



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL, MENCIÓN VIALIDAD

METODOLOGÍA PARA OPTIMIZACIÓN DE INTERSECCIONES VIALES A NIVEL CON
CONGESTIÓN VEHICULAR EN CIUDADES DE HASTA 300000 HABITANTES.

ING. RÓMULO GIOVANNI QUEZADA JAYA

Modalidad de titulación
Propuestas metodológicas y tecnológicas

TUTOR: ING. LUIS ALBERTO CAMPUZANO CASTRO, Mgr.
COTUTOR: ING. LEYDEN CARRIÓN ROMERO, Mgr.

MACHALA
AÑO 2024

PENSAMIENTO

La sociedad parece haber tomado conciencia de que, en general, los problemas de transporte no sólo se manifiestan en una mayor cantidad de ámbitos, sino que han adquirido mayor severidad, tanto en países industrializados como en los en desarrollo. En los últimos años el aumento de la demanda de transporte y del tránsito vial han traído como consecuencia, particularmente en las ciudades grandes, incrementos en la congestión, demoras, accidentes y problemas ambientales, bastante mayores que los considerados aceptables por los ciudadanos. El aumento explosivo de esos fenómenos se debe a la facilidad creciente de acceso a automóviles, fruto del aumento del poder adquisitivo de las clases socioeconómicas de medianos ingresos, el mayor acceso al crédito, la reducción relativa de los precios de venta, una mayor oferta por recirculación de autos usados, el crecimiento de la población, la reducción del número de habitantes por hogar y la escasa aplicación de políticas estructuradas en el área del transporte urbano.

- Thomson & Bull

DEDICATORIA

A mi madre Rosa Esperanza, a mi padre Luis Teodomiro que desde el cielo siempre guían mis pasos por el camino del bien y que en su oportuno momento supieron sembrar en mi la semilla para ser un buen hijo un buen hermano un buen padre un buen amigo, a mi amada esposa Vanessa Isabel, a mis hijos Giovanni André, Luis David y Romina Isabel que son mi apoyo y la razón de vivir en el día a día y así como también a seguir superándome tanto en forma personal como profesional.

A mis hermanos, amigos y maestros que en su oportuno momento han sabido brindar el apoyo, sus experiencias y conocimientos para formar un mejor ser humano que estará siempre presto a dar lo mejor de mí para mejor y tener días mejores en nuestro entorno.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradecer a Dios, por permitirme estar con vida, tener a mi familia, mis amigos y luego poder cumplir con este objetivo planteado en este largo camino de mi vida, también quiero agradecer a la UTMACH, porque fue el alma mater que me permitió ser un profesional a carta cabal con visión de servicio a la sociedad a la que nos pertenecemos y así como también hoy nos permite culminar este programa de maestría, también quiero agradecer a las diferentes autoridades, y docentes que han sabido impartir sus experiencias y conocimientos que han logrado formar en mí una mejor persona un buen profesional que estará al servicio de nuestra ciudadanía.

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, Rómulo Giovanni Quezada Jaya con C.I. 0703260729, declaro que el trabajo de **“METODOLOGÍA PARA OPTIMIZACIÓN DE INTERSECCIONES VIALES A NIVEL CON CONGESTIÓN VEHICULAR EN CIUDADES DE HASTA 300000 HABITANTES.”**, en opción al título de Magister en **MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL, MENCIÓN VIALIDAD**, es original y autentico; cuyo contenido: conceptos, definiciones, datos empíricos, criterios, comentarios y resultados son de mi exclusiva responsabilidad.



ING. RÓMULO GIOVANNI QUEZADA JAYA

C.I. 0703260729

Machala, 2024/05/15

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Luis Alberto Campuzano Castro con C.I. 0703260729, tutor del trabajo de **“METODOLOGÍA PARA OPTIMIZACIÓN DE INTERSECCIONES VIALES A NIVEL CON CONGESTIÓN VEHICULAR EN CIUDADES DE HASTA 300000 HABITANTES.”**, en opción al título de Magister en **MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL, MENCIÓN VIALIDAD**, ha sido revisado, enmarcado en los procedimientos científicos, técnicos, metodológicos, y administrativos establecidos por el Centro de posgrado de la Universidad Técnica de Machala (UTMACH), razón por la cual doy fe de los méritos suficientes para que sea presentado a evaluación.



ING. LUIS CAMPUZANO CASTRO, Mg. Sc.

C.I. 0700949316

Machala, 2024/05/15

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Ing. **RÓMULO GIOVANNI QUEZADA JAYA**, con cédula de ciudadanía No.- 0703260729, autor del trabajo de titulación “**METODOLOGÍA PARA OPTIMIZACIÓN DE INTERSECCIONES VIALES A NIVEL CON CONGESTIÓN VEHICULAR EN CIUDADES DE HASTA 300000 HABITANTES**”, en opción al título de Magister en Ingeniería Civil, declaro bajo juramento que:

- El trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación profesional. En consecuencia, asumo la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.
- Cede a la Universidad Técnica de Machala de forma exclusiva con referencia a la obra en formato digital los derechos de:
 - a. Incorporar la mencionada obra en el repositorio institucional para su demostración a nivel mundial, respetando lo establecido por la licencia *Creative Commons Attribution – NoComercial* - Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY NCSA 4.0); la Ley de Propiedad Intelectual del Estado Ecuatoriano y el Reglamento Institucional.
 - b. Adecuarla a cualquier formato o tecnología de uso en INTERNET, así como correspondiéndome como Autor la responsabilidad de velar por dichas adaptaciones con la finalidad de que no se desnaturalice el contenido o sentido de la misma.



RÓMULO GIOVANNI QUEZADA JAYA

C.I. 0703260729

Machala, 2024/05/15

RESUMEN

La limitada información teórica sobre metodologías para optimización de intersecciones viales a nivel y la congestión vehicular que se producen en estas, ha sido uno de los limitantes para el desarrollo de esta investigación, pese a esto se pudo describir en forma precisa los aspectos de la realidad local, la relevancia social y científica, además esta investigación, tiene vigencia, actualidad y significativo impacto en el conocimiento de la realidad de las vías urbanas y sus intersecciones.

Este trabajo se ejecutó siguiendo las líneas de investigación del Programa de Maestría de Ingeniería Civil, mención vialidad, y responde a las demandas de los gobiernos locales cantonales, siendo el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Machala, que facilitó la información pertinente para su análisis, el Centro de Estudios de Posgrados de la Universidad Técnica de Machala aportó con asesores, técnicos de apoyo y equipos tecnológicos.

Esta investigación pretende dar solución al problema: ¿Como la optimización de intersecciones viales a nivel disminuirán la congestión vehicular en ciudades de hasta 300000 habitantes?, para ello se estudió la optimización de intersecciones viales a nivel y su congestión vehicular, las mismas que se sustentaran en las teorías y conceptos de las Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, nacionales e internacionales.

Como propósito, la tesis presenta una metodología integral basada en tecnología de punta para caracterizar intersecciones y simular alternativas que permitan reducir la congestión vehicular. La propuesta metodológica permitiría la optimización de intersecciones viales con congestión vehicular en ciudades de hasta 300.000 habitantes. El caso de estudio es la intersección del Redondel El Bananero en la ciudad de Machala, Ecuador.

La metodología implica caracterizar el tráfico mediante mediciones de flujo vehicular, velocidad y clasificación de vehículos con equipos automáticos. Luego se analizan alternativas en software de simulación y finalmente se implementa la optimización. Se fundamenta en el uso de contadores neumáticos para obtener datos confiables del tráfico. El esquema metodológico incluye mediciones, análisis, modelación, simulación y propuesta de mejoras.

La simulación en Aimsun evaluó 5 escenarios: situación actual, con semáforos, con carriles de giro, aumento de capacidad y combinación de carriles de giro con aumento de capacidad. Los mejores resultados se obtuvieron con la medida combinada. Las conclusiones indican que los carriles de giro en accesos al redondel más aumento de capacidad vial reducen la congestión y mejoran el nivel de servicio. Se recomienda implementar estas medidas de forma gradual, evaluando su efectividad.

PALABRAS CLAVES:

Intersecciones viales, congestión vehicular, flujo vehicular, demanda vial.

ABSTRACT

The limited theoretical information on methodologies for optimising at-grade road intersections and the vehicular congestion that occurs at these intersections has been one of the limitations for the development of this research. Despite this, it was possible to accurately describe the aspects of the local reality, the social and scientific relevance, and this research is valid, up-to-date and has a significant impact on the knowledge of the reality of urban roads and their intersections.

This work was carried out following the lines of research of the Master's Programme in Civil Engineering, mention in roads, and responds to the demands of the local cantonal governments, being the Autonomous Decentralised Municipal Government of Machala Canton, which provided the relevant information for analysis, the Centre for Postgraduate Studies of the Technical University of Machala contributed with advisors, technical support and technological equipment.

This research aims to provide a solution to the problem: How the optimisation of at-grade road intersections will reduce traffic congestion in cities of up to 300,000 inhabitants, by studying the optimisation of at-grade road intersections and their traffic congestion, which will be based on the theories and concepts of the national and international Geometric Design Standards for Roads. As a purpose, the thesis presents a comprehensive methodology based on state-of-the-art technology to characterise intersections and simulate alternatives to reduce traffic congestion. The proposed methodology would allow the optimisation of congested intersections in cities of up to 300,000 inhabitants. The case study is the Redondel El Bananero intersection in the city of Machala, Ecuador.

The methodology involves characterising traffic by measuring vehicle flow, speed and vehicle classification with automatic equipment. Then alternatives are analysed in simulation software and finally the optimisation is implemented. It is based on the use of pneumatic counters to obtain reliable traffic data. The methodological scheme includes measurements, analysis, modelling, simulation and proposal of improvements.

The simulation in Aimsun evaluated 5 scenarios: current situation, with traffic lights, with turn lanes, increased capacity and combination of turn lanes with increased capacity. The best results were obtained with the combined measure. The conclusions indicate that turn lanes on access to the roundabout plus increased road capacity reduce congestion and improve the level of service. It is recommended that these measures be implemented gradually, evaluating their effectiveness.

KEYWORDS:

Road intersections, vehicle congestion, vehicle flow, road demand.

ÍNDICE GENERAL

PENSAMIENTO	1
DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS	3
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA	4
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	5
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	6
RESUMEN	7
ABSTRACT.....	8
ÍNDICE GENERAL	9
LISTA DE TABLAS	12
LISTA DE ILUSTRACIONES	13
INTRODUCCIÓN	14
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO.....	17
1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	17
1.1.1 Evolución de las intersecciones viales.	17
1.1.2 La congestión vehicular en el tiempo.....	18
1.2. ANTECEDENTES CONCEPTUALES	19
1.2.1 Optimización de intersecciones viales a nivel.....	19
1.2.2 Congestión vehicular	23
1.2.3 Flujo vehicular.....	25
1.2.4 Demanda vial.....	26
1.2.5 Tiempos de viaje.....	29
1.2.6 Paralización del tráfico	30
1.2.7 Infraestructura vial.....	30
1.3. ANTECEDENTES REFERENCIALES.....	33
1.3.1 Optimización de intersecciones viales	33
1.3.2 Tratamiento de la congestión vehicular	36
1.4. ANTECEDENTES CONTEXTUALES	39
1.4.1 Ubicación geográfica donde se realiza la investigación	39
1.4.2. Caracterización de la zona de estudio	40
CAPITULO II: MÉTODOLOGIA	42
2.1 MÉTODOS	42
2.1.1 Tipo de estudio	42
2.1.2. Enfoque y alcance del estudio.....	42

2.1.3. Diseño de la investigación.....	42
2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	43
2.2.1. Técnicas de recolección de datos.....	43
2.2.2. Procesamiento y análisis de datos.....	43
2.3. MODELO DE IMPLEMENTACIÓN.....	44
2.3.1. Información base del modelo.....	44
2.3.2. Implementación del modelo.....	48
CAPITULO III: PROPUESTA METODOLÓGICA.....	49
3.1. DATOS INFORMATIVOS.....	49
3.1.1. Título.....	49
3.1.2. Institución ejecutora.....	49
3.1.3. Beneficiarios.....	49
3.1.4. Ubicación.....	49
3.1.5. Tiempo estimado para la ejecución.....	49
3.1.6. Equipo técnico responsable.....	50
3.1.7. Costo.....	50
3.2. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.....	51
3.3 JUSTIFICACIÓN.....	51
3.4. OBJETIVOS.....	52
3.4.1. Objetivo General.....	52
3.4.2. Objetivos Específicos.....	52
3.5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.....	53
3.5.1. Factibilidad técnica.....	53
3.5.2. Factibilidad económica.....	53
3.5.3. Factibilidad operativa.....	53
3.6. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO-TÉCNICA.....	54
3.7. METODOLOGÍA. MODELO OPERATIVO.....	54
3.7.1. Equipo utilizado.....	55
3.7.2. Instalación.....	55
3.7.3. Configuración de contadores.....	55
3.7.4. Descarga de datos.....	56
3.7.5. Análisis de datos.....	56
3.7.6. Esquema modelo o metodología.....	56
3.8. ADMINISTRACIÓN DE LA PROPUESTA.....	58
3.9. PLAN DE MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA.....	58
CAPITULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	59
4.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	59

4.1.1.	Conteos avenida 25 de junio altura almacenes De Prati.....	60
4.1.2.	Conteos avenida 25 de junio altura Trionica cerca al redondel El Bananero	65
4.1.3.	Porcentaje vehicular según su clase en avenida 25 de junio altura almacenes De Prati	69
4.1.4.	Porcentaje vehicular según su clase en avenida 25 de junio altura Trionica cerca al redondel El Bananero	71
4.1.5.	Flujo apilado avenida 25 de junio altura almacenes De Prati, ambos sentidos.....	72
4.1.6.	Flujo apilado 25 de junio altura Trionica cerca al redondel El Bananero.....	75
4.1.7.	Diagrama de velocidades avenida 25 de junio altura almacenes de Prati, ambos sentidos	79
4.1.8.	Diagrama de velocidades avenida 25 de junio altura almacenes De Prati, ambos sentidos	83
4.2.	RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN.....	86
4.2.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	90
	CONCLUSIONES	91
	RECOMENDACIONES	94
	BIBLIOGRAFÍA	95
	ANEXOS	101

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Datos de aforos vehiculares.....	44
Tabla 2 Datos del flujo simulado según el nivel de servicio.....	45
Tabla 3. Detalle del equipo técnico participante para la propuesta metodológica.	50
Tabla 4. Presupuesto estimado para el desarrollo de la propuesta metodológica.....	50
Tabla 5 Aforo día 1 SENTIDO OSTE-ESTE.....	60
Tabla 6 Aforo día 1 SENTIDO ESTE- OSTE.....	61
Tabla 7 Aforo día 2 SENTIDO OSTE-ESTE.....	61
Tabla 8 Aforo día 2 SENTIDO ESTE- OSTE.....	62
Tabla 9 Aforo día 3 SENTIDO OSTE-ESTE.....	62
Tabla 10 Aforo día 3 SENTIDO ESTE- OSTE.....	63
Tabla 11 Aforo día 4 SENTIDO OESTE- ESTE.....	63
Tabla 12 Aforo día 4 SENTIDO ESTE- OSTE.....	64
Tabla 13 Aforo día 1 SENTIDO OSTE-ESTE.....	65
Tabla 14 Aforo día 1 SENTIDO ESTE- OSTE.....	65
Tabla 15 Aforo día 2 SENTIDO OSTE-ESTE.....	66
Tabla 16 Aforo día 2 SENTIDO ESTE- OSTE.....	66
Tabla 17 Aforo día 3 SENTIDO OSTE-ESTE.....	67
Tabla 18 Aforo día 3 SENTIDO ESTE- OSTE.....	67
Tabla 19 Aforo día 4 SENTIDO OESTE- ESTE.....	68
Tabla 20 Aforo día 4 SENTIDO ESTE- OSTE.....	68
Tabla 21 Clasificación vehicular Sentido Oeste-Este	69
Tabla 22 Clasificación vehicular Sentido Este- Oeste	70
Tabla 23 Clasificación vehicular Sentido Oeste-Este	71
Tabla 24 Clasificación vehicular Sentido Este- Oeste	72
Tabla 25 Clasificación MTOP adaptado Clasificación Florida Department of Transportation FLDOT	77
Tabla 26. Tabla resumen de los resultados de la simulación.	86

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Vista aérea de la intersección de El Bananero.	39
Ilustración 2. Representación de la simulación del modelo actual en el Redondel de El Bananero.	45
Ilustración 3. Representación de la simulación del modelo semaforizado para el Redondel de El Bananero.	46
Ilustración 4. Representación de la simulación del modelo con carriles de giro para el Redondel de El Bananero.	47
Ilustración 5. Representación de la simulación del modelo de aumento de capacidad para el Redondel de El Bananero.	47
Ilustración 6. Representación de la simulación del modelo combinado de aumento de capacidad y carriles de giro para el Redondel de El Bananero.	48
Ilustración 7. Esquema metodológico de la propuesta.	57
Ilustración 8 Flujo vehicular apilado	73
Ilustración 9 Clasificación vehicular	74
Ilustración 10 Flujo vehicular apilado	75
Ilustración 11 Clasificación vehicular	76
Ilustración 12 Velocidades máximas y mínimas	81
Ilustración 13 Histograma de velocidades	82
Ilustración 14 Velocidades máximas y mínimas	84
Ilustración 15 Histograma de velocidades	85
Ilustración 16. Valores de niveles de servicio para segmentos básicos de autopistas.	87
Ilustración 17. Gráfica de los resultados de la serie cola media de vehículos.	88
Ilustración 18. Gráfica de los resultados de la serie cola virtual máxima.	88
Ilustración 19. Gráfica de los resultados de la serie de densidad.	89
Ilustración 20. Gráfica de los resultados de la serie de flujo.	89
Ilustración 21. Gráfica de los resultados de la serie tiempo de demora.	90
Ilustración 22. Gráfica de los resultados de la serie tiempo de espera en cola virtual.	90

INTRODUCCIÓN

Las vías son la columna vertebral del transporte y la comunicación en las ciudades y entre ciudades de un país. Dentro de la clasificación de las vías urbanas existen: las arteriales, colectoras y locales; los tipos de intersección son: en T, las transversales, las rotondas y las intersecciones señalizadas; las vías son muy importantes porque unen las principales ciudades del país con los puertos y las fronteras de los países vecinos. Desde principios del siglo XXI, el mantenimiento rutinario de la infraestructura de transporte particularmente el de las vías, ha adquirido considerable importancia económica y social para el país.

La dinámica del crecimiento de las ciudades en el mundo también conllevan el crecimiento de la población y por ende el crecimiento del parque automotor, es así que este proceso genera una necesidad imperiosa de cada uno de los habitantes que es la movilización de las personas a sus diferentes puntos de destino, esto finalmente origina una gran movilización de la masa humana, y para esto por lo general todos lo realizan a través de un vehículo lo que en definitiva generan congestión en la vías, que es el gran problema a investigar y que constituye un desafío para los gobiernos locales su solución.

El tipo de ciudad en que nos centramos serán las intermedias. Las ciudades intermedias, también conocidas como ciudades secundarias o ciudades de tamaño medio, representan un eslabón crucial en la estructura urbana y territorial de un país. En números, estas ciudades se componen de entre 50.000 y menos de 1.000.000 de habitantes en América Latina. Según Mena (1994), en Ecuador, este tipo de ciudades incluyen a Riobamba, Ambato, Machala, Santo Domingo de los Colorados, entre otras. Es decir, ciudades de máximo 300.000 habitantes. Estas ciudades desempeñan un papel fundamental en la articulación entre las áreas rurales y las grandes metrópolis, facilitando la distribución de bienes, servicios y personas a lo largo del territorio.

La presente investigación, busca atender la problemática que genera la congestión vehicular en las intersecciones de las ciudades intermedias, ya que esto genera varios efectos negativos en los usuarios y por ende en el desarrollo de la ciudad. La congestión vehicular es un fenómeno urbano que se refiere a la saturación de vehículos principalmente en intersecciones viales, lo que provoca, velocidades de tráfico reducidas, tiempos de viaje prolongados, aumento en la espera vehicular, y molestias en los usuarios. Esta situación es común en muchas ciudades alrededor del Ecuador y del mundo, y se ha convertido en un desafío significativo para la planificación urbana y la gestión del tráfico.

Esta investigación se la realizo contrastando las Normas de diseño geométrico de carreteras 2003 - MTOP, Norma Ecuatoriana Vial Nevi-12- MTOP Volumen N.-2 – libro A, Manual de Carreteras Volumen N.- 3 Instrucciones y Criterios de Diseño Edición 2018- Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas del Gobierno de Chile, Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales Segunda Edición 2014, y las Normas ASSTHO 2011, por ello es necesario darle su nivel de importancia en el estudio a este importante tema.

En relación al problema por tratar, el desarrollo urbanístico y acelerado de las ciudades sin la debida planificación urbana, provoca congestión vehicular, retrasos de viajes, accidentes de tránsito con afectaciones a vehículos, peatones y mobiliario urbano, tiene como efecto el desorden urbano, una infraestructura vial deficiente y usuarios insatisfechos, todo esto nos lleva a reflexionar sobre, ¿COMO DISMINUIR LA CONGESTIÓN VEHICULAR MEDIANTE LA OPTIMIZACIÓN DE INTERSECCIONES VIALES A NIVEL DE CIUDADES DE HASTA 300000 HABITANTES? La limitación teórica sobre este tema, no ha permitido considerar en la planificación de la trama vial de las ciudades, metodologías que permitan solucionar este tipo de problema. Por lo tanto, este estudio tiene relevancia social y científica; vigencia, actualidad y significativo impacto en el desarrollo socioeconómica de ciudades de hasta 300.000 habitantes.

Las ciudades dentro de su dinámica de crecimiento se ven afectadas en cierto modo por factores como la congestión vehicular en sus vías y de manera especial en sus intersecciones por lo que esta problemática tiene relevancia social, científica y significativo impacto en el conocimiento de la realidad socioeconómica de ciudades de hasta 300000 habitantes. Para el cumplimiento de lo propuesto se ejecutó los siguientes objetivos:

El objetivo general de la investigación es desarrollar una metodología para la optimización de intersecciones viales a nivel que permita la reducción de la congestión vehicular en ciudades de hasta 300000 habitantes.

Los objetivos específicos de la investigación son:

- 1.- Analizar la base teórica que permita la optimización de intersecciones viales a nivel en ciudades de hasta 300000 habitantes.
- 2.- Caracterizar la intersección vial y su congestión vehicular mediante la observación de campo en el Monumento al Bananero de la Ciudad de Machala.

3.- Formular una metodología para la optimización de intersecciones viales a nivel con congestión vehicular en ciudades de hasta 300000 habitantes.

El presente trabajo, en su campo de acción, versa sobre la congestión vehicular en las intersecciones a nivel en ciudades de hasta 300.000 habitantes. Como estudio caso se ha tomado la intersección del Monumento al Bananero de la Ciudad de Machala (Av. 25 de Junio y Av. Alejandro Castro Benites), para analizar la aplicación de la metodología propuesta.

Para lograr el cumplimiento de los objetivos se formulan la siguientes preguntas científicas: ¿Cuál es la base teórica que permita la optimización de intersecciones viales a nivel, en ciudades de hasta 300000 habitantes?; ¿Cuáles son las características de la intersección vial a nivel y su congestión vehicular mediante la observación de campo en el Monumento al Bananero de la Ciudad de Machala?; ¿Cuál es la metodología para la optimización de intersecciones viales a nivel con congestión vehicular en ciudades de hasta 300000 habitantes?.

La investigación se desarrolla en cuatro capítulos, como se describe a continuación:

En el capítulo 1 contiene el marco teórico en el cual se recopila la información referente al tema de investigación y antecedentes investigativos para establecer los fundamentos teóricos para una metodología que permita disminuir la congestión vehicular en intersecciones viales a nivel.

En el capítulo 2 se describe la metodología y los materiales utilizados en la investigación, modalidad de la investigación, niveles y tipo, determinación de la población y muestra, recopilación de datos y procesamiento de la información.

En el capítulo 3 se describe la propuesta metodológica que proporciona principios útiles para la correcta planificación de intersecciones menos congestionadas.

En el capítulo 4 se expone el análisis e interpretación de resultados obtenidos de forma cualitativa y cuantitativa que argumentan con claridad y precisión la corroboración teórica y práctica de la metodología formulada.

Finalmente exponemos las conclusiones y recomendaciones sobre los resultados obtenidos en la presente investigación.

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

1.1.1 Evolución de las intersecciones viales.

Las intersecciones viales son puntos críticos dentro de cualquier sistema de transporte urbano, ya que es donde dos o más vías se cruzan y los vehículos deben coordinar sus movimientos para evitar conflictos. Desde sus inicios la humanidad vio la necesidad de movilizarse de un lugar a otro, por lo que en su afán empezaron a ir de un lugar a otro, de esta manera se empezaron a generar los primeros caminos.

En nuestro medio, los incas fueron quienes crearon los primeros caminos en América, a los cuales se los denominó Chaquiñán, que con el pasar de los tiempos se convirtieron en vías, que en un determinado momento se entrecruzaron y de esta manera se originaron las primeras intersecciones viales (Pinos Mata, 2016).

Historia del tránsito y sus componentes.

De acuerdo con Villacreses Cabrera (2015) y Li (2018), la historia del tránsito y sus componentes se remonta a los inicios de la civilización humana, cuando se crearon caminos rudimentarios para el desplazamiento de personas y bienes. A lo largo de la historia, el tránsito se ha desarrollado y evolucionado, dando lugar a sistemas de transporte más sofisticados. Los componentes esenciales del tránsito incluyen:

1. *Caminos y carreteras antiguas:* Desde los caminos construidos por las civilizaciones antiguas, como los romanos y los incas, hasta las carreteras de la Edad Media, el tránsito terrestre ha sido fundamental para la conectividad entre regiones.

2. *Vehículos a caballo y carretas:* En la antigüedad, los vehículos a tracción animal, como carretas y carruajes, se convirtieron en medios de transporte terrestre.

3. *Revolución industrial y ferrocarriles:* La Revolución Industrial trajo consigo la invención de la locomotora a vapor y la expansión de las redes ferroviarias, revolucionando el transporte de mercancías y pasajeros.

4. *Automóviles y carreteras modernas:* A fines del siglo XIX y principios del XX, la invención del automóvil y la construcción de carreteras pavimentadas marcaron un cambio significativo en el tránsito, permitiendo mayor flexibilidad en los desplazamientos.

5. *Transporte público y aviación*: El desarrollo del transporte público masivo y la aviación comercial en el siglo XX cambiaron la forma en que las personas se movilizan a nivel local e internacional.

Cronología de las intersecciones viales.

La evolución de las intersecciones viales a lo largo de la historia ha sido un reflejo de los avances en la planificación urbana y el diseño de carreteras. Tomando como referente lo estudiado por Bang y otros (2016), además de Yan y otros (2018), se presenta una cronología simplificada de las intersecciones viales:

1. *Épocas antiguas*: Los cruces de caminos eran lugares naturales de intersección, donde los caminos se entrecruzaban sin un diseño específico.

2. *Siglo XIX*: Con el aumento del tráfico y el surgimiento de los vehículos a tracción animal, se comenzaron a implementar cruces controlados por agentes de tráfico.

3. *Principios del siglo XX*: La popularización de los automóviles llevó al desarrollo de señales de tráfico y señalización vial básica.

4. *Década de 1920*: La adopción generalizada de semáforos controlados electrónicamente permitió un mayor control del flujo de tráfico.

5. *Década de 1950*: Se introdujeron diseños de intersecciones más avanzados, como las glorietas y las intersecciones a nivel de distintos niveles.

6. *Siglo XXI*: Avances tecnológicos en la gestión del tráfico, como sistemas de sincronización de semáforos y sistemas de control de tráfico inteligente, han mejorado la eficiencia de las intersecciones.

1.1.2 La congestión vehicular en el tiempo.

La congestión vehicular se produce cuando la demanda de espacio vial supera la capacidad disponible, lo que lleva a un deterioro en la fluidez del tráfico y a una disminución en la eficiencia del sistema de transporte. A medida que las ciudades crecen y la población aumenta, la congestión vehicular se ha convertido en un problema persistente en muchas áreas urbanas (Leonardi & Distefano, 2023). Los factores que contribuyen a la congestión vehicular incluyen el aumento del parque automotor, la falta de infraestructura adecuada, los accidentes de tráfico, la falta de planificación vial y los desequilibrios entre la oferta y la demanda de transporte.

A lo largo de la historia, la congestión vehicular ha experimentado un aumento significativo en las áreas urbanas debido al crecimiento de la población, la urbanización y la dependencia continua de los vehículos motorizados (Li, 2018). Desde los primeros indicios de congestión en las ciudades del siglo XX hasta la congestión severa que enfrentan muchas áreas metropolitanas en la actualidad. La congestión vehicular ha evolucionado en un desafío complejo que requiere soluciones innovadoras en planificación urbana, diseño de carreteras, transporte público y tecnología de la información (Yan et al., 2018).

1.2. ANTECEDENTES CONCEPTUALES

1.2.1 Optimización de intersecciones viales a nivel

Las intersecciones viales a nivel se refieren a aquellos cruces donde las vías se intersecan en el mismo plano horizontal, sin la presencia de estructuras elevadas o túneles que separan los flujos de tráfico. En estas intersecciones, los vehículos que circulan en diferentes direcciones deben compartir el mismo espacio, lo que requiere una gestión adecuada para garantizar la seguridad y fluidez del tráfico (Gruden et al., 2022).

De forma similar a Vichova y otros (2021), el objetivo de esta investigación es estudiar la optimización de intersecciones viales a nivel para disminuir la congestión vehicular en ciudades intermedias. Adaptado al contexto, para esto, se va a utilizar las Normas de diseño geométrico de carreteras 2003 - MTOP, Norma Ecuatoriana Vial Nevi-12- MTOP Volumen N.-2, que fueron realizadas para el Diseño Geométrico de Carreteras y de caminos vecinales, aunque en el capítulo de intersecciones no conceptualiza, sino que va directamente a los criterios utilizados para el diseño, haciendo referencia a las normativas internacionales como la AASTHO 2011.

Según el Manual Centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales, una intersección se forma por la confluencia de dos o más vías en un punto común, que permiten un ingreso y salida de vehículos. Las vías que forman parte de una intersección se denominan ramales, las intersecciones viales pueden ser a nivel o desnivel (Laclair, 2011).

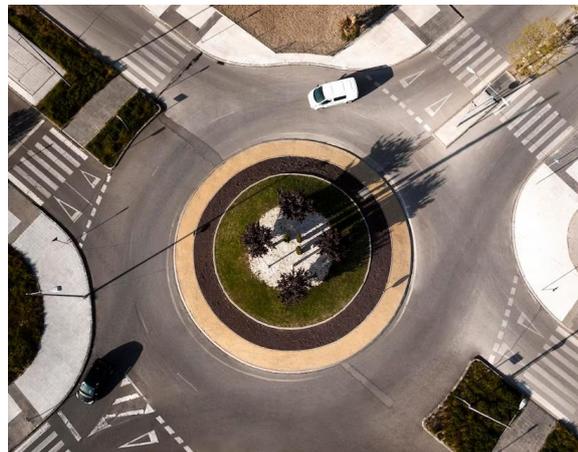
De acuerdo con CEPAL (1998), las ciudades intermedias se definen, en términos generales, como aquellas urbes que no pertenecen al grupo de las principales metrópolis de un país, pero que, debido a su tamaño, funciones y posición estratégica, tienen una influencia significativa en su región. Su tamaño poblacional puede variar según el

contexto nacional, pero generalmente se encuentran en un rango que no es ni demasiado pequeño como para ser considerado rural, ni demasiado grande como para ser clasificado como metrópoli. Este es el caso de la ciudad de Machala.

Tipo de intersecciones viales.

Una intersección vial es una confluencia de dos o más vías de circulación, que permite el cruce de vehículos y peatones. Estos puntos de encuentro son críticos para la operación eficiente y segura del sistema de transporte, ya que representan puntos de conflicto potencial entre vehículos, peatones y ciclistas (Campisi et al., 2020). La geometría y el diseño de las intersecciones desempeñan un papel fundamental en la fluidez del tráfico y en la prevención de accidentes (Dabiri et al., 2021). Las intersecciones pueden ser a nivel o a desnivel.

- ***Intersecciones viales a nivel.*** Una intersección vial a nivel es aquella en la que las vías de circulación se cruzan en el mismo plano. Las intersecciones a nivel son las más comunes, pero también son las más propensas a la congestión. Estas intersecciones son comunes en áreas urbanas y suburbanas, y pueden variar en complejidad desde simples cruces de dos calles hasta intersecciones más complejas con múltiples ramales y carriles de giro. La optimización de intersecciones viales a nivel busca mejorar la eficiencia del tráfico y reducir la congestión en estas intersecciones.



Fuente: https://www.freepik.com/free-photo/transport-concept-with-intersection_13951919.htm#query=intersecci%C3%B3n%20vial%20a%20desnivel&position=13&from_view=search&track=ais

- ***Intersecciones viales a desnivel.*** Una intersección vial a desnivel es aquella en la que las vías de circulación se cruzan en diferentes planos. Las intersecciones a desnivel son menos propensas a la congestión que las intersecciones a nivel, pero también

son más costosas de construir y mantener. Las intersecciones viales a desnivel son también conocidas como intercambiadores viales o pasos a desnivel. Estas intersecciones se utilizan para eliminar conflictos de tráfico y mejorar la fluidez vehicular al evitar los cruces a nivel. Los intercambiadores pueden incluir puentes, rampas elevadas o túneles para permitir que los vehículos se muevan sin interrupciones.



Fuente: https://www.freepik.com/free-photo/tbilisi-lockdown_12305860.htm#query=intersecci%C3%B3n%20vial%20a%20desnivel&position=14&from_view=search&track=ais

Tipo de intersecciones viales a nivel.

Según Kartal (2006), los tipos de intersecciones más comunes son:

- *Intersecciones en "T"*: Una vía principal se cruza con una vía secundaria formando una "T". Es común en áreas urbanas y suburbanas.



Fuente: <https://www.istockphoto.com/es/foto/cruce-la-intersecci%C3%B3n-en-t-gm182659797-143268>

- *Intersecciones en "X" o "Cruz"*: Dos vías se cruzan perpendicularmente. Es el tipo más común de intersección.



Fuente: <https://twitter.com/PetroleosDelta/status/1441200618152988678>

- *Intersecciones en "Y"*: Dos vías se unen en un ángulo agudo.



Fuente:

https://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Mejora_de_la_visibilidad_en_la_intersecci%C3%B3n_%28seguridad_vial%29

- *Rotondas o redondeles*: Una intersección circular donde el tráfico circula en una sola dirección alrededor de un punto central. Ayuda a reducir conflictos y mejorar la fluidez del tráfico (Balado et al., 2019).



Fuente: <https://www.facebook.com/APAKTV/videos/panorama-desde-el-redondel-del-colegio-otavalo/1308807686315459/>

De acuerdo con Petersen (1977) y Li (2018), las características de las intersecciones son:

Control de tráfico: Las intersecciones a nivel suelen contar con señales de tráfico, semáforos o rotondas para gestionar el flujo vehicular.

Zonas de conflicto: Son áreas dentro de la intersección donde los trayectos de los vehículos pueden cruzarse y generar accidentes.

Capacidad: Se refiere al número máximo de vehículos que pueden pasar por la intersección en un período determinado sin generar congestión.

Diseño: La forma y dimensiones de la intersección deben considerar factores como la velocidad de los vehículos, el volumen de tráfico y la presencia de peatones.

1.2.2 Congestión vehicular

La congestión vehicular se refiere a la acumulación excesiva de vehículos en las carreteras, lo que resulta en una reducción significativa de la velocidad y en retrasos para los usuarios. El término congestión, es muy utilizado dentro de la ingeniería de tránsito ya que este término es una de las principales razones de su conceptualización (Thomson & Bull, 2001). En este sentido todas las directrices buscan la solución a los problemas que genera la congestión vehicular, también la congestión vehicular entendido como la obstrucción del paso, la circulación o el movimiento del tránsito vehicular.

Tipos de congestión vehicular.

La congestión vehicular puede manifestarse en diferentes formas, lo que afecta la fluidez y la velocidad del tráfico. Algunos de los tipos de congestión vehicular más comunes incluyen:

Congestión Puntual: Se produce en puntos específicos, como intersecciones o pasos peatonales, donde el tráfico se acumula debido a la competencia por el espacio.

Congestión de Flujo: Ocurre cuando el volumen de tráfico en una carretera excede su capacidad máxima, lo que resulta en una reducción de la velocidad y en ocasiones en paradas completas.

Congestión de Tráfico Lento: Se caracteriza por la reducción de la velocidad de los vehículos, aunque no necesariamente se detienen. Esto suele estar asociado con una alta densidad de tráfico.

Congestión en Picos: Se refiere a la acumulación de tráfico durante las horas pico de uso, como las horas de entrada y salida del trabajo. Esta congestión es recurrente.

Congestión por incidencias: Este tipo ocurre cuando hay un accidente en la carretera, obras viales en la marcha o cualquier otra incidencia.

Causas de la congestión vehicular

Según Salazar y otros (2009), la congestión vehicular puede ser causada por una variedad de factores, entre los principales se incluyen:

Densidad de tráfico: Cuando el número de vehículos en una carretera supera su capacidad de manejo, se genera congestión.

Crecimiento demográfico: El aumento en la población de las ciudades conlleva un incremento en la demanda de vehículos y, por ende, en el uso de las vías.

Insuficiente infraestructura vial: La deficiente inversión y planificación en infraestructura vial adecuada puede llevar a una capacidad insuficiente para manejar el volumen de tráfico.

Semáforos y señales ineficientes: Señales de tráfico mal sincronizadas o insuficientes pueden causar paradas y arranques frecuentes, contribuyendo a la congestión.

Comportamiento de los conductores: Frenazos bruscos, cambios de carril frecuentes y falta de seguimiento seguro entre vehículos pueden contribuir a la congestión (Shaaban & Hamad, 2021).

Factores externos: Condiciones climáticas adversas, incidencias varias en las carreteras o congestión en carreteras alternas pueden afectar el flujo de tráfico.

De acuerdo con Salazar y otros (2009), la congestión vehicular puede provocar una serie de consecuencias por una variedad de aspectos, entre los que se incluyen:

Impacto ambiental: La congestión vehicular aumenta las emisiones de gases contaminantes, contribuyendo al calentamiento global y afectando la calidad del aire.

Pérdida de tiempo: Los tiempos de viaje prolongados afectan la productividad y la calidad de vida de las personas.

Costos económicos: La congestión genera costos adicionales en términos de combustible, mantenimiento de vehículos y oportunidades económicas perdidas.

Efectos en la salud: La exposición prolongada a altos niveles de contaminación y el estrés asociado con la congestión pueden tener efectos negativos en la salud de los habitantes urbanos.

1.2.3 Flujo vehicular

El flujo vehicular es el número de vehículos que pasan por un punto dado en un intervalo de tiempo. Es un parámetro clave para evaluar la capacidad y eficiencia de las vías de transporte y es fundamental para comprender la operación del sistema de tráfico. El flujo vehicular se mide generalmente en términos de vehículos por hora (vehículos/h) o vehículos por día (vehículos/día), según el tipo de medida que convenga emplear (Leonardi & Distefano, 2023).

Tipos de vehículos.

Según Najmi (2019), el flujo vehicular incluye una variedad de tipos de vehículos, cada uno con sus propias características de tamaño, velocidad y comportamiento en la carretera. Los tipos de vehículos que contribuyen al flujo vehicular son:

Automóviles particulares: Incluyen vehículos de pasajeros utilizados para transporte individual y familiar.

Camiones: Vehículos de carga utilizados para el transporte de mercancías. Pueden variar en tamaño, desde camionetas hasta camiones pesados.

Autobuses: Utilizados para el transporte público de pasajeros en rutas designadas.

Motocicletas y ciclomotores: Vehículos de dos ruedas utilizados para transporte personal.

Vehículos de emergencia: Incluye vehículos de policía, ambulancias y camiones de bomberos.

Ciclistas: Usuarios de la vía que se desplazan en bicicleta.

Velocidad de los vehículos.

La velocidad de los vehículos es la rapidez a la que viajan los vehículos. La velocidad de los vehículos es un factor crucial en la fluidez del tráfico y en la capacidad de una carretera para manejar el flujo vehicular. La velocidad de los vehículos puede variar ampliamente según el tipo de carretera, las condiciones climáticas y otros factores. La velocidad de operación se mide típicamente en kilómetros por hora (km/h) y puede influir en la seguridad vial, la capacidad de la carretera y la eficiencia del sistema de transporte en general (Giuffrè et al., 2018).

Volumen de tráfico vehicular.

El volumen de tráfico vehicular es el número de vehículos que pasan por un punto dado en un intervalo de tiempo. El volumen de tráfico vehicular se mide en vehículos por día (vpd). Se utiliza para describir la carga de tráfico en una carretera o intersección en un momento dado. El volumen de tráfico puede variar según la hora del día, los días de la semana y otros factores temporales. La capacidad de una carretera para manejar el volumen de tráfico depende de factores como el diseño de la carretera, el número de carriles y las condiciones del tráfico. Los métodos tradicionales para cuantificar el volumen de los vehículos se basan en el recuento manual, las cámaras de vídeo y los detectores de velocidad en ubicaciones limitadas (Yang et al., 2023).

1.2.4 Demanda vial

La demanda vial es la cantidad de viajes que se realizan entre dos puntos. La demanda vial se mide en viajes por día (vpd). Esta demanda puede variar según factores como la hora del día, los días de la semana y las temporadas. La comprensión de la demanda vial es fundamental para el diseño y la gestión de las vías de transporte, ya que influye en la planificación de la capacidad y en la toma de decisiones relacionadas con el tráfico (Kim et al., 2016).

Caracterización de la intersección.

La caracterización de una intersección implica la recopilación y el análisis de datos relacionados con la geometría de la intersección, los flujos de tráfico, los tipos de vehículos que la utilizan y las condiciones operativas (Dabiri et al., 2021). Esta

información es esencial para comprender cómo funciona la intersección y para identificar áreas donde podría ocurrir congestión o problemas de flujo (Congress et al., 2021).

Según Alozi y Hussein (2022), la caracterización de la intersección incluye aspectos como la disposición de los carriles, los movimientos de giro permitidos y las señales de tráfico. Por su parte, Arshi y otros (2018), detalla que la caracterización de la intersección incluye:

- *El número de vías:* Se refiere a la cantidad de carreteras o calles que convergen en la intersección. Por ejemplo, una intersección típica de cuatro vías tiene dos carreteras que se cruzan. Sin embargo, también puede haber intersecciones de tres vías (conocidas como "T"), incluso de cinco o más vías.

- *El número de carriles por vía:* Indica cuántos carriles de tráfico hay en cada dirección de una carretera o calle que forma parte de la intersección. Por ejemplo, una carretera puede tener dos carriles en cada dirección, mientras que una calle más pequeña puede tener solo un carril en cada dirección.

- *El tipo de intersección:* Hay varios tipos de intersecciones, cada una con sus propias características y desafíos. Para Diachuk y Easa (2018), algunos ejemplos de este tipo incluyen:

- *Intersecciones a nivel:* Son las más comunes y se refieren a cuando dos o más carreteras se cruzan en el mismo nivel o plano.

- *Intersecciones a desnivel o elevadas:* Una carretera pasa por encima de otra, lo que permite el flujo de tráfico sin interrupciones.

- *Rotores o rotondas:* Son intersecciones circulares donde el tráfico circula alrededor de un punto central.

- *Intersecciones con semáforos:* Están controladas por señales de tráfico para gestionar el flujo de vehículos y peatones.

Capacidad de la intersección.

La capacidad de una intersección se refiere a la máxima cantidad de vehículos que pueden pasar a través de ella de manera segura y eficiente durante un período de tiempo específico. La capacidad de la intersección se mide en vehículos por hora (vph). La capacidad está influenciada por varios factores, incluida la geometría de la intersección, la duración de los semáforos, la coordinación de los movimientos de giro y la densidad de tráfico (Dabiri et al., 2021). La capacidad de una intersección es un parámetro

fundamental para evaluar su rendimiento y determinar si se está acercando a niveles de congestión.

Nivel de servicio de la intersección.

El nivel de servicio de la intersección es una medida de la calidad de la operación de la intersección. El nivel de servicio se clasifica en una escala que va desde el nivel de servicio A (excelente) hasta el nivel de servicio F (condiciones de congestión extrema). La evaluación del nivel de servicio considera factores como la velocidad promedio de los vehículos, los tiempos de espera en semáforos, la capacidad de la intersección y la fluidez del tráfico. Determinar el nivel de servicio ayuda a identificar las necesidades de mejora y a tomar decisiones para optimizar la operación de la intersección (Campisi et al., 2020).

Un método relevante para analizar el nivel de servicio de la intersección es el Highway Capacity Manual (HCM), que en español se traduce como Manual de Capacidad de Carreteras. Se trata de un método desarrollado por el Transportation Research Board (TRB) de Estados Unidos, que proporciona guías, procedimientos y herramientas para evaluar el rendimiento de varios componentes de sistemas de transporte (Roess & Prassas, 2014).

El HCM permite estimar la capacidad y el nivel de servicio de autopistas, arterias, intersecciones semaforizadas y no semaforizadas, carriles para bicicletas, entre otros. De acuerdo con Osei y otros (2021), algunos conceptos y metodologías específicas del HCM incluyen:

Niveles de servicio - Letras de A a F que indican la calidad operacional del flujo vehicular.

Demoras - Tiempo adicional comparado con condiciones de flujo libre.

Relación volumen/capacidad - Comparación entre demanda de tráfico y capacidad de la infraestructura.

Análisis de colas - Para intersecciones semaforizadas basado en teoría de colas.

Microsimulación - Simulación del movimiento de vehículos individuales.

El HCM proporciona los fundamentos para modelar y optimizar el tráfico en estudios de capacidad y se usa como estándar en la ingeniería de transporte. Su última actualización fue en el 2016, realizada por el Comité de Capacidad y Calidad del Servicio en Autopistas (HCQSC) de los Estados Unidos de América.

1.2.5 Tiempos de viaje

El tiempo de viaje es el tiempo que se tarda en viajar entre dos puntos. Este tiempo de viaje se mide en minutos. Los tiempos de viaje son un aspecto crucial en la planificación y gestión del transporte, ya que afectan directamente la experiencia de los usuarios y la eficiencia del sistema. Comprender los tiempos de viaje implica analizar los desplazamientos de los vehículos y los usuarios a lo largo de rutas y corredores específicos. Esto incluye la evaluación de la duración del viaje, los retrasos en el tráfico y los factores que pueden influir en la variabilidad de los tiempos de viaje (Plotnikov & Asaul, 2020).

Análisis del origen y destino de los viajes.

El análisis del origen y destino de los viajes es un estudio de los viajes que se realizan entre dos puntos. El análisis del origen y destino de los viajes se utiliza para determinar la demanda vial y el nivel de servicio de las intersecciones (Campisi et al., 2020). Este análisis proporciona información valiosa sobre los patrones de viaje, las rutas preferidas y las áreas de alta demanda. Mediante técnicas como encuestas de origen y destino, sistemas de seguimiento de vehículos y análisis de datos de transporte público, es posible comprender mejor cómo se distribuyen los flujos de tráfico y dónde se concentran los movimientos de personas y vehículos (Patel & Dhamaniya, 2019).

Tiempo de recorrido de los viajes.

El tiempo de recorrido de los viajes es el tiempo que se tarda en viajar entre dos puntos, incluyendo el tiempo de espera en los semáforos. El tiempo de recorrido de los viajes se mide en minutos. Este tiempo puede variar según diversos factores, como la distancia, la velocidad de operación, las condiciones del tráfico y las características de la vía. El análisis del tiempo de recorrido permite identificar cuellos de botella, tramos de alta congestión y opciones para mejorar la eficiencia del sistema de transporte. Esta medida ayuda a evaluar la eficacia de los sistemas de transporte y a identificar las áreas en las que se pueden realizar mejoras para reducir el tiempo de viaje y mejorar el flujo del tráfico (Yao et al., 2018).

1.2.6 Paralización del tráfico

La paralización del tráfico se refiere a la interrupción o detención del flujo normal de vehículos en una carretera o intersección. Puede ser causada por una serie de factores y situaciones, lo que resulta en retrasos significativos y congestión en la vía. La paralización del tráfico puede tener impactos negativos en la eficiencia del sistema de transporte, la economía local y la calidad de vida de los usuarios (Miani, 2015).

Causas y las demoras que las ocasionan.

Según Yao y otros (2018) y Li (2018), las causas de la paralización del tráfico pueden variar y pueden incluir:

- a) *Accidentes de tráfico:* Colisiones entre vehículos que bloquean carriles y requieren intervención de emergencia.
- b) *Obras de construcción:* Trabajos viales o de infraestructura que limitan el espacio disponible o requieren cambios en el tráfico.
- c) *Eventos especiales:* Concentraciones de personas, desfiles u otros eventos que afectan el flujo normal del tráfico.
- d) *Averías de vehículos:* Vehículos varados o descompuestos que ocupan espacio en la carretera.
- e) *Condiciones climáticas adversas:* Lluvia intensa, nieve, hielo u otras condiciones climáticas extremas que dificultan la circulación segura.

Las demoras causadas por la paralización del tráfico pueden tener un efecto dominó, afectando el flujo en áreas circundantes y generando congestión en diferentes puntos.

1.2.7 Infraestructura vial

La infraestructura vial se refiere al conjunto de elementos físicos que componen una red de carreteras, calles e intersecciones. La calidad y el diseño de la infraestructura vial desempeñan un papel fundamental en la fluidez del tráfico y en la seguridad vial (Plotnikov, 2018). La infraestructura vial incluye aspectos como el diseño geométrico de las carreteras, la señalización, la iluminación, los semáforos y los dispositivos de control del tráfico (Bai et al., 2021). Las intersecciones viales se pueden clasificar en función de su capacidad, jerarquía vial, condiciones orográficas, calzadas y superficie de rodamiento.

Clasificación de las intersecciones por su capacidad.

Las intersecciones se pueden clasificar según su capacidad para manejar el flujo de tráfico. Para Giuffrè y otros (2018), algunos tipos comunes de clasificaciones de las intersecciones, según la capacidad, incluyen:

Intersecciones no controladas: Aquellas que carecen de señalización o dispositivos de control del tráfico. El flujo de vehículos depende de las reglas de prioridad y de la comunicación entre los conductores.

Intersecciones semaforizadas: Aquellas equipadas con semáforos para controlar el flujo de vehículos en diferentes rutas.

Intersecciones con rotondas: También conocidas como glorietas o rotondas, permiten el flujo continuo de vehículos en una dirección circular.

Intersecciones de baja capacidad: estas intersecciones tienen una capacidad de hasta 1000 vehículos por hora.

Intersecciones de media capacidad: estas intersecciones tienen una capacidad de entre 1000 y 5000 vehículos por hora.

Intersecciones de alta capacidad: estas intersecciones tienen una capacidad de más de 5000 vehículos por hora.

Clasificación de las intersecciones por la jerarquía vial.

De acuerdo con Cuéllar Sarmiento y Beltrán Vargas (2020), las intersecciones también pueden clasificarse según la jerarquía vial de las carreteras que se cruzan. Esto puede incluir intersecciones entre carreteras de alta velocidad y carreteras locales, lo que afecta la prioridad y la operación de las intersecciones. Las intersecciones viales se pueden clasificar en:

Intersecciones de calles locales: estas intersecciones están ubicadas en calles locales que tienen un bajo volumen de tráfico.

Intersecciones de calles arteriales: estas intersecciones están ubicadas en calles arteriales que tienen un volumen de tráfico medio.

Intersecciones de calles principales: estas intersecciones están ubicadas en calles principales que tienen un alto volumen de tráfico.

Clasificación de las intersecciones por las condiciones orográficas.

Según Verdezoto y otros (2020), las condiciones orográficas, como la topografía y el terreno, pueden influir en la forma en que se diseñan y operan las intersecciones. Intersecciones en terrenos montañosos o con pendientes pronunciadas pueden requerir consideraciones especiales de diseño. Las intersecciones viales se pueden clasificar en:

Intersecciones planas: estas están ubicadas en terrenos planos.

Intersecciones en cuesta: estas están ubicadas en terrenos en cuesta.

Intersecciones montañosas: estas están ubicadas en terrenos montañosos.

Clasificación de las intersecciones por el número de calzadas.

Para Osei y otros (2021), las intersecciones también pueden clasificarse según el número de calzadas que se cruzan en el punto de encuentro. Pueden ser intersecciones de dos vías, tres vías, cuatro vías o incluso más complejas. Las intersecciones viales se pueden clasificar en:

Intersecciones de una calzada: estas intersecciones tienen una sola calzada para cada dirección de tráfico.

Intersecciones de dos calzadas: estas intersecciones tienen dos calzadas para cada dirección de tráfico.

Intersecciones de tres calzadas: estas intersecciones tienen tres calzadas para cada dirección de tráfico.

Clasificación de las intersecciones en función de la superficie de rodamiento.

La clasificación en función de la superficie de rodamiento considera si las intersecciones son pavimentadas, de tierra o cuentan con otros tipos de superficies. Esto, según Mesía Navarro y Sanjinez Aliaga (2019), puede influir en la capacidad, el mantenimiento y la operación de la intersección. Las intersecciones viales se pueden clasificar en:

Intersecciones con superficie de rodamiento asfáltica: estas intersecciones tienen una superficie de rodamiento hecha de asfalto.

Intersecciones con superficie de rodamiento de concreto: estas intersecciones tienen una superficie de rodamiento hecha de concreto.

Clasificación de las señaléticas en las intersecciones.

La clasificación de las señaléticas en las intersecciones, considerando una categorización básica, se puede dividir en: horizontales y verticales. Esta clasificación ayuda a entender la función y ubicación de las señaléticas en las intersecciones y cómo contribuyen a la seguridad y fluidez del tráfico (Kieć et al., 2019). Las señaléticas se clasifican en horizontales y verticales.

Señaléticas horizontales: Estas son las marcas que se encuentran directamente en la superficie de la carretera. Ayudan a guiar y controlar el tráfico. Incluyen:

Líneas de carril: Delimitan los carriles y pueden ser continuas o discontinuas, dependiendo de si se permite o no el cambio de carril.

Cruces peatonales: Indican áreas para que los peatones crucen la carretera.

Flechas de dirección: Señalan la dirección en la que se debe avanzar, como ir hacia adelante, girar a la derecha o a la izquierda.

Zonas de estacionamiento: Delimitan áreas donde se permite o prohíbe estacionar.

Otros símbolos: Como los símbolos de bicicleta para carriles exclusivos.

Señaléticas Verticales: Estas son las señales que se encuentran en postes o estructuras elevadas al lado de la carretera. Proporcionan información, regulaciones o advertencias a los conductores y peatones. Incluyen:

Señales de regulación: Como las señales de alto, ceda el paso y límites de velocidad.

Señales de advertencia: Alertan sobre condiciones o peligros próximos, como curvas, intersecciones o zonas escolares.

Señales de información: Proporcionan datos útiles, como nombres de calles o lugares de interés.

Señales de destino: Indican direcciones a ciudades o lugares específicos.

Señales luminosas o semáforos: Controlan el flujo de tráfico con luces de colores.

1.3. ANTECEDENTES REFERENCIALES

1.3.1 Optimización de intersecciones viales

La optimización de las intersecciones viales son una necesidad imperiosa ante los altos índices de congestión que se originan por el crecimiento exponencial de la población y el uso excesivo del vehículo unipersonal (Romero et al., 2017). Ante esto se ha tomado como referencia varios estudios relacionados al tema que han permitido tener un conocimiento más amplio sobre el tema de investigación y así de esta manera permitió

formular una metodología apropiada para optimizar las intersecciones viales a nivel con congestión vehicular en ciudades de hasta 300000 habitantes.

Optimización de intersecciones viales a desnivel.

Las intersecciones viales a desnivel, comúnmente conocidas como pasos subterráneos o elevados, se han convertido en una solución esencial para abordar los desafíos de congestión en áreas urbanas densamente pobladas. Estas estructuras permiten un flujo continuo de tráfico, eliminando la necesidad de señalizaciones y reduciendo de forma significativa los tiempos de espera (Bai et al., 2021).

En un estudio realizado por Kieć y otros (2019), en la intersección Patal Pusri de Palembang, se destacó la importancia de la iluminación adecuada en los pasos subterráneos. La investigación determinó que la intensidad y calidad de la iluminación en estos pasos es crucial para garantizar la seguridad y comodidad de los usuarios de la carretera. El estudio concluyó que la iluminación en el paso subterráneo de Patal Pusri cumplía con los estándares establecidos, proporcionando un ambiente seguro y bien iluminado para vehículos y peatones.

Además, la implementación de intersecciones a desnivel no solo se trata de la construcción física. El análisis detallado del impacto de trabajos en proyectos de carreteras utilizando el método de Gestión del Valor Ganado (EVM, por sus siglas en inglés) han mostrado que la planificación y gestión adecuadas son esenciales para garantizar que estas estructuras se construyan de manera eficiente y cumplan con los objetivos deseados (Quijia Escobar, 2020; Velásquez Restrepo, 2016).

Optimización de intersecciones viales a nivel.

La optimización de intersecciones a nivel se refiere a mejoras en intersecciones que no utilizan pasos elevados o subterráneos. Estas optimizaciones pueden incluir la reconfiguración de carriles, la implementación de señalizaciones más eficientes y la introducción de tecnologías inteligentes para monitorear y controlar el flujo de tráfico (Bai et al., 2021).

Un estudio de revisión sobre la evaluación del tráfico en intersecciones señalizadas destacó varios enfoques y software utilizados para la optimización de estas intersecciones. La investigación subrayó la importancia de comprender las causas

subyacentes de la congestión y utilizar herramientas y técnicas adecuadas para abordar estos desafíos (Owais et al., 2020).

Optimización de intersecciones viales a nivel en el mundo.

A nivel mundial, las ciudades están adoptando una variedad de estrategias para optimizar sus intersecciones viales a nivel. La optimización de las intersecciones de carreteras en todo el mundo es un aspecto crucial de la gestión del tráfico. Diversos estudios se han centrado en mejorar el rendimiento de las intersecciones mediante la optimización de la temporización de las señales, el diseño poco convencional de las intersecciones y el uso de áreas de espera en los carriles (LWA, por sus siglas en inglés). Desde soluciones basadas en tecnología hasta cambios en la infraestructura, hay muchos enfoques que se han implementado para mejorar el flujo de tráfico y reducir la congestión (Fernandes et al., 2020).

Los modelos de optimización de la temporización de las señales ayudan a determinar las asignaciones de carriles, las fases de la señal y los tiempos óptimos para las intersecciones convencionales. Los diseños de intersecciones no convencionales, como la intersección simétrica, tienen como objetivo aumentar la capacidad y reducir la duración del ciclo al separar los conflictos en tres fases de señal en lugar de cuatro (Giuffrè et al., 2018).

Las LWA pueden resultar beneficiosas desde el punto de vista económico cuando la capacidad de almacenamiento es de más de un vehículo, especialmente si se tienen en cuenta la coordinación de las señales y factores como la distancia entre las intersecciones y estrategias de temporización de las señales. Estas estrategias de optimización tienen como objetivo mejorar la eficiencia del tráfico, reducir los retrasos y aumentar la seguridad en las intersecciones (Congress et al., 2021).

Optimización de intersecciones viales a nivel en el Ecuador.

La optimización de intersecciones viales es esencial para mejorar la fluidez del tráfico, reducir los tiempos de espera y aumentar la seguridad vial. A lo largo de los años, se han desarrollado diversos métodos y técnicas para lograr estos objetivos. En el contexto de Ecuador, la optimización de intersecciones viales es esencial dada la rápida urbanización y el crecimiento del parque vehicular. Aunque no se encontraron estudios

específicos sobre Ecuador en la búsqueda inicial, es crucial considerar las características únicas del tráfico y la infraestructura del país al implementar soluciones de optimización.

La optimización de intersecciones viales a nivel en Ecuador es un tema de gran importancia para mejorar la eficiencia del tráfico y reducir la congestión. En Ecuador, existen normativas municipales y la NEVI-12 que proporcionan una idea geométrica básica de los radios de giros que deben tener una intersección (Villacreses Cabrera, 2015).

El objetivo de optimizar estas intersecciones es mejorar el comportamiento del flujo vehicular y disminuir la congestión vehicular existente. Sin embargo, hasta 2019 no se ha establecido un procedimiento claro y sencillo con el cual los ingenieros puedan diseñar estos tipos de elementos viales (Urbina Cantuta et al., 2019). Por lo tanto, se evidencia una clara necesidad de disponer de un documento que permita estandarizar dicho procedimiento. Es necesario desarrollar trabajos investigativos que calibren y ajusten constantes de diseño a los patrones del país. Esto permitirá que las intersecciones viales se diseñen de manera más eficiente y efectiva, mejorando así la movilidad y la seguridad vial en Ecuador.

1.3.2 Tratamiento de la congestión vehicular

La congestión vehicular es un problema común en muchas ciudades del mundo, especialmente en áreas urbanas densamente pobladas. Según Leonardi & Distefano (2023), esto se refiere a la acumulación excesiva de vehículos en las carreteras, lo que resulta en velocidades de desplazamiento reducidas, tiempos de viaje prolongados y un aumento en la emisión de contaminantes. Algunos casos de éxito en el tratamiento de la congestión vehicular que podemos tomar como referencia son:

Copenhague, Dinamarca: La ciudad implementó un sistema de sincronización de semáforos que prioriza el tráfico de bicicletas, lo que ha resultado en una circulación más fluida y segura para todos los usuarios de la vía (Periódico Sostenibles, 2020).

Melbourne, Australia: La introducción de rotondas en varias intersecciones ha reducido significativamente los accidentes y mejorado la eficiencia del tráfico.

Portland, EE. UU.: La ciudad ha utilizado sistemas de detección de vehículos para adaptar los tiempos de los semáforos en tiempo real, reduciendo la congestión y mejorando la movilidad urbana (Contreras et al., 2011).

Por qué se congestionan las intersecciones viales a nivel.

Las intersecciones viales a nivel son puntos críticos donde diferentes flujos de tráfico se cruzan. Según Yao y otros (2018) y Osei y otros (2021) estas intersecciones se congestionan debido a:

Aumento del parque vehicular: El crecimiento exponencial de vehículos en las ciudades ha llevado a un mayor volumen de tráfico en las intersecciones.

Sincronización inadecuada de semáforos: Una mala coordinación de las señales de tráfico puede resultar en tiempos de espera innecesarios.

Diseño de intersección ineficiente: Intersecciones mal diseñadas pueden causar puntos de estrangulamiento.

Accidentes o incidentes: Cualquier accidente o incidente en una intersección puede causar retrasos significativos.

Parámetros para estimar la congestión en intersecciones viales a nivel.

Para Giuffrè y otros (2018), los parámetros para estimar la congestión del tráfico en las intersecciones de carreteras a nivel se utilizan para calcular la estimación precisa del nivel de requisitos de seguridad vial (TSRL) y la evaluación diagnóstica de las intersecciones. Para estimar la congestión en intersecciones viales a nivel, se pueden considerar los siguientes parámetros:

Volumen de tráfico: Número de vehículos que pasan por la intersección en un período determinado.

Tiempo de espera: Tiempo promedio que los vehículos esperan en la intersección.

Nivel de Servicio (LOS): Una clasificación que describe la calidad operativa de una intersección basada en factores como velocidad, densidad y flujo de tráfico.

Al considerar estos parámetros, es posible evaluar el nivel de riesgo y congestión en las intersecciones de carreteras e identificar grupos de intersecciones propensas a registrar accidentes. De acuerdo con Plotnikov y Asaul (2020), los métodos empleados para evaluar la congestión vehicular en intersecciones viales a nivel pueden ser:

Método de estimación refinado: que tiene en cuenta el tipo y el número de puntos de conflicto, así como la intensidad del tráfico de vehículos y peatones en cada punto de conflicto, en función del LOS.

Método de diagnóstico: que utiliza únicamente datos sobre los tipos y el número de puntos conflictivos en función del volumen del tráfico y los tiempos de espera.

¿Cómo se disminuye la congestión vehicular intersecciones viales a nivel?

Para reducir la congestión en intersecciones viales a nivel, según Henríquez Ulloa (2019) Tan y otros (2018), Yao y otros (2018), se pueden implementar los siguientes métodos y técnicas:

Sincronización de semáforos: Ajustar los tiempos de los semáforos en intersecciones consecutivas para permitir un flujo continuo de vehículos a una velocidad.

Implementación de redondeles: Estas estructuras reducen los puntos de conflicto y facilitan el movimiento continuo de vehículos, disminuyendo la necesidad de detenerse completamente.

Diseño geométrico: Modificar la forma y dimensiones de la intersección para facilitar movimientos más fluidos y seguros. Esto también tiene el objetivo transferir o eliminar los movimientos de giro a la izquierda, lo que reduce significativamente la capacidad de intersección.

Sistemas de detección de vehículos: Utilizar sensores para detectar la presencia de vehículos y ajustar los tiempos de los semáforos en tiempo real.

Intersecciones con carriles exclusivos: Designar carriles específicos para movimientos particulares, giros a la izquierda, para reducir conflictos y mejorar la fluidez.

1.4. ANTECEDENTES CONTEXTUALES

1.4.1 Ubicación geográfica donde se realiza la investigación

Ilustración 1. Vista aérea de la intersección de El Bananero.



El cantón Machala pertenece a la provincia de El Oro, tiene una extensión aproximada de 37.275,24 ha. Machala es un cantón preferentemente comercial, agrícola y camaronero, lo que la convierte en un polo de desarrollo económico del sur del país. Por ser una ciudad con este tipo de atractivos sus calles e intersecciones en ciertos puntos existen congestión vehicular debido a la alta demanda de sus usuarios, por lo que se procedió a Analizar la optimización de intersecciones viales a nivel que permita la reducción de la congestión vehicular en ciudades de hasta 300000 habitantes, para lo cual se escogió la intersección vial del Monumento al Bananero de la Ciudad de Machala (Av. 25 de junio y Av. Alejandro Castro Benites).

Ubicación geográfica donde se ejecuta el estudio.

El presente estudio se ejecutará en la intersección vial Av. 25 de junio y Av. Alejandro Castro Benites (Monumento al Bananero) de la Ciudad de Machala ubicada geográficamente a 3°16'38"S, 79°56'09".

1.4.2. Caracterización de la zona de estudio

Contexto urbano:

La Ciudad de Machala, situada en la provincia de El Oro, región litoral del Ecuador, se caracteriza por ser conocida como la Capital Bananera del Mundo, es una ciudad que combina la vida urbana con la riqueza de su producción agrícola. Como cantón, incluye la parroquia de Puerto Bolívar, que es un punto clave para el comercio regional por tener una zona marítima de carga y descarga de mercadería.

La intersección en estudio se encuentra en una zona que refleja esta dualidad, siendo un punto de encuentro entre las áreas urbanas y las zonas de producción bananera. Asimismo, la intersección seleccionada desempeña un papel crucial en la red vial de la ciudad, siendo la vía de entrada principal hacia la zona urbana de la ciudad de Machala y la parroquia Puerto Bolívar (Oyola Estrada et al., 2017).

Zona del monumento al Bananero:

El Monumento al Bananero, ubicado en la intersección, se erige como un referente cultural e histórico para la ciudad. Su presencia no solo añade singularidad a la zona, sino que también puede influir en los patrones de tráfico y la dinámica local, pues esta intersección es un punto neurálgico de la ciudad, siendo un eje importante para el tránsito vehicular (Mora, 2020).

Características físicas y urbanísticas:

La intersección exhibe características físicas notables, tales como su proximidad al centro comercial más concurrido de la ciudad (Centro Comercial Paseo Shopping), concesionarios automotrices, urbanizaciones, entidades bancarias y demás puntos de alta circulación vehicular. Además, la presencia del propio monumento El Bananero contribuye a la identidad de la ciudad y la provincia.

Actividades y usos del suelo:

Es fundamental entender las actividades económicas y los usos del suelo en la proximidad de la intersección de estudio. Las zonas comerciales y residenciales cercanas influyen en la circulación vehicular y peatonal en la ciudad de Machala por ser de alta demanda, presentando características particulares que la hacen única, y que necesite una sólida estructura superficial. Por un lado, la Av. 25 de junio es una vía de gran importancia que atraviesa la ciudad de este a oeste, mientras que la Av. Alejandro Castro Benites es una arteria principal que fluye de norte a sur. Ambas avenidas son vitales para la movilidad en Machala, lo que resalta la relevancia de esta intersección.

Problemas y desafíos actuales:

La intersección vial de la Av. 25 de junio y Av. Alejandro Castro Benites presenta varios desafíos que justifican la necesidad de este estudio. Entre los más destacados están:

- **Congestión de tráfico:** La intersección es un punto crítico de tráfico en la ciudad de Machala. El crecimiento del parque vehicular y las estrategias inadecuadas de gestión del tráfico han llevado a un aumento en las demoras de viaje. Este problema se ve agravado durante las horas pico, lo que resulta en tiempos de viaje más largos y mayor estrés para los conductores (Hernández et al., 2015).
- **Problemas de seguridad vial:** La seguridad vial es una preocupación importante en esta intersección. La falta de inclusión de los distintos modos de transporte y el mal diseño de la vía pueden contribuir a un mayor riesgo de accidentes. Además, la falta de prioridad en el sistema vial para los usuarios más vulnerables puede aumentar el riesgo de accidentes (Flores Valencia & Ferré Quispe, 2023; Rodríguez Maza, 2020).
- **Diseño geométrico de la intersección:** El diseño actual de la intersección puede generar demoras innecesarias y no favorece la movilidad sostenible⁵. La optimización del diseño geométrico de la intersección, como la implementación de rotondas, pasos a desnivel o semaforizaciones, podría mejorar la fluidez del tráfico y la seguridad vial (Hernández et al., 2015).

Importancia estratégica:

La intersección de la Av. 25 de junio y Av. Alejandro Castro Benites juega un papel estratégico en la movilidad urbana de Machala. Su ubicación y las vías que la conforman la convierten en un punto de tránsito obligado para muchos residentes de la ciudad, ya sea para desplazarse a sus lugares de trabajo, escuelas, centros comerciales o simplemente para acceder a otras partes de la ciudad.

Además, esta intersección es un punto de encuentro entre la vida urbana y las zonas comerciales o residenciales, lo que la convierte en un eje importante para el transporte de mercancías. Esto no solo tiene implicaciones en términos de tráfico, sino que también afecta la economía local y la vida cotidiana de los residentes.

La eficiencia y seguridad de esta intersección son vitales para mantener la fluidez del tráfico y garantizar la movilidad de los residentes. Un mal funcionamiento de esta intersección puede generar congestiones, aumentar los tiempos de viaje y poner en riesgo la seguridad de los usuarios de la vía.

CAPITULO II: METODOLOGIA

2.1 MÉTODOS

2.1.1 Tipo de estudio

El tipo de estudio de la presente investigación por su propósito es aplicada, por su nivel de profundidad es descriptiva, en vista de que dentro de la investigación se consideró mucha bibliografía y datos tomados en el campo durante el estudio esta se considera documental y de campo, por su tiempo de investigación es transversal y sincrónica, el método aplicado es inductivo; todo esto generó una serie de resultados y análisis lo que finalmente permitió formular una metodología para optimización de intersecciones viales a nivel con congestión vehicular en ciudades de hasta 300000 habitantes.

2.1.2. Enfoque y alcance del estudio.

La investigación tendrá un enfoque cuantitativo, basado en el análisis de datos numéricos sobre el tráfico vehicular en la intersección. Siendo esta cuantitativa debido a que se consideró el estado actual de la intersección vial a nivel, para lo cual se tomó en cuenta su funcionamiento, y su grado de congestión, esto se logró a través de conteo de tráfico, de encuestas de origen y destino, y micro simulaciones.

El alcance es aplicado, orientado a resolver un problema práctico como es la congestión vehicular en la intersección. La investigación es aplicada porque se requiere implementar pruebas simuladas de las diferentes configuraciones de la intersección y sus resultados en términos de congestión y niveles de servicio. Esto permitirá tomar decisiones precisas para proponer las adaptaciones que resuelvan el problema.

2.1.3. Diseño de la investigación.

Se utilizará un diseño cuasiexperimental, en el cual se manipularán deliberadamente variables relacionadas con la geometría y señalización de la intersección para evaluar su efecto sobre la congestión vehicular. Se realizarán cuatro simulaciones en el software Aimsun con diferentes configuraciones. En este estudio se realiza un análisis de la capacidad de la intersección, el tipo de vehículos que circulan por la misma, y así como también la población que utiliza la intersección.

2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población estará constituida por los vehículos que transitan por las intersecciones viales a nivel con congestión vehicular de la ciudad de Machala; específicamente, por la intersección del Redondel de El Bananero en un día laboral. La muestra será una fracción representativa de esta población, determinada a partir de aforos vehiculares realizados previamente en el sitio. En específico, el círculo de tráfico del Monumento al Bananero, ubicado en la intersección de la Avenida 25 de junio y Alejandro Castro Benites de la ciudad de Machala, Cantón Machala, Provincia de El Oro.

Con esta metodología se busca cumplir los objetivos del estudio, proporcionando un enfoque riguroso basado en la modelación del tráfico para evaluar alternativas que permitan reducir la congestión en la intersección. Los resultados esperados son identificar qué modificaciones a la geometría o señalización de la intersección generan mejoras significativas en su nivel de servicio.

2.2.1. Técnicas de recolección de datos

Los datos sobre el volumen vehicular serán recolectados mediante aforos manuales realizados en la intersección. También se utilizarán imágenes satelitales y visitas de campo para determinar la geometría actual de la intersección. Estos datos de la línea base se obtienen de la recopilación de información proporcionada por el Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Machala, en lo referente al conteo de tráfico, levantamientos topográficos, encuestas de origen y destino, simulaciones de la intersección se las obtuvo con el equipo de apoyo.

2.2.2. Procesamiento y análisis de datos

Los datos de volumen vehicular serán tabulados y procesados para ingresarlos en el modelo de simulación en Aimsun. Se realizarán pruebas de bondad de ajuste para calibrar el modelo. Los resultados de las simulaciones serán analizados mediante estadística descriptiva e inferencial.

La técnica de la estadística descriptiva permite analizar e interpretar de forma cuantitativa y cualitativa los resultados que se obtuvieron de la metodología para optimización de intersecciones viales a nivel con congestión vehicular en ciudades de hasta 300000 habitantes. Y, la estadística inferencial, para determinar el efecto de las diferentes configuraciones de la intersección.

Para la simulación, la metodología se basa en el uso de datos reales, modelado en Aimsun, simulación de escenarios, análisis de resultados y evaluación comparativa para estudiar posibles mejoras en la intersección. Esto inicia con el conteo vehicular en el sector comprometido.

2.3. MODELO DE IMPLEMENTACIÓN

2.3.1. Información base del modelo

La metodología para el conteo vehicular automático consiste en realizar cuatro tipos de simulaciones para abordar diferentes escenarios. La primera simulación refleja el estado actual del tráfico en el Redondel de El Bananero, tomando como referencia los datos obtenidos a partir de conteos vehiculares reales. La segunda simulación consideró la implementación de semáforos en la intersección, mientras que la tercera propuso la introducción de carriles de giro a la derecha para optimizar el flujo vehicular. En la cuarta simulación, se evaluó el impacto de añadir un carril adicional en las vías de ingreso principal al redondel. Estos escenarios fueron seleccionados estratégicamente para abordar distintos aspectos del tráfico, desde la regulación mediante semáforos hasta la optimización de los carriles de giro y el aumento de capacidad en las vías de acceso.

Tabla 1 Datos de aforos vehiculares.

AVENIDA	25 de JUNIO			ALEJANDRO CASTRO		
SENTIDO	%	E-O	O-E	%	N-S	S-N
TOTAL			1730		1466	
AUTOS	82%	1419	1202	83%	524	267
BUSES	2%	35	29	2%	13	7
PESADOS	6%	104	88	4%	27	14
MOTOS	10%	173	147	10%	65	33

Modelo actual.

La simulación del modelo actual en el Redondel de El Bananero, realizada con el programa Aimsun, proporciona una visión detallada de la dinámica del tráfico en esta importante intersección de la ciudad de Machala. La representación visual del flujo vehicular utiliza un código de colores que varía de 0 a 1, indicando los niveles de servicio desde A hasta E, donde A representa una circulación fluida y E denota una congestión extrema. En el análisis detallado de la simulación, se destaca un fenómeno notable en la

Avenida 25 de Junio durante las horas pico. El código de colores revela la presencia de un congestionamiento significativo en esta vía, indicando un nivel de servicio menos favorable, probablemente clasificado como C, D o incluso E dependiendo de la intensidad del tráfico.

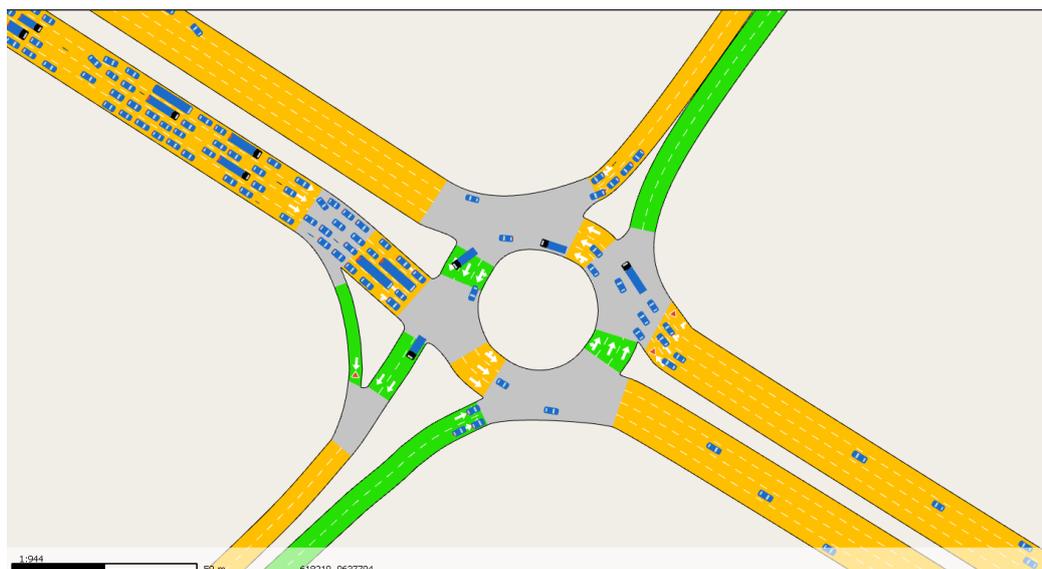
Este congestionamiento puede atribuirse a diversos factores, como el volumen de vehículos que convergen en el redondel, la configuración actual de carriles y la interacción con otros flujos de tráfico provenientes de las vías adyacentes. La observación detallada de este escenario crítico en la Avenida 25 de junio es fundamental para comprender las áreas específicas que requieren atención y posibles mejoras en la gestión.

Tabla 2 Datos del flujo simulado según el nivel de servicio.

Nivel de servicio	Flujo Simulado
A	0-0.25
B	0.25-0.5
C	0.5-0.75
D	0.75-1
E	>1



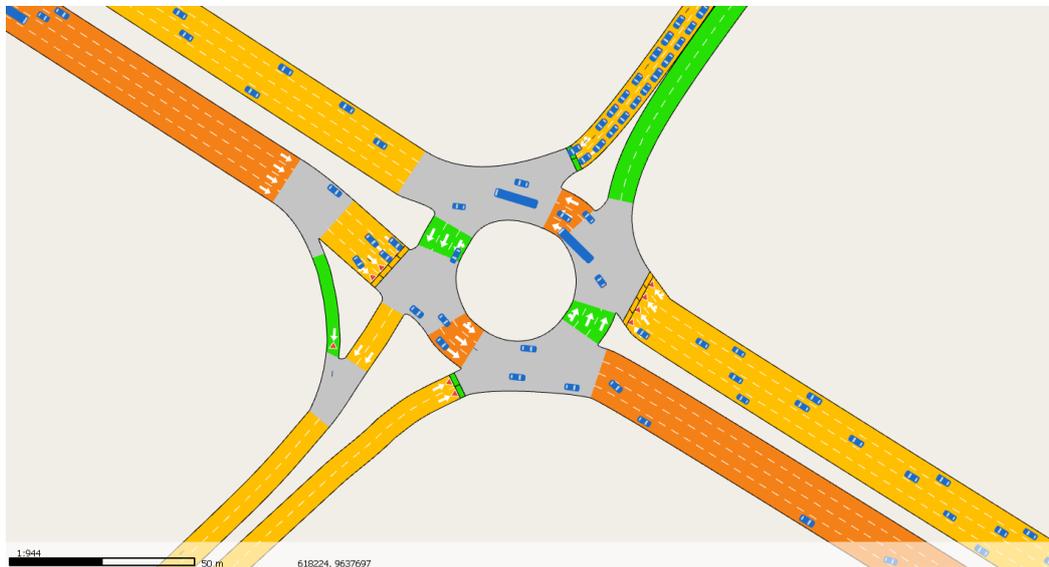
Ilustración 2. Representación de la simulación del modelo actual en el Redondel de El Bananero.



Modelo semaforizado.

En comparación con el modelo actual, la introducción de semáforos ha demostrado ser efectiva en mantener los niveles de servicio en general sin un deterioro significativo. Sin embargo, se observan ciertos puntos de congestión en las salidas de vehículos hacia ciertas direcciones específicas. Estos congestionamientos pueden ser atribuidos a factores como la sincronización de los semáforos, el volumen de vehículos que ingresan desde ciertas vías y la distribución desigual de flujos de tráfico. el modelo semaforizado mantiene un nivel de servicio igual al anterior en la mayoría de las áreas del redondel.

Ilustración 3. Representación de la simulación del modelo semaforizado para el Redondel de El Bananero.

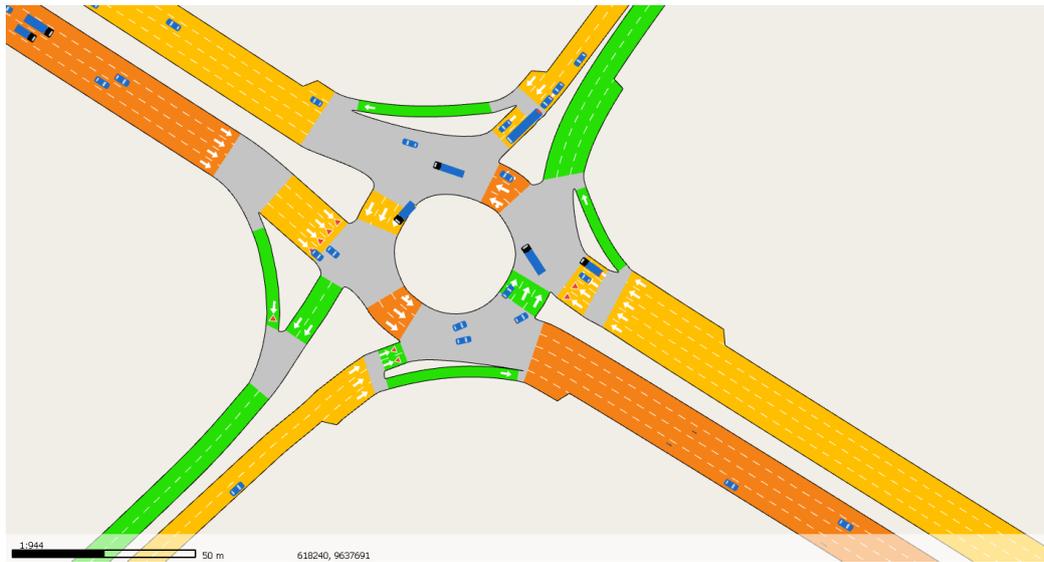


Modelo con carriles de giro.

La simulación del modelo que incorpora un aumento de carriles de giro en las vías principales del Redondel de El Bananero refleja una reducción notable en los estancamientos, especialmente en las áreas donde se han implementado los carriles de giro adicionales.

La adición de carriles de giro demuestra ser efectiva para mejorar la circulación vehicular, particularmente para los vehículos que necesitan ingresar y salir del redondel. El código de colores muestra que, en comparación con los modelos anteriores, la introducción de carriles de giro adicionales ha elevado los niveles de servicio, creando un entorno de tráfico más eficiente.

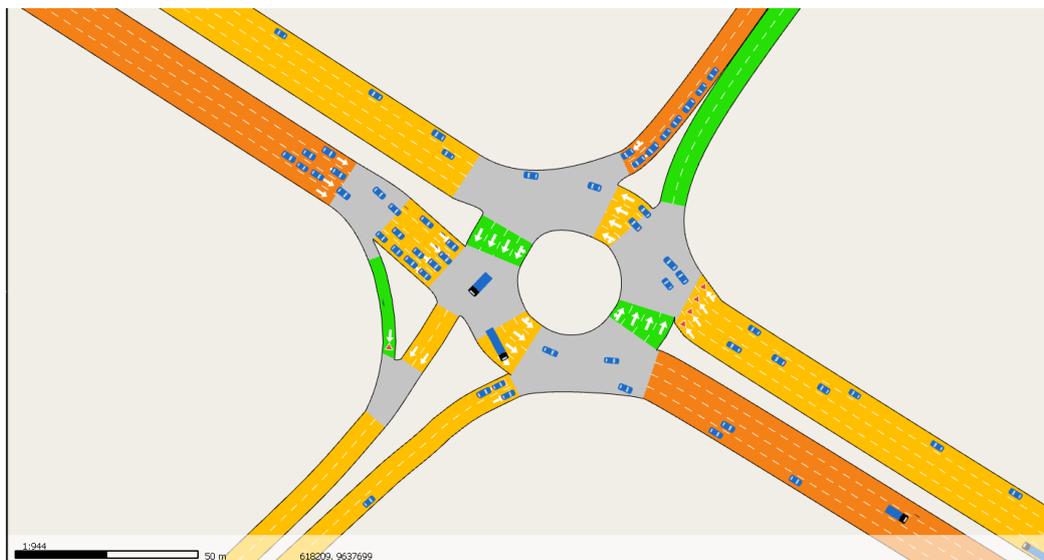
Ilustración 4. Representación de la simulación del modelo con carriles de giro para el Redondel de El Bananero.



Modelo de aumento de capacidad.

A pesar de la intervención de añadir un carril adicional dentro del redondel, los niveles de servicio y la situación general de congestión muestran una mejora limitada. El código de colores refleja que la adición del carril interno no ha tenido un impacto significativo en la reducción de estancamientos o en la mejora de la fluidez del tráfico. Esta observación sugiere que, aunque la incorporación de carriles adicionales en las vías de acceso principal ha demostrado ser efectiva, la adición de un carril interno dentro del redondel no presenta cambios sustanciales en la movilidad.

Ilustración 5. Representación de la simulación del modelo de aumento de capacidad para el Redondel de El Bananero.

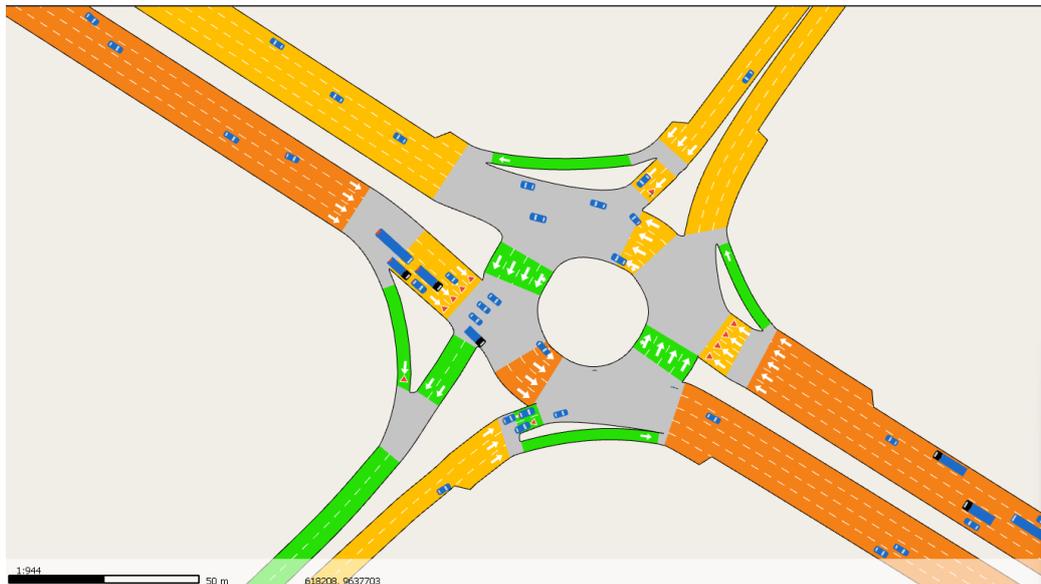


Modelo aumento de capacidad y giros.

La simulación del modelo que combina la adición de carriles de giro a la derecha en las vías principales y el aumento de un carril dentro del Redondel de El Bananero, mediante el programa Aimsun, presenta resultados alentadores para la optimización del tráfico. La representación gráfica, utilizando un código de colores que varía de 0 a 1 para indicar los niveles de servicio desde A hasta E, revela una reducción en los niveles de servicio, situándolos en un nivel B, lo cual indica una mejora en la fluidez del tráfico. La combinación de ambas propuestas ha demostrado abordar de manera efectiva los puntos críticos de congestión. La adición de carriles de giro a la derecha en las vías principales facilita el flujo de vehículos que ingresan y salen del redondel, mientras que el aumento de un carril interno contribuye a la gestión más eficiente del tráfico dentro del mismo.

El código de colores refleja que esta estrategia integrada ha logrado reducir estancamientos, mejorando la experiencia de conducción y disminuyendo las posibilidades de congestión en el Redondel de El Bananero.

Ilustración 6. Representación de la simulación del modelo combinado de aumento de capacidad y carriles de giro para el Redondel de El Bananero.



2.3.2. Implementación del modelo

Una vez que se realizan los conteos vehiculares en la intersección para obtener datos reales sobre el volumen y composición del tráfico, se toman estos datos como la base para calibrar el modelo de simulación. La metodología utilizada en la simulación de tráfico consistió en lo siguiente:

Se crea un modelo de simulación del escenario actual en Aimsun, utilizando los datos de los conteos vehiculares. Este modelo representa la situación existente sin modificaciones.

Se realizan 4 tipos de simulaciones para evaluar diferentes escenarios:

1. Modelo actual: situación existente.
2. Modelo semaforizado: con incorporación de semáforos.
3. Modelo con carriles de giro: con adición de carriles de giro a la derecha.
4. Modelo aumento de capacidad: con adición de un carril extra en las vías principales.
5. Modelo aumento de capacidad y giros: combinación de 4 y 3.

Cada modelo se simula en Aimsun durante períodos pico para evaluar su impacto en métricas como densidad vehicular, colas, tiempos de demora, nivel de servicio, etc.

Los resultados de las simulaciones se analizan tanto gráfica como numéricamente para identificar las fortalezas y debilidades de cada escenario.

CAPITULO III: PROPUESTA METODOLÓGICA

3.1. DATOS INFORMATIVOS

3.1.1. Título

Metodología para optimización de intersecciones viales a nivel con congestión vehicular en ciudades de hasta 300000 habitantes.

3.1.2. Institución ejecutora

Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Machala.

3.1.3. Beneficiarios

Usuarios de la intersección.

3.1.4. Ubicación

Intersección de la avenida 25 de junio y Alejandro Castro Benites de la ciudad de Machala, cantón Machala, provincia de El Oro.

3.1.5. Tiempo estimado para la ejecución

60 días.

3.1.6. Equipo técnico responsable

Tabla 3. Detalle del equipo técnico participante para la propuesta metodológica.

Jefe de proyecto	1
Topógrafo	1
Cadeneros	2
Dibujante	1
Contadores de trafico	8
Encuestadores	8
Digitadores	1

3.1.7. Costo

El valor estimado para el desarrollo de la presente investigación será \$10,000.00. el detalle se muestra en la tabla siguiente, por tipo de recurso.

Tabla 4. Presupuesto estimado para el desarrollo de la propuesta metodológica.

Ítem	Recurso	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Mano de obra				
1	Jefe de proyecto	1	\$ 600.00	\$ 600.00
2	Topógrafo	1	\$ 600.00	\$ 600.00
3	Cadeneros	2	\$ 450.00	\$ 900.00
4	Dibujante	1	\$ 450.00	\$ 450.00
5	Contadores de trafico	8	\$ 250.00	\$ 2,000.00
6	Encuestadores	8	\$ 250.00	\$ 2,000.00
7	Digitadores	1	\$ 600.00	\$ 600.00
Máquinas y equipos				
8	Contador de vehículos RoadPod VT	1	\$ 950.00	\$ 950.00
9	Taladro	1	\$ 200.00	\$ 200.00
10	Mangueras de goma, rollo de 50 m.	2	\$ 35.00	\$ 70.00
11	Pernos	40	\$ 1.00	\$ 40.00
12	Taco Fisher	40	\$ 0.25	\$ 10.00
13	Cadenas, 8mm x 25 m.	4	\$ 25.00	\$ 100.00
14	Flexómetro	1	\$ 30.00	\$ 30.00
15	Chova, lámina asfáltica	25	\$ 8.00	\$ 200.00
16	Conos reflectivos	8	\$ 150.00	\$ 1,200.00
Tecnológicos				
17	Software Metrocount	1	\$ 50.00	\$ 50.00
18	Software Aimsun	1	-	\$ -
Total				\$10,000.00

3.2. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

La metodología para la optimización de intersecciones viales a nivel y la congestión vehicular en ciudades de hasta 300000 habitantes, sirve como instrumento de análisis a las diferentes instituciones públicas directamente interesadas, como por ejemplo los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD's), las prefecturas; siendo los beneficiarios directos la población o usuarios de este tipo es de infraestructura vial como lo son las intersecciones, pues al realizar una correcta optimización justificando los componentes técnicos, económicos, sociales y ambientales lo que permitirá a las autorizadas realizar la intervención adecuada y solucionar los problemas que puedan sobrellevar una intersección con congestión de vehicular.

La presente investigación se centró en la optimización de intersecciones viales a nivel y la congestión vehicular que se produce, en el círculo de tráfico del Monumento al Bananero, ubicado en la intersección de la Avenida 25 de junio y Alejandro Castro Benites de la ciudad de Machala, Cantón Machala, Provincia de El Oro. La investigación se la realizara a los usuarios de la intersección en el año 2022. El tiempo que tomará en realizar el trabajo será de 15 días, los datos de entrada conteo de tráfico, encuestas OD, levantamientos topográficos.

Para analizar el aforo vehicular, se usó un equipo contador neumático vehicular de última generación. La recolección de datos se llevó a cabo durante un periodo de tres días, con el objetivo de obtener una muestra representativa del flujo vehicular en la Avenida 25 de junio.

3.3 JUSTIFICACIÓN

La metodología para la optimización de intersecciones viales a nivel con congestión vehicular en ciudades de hasta 300000 habitantes utiliza equipos de precisión y software de alto rendimiento, que permitirá en corto tiempo caracterizar la condición actual de la intersección para definir su optimización. Para su ejecución se seleccionó la avenida 25 de junio, en la intersección del redondel El Bananero, que constituye el principal punto de entrada y salida de la ciudad y la zona con el mayor tránsito.

La Avenida 25 de junio es una importante vía ubicada en la ciudad de Machala, en la provincia de El Oro, Ecuador. Esta avenida atraviesa diferentes sectores de la ciudad y desempeña un papel crucial en la conectividad y el transporte local. Muchas empresas,

tiendas y servicios se ubican a lo largo de esta avenida para aprovechar la visibilidad y el fácil acceso, convirtiéndolas en centros comerciales importantes. Además, es una de las principales rutas para el transporte público y privado, facilitando el desplazamiento de un gran número de personas.

Tomado desde el Plan de Ordenamiento Territorial, la ciudad de Machala es la capital de la provincia de El Oro, ubicada al sur oeste del Ecuador es una de sus ciudades costeras con una altitud de 6 msnm, lo que la convierte en uno de los puertos marítimos más importantes del país, para la exportación de productos como banano y camarón a países europeos y de otras partes del mundo. La Capital oreense limita por el lado Norte con el cantón El Guabo, al Sur con el cantón Santa Rosa, al Este con el cantón Pasaje y al Oeste con el Océano Pacífico.

El cantón Machala, se encuentra distribuido políticamente en 7 parroquias urbanas que son: Machala, Jambelí, La Providencia, Puerto Bolívar, Jubones, Nueve de Mayo, El Cambio y El Retiro como su única parroquia urbana y una población de 256.022 habitantes, según el último censo de población y vivienda 2010.

El estudio de un método de optimización de la intersección redondel de El Bananero permitirá, entre otros aspectos, su caracterización y análisis de alternativas que permitan disminuir la congestión vehicular en el punto. Esto tiene el potencial para emplearse en el modelamiento de un procedimiento replicable para otras intersecciones viales a nivel.

3.4. OBJETIVOS

3.4.1. Objetivo General

Aplicar la metodología para la optimización de intersecciones viales a nivel para disminuir la congestión vehicular en ciudades de hasta 300000 habitantes.

3.4.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar la intersección vial y su congestión vehicular mediante la observación, medición y registro de campo en la intersección del estudio.
- Análisis de alternativas mediante software de simulación que permitan disminuir la congestión vehicular de intersecciones viales a nivel.
- Implementar la optimización de la intersección vial a nivel y comprobar la disminución de la congestión vehicular.

3.5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

La metodología propuesta es conveniente porque permite conocer de manera precisa el estado actual de la intersección, esto a través de la utilización de equipos tecnológicos disponibles en el mercado.

Con los resultados obtenidos de la intersección, se tomarán las mejores decisiones que al final beneficiaran a los usuarios, que día a día transitan por este tipo de infraestructura vial como lo son las intersecciones. Si se mejora la circulación en las intersecciones esto significa un ahorro en cada uno de sus usuarios. Para su implementación, se describe un breve análisis de factibilidad.

3.5.1. Factibilidad técnica

El equipo técnico descrito cuenta con el personal calificado necesario para ejecutar el estudio, incluyendo un jefe de proyecto, topógrafo, dibujante, contadores de tráfico y encuestadores. Se plantea el uso de equipos especializados como contador de vehículos RoadPod VT para el aforo y el software Metrocount para el procesamiento de datos. Esto permitirá obtener datos confiables del flujo vehicular.

Se utilizará el software Aimsun para el análisis y simulación de alternativas. Esta es una herramienta ampliamente utilizada para modelar el tráfico. El nivel de detalle en la caracterización de la intersección y el uso de software especializado garantizan la solidez técnica de la propuesta.

3.5.2. Factibilidad económica

El presupuesto estimado es de \$10,000, lo cual parece razonable para el alcance del proyecto. Los salarios del personal y costos de equipos se encuentran dentro de rangos estándar para este tipo de estudios.

Al tratarse de la optimización de una intersección clave para la ciudad, el impacto positivo en la movilidad compensaría la inversión. Sería recomendable analizar posibles ahorros en la adquisición de software.

3.5.3. Factibilidad operativa

El tiempo estimado de ejecución de 60 días parece adecuado considerando las actividades descritas. La ubicación seleccionada es estratégica al ser un punto de gran afluencia vehicular en la ciudad.

Se cuenta con el apoyo necesario de la institución local para proveer recursos y permitir la implementación. Es clave coordinar los cierres parciales de vías para realizar los aforos y encuestas sin afectar significativamente el flujo vehicular.

3.6. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO-TÉCNICA

Para caracterizar el tráfico vehicular se requiere medir variables como el volumen o flujo vehicular, la velocidad y la clasificación de los vehículos. Esto se logra mediante el uso de contadores automáticos instalados en la vía.

Según Cisneros Ortiz (2023), los contadores automáticos de tráfico son dispositivos que detectan el paso de vehículos y obtienen datos como conteos, velocidad, separación entre vehículos y clasificación. Los contadores neumáticos son un tipo de contador automático que funciona instalando tubos neumáticos a través de la calzada.

El flujo o volumen vehicular se define como el número de vehículos que pasan por un punto de la carretera durante un intervalo de tiempo (Verdezoto et al., 2020). Este parámetro permite cuantificar la demanda de tráfico.

La velocidad de circulación es la rapidez a la que se desplazan los vehículos. Según Cuentas Cárdenas & Ayala Cusiwallpa (2019), la velocidad influye en la capacidad y nivel de servicio de la vía.

La clasificación vehicular categoriza a los vehículos según sus características físicas y operativas. Los tipos de vehículos más comunes son automóviles, buses, camiones ligeros y camiones pesados (Palacios Jara, 2019).

Los contadores neumáticos consisten en tubos que se instalan perpendicularmente al flujo vehicular. Cuando un vehículo pasa sobre el tubo, este se comprime, lo que envía una señal al equipo de procesamiento. Así se detecta y clasifica cada vehículo, midiendo además su velocidad (Leal Bermejo, 2018).

Los contadores neumáticos proporcionan datos confiables y precisos sobre el tráfico, permitiendo caracterizar sus variables principales. Son una tecnología ampliamente utilizada en estudios de ingeniería de tránsito.

3.7. METODOLOGÍA. MODELO OPERATIVO

Los puntos de conteo vehicular fueron estratégicamente seleccionados para brindar una perspectiva integral del tráfico en la Avenida 25 de junio. Estos puntos incluyeron una ubicación en la Avenida 25 de junio cercana con el Redondel de El

Bananero y la ubicación cercana a los almacenes De Prati. Ambas ubicaciones fueron elegidas debido a su importancia en la circulación vehicular y su potencial impacto en la movilidad urbana.

3.7.1. Equipo utilizado

Para realizar el aforo vehicular se utilizó un contador neumático vehicular, modelo VT 5900. Además, se contó con los siguientes accesorios:

- Contador Neumático
- Taladro
- Mangueras de goma
- Pernos
- Taco Fisher
- Cadenas
- Flexómetro
- Choba
- Conos reflectivos

3.7.2. Instalación

Para el conteo automático vehicular se colocó en la Av. dos tubos separados a 1 metro y sujetados con bichas de anclaje empernadas al pavimento, y templadas para no producir pandeo. Al extremo de los tubos se asegura el equipo de acuerdo con la configuración predefinida mediante el software para el contador “METROCOUNT”.

3.7.3. Configuración de contadores

Para que los contadores inicien su conteo es necesario realizar una configuración con la información de acuerdo con donde será ubicado con el software proporcionado por Metrocount. En la configuración del programa se crea un nuevo sitio, donde agregaremos la siguiente información: el nombre del sitio, el tipo de contador que se usará y la dirección hacia donde se desea realizar el conteo. Una vez configurado se conecta el equipo para que reconozca el programa y cargamos la configuración realizada. Confirmamos que el equipo este “Running” que significa que está realizando el conteo.

3.7.4. Descarga de datos

Para la descarga de datos se sigue el siguiente proceso:

Abrimos el sitio el cual configuramos cuando se inició el conteo. Y conectamos el equipo.

Procedemos a dar Click en Unload para la descarga de datos y se guardara en una carpeta especifica

3.7.5. Análisis de datos

Determinamos los aforos por cada día, durante los 3 días.

Determinamos el flujo apilado que servirá para visualizar el tipo y el flujo vehicular por cada día.

Determinamos la clasificación por tipo de vehículos mediante la tabla del MTOP

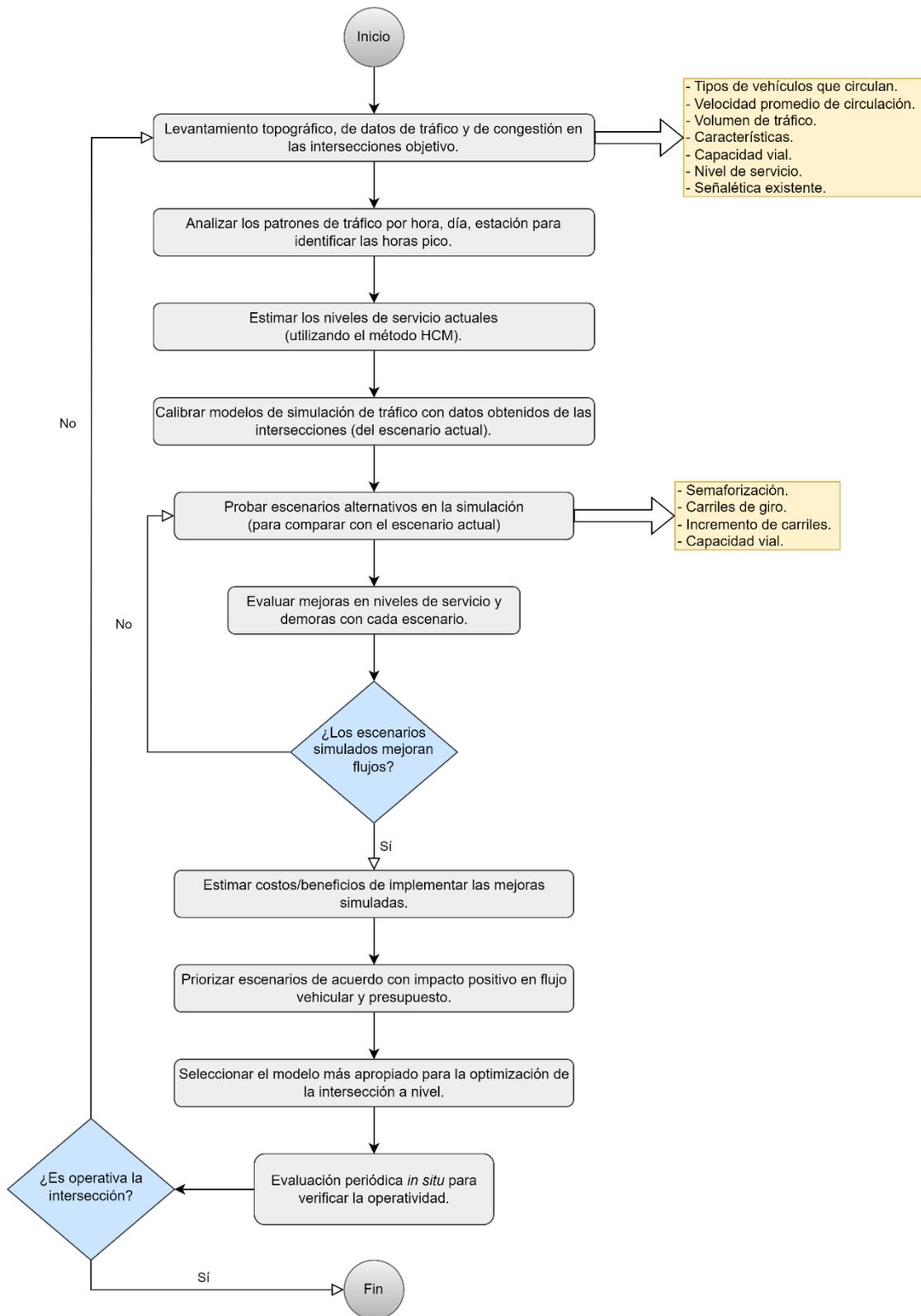
Determinamos las velocidades media, máxima y mínima obtenidas en los aforos.

3.7.6. Esquema modelo o metodología

Tal como se ha planteado, el objetivo general de la investigación es desarrollar una metodología para la optimización de intersecciones viales a nivel que permita la reducción de la congestión vehicular en ciudades de hasta 300000 habitantes. La propuesta metodológica, en sí, de esta investigación se llevó a cabo con el propósito de evaluar y comprender el comportamiento del tráfico en la intersección del Redondel de El Bananero de la ciudad de Machala, mediante la utilización de conteos vehiculares, con miras a proponer mejoras que optimicen la circulación vehicular y peatonal en la zona.

En la siguiente imagen se esquematiza la metodología aplicada. A nivel operativo, para la prueba de escenarios, se busca caracterizar el tráfico vehicular mediante contadores neumáticos vehiculares que sirven para la obtención de flujos vehiculares, velocidades de circulación y clasificación vehicular.

Ilustración 7. Esquema metodológico de la propuesta.



3.8. ADMINISTRACIÓN DE LA PROPUESTA

La unidad operativa que administrará la propuesta no se ha definido. Sin embargo, se propone contar con:

1. Un coordinador general a cargo de planificar y supervisar las mediciones.
2. Técnicos encargados de instalar, configurar y manejar los equipos en campo.
3. Analistas para procesar y evaluar los datos recolectados.
4. Personal de apoyo logístico.

Las principales actividades serían: planificación, instalación de equipos, recolección de datos, análisis, elaboración de informes y seguimiento con fines de mejora continua.

3.9. PLAN DE MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA

Esta propuesta metodología es aplicable a todas las intersecciones a nivel del país y el mundo, sean administradas por los Gobiernos Autónomos Descentralizados Locales o cualquier ente regente sobre la temática, y tiene como último fin, obtener de manera objetiva la disminución de la congestión vehicular en intersecciones a nivel en ciudades de hasta 300000 habitantes.

CAPITULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El presente estudio que conmina esta investigación verifico cada una de las hipótesis planteadas, las mismas que permitieron obtener las directrices para la aplicación de esta metodología.

De los resultados obtenidos en el estudio caso de esta investigación se ha planteado varios lineamientos que determinan la aplicación de la metodología y permitir encontrar la mejor solución tanto técnica, económica, ambiental y social.

Además, estos resultados han sido debidamente analizados y comparados con otras metodologías que han tratado de resolver problemas de similar característica, las mismas que después de un detallado análisis se ha establecido que la metodología propuesta en esta investigación permitirá tomar decisiones sobre este tipo de problema como lo es la congestión vehicular en intersecciones a nivel en ciudades de hasta 300000 habitantes.

La presente metodología, también contribuirá a la parte técnica como a la parte académica ya que plantea tener una herramienta de primera mano que permitir hacer un análisis de las intersecciones con congestión vehicular y dar una solución siguiendo los lineamientos planteados.

Durante el presente estudio una de las limitaciones que se presentaron fue la escasa bibliografía sobre el tema en cuestión, pero eso no fue una limitante para la elaboración de la metodología.

Finalmente, cualquier profesional del área afín que estime utilizar esta metodología estará en la capacidad de poder establecer o caracterizar una intersección a nivel y definir su grado de congestión y finalmente plantear alternativas de solución a la misma.

Una vez terminado el presente estudio se anexa cada uno de los cálculos, dimensionamientos, encuestas, simulaciones que permitieron establecer la presente metodología los mismos que se anexan a continuación.

4.1.1. Conteos avenida 25 de junio altura almacenes De Prati

De forma resumida, sobre los conteos en la avenida 25 de junio altura almacenes De Prati y la avenida 25 de junio altura Trionica cerca al redondel El Bananero, se puede indicar que:

- Los volúmenes de tráfico más altos se registraron los viernes, con cerca de 50.000 veh/día en ambos puntos de medición. Esto refleja un mayor flujo en días laborables.
- El sábado el volumen baja a alrededor de 42.000 veh/día y el domingo cae aún más a unos 34.000 veh/día, mostrando la tendencia esperada de menos tráfico en fin de semana.
- Se aprecian las horas pico de la mañana entre 06:30-08:00 y de la tarde 17:00-19:00 entre semana, mientras el sábado y domingo el pico se da al mediodía.
- El punto en Almacenes De Prati registra mayor flujo que en el Redondel El Bananero, indicando incorporación de vehículos en ese tramo de la avenida.

Día 1

Tabla 5 Aforo día 1 SENTIDO OSTE-ESTE

* viernes, 8 de diciembre de 2023 - Total=27481, Desglose Secundario en Minutos 15																								
Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
TOTAL	237	150	94	98	200	487	1317	1720	1550	1469	1711	1650	1503	1575	1588	1738	1640	1722	1623	1570	1268	1017	945	609
15 MIN	70	48	19	15	33	83	197	453	415	353	410	389	324	375	393	388	426	471	395	438	355	286	269	199
30 MIN	56	34	25	32	40	120	324	455	381	359	442	412	384	400	408	470	389	428	401	391	331	260	238	163
45 MIN	67	39	27	21	56	133	406	360	351	345	424	431	393	417	373	398	398	412	417	391	273	225	244	122
60 MIN	44	29	23	30	71	151	390	452	403	412	435	418	402	383	414	482	427	411	410	350	309	246	194	125
Hora de Máxima Demanda A.M. 0700 - 0800 (1720), FHMD A.M.=0.95 Hora de Máxima Demanda P.M. 1515 - 1615 (1776), FHMD P.M.=0.92																								

Fuente: Elaboración Consultoría

Tabla 6 Aforo día 1 SENTIDO ESTE- OSTE

* viernes, 8 de diciembre de 2023 - Total=24970, Desglose Secundario en Minutos 15																								
Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
TOTAL	231	114	105	98	179	342	1070	1552	1372	1333	1352	1417	1420	1471	1443	1578	1730	1635	1572	1449	1225	970	759	553
15 MIN	64	39	23	16	23	64	152	307	340	329	333	347	375	330	305	374	448	374	432	382	342	259	206	157
30 MIN	56	31	23	31	31	64	215	337	336	340	331	368	315	389	366	400	435	405	409	386	312	269	194	159
45 MIN	57	21	26	24	45	100	332	455	335	284	324	364	373	380	365	408	449	436	375	331	284	222	198	115
60 MIN	54	23	33	27	80	114	371	453	361	380	364	338	357	372	407	396	398	420	356	350	287	220	161	122
Hora de Máxima Demanda A.M. 0715 - 0815 (1585), FHMD A.M.=0.87 Hora de Máxima Demanda P.M. 1600 - 1700 (1730), FHMD P.M.=0.96																								

Fuente: Elaboración Consultoría

Día 2

Tabla 7 Aforo día 2 SENTIDO OSTE-ESTE

* sábado, 9 de diciembre de 2023 - Total=25168, Desglose Secundario en Minutos 15																								
Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
TOTAL	402	270	218	215	256	413	778	1026	1205	1384	1462	1541	1557	1623	1536	1414	1442	1473	1404	1380	1295	1131	1019	724
15 MIN	122	81	55	55	57	77	163	232	267	340	313	387	397	392	393	367	392	352	347	365	327	312	246	217
30 MIN	110	75	54	54	56	91	168	234	303	304	388	401	384	405	408	354	346	350	379	344	314	282	295	194
45 MIN	92	66	52	42	64	115	222	261	302	377	388	364	360	409	375	330	342	404	361	342	325	266	267	157
60 MIN	78	48	57	64	79	130	225	299	333	363	373	389	416	417	360	363	362	367	317	329	329	271	211	156
Hora de Máxima Demanda A.M. 1115 - 1215 (1551), FHMD A.M.=0.97 Hora de Máxima Demanda P.M. 1330 - 1430 (1627), FHMD P.M.=0.98																								

Fuente: Elaboración Consultoría

Tabla 8 Aforo día 2 SENTIDO ESTE- OSTE

* sábado, 9 de diciembre de 2023 - Total=22617, Desglose Secundario en Minutos 15																								
Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
TOTAL	320	252	204	214	179	315	632	896	1182	1284	1370	1370	1474	1379	1285	1196	1262	1376	1350	1393	1283	1009	750	642
15 MIN	93	70	48	60	47	60	136	190	274	307	339	329	372	356	305	283	329	345	353	352	331	257	186	193
30 MIN	81	76	60	48	39	60	147	207	297	305	344	376	329	345	330	302	309	323	348	342	332	257	215	186
45 MIN	74	54	62	41	46	85	160	224	279	346	354	346	390	310	327	313	281	363	334	348	329	265	192	142
60 MIN	72	52	34	65	47	110	189	275	332	326	333	319	383	368	323	298	343	345	315	351	291	230	157	121
Hora de Máxima Demanda A.M. 1115 - 1215 (1413), FHMD A.M.=0.94 Hora de Máxima Demanda P.M. 1200 - 1300 (1474), FHMD P.M.=0.94																								

Fuente: Elaboración Consultoría

Día 3

Tabla 9 Aforo día 3 SENTIDO OSTE-ESTE

* domingo, 10 de diciembre de 2023 - Total=20438, Desglose Secundario en Minutos 15																								
Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
TOTAL	530	398	326	215	221	235	449	572	745	932	1014	1215	1348	1319	1351	1347	1256	1226	1289	1290	1085	963	699	413
15 MIN	132	121	120	53	51	41	81	133	172	220	256	298	303	339	352	352	315	288	296	338	306	247	220	132
30 MIN	142	108	81	60	64	54	104	128	182	226	268	296	351	332	345	349	318	298	308	331	248	242	191	97
45 MIN	134	87	68	55	56	70	130	161	183	225	260	334	333	324	309	309	302	327	353	321	260	246	158	97
60 MIN	122	82	57	47	50	70	134	150	208	261	230	287	361	324	345	337	321	313	332	300	271	228	130	87
Hora de Máxima Demanda A.M. 1130 - 1230 (1275), FHMD A.M.=0.91 Hora de Máxima Demanda P.M. 1215 - 1315 (1384), FHMD P.M.=0.96																								

Fuente: Elaboración Consultoría

Tabla 10 Aforo día 3 SENTIDO ESTE- OSTE

* domingo, 10 de diciembre de 2023 - Total=18458, Desglose Secundario en Minutos 15																								
Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
TOTAL	445	382	280	223	186	199	365	496	695	850	910	980	1042	1089	1089	1201	1187	1234	1344	1412	1114	818	583	334
15 MIN	139	90	87	60	46	40	66	121	153	186	228	221	238	273	274	283	274	270	342	362	300	235	175	101
30 MIN	101	113	61	55	50	38	82	110	172	188	235	277	282	277	281	311	323	299	325	360	268	221	146	87
45 MIN	94	90	80	50	39	65	94	123	181	248	242	234	261	279	254	277	307	339	331	375	280	199	140	75
60 MIN	111	89	52	58	51	56	123	142	189	228	205	248	261	260	280	330	283	326	346	315	266	163	122	71
Hora de Máxima Demanda A.M. 1145 - 1245 (1029), FHMD A.M.=0.91 Hora de Máxima Demanda P.M. 1845 - 1945 (1443), FHMD P.M.=0.96																								

Fuente: Elaboración Consultoría

Día 4

Tabla 11 Aforo día 4 SENTIDO OESTE- ESTE

* lunes, 11 de diciembre de 2023 - Total=25359 (Incompleto) , Desglose Secundario en Minutos 15																								
Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
TOTAL	180	94	100	154	266	498	1311	1720	1497	1368	1563	1614	1556	1585	1544	1618	1602	1672	1660	1392	1001	814	550	-
15 MIN	64	19	30	21	42	85	193	461	397	353	384	416	381	417	368	393	407	444	372	408	275	211	186	-
30 MIN	50	20	14	40	52	124	309	458	389	328	403	395	396	421	410	417	408	366	421	369	258	198	149	-
45 MIN	38	29	28	36	66	125	440	407	362	334	365	372	375	370	374	403	381	418	430	305	228	205	145	-
60 MIN	28	26	28	57	106	164	369	394	349	353	411	431	404	377	392	405	406	444	437	310	240	200	70	-
Hora de Máxima Demanda A.M. 0630 - 0730 (1728), FHMD A.M.=0.94																								

Fuente: Elaboración Consultoría

Tabla 12 Aforo día 4 SENTIDO ESTE- OSTE

* lunes, 11 de diciembre de 2023 - Total=21158 (Incompleto) , Desglose Secundario en Minutos 15																								
Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
TOTAL	153	92	98	161	226	370	1195	1625	1385	1267	1399	1352	1348	1440	1477	1525	1475	1688	1548	1150	69	90	25	
15 MIN	48	27	17	35	47	81	173	375	361	318	358	367	296	318	351	383	371	394	421	368	21	31	5	
30 MIN	48	25	23	36	37	80	241	341	351	307	332	333	337	337	359	411	388	420	374	347	10	20	7	
45 MIN	31	22	29	40	54	79	384	408	333	310	331	308	352	401	350	362	351	434	367	319	10	19	4	
60 MIN	26	18	29	50	88	130	397	501	340	332	378	344	363	384	417	369	365	440	386	116	28	20	9	
Hora de Máxima Demanda A.M. 0700 - 0800 (1625), FHMD A.M.=0.81																								

Fuente: Elaboración Consultoría

4.1.2. Conteos avenida 25 de junio altura Trionica cerca al redondel El Bananero

Día 1

Tabla 13 Aforo día 1 SENTIDO OSTE-ESTE

* viernes, 8 de diciembre de 2023 - Total=22433, Desglose Secundario en Minutos 15																								
Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
TOTAL	231	134	83	84	117	315	772	1149	1236	1224	1592	1526	1324	1421	1283	1456	1320	1358	1252	1163	1025	939	809	620
15 MIN	63	47	25	17	21	57	115	326	321	274	366	386	333	364	288	334	344	341	286	283	273	247	242	185
30 MIN	67	32	18	18	25	86	172	263	320	297	361	386	317	370	342	389	330	358	302	306	257	228	201	164
45 MIN	52	28	23	22	32	86	234	283	271	310	432	362	320	317	311	353	317	338	337	297	241	218	204	132
60 MIN	49	27	17	27	39	86	251	277	324	343	433	392	354	370	342	380	329	321	327	277	254	246	162	139
Hora de Máxima Demanda A.M. 1030 - 1130 (1637), FHMD A.M.=0.95 Hora de Máxima Demanda P.M. 1515 - 1615 (1466), FHMD P.M.=0.94																								

Fuente: Elaboración Consultoría

Tabla 14 Aforo día 1 SENTIDO ESTE- OSTE

* viernes, 8 de diciembre de 2023 - Total=27942, Desglose Secundario en Minutos 15																								
Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
TOTAL	227	105	90	95	129	293	1050	1774	1623	1584	1716	1681	1704	1669	1663	1761	1860	1815	1701	1475	1294	1128	908	597
15 MIN	66	31	28	21	15	59	109	400	405	379	432	429	412	426	406	429	444	426	461	382	341	309	265	180
30 MIN	57	27	14	23	24	68	161	389	403	417	414	408	419	386	395	463	493	523	438	377	325	300	218	184
45 MIN	48	18	22	27	34	77	336	474	409	375	461	425	430	456	415	441	432	441	387	341	316	269	216	110
60 MIN	56	29	26	24	56	89	444	511	406	413	409	419	443	401	447	428	491	425	415	375	312	250	209	123
Hora de Máxima Demanda A.M. 0730 - 0830 (1793), FHMD A.M.=0.88 Hora de Máxima Demanda P.M. 1645 - 1745 (1881), FHMD P.M.=0.90																								

Fuente: Elaboración Consultoría

Día 2

Tabla 15 Aforo día 2 SENTIDO OSTE-ESTE

* sábado, 9 de diciembre de 2023 - Total=18888, Desglose Secundario en Minutos 15																								
Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
TOTAL	365	291	182	159	168	262	464	664	851	1070	1133	1220	1280	1280	1065	989	1034	1000	992	992	983	895	891	658
15 MIN	111	91	65	38	35	47	83	135	183	277	276	300	315	326	295	251	269	244	261	242	239	236	244	189
30 MIN	79	84	34	35	38	66	112	147	215	262	294	319	314	327	259	237	263	260	247	260	272	224	216	175
45 MIN	86	61	43	37	38	59	131	156	206	265	295	280	318	294	228	258	235	247	249	258	241	227	239	140
60 MIN	89	55	40	49	57	90	138	226	247	266	268	321	333	333	283	243	267	249	235	232	231	208	192	154
Hora de Máxima Demanda A.M. 1145 - 1245 (1268), FHMD A.M.=0.99 Hora de Máxima Demanda P.M. 1230 - 1330 (1304), FHMD P.M.=0.98																								

Fuente: Elaboración Consultoría

Tabla 16 Aforo día 2 SENTIDO ESTE- OSTE

* sábado, 9 de diciembre de 2023 - Total=23222, Desglose Secundario en Minutos 15																								
Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
TOTAL	311	277	206	184	153	259	497	929	1238	1442	1608	1549	1665	1627	1404	1316	1246	1240	1213	1249	1146	950	843	670
15 MIN	101	78	53	44	34	46	96	201	290	343	411	380	398	398	378	350	331	315	265	323	302	260	217	199
30 MIN	85	83	54	41	37	52	107	214	315	354	375	409	434	403	344	314	321	329	301	323	299	213	230	179
45 MIN	70	57	56	42	40	71	126	247	278	364	424	389	388	399	344	330	278	283	321	286	272	245	212	142
60 MIN	55	59	43	57	42	90	168	267	355	381	398	371	445	427	338	322	316	313	326	317	273	232	184	150
Hora de Máxima Demanda A.M. 1030 - 1130 (1611), FHMD A.M.=0.95 Hora de Máxima Demanda P.M. 1200 - 1300 (1665), FHMD P.M.=0.94																								

Fuente: Elaboración Consultoría

Día 3

Tabla 17 Aforo día 3 SENTIDO OSTE-ESTE

* domingo, 10 de diciembre de 2023 - Total=15381, Desglose Secundario en Minutos 15																								
Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
TOTAL	545	361	250	207	187	164	255	336	529	662	827	972	1113	1087	1022	937	911	887	871	918	797	702	537	304
15 MIN	140	117	64	57	46	29	52	60	122	169	199	221	286	312	245	232	234	221	214	212	203	196	175	98
30 MIN	140	82	75	51	58	34	55	77	139	153	197	237	286	260	249	237	228	236	198	235	203	172	129	77
45 MIN	146	84	57	46	51	55	63	97	121	143	210	248	255	267	258	236	224	207	233	236	195	159	124	71
60 MIN	119	78	54	53	32	46	85	102	147	197	221	266	286	248	270	232	225	223	226	235	196	175	109	58
Hora de Máxima Demanda A.M. 1145 - 1245 (1093), FHMD A.M.=0.96 Hora de Máxima Demanda P.M. 1215 - 1315 (1139), FHMD P.M.=0.91																								

Fuente: Elaboración Consultoría

Tabla 18 Aforo día 3 SENTIDO ESTE- OSTE

* domingo, 10 de diciembre de 2023 - Total=18423, Desglose Secundario en Minutos 15																								
Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
TOTAL	436	353	277	188	171	164	322	444	662	803	997	1007	1113	1112	1149	1175	1186	1207	1312	1358	1099	905	653	330
15 MIN	125	75	85	48	44	39	52	109	146	177	251	237	247	292	266	288	276	274	312	332	299	276	192	103
30 MIN	108	92	69	48	40	36	70	86	164	180	234	274	292	281	288	299	315	331	329	353	284	222	179	102
45 MIN	106	91	73	47	38	40	91	113	164	214	249	247	311	281	298	287	288	280	327	351	271	241	160	59
60 MIN	97	95	50	45	49	49	109	136	188	232	263	249	263	258	297	301	307	322	344	322	245	166	122	66
Hora de Máxima Demanda A.M. 1145 - 1245 (1099), FHMD A.M.=0.88 Hora de Máxima Demanda P.M. 1845 - 1945 (1380), FHMD P.M.=0.98																								

Fuente: Elaboración Consultoría

Día 4

Tabla 19 Aforo día 4 SENTIDO OESTE- ESTE

* lunes, 11 de diciembre de 2023 - Total=19428 (Incompleto) , Desglose Secundario en Minutos 15																								
Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
TOTAL	135	77	58	76	163	297	838	1151	1159	1082	1125	1284	1309	1319	1223	1241	1305	1318	1251	1110	955	747		
15 MIN	44	18	15	13	30	39	135	290	312	246	277	333	313	360	296	280	356	343	315	277	280	214	151	
30 MIN	33	23	9	22	24	83	175	306	278	284	300	321	339	289	299	324	318	342	307	290	261	200	54	
45 MIN	31	18	13	18	53	61	245	267	270	280	260	313	323	345	329	293	303	337	316	269	221	170		
60 MIN	27	18	21	23	56	114	283	288	299	272	288	317	334	325	299	344	328	296	313	274	193	163		
Hora de Máxima Demanda A.M. 1145 - 1245 (1292), FHMD A.M.=0.95																								

Fuente: Elaboración Consultoría

Tabla 20 Aforo día 4 SENTIDO ESTE- OSTE

* lunes, 11 de diciembre de 2023 - Total=25390 (Incompleto) , Desglose Secundario en Minutos 15																								
Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
TOTAL	137	77	75	115	152	302	1120	1833	1591	1489	1608	1589	1642	1694	1661	1727	1687	1770	1650	1353	1026	858		
15 MIN	47	20	11	23	29	69	128	422	444	379	411	397	400	416	412	454	421	449	433	361	291	243	165	
30 MIN	35	23	20	24	24	64	156	393	406	398	407	382	401	421	389	406	441	435	396	364	262	220	69	
45 MIN	33	19	18	25	34	65	350	466	376	334	385	402	425	412	404	442	410	487	419	335	253	195		
60 MIN	22	15	26	43	65	104	486	552	365	378	405	408	416	445	456	425	415	399	402	293	220	200		
Hora de Máxima Demanda A.M. 0730 - 0830 (1868), FHMD A.M.=0.85																								

Fuente: Elaboración Consultoría

4.1.3. Porcentaje vehicular según su clase en avenida 25 de junio altura almacenes De Prati

En relación con el porcentaje vehicular según su clase en la avenida 25 de junio altura almacenes De Prati y según su clase en avenida 25 de junio altura Trionica cerca al redondel El Bananero, se puede apreciar que:

- Predominan ampliamente los autos (clase 2) con más del 70% del total en ambos sentidos y puntos de medición.
- Le siguen camiones medianos de 2 ejes (clase 3) con 9-13% según punto y sentido.
- Las motos (clase 1) representan 8-10% del total. Los demás tipos (buses, camiones grandes, tractocamiones) no llegan a 3% individualmente.
- Esto muestra que el tráfico está compuesto mayormente por vehículos livianos de pasajeros.

Tabla 21 Clasificación vehicular Sentido Oeste-Este

Intervalos de Clase		
CLASE	VEHICULOS	PORCENTAJE
Clase 1	8538	8.64%
Clase 2	71513	72.33%
Clase 3	13722	13.88%
Clase 4	34	0.03%
Clase 5	2258	2.28%
Clase 6	469	0.47%
Clase 7	169	0.17%
Clase 8	1048	1.06%
Clase 9	214	0.22%
Clase 10	117	0.12%
Clase 11	37	0.04%
Clase 12	0	0.00%
Clase 13	750	0.76%

Fuente: Elaboración Consultoría

Tabla 22 Clasificación vehicular Sentido Este- Oeste

Intervalos de Clase		
CLASE	VEHICULOS	PORCENTAJE
Clase 1	7036	8.03%
Clase 2	67221	76.71%
Clase 3	8021	9.15%
Clase 4	1	0.00%
Clase 5	1856	2.12%
Clase 6	404	0.46%
Clase 7	148	0.17%
Clase 8	1096	1.25%
Clase 9	226	0.26%
Clase 10	181	0.21%
Clase 11	50	0.06%
Clase 12	1	0.00%
Clase 13	1392	1.59%

Fuente: Elaboración Consultoría

4.1.4. Porcentaje vehicular según su clase en avenida 25 de junio altura Trionica cerca al redondel El Bananero

Tabla 23 Clasificación vehicular Sentido Oeste-Este

Intervalos de Clase		
CLASE	VEHICULOS	PORCENTAJE
Clase 1	10192	10.55%
Clase 2	70403	72.86%
Clase 3	11164	11.55%
Clase 4	12	0.01%
Clase 5	1610	1.67%
Clase 6	406	0.42%
Clase 7	178	0.18%
Clase 8	1074	1.11%
Clase 9	179	0.19%
Clase 10	111	0.11%
Clase 11	48	0.05%
Clase 12	1	0.00%
Clase 13	1245	1.29%

Fuente: Elaboración Consultoría

Tabla 24 Clasificación vehicular Sentido Este- Oeste

Intervalos de Clase		
CLASE	VEHICULOS	PORCENTAJE
Clase 1	13172	10.85%
Clase 2	88977	73.27%
Clase 3	15193	12.51%
Clase 4	21	0.02%
Clase 5	2128	1.75%
Clase 6	316	0.26%
Clase 7	118	0.10%
Clase 8	1002	0.83%
Clase 9	96	0.08%
Clase 10	69	0.06%
Clase 11	39	0.03%
Clase 12	0	0.00%
Clase 13	306	0.25%

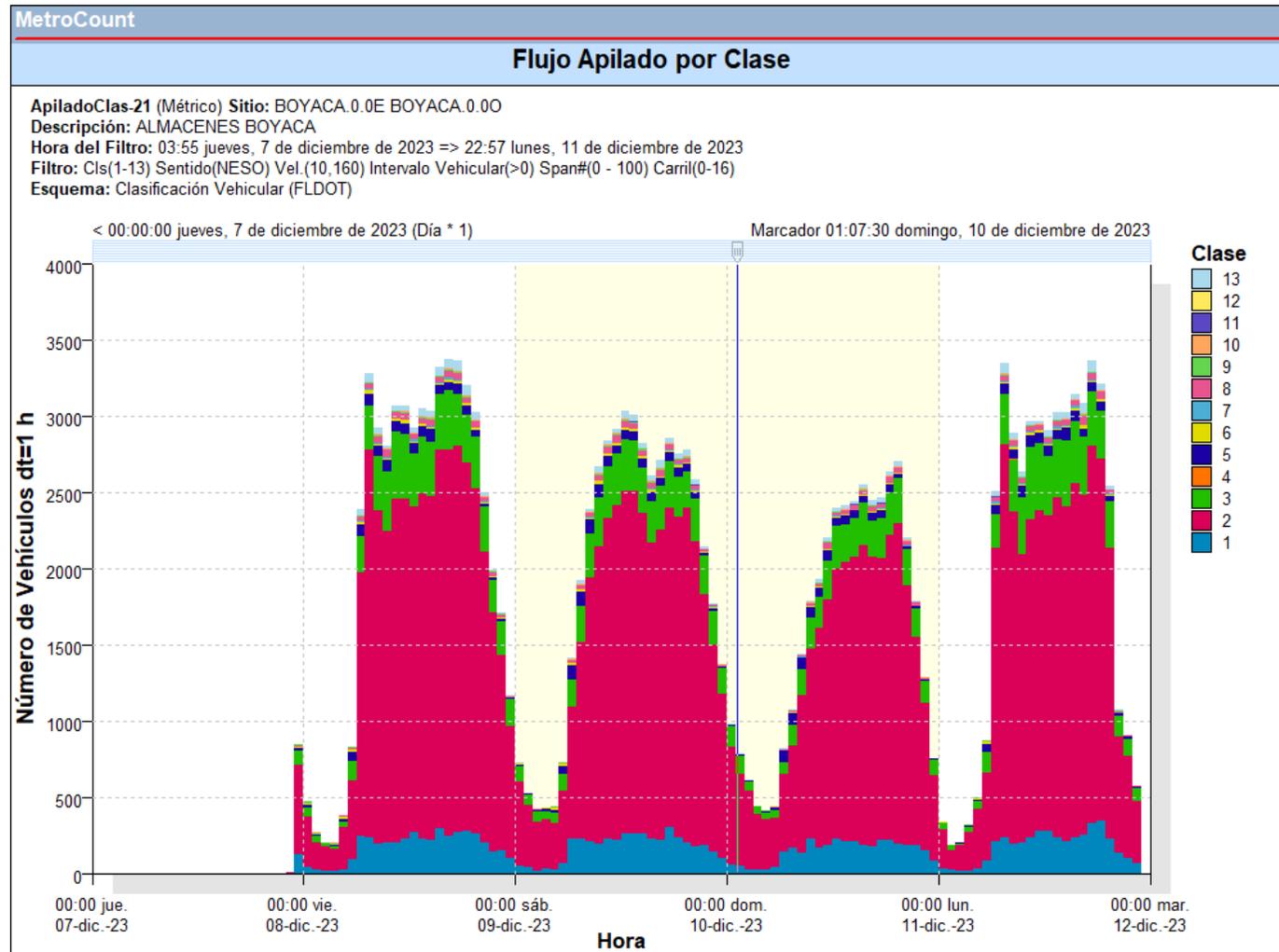
Fuente: Elaboración Consultoría

4.1.5. Flujo apilado avenida 25 de junio altura almacenes De Prati, ambos sentidos

Al visualizar las ilustraciones sobre el flujo apilado avenida 25 de junio altura almacenes De Prati y apilado en la 25 de junio altura Trionica cerca al redondel El Bananero, estas:

- Permiten apreciar gráficamente la variación horaria del tráfico y su composición por tipo de vehículo, siendo los lunes y viernes los días con un mayor registro de tránsito.
- Resaltan el predominio de los autos y las horas pico ya mencionadas previamente.

Ilustración 8 Flujo vehicular apilado



Fuente: Elaboración Consultoría

Ilustración 9 Clasificación vehicular

Gráfica por Intervalos de Clase

CasiClase-13 (Métrico) **Sitio:** BOYACA.0.0E BOYACA.0.00

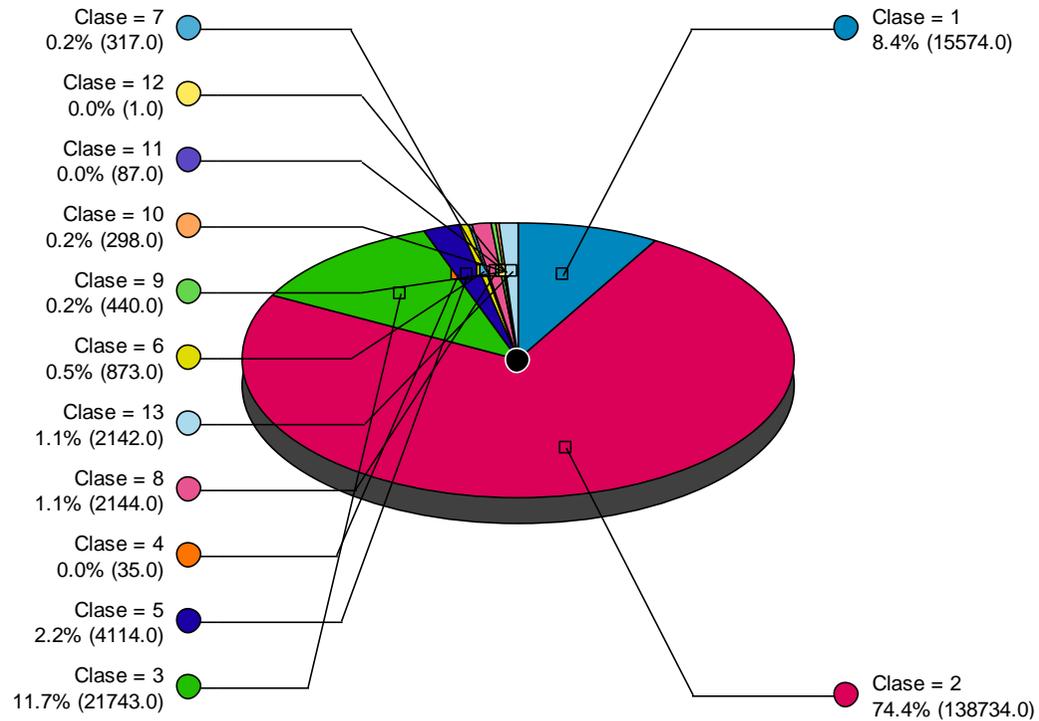
Descripción: ALMACENES BOYACA

Hora del Filtro: 03:55 jueves, 7 de diciembre de 2023 => 22:57 lunes, 11 de diciembre de 2023

Filtro: Cls(1-13) Sentido(NESO) Vel.(10,160) Intervalo Vehicular(>0) Span#(0 - 100) Carril(0-16)

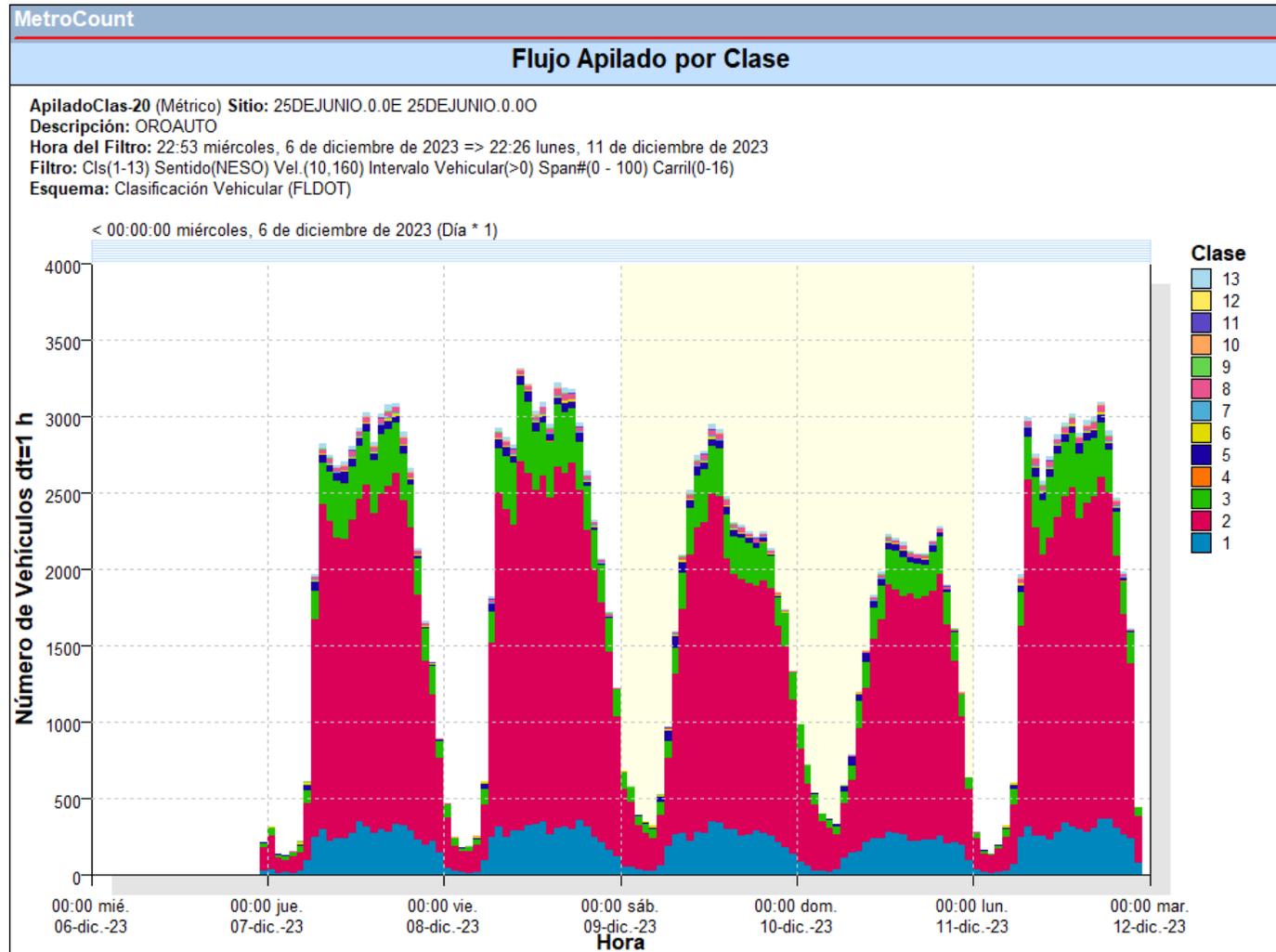
Esquema: Clasificación Vehicular (FLDOT)

Total=186502



4.1.6. Flujo apilado 25 de junio altura Trionica cerca al redondel El Bananero

Ilustración 10 Flujo vehicular apilado



Gráfica por Intervalos de Clase

CasiClase-19 (Métrico) **Sitio:** 25DEJUNIO.0.0E 25DEJUNIO.0.0O

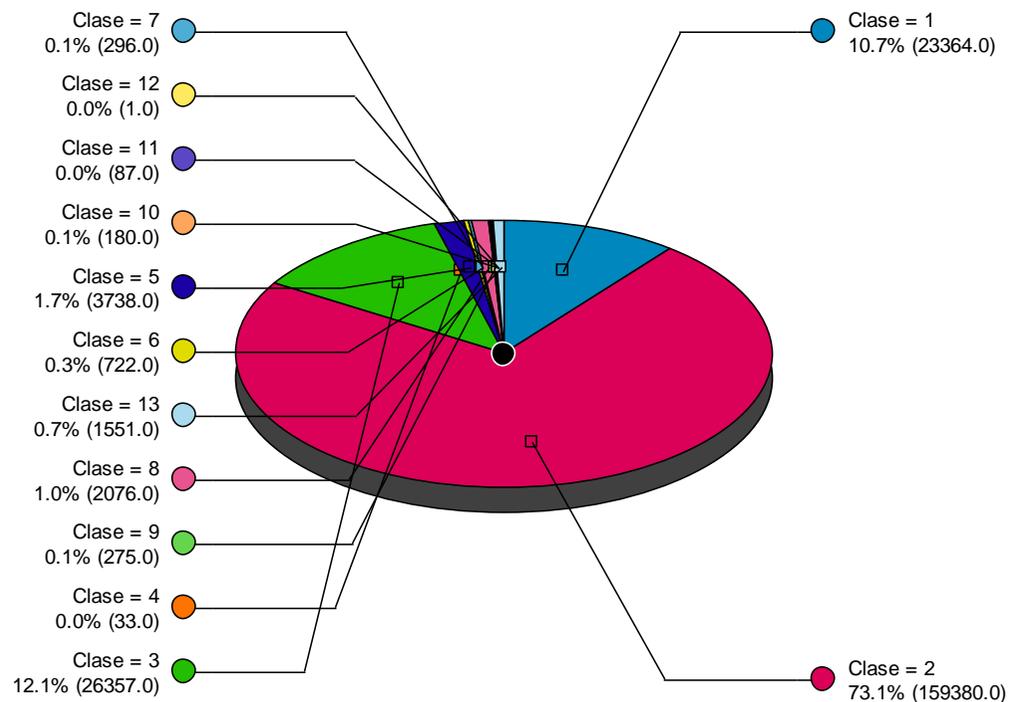
Descripción: OROAUTO

Hora del Filtro: 22:53 miércoles, 6 de diciembre de 2023 => 22:26 lunes, 11 de diciembre de 2023

Filtro: Cls(1-13) Sentido(NESO) Vel.(10,160) Intervalo Vehicular(>0) Span#(0 - 100) Carril(0-16)

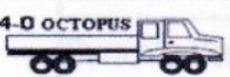
Esquema: Clasificación Vehicular (FLDOT)

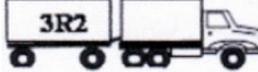
Total=218060



Fuente: Elaboración Consultoría

Tabla 25 Clasificación MTOP adaptado Clasificación Florida Department of Transportation FLDOT

CLASE	TIPO	EJES	GRAFICO	CARACTERISTICA
1	MOTO	2		MOTOCICLETAS
2	AUTO	2		AUTO PASAJERO
3	2DA	2		CAMION 2 EJES MEDIANO
4	2DB	2		CAMION 2 EJES GRANDE
5	3-A	3		CAMION 3 EJES
6	4-C	4		CAMION 4 EJES
7	4-0	4		CAMION CON TANDEM DIRECCIONAL Y TANDEM POSTERIOR
8	2S1	3		TRACTO CAMION DE 2 EJES Y 1 SEMIRREMOLQUE
9	2S2	4		TRACTO CAMION DE 2 EJES Y 2 SEMIRREMOLQUE
10	2S3	5		TRACTO CAMION DE 2 EJES Y 3 SEMIRREMOLQUE
11	3S1	4		TRACTO CAMION DE 3 EJES Y 1 SEMIRREMOLQUE

12	3S2	5		TRACTO CAMION DE 3 EJES Y 2 SEMIRREMOLQUE
13	3S3	6		TRACTO CAMION DE 3 EJES Y 3 SEMIRREMOLQUE
14	2R2	4		CAMION REMOLCADOR 2 EJES Y REMOLQUE 2 EJES
15	2R3	5		CAMION REMOLCADOR 2 EJES Y REMOLQUE 3 EJES
16	3R2	5		CAMION REMOLCADOR 3 EJES Y REMOLQUE 2 EJES
17	3R3	6		CAMION REMOLCADOR 3 EJES Y REMOLQUE 3 EJES

Fuente: Elaboración Consultoría

4.1.7. Diagrama de velocidades avenida 25 de junio altura almacenes de Prati, ambos sentidos

Respecto al diagrama de velocidades de la avenida 25 de junio altura almacenes de Prati y velocidades avenida 25 de junio altura almacenes De Prati, ambos sentidos, se puede apreciar que:

- Las velocidades medias registradas fueron relativamente moderadas, entre 50-54 km/h.
- Un 23-28% de los vehículos excedieron el límite permitido de 60 km/h.
- Se registraron velocidades máximas muy altas de hasta 153-154 km/h, lo que constituye una infracción grave.
- Las desviaciones estándar indican una dispersión importante de las velocidades.
- Estos resultados sugieren problemas de exceso de velocidad en la vía.

Resultados Estadísticos de Velocidad:

Vehículos = 186502

Límite Señalado de Velocidad = 60 km/h, Mayor de = 43450 (23.30%), Media Mayor de = 70.71 km/h

Máximo = 154.2 km/h, **Mínimo** = 10.1 km/h, **Media** = 50.7 km/h

85% Velocidad = 65.34 km/h, **95% Velocidad** = 76.68 km/h, **Mediana** = 49.50 km/h

20 km/h Banda de Velocidades = 39 - 59, **Número en Banda de Velocidades** = 102685 (55.06%)

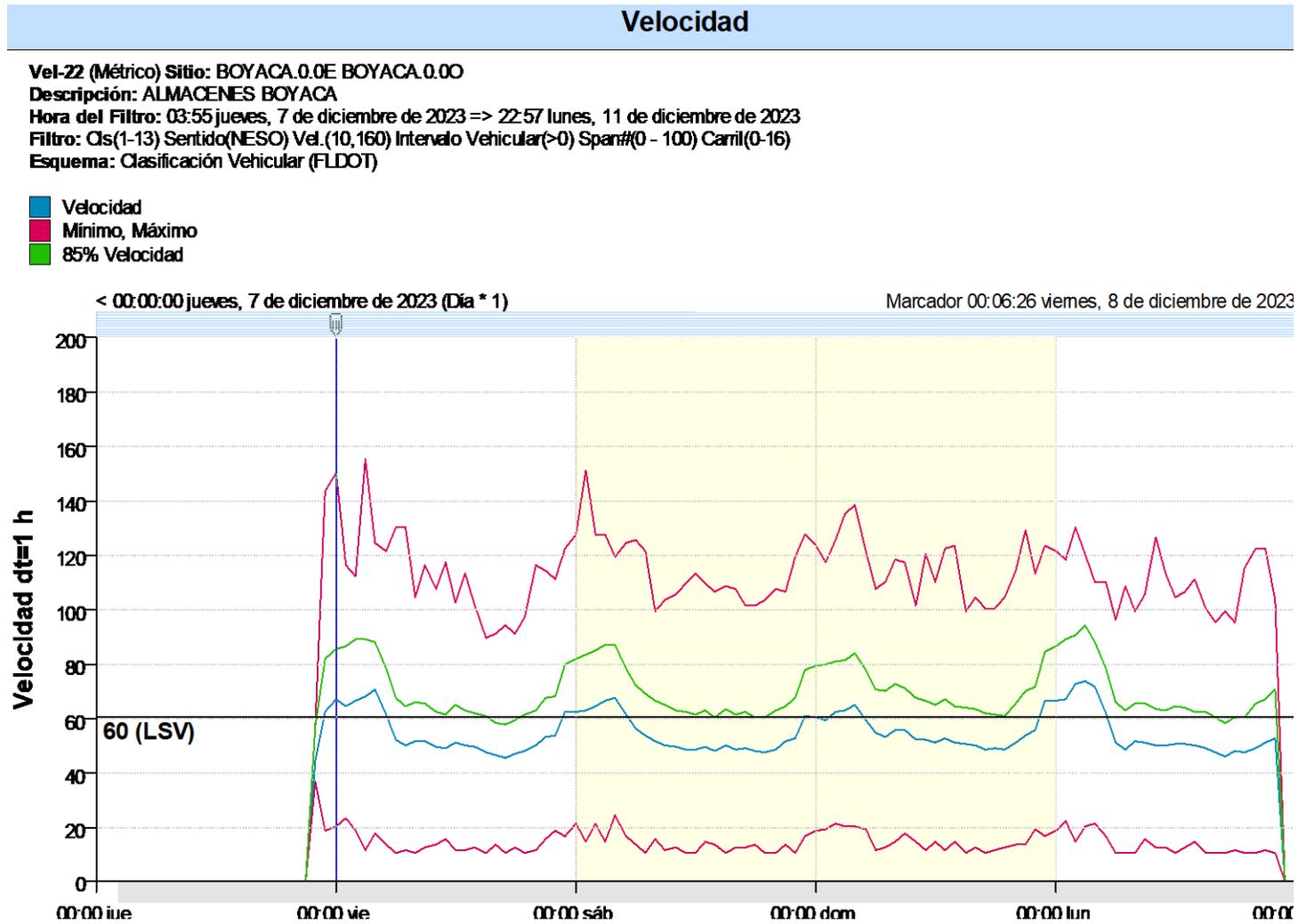
Variancia = 213.29, **Desviación Estándar** = 14.60 km/h

Al respecto de estos resultados:

- El límite de velocidad señalado en esta vía es de 60 km/h. Sin embargo, un 23.3% de los vehículos (43,450) fueron detectados circulando a más de esta velocidad, lo cual constituye un exceso de velocidad.

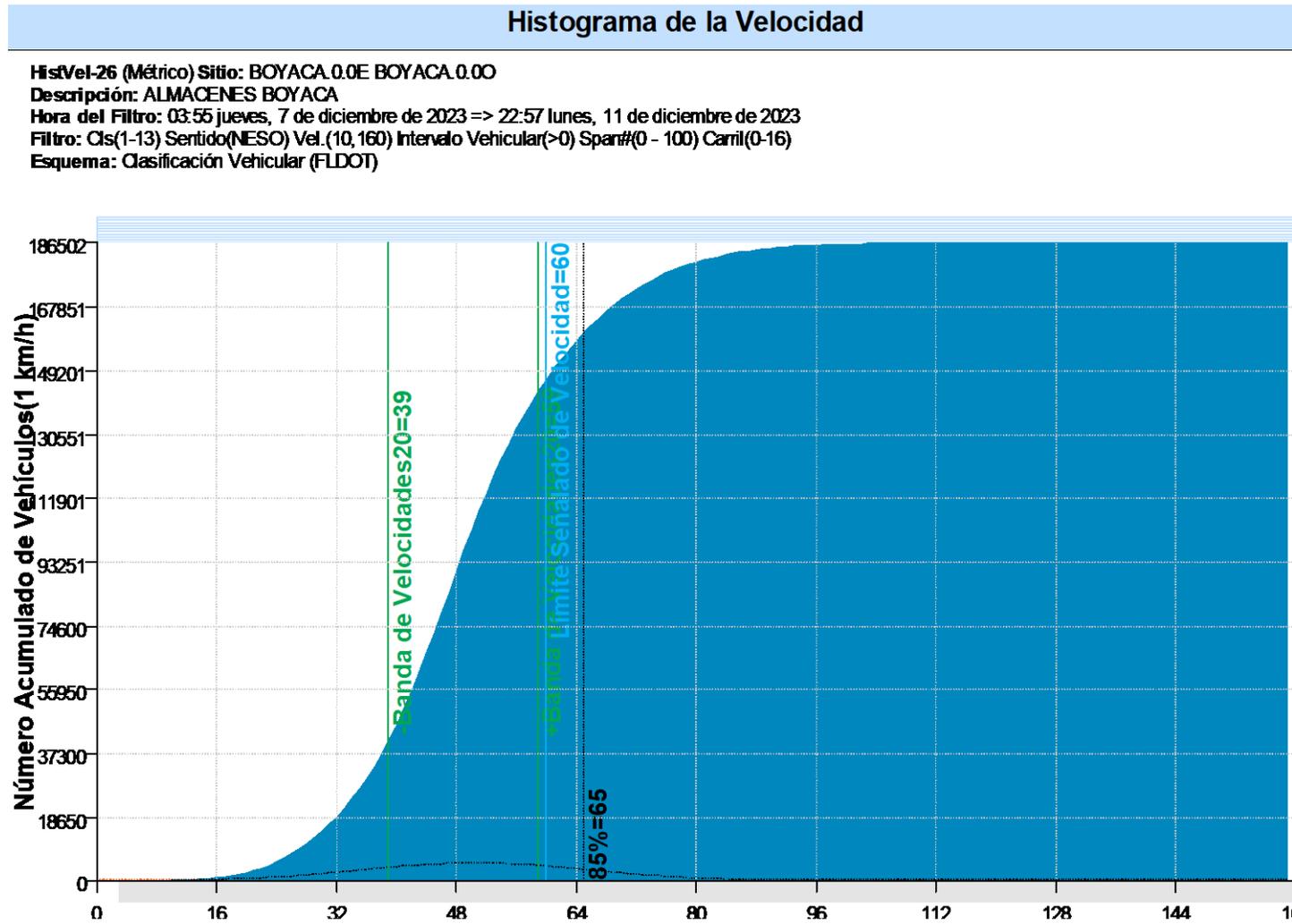
- La velocidad media de todos los vehículos fue de 50.7 km/h, es decir por debajo del límite, pero still hay un porcentaje importante excediendo el límite.
- La velocidad máxima registrada fue de 154.2 km/h, un valor extremadamente alto que supera ampliamente lo permitido e indica casos graves de exceso de velocidad.
- La velocidad mínima detectada fue de 10.1 km/h, posiblemente vehículos detenidos o circulando muy lentamente en horas congestionadas.
- El 85% de los vehículos circulaba a menos de 65.34 km/h y el 95% a menos de 76.68 km/h. Estos percentiles muestran que la mayoría se mantenía dentro o ligeramente por encima del límite.
- La mediana de 49.5 km/h señala que la mitad de los vehículos iba incluso por debajo de este valor, bastante lejos del límite.
- Más de la mitad (55.06%) se encontró dentro del rango de 39-59 km/h, una banda razonable alrededor del límite.
- La desviación estándar de 14.6 muestra una dispersión importante de las velocidades, desde vehículos muy lentos a otros con gran exceso.

Ilustración 12 Velocidades máximas y mínimas



Fuente: Elaboración Consultoría

Ilustración 13 Histograma de velocidades



Fuente: Elaboración Consultoría

4.1.8. Diagrama de velocidades avenida 25 de junio altura almacenes De Prati, ambos sentidos

Dirección: EO

Vehículos = 218060

Límite Señalado de Velocidad = 60 km/h, Mayor de = 61247 (28.09%), Media Mayor de = 68.96 km/h

Máximo = 153.0 km/h, **Mínimo** = 10.3 km/h, **Media** = 53.6 km/h

85% Velocidad = 66.06 km/h, **95% Velocidad** = 75.42 km/h, **Mediana** = 53.10 km/h

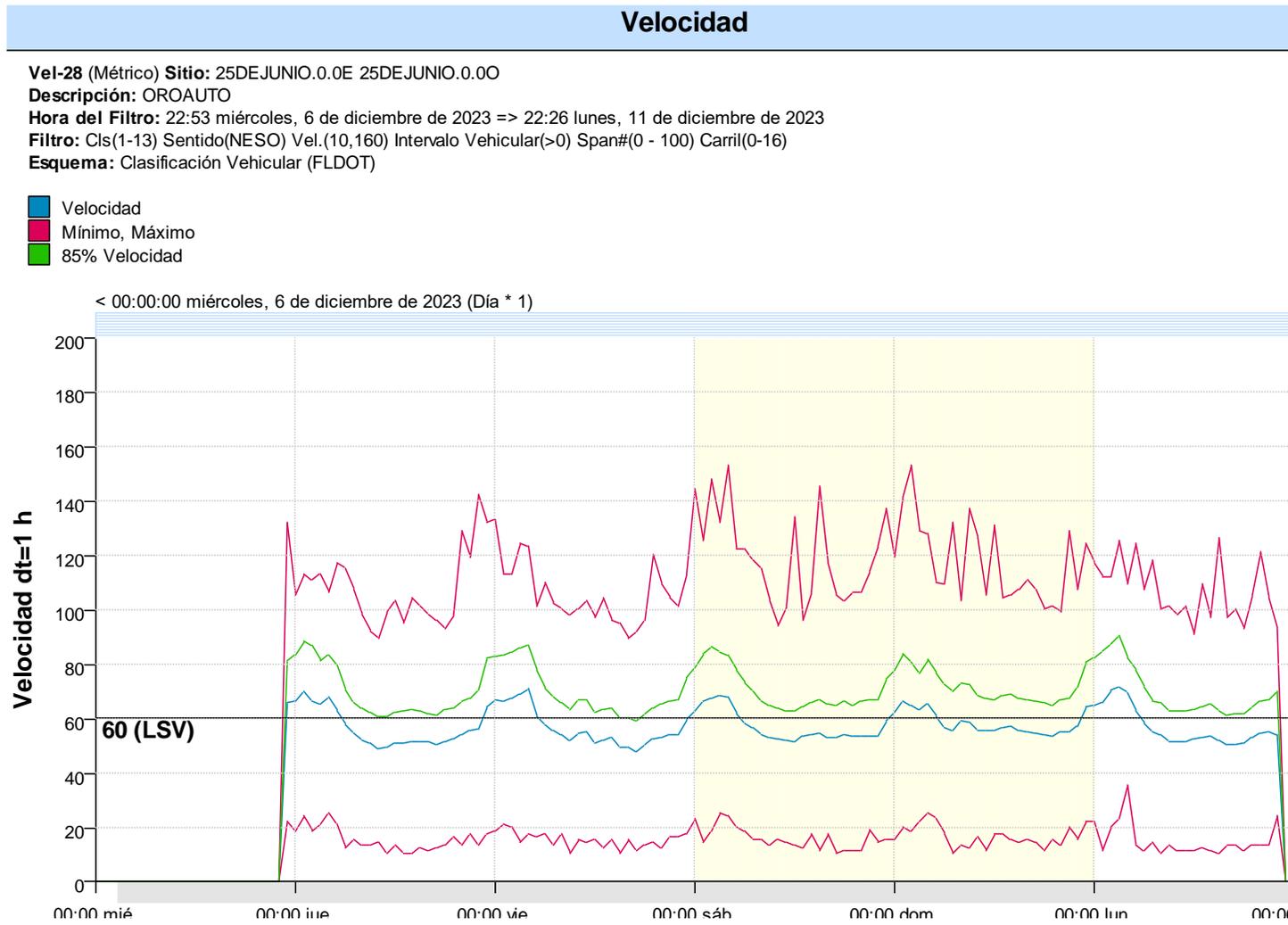
20 km/h Banda de Velocidades = 43 - 63, **Número en Banda de Velocidades** = 130714 (59.94%)

Variancia = 163.29, **Desviación Estándar** = 12.78 km/h

Al respecto de los resultados sobre el diagrama de velocidades avenida 25 de junio altura almacenes De Prati, se aprecia que:

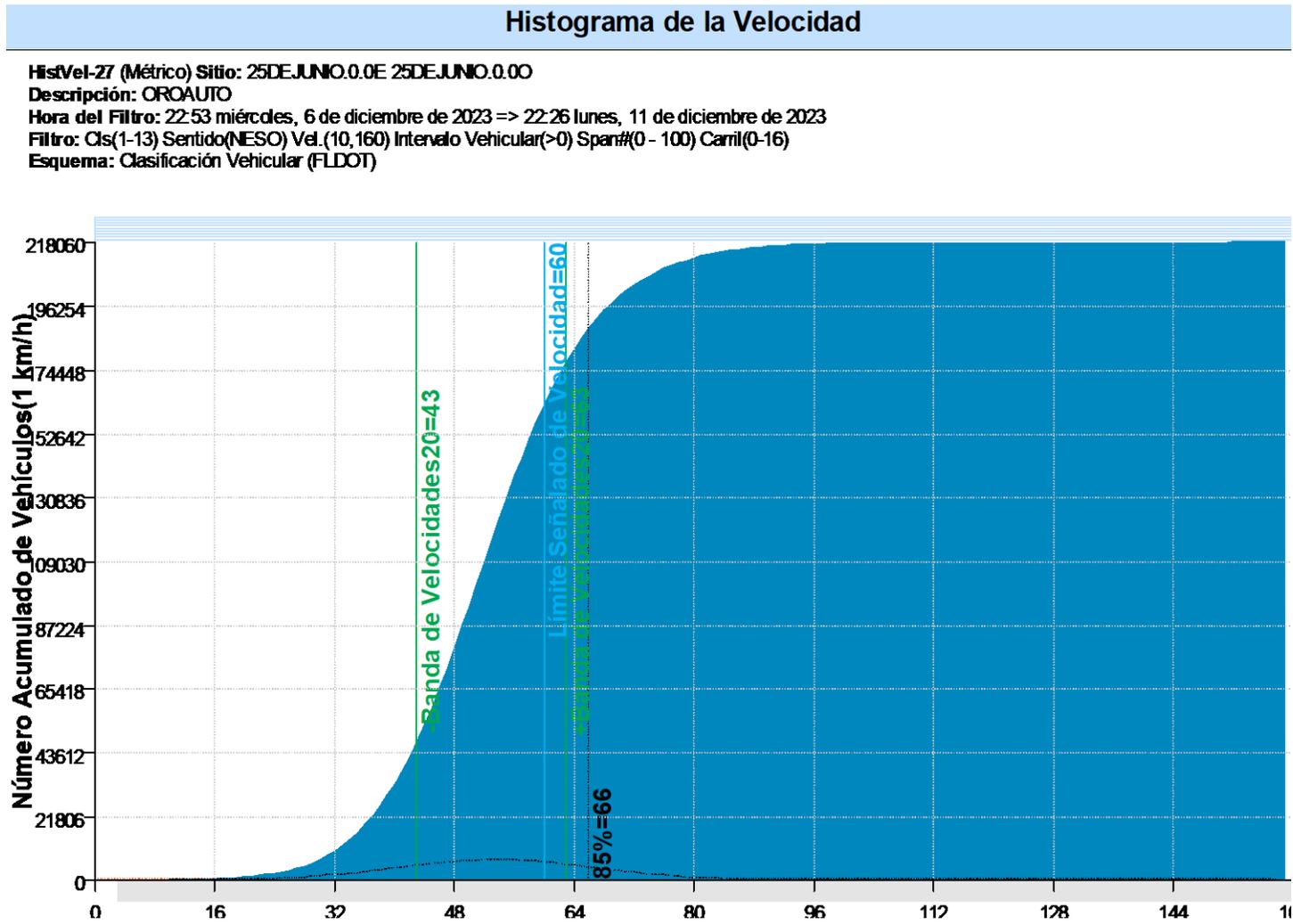
- El límite de velocidad es 60 km/h y un 28.09% (61,247 vehículos) fueron registrados excediendo ese límite, una proporción algo mayor a la detectada en ambos sentidos.
- La velocidad media fue de 53.6 km/h, inferior al límite, pero indicando que muchos vehículos circulaban por encima.
- La velocidad máxima fue de 153 km/h, un valor extremadamente alto y riesgoso como se vio también en ambos sentidos.
- La mínima de 10.3 km/h puede deberse a detenciones o congestión.
- El percentil 85 de 66.06 km/h y el percentil 95 de 75.42 km/h muestran que la mayoría se mantuvo dentro o poco por encima del límite.
- La mediana de 53.1 km/h señala que la mitad circulaba incluso por debajo del promedio y muy lejos del límite.
- Más de la mitad (59.94%) estaba dentro de la banda 43-63 km/h, razonable respecto al límite.
- La desviación estándar de 12.78 km/h indica dispersión importante de velocidades.

Ilustración 14 Velocidades máximas y mínimas



Fuente: Elaboración Consultoría

Ilustración 15 Histograma de velocidades



Fuente: Elaboración Consultoría

4.2. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Se presenta una tabla resumen con los resultados obtenidos por el programa Aimsun, destacando las métricas más relevantes para evaluar el desempeño del modelo en el Redondel del Bananero en la ciudad de Machala.

Estos valores proporcionan una evaluación integral del desempeño del modelo propuesto. Un análisis detallado de estos resultados permitirá tomar decisiones informadas sobre la implementación de intervenciones específicas para mejorar la gestión del tráfico en el Redondel del Bananero.

Tabla 26. Tabla resumen de los resultados de la simulación.

Modelo	MODELO ACTUAL	MODELO SEMAFORIZADO	MODELO CON CARRILES DE GIRO	MODELO AUMENTO DE CAPACIDAD	MODELO AUMENTO DE CAPACIDAD Y GIRO	UNIDAD
Serie Temporal	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	U
Cola Media - Todos	44.82	65.48	38.91	40.52	38.04	veh
Cola Virtual Máxima - Todos	12	232	8	4	15	veh
Densidad - Todos	11.38	12.58	10.79	10.61	10.66	veh/km
Flujo - Todos	4132	3890	4138	4129	4136	veh/h
Tiempo de Demora - Todos	46.65	84.9	45.08	41.97	43.11	seg/km
Tiempo de Espera en Cola Virtual - Todos	1.49	80.12	0.34	0.05	1.59	seg

A continuación, se describe las diversas series temporales:

Cola Media - Todos: Indica la longitud promedio de las colas en la intersección. Un valor bajo es deseable, ya que sugiere una gestión eficiente del tráfico.

Cola Virtual Máxima - Todos los vehículos: Representa la máxima longitud teórica de la cola virtual. Valores bajos indican un menor riesgo de congestión.

Densidad - Todos los vehículos: Mide la concentración de vehículos en la intersección. Valores moderados son preferibles para evitar congestiones.

Flujo - Todos los vehículos: Indica la cantidad de vehículos que atraviesan la intersección en un período de tiempo. Se busca un flujo constante y sin interrupciones.

Tiempo de Demora - Todos los vehículos: Refleja el tiempo adicional que los vehículos pasan en la intersección debido al tráfico. Menores valores son indicativos de una circulación eficiente.

Tiempo de Espera en Cola Virtual - Todos los vehículos: Mide el tiempo que los vehículos pasan esperando en la cola virtual. Se busca minimizar este tiempo para mejorar la experiencia del conductor (Mayor & Cárdenas, 2018).

Para el análisis específico de la densidad, se emplean los valores referenciales de la siguiente tabla:

Ilustración 16. Valores de niveles de servicio para segmentos básicos de autopistas.

Nivel de servicio	Densidad (automóviles/km/carril)
A	≤ 7
B	$< 7-11$
C	$< 11-16$
D	$< 16-22$
E	$< 22-28$
F	≥ 28

Fuente: (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018)

Enseguida se muestran los gráficos representativos de las diversas series temporales que corresponden a los resultados que, clasificados, muestran:

Modelo actual: El modelo actual, que representa la situación existente, presenta niveles de servicio entre C y E según el código de colores utilizado. Se observan puntos críticos de congestión, especialmente en la Avenida 25 de Junio durante las horas pico. Esto se atribuye al alto volumen vehicular y a la interacción con otros flujos en la intersección.

Modelo semaforizado: La incorporación de semáforos mantuvo en general los niveles de servicio sin un deterioro significativo. Sin embargo, se generan congestionamientos locales en las salidas debido a la sincronización, volúmenes desiguales y distribución de flujos. No representa una mejora sustancial respecto al escenario actual.

Modelo con carriles de giro: La adición de carriles de giro a la derecha en vías principales redujo notablemente los puntos de congestión y mejoró los niveles de servicio de la intersección. Facilita la incorporación y salida de vehículos del redondel. Se considera la mejora más efectiva hasta el momento.

Modelo aumento de capacidad: El incremento de carriles en vías de acceso mostró beneficios limitados. La incorporación de un carril adicional dentro del redondel no

generó cambios significativos en la congestión o niveles de servicio. Sugiere que incrementar capacidad en accesos es más efectivo que dentro del redondel.

Modelo aumento de capacidad y carriles de giro: La combinación de carriles de giro y carril adicional interno muestra los mejores resultados. Reduce los niveles de servicio a B y minimiza puntos de congestión. El análisis gráfico y numérico coinciden en señalar esta estrategia integrada como la más eficiente para gestionar el tráfico en la intersección.

Ilustración 17. Gráfica de los resultados de la serie cola media de vehículos.

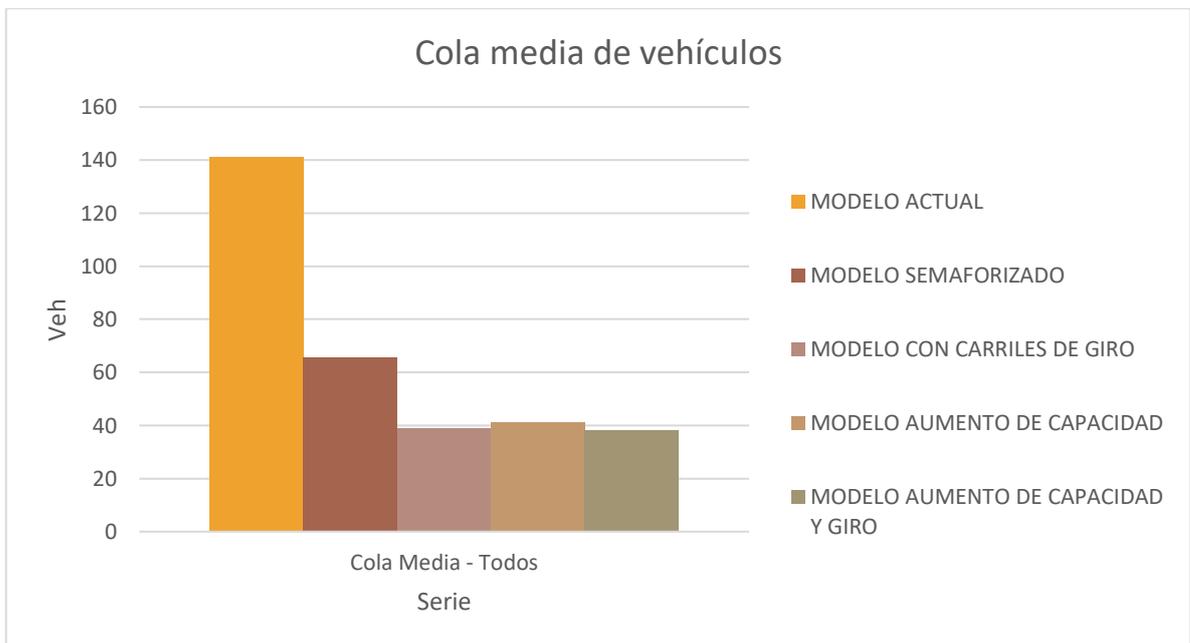


Ilustración 18. Gráfica de los resultados de la serie cola virtual máxima.

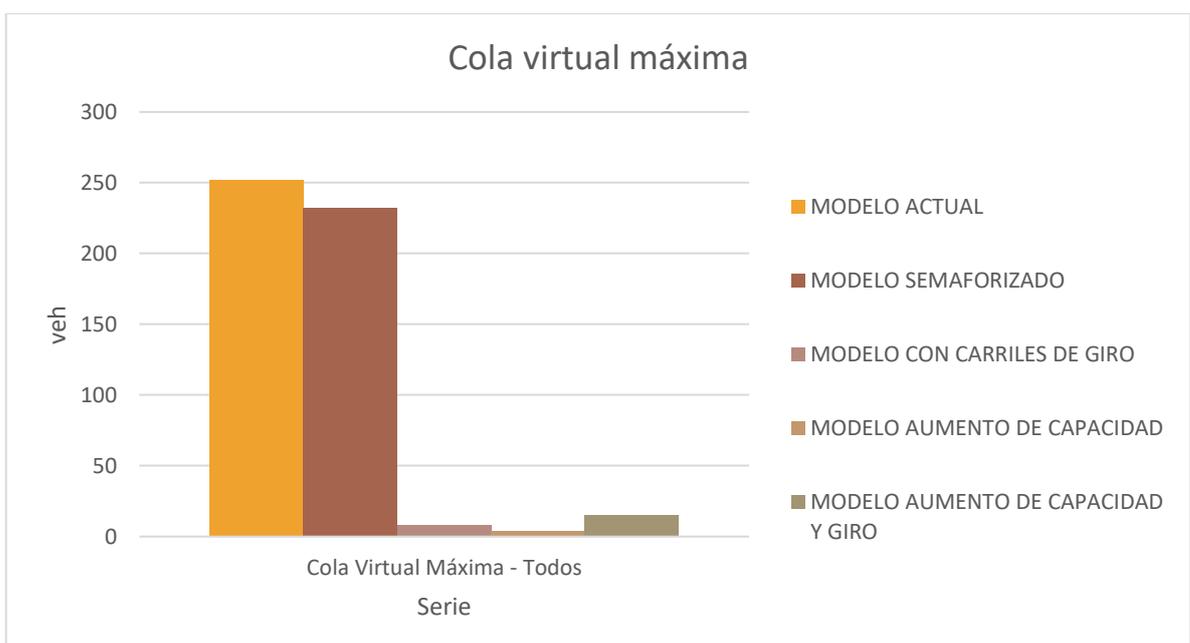


Ilustración 19. Gráfica de los resultados de la serie de densidad.

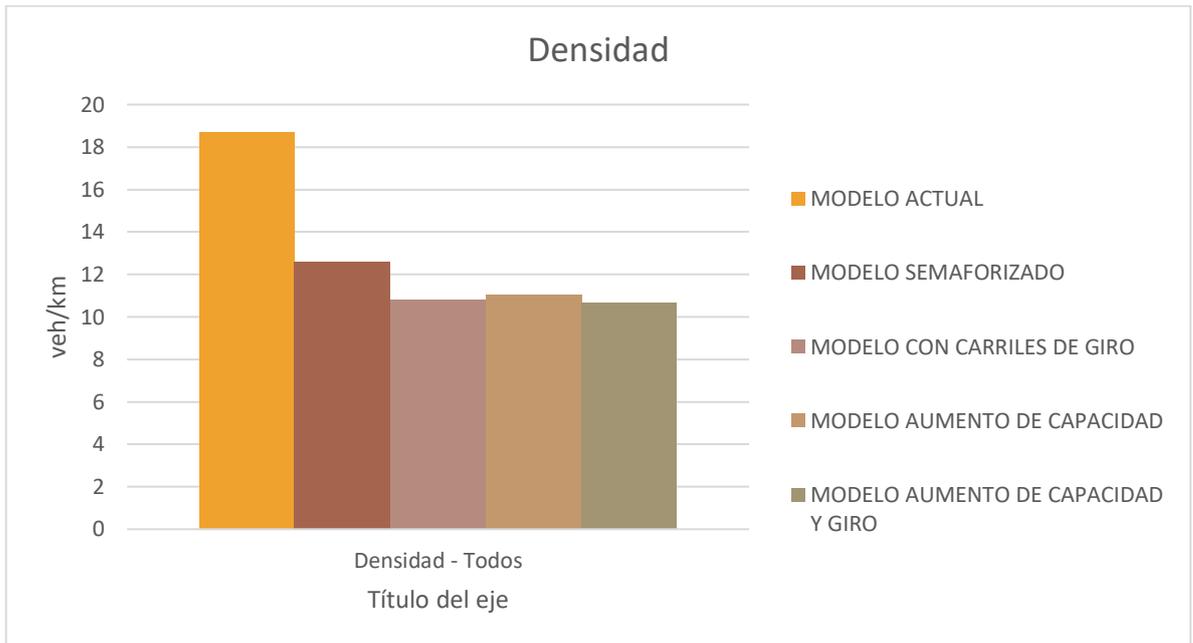


Ilustración 20. Gráfica de los resultados de la serie de flujo.

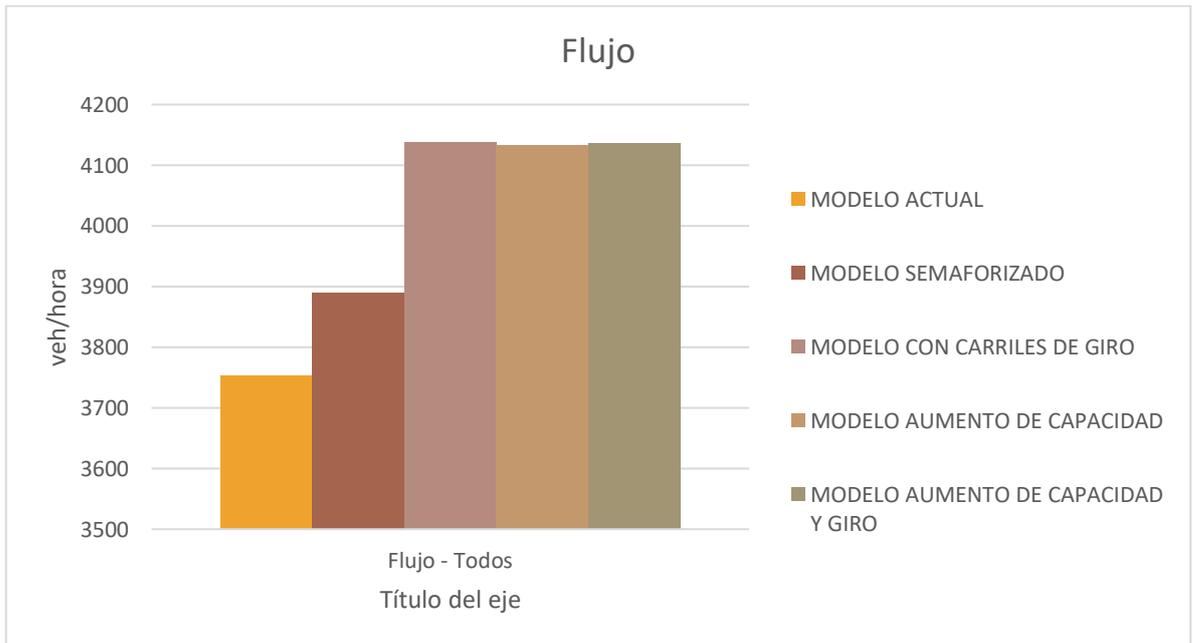


Ilustración 21. Gráfica de los resultados de la serie tiempo de demora.

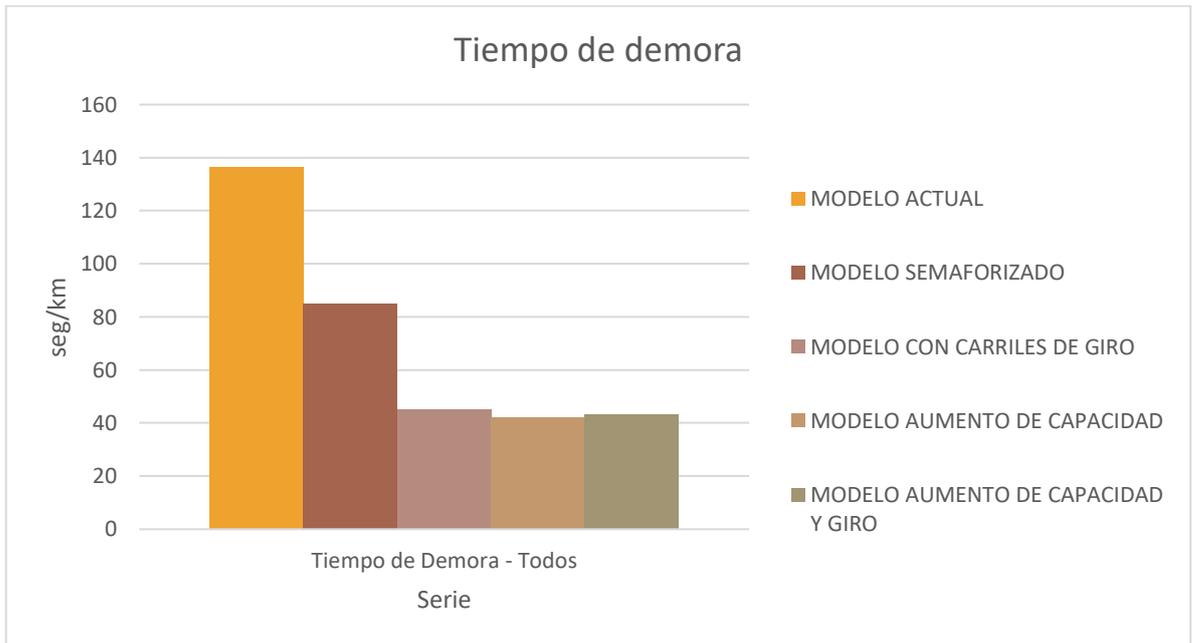
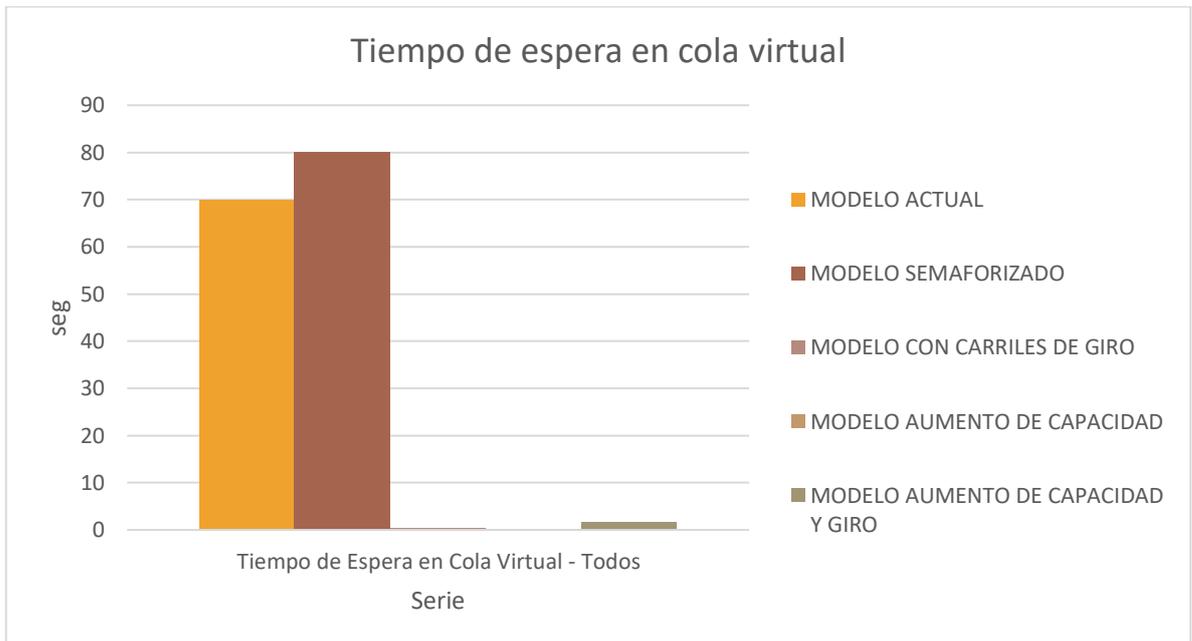


Ilustración 22. Gráfica de los resultados de la serie tiempo de espera en cola virtual.



4.3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El Tráfico que circuló durante los viernes 8, sábado 9, domingo 10 y lunes 11 de diciembre fueron de 50375, 42110, y 33804, 44818 *vehículos/día* respectivamente en la Av. 25 de junio cerca al Redondel El Bananero. El volumen vehicular que arrojan

los resultados es de mucha importancia tomando en cuenta que este eje vial permite conexión directa de Este a Oeste, además de cruzar por el centro de la ciudad.

Por otro lado, en avenida 25 de junio a la altura de almacenes De Prati los viernes 8, sábado 9, domingo 10 y lunes 11 de diciembre los aforos vehiculares fueron de 52451, 47785, y 38896, 46517 *vehículos/día*. Estos valores indican que se da un aumento de vehículos luego del redondel El Bananero, los cuales se anexan en la Av. Alejandro Castro Benítez.

Se observa que en los tres días de conteo los flujos vehiculares son muy parecidos por ende existe una estabilidad del flujo de tráfico día a día, esto se debe a una combinación de factores, como la ubicación geográfica, la función de la vía (residencial, comercial o industrial), la ausencia de eventos o condiciones especiales que afecten el tráfico, y la falta de cambios significativos en la infraestructura vial cercana. En la valoración del horario se evidencia que la mayor demanda de circulación en los días laborables se da aproximadamente de 06:30 a 07:30, indicando un valor de tráfico alto en horas de la mañana, mientras que por la tarde el horario de mayor flujo vehicular es de 17:00 a 19:00 horas. Se observa también que los días sábado y domingo la hora de mayor demanda se da entre las 12:00 y 13:00 horas.

En tanto a lo que a clasificación vehicular se refiere, el tipo de vehículo de mayor circulación es el de clase 2, y son los autos con un porcentaje que supera el 70 % en todos los casos, mientras que el de menor circulación corresponde a camiones grandes superiores a 2 ejes.

Finalizando con las velocidades recolectadas, obtuvimos un valor de velocidad media de 50.7 – 53.6 *km/h*, teniendo como velocidad mínima un valor de 10 *km/h* y un máximo de 153 – 154 *km/h*.

CONCLUSIONES

Se ha logrado desarrollar una metodología para la optimización de intersecciones viales a nivel que contribuiría a la reducción de la congestión vehicular en ciudades de hasta 300000 habitantes, tomando como referencia la intersección del monumento a El Bananero de la Ciudad de Machala.

En esta investigación se analizó la optimización de las intersecciones viales a nivel con congestión vehicular y se planteó una metodología aplicable a este tipo de

intersecciones, mediante el análisis de la base teórica que puede permitir la optimización de esas intersecciones. Además, se ha formulado una metodología para la optimización de intersecciones viales a nivel con congestión vehicular en ciudades de hasta 300000 habitantes.

Se recopilaron los fundamentos teóricos sobre la optimización de intersecciones viales con congestión vehicular a fin de establecer un buen fundamento teórico que respalde la metodología para plantear y lograr la caracterización de la intersección vial y su congestión vehicular. Para esto se tomó como punto de observación de campo en el monumento al Bananero de la Ciudad de Machala.

Los resultados de las velocidades avenida 25 de junio altura almacenes de Prati, ambos sentidos, revelan un problema significativo de exceso de velocidad en la vía, con vehículos circulando muy por encima del límite, aunque la mayoría se mantiene dentro de márgenes razonables. Se requiere reforzar el control para reducir la cantidad de infractores y los casos extremos de velocidad.

En los resultados sobre el diagrama de velocidades avenida 25 de junio altura almacenes De Prati, en el sentido Este-Oeste, se observa un problema de exceso de velocidad, con una proporción algo mayor de infractores que en ambos sentidos, incluyendo casos extremos muy por encima del límite permitido. Se requiere mayor control por parte de las respectivas autoridades.

Basado en el análisis de los resultados de la simulación de tráfico en la intersección del Redondel El Bananero en Machala, se plantearon cinco modelos de simulación. El modelo actual muestra niveles de servicio entre C y E, con puntos críticos de congestión vehicular durante las horas pico en la Avenida 25 de Junio. Esto se atribuye al alto volumen de tráfico y la interacción de múltiples flujos vehiculares en la intersección.

La implementación de semáforos en el modelo no genera una mejora sustancial en los niveles de servicio o congestión respecto al escenario actual. Se observan congestionamientos locales en las salidas producto de la sincronización, volúmenes desiguales y distribución de flujos.

La adición de carriles de giro a la derecha en vías principales de acceso al redondel redujo notablemente los puntos de congestión y mejoró los niveles de servicio. Facilita la incorporación y salida de vehículos del redondel.

El incremento de capacidad vial mediante carriles adicionales en los accesos al redondel mostró beneficios limitados sobre la congestión y niveles de servicio. Aumentar capacidad en accesos parece ser más efectivo que dentro del redondel.

La combinación de carriles de giro y carril adicional interno presenta los mejores resultados. Reduce los niveles de servicio a B y minimiza puntos de congestión. Es la estrategia más eficiente para gestionar el tráfico en la intersección según el análisis.

Se comprobó que la implementación de carriles de giro en combinación con aumento de capacidad vial en accesos al redondel resulta la medida más efectiva para reducir la congestión vehicular y mejorar los niveles de servicio en la intersección, de acuerdo con la modelación y simulación realizada.

RECOMENDACIONES

Con la metodología establecida para la optimización de intersecciones viales a nivel con congestión vehicular la cual se debe aplicar a fin de caracterizar y poder definir el tipo de intervención que disminuya la congestión vehicular en la intersección analizada. Se sugiere que esta metodología pueda ser complementada para la optimización de intersecciones viales a desnivel con congestión vehicular en ciudades de hasta 300000 habitantes.

Ante el escaso material bibliográfico se recomienda ampliar y mejorar los fundamentos a fin de tener una mejor optimización de las intersecciones viales a nivel con congestión vehicular. En la caracterización se debe tomar en cuenta que nuestra investigación trata sobre las intersecciones viales a nivel con congestión, por lo que se debe tener mucho cuidado con las intersecciones a desnivel que no es nuestro tema de investigación.

Implementar carriles de giro a la derecha en las vías de acceso principales al Redondel El Bananero, específicamente en la Avenida 25 de Junio y Alejandro Castro Benítez. Esto facilitará la incorporación y salida de vehículos, reduciendo puntos de congestión. Aumentar la capacidad vial en los accesos al redondel mediante la adición de carriles, enfocándose en las avenidas 25 de Junio y Alejandro Castro Benítez por ser vías de alta demanda. Esto proporcionará beneficios adicionales a la implementación de carriles de giro.

Realizar un estudio de ingeniería de tránsito más detallado para determinar la factibilidad específica de agregar carriles en los accesos, considerando disponibilidad de espacio e impactos en intersecciones aledañas. Efectuar mediciones de tráfico en horarios nocturnos y fines de semana para complementar la caracterización de la demanda vehicular en diferentes períodos.

Analizar estrategias adicionales como mejoras en la geometría del redondel, rediseño de isletas, optimización de señalización y cambios en los sentidos de circulación de calles aledañas. Implementar las medidas recomendadas de forma gradual, realizando mediciones antes y después para evaluar su efectividad. Esto permitirá enfocarse en las intervenciones con mayor impacto positivo.

Desarrollar una propuesta técnica detallada para presentar a las entidades municipales correspondientes buscando viabilizar la implementación de estas recomendaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Alozi, A. R., & Hussein, M. (2022). Multi-criteria comparative assessment of unconventional roundabout designs. *International journal of transportation science and technology*, 11(1), 158-173.
- Arshi, A. N., Alhajyaseen, W. K., Nakamura, H., & Zhang, X. (2018). A comparative study on the operational performance of four-leg intersections by control type. *Transportation research part A: policy and practice*, 118, 52-67.
- Bai, Y., Zhang, X., & Nakamura, H. (2021). A comparative study on the operational performance between signalized turbo roundabouts and signalized intersections. *Asian Transport Studies*, 7, 100033. <https://doi.org/10.1016/j.eastsj.2021.100033>
- Balado, J., Díaz-Vilariño, L., Arias, P., & Novo, A. (2019). A safety analysis of roundabouts and turbo roundabouts based on Petri nets. *Traffic Injury Prevention*, 20(4), 400-405. <https://doi.org/10.1080/15389588.2019.1594208>
- Bang, K., Wahlstedt, J., & Linse, L. (2016). Methodology for timing and impact analysis of signalized intersections. *Transportation research procedia*, 15, 75-86.
- Campisi, T., Tibljaš, A. D., Tesoriere, G., Canale, A., Rencelj, M., & Šurdonja, S. (2020). Cycling traffic at turbo roundabouts: Some considerations related to cyclist mobility and safety. *Transport Infrastructure and systems in a changing world. Towards a more sustainable, reliable and smarter mobility. TIS Roma 2019 Conference Proceedings*, 45, 627-634. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.048>
- CEPAL, N. (1998). *Ciudades intermedias de América Latina y el Caribe: Propuestas para la gestión urbana*. CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/31024>
- Cisneros Ortiz, A. B. (2023). *Evaluación de tráfico para mejorar la movilidad de los accesos a la ciudad de Riobamba (Av. Lizarzaburu y Av. Pedro Vicente Maldonado)*.
- Congress, S. S. C., Puppala, A. J., Banerjee, A., & Patil, U. D. (2021). Identifying hazardous obstructions within an intersection using unmanned aerial data analysis. *International journal of transportation science and technology*, 10(1), 34-48.

- Contreras, A., Mendoza Diaz, A., & Gutierrez Hernandez, J. L. (2011). Eficacia y/o efectividad de medidas de seguridad vial utilizadas en diferentes países. *Publicación técnica*, 342. <https://trid.trb.org/view/1479926>
- Cuéllar Sarmiento, M., & Beltrán Vargas, P. (2020). *Caracterización de flujos vehiculares en intersecciones viales de Bogotá, Colombia* (Informe de Investigación 77; CA - Trabajos Dirigidos de Civil [77]). <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1176>
- Cuentas Cárdenas, M. E., & Ayala Cusihuallpa, J. C. (2019). *Determinación de la capacidad vial y nivel de servicio, según manual de capacidad de carreteras (HCM 2010) en la vía pe-3s tramo arco Tica Tica-Izcuchaca*.
- Dabiri, A. R., Aghayan, I., & Hadadi, F. (2021). A comparative analysis of the performance of turbo roundabouts based on geometric characteristics and traffic scenarios. *Transportation Letters*, 13(9), 674-685. <https://doi.org/10.1080/19427867.2020.1757198>
- Diachuk, M., & Easa, S. M. (2018). Guidelines for roundabout circulatory and entry widths based on vehicle dynamics. *Journal of traffic and transportation engineering (English edition)*, 5(5), 361-371.
- Fernandes, P., Tomás, R., Acuto, F., Pascale, A., Bahmankhah, B., Guarnaccia, C., Granà, A., & Coelho, M. C. (2020). Impacts of roundabouts in suburban areas on congestion-specific vehicle speed profiles, pollutant and noise emissions: An empirical analysis. *Sustainable Cities and Society*, 62, 102386. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102386>
- Flores Valencia, R. M., & Ferré Quispe, D. V. J. (2023). *Propuesta de reformas para mejorar la movilidad, accesibilidad y seguridad vial. Caso: Intersección Av. Canadá con Paseo de La República*. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/24875>
- Giuffrè, O., Granà, A., Tumminello, M. L., & Sferlazza, A. (2018). Capacity-based calculation of passenger car equivalents using traffic simulation at double-lane roundabouts. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 81, 11-30.
- Gruden, C., Otković, I. I., & Šraml, M. (2022). Pedestrian safety at roundabouts: A comparison of the behavior in Italy and Slovenia. *Transportation research procedia*, 60, 528-535.

- Henríquez Ulloa, J. P. E. (2019). Propuesta de mejora vial en la intersección de las avenidas Miguel Grau y Gulman en la ciudad de Piura, Piura. *Universidad Privada Antenor Orrego*.
<https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/4691>
- Hernández, G., Vidaña, J., & Rodríguez, A. (2015). Problemática en Intersecciones Viales de Áreas Urbanas: Causas y Soluciones Introducción Intersecciones a Nivel. *CULCyT*, 12(56), 25-32.
- Kartal, G. (2006). Working With an Imperfect Medium: Speech Recognition Technology in Reading Practice. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 15, 303-328.
- Kieć, M., Ambros, J., Bąk, R., & Gogolín, O. (2019). Evaluation of safety effect of turbo-roundabout lane dividers using floating car data and video observation. *Accident Analysis & Prevention*, 125, 302-310. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.05.009>
- Kim, J., Choi, S., Do, M., & Han, D. (2016). Road Maintenance Planning with Traffic Demand Forecasting. *International Journal of Highway Engineering*, 18(3), 47-57.
- Laclair, R. (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial: Vol. I (Tercera)*. CAECID.
<https://interconecta.aecid.es/Gestin%20del%20conocimiento/Manual%20Centroamericano%20de%20normas%20para%20el%20dise%C3%B1o%20geom%C3%A9trico%20de%20carreteras%202011.pdf>
- Leal Bermejo, J. M. (2018). *Determinación automática de las cargas transportadas por los vehículos pesados mediante pesaje dinámico*.
- Leonardi, S., & Distefano, N. (2023). Turbo-Roundabouts as an Instrument for Improving the Efficiency and Safety in Urban Area: An Italian Case Study. *Sustainability*, 15(4), 3223.
- Li, X. (2018). The symmetric intersection design and traffic control optimization. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 92, 176-190.
- Mayor, R. C. y, & Cárdenas, J. (2018). *Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y aplicaciones*. Alpha Editorial.

- Mena, F. C. (1994). *Gobiernos municipales en ciudades intermedias de Ecuador. Los casos de Riobamba y Santo Domingo de los Colorados*. https://works.bepress.com/fernando_carrion/131/
- Mesía Navarro, J. E., & Sanjinez Aliaga, E. J. (2019). *Clasificación de fallas en superficies de rodadura de tratamiento superficial para predecir vida útil en base a modelos extranjeros en Jauja- Junin* [Tesis de Maestría, Universidad Ricardo Palma]. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2614>
- Miani, M. (2015). *Sistema adaptativo de control y optimización de tráfico en la Ciudad de Córdoba* [Tesis de Pregrado, Universidad de la Defensa Nacional]. <https://rdu.iua.edu.ar/handle/123456789/795>
- Mora, A. (2020). Análisis del congestionamiento vehicular de la intersección avenida 25 de junio y carrera 23 de abril del cantón Machala. *Universidad Técnica de Machala*.
- Najmi, A., Choupani, A.-A., & Aghayan, I. (2019). Characterizing driver behavior in dilemma zones at signalized roundabouts. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 63, 204-215.
- Osei, K. K., Adams, C. A., Ackaah, W., & Oliver-Commey, Y. (2021). Signalization options to improve capacity and delay at roundabouts through microsimulation approach: A case study on arterial roadways in Ghana. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 8(1), 70-82.
- Owais, M., Abulwafa, O., & Abbas, Y. A. (2020). When to decide to convert a roundabout to a signalized intersection: Simulation approach for case studies in Jeddah and Al-Madinah. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45, 7897-7914.
- Oyola Estrada, E. J., Berrú Cabrera, J. C., Romero Valdiviezo, E. A., Carrión Romero, L. O., Aguirre Morales, F. A., & Tacuri Rivas, M. A. (2017). Evaluación de la congestión vehicular: Av. Castro Benítez y Vía Pajonal, Machala-Ecuador, año 2016. *Cumbres*, 3(1), 135-142.
- Palacios Jara, M. P. (2019). *Determinación del Factor de Vehículo Liviano Equivalente (VLE) para calles urbanas en la ciudad de Cuenca-Ecuador*. Universidad del Azuay.
- Patel, P., & Dhamaniya, A. (2019). Stream equivalency factor for mixed traffic at urban signalized intersections. *Transportation research procedia*, 37, 362-368.

- Periódico Sostenibles. (2020, abril 11). Copenhague ciudad verde. *SOSTENIBLES*.
<https://sostenibles.org/2020/04/11/copenhague-la-ciudad-mas-sostenible/>
- Petersen, E. R. (1977). Railyard Modeling: Part I. Prediction of Put-Through Time. *Transportation Science*, *11*(1), 37-49.
- Pinos Mata, V. F. (2016). *Diseño de intersecciones en vías urbanas* [Tesis de Pregrado, Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/5901>
- Plotnikov, A. (2018). Methods for numerical estimation of the traffic safety level at at-grade intersections. *Transportation research procedia*, *36*, 591-596.
- Plotnikov, A., & Asaul, M. (2020). New methods for traffic safety rating at at-grade intersections. *Transportation research procedia*, *50*, 528-532.
- Quijia Escobar, A. S. (2020). *Análisis del impacto de la implementación del sistema de riego por goteo en la productividad del sector agrícola en la Asociación de Productores Agropecuarios San Rafael, cantón Bolívar provincia del Carchi* [Tesis de Maestría, Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20694>
- Rodriguez Maza, Z. I. (2020). *Análisis del tráfico y propuesta de mejora en la intersección de mejora en la Av. Arnaldo Márquez y la calle Nazca en la ciudad de Lima*. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/16522>
- Roess, R. P., & Prassas, E. S. (2014). *The highway capacity manual: A conceptual and research history*. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-05786-6>
- Romero, A., Angarita, E. L., & Amaya, R. J. G. (2017, septiembre 6). *Análisis de la problemática de movilidad sobre la avenida Francisco Fernández de Contreras en el municipio de Ocaña norte de Santander*. Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI 2017. <https://doi.org/10.26507/ponencia.527>
- Salazar, D., Demoraes, F., Bermúdez, N., & Zavgorodniaya, S. (2009). De Trébol a girasol: Consecuencias de un hundimiento ocurrido el 31 de marzo de 2008 en un eje esencial de la red vial de la ciudad de Quito. *Bulletin de l'Institut français d'études andines*, *38* (3), Article 38 (3). <https://doi.org/10.4000/bifea.2360>
- Shaaban, K., & Hamad, H. (2021). Impact of Police Enforcement on Critical Gap at Roundabouts. *14th International scientific conference on sustainable, modern and safe transport*, *55*, 387-393. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.001>

- Thomson, I., & Bull, A. (2001). *La congestión del tránsito urbano: Causas y consecuencias económicas y sociales*. CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/6381>
- Urbina Cantuta, C. M., Torres Flores, A. J., & Salazar-Calderón Juárez, R. (2019). Optimización del flujo vehicular en la intersección vial de la Av. Bolognesi y la Av. Gustavo Pinto en la ciudad de Tacna. *INGENIERÍA INVESTIGA*, *1*(1), 65-71. <https://doi.org/10.47796/ing.v1i1.123>
- Velásquez Restrepo, L. E. (2016). *Megrican—Método de gestión de riesgos en proyectos de innovación bajo el enfoque co-creación, basado en agentes* [Tesis de Maestría, Universidad de Antioquia]. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/13259>
- Verdezoto, T. Z. A., Montes, F. F. C., & Medina, O. B. R. (2020). Análisis del congestionamiento vehicular para el mejoramiento de vía principal en Guayaquil-Ecuador. *Gaceta Técnica*, *21*(2), 4-23.
- Vichova, K., Heinzova, R., Dvoracek, R., & Tomastik, M. (2021). Optimization of traffic situation using roundabouts. *Transportation research procedia*, *55*, 1244-1250.
- Villacreses Cabrera, J. P. (2015). *Desarrollo de un manual de diseño de intersecciones a nivel para la republica del Ecuador, aplicado a una intersección en el país*. [Tesis de Maestría, PUCE]. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/9999>
- Yan, Y., Qu, X., & Li, H. (2018). On the design and operational performance of waiting areas in at-grade signalized intersections: An overview. *Transportmetrica A: transport science*, *14*(10), 901-928.
- Yang, M., Luo, W., Ashoori, M., Mahmoudi, J., Xiong, C., Lu, J., Zhao, G., Saleh Namadi, S., Hu, S., Kabiri, A., & Ji, Y. (2023). Big-Data Driven Framework to Estimate Vehicle Volume Based on Mobile Device Location Data. *Transportation Research Record*, 03611981231174240. <https://doi.org/10.1177/03611981231174240>
- Yao, H., Cui, J., Li, X., Wang, Y., & An, S. (2018). A trajectory smoothing method at signalized intersection based on individualized variable speed limits with location optimization. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *62*, 456-473. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.03.010>

ANEXOS

Anexo 1. Modelo de encuesta.

**UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN VIALIDAD**

ENCUESTA ORIGEN - DESTINO

Encuestador:		Supervisor:		Ciudad:		Hoja:					
						/					
Fecha:			Día:		Hora:		Sitio de la encuesta:				
Modo de transporte que utilizo para llegar al sitio						Motivo de viaje		Origen – Destino			
Particular Taxi Bus Bicicleta pie Trasp. Mixto						1.-Trabajo 2.- Estudios 3.- Compras y mercado 4.- Regreso a casa 5.- Recreación 6.- Turismo 7.- otros N.-		De:		Hacia:	
Número de desplazamientos diarios que realiza en cada medio de transporte								Zona de residencia:			
Particular Taxi Bus Bicicleta pie Trasp. Mixto											

Anexo 2. Modelo de formulario de conteo.

UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
MENCION VIALIDAD



AFORO VEHICULAR:																	
ESTACION:		PROYECTO:															
FECHA:																	
CLASE	TIPO																
			6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	TOTAL	
LIVIANOS	1	Automóviles y vagonetas															
	2	Camionetas (hasta 2Tn.)															
	3	Minibuses (hasta 15 pasajeros)															
	MB	Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)															
OMNIBUS	B2	Buses Medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)															
	B3	Buses Grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)															
CAMIONES	C2M	Camiones Medianos (2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)															
	C2	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)															
	C3	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)															
SEMI TRAILER	CSR	Camiones Semirremolque															
	CR	Camiones Remolque															
	12	Otros Vehículos															
															TRAFICO DIARIO TOTAL		

Anexo 3. Registro fotográfico del conteo vehicular automático en la Avenida 25 de junio.

Ubicación del equipo:



Ubicación del equipo:



Fuente: Elaboración Consultoría

Ubicación del equipo:



Equipo utilizado:



Fuente: Elaboración Consultoría

Instalación de equipos:



Fuente: Elaboración Consultoría

Instalación de equipos:



Fuente: Elaboración Consultoría