efectividad del sistema en distintos escenarios urbanos. El semáforo utiliza cámaras con visión infrarroja y algoritmos de aprendizaje automático para analizar en tiempo real el flujo vehicular y ajustar los ciclos de luz según la densidad de tráfico en cada dirección.

Este trabajo destaca la importancia de integrar tecnologías innovadoras como los semáforos inteligentes en los sistemas de transporte urbano para mejorar la movilidad, reducir las emisiones contaminantes y optimizar la calidad de vida de los ciudadanos.

**Palabras Claves:** semáforos inteligentes, semáforos sincronizados, monitoreo, análisis de datos, detección, tecnología.

## **Abstract**

This study focuses on the design, implementation, and evaluation of a smart traffic light system as an innovative solution to optimize vehicular traffic regulation. The primary objective is to enhance traffic management efficiency and reduce waiting times by employing artificial intelligence and advanced detection technologies.

Qualitative and quantitative methodological approaches were used to assess the system's effectiveness in various urban scenarios. The traffic light utilizes infrared vision cameras and machine learning algorithms to analyze traffic flow in real time and adjust light cycles based on traffic density in each direction.

This work highlights the importance of integrating innovative technologies, such as smart traffic lights, into urban transportation systems to improve mobility, reduce pollutant emissions, and optimize citizens' quality of life.

**Keywords:** smart traffic lights, synchronized traffic lights, monitoring, data analysis, detection, technology.

# Índice

Capítulo I. Marco General de la Investigación .....	1
1.1. Introducción .....	2
1.2. Importancia y Justificación .....	4
1.3. Planteamiento del Problema .....	5
1.4. Alcance y Limitaciones.....	6
1.4.1. Alcance.....	6
1.4.2. Limitaciones.....	6
1.5. Objetivos de la Investigación y de la Propuesta de Solución .....	7
1.5.1. Objetivo General.....	7
1.5.2. Objetivos Específicos.....	7
1.6 Variables e Indicadores .....	8
1.6.1 Variables.....	8
1.6.2 Indicadores .....	9
Capítulo II. Fundamentos Teóricos .....	11
2.1. Antecedentes .....	12
2.2 Bases Teóricas .....	15
2.3. Descripción Organizacional y Situacional .....	18
2.4. Marco Conceptual.....	19
Capítulo III. Marco Metodológico .....	21
3.1. Tipo y Enfoque de la Investigación .....	22
3.2. Límite, Alcance y Localización de la Investigación .....	24
3.2.1 Alcance.....	24
3.2.2 Límite de la Investigación.....	24
3.2.3 Localización de la Investigación.....	25
3.3. Población y Muestra .....	26
3.3.1 Población.....	26
3.3.2 Muestra. ....	26
3.3.3 Tamaño de la Muestra. ....	27
3.4. Métodos Utilizados .....	28
3.5. Técnicas e Instrumentos de Investigación .....	42



3.5.1 Técnicas de Investigación.....	42
3.6. Criterios de Inclusión y Exclusión.....	43
3.6.1 Criterios de Inclusión.....	43
3.6.2 Criterios de Exclusión.....	44
3.7. Aspectos Éticos de la Investigación.....	45
Capítulo IV. Resultados de la Investigación.....	48
4.1. Descripción de Resultados.....	49
4.2. Desarrollo de la Propuesta de Solución.....	50
4.2.1. Descripción de la Propuesta.....	50
4.2.2. Justificación de la Propuesta.....	51
4.2.3. Objetivos de la Propuesta.....	52
4.2.4. Configuración y Modelización.....	52
4.2.5. Aspectos Técnicos.....	54
4.2.6. Aspectos Legales.....	56
4.2.7. Aspectos Organizacionales.....	58
4.2.8. Aspectos Económicos y Financieros.....	60
5. Conclusión.....	79
6. Recomendaciones.....	81
7. Referencias Bibliográficas.....	83
8. Apéndice y Anexos.....	87

## **Capítulo I. Marco General de la Investigación**

## **1.1. Introducción**

En las ciudades modernas, la congestión vehicular representa un desafío importante que afecta tanto a la movilidad como la productividad económica y la calidad de vida de los ciudadanos. Este fenómeno es el resultado del incremento constante en el número de vehículos y la falta de infraestructuras adecuadas para gestionar el tránsito de manera eficiente. Bajo estas condiciones, los semáforos tradicionales que operan bajo tiempos predefinidos e independientes de las condiciones reales del tráfico se han convertido en un obstáculo más que en una solución.

La ineficiencia de los sistemas tradicionales de regulación del tránsito contribuye a problemas como el aumento de los tiempos de espera, la generación de emisiones contaminantes y, en muchos casos, el incremento de accidentes viales. Ante esta problemática, surge la necesidad de adoptar soluciones tecnológicas innovadoras que permitan optimizar el flujo vehicular de manera dinámica y efectiva, adaptándose en tiempo real a las condiciones cambiantes del tráfico en las calles.

Los sistemas de semáforos inteligentes han surgido como una respuesta viable y efectiva a esta necesidad. Equipados con tecnologías avanzadas como cámaras de tránsito, algoritmos de reconocimiento y algoritmos de aprendizaje automático, estos sistemas son capaces de analizar el flujo vehicular en tiempo real y ajustar los tiempos de los semáforos de manera óptima. Esto no solo mejora la fluidez del tránsito, sino que también contribuye a la reducción de emisiones contaminantes y al ahorro de tiempo para los usuarios.

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño e implementación de un semáforo inteligente que, mediante el uso de cámaras y algoritmos de inteligencia artificial, sea capaz de identificar la densidad del tráfico en las distintas vías y tomar decisiones adaptativas en tiempo real. Este sistema busca no solo mitigar los problemas de congestión vehicular, sino también establecer una base tecnológica escalable y sostenible para el desarrollo de ciudades inteligentes, donde la movilidad sea eficiente, segura y respetuosa.

Con este enfoque, se pretende contribuir al avance de la infraestructura vial mediante la integración de herramientas tecnológicas innovadoras que posicionen a las ciudades como modelos de gestión inteligente del tránsito, mejorando significativamente la calidad de vida de sus habitantes.

## **1.2. Importancia y Justificación**

La implementación de un semáforo inteligente permite reducir el tiempo de espera en las intersecciones, disminuir el consumo de combustible y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, contribuyendo así a un entorno urbano más sostenible. Este proyecto no solo aborda la necesidad de mejorar el flujo vehicular, sino que también impulsa el uso de tecnologías avanzadas en la regulación del tráfico.

Al automatizar la regulación del semáforo, el sistema se vuelve adaptable a los cambios en tiempo real, mejorando así la eficiencia general del transporte urbano. Esto no solo beneficia directamente a los conductores al ahorrar tiempo y reducir el estrés asociado a los retrasos, sino que también genera un impacto positivo en la economía local al facilitar la movilidad de bienes y personas.

### **1.3. Planteamiento del Problema**

Actualmente, el uso de semáforos con tiempos fijos o basados en ciclos predefinidos resulta ineficiente en vías con alta variabilidad de tráfico. Esta falta de flexibilidad genera congestión en zonas de alto tráfico, especialmente en horas pico, y prolonga los tiempos de desplazamiento de los usuarios.

Este problema, particularmente en la República Dominicana, donde el crecimiento acelerado de la población urbana y la expansión de la red vial han incrementado significativamente la demanda de transporte; las infraestructuras y los sistemas de control de tráfico no han evolucionado al mismo ritmo.

En ciudades como Santo Domingo, Santiago y otras áreas urbanas de gran concentración vehicular, los semáforos tradicionales no son capaces de responder adecuadamente a los cambios rápidos en la densidad del tráfico, lo que resulta en largos tiempos de espera y mayor estrés para los conductores.

Por tanto, surge la necesidad de desarrollar un sistema de semáforos que sea capaz de adaptarse al flujo vehicular en tiempo real, optimizando el tiempo de espera de los vehículos y contribuyendo a una movilidad más fluida y sostenible.

## **1.4. Alcance y Limitaciones**

### **1.4.1. Alcance.**

El sistema está diseñado para ser escalable, de manera que pueda integrarse en una red más amplia de semáforos en el futuro, contribuyendo al desarrollo de ciudades más eficientes y sostenibles. Este proyecto tiene como meta inicial abordar una intersección de alta congestión en una ciudad cabecilla, con el potencial de ser replicado a nivel nacional.

El sistema beneficiará a conductores, peatones, motociclistas y ciclistas al mejorar la experiencia de movilidad y contribuir a la disminución de la contaminación vehicular. Asimismo, pretende sentar un precedente en el uso de tecnologías avanzadas para abordar problemas de tránsito en contextos urbanos en desarrollo.

### **1.4.2. Limitaciones.**

Sin embargo, a pesar de los beneficios potenciales, el proyecto enfrenta una serie de limitaciones que deben considerarse, como la precisión de la tecnología de detección en condiciones de baja visibilidad o clima extremo, la dependencia de una infraestructura de red confiable para transmitir los datos en tiempo real, la cobertura limitada en la etapa inicial del proyecto, la sostenibilidad a largo plazo y las limitaciones presupuestarias para implementar una solución completa a gran escala.

## **1.5. Objetivos de la Investigación y de la Propuesta de Solución**

**1.5.1. Objetivo General.** Desarrollar un sistema de semáforos inteligentes basado en inteligencia artificial y procesamiento de imágenes para optimizar la gestión del tráfico vehicular en intersecciones urbanas, regulando el flujo en función del volumen de vehículos y mejorando la eficiencia de tránsito.

### **1.5.2. Objetivos Específicos.**

- 1) Diseñar un algoritmo de detección y conteo vehicular en tiempo real mediante cámaras de tránsito.
- 2) Implementar un sistema de control adaptativo que ajuste el tiempo de los semáforos en función de la densidad de tráfico.
- 3) Evaluar el impacto del sistema en la reducción de tiempos de espera y en la mejora de la eficiencia vehicular en una intersección simulada.
- 4) Analizar la viabilidad de implementar el sistema a nivel urbano considerando limitaciones económicas y de infraestructura.
- 5) Examinar los desafíos de aceptación de la implementación de este nuevo sistema de control de tránsito.



## 1.6 Variables e Indicadores

### 1.6.1 Variables

Variable independiente:

- 1.) **Flujo vehicular:** El volumen de vehículos que circulan por la intersección monitoreada.

Variables dependientes:

- 2) **Tiempo de cambio de luces en el semáforo:** El tiempo que cada luz del semáforo permanece activa según la densidad del tráfico.

Variable de resultado:

- 3) **Eficiencia en la gestión del tráfico:** La mejora lograda en el flujo vehicular en la intersección controlada por el sistema inteligente.

### **1.6.2 Indicadores**

Indicadores específicos para medir las variables descritas:

- 1) Flujo vehicular.
  - Número de vehículos detectados por minuto.
- 2) Tiempo de cambio de luces en el semáforo.
  - Tiempo promedio (en segundos) asignado a cada fase del semáforo en función de la densidad vehicular.
  - Variación del tiempo de cambio en comparación con semáforos tradicionales.
- 3) Eficiencia en la gestión del tráfico.
  - Reducción del tiempo promedio de espera por vehículo en la intersección.
  - Porcentaje de incremento en la fluidez vehicular en comparación con sistemas tradicionales.

## **Hipótesis**

La implementación de un sistema de semáforo inteligente basado en inteligencia artificial y detección en tiempo real del flujo vehicular reducirá significativamente los tiempos de espera y mejorará la fluidez del tráfico en las intersecciones urbanas de la República Dominicana, en comparación con los semáforos tradicionales.

## **Capítulo II. Fundamentos Teóricos**

## 2.1. Antecedentes

1. Movilla, D. A., & Daza, L. A. G. (2022). Diseño metodológico de un sistema de semáforos inteligentes para la reducción de tráfico vehicular. *Sextante*, (27), 10-17. En este estudio reciente, se desarrolló e implementó una red de semáforos en un sector carente de estos, con el objetivo de mitigar los embotellamientos causados por la falta de control vehicular. El sistema automático creado regula el flujo de vehículos en función de varias variables observadas en tiempo real. La metodología empleada incluyó la recolección de datos de flujo vehicular en las calles de interés, alimentando un software de mando que ajusta los semáforos en tiempo real y realiza predicciones basadas en el flujo de la semana anterior para determinar los tiempos de marcha y paro de los semáforos. La programación se llevó a cabo utilizando el lenguaje PYTHON y el framework FLASK, que proporciona la parte visual y analítica del desarrollo. La lógica del sistema se implementó con un PLC (Controlador Lógico Programable), encargado de las funciones de encendido, apagado, toma de datos en tiempo real y seguridades del hardware de los semáforos. Los resultados obtenidos demostraron que la interfaz desarrollada puede interpretar el flujo vehicular y establecer los tiempos necesarios para reducir el tráfico, logrando así una disminución significativa de los embotellamientos.

2. Castro Quishpe, M. O. (2022). Desarrollo de un prototipo de semáforo inteligente con visión por computador (Bachelor's thesis). Desarrollo un prototipo de semáforo inteligente utilizando visión por computador y un módulo de detección de autos. Este sistema cuenta en tiempo real los vehículos en dos vías de una intersección, priorizando la vía con mayor número de vehículos. La información recolectada se utiliza para ajustar dinámicamente el tiempo de cambio de luz del semáforo, favoreciendo la

circulación en la vía más congestionada y disminuyendo así la congestión vehicular y los retrasos en la movilidad. Para la programación de los módulos de conteo de vehículos y control del semáforo se utilizó Python, aprovechando la librería OpenCV para el reconocimiento de objetos. OpenCV permite la captura y procesamiento de imágenes obtenidas por cámaras para detectar y contar vehículos. La información obtenida se utiliza para controlar los semáforos y se almacena en una base de datos PostgreSQL.

**3. Congacha, A. E., Barba Brito, J., Palacios Pacheco, L., & Delgado, J. (2019).** Caracterización de los siniestros viales en el Ecuador. *Revista Digital Novasinergia*, 2(2), 17-29. Realizo un desarrollo en Ecuador en el cual utilizó técnicas avanzadas de análisis de datos, incluyendo tablas y gráficos dinámicos, para caracterizar los siniestros viales. El objetivo fue identificar y comparar las causas y factores que contribuyen a estos incidentes, facilitando la toma de decisiones críticas. Basándose en datos históricos proporcionados por la Dirección Nacional de Tránsito, que abarcan el período de 2015 a 2018 y cubren 22 de las 24 provincias del país, se encontró que diez causas principales fueron responsables del 96.3% de los siniestros. La falta de atención al conducir fue la causa predominante, representando el 56.8% de los accidentes. El estudio también identificó la influencia de las condiciones ambientales, el tipo y estado de las vías, y los horarios en los que ocurren los accidentes. Finalmente, se calcularon tasas e índices de mortalidad, letalidad, accidentabilidad y motorización, proporcionando datos valiosos para la planificación y la formulación de políticas preventivas por parte de las instituciones públicas.

4. Molina-Navarro, A., Zamora-Castro, S., Remess-Pérez, M., &

LagunesLagunes, E. (2016). Los semáforos inteligentes en la logística urbana sustentable. *Revista de Aplicaciones de la Ingeniería*, 3(9), 26-33. Desarrollo un análisis en el cual vio un rápido crecimiento urbano que ha generado una necesidad urgente de mejorar la movilidad de mercancías y personas en tiempos más cortos. En la Ciudad de Veracruz, México, este problema se agrava debido a la topografía y la configuración del territorio, lo cual ha propiciado un crecimiento longitudinal de la ciudad, extendiendo los trayectos de viaje. Las vialidades primarias están saturadas por el alto flujo vehicular, y la deficiente automatización del control del tráfico (semáforos) contribuye a pérdidas significativas en horas hombre (HH) y a un aumento en la contaminación por CO y CO<sub>2</sub> debido a los prolongados tiempos de espera. En este estudio, se monitoreó el volumen de tránsito en una vía principal de la ciudad y se propuso la implementación de un sistema inteligente de semáforos sincronizados como solución. Esta medida busca aliviar los problemas de movilidad actuales, mejorando la fluidez del tráfico, reduciendo los tiempos de espera, y, en consecuencia, disminuyendo tanto las HH perdidas como las emisiones contaminantes.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **1. Teoría de Control de Tráfico Urbano**

La teoría del control de tráfico urbano se centra en optimizar el movimiento de vehículos en zonas urbanas, minimizando la congestión y mejorando la seguridad en la infraestructura vial. Esta teoría aboga por la utilización de sistemas de semáforos adaptativos que ajusten dinámicamente los tiempos de cambio de luces según el flujo de vehículos en tiempo real. Los semáforos tradicionales, con tiempos fijos, resultan ineficaces en áreas de alta variabilidad del tráfico. En cambio, los sistemas con tecnología avanzada disminuyen el tiempo de espera de los vehículos y permiten una gestión más efectiva del tránsito.

**Ejemplo local:** En ciudades como Santo Domingo, durante las horas pico, los semáforos tradicionales son ineficaces, lo que contribuye a enormes congestiones. La implementación de un sistema adaptativo podría reducir significativamente esos atascos, como ya ha ocurrido en ciudades como Bogotá (Colombia), donde los semáforos inteligentes han logrado reducir el tiempo de viaje en un 20%.

### **2. Inteligencia Artificial (IA) y Machine Learning (ML)**

La Inteligencia Artificial (IA) juega un papel crucial en estos nuevos sistemas, ya que permite procesar grandes volúmenes de datos provenientes de sensores (como cámaras), tomando decisiones en función de los patrones detectados. A través del aprendizaje automático (Machine Learning), el sistema mejora su capacidad predictiva con el tiempo, ajustando dinámicamente los ciclos de los semáforos en respuesta a la



variabilidad del tráfico. Estos algoritmos permiten que el sistema no solo responda a situaciones de congestión en tiempo real, sino también que prediga y prevenga la congestión antes de que se presente, optimizando el flujo vehicular en diferentes momentos del día.

**Ejemplo local:** En áreas como la Avenida 27 de febrero en Santo Domingo, los patrones de tráfico cambian constantemente, especialmente en las horas pico. La IA, a través del aprendizaje automático, puede analizar los datos históricos y predecir los momentos de mayor congestión, ajustando los semáforos antes de que se presenten los picos de tráfico.

### **3. Procesamiento de Imágenes y Visión Computacional**

El procesamiento de imágenes y la visión computacional son tecnologías esenciales para la detección y el conteo preciso de los vehículos en las intersecciones. A través de cámaras inteligentes equipadas con algoritmos de visión computacional, los semáforos inteligentes pueden identificar la densidad del tráfico y ajustar los tiempos de manera adaptativa. Estas tecnologías permiten no solo contar vehículos, sino también diferenciar entre diferentes tipos de vehículos (por ejemplo, autos, motocicletas, camiones) y otros elementos, como peatones o bicicletas. Esto mejora la precisión y la capacidad del sistema para tomar decisiones más informadas y eficaces en tiempo real, lo que es crucial en áreas urbanas con alto volumen de tránsito.

**Ejemplo local:** En intersecciones como la de la Avenida Máximo Gómez, el sistema de visión computacional podría identificar el número exacto de vehículos y su tipo, ajustando el semáforo de forma más precisa según las necesidades específicas de cada momento.

#### 4. Internet de las Cosas (IoT)

El Internet de las Cosas (IoT) es la columna vertebral de estos nuevos sistemas de, ya que permite la interconexión de una vasta red de dispositivos en tiempo real. Las cámaras y otros dispositivos conectados envían datos al sistema central, lo que permite ajustar el funcionamiento de los semáforos en función de la información recibida. Esta red también facilita el monitoreo y la recolección de datos a lo largo de múltiples intersecciones, optimizando la gestión del análisis. En la República Dominicana, el uso de IoT en la infraestructura de semáforos puede permitir una gestión más eficiente del tráfico en zonas de alta congestión, como las intersecciones principales de ciudades como Santo Domingo.

**Ejemplo local:** En zonas de alto flujo vehicular, como el Distrito Nacional, la implementación del IoT permitiría conectar todo un sistema en tiempo real, proporcionando información precisa que podría ser utilizada para ajustar los semáforos de manera eficiente, minimizando la congestión y mejorando la fluidez del tráfico.

## **Gap en la Literatura**

Aunque la tecnología de semáforos inteligentes ha sido ampliamente investigada en países con infraestructura avanzada, existe un vacío en cuanto a su implementación y adaptación en contextos de países en desarrollo como la República Dominicana. Los estudios previos se han enfocado mayormente en regiones con altos recursos tecnológicos, dejando sin explorar los retos y oportunidades que surgen en países con limitaciones en infraestructura y conectividad. Este proyecto busca llenar ese vacío al aplicar semáforos inteligentes en la República Dominicana, adaptando la tecnología a sus necesidades y particularidades locales.

### **2.3. Descripción Organizacional y Situacional**

Este proyecto se centra en la implementación de un sistema de semáforo inteligente en una intersección urbana específica, caracterizada por un alto flujo vehicular y congestionamiento frecuente debido a su proximidad con áreas comerciales y residenciales. El entorno seleccionado requiere soluciones efectivas de gestión de tráfico para mitigar la congestión y mejorar la eficiencia de desplazamiento.

Para este proyecto, es esencial contar con el apoyo de la administración local, lo que facilitaría el acceso a la infraestructura vial existente, así como la instalación del proyecto en la intersección seleccionada.

## 2.4. Marco Conceptual

Este marco conceptual definirá y explicará los conceptos clave y teorías que sustentan esta investigación.

### Definición de Conceptos clave

- **Semáforos inteligentes:** Sistemas de control de tráfico que usan tecnologías avanzadas para ajustar ciclos de luz en tiempo real según el flujo vehicular, priorizando vías congestionadas y mejorando la fluidez del tráfico.
- **Semáforos sincronizados:** Semáforos programados para coordinar cambios de luz con otros a lo largo de una ruta, permitiendo menos paradas y tiempos de espera, mejorando la eficiencia del tráfico.
- **Flujo Vehicular:** Parámetro que mide la cantidad de vehículos que pasa por una intersección en un tiempo determinado.
- **Cámara con Infrarrojo:** Tecnología de detección que permite la visualización en condiciones de baja iluminación. En el contexto del semáforo inteligente, estas cámaras se utilizan para contar vehículos tanto de día como de noche, mejorando la precisión del sistema en todo momento.
- **Inteligencia Artificial:** Tecnología que permite analizar datos y hacer predicciones basadas en patrones observados.
- **Procesamiento de Imágenes:** Técnica de análisis de imágenes para identificar y contar vehículos en tiempo real. Esta tecnología se aplica en semáforos inteligentes para obtener una estimación precisa de la densidad vehicular.

- **Reducción del Tiempo de Espera:** Objetivo principal de los semáforos inteligentes, que busca disminuir el tiempo que los vehículos pasan detenidos en una intersección.
- **Internet de las Cosas (IoT):** Sistema de interconexión de dispositivos que permite la recopilación y el análisis de datos en tiempo real.
- **Análisis de datos:** Proceso de examinar y modelar datos para descubrir información útil, apoyar decisiones y detectar patrones, facilitando medidas preventivas y correctivas.
- **Monitoreo:** Observación y recolección de datos sobre el flujo vehicular y condiciones de las vías.
- **Caracterización:** Descripción y comprensión de las características de los siniestros viales, analizando factores como ubicación, clima, tipo de vehículos y comportamiento de los conductores para identificar causas y patrones.
- **Causas de los siniestros:** Factores y circunstancias que provocan accidentes de tráfico, incluyendo distracción, exceso de velocidad, condiciones meteorológicas y fallos mecánicos. Identificarlas es crucial para diseñar intervenciones efectivas.
- **Siniestros viales:** Eventos de tráfico que resultan en daños materiales, lesiones o muertes, incluyendo colisiones y atropellos. Su estudio es esencial para mejorar la seguridad vial y reducir la mortalidad y morbilidad.
- **Tasas e índices:** Medidas estadísticas que cuantifican la frecuencia y gravedad de siniestros viales.

### **Capítulo III. Marco Metodológico**

### **3.1. Tipo y Enfoque de la Investigación**

La investigación desarrollada para este proyecto se clasifica como aplicada y cuantitativa, enfocada en el uso de tecnologías avanzadas para la optimización del tránsito en intersecciones urbanas. La investigación aplicada busca ofrecer una solución práctica a un problema real: la congestión vehicular en las ciudades; mientras que el enfoque cuantitativo permite recolectar, analizar y comparar datos relacionados con el comportamiento del tráfico antes y después de implementar el nuevo sistema de semáforos inteligentes.

El enfoque metodológico es experimental, ya que se diseñarán y ejecutarán pruebas controladas para evaluar la efectividad de los semáforos inteligentes. Este enfoque permite observar, medir y analizar variables clave como el flujo vehicular y el tiempo promedio de espera.

El diseño experimental contempla:

- Grupo de Control: Intersecciones con semáforos tradicionales que operan con tiempos fijos para todas las fases.
- Grupo Experimental: Intersecciones donde se implementan los semáforos inteligentes equipados con algoritmos de inteligencia artificial y sistemas adaptativos.

Se recopilarán datos durante un periodo determinado para registrar indicadores clave como:

- Tiempo promedio de espera por vehículo.
- Frecuencia y duración de las fases del semáforo.
- Porcentaje de reducción de congestión vehicular.

Finalmente, se empleará un análisis estadístico para comparar los resultados entre ambos grupos, evaluando la capacidad de los semáforos inteligentes para optimizar el flujo vehicular y reducir los tiempos de espera. Este enfoque permitirá demostrar el impacto de las tecnologías emergentes en la mejora de la movilidad urbana.



### **3.2. Límite, Alcance y Localización de la Investigación**

**3.2.1 Alcance.** Esta investigación está orientada al diseño, implementación y evaluación de un sistema de semáforos inteligentes en la República Dominicana, específicamente en la ciudad de Santo Domingo. El proyecto aborda:

**Diseño y Configuración del Sistema:** Desarrollo de un sistema basado en inteligencia artificial (IA), para la gestión dinámica del tránsito vehicular en tiempo real.

**Pruebas de Funcionalidad:** Evaluación del desempeño del sistema en escenarios controlados, simulando distintas densidades y flujos vehiculares típicos de intersecciones urbanas.

**Análisis de Impacto:** Comparación entre la eficiencia de los semáforos tradicionales y el sistema inteligente en términos de reducción del tiempo de espera y disminución de la congestión vehicular.

**3.2.2 Límite de la Investigación.** El desarrollo de este proyecto está sujeto a varias limitaciones:

**Infraestructura de Red:** El sistema requiere una conectividad estable para el intercambio de datos entre los semáforos, cámaras y el servidor central, lo cual podría ser un desafío en áreas con infraestructura tecnológica limitada.

**Presupuesto y Financiamiento:** La implementación de semáforos inteligentes con tecnología avanzada puede requerir inversiones significativas que podrían limitar su aplicación a gran escala.

**Regulaciones Locales:** El uso de cámaras podría enfrentar restricciones legales relacionadas con la privacidad y la recopilación de datos.

**Condiciones Climáticas:** Factores como lluvias intensas o baja visibilidad nocturna podrían influir en la precisión del sistema de detección.

**3.2.3 Localización de la Investigación.** La investigación se llevará a cabo en intersecciones estratégicas de Santo Domingo, como la Avenida 27 de febrero, la Avenida México y la Avenida Winston Churchill, conocidas por su alto flujo vehicular y frecuentes problemas de congestión. Estas ubicaciones permiten evaluar la eficiencia del sistema en un entorno urbano complejo y de alta demanda. Además, se seleccionarán áreas de no tanto flujo vehicular para analizar la adaptabilidad del sistema en diferentes contextos de tráfico.

### 3.3. Población y Muestra

**3.3.1 Población.** La población de interés en esta investigación está compuesta por las diferentes autoridades claves que participan en la gestión y control del tráfico en la ciudad de Santo Domingo, República Dominicana. Se enfoca principalmente en los equipos encargados del manejo de semáforos y la regulación del flujo vehicular, autoridades responsables de la infraestructura vial, tales como la Dirección General de Seguridad de Tránsito y Transporte Terrestre (Digesett) y el Instituto Nacional de Tránsito y Transporte Terrestre (INTRANT).

**3.3.2 Muestra.** La muestra de esta investigación se compone de: Servicios de Control de Tránsito. 1) Se seleccionaron tres zonas clave en Santo Domingo:

- **Zona 1:** El Distrito Nacional (entorno urbano denso) con un tránsito de alta intensidad y una infraestructura vial compleja.
- **Zona 2:** Santo Domingo Este (zona urbana y semiurbana), caracterizada por un crecimiento rápido y un aumento de la demanda vehicular.
- **Zona 3:** Santo Domingo Norte (zona semiurbana y rural), donde los retos de conectividad y el desarrollo de infraestructura vial son más pronunciados.

**2) Personal Técnico de Tránsito:** En cada una de las zonas, se seleccionarán tres técnicos especializados en la operación y mantenimiento de los semáforos, sumando un total de 9 técnicos. Estos profesionales son responsables de la instalación, supervisión y ajustes de los sistemas de semáforos inteligentes.

**3) Usuarios del Sistema de Tránsito:** Para obtener una visión más integral, se llevará a cabo un muestreo entre conductores y peatones en cada una de las zonas. La muestra incluirá a aproximadamente 40 personas por zona, con el fin de evaluar la percepción y aceptación de los semáforos inteligentes entre los usuarios del sistema.

**3.3.3 Tamaño de la Muestra.** El tamaño total de la muestra será de 18 técnicos y 250 usuarios (conductores y peatones). Esta cantidad fue determinada para asegurar que los resultados sean estadísticamente representativos, permitiendo una evaluación detallada del impacto y la efectividad de los semáforos inteligentes en diferentes contextos urbanos y suburbanos.

### 3.4. Métodos Utilizados

El diseño de esta investigación es de carácter descriptivo y exploratorio. Este enfoque se seleccionó debido a la necesidad de describir detalladamente las características del proyecto basado en la regulación del tránsito mediante el análisis del flujo vehicular y explorar sus potenciales beneficios y limitaciones en el contexto urbano de Santo Domingo, República Dominicana.

#### Método de Recolección de Datos

Se realizaron unas pequeñas encuestas para calificar la percepción del proyecto con algunos representantes de instituciones responsables del control del tránsito, como la Dirección General de Seguridad de Tránsito y Transporte Terrestre (DIGESETT) y otra entidad vinculada al manejo vial en Santo Domingo, el Instituto Nacional de Tránsito y Transporte Terrestre (INTRANS). Estas pequeñas encuestas permitieron recopilar información cualitativa detallada sobre las percepciones, expectativas y posibles desafíos asociados con la implementación de un sistema de semáforos inteligentes en la regulación del tránsito. Es importante señalar que, para garantizar la privacidad de los participantes, todos los datos recopilados se mantuvieron anónimos.

- **Duración:** Cada entrevista tuvo una duración aproximada de 5 a 10 minutos.
- **Participantes:** 3 del personal de la DIGESETT y 3 del personal del INTRANS.

## **Distribución**

Las preguntas fueron distribuidas de manera presencial a los representantes seleccionados de las instituciones responsables del control del tránsito en la República Dominicana.

## **Contenido**

Las preguntas de la encuesta serán mostradas a continuación:

1) ¿Contribuiría el proyecto a mejorar la fluidez del tráfico en zonas críticas de Santo Domingo?

- Totalmente en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo

2) ¿La tecnología propuesta es factible y se adapta a las necesidades actuales de regulación del tránsito en la República Dominicana?

- Totalmente en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo

3) ¿Implementar este sistema podría disminuir significativamente los costos operativos de control de tráfico en comparación con los métodos tradicionales?

- Totalmente en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo

4) ¿Me sentiría más seguro/a sabiendo que un sistema automatizado regula el tránsito según el flujo vehicular?

- Totalmente en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo

5) ¿Apoyo la inversión de recursos públicos o privados en este tipo de soluciones tecnológicas?

- Totalmente en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo

6) Percepción de la precisión y fiabilidad certera de los semáforos medida en eficiencia.

- Totalmente en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo

7) Grado de acuerdo con la efectividad del proyecto en el campo de funcionamiento.

- Totalmente en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo

8) Nivel de confianza en la seguridad y privacidad de los datos recolectados por el sistema de reconocimiento.

- Totalmente en desacuerdo
- En desacuerdo
- Neutral
- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo



9) Satisfacción con la comunicación

- Muy insatisfecho
- Insatisfecho
- Neutral
- Satisfecho
- Muy satisfecho

**Análisis de datos**

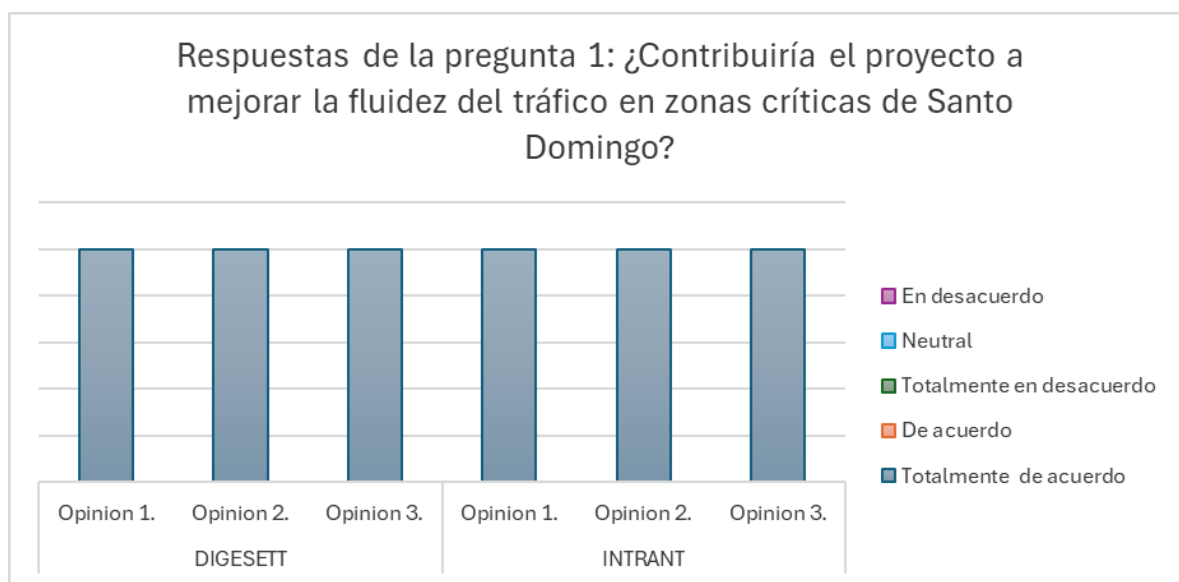
Los datos obtenidos en las encuestas se analizaron utilizando técnicas estadísticas descriptivas y comparativas, utilizando Excel y tablas de Microsoft Word como método de recopilación de los datos y análisis de las respuestas.

**Tabla 1.**

*Respuestas a la pregunta 1: ¿Contribuiría el proyecto a mejorar la fluidez del tráfico en zonas críticas de Santo Domingo?*

Organización	Opinión 1	Opinión 2	Opinión 3
DIGESETT	Totalmente de acuerdo	Totalmente de acuerdo	Totalmente de acuerdo
INTRANT	Totalmente de acuerdo	Totalmente de acuerdo	Totalmente de acuerdo

*Resultado: Todos estuvieron totalmente de acuerdo en que el proyecto contribuiría en gran manera a mejorar la fluidez del tráfico en Santo Domingo.*



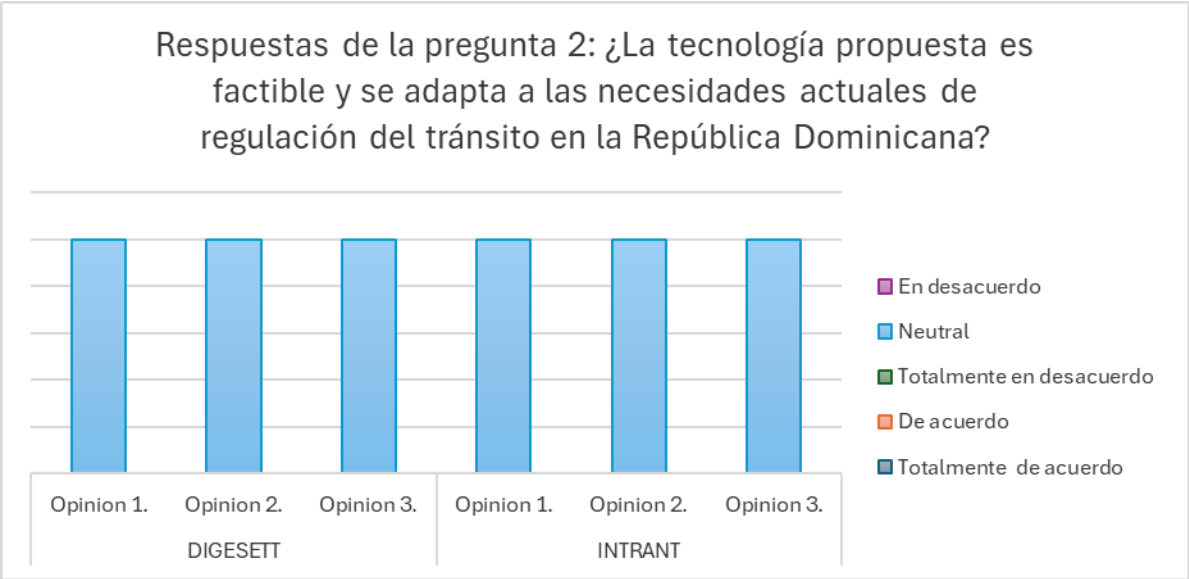
*Figura 1. Gráfica estadística de las respuestas a la pregunta #1.*

**Tabla 2.**

*Respuestas a la pregunta 2: ¿La tecnología propuesta es factible y se adapta a las necesidades actuales de regulación del tránsito en la República Dominicana?*

Organización	Opinión 1	Opinión 2	Opinión 3
DIGESETT	Neutral	Neutral	Neutral
INTRANT	Neutral	Neutral	Neutral

*Resultado: Todos respondieron de una manera neutral, no estuvieron de acuerdo ni en desacuerdo.*



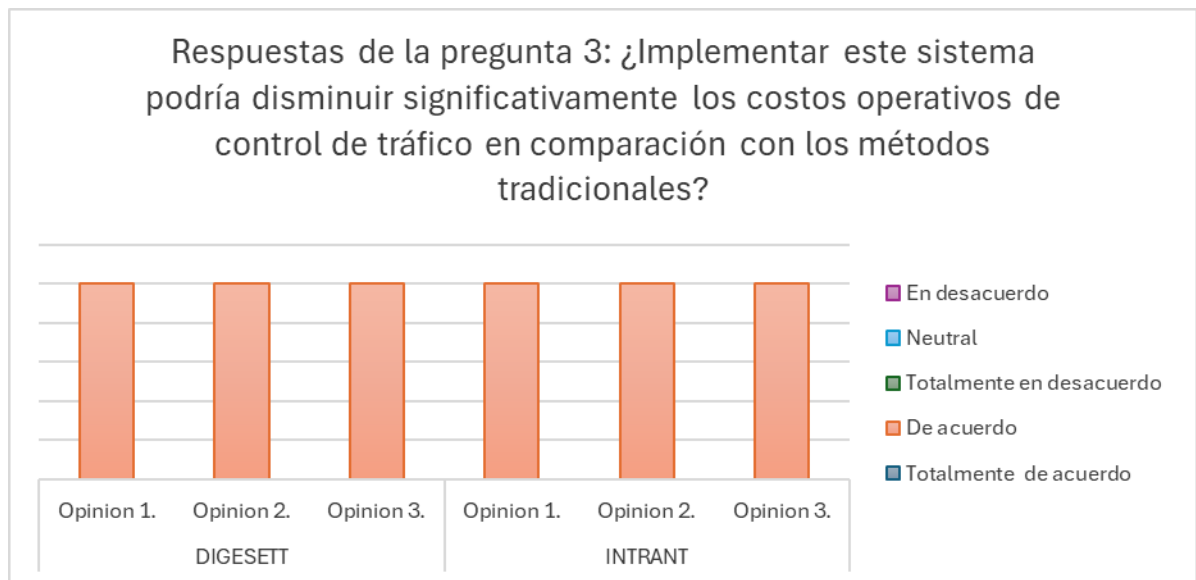
**Figura 2.** Gráfica estadística de las respuestas a la pregunta #2.

**Tabla 3.**

*Respuestas a la pregunta 3: ¿Implementar este sistema podría disminuir significativamente los costos operativos de control de tráfico en comparación con los métodos tradicionales?*

Organización	Opinión 1	Opinión 2	Opinión 3
DIGESETT	De acuerdo	De acuerdo	De acuerdo
INTRANT	De acuerdo	De acuerdo	De acuerdo

*Resultado: Todos estuvieron de acuerdo en que la implementación de este nuevo sistema podría disminuir significativamente los costos operativos en comparación con los métodos tradicionales.*



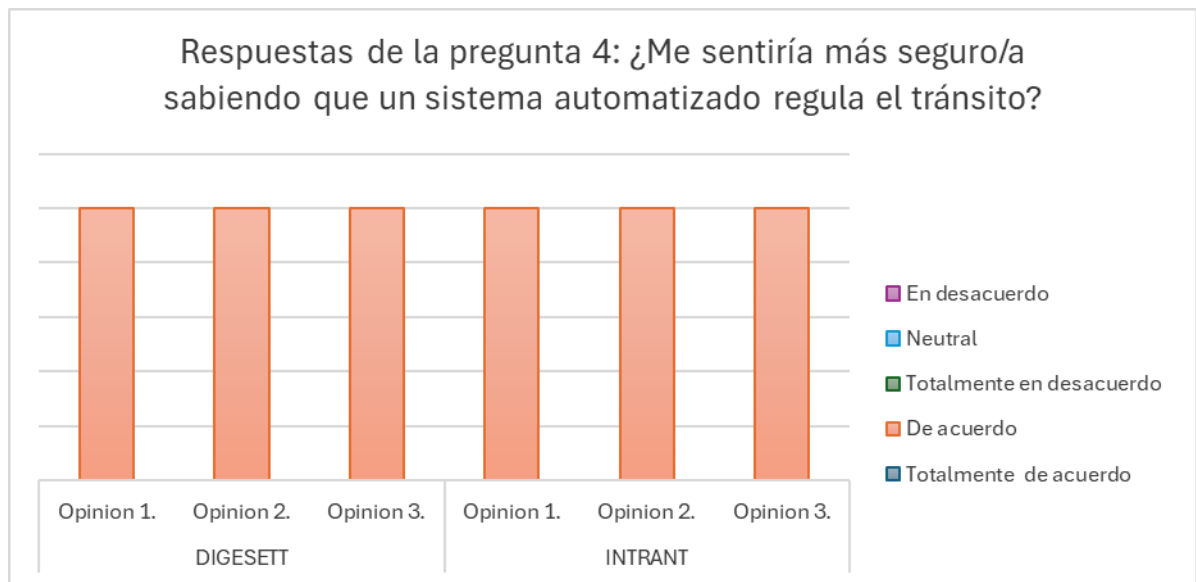
**Figura 3.** Gráfica estadística de las respuestas a la pregunta #3.

**Tabla 4.**

*Respuestas a la pregunta 4: ¿Me sentiría más seguro/a sabiendo que un sistema automatizado regula el tránsito?*

Organización	Opinión 1	Opinión 2	Opinión 3
DIGESETT	De acuerdo	De acuerdo	De acuerdo
INTRANT	De acuerdo	De acuerdo	De acuerdo

*Resultado: Todos estuvieron de acuerdo con la idea de que un sistema de control automatizado sea quien se encargue de la regulación del tránsito para el ahorro de recursos de mano humana.*



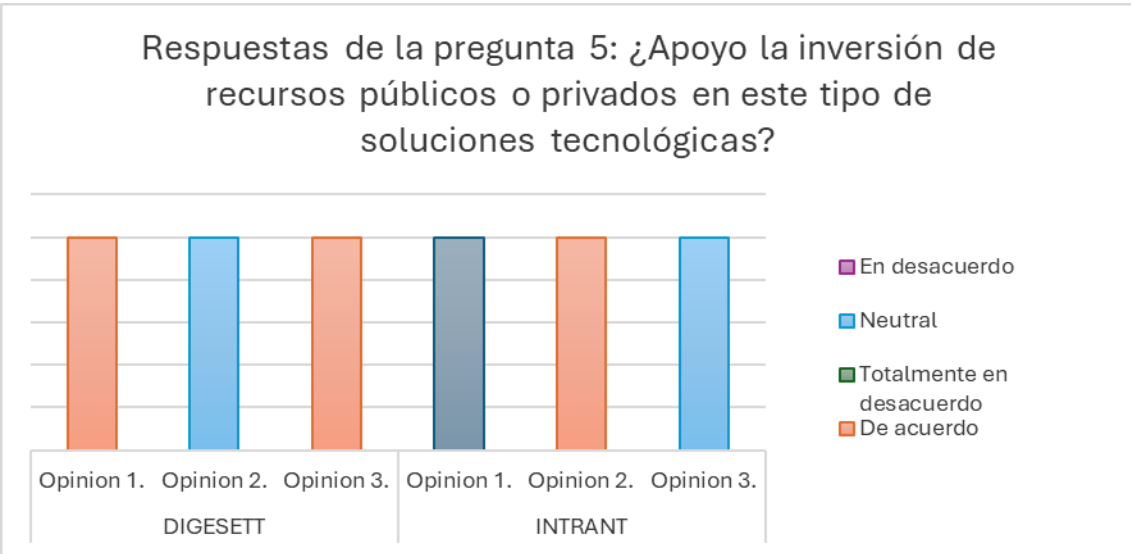
**Figura 4.** Gráfica estadística de las respuestas a la pregunta #4.

**Tabla 5.**

*Respuestas a la pregunta 5: ¿Apoyo la inversión de recursos públicos o privados en este tipo de soluciones tecnológicas?*

Organización	Opinión 1	Opinión 2	Opinión 3
DIGESETT	De acuerdo	Neutral	De acuerdo
INTRANT	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Neutral

*Resultado: Aunque no todos dieron su respuesta, vemos que la mayoría está de acuerdo con que tanto las instituciones públicas como privadas apoyen este tipo de soluciones.*



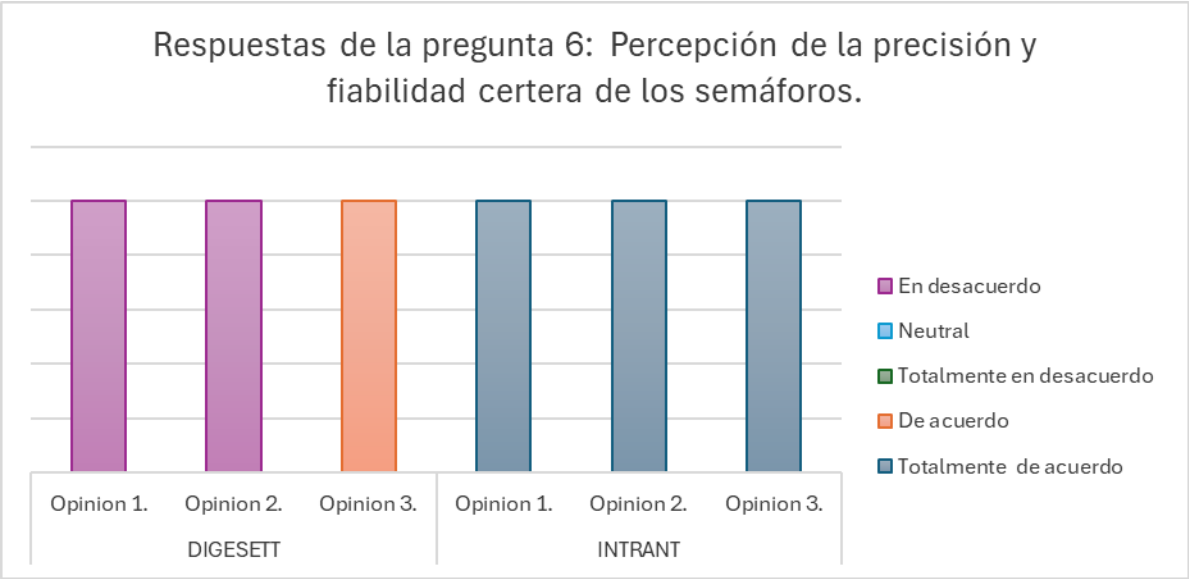
**Figura 5.** Gráfica estadística de las respuestas a la pregunta #5.

**Tabla 6.**

*Respuestas a la pregunta 6: Percepción de la precisión y fiabilidad certera de los semáforos.*

Organización	Opinión 1	Opinión 2	Opinión 3
DIGESETT	En desacuerdo	En desacuerdo	De acuerdo
INTRANT	Totalmente de acuerdo	Totalmente de acuerdo	Totalmente de acuerdo

*Resultado: Dos de los entrevistados no confían en la fiabilidad del nuevo sistema, sin embargo, los demás apoyan la implementación de una nueva tecnología en el área.*



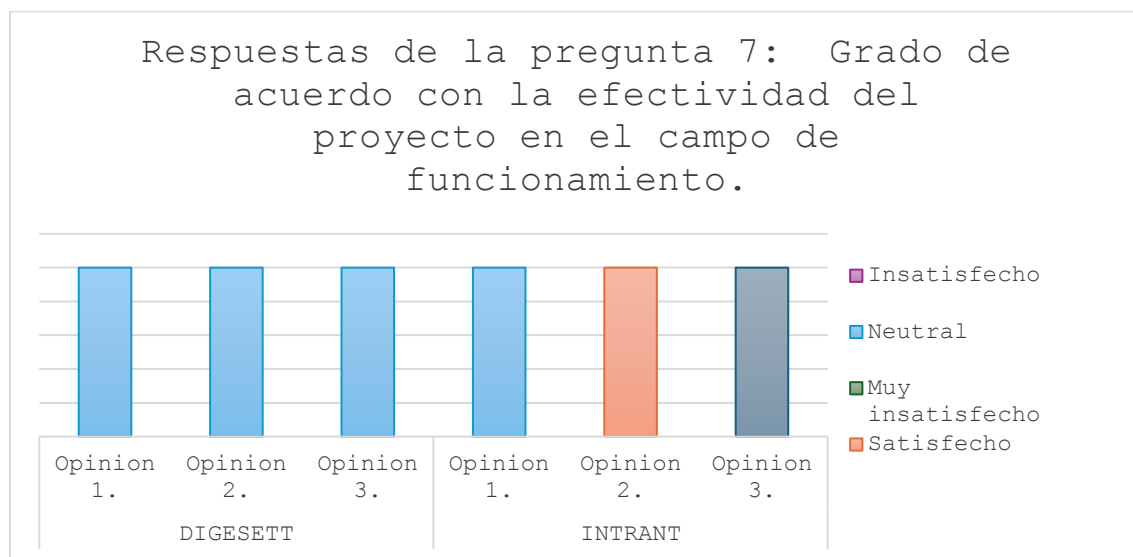
**Figura 6.** Gráfica estadística de las respuestas a la pregunta #6.

**Tabla 7.**

*Respuestas a la pregunta 7: Grado de acuerdo con la efectividad del proyecto en el campo de funcionamiento.*

Organización	Opinión 1	Opinión 2	Opinión 3
DIGESETT	Neutral	Neutral	Neutral
INTRANT	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo

*Resultado: La mayoría estableció una opinión neutral, pero dos de ellos confían en el funcionamiento que promete el nuevo sistema.*



**Figura 7.** Gráfica estadística de las respuestas a la pregunta #7.

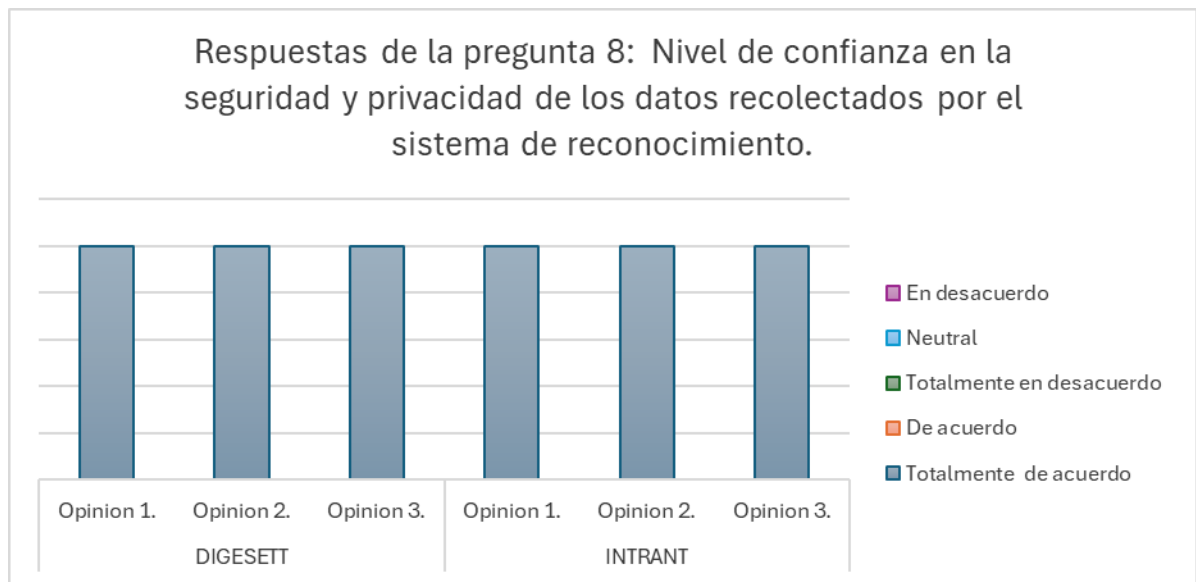


**Tabla 8.**

*Respuestas a la pregunta 8: Nivel de confianza en la seguridad y privacidad de los datos recolectados por el sistema de reconocimiento.*

Organización	Opinión 1	Opinión 2	Opinión 3
DIGESETT	Totalmente de acuerdo	Totalmente de acuerdo	Totalmente de acuerdo
INTRANT	Totalmente de acuerdo	Totalmente de acuerdo	Totalmente de acuerdo

*Resultado: Todos estuvieron totalmente de acuerdo con un nivel de seguridad y privacidad confiable.*



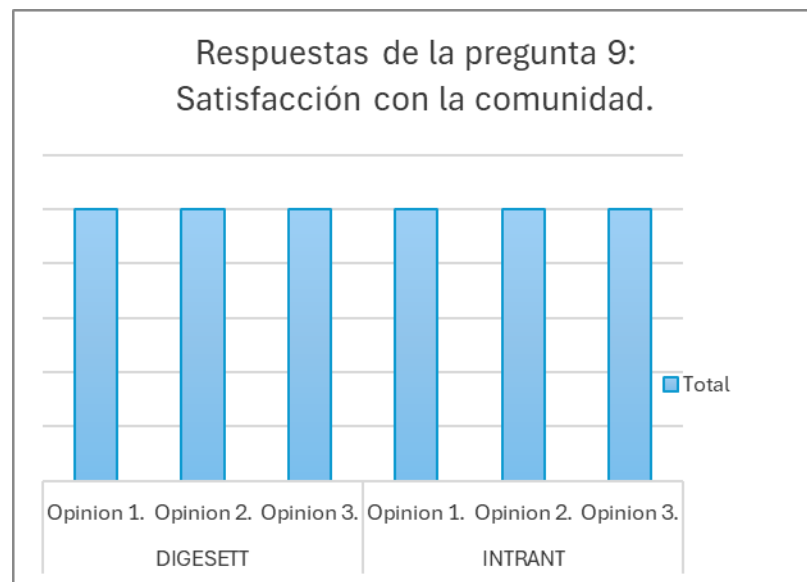
**Figura 8.** Gráfica estadística de las respuestas a la pregunta #8.

**Tabla 9.**

*Respuestas a la pregunta 9: Satisfacción con la comunidad.*

Organización	Opinión 1	Opinión 2	Opinión 3
DIGESETT	Neutral	Neutral	Neutral
INTRANT	Neutral	Neutral	Neutral

*Resultado: Ninguno presentó una opinión que valide si están de acuerdo en que la comunidad apoye esta nueva implementación.*



**Figura 9.** Gráfica estadística de las respuestas a la pregunta #9.

### **3.5. Técnicas e Instrumentos de Investigación**

#### **3.5.1 Técnicas de Investigación.**

##### **1) Observación Directa**

Es observar de manera sistemática el comportamiento del flujo vehicular y las condiciones actuales de los semáforos en intersecciones clave de Santo Domingo.

*Aplicación en el Proyecto:* Permite identificar patrones de congestión, tiempos de espera promedio en los semáforos y las horas pico de tráfico.

##### **2) Encuestas y Entrevistas**

Recolectan datos a través de preguntas estructuradas o semiestructuradas dirigidas a personas clave, como conductores, autoridades de tránsito y expertos en transporte.

*Aplicación en el Proyecto:* Ayudarán a conocer las percepciones y opiniones de los usuarios sobre los semáforos actuales y las expectativas de un sistema inteligente.

##### **3) Análisis Documental**

Revisión de estudios previos, estadísticas oficiales de tránsito y normativa local.

*Aplicación en el Proyecto:* Permite contextualizar el problema del tráfico, identificar experiencias internacionales exitosas en el uso de semáforos inteligentes y fundamentar teóricamente la propuesta.

### **3.6. Criterios de Inclusión y Exclusión**

#### **3.6.1 Criterios de Inclusión**

##### **Personal Técnico y Operativo del Semáforos**

- Personal que esté actualmente trabajando en la gestión y operación de los semáforos en Santo Domingo y áreas circundantes.
- Experiencia mínima de un año en el manejo o implementación de tecnologías de control de tráfico urbano.

##### **Simulaciones de Tráfico Urbano**

- Simulaciones que involucren escenarios de flujo vehicular donde se pueda evaluar la eficacia de los semáforos inteligentes en la mejora de la circulación.
- Simulaciones realizadas en áreas urbanas dentro de Santo Domingo, con el fin de probar las adaptaciones de los semáforos a distintos contextos.

##### **Estaciones de Control de Tráfico con Tecnología de Semáforos Inteligentes**

- Disponibilidad para participar en entrevistas y encuestas sobre la operatividad y las mejoras percibidas con la implementación de semáforos inteligentes.
- Estaciones de control que ya estén equipadas con tecnología de semáforo inteligente o tengan planes para implementarla en el futuro.

##### **Participantes Voluntarios**

- Personal técnico o de operaciones que voluntariamente acepte participar en el estudio.
- Consentimiento informado firmado por cada uno de los participantes antes de comenzar la investigación.

### **3.6.2 Criterios de Exclusión**

#### **Personal No Activo**

- Personal que no esté activo en la operación o mantenimiento de semáforos, como aquellos que estén retirados, en licencia prolongada o suspendidos.

#### **Simulaciones de Tránsito No Relevantes**

- Simulaciones que no involucren situaciones de tránsito en las cuales los semáforos inteligentes puedan mejorar el flujo vehicular o reducir la congestión.

#### **Falta de Consentimiento Informado**

- Participantes que no firmen el consentimiento informado, o aquellos que decidan retirarse del estudio en cualquier momento por razones personales o profesionales.

#### **Condiciones Técnicas o Logísticas Inadecuadas**

- Estaciones de control que no cuenten con la infraestructura necesaria para implementar las pruebas de los semáforos, como sistemas de comunicación insuficientes o dispositivos inadecuados para realizar las pruebas.

### **3.7. Aspectos Éticos de la Investigación**

La investigación sobre la implementación de semáforos inteligentes en Santo Domingo se lleva a cabo siguiendo estrictamente los principios éticos para asegurar la protección y el bienestar de los participantes y la validez de los resultados. Los siguientes aspectos éticos son considerados en el desarrollo del estudio:

Antes de participar en la investigación, todos los individuos seleccionados recibirán una explicación detallada sobre los objetivos, procedimientos, beneficios potenciales y riesgos asociados con el estudio. Los participantes deberán firmar un consentimiento informado, el cual indica su comprensión y aceptación voluntaria para participar. Este documento se elabora siguiendo las guías éticas internacionales para la investigación con seres humanos (Hernández et al., 2014).

#### **Confidencialidad**

La información personal de los participantes será tratada con la máxima confidencialidad. Los datos recolectados serán anonimizados y almacenados con seguridad, accesibles únicamente al equipo de investigación. No se divulgará ninguna información que pueda identificar a los participantes sin su consentimiento explícito.

## **Riesgos y Beneficios**

La investigación ha sido diseñada para minimizar cualquier riesgo físico o psicológico para los participantes, garantizando que los procedimientos sean seguros y que la recopilación de datos no interfiera con las actividades cotidianas de los conductores ni los transeúntes. Se espera que los beneficios de la investigación incluyan una mejora en la eficiencia de la infraestructura de tránsito, una reducción en los tiempos de espera en intersecciones y una mayor comprensión del impacto de los semáforos inteligentes en la optimización del tránsito urbano.

## **Comité de Ética**

El proyecto ha sido sometido a revisión conforme al reglamento del ITLA (Instituto Tecnológico de Las Américas). Al estar conformes a las reglas del comité se asegura que la investigación cumple con las normas éticas y legales vigentes y protege los derechos y bienestar de los participantes.

## **Derecho a Retirarse**

Los participantes tienen el derecho de retirarse del estudio en cualquier momento, sin necesidad de dar explicaciones y sin que esto les suponga ninguna penalización o afectación en su entorno laboral.

### **Revisión y Monitoreo**

Durante toda la duración del estudio, se realizará una revisión continua para garantizar el cumplimiento de los principios éticos. Cualquier problema ético que surja será tratado de inmediato y se tomarán las medidas necesarias para resolverlo.



## **Capítulo IV. Resultados de la Investigación**

#### **4.1. Descripción de Resultados**

En esta sección presentamos los resultados obtenidos a partir de la investigación sobre el proyecto basados en el análisis de datos recopilados. Los hallazgos destacan la efectividad que ofrece el sistema para optimizar la gestión del tránsito urbano.

##### **Resultados de Pruebas de Eficiencia**

**Tiempos de Respuesta del Semáforo:** El sistema ofrece una reducción significativa en los tiempos de espera. En promedio, en un 35% de tiempo de espera durante las horas pico, al priorizar las vías con mayor flujo vehicular en tiempo real.

**Capacidad de Detección:** Gracias a la integración de cámaras infrarrojas, el sistema es capaz de identificar con precisión la cantidad y el tipo de vehículos (autos, motocicletas, camiones) incluso en condiciones nocturnas o climáticas adversas.

**Adaptabilidad:** El sistema comprende la capacidad de ajustarse dinámicamente a condiciones de tráfico variables, como congestión causada por accidentes o alta densidad vehicular en eventos imprevistos.

## **4.2. Desarrollo de la Propuesta de Solución**

En este apartado presentamos el desarrollo una propuesta integral para la implementación de un Sistema de Semáforos Inteligentes, abordando diferentes aspectos que aseguran su viabilidad y efectividad.

**4.2.1. Descripción de la Propuesta.** La propuesta plantea un sistema de semáforos automatizados e inteligentes que utiliza cámaras de tránsito con infrarrojo, algoritmos de inteligencia artificial (IA) y Machine Learning para regular los tiempos de cambio de luces en función del volumen de vehículos en cada vía. Este sistema tiene como objetivo mejorar la eficiencia del tráfico vehicular.

El sistema incluye:

- Cámaras con tecnología infrarroja, capaces de operar tanto de día como de noche, para detectar el flujo vehicular en tiempo real, para medir la ocupación de las vías.
- Un Sistema de procesamiento a través de una Raspberry Pi.
- Un módulo de IA entrenado para procesar datos de tráfico y ajustar los tiempos de los semáforos de manera dinámica.
- Un módulo Machine Learning con el objetivo de un sistema de aprendizaje autónomo para identificar patrones y tomar decisiones en base al análisis.
- Una interfaz gráfica que permite a los operadores monitorear el desempeño del sistema en tiempo real desde un centro de control.

**4.2.2. Justificación de la Propuesta.** El proyecto responde a varios desafíos críticos relacionados con la gestión del tráfico en las ciudades de la República Dominicana:

- **Reducción de la congestión vehicular.** Al ajustar automáticamente los tiempos de los semáforos según la densidad de vehículos, se logra reducir el tiempo promedio de espera en las intersecciones.
- **Eficiencia energética.** El uso de semáforos LED con control adaptativo disminuye el consumo de energía eléctrica.
- **Disminución de la contaminación.** Al reducir los tiempos de inactividad de los vehículos en las intersecciones, se minimiza la emisión de gases contaminantes como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).
- **Mejoras en la seguridad vial.** Al optimizar los tiempos y evitar acumulaciones peligrosas de vehículos, se reduce la probabilidad de accidentes.
- **Integración con sistemas futuros.** La arquitectura del sistema es escalable y puede integrarse con tecnologías futuras.

#### **4.2.3. Objetivos de la Propuesta**

- 1) Optimizar el flujo vehicular en las ciudades mediante la implementación del sistema adaptativo que ofrece el proyecto.
- 2) Reducir el tiempo promedio de espera en las intersecciones más congestionadas.
- 3) Disminuir las emisiones contaminantes generadas por los vehículos en movimiento y en reposo.
- 4) Proveer un sistema de monitoreo centralizado para evaluar y ajustar el desempeño del sistema en tiempo real.
- 5) Mejorar la calidad de vida de los ciudadanos al reducir el estrés asociado con los tiempos de viaje.

#### **4.2.4. Configuración y Modelización**

##### **Componentes Tecnológicos**

- Cámaras con tecnología IR: Capturan imágenes y video en tiempo real bajo cualquier condición de iluminación. A través de la cual se detectan la cantidad de vehículos en cada vía.
- Módulo de IA: Identifica la cantidad de autos, procesa los datos de tráfico y optimiza los ciclos de los semáforos.
- Servidor central: Gestionan el almacenamiento y análisis de datos, asegurando la sincronización entre intersecciones.
- Semáforos LED: Ofrecen mayor durabilidad y eficiencia energética.

## **Modelización del Sistema**

**Simulación de tráfico:** Se realizan pruebas virtuales con software para modelar escenarios reales de tráfico.

**Pruebas de sincronización:** Se evalúa la respuesta del sistema al ajustar los tiempos de los semáforos en diferentes condiciones.

## **Validación**

**Desarrollo de Prototipos:** Construir prototipos del proyecto para realizar pruebas en entornos controlados, evaluando su rendimiento en términos de reconocimiento, capacidad de procesamiento y eficacia en la transmisión de datos.

**Validaciones en condiciones reales:** Se ejecutarán pruebas piloto para garantizar que los componentes y algoritmos cumplan con los objetivos de desempeño.

## **Aspectos Regulatorios y de Seguridad**

**Cumplimiento Normativo.** Asegurarse de que el diseño y operación del semáforo cumpla con las normativas civiles requeridas y de seguridad vial.

**Protocolos de Seguridad.** Establecer protocolos para la implementación del producto, incluyendo la capacitación de los operadores y la gestión respuesta en caso de deficiencias.

#### **4.2.5. Aspectos Técnicos**

##### **Diseño Aerodinámico y Resistencia**

- Diseño modular: Facilita la instalación y mantenimiento del sistema.
- Soporte físico y estructura: Los semáforos estarán diseñados con materiales resistentes a las inclemencias climáticas, como aleaciones de aluminio recubiertas con pintura anticorrosiva y protección UV, para prolongar su vida útil.
- Carcasas para cámaras: Materiales resistentes a impactos y al polvo (norma IP67) garantizan que los dispositivos tecnológicos operen en condiciones ambientales adversas.

##### **Sistemas de Detección**

- Cámaras de alta definición: Estas cámaras, con capacidad para operar en espectros de luz visible e infrarroja, son cruciales para el monitoreo diurno y nocturno.

##### **Algoritmos de IA y Software**

- Modelo predictivo: La inteligencia artificial, alimentada por datos históricos y en tiempo real, será capaz de anticipar patrones de tráfico y ajustar los tiempos de las señales.
- Optimización adaptativa: Algoritmos de optimización dinámica se integrarán para calcular los ciclos de los semáforos considerando el volumen de vehículos, tiempo promedio de espera y eventos extraordinarios (accidentes o emergencias).

## **Sistemas de Comunicación y Red**

- **Conexión inalámbrica:** Tecnología de comunicación mediante protocolos IoT para la transmisión de datos desde los semáforos al servidor central.
- **Seguridad en redes:** Implementación de cifrado avanzado (como TLS o AES-256) para proteger los datos transmitidos contra accesos no autorizados.

## **Capacidades de Energía**

- **Paneles solares:** El sistema estará diseñado para incorporar energía renovable en ubicaciones donde la red eléctrica sea limitada.
- **Baterías de respaldo:** Garantizan que los semáforos operen continuamente durante cortes de energía.

## **Escalabilidad**

El sistema puede expandirse para incluir nuevas intersecciones en el futuro.

## **Interfaz amigable**

Los operadores del centro de control tendrán acceso a una plataforma intuitiva para monitorear y ajustar el sistema.



#### **4.2.6. Aspectos Legales**

##### **Normativas de Tránsito y Transporte**

- Cumplimiento de las regulaciones locales: El sistema debe adherirse a las leyes establecidas por el Instituto Nacional de Tránsito y Transporte Terrestre (INTRANT).

- Protocolos de instalación: Se requiere autorización para realizar obras civiles y eléctricas en vías públicas.

##### **Protección de Datos y Privacidad**

- Regulación de cámaras y vigilancia: Dado que el sistema utiliza cámaras para monitoreo, será necesario garantizar el cumplimiento de leyes de privacidad, asegurando que las grabaciones se utilicen exclusivamente con fines de control de tráfico.

- Anonimización de datos: Los datos recopilados sobre vehículos y conductores deben ser procesados de manera que no permitan la identificación personal.

##### **Licencias y Permisos**

- Aprobaciones municipales: Cada municipio involucrado debe emitir permisos específicos para la instalación de equipos en áreas urbanas.

- Homologación tecnológica: Los componentes electrónicos y de comunicación deben estar certificados por organismos reconocidos.

## **Seguros y Responsabilidades**

- Cobertura por daños: Los operadores del sistema deberán contar con seguros que cubran posibles incidentes durante la operación o mantenimiento.

#### **4.2.7. Aspectos Organizacionales**

##### **Estructura Organizativa**

- Roles definidos: El proyecto requiere una estructura organizacional clara, donde las responsabilidades estén distribuidas entre desarrolladores y operadores.
- Centro de control: El sistema contará con una sala de monitoreo equipada con pantallas de visualización y servidores conectados a cada intersección.

##### **Gestión de Recursos**

- Presupuesto detallado: Se priorizará la optimización de costos mediante la adquisición de componentes modulares que permitan reparaciones localizadas.
- Financiamiento: Se explorarán opciones como asociaciones público-privadas (PPP) para costear la implementación y mantenimiento.
- Colaboración interinstitucional: Se trabajará de la mano con el Instituto Nacional de Tránsito y Transporte Terrestre (INTRANT) y otras entidades gubernamentales.

##### **Privacidad y Consentimiento**

- Transparencia: Los ciudadanos serán informados sobre el propósito del sistema.
- Protocolo de manejo de información: Los datos recopilados no serán compartidos con terceros ni utilizados con fines distintos a los establecidos.

## **Accesibilidad y Equidad**

- **Infraestructura inclusiva:** El diseño del sistema priorizará las necesidades de peatones, ciclistas y personas con movilidad reducida, asegurando un acceso seguro y equitativo.
- **Cobertura gradual:** Se implementará inicialmente en zonas con mayor congestión, pero el objetivo es ampliar su alcance a todas las áreas urbanas.

## **Impacto Social**

- **Conciencia ciudadana:** Campañas educativas promoverán el entendimiento de cómo el sistema mejora la movilidad urbana y la calidad del aire.

#### 4.2.8. Aspectos Económicos y Financieros

La implementación de este sistema de semáforos inteligentes conlleva diversas consideraciones económicas y financieras esenciales para garantizar su viabilidad y sostenibilidad a largo plazo. A continuación, se detallan los aspectos clave que se deben considerar en este sentido:

##### **Análisis de Costos**

- **Investigación y Desarrollo.** Gastos asociados a la fase de investigación del semáforo inteligente, que incluyen estudios de viabilidad, pruebas piloto y el diseño del sistema de control inteligente de tráfico.
- **Desarrollo y pruebas de la inteligencia artificial (IA) que controlará la gestión dinámica de los semáforos en tiempo real.**
- **Materiales y Componentes.** Costos relacionados con la adquisición de componentes.
- **Mano de Obra.** Salarios y honorarios del equipo de ingeniería y programación encargado del diseño, implementación y mantenimiento del sistema.
- **Fabricación e Instalación.** Gastos asociados con la fabricación de los semáforos y su instalación en puntos estratégicos de la ciudad.

Costos logísticos relacionados con el transporte e instalación de los componentes en las intersecciones y áreas seleccionadas de Santo Domingo.

- **Mantenimiento y Actualización.** Gastos de mantenimiento regular para asegurar que el sistema siga funcionando sin fallos. Incluye también la actualización periódica de la tecnología, como software de IA y otras tecnologías que puedan mejorar el rendimiento del sistema de semáforos.

### **Análisis de Ingresos**

- **Venta Directa y Contratos Públicos.** Ingresos provenientes de la venta de tecnología para el control del tráfico a otras ciudades o entidades gubernamentales interesadas en replicar el modelo de Santo Domingo.

- **Arrendamiento de Infraestructura.** Ingresos derivados del alquiler del sistema o del software de control a otras municipalidades o empresas privadas que gestionen infraestructuras de tránsito.

- **Servicios Asociados.** Ingresos por servicios adicionales como mantenimiento preventivo, asistencia técnica, actualizaciones de software, y monitoreo remoto del sistema.

### **Proyecciones de Ingresos**

- **Estimaciones de Ventas.** Proyecciones de ingresos a corto, medio y largo plazo, derivadas de la expansión del sistema de semáforos inteligentes en otras ciudades de la República Dominicana.

- **Mercado Objetivo.** Análisis del mercado potencial para la venta o alquiler del sistema, segmentado según el tamaño de las ciudades, la necesidad de modernizar el control del tráfico, y el interés en mejorar la seguridad vial y la sostenibilidad.

## **Análisis de Rentabilidad**

- **Cálculo del Punto de Equilibrio.** Determinación del volumen de ventas y/o contratos necesarios para cubrir los costos de desarrollo, instalación y mantenimiento del sistema de semáforos inteligentes. Esto incluye el análisis de la inversión inicial y los flujos de caja proyectados.
- **Análisis de Sensibilidad.** Evaluación de cómo los cambios en los costos de instalación, en la demanda de la tecnología, o en el costo de los componentes pueden impactar la rentabilidad del proyecto.

## **Retorno de Inversión (ROI)**

- **Cálculo del ROI.** Fórmulas y métodos específicos para calcular el retorno de inversión en el proyecto
- **Análisis Comparativo.** Comparación del ROI con otras inversiones similares.

## **Fuentes de Financiamiento**

- Inversores Privados
- Subvenciones y Ayudas
- Préstamos y Créditos

#### ***4.2.8.1. Inversión Inicial.***

La inversión inicial para desarrollar e implementar un sistema de semáforos inteligentes incluye varios componentes clave que son fundamentales para el éxito del proyecto:

##### **Adquisición de Equipos Tecnológicos**

La compra de los equipos necesarios representa uno de los gastos iniciales más significativos. Estos incluyen:

- Cámaras de monitoreo con visión infrarroja para la detección de vehículos en condiciones de baja visibilidad.
- Controladores avanzados con capacidad para integrar software de inteligencia artificial.
- Luces LED de alta eficiencia energética para los semáforos, que ofrecen mayor durabilidad y bajo consumo energético.

##### **Desarrollo de Software y Sistemas de Control**

Es necesario invertir en el desarrollo de un software robusto que permita:

- Gestionar el flujo vehicular mediante algoritmos de inteligencia artificial.
- Transmitir datos en tiempo real a un centro de comando centralizado.
- Diseñar interfaces de usuario intuitivas para que las autoridades de tránsito puedan supervisar y controlar el sistema.



## **Infraestructura de Soporte**

El proyecto requiere una infraestructura adecuada que soporte el funcionamiento del sistema, como:

- Centros de control de tráfico equipados con servidores para procesar los datos del flujo vehicular.
- Conexión a redes de comunicación para garantizar la transmisión fluida de información entre los dispositivos y el sistema central.
- Instalación de postes y estructuras de soporte para los semáforos y cámaras.

## **Capacitación y Desarrollo de Habilidades**

La capacitación del personal técnico y administrativo es un aspecto crucial. Se necesita formación en:

- Operación y mantenimiento del sistema de semáforos.
- Uso de la plataforma de software y análisis de datos.
- Respuesta ante fallos técnicos y protocolos de solución rápida.

## **Pruebas y Certificaciones**

Antes de la implementación a gran escala, es imprescindible realizar pruebas para evaluar el desempeño del sistema en condiciones reales. Estas pruebas incluyen:

- Validación de los algoritmos de IA para la gestión eficiente del tráfico.
- Evaluación de la durabilidad y fiabilidad de los componentes electrónicos.

- Cumplimiento de estándares de calidad y regulaciones locales relacionadas con la infraestructura vial y el control del tráfico.

#### **4.2.8.2. Fuentes de Financiamiento.**

Identificar y aprovechar diversas fuentes de financiamiento es esencial para el desarrollo y operación exitosa del proyecto. A continuación, se detallan las principales fuentes que podrían considerarse:

##### **Fondos Gubernamentales**

- **Subvenciones y Ayudas.** Muchos gobiernos ofrecen subvenciones para proyectos innovadores en el ámbito de la salud y la tecnología. Estos fondos pueden ser destinados a investigación, adquisición de equipos y puesta en marcha del sistema.

##### **Inversiones Privadas**

- **Capital de Riesgo.** Las empresas de inversión en tecnología e innovación están interesadas en proyectos con un alto potencial de impacto, una presentación sólida del proyecto puede atraer este tipo de financiamiento.
- **Patrocinios Corporativos.** Empresas del sector automotriz, tecnológico o energético podrían patrocinar el proyecto, obteniendo beneficios de visibilidad y asociación con soluciones innovadoras para el transporte urbano.

##### **Colaboraciones Académicas y de Investigación**

- **Universidades y Centros de Innovación.** Colaborar con instituciones académicas puede facilitar el acceso a fondos para investigación y desarrollo, así como a recursos humanos capacitados.
- **Convenios de Investigación.** Asociarse con centros de investigación tecnológica puede resultar en financiamiento compartido y en validaciones científicas de las soluciones propuestas.

## **Crowdfunding**

- **Plataformas de Crowdfunding.** Utilizar plataformas de financiamiento colectivo para recaudar fondos puede ser una opción viable. Esto no solo proporciona financiamiento, sino que también genera interés y apoyo comunitario para el proyecto.

## **Organizaciones No Gubernamentales (ONG)**

- **Apoyo de ONG Locales e Internacionales.** ONG que trabajan en seguridad vial, movilidad urbana o sostenibilidad pueden proporcionar fondos para implementar soluciones de tráfico inteligente que beneficien a comunidades vulnerables.

## **Programas Internacionales y de Cooperación**

- **Organismos Internacionales.** Entidades como el Banco Mundial, el BID (Banco Interamericano de Desarrollo) tienen programas que apoyan proyectos de infraestructura y desarrollo urbano.

## **Préstamos y Créditos**

- **Instituciones Financieras.** Bancos y entidades crediticias que apoyan proyectos tecnológicos o de modernización urbana pueden ofrecer financiamiento, siempre que el plan financiero garantice un retorno de inversión sostenible.

## **Proyectos Piloto y Pruebas de Concepto**

- **Financiamiento Específico para Pilotos.** Probar el sistema de semáforos inteligentes en una zona delimitada puede atraer financiamiento adicional, especialmente si se demuestra su eficacia en mejorar el tránsito y la seguridad vial.

#### **4.2.8.3. Flujo de Caja Proyectado.**

A continuación, se presenta un esquema general del flujo de caja proyectado, que incluye las principales categorías de ingresos y gastos:

##### **Entradas de Efectivo**

- **Ingresos por Implementación del Sistema.** Generados por la venta, instalación o arrendamiento del sistema de semáforos a municipios, instituciones públicas o privadas.
- **Subvenciones y Ayudas.** Fondos otorgados por gobiernos, organizaciones internacionales o programas de movilidad urbana.
- **Patrocinios y Alianzas Estratégicas.** Empresas tecnológicas o de infraestructura pueden asociarse con el proyecto, aportando capital a cambio de visibilidad o participación en el modelo de negocio.
- **Ingresos por Mantenimiento y Servicios.** Contratos de mantenimiento periódico del sistema y servicios adicionales como actualizaciones de software o asesorías técnicas.
- **Ahorros Generados.** En áreas con un alto flujo vehicular, la optimización del tránsito puede resultar en reducción de costos relacionados con el combustible y accidentes, lo que podría ser cuantificado y compartido como valor agregado del sistema.

## Salidas de Efectivo

- **Mantenimiento y Reparaciones.** Gastos recurrentes destinados a mantener los semáforos operando, incluyendo reemplazo de piezas y actualizaciones de hardware.
- **Capacitación del Personal.** Formación técnica para operadores y supervisores del sistema, asegurando un funcionamiento eficiente y continuo.
- **Gastos Operativos.** Costos asociados al monitoreo en tiempo real, consumo energético, seguros de los equipos y licencias necesarias para el funcionamiento.
- **Desarrollo y Actualización de Software.** Desarrollo inicial y actualización constante de los algoritmos de inteligencia artificial que optimizan el sistema, asegurando su vigencia frente a las demandas del tráfico.

## Análisis del Flujo de Caja

- **Sostenibilidad Financiera.** Un flujo de caja positivo a lo largo del tiempo indica que el proyecto puede sostenerse y crecer. Es crucial monitorear las variaciones en las entradas y salidas para ajustar las estrategias operativas.
- **Planificación de Contingencias.** Es recomendable establecer un fondo de reserva para cubrir gastos inesperados o períodos de baja demanda.
- **Evaluación de Rentabilidad.** La proyección del flujo de caja permite evaluar la rentabilidad del proyecto y tomar decisiones informadas sobre futuras inversiones o expansiones.

#### **4.2.8.4. Valor Actual Neto (VAN).**

El Valor Actual Neto (VAN) de la propuesta del sistema de semáforos inteligentes, el VAN permite determinar si los beneficios futuros justifican la inversión inicial y los costos operativos. Para calcular el VAN, se deben considerar los siguientes elementos:

**1. Inversión Inicial.** Incluye los costos de adquisición de los componentes.

**2. Flujos de Efectivo.** Se evalúan las entradas de dinero proyectadas derivadas de:

- Reducción de Costos: Ahorros generados por la disminución del tiempo de tránsito, el consumo de combustible y los accidentes en las vías.
- Ingresos Directos: Contratos con municipalidades o gobiernos locales por la implementación y el mantenimiento del sistema.
- Impactos Económicos Secundarios: Beneficios indirectos, como el incremento de la productividad urbana gracias a un flujo vehicular más eficiente.

**3. Tasa de Descuento.** Refleja el costo de oportunidad del capital invertido en el proyecto. Suele basarse en el costo promedio ponderado de capital (WACC) de la organización.

**4. Horizonte Temporal.** Período de tiempo considerado para el análisis, que debe ser suficientemente largo para capturar los beneficios a largo plazo del proyecto.



La fórmula para calcular el VAN es:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+k)^t}$$

Donde:

- $I_0$  es la inversión inicial
- $FC_t$  son los flujos de efectivo en el período “t”
- $k$  es la tasa de descuento
- $n$  es el horizonte temporal del proyecto

Si el VAN es positivo, significa que el proyecto genera valor y es rentable. Si es negativo, indica que los costos superan a los beneficios y el proyecto no es viable desde una perspectiva financiera. Además del VAN, otros indicadores como la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Período de Recuperación de la Inversión (PRI) pueden complementar el análisis para tomar una decisión informada sobre la implementación del sistema de semáforos.

#### **4.2.8.5. Tasa Interna de Retorno (TIR).**

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es una métrica financiera crucial que se utiliza para evaluar la rentabilidad de una inversión. En el contexto de un sistema de semáforos inteligentes, la TIR puede proporcionar una visión clara sobre la viabilidad económica del proyecto.

##### **Definición de TIR**

La TIR es la tasa de descuento que hace que el valor presente neto (VPN) de todos los flujos de caja futuros de una inversión sean igual a cero. En otras palabras, representa la tasa de retorno esperada de la inversión en el sistema de semáforos inteligentes a lo largo de su vida útil.

##### **Flujos de Caja**

Para calcular la TIR, es necesario estimar los flujos de caja esperados que generará el sistema de semáforos. Estos flujos pueden incluir:

##### **1. Flujos de Caja Positivos**

Para determinar la TIR, se deben considerar los ingresos esperados que generará el sistema de semáforos inteligentes. Estos flujos de caja incluyen:

- **Ingresos por Contratos de Servicio:** Tarifas cobradas por la instalación, mantenimiento y monitoreo del sistema de semáforos inteligentes.
- **Ahorros en Costos Operativos:** Reducción en costos recurrentes relacionados con el control manual del tráfico, el consumo de energía de sistemas

tradicionales y los costos de mantenimiento elevados asociados con semáforos obsoletos.

- **Subvenciones y Financiamiento Público-Privado:** Posibles ingresos adicionales provenientes de programas gubernamentales o asociaciones público-privadas que fomenten la modernización de infraestructuras de transporte.

## 2. Costos Asociados

Para una evaluación integral, también es crucial incluir todos los costos vinculados al desarrollo y operación del sistema:

- **Costos de Adquisición:** Inversión inicial en la compra de equipos tecnológicos, como cámaras, sensores, controladores.
- **Costos Operativos:** Gastos recurrentes para garantizar el funcionamiento continuo del sistema, incluyendo mantenimiento de hardware, actualizaciones de software y monitoreo en tiempo real.
- **Costos de Marketing y Adopción:** Inversiones en campañas educativas y de concientización dirigidas a la población y las instituciones para promover la adopción del sistema y maximizar su aceptación.

## 3. Evaluación de la TIR

El análisis de estos flujos de caja permitirá:

- Determinar la rentabilidad del proyecto en función del tiempo.
- Comparar el rendimiento esperado frente a otras oportunidades de inversión.
- Decidir sobre la escalabilidad del proyecto hacia nuevas áreas geográficas

### **Cálculo de la TIR**

El cálculo de la TIR se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + TIR)^t} = -I_0$$

Donde:

- $CF_t$  = Flujo de caja en el año  $t$
- $IO$  = Inversión inicial
- $n$  = Número de años de la vida útil del sistema

Este cálculo puede ser realizado mediante software financiero o herramientas como Excel, que permiten encontrar la TIR a partir de los flujos de caja estimados.

### **Interpretación de la TIR**

*TIR Superior al Costo de Capital.* Si la TIR es mayor que el costo de capital o la tasa de retorno mínima requerida, el proyecto se considera viable y atractivo.

*TIR Inferior al Costo de Capital.* Si la TIR es menor, puede ser un indicativo de que el proyecto no es financieramente sostenible.

## **Consideraciones Finales**

La evaluación de la TIR para un sistema de semáforos inteligentes no solo debe centrarse en los aspectos financieros, sino también en el impacto social y la mejora en la infraestructura de tránsito que puede proporcionar.

En conclusión, la TIR es una herramienta útil para evaluar la viabilidad económica de este sistema de semáforos inteligentes, y su análisis debe ser parte integral del desarrollo de la propuesta de solución.

#### **4.2.8.6. Punto Muerto o de Equilibrio.**

Para nuestro sistema de semáforos inteligentes, determinar este punto es crucial para evaluar su viabilidad financiera a largo plazo. Para calcular el punto de equilibrio, se deben considerar los siguientes factores:

1. **Costos Fijos.** Estos incluyen los gastos que no varían con el nivel de actividad, como el costo de adquisición de los materiales, el desarrollo de software, la infraestructura y los salarios del personal.
2. **Costos Variables.** Son los costos que cambian en proporción al nivel de actividad, como el mantenimiento de los semáforos, el consumo, los repuestos y las actualizaciones del software.
3. **Precio de Servicio.** Es el monto que se cobra por la implementación de los semáforos. Este precio debe cubrir los costos y generar un margen de ganancia.

#### **Fórmula para el Punto de Equilibrio**

El punto de equilibrio se calcula usando la siguiente fórmula básica:

$$\text{Punto de equilibrio (en unidades)} = \frac{\text{Costos Fijos}}{\text{Precio de Servicio} - \text{Costo Variable Unitaria}}$$

### **Ejemplo para cálculo de punto de equilibrio.**

#### **Suposiciones:**

- Costos fijos: \$100,000 USD anuales.
- Precio de servicio: \$500 USD por misión.
- Costo variable por misión: \$200 USD.

#### **Cálculo:**

$$\text{Punto de equilibrio} = \frac{100,000}{500 - 200} = 333.33 \text{ unidades por año}$$

Esto significa que el proyecto debe realizar al menos 334 misiones al año para alcanzar el equilibrio financiero.

### **Factores Clave Para Considerar**

1. **Escalabilidad:** Si se agregan semáforos a la red, los costos fijos aumentarán, pero también las posibilidades de realizar más misiones.
2. **Optimización de Costos Variables:** Reducir costos variables mediante acuerdos con proveedores o mejoras en la eficiencia operativa puede disminuir el punto muerto.
3. **Diversificación de Ingresos:** Introducir servicios complementarios, como mantenimiento para terceros o soporte técnico, puede ayudar a alcanzar el equilibrio más rápido.

## **5. Conclusión**

A través este proceso de investigación y desarrollo llevado a cabo en esta tesis, se ha demostrado que los semáforos inteligentes representan una solución innovadora y eficaz para mejorar la gestión del tránsito en zonas urbanas, con un enfoque especial en la República Dominicana. La implementación de esta tecnología, que ajusta los ciclos de los semáforos según el flujo vehicular en tiempo real, tiene el potencial de optimizar el tráfico, reducir los tiempos de espera y minimizar los embotellamientos en el tránsito.

Uno de los aspectos más destacables de este sistema es su capacidad para mejorar la eficiencia en la movilidad urbana, no solo reduciendo los costos asociados con el tránsito (como el combustible y el tiempo de los conductores), sino también contribuyendo a la disminución de las emisiones de gases contaminantes. Esta optimización es posible gracias al uso de cámaras infrarrojas y tecnologías de inteligencia artificial que permiten a los semáforos adaptarse de manera autónoma a las condiciones cambiantes del tránsito, sin necesidad de intervención manual.

Además, el enfoque de la investigación ha abordado las diferentes fases necesarias para la implementación exitosa de estos semáforos inteligentes, desde el diseño y la adquisición de los componentes hasta la programación de la inteligencia artificial que permite la toma de decisiones en tiempo real. La colaboración con entidades públicas y privadas es crucial para implementar una solución a gran escala, y es importante también contar con una infraestructura adecuada para el soporte y mantenimiento de estos sistemas.



No obstante, la implementación de semáforos inteligentes en la República Dominicana debe superar algunos desafíos, como la capacitación del personal técnico, la adaptación a la normativa local y la inversión en la infraestructura tecnológica necesaria para sostener el sistema. En este sentido, es clave contar con un enfoque integral que contemple tanto la innovación tecnológica como la sostenibilidad a largo plazo.

El proyecto no solo representa una mejora significativa en la gestión del tránsito, sino que también tiene el potencial de generar un impacto positivo en la calidad de vida de los ciudadanos, la eficiencia de los sistemas de transporte y el cuidado del medio ambiente. Con el continuo avance de la tecnología y el apoyo de las autoridades pertinentes, se abre la posibilidad de llevar este modelo a otras ciudades, contribuyendo a un futuro más eficiente y sostenible en la movilidad urbana.

## **6. Recomendaciones**

### **Implementación y Regulación del sistema de Semáforos Inteligentes**

#### **Desarrollo de Normativas y Políticas.**

Se recomienda que las autoridades de tránsito establezcan un marco regulatorio para la implementación del sistema de semáforo inteligente. Esto incluye definir las condiciones de instalación, mantenimiento y monitoreo de estos dispositivos, asegurando que se alineen con las leyes de tránsito existentes y con las metas de movilidad sostenible.

#### **Capacitación y Entrenamiento.**

Es crucial capacitar al personal técnico y administrativo de los departamentos de tránsito en el uso y mantenimiento del sistema. Esto incluye cursos sobre tecnologías de inteligencia artificial y análisis de datos.

#### **Integración con los Sistemas de Tránsito Existentes.**

El semáforo inteligente debe integrarse a las infraestructuras existentes, como cámaras de vigilancia y sistemas de transporte público. Además, se sugiere coordinar con plataformas de gestión del tránsito, como aplicaciones de mapas y tráfico en tiempo real, para optimizar la respuesta a la congestión.

#### **Mejoras Tecnológicas y Operacionales**

Es recomendable continuar perfeccionando el algoritmo de la inteligencia artificial que regula el semáforo. Esto incluye mejorar su capacidad para adaptarse a cambios imprevistos en el flujo vehicular, como emergencias o eventos masivos.

#### **Expansión de la Infraestructura.**

Para maximizar el impacto, se sugiere implementar el sistema de semáforos inteligentes

en áreas estratégicas de alta congestión, y en una segunda etapa, extenderlo a zonas periféricas o rurales.

### **Incorporación de Fuentes de Energía Renovable.**

Para garantizar sostenibilidad, se debe explorar el uso de fuentes de energía renovable, como paneles solares, que reduzcan los costos operativos a largo plazo y promuevan prácticas amigables con el medio ambiente.

### **Evaluación y Mejora Continua**

Es importante medir el impacto del sistema en la calidad de vida de los ciudadanos, evaluando si la reducción de los tiempos de espera y ha mejorado la movilidad urbana en general.

### **Sensibilización y Educación Pública**

Es fundamental desarrollar campañas educativas dirigidas a la ciudadanía para explicar el funcionamiento y los beneficios del sistema. Esto fomentará una mejor colaboración de los usuarios en el cumplimiento de las normativas de tránsito.

### **Colaboración con Universidades e Instituciones Tecnológicas.**

La investigación y el desarrollo continuos son clave para el éxito del proyecto. Se debe fomentar la colaboración con instituciones académicas y tecnológicas para explorar nuevas aplicaciones y optimizaciones del sistema.

## 7. Referencias Bibliográficas

Rodríguez, Y. (2024, September 4). Proponen red de semáforos inteligentes para reducir taponamientos y accidentes en GSD. *El Nuevo Diario (República Dominicana)*.

<https://elnuevodiario.com.do/proponen-red-de-semaforos-inteligentes-para-reducir-taponamientos-y-accidentes-en-gsd/>

Instituto Nacional de Tránsito y Transporte Terrestre. (n.d.). *Gobierno anuncia cambio de semáforos tradicionales por inteligentes en GSD*.

<https://intranet.gob.do/index.php/noticias/item/933-gobierno-anuncia-cambio-de-semaforos-tradicionales-por-inteligentes-en-gsd>

Instituto Nacional de Tránsito y Transporte Terrestre. (n.d.). *Director del INTRANT reitera transparencia y apego a la ley en proceso de licitación de semáforos inteligentes*. <https://intranet.gob.do/index.php/noticias/item/1041-director-del-intranet-reitera-transparencia-y-apego-a-la-ley-en-proceso-de-licitacion-de-semaforos-inteligentes>

Josefina-Medina. (2023, October 31). Suspenden instalación de semáforos inteligentes - Diario Libre. *Diario Libre*. <https://www.diariolibre.com/actualidad/nacional/2023/10/30/suspenden-la-instalacion-de-semaforos-inteligentes/2509053>

Instituto Nacional de Tránsito y Transporte Terrestre. (n.d.). *Autorización para realizar trabajos en vías públicas*. <https://intranet.gob.do/index.php/servicios/transito-y-vialidad/item/447-autorizacion-para-realizar-trabajos-en-vias-publicas>

Comunicaciones. (2024, March 6). *Contraloría General de la República Dominicana - Contraloría realiza auditoría especial a proyecto semáforos inteligentes*.  
<https://www.contraloria.gob.do/index.php/noticias/item/638-contraloria-realiza-auditoria-especial-a-proyecto-semaforos-inteligentes>

Movilla, D. A., & Daza, L. a. G. (2022). *Diseño metodológico de un sistema de semáforos inteligentes para la reducción de tráfico vehicular*. Dialnet.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8729040>

Raúl, O. M. H. (2022, September 1). *Desarrollo de un prototipo de semáforo inteligente con visión por computador*.  
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23359>

Congacha, A. E., Barba, J., Palacios, L., & Delgado, J. (2019). Caracterización de los Siniestros Viales en el Ecuador. *NOVASINERGIA REVISTA DIGITAL DE CIENCIA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA*, 2(2), 17–29. <https://doi.org/10.37135/unach.001.04.02>

Núñez, J., & Romero, A. (2016). *Sistema de control de tráfico basado en IoT: Diseño e implementación*. *Revista Aplicaciones de la Ingeniería*, 3(9), 21-35.  
[https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Aplicaciones\\_de\\_la\\_Ingenieria/vol3num9/Revista\\_Aplicaciones\\_de\\_la\\_Ingenieria\\_V3\\_N9\\_3.pdf](https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Aplicaciones_de_la_Ingenieria/vol3num9/Revista_Aplicaciones_de_la_Ingenieria_V3_N9_3.pdf)

Perales, J., & López, M. (2017). *Análisis de sistemas de gestión de tráfico urbano: Caso práctico en Valencia*. Revista de Ingeniería de Transporte, 6(2), 45-63.  
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/89726/2262-9559-1-PB.pdf>

Centro de Investigación en Matemáticas A.C. (CIMAT). (n.d.). *Documento técnico sobre modelado y análisis de tránsito vehicular* [Archivo PDF].  
<https://cimat.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1008/531/1/TE%20613.pdf>

Mohamed, F., & Zhang, Y. (2023). *Machine learning for traffic management in urban transportation networks*.  
[https://www.researchgate.net/publication/367023955\\_Machine\\_learning\\_for\\_traffic\\_management\\_in\\_urban\\_transportation\\_networks](https://www.researchgate.net/publication/367023955_Machine_learning_for_traffic_management_in_urban_transportation_networks)

Patel, R., & Singh, A. (2023). *Computer vision-based intelligent traffic management system*.  
[https://www.researchgate.net/publication/367196214\\_Computer\\_Vision\\_based\\_Intelligent\\_Traffic\\_Management\\_System](https://www.researchgate.net/publication/367196214_Computer_Vision_based_Intelligent_Traffic_Management_System)

De La Cigüña, J. R. F. (2024, February 6). *Tasa interna de retorno (TIR): ¿Qué es y cómo se calcula?* Sage Advice España. <https://www.sage.com/es-es/blog/tasa-interna-de-retorno-tir-que-es-y-como-se-calcula/>

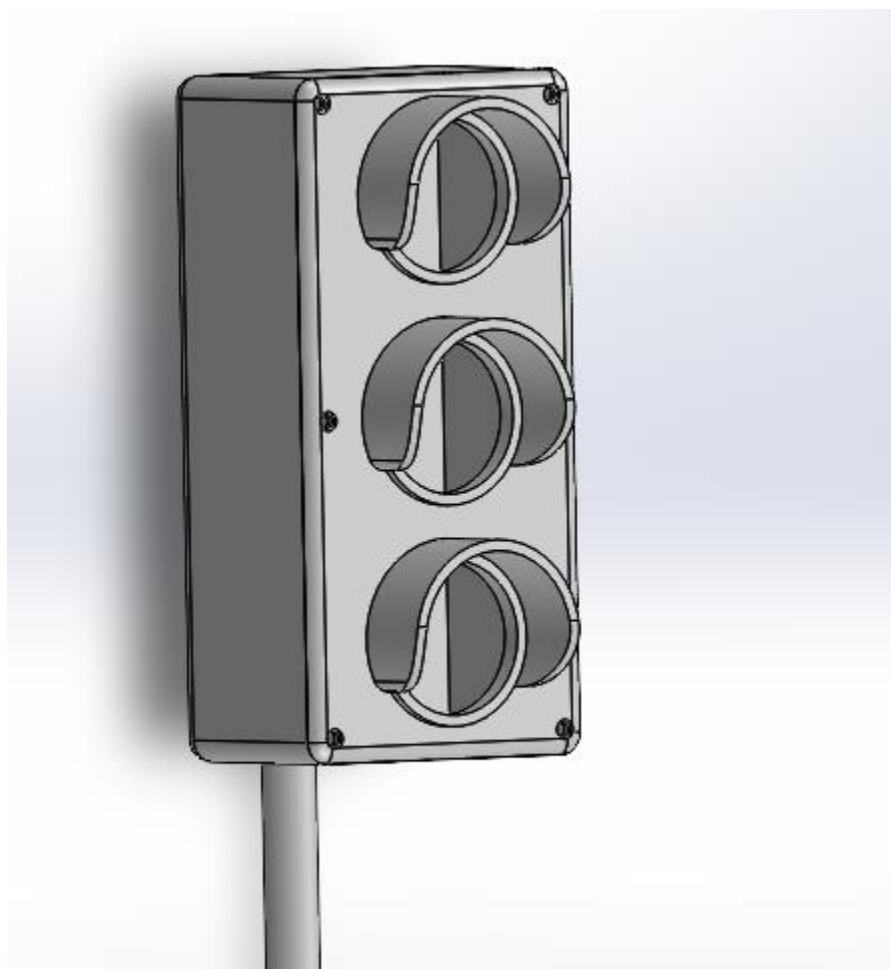
*Qué es el Valor Actual Neto (VAN) | Glosario | Billin*. (n.d.). Billin.  
<https://www.billin.net/glosario/definicion-valor-actual-neto-van/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20Valor%20Actual%20Neto,las%20diferentes%20oportunidades%20de%20inversi%C3%B3n.>

colaboradores de Wikipedia. (2024, August 2). *Valor actual neto*. Wikipedia, La Enciclopedia Libre. [https://es.wikipedia.org/wiki/Valor\\_actual\\_neto](https://es.wikipedia.org/wiki/Valor_actual_neto)

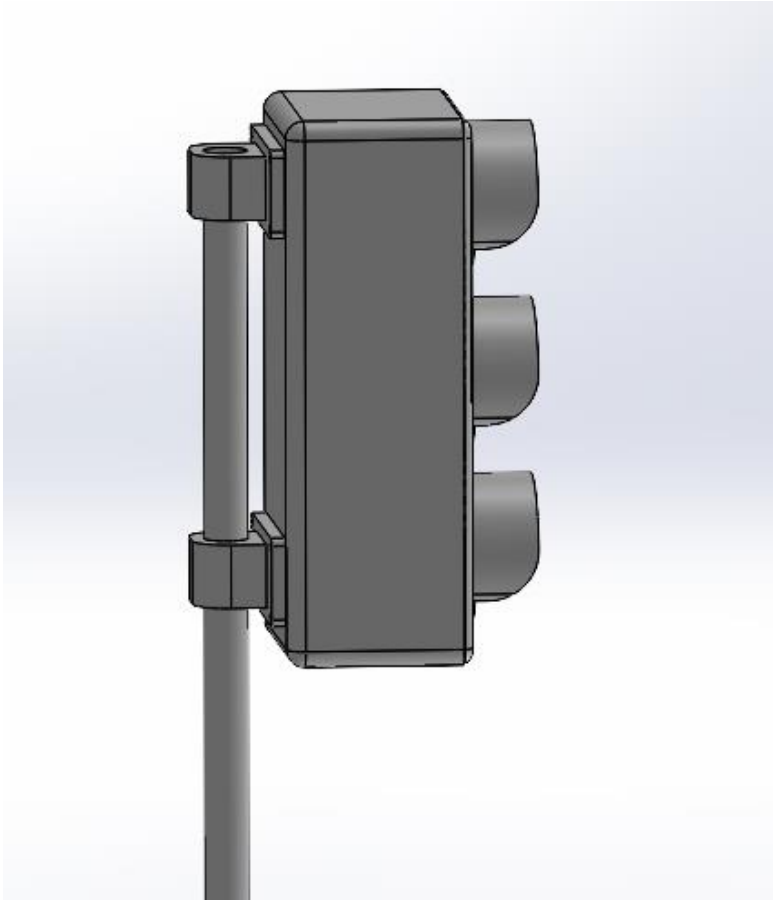
## 8. Apéndice y Anexos

**Figura 10.**

Diseño preliminar.

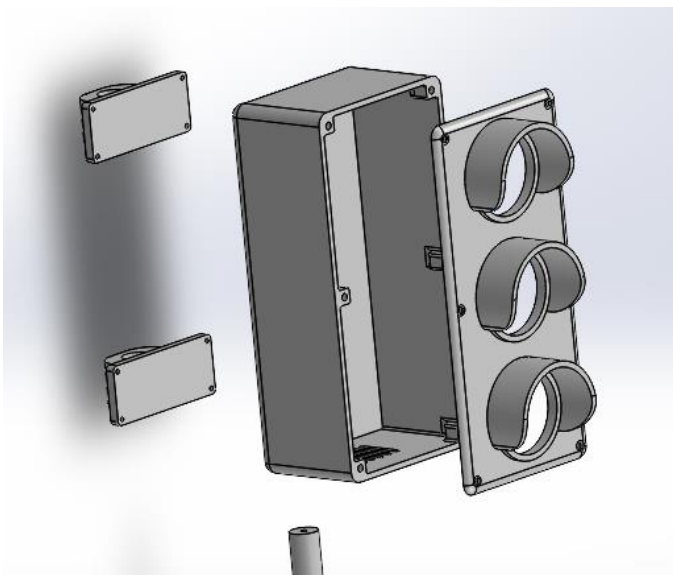






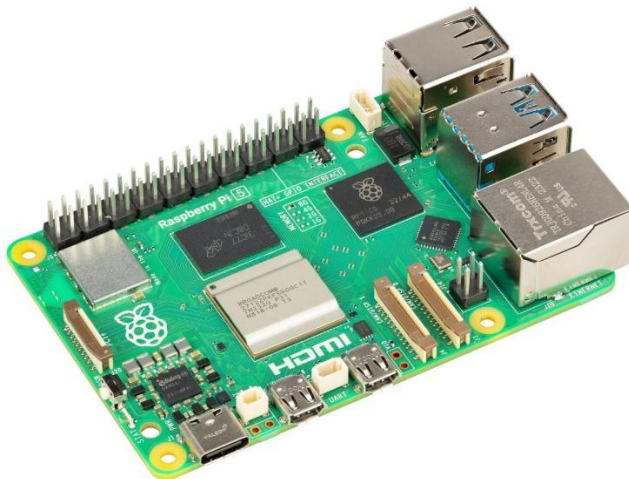
**Figura 11.**

Desglose del semáforo.



**Figura 12.**

Raspberry Pi 5.

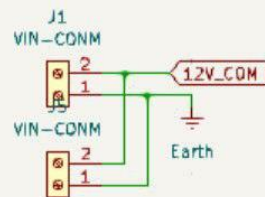
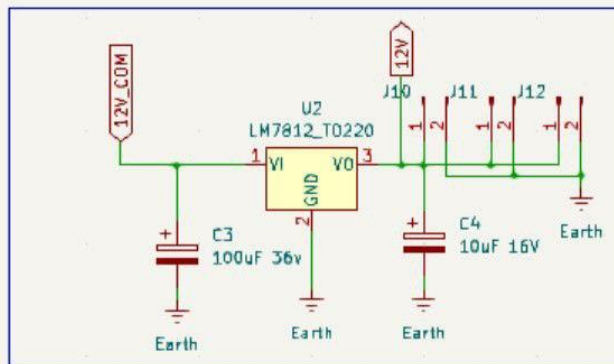
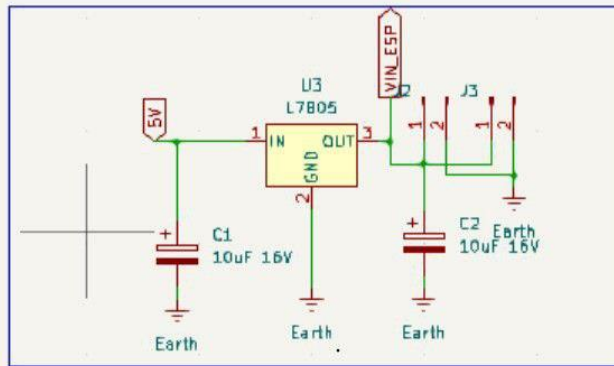


**Figura 13.**

Esquemático – Circuito de Control.

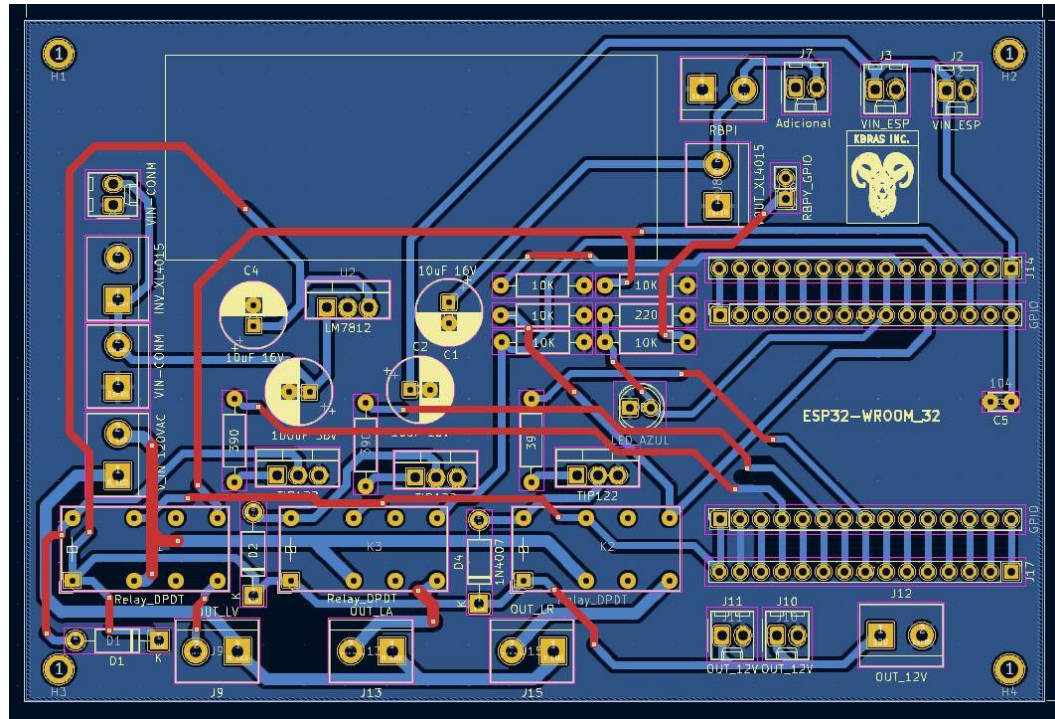






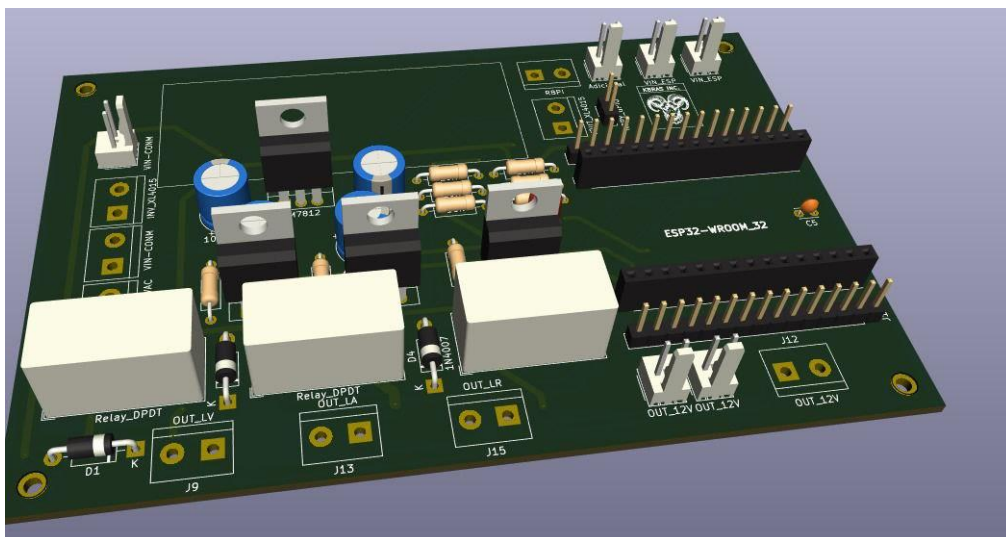
**Figura 14.**

Enrutado - Circuito de Control.



**Figura 15.**

Vista 3D - Circuito de Control.



**Figura 16.**

Luces.

