

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UPLA
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

TESIS

**LOS MODELOS MACROSCÓPICOS EN EL
TRÁFICO VEHICULAR DE LAS VÍAS
PRINCIPALES DE LA CIUDAD DE HUANCAYO,
JUNÍN**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA
CIVIL**

Autor: Bach. Milagros Araceli Fierro Montalvo

Asesor: Ernesto Willy García Poma

Líneas de investigación institucional: Transporte y Urbanismo

Huancayo - Perú

2024

HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADOS

.....

PRESIDENTE

.....

JURADO

.....

JURADO

.....

SECRETARIO DOCENTE

DEDICATORIA

A quienes han iluminado mi camino con sabiduría y apoyo incondicional, a quienes han sido mi faro en las tempestades del conocimiento, a ustedes, mi familia, amigos, profesores y mentores, les dedico con gratitud esta tesis. Su constante aliento ha sido mi mayor inspiración.

Bach. Milagros Araceli Fierro Montalvo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por su amor y sacrificio inquebrantables, a mis profesores por la orientación y la información que me ayudaron a adquirir, y a mis amigos por su apoyo inquebrantable durante mi trayectoria escolar. Además, quiero expresar mi gratitud a todos los que han contribuido con su tiempo y experiencia a la realización de este proyecto. Sin su colaboración, la realización de esta tesis no habría sido posible.

Bach. Milagros Araceli Fierro Montalvo

CONSTANCIA DE SIMILITUD

N ° 0315 - FI -2024

La Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones, hace constar mediante la presente, que la **Tesis**; titulada:

LOS MODELOS MACROSCÓPICOS EN EL TRÁFICO VEHICULAR DE LAS VÍAS PRINCIPALES DE LA CIUDAD DE HUANCAYO, JUNÍN

Con la siguiente información:

Con Autor(es) : **Bach. FIERRO MONTALVO MILAGROS ARACELI**

Facultad : **INGENIERÍA**

Escuela Académica : **INGENIERÍA CIVIL**

Asesor(a) : **Ing. GARCIA POMA ERNESTO WILLY**

Fue analizado con fecha **16/09/2024**; con **107 págs.**; con el software de prevención de plagio (Turnitin); y con la siguiente configuración:

Excluye Bibliografía.

X

Excluye citas.

X

Excluye Cadenas hasta 20 palabras.

X

Otro criterio (especificar)

El documento presenta un porcentaje de similitud de **16** %.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentajes establecidos en el artículo N°15 del Reglamento de uso de Software de Prevención de Plagio Versión 2.0. Se declara, que el trabajo de investigación: **Si contiene un porcentaje aceptable de similitud.**

Observaciones:

En señal de conformidad y verificación se firma y sella la presente constancia.

Huancayo, 16 de septiembre del 2024.



MTRA. LIZET DORIELA MANTARI MINCAMI
JEFA

Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones

CONTENIDO

CONTENIDO	v
CONTENIDO DE TABLAS	vii
CONTENIDO DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN	xi
CAPÍTULO I	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1. Descripción del Problema.....	12
1.2. Delimitación del Problema	13
1.2.1. Espacial	13
1.2.2. Temporal	13
1.2.3. Conceptual.....	13
1.3. Formulación del Problema.....	14
1.3.1. Problema General	14
1.3.2. Problemas Específicos.....	14
1.4. Justificación	14
1.4.1. Social o práctica	14
1.4.2. Científica o teórica	15
1.4.3. Metodológica.....	15
1.5. Limitaciones	15
1.6. Objetivos.....	15
1.6.1. Objetivo General	15
1.6.2. Objetivos Específicos	15
CAPÍTULO II	17
MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Antecedentes.....	17
2.2. Bases teóricas o científicas	24
2.2.1. Tráfico vehicular	43
2.2.2. Modelos macroscópicos	24
CAPÍTULO III.....	55

HIPÓTESIS.....	55
3.1. Hipótesis	55
3.1.1. Hipótesis General	55
3.1.2. Hipótesis específicas	55
3.2. Variables.....	56
3.2.1. Definición conceptual de la variable.....	56
3.2.2. Definición operacional de la variable.....	56
3.3. Operacionalización de variables.....	57
CAPÍTULO IV.....	58
METODOLOGÍA	58
4.1. Método de investigación.....	58
4.2. Tipo de investigación.....	59
4.3. Nivel de investigación	59
4.4. Diseño de investigación.....	59
4.5. Población y muestra.....	60
4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	60
4.6.1. Técnicas de recolección de datos	60
4.6.2. Instrumentos	60
4.7. Procesamiento de la información	61
4.8. Técnicas y análisis de datos.....	61
CAPÍTULO V	62
RESULTADOS.....	62
CAPÍTULO VI.....	89
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	89
CONCLUSIONES	94
RECOMENDACIONES.....	95
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	57
Tabla 2. Modelo macroscópico del volumen de las vías principales de Huancayo.....	63
Tabla 3. Volumen promedio del tráfico	68
Tabla 4. Velocidad promedio.....	68
Tabla 5. Modelo macroscópico de la densidad de las vías principales de Huancayo.....	72
Tabla 6. Densidad del tráfico promedio.....	73
Tabla 7. Modelo macroscópico de la capacidad de las vías principales de Huancayo	77
Tabla 8. Capacidad de tráfico	78
Tabla 9. Volumen de tráfico por hora de las vías principales de Huancayo.....	83
Tabla 10. Velocidad promedio por hora de las vías principales de Huancayo	84
Tabla 11. Densidad de tráfico por hora de las vías principales de Huancayo	85
Tabla 12. Comparación de la situación actual y convencional del tráfico vehicular por hora	86

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de modelos.....	46
Figura 2. Softwares para macro simulación del tránsito.....	25
Figura 3. Modelo macroscópico de la vía de la Av. Huancavelica.....	64
Figura 4. Modelo macroscópico de la vía de la Av. Real.....	65
Figura 5. Modelo macroscópico de la vía de la Av. Giráldez.....	66
Figura 6. Modelo macroscópico de la vía del Jr. Arequipa.....	66

RESUMEN

La presente investigación tuvo como problema de investigación: ¿Cuáles serían los resultados de los modelos macroscópicos en el tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023?, el objetivo fue: Determinar cuáles serían los resultados de los modelos macroscópicos en el tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023. La hipótesis fue que: Los resultados de los modelos macroscópicos serían directos y significativos en el tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023. La investigación fue de método científico, tipo aplicada, cuyo nivel de investigación fue explicativo y tuvo un diseño experimental. La población estuvo constituida por las vías de la ciudad de Huancayo de provincia de Huancayo, departamento de Junín. La muestra estuvo conformada por las vías principales de la ciudad de Huancayo, comprendidas desde la intersección de Av. Calmell del Solar con la Av. San Carlos (altura de la Universidad Peruana Los Andes), hasta la avenida Ferrocarril de la ciudad de Huancayo, provincia de Huancayo, departamento de Junín. El muestreo fue no probabilístico, del tipo intencional. El resultado más resaltante fue que para determinar los modelos macroscópicos en el tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, se tuvo en consideración el análisis del volumen de tráfico por hora en las vías principales de Huancayo, y se revela un patrón caracterizado por picos de tráfico durante las horas pico matutinas y vespertinas, con una demanda máxima de 2300 vehículos por hora entre las 5:00 y las 6:00 PM. Durante las horas de la mañana, el tráfico alcanza su punto máximo entre las 8:00 y las 9:00 AM, mientras que durante la tarde, el pico se observa entre las 5:00 y las 6:00 PM. Estos datos destacan la importancia de una gestión eficiente del tráfico durante estas horas críticas para mitigar la congestión y mejorar la fluidez del tráfico en las vías principales de la ciudad. La conclusión más resaltante fue que se sugirió una serie de patrones y tendencias en el flujo vehicular, donde estos modelos proporcionan una visión general del comportamiento del tráfico a nivel macro, lo que permite identificar posibles cuellos de botella, períodos de congestión y áreas de alta demanda.

Palabras clave: Macroscópicos, tráfico, vehicular, modelos, vías.

ABSTRACT

The research problem of the present investigation was: What would be the results of the macroscopic models in the vehicular traffic of the main roads of the city of Huancayo, Junín, 2023? The objective was: To determine what would be the results of the macroscopic models in the vehicular traffic of the main roads of the city of Huancayo, Junín, 2023. The hypothesis was that: The results of the macroscopic models would be direct and significant in the vehicular traffic of the main roads of the city of Huancayo, Junín, 2023. The research was of scientific method, applied type, whose research level was explanatory and had an experimental design. The population consisted of the roads in the city of Huancayo, province of Huancayo, department of Junín. The sample consisted of the main roads of the city of Huancayo, from the intersection of Calmell del Solar Avenue with San Carlos Avenue (at the height of the Universidad Peruana Los Andes), to Ferrocarril Avenue in the city of Huancayo, province of Huancayo, department of Junín. The sampling was non-probabilistic, of the purposive type. The most outstanding result was that in order to determine the macroscopic patterns in vehicular traffic on the main roads of the city of Huancayo, the analysis of hourly traffic volume on the main roads of Huancayo was taken into consideration, and revealed a pattern characterized by traffic peaks during the morning and evening rush hours, with a maximum demand of 2,300 vehicles per hour between 5:00 and 6:00 PM. During the morning hours, traffic peaks between 8:00 and 9:00 AM, while during the afternoon, the peak is observed between 5:00 and 6:00 PM. These data highlight the importance of efficient traffic management during these critical hours to mitigate congestion and improve traffic flow on the city's main roads. The most striking conclusion was that a series of patterns and trends in vehicular flow were suggested, where these models provide an overview of traffic behavior at a macro level, allowing the identification of potential bottlenecks, congestion periods and areas of high demand

Keywords: Macroscopic, traffic, vehicular, models, roads.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación tuvo como objetivo: Determinar cuáles serían los resultados de los modelos macroscópicos en el tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023, por ello esta investigación se realizó porque existe la necesidad de realizar un adecuado análisis de los modelos macroscópicos y el tráfico vehicular en las vías principales de la ciudad de Huancayo, porque con una comprensión profunda del flujo vehicular y los patrones de tráfico en las vías principales permite identificar y prevenir congestiones, reduciendo los tiempos de viaje y mejorando la eficiencia del transporte público y privado. Además, un análisis detallado de estos modelos proporciona información crucial para la planificación urbana, la gestión del tráfico, y el diseño de políticas y proyectos de infraestructura que promuevan la movilidad sostenible y la seguridad vial en la ciudad, contribuyendo así al desarrollo económico y social de la región.

Para el adecuado desarrollo de esta investigación, estuvo estructurado en 06 capítulos, que se describen a continuación:

Capítulo I: Planteamiento del problema: En este capítulo se describió el planteamiento del problema, formulación del problema, justificación, delimitaciones, limitaciones y objetivos de la investigación.

Capítulo II: Marco teórico: En este capítulo se desarrolló los antecedentes y bases teóricas o científicas.

Capítulo III: Hipótesis: Señala las hipótesis y variables de la investigación.

Capítulo IV: Metodología: Aquí se desarrolló el método de investigación, tipo, nivel y diseño de investigación, población, muestra, técnicas e instrumentos de recopilación de datos, técnicas y análisis de datos.

Capítulo V: Resultados: En este acápite se mostró los resultados de la investigación.

Capítulo VI: Análisis y discusión de resultados: En este acápite se mostró las discusiones de los resultados obtenidos en la investigación.

Finalmente, se expuso las conclusiones, recomendaciones, referencias, bibliografías y anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema

El tráfico de vehículos en Colombia presenta graves problemas que afectan el medio ambiente, la seguridad y la movilidad a nivel global. Los embotellamientos, especialmente en las horas de la mañana y la tarde, están entre los peores problemas. El aumento constante en la cantidad de automóviles en las vías principales es un factor que contribuye a la desaceleración del tráfico vehicular, lo que influye en la eficacia y la calidad de vida de los habitantes de la comunidad. La contaminación del aire también es un problema importante. Las emisiones de gases considerados contaminantes, como el dióxido de carbono (CO₂), los óxidos de nitrógeno (NO₂) y las partículas en suspensión, tienen un efecto adverso tanto en el medio ambiente como en la salud pública. Pasar largos periodos de tiempo en aire de mala calidad puede tener efectos perjudiciales en la población en general. La seguridad vial es otro reto, dado que el aumento de los accidentes en el sector del transporte está relacionado con el incremento en la cantidad de vehículos. Los accidentes, incluyendo colisiones, atropellos y choques, ponen en peligro la seguridad de los conductores, pasajeros y peatones. Analizar los patrones de tráfico y las zonas de mayor riesgo es crucial para implementar medidas preventivas. En resumen, la creciente gravedad de los problemas de tráfico es resultado de la ineficiencia en la planificación urbana. Se requieren modelos orientados a nivel macroscópico que consideren las características específicas de las ciudades colombianas para el desarrollo de nuevas vías, la optimización de las carreteras existentes y la distribución efectiva del tráfico (Bautista et al., 2014).

Debido al aumento constante del parque automotor, Lima se ha convertido en un punto focal destacado para el tráfico vehicular, lo cual se ha convertido en una preocupación significativa a nivel nacional. Este fenómeno está asociado con varios problemas, como la

congestión del tráfico, la contaminación ambiental, el ruido excesivo y el aumento en el número de accidentes vehiculares. Se han desarrollado modelos macroscópicos para comprender completamente y mejorar el flujo del tráfico vehicular con el fin de abordar este problema. El propósito de estas investigaciones fue determinar soluciones geométricas, señalización y sistemas de semaforización que reducirían la longitud de las filas, el tiempo de espera y la ocurrencia de accidentes de tráfico (García y Solís, 2023).

Los modelos macroscópicos y el tráfico vehicular en las principales autopistas de la ciudad de Huancayo, ubicada en Junín, Perú, son responsables de una serie de dificultades importantes que se generan a nivel local. La congestión vehicular, que provoca retrasos en los desplazamientos y afecta la calidad de vida de las personas, es uno de los factores que contribuyen a estos problemas. Otros factores incluyen la contaminación del aire y el ruido, que tienen efectos adversos tanto en la salud pública como en el medio ambiente. Además, la falta de un análisis y gestión adecuados del tráfico puede aumentar la probabilidad de accidentes de tránsito, lo que comprometería la seguridad vial en la ciudad. El hecho de que estos problemas afecten no solo a los residentes, sino también al crecimiento de la economía y la industria turística de la región, resalta la importancia de abordar con éxito los desafíos asociados con la movilidad urbana en Huancayo.

1.2. Delimitación del Problema

1.2.1. Espacial

Una de las principales vías de la ciudad de Huancayo, que se encuentra en la provincia de Huancayo y en el departamento de Junín, fue el lugar donde se llevó a cabo la presente investigación.

1.2.2. Temporal

En los años 2022 y 2023, es decir, durante los meses de septiembre de 2022 y enero de 2023, se llevó a cabo la investigación.

1.2.3. Conceptual

La realización de la propuesta buscó establecer la relación de causalidad que hay entre el tráfico vehicular y los modelos macroscópicos, teniendo en cuenta las normas técnicas peruanas y la teoría que nos brinda la ingeniería de transporte.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema General

¿Cuáles serían los resultados de los modelos macroscópicos en el tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023?

1.3.2. Problemas Específicos

- a) ¿Cuáles serían los resultados de los modelos macroscópicos en el volumen del tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023?

- b) ¿Cuáles serían los resultados de los modelos macroscópicos en la densidad del tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023?

- c) ¿Cuáles serían los resultados de los modelos macroscópicos en la capacidad del tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023?

1.4. Justificación

1.4.1. Social o práctica

La investigación tiene la capacidad de producir contribuciones prácticas directas o indirectas relacionadas con el problema examinado en la vida real. También ofrece una idea más completa. Es crucial recordar que un estudio se considera que tiene justificación práctica cuando su desarrollo ayuda a resolver un problema o, al menos, propone tácticas que, si se ponen en práctica, contribuirán a la resolución del problema. Hay que recordar que la mayoría de las investigaciones de pregrado se realizan en un entorno práctico es fundamental (Fernández, 2020). Esta investigación se realizó porque es necesario llevar a cabo un análisis exhaustivo de los modelos macroscópicos y del tráfico vehicular en las principales vías de la ciudad de Huancayo. Una comprensión profunda del movimiento de los vehículos y de los patrones de tráfico en los principales sistemas viales puede llevar a la identificación y prevención de la congestión, la reducción de los tiempos de viaje y la mejora de la eficacia tanto del transporte público como del privado. Además, un examen detallado de estos modelos proporciona datos cruciales que pueden aplicarse al control del tráfico, la planificación urbana y la creación de leyes e iniciativas de infraestructura que apoyen un transporte seguro y sostenible dentro de las ciudades. Esto, a su vez, avanza el crecimiento social y económico de la región.

1.4.2. Científica o teórica

Es vital proporcionar una descripción de las brechas de conocimiento existentes que la investigación pretende llenar para ofrecer una explicación teórica del estudio. Varias publicaciones contienen secciones que requieren declaraciones sobre la importancia del estudio, y la justificación teórica es un componente clave para establecer la relevancia de la investigación. Según Alvarez (2020), existen varios argumentos diferentes que se pueden utilizar para argumentar el valor de la investigación desde una perspectiva teórica y conceptual. En términos de modelos macroscópicos y tráfico vehicular, el propósito de esta investigación fue proporcionar evidencia que sustente el marco teórico y el marco legal que actualmente están en vigor en nuestro país. Para lograr este objetivo, la investigación se llevó a cabo con el propósito de evaluar los componentes proporcionados por el estudio respecto a su análisis correspondiente.

1.4.3. Metodológica

Según Rincón (2020), los fundamentos que lo sustentan incluyen la incorporación de nuevas metodologías, instrumentos, modelos o estrategias de investigación para desarrollar conocimientos que sean legítimos y confiables. El desarrollo e implementación de herramientas de recolección de datos con el propósito de analizar el comportamiento de los modelos macroscópicos y el tráfico vehicular sería beneficioso para cualquier otro investigador que esté indagando en condiciones científicas. Es posible que se utilicen en futuros proyectos de investigación una vez que se haya establecido su validez y confiabilidad.

1.5. Limitaciones

No se tuvieron limitaciones trascendentales.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Determinar cuáles serían los resultados de los modelos macroscópicos en el tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023.

1.6.2. Objetivos Específicos

- a) Analizar cuáles serían los resultados de los modelos macroscópicos en el volumen del tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023.

- b) Analizar cuáles serían los resultados de los modelos macroscópicos en la densidad del tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023.
- c) Analizar cuáles serían los resultados de los modelos macroscópicos en la capacidad del tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Antecedentes internacionales

Venegas (2017), en su tesis *Modelos macroscópicos para el estudio del tráfico vehicular de dos y tres fases*, tuvo como objetivo considerar que el flujo vehicular se puede encontrar en dos fases únicamente; flujo libre o tráfico congestionado. El estudio fue de naturaleza descriptiva y adoptó un enfoque cualitativo. El diseño del estudio no fue experimental. En este estudio, la población estuvo compuesta por modelos macroscópicos, y la muestra se basó en el censo y no se seleccionó mediante probabilidad. Los instrumentos utilizados fueron formularios de recolección de datos, y el método empleado fue la observación estructurada. Uno de los hallazgos más importantes fue que la densidad de los conductores que pertenecen a la clase menos agresiva continúa disminuyendo con el tiempo, hasta que eventualmente todos los conductores pertenecen a la clase más agresiva. Debido a la ausencia de cúmulos de densidad a lo largo del circuito a partir del tiempo $t = 30$ [minutos], se observa un flujo sin impedimentos cuando se presentan estas circunstancias. En otras simulaciones, se ha demostrado que solo una de estas clases prevalece, y que la agresividad no juega un papel significativo en la adaptación de los conductores; más bien, el número de autos por clase al inicio de la simulación es el factor más importante. Esto se demuestra al intercambiar la densidad de autos entre las diferentes clases. Tras una consideración cuidadosa, se determinó que la utilización de datos experimentales en la investigación del tráfico vehicular es de suma importancia. Es lamentable que tales datos no siempre puedan derivarse solo de suposiciones y formulaciones matemáticas; sin embargo, el uso de ajustes numéricos es adecuado para

iniciar el proceso de construcción de modelos y comprender los diversos patrones emergentes del tráfico vehicular.

Risso (2016), en su tesis *Métodos de estimación aplicados a problemas de tráfico vehicular y sistemas eléctricos de potencia*, tuvo como objetivo determinar a partir de observaciones, el valor de las variables de estado de la mejor manera posible. Se utilizó una metodología cualitativa para el proyecto de investigación, que fue de carácter descriptivo. No se empleó un diseño experimental para la investigación. La población estaba compuesta por sistemas eléctricos, y la muestra se derivó del censo en lugar de depender de la probabilidad. La población estaba compuesta por sistemas eléctricos. La técnica aplicada fue la observación estructurada, y los instrumentos utilizados para la recolección de datos fueron formularios. En el momento 101, los hallazgos principales sugirieron que el generador conectado a la barra 2 había sido desconectado. En el segundo escenario, denominado 14-barras (B), ocurrieron varias perturbaciones. El generador conectado a la barra 2 fue desconectado y reconectado en varios tiempos (31, 51, 71, 91 y 111). Debido a la presencia de ruido gaussiano aditivo, las mediciones se vieron alteradas, lo que provocó la disrupción. En cuanto a las mediciones de voltaje, el valor de σ^2 fue 0.001, mientras que el valor de σ^2 para las mediciones de potencia fue 0.02. Los parámetros considerados para cada caso de prueba fueron los siguientes: en la técnica de Holt, el valor de α_k fue 0.7, el valor de β_k fue 0.8 y el índice de confianza se estableció en $\gamma = 3$. Tras una investigación exhaustiva, se encontró que la técnica WLS y, más recientemente, el método UKF son los enfoques más comunes para abordar el problema de estimación de estado en la industria eléctrica. Esta conclusión se alcanzó después de una consideración cuidadosa. Cuando hay cambios mínimos en el sistema, los resultados del WLS son mejorados por el UKF, que proporciona un valor aproximado en caso de que el sistema no pueda ser observado. Además, el UKF ofrece una estimación del valor. En casos de variaciones inesperadas en los niveles de generación o cargas, es vital que el UKF tenga algo de tiempo para proporcionar una estimación realista, ya que el UKF necesita tener cierta flexibilidad.

Alvarenga (2020), en su tesis *Estudio comparativo entre la velocidad y la densidad en modelos macroscópicos del tráfico vehicular incorporando la variable espacial en la velocidad*, tuvo como objetivo comparar las relaciones clásicas entre densidad y velocidad en el contexto de los modelos continuos del tráfico vehicular, integrando una dependencia lineal de la variable espacial. Se utilizó una metodología cualitativa para el proyecto de investigación, que fue de carácter descriptivo. No se empleó un diseño experimental para la investigación. Es

importante señalar que la muestra no se basó en la aleatoriedad, sino en el censo. La población estuvo compuesta por individuos que eran conductores de una amplia variedad de vehículos diversos. La técnica aplicada fue la observación estructurada, y los instrumentos utilizados para la recolección de datos fueron formularios. Los hallazgos principales llevaron a la conclusión de que las estimaciones ofrecidas en la tercera sección de este artículo se utilizarían para evaluar los parámetros de los modelos. Esta conclusión se alcanzó al final de los hallazgos principales. Para comenzar, es esencial tener en cuenta que los modelos M3X y M4X ofrecen un mejor ajuste para el parámetro en contraste con los modelos M3 y M4. En comparación con los modelos convencionales, el parámetro que representa la velocidad máxima pronosticada para los modelos modificados es considerablemente más comparable con el de otros modelos. Por último, pero no menos importante, se ha observado que las modificaciones obtenidas mediante el uso de modelos tradicionales son más equivalentes a las estimaciones de densidades máximas que se descubrieron en la Sección 3. Dado que se descubrió que los modelos modificados con una variación lineal en el espacio se ajustan significativamente mejor que los modelos clásicos, se sugiere que esto puede estar relacionado con características específicas de la carretera en lugar del estado de densidad. Para ser más específicos, se mencionó que el modelo de Underwood modificado es el mejor modelo en general, con el modelo de Drake modificado ocupando un cercano segundo lugar en este aspecto.

Serrano (2017), en su tesis *Control predictivo aplicado al modelo macroscópico del tráfico en una ciudad*, tuvo como objetivo maximizar los beneficios de cada una de las CSs presentes en el escenario de estudio. El estudio fue descriptivo por naturaleza y adoptó un enfoque cualitativo. El diseño del estudio no fue experimental. En este estudio, la población estuvo conformada por modelos macroscópicos, y la muestra se basó en el censo y no se seleccionó mediante probabilidad. Los instrumentos utilizados para la recolección de datos fueron formularios, y el método aplicado fue la observación estructurada. Los hallazgos principales sugirieron que el análisis comparativo se muestra en la Figura, con los parámetros establecidos como $kalt = 0,15$ y c fijado en $[120, 90, 105, 100]$. Se notó que la ventaja de la distribución en una GC es grande, particularmente para ciertos CS. Por otro lado, cuando no hay coalición, hay CS que tienen beneficios extremadamente bajos en comparación con otros (ver la diferencia entre CS1 y CS2 en el escenario sin coaliciones). En vista de esto, es posible que algunos CS experimenten un aumento significativo en los beneficios, mientras que otros puedan enfrentar una disminución considerable. Según lo discutido anteriormente, es esencial utilizar la función de costo para estimar cuál de los posibles escenarios es más ventajoso para

cada CS. En conclusión, se determinó que se desarrolló un simulador confiable, que luego puede usarse para construir un modelo del comportamiento del sistema. Este modelo, obtenido para el punto de operación considerado correcto, permite crear, probar y aplicar un sistema de control predictivo (MPC). Esto elimina la necesidad de realizar todas estas pruebas en el simulador SUMO, que es demasiado lento para la cantidad de pruebas requeridas para este trabajo.

Pérez (2017), en su tesis *Modelo de tráfico vehicular*, tuvo como objetivo generar un modelo matemático confiable, que ayude a determinar cómo se comportará a futuro el crecimiento del parque vehicular en la Zona Metropolitana del Valle de México y en ciudades que comparten el problema del tráfico vehicular. Realizar una comparativa con estas ciudades y con algunas ciudades que hayan logrado disminuir de manera satisfactoria el parque vehicular. El estudio fue descriptivo, utilizando una metodología cualitativa y un diseño no experimental. La muestra se extrajo del censo y se realizó mediante muestreo no probabilístico, mientras que la población estaba constituida por el modelo de tráfico vehicular. Se utilizaron formularios para la recopilación de datos como instrumentos, y la técnica empleada fue la observación estructurada. Las principales conclusiones dejaron claro lo importante que es enfatizar que, en la realidad, es muy improbable, si no completamente imposible, que todos los vehículos del modelo proyectado o de la flota histórica de la delegación Cuauhtémoc estén en uso al mismo tiempo. Sin embargo, es factible mostrar en la simulación la cantidad total de emisiones que todos los vehículos producirán. La simulación abarca este período de tiempo por esta razón; de no ser así, se necesitarían realizar simulaciones separadas para diferentes fracciones del número total de vehículos, y luego sumar las cantidades de emisiones. Los vehículos ingresan y salen de la simulación desde diferentes direcciones en distintos puntos de la delegación Cuauhtémoc. Según [32], si el ritmo de expansión de la flota de vehículos continúa como en los últimos años, habrá un colapso vial para el año 2020. El Instituto de Geografía de la UNAM publicó un artículo que incluyó los mismos resultados de investigación que esta tesis. Los datos de este artículo indican que para 2020 habrá once millones de vehículos en la ZMVM (Zona Metropolitana del Valle de México). Se ha determinado, aplicando programación genética, que la ZMVM tendrá exactamente 11.45804409 millones de vehículos para 2020. Estos resultados nos llevan a la conclusión de que los aumentos anuales en el tiempo de desplazamiento, la cantidad de combustible utilizado y la cantidad de contaminantes emitidos generalmente resultan en una disminución en el estándar de vida.

Antecedentes nacionales

Arce (2017), en su tesis *Sistema autónomo de control de tráfico vehicular para intersecciones de avenidas*. La investigación se llevó a cabo utilizando una metodología cualitativa, con un enfoque descriptivo y un diseño que no incluyó experimentos reales. En este estudio, la población consistió en el tráfico vehicular en intersecciones de avenidas, y la muestra se basó en un censo y no siguió una distribución probabilística. El método utilizado fue la observación estructurada, y los equipos empleados fueron formularios para la recolección de datos. Los hallazgos más importantes fueron que la interfaz de monitoreo, que también es capaz de recibir y transferir datos de la base de datos, tiene la capacidad de mostrar estados operativos específicos de los sistemas del SICT. Detrás de la interfaz se oculta un algoritmo en funcionamiento, compuesto por tres interrupciones que se ejecutan en paralelo con la función principal. Los diagramas de flujo incluidos en esta sección se examinaron a lo largo del proceso de construcción del algoritmo de la interfaz. Se utilizó la aplicación LabVIEW, desarrollada por National Instruments. En el transcurso de este trabajo, se desarrolló una metodología con el propósito de realizar una investigación sobre tráfico. A través de esta metodología, se descubrieron los factores principales responsables de la producción de tráfico vehicular en los cruces. Esta metodología se aplicó a dos cruces de avenidas, elegidos debido al volumen significativo de tráfico que experimentan. Algunos de los factores identificados fueron: automóviles detenidos en áreas no autorizadas, automóviles que giraban a las avenidas principales utilizando la señal de tráfico incorrecta y automóviles detenidos en el medio de los cruces.

Holgin (2022), en su tesis denominada *Gestión de tráfico vehicular y calidad del aire del Centro Histórico de Cusco, 2021*. El estudio fue de carácter descriptivo, utilizando una metodología cualitativa y un diseño no experimental. La población estuvo compuesta por el volumen de tráfico vehicular y la calidad del aire en el Centro Histórico de Cusco, y se utilizó un muestreo no probabilístico y un censo para crear la muestra. Los instrumentos utilizados fueron formularios para la recolección de datos, y la técnica empleada fue la observación estructurada. Entre los descubrimientos clave se encontró que varios documentos protegen el derecho de las personas a vivir en un ambiente saludable. El Artículo 2, inciso 22, del PRP (1993), la Constitución Política, establece que “toda persona tiene el derecho a disfrutar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida”; el Artículo 11, incisos 1 y 2, del Protocolo Adicional a la Convención Americana sobre Derechos Humanos, sección de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, establece que “toda persona tiene el derecho a

vivir en un ambiente sano (...)” y que, por lo tanto, los Estados partes promoverán la protección, conservación y mejora del ambiente. Estos son solo algunos ejemplos de los valores encontrados en estos textos. El objetivo de este estudio es ofrecer recomendaciones a las organizaciones encargadas de supervisar el tráfico vehicular, como la Gerencia de Tránsito, Vialidad y Transporte de la Municipalidad Provincial del Cusco y la Gerencia Regional de Salud (GERESA), que se encarga de monitorear la calidad del aire. Estas ideas están alineadas con el objetivo del estudio, que es hacer accesibles al público general los resultados de la investigación sobre la calidad del aire en el Centro Histórico de Cusco. El Estado tiene la responsabilidad de garantizar que los estándares de calidad del aire y los niveles máximos permitidos no superen los límites establecidos por el Ministerio del Ambiente. Tras llevar a cabo la investigación, se encontró que, en lo que respecta a las concentraciones de PM10 y NO2, el Centro Histórico de Cusco experimentará una mejora modesta en la calidad del aire en 2021 cuando se controle el tráfico vehicular. Las conclusiones de la investigación indican que hubo poca variación en las concentraciones de contaminación a lo largo de los años estudiados. Sin embargo, el año 2021, cuando se implementó el Plan Maestro para el Centro Histórico de Cusco, muestra una ligera disminución. Aunque la concentración de NO2 no supera los límites máximos aceptables, la concentración de PM10 ha aumentado recientemente y ha superado dichos límites.

Visaga (2015), en su tesis *Influencia del flujo de tráfico vehicular en la contaminación sonora del Cercado de Lima*. El estudio tuvo un enfoque descriptivo y se realizó con un diseño no experimental y un enfoque cualitativo. La población consistió en datos de contaminación acústica de la región del Cercado de Lima, y la muestra consistió en un censo no probabilístico. La técnica empleada fue la observación estructurada y los instrumentos utilizados fueron formularios para la recolección de datos. Como se demuestra en la Tabla 2, donde LeqA d representa el Nivel de Presión Sonora Continua Equivalente con ponderación A durante el día, LeqA e representa el Nivel de Presión Sonora Continua Equivalente con ponderación A durante la tarde, y LeqA n representa el Nivel de Presión Sonora Continua Equivalente con ponderación A durante la noche, los principales resultados mostraron que los niveles de ruido en los 61 puntos de monitoreo en nuestra área de estudio estaban diferenciados según la distribución temporal. Además, la Tabla 3 presenta los resultados del flujo vehicular en cada estación de monitoreo. Se encontró que el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para el período diurno con zonificación comercial es superado por el 80% de los puntos en el área de estudio, el ECA para el período de la tarde con zonificación comercial es superado por el 61% de los puntos en

el área de estudio, y el ECA para el período nocturno con zonificación comercial es superado por aproximadamente el 82% de los puntos en el área de estudio. Los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para ruido están establecidos en el D.S. No. 085-2003-PCM, sobre el cual se basa la información presentada aquí. La Tabla 4 muestra los hallazgos de los niveles de ruido en cada ubicación de monitoreo, que están listados en la Tabla 2. También es importante recordar que no toda el área de estudio está designada para uso comercial. Existe la posibilidad de que algunas áreas se designen como zonas residenciales o zonas de protección especial, lo que significa que los niveles de ruido medidos serán 100% mayores que el ECA. Se encontró que se tuvo en cuenta la información sobre niveles de ruido en más de sesenta ubicaciones, el movimiento del tráfico y la geometría tridimensional de la región de investigación al crear y probar los mapas de ruido. En consecuencia, los mapas de ruido proporcionan una herramienta valiosa para la gestión ambiental que puede emplearse para implementar políticas destinadas a mitigar la contaminación acústica.

Pari (2020), en su tesis denominada *Análisis del efecto de las emisiones de tráfico vehicular acumulados sobre organismos bioindicadores (líquenes) en zonas contaminadas y no contaminadas en los distritos de Tacna, 2017*. La investigación empleó un diseño no experimental y una metodología cualitativa, con un enfoque descriptivo. La población estuvo conformada por los distritos de Tacna, y se utilizó muestreo no probabilístico en el censo. Los formularios de recolección de datos sirvieron como instrumentos, y se empleó la observación estructurada como método. Uno de los hallazgos más importantes de este estudio es que, a diferencia de otras ciudades internacionales (Valle de Aburra, Medellín, Colombia) y nacionales (Machu Picchu, Cusco, Perú) donde se encuentran líquenes, en Tacna no hay líquenes, especialmente en la corteza de los árboles. Debido a esto, se consultó a expertos para localizar líquenes en los barrancos cercanos a los distritos de Calana. Tras localizarlos en varios puntos de Tacna, se examinaron los siguientes resultados: Se observa que, en promedio, el flujo vehicular en las zonas de alto tráfico es aproximadamente 12 veces mayor que en las zonas de bajo tráfico, según los datos recolectados para evaluar el flujo vehicular en las áreas de estudio (Tabla 18). Esto indica que están presentes tanto bajas como altas concentraciones de emisiones vehiculares, incluyendo CO, SO₂ y NO_x. Estos datos se apoyan en una investigación realizada en un centro comercial en San Luis, Argentina, donde se encontró que las concentraciones altas de CO, SO₂ y NO_x se encuentran en lugares con mayor actividad comercial (alto tráfico) y concentraciones bajas en áreas suburbanas (bajo tráfico). En resumen, se aplicó la metodología "Trasplante de Líquenes a Lugares Específicos" en cuatro puntos diferentes: dos áreas con bajo

tráfico y dos áreas con alto tráfico. De los cuatro puntos, "Plaza Zela" presentó el mayor volumen de flujo vehicular horario, con 361,75 vehículos/15 minutos, en comparación con los otros puntos.

Herrera (2019), en su tesis *Evaluación y modelamiento del ruido producido por el tráfico vehicular en las Av. Goyeneche e independencia de la ciudad de Arequipa*. Este fue un estudio descriptivo sin diseño experimental que se realizó con una metodología cualitativa. Las principales vías utilizadas por los residentes de Arequipa para el tránsito fueron la Av. Goyeneche y la Av. Independencia. La muestra se obtuvo mediante un censo y muestreo no probabilístico. Los instrumentos utilizados para la recolección de datos fueron formularios, y la técnica empleada fue la observación estructurada. Los resultados principales mostraron que el 19.5% de los encuestados vivían en la zona de estudio, el 25.5% había trabajado allí durante un período de entre un mes y tres años, el 39.0% había trabajado allí durante un período de entre tres y cinco años, y el 16.0% había trabajado allí durante más de cinco años. Las siguientes conclusiones se alcanzaron después de considerar el tiempo dedicado a residir, trabajar o estudiar en la región de evaluación: El 6% de las personas en la región pasan menos de cuatro horas, el 12% pasan entre cuatro y seis horas, el 29% pasan entre seis y ocho horas, el 32% pasan entre ocho y doce horas, y el 15% pasa más de doce horas. En conclusión, el estudio realizado en los puntos de medición elegidos reveló que todos los valores obtenidos, durante el día, superaron los Estándares de Calidad Ambiental para Ruido (D.S. No. 085-2003-PCM). Esto se atribuyó a una variedad de factores, incluidos el movimiento de vehículos y comportamientos de conducción irresponsables exhibidos por los conductores, tales como aceleraciones bruscas, uso excesivo de la bocina, gritos de los conductores de minibuses, silenciosos en mal estado o modificados, y motores excesivamente ruidosos. Los niveles de ruido excesivos también fueron influenciados por los procesos de aceleración y desaceleración causados por los semáforos en los cruces.

2.2. Bases teóricas o científicas

2.2.1. Modelos macroscópicos

- **Definición**

Es posible definir y estudiar el comportamiento integrado de los flujos de tráfico a gran escala mediante el uso de modelos macroscópicos. La premisa de que los flujos de tráfico son un medio continuo sirve como base para estos modelos (Alvarado, 2018). Estos modelos se distinguen por su representación continua del

flujo de tráfico, que se refiere a métricas generales como la relación entre flujo, velocidad y densidad del movimiento de vehículos de forma genérica. Esta es la característica principal de estos modelos. Aunque es cierto que este tipo de modelo no tiene un gran nivel de detalle, ofrece una ventaja significativa cuando se trata de abordar problemas a gran escala, ya que requiere menos tiempo para el análisis. El software de macro - simulación más importante se muestra en la Figura 1.

Simulador	País de origen	Aplicación
AUTOS	Georgia Tech Research Institute, EEUU	Autopistas
TRAF/CORFLO	FHWA, EEUU (contiene NETFLO y FREFLO)	Integrado
EMME 4.2	Transportation Association of Canada, Canada	Integrado
FREFLO	FHWA, EEUU	Autopistas
FREQ	Universidad de California, EEUU	Integrado
KRONOS	Universidad de Minessota, EEUU	Autopistas
METACOR	Centro de Ingeniería de Tráfico y Simulación de Tráfico, Suecia	Integrado
METANET	Universidad Técnica de Munich, Alemania	Autopistas
NETFLO	FHWA, EEUU	Redes señalizadas
NETVACI	Instituto de Tecnología de Massachusetts, EEUU	Redes señalizadas
PASSER	Instituto de Transporte de Texas, EEUU	Redes señalizadas
TRANSYT-7F	FHWA, EEUU	Redes señalizadas
TRANS 15.1	TRL, Reino Unido	Integrado
TRANSCAD	Corporación Caliper, EEUU	Integrado
TEXAS	Universidad de Texas, EEUU	Redes señalizadas
VISUM 15	Universidad de Karlsruhe, Alemania	Integrado

Figura 1. Softwares para macro simulación del tránsito

Específicamente, el objetivo de este tipo de modelo es capturar las conexiones globales presentes en los flujos de tráfico, como la densidad del tráfico, la velocidad de los vehículos y el flujo de vehículos. Además, en estos modelos, el tráfico se considera como un flujo continuo de materia en lugar de ser visto como una colección de automóviles individuales en un momento dado. Se pueden distinguir diferentes tipos de modelos macroscópicos según las correlaciones que existen entre los principales parámetros del tráfico (Alvarado, 2018):

✓ **Modelo de Greenshields**

Desde 1931, este es el primer modelo de tráfico que se ha utilizado. Si el tráfico es continuo, este modelo sugiere que existe una relación lineal entre la velocidad del tráfico y la densidad del tráfico.

✓ **Modelo de Greenberg**

El modelo anterior sirve como base para este modelo, que sigue una ley

logarítmica y es particularmente útil para determinar la cantidad de tráfico intenso.

✓ **Modelo de Underwood**

Además, este es un modelo exponencial logarítmico; sin embargo, es más adecuado para situaciones con poco tráfico.

✓ **Modelo de Eddie**

Es una construcción híbrida que combina elementos de los modelos de Greenberg y Underwood. Este modelo se utiliza para ubicaciones con baja densidad de tráfico, mientras que el modelo de Greenberg se utiliza para áreas con alta densidad de tráfico.

✓ **Modelo del Equilibrio del Usuario y su enfoque Determinista**

Esta parte proporciona una explicación del proceso por el cual funciona el modelo UE, así como la justificación de su utilización en nuestra investigación. Para estimar el flujo de tráfico en una red, se utilizan los modelos de asignación de tráfico. El objetivo de estos modelos es describir, predecir o recomendar un patrón de flujo de tráfico a lo largo de una red en la que existe cierta demanda de viajes y los efectos de la congestión hacen que los tiempos (costos) de viaje en los arcos dependan del flujo. El patrón de flujo se establece de acuerdo con un criterio de desempeño, que incluye una medida de disutilidad. Esta afirmación hace referencia al Principio del Equilibrio del Usuario, que sostiene que cada usuario busca reducir la cantidad de tiempo y dinero gastado en sus desplazamientos. Como entrada clave de datos, se requiere una matriz O-D para que los Modelos de Asignación de Tráfico funcionen correctamente. En esta matriz, las filas indican zonas o puntos de origen, mientras que las columnas representan zonas o puntos de destino. Además, cada celda representa el número de viajes (o tasa) realizados desde un punto de origen hasta un punto de destino en un periodo de tiempo específico. Para asignar los flujos a la red, se toma en consideración el tiempo (costo) de viaje de las rutas alternativas capaces de soportar este tráfico. Es el flujo en un arco el que determina el tiempo (costo) de viaje en ese arco; sin embargo, el flujo en otros arcos de la red no influye en el tiempo de tránsito. La función de costo es separable, lo que significa que si se incluyeran costos fijos

como tarifas de peaje, costos de operación basados en distancia y otros gastos similares, no estarían dependientes de la cantidad de tiempo o dinero gastado en el viaje (Velasco, 2015).

Cuando se habla de modelos macroscópicos, el término "modelo macroscópico" se refiere a una estrategia que considera actividades globales y colectivas sin hacer énfasis en los componentes fundamentales de esos procesos. Como resultado, estos modelos tienen un bajo nivel de detalle porque no toman en cuenta los vehículos de manera individual. En lo que respecta al tráfico vehicular, los modelos macroscópicos consideran la dinámica colectiva de los vehículos como un flujo y hacen lo posible por describir las correlaciones globales entre densidad y velocidad en relación con la posición y el tiempo. Estos modelos se desarrollan típicamente por analogía con el flujo de medios continuos (por ejemplo, fluidos o gases), con la dinámica descrita por ecuaciones diferenciales parciales, y tales modelos son continuos por naturaleza. Estas ecuaciones también pueden ser clasificadas según el número de ecuaciones que se utilizan y la secuencia en la que se emplean. El enfoque macroscópico no incluye una descripción explícita de las maniobras individuales de los vehículos y asume que el tráfico vehicular está concentrado en los carriles mediante el uso de ciertas aproximaciones (Carvajal, 2018).

Estos modelos utilizan una variedad de enfoques, desde los puramente empíricos (por ejemplo, modelos de capacidad y nivel de servicio), que limitan el uso del modelo a establecer relaciones empíricas entre las principales variables bajo el control del diseñador y no requieren la formulación precisa de ecuaciones diferenciales, hasta modelos que emplean la teoría de gases cinéticos y enfoques de dinámica de fluidos. Para proporcionar una descripción cuantitativa del problema, estos modelos utilizan dos variables principales: la velocidad promedio ($u = u(x; t)$, calculada para la posición x en el tiempo t) y la densidad de carros ($\rho = \rho(x; t)$). Estas variables permiten la construcción del flujo $J = J(x; t) = \rho u$, que tiene implicaciones significativas para usos teóricos y experimentales (Carvajal, 2018).

Los modelos macroscópicos sugieren que el comportamiento del flujo vehicular es un régimen de flujo compresible. Estos modelos permiten el estudio del flujo a través de numerosos carriles, son computacionalmente más eficientes que los modelos microscópicos, pueden realizar trabajos completamente analíticos en algunos casos, y el efecto de las rampas de entrada y salida no es importante. Además, estos modelos proporcionan conclusiones cualitativas que caracterizan con precisión el comportamiento empírico observado en el flujo vehicular. Sin embargo, están limitados a mostrar características globales y no realizan un análisis vehículo por vehículo; en cambio, proporcionan números que han sido promediados (Velasco, 2015).

✓ **Modelo de dinámica de fluidos**

En este tipo particular de modelo, el tráfico automovilístico se modela como un fluido continuo y compresible que existe en una sola dimensión. Además, si consideramos una zona en la que no hay entradas ni salidas, los vehículos deben ser conservados. Esto nos lleva a la ecuación de continuidad, que es un componente esencial de cualquier modelo macroscópico. Según esta ecuación, la diferencia entre el flujo de entrada en x_1 y el flujo de salida en x_2 es la única causa de la fluctuación temporal en el número de automóviles presentes en un tramo de carretera entre las ubicaciones x_1 y x_2 . Sin embargo, no es posible deducir dos incógnitas, a saber, la densidad ρ y el flujo J , a partir de una sola ecuación. Por lo tanto, es importante considerar una ecuación adicional e independiente. Una posibilidad sugerida por el modelo LWR es suponer que el flujo se establece mediante el diagrama fundamental. Esto implica que el flujo está relacionado con la densidad mediante una función de densidad local simbolizada por $j(\rho)$ (Duarte y León, 2018):

$$\frac{\partial \rho(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial J(x, t)}{\partial x} = 0$$

$$J(x, t) = j(\rho(x, t))$$

Dentro del marco teórico de la dinámica de fluidos, esta relación no puede ser calculada; por lo tanto, debe presentarse como una relación fenomenológica obtenida a partir de datos empíricos o de consideraciones microscópicas. Esto se debe a que el marco teórico no permite calcular esta relación. La teoría LWR utiliza un modelo de primer orden porque la dinámica se describe mediante una ecuación diferencial parcial de primer orden. Esta es la razón por la cual se utiliza la teoría LWR. Según Duarte y León (2018), las aproximaciones y suposiciones involucradas en el proceso resultan en varias deficiencias.

Además, se plantea la premisa de que el diagrama fundamental estacionario puede aplicarse a circunstancias no estacionarias, lo que lleva a resultados indeseables en entornos dinámicos. La velocidad del vehículo se ajusta inmediatamente a la densidad circundante sin tiempo de relajación, ya que el flujo se basa en la densidad de la región circundante. Esto ocurre sin pausas en el proceso. Según Nureña (2021), la teoría no es capaz de explicar o replicar fenómenos como el agrupamiento del tráfico vehicular, las ondas de parar y seguir, o casos de congestión espontánea. La razón de esto es que la densidad y el flujo deben estar constantemente en una proporción adecuada entre sí.

En el área de gradientes de densidad significativos, se produce una divergencia entre aceleraciones y desaceleraciones. En las teorías posteriores y más desarrolladas, se incorporan ecuaciones parciales de segundo orden. Además, se utiliza una ecuación del tipo Navier-Stokes para tener en cuenta los cambios en la velocidad, que es otra adición a la ecuación de continuidad. Los términos de relajación en esta ecuación representan una velocidad máxima y segura, ambas dependientes de la densidad de partículas. Esto permite anticipar situaciones futuras de tráfico y facilita la modificación de la velocidad de cada vehículo para que esté en línea con la velocidad de sus vecinos (Carvajal, 2018).

✓ **Modelo de teoría de gas cinético**

En este escenario, cada vehículo se considera una partícula dentro de un gas unidimensional compuesto por partículas que interactúan entre sí. La teoría cinética de los gases, que generalmente se considera una representación intermedia entre los enfoques macroscópico y microscópico, ha sido modificada

para construir varias versiones de la teoría cinética del tráfico vehicular. Esto se conoce como el enfoque mesoscópico. Se puede estudiar una función de distribución, representada típicamente por el símbolo f , para el número de moléculas de gas contenidas en un elemento de volumen en una posición particular en el espacio. Esta función de distribución tendrá un momento asociado que gira alrededor de un valor particular en un momento dado, según la teoría cinética de los gases. La ecuación de Boltzmann, según Nureña (2021), proporciona una descripción de los desarrollos temporales de esta distribución.

La función de distribución f se utiliza para describir la probabilidad de que un automóvil esté en un segmento de carretera particular en un momento dado con una velocidad cercana a un valor especificado. Esta probabilidad es relevante en el contexto de los vehículos. Según la teoría, se hipotetiza que si no hay interacciones entre los automóviles, habrá una distribución perfecta, y f tenderá a seguir esa distribución. Debido a esto, el proceso puede caracterizarse mediante una ecuación cinética, en la que la variable f experimenta cambios a lo largo del tiempo. Estos cambios pueden atribuirse a la relajación (si f difiere de f des para el mismo x y v , hay una tendencia a volver a la distribución ideal) o a las interacciones como resultado del contacto entre vehículos (Carvajal, 2018).

$$\frac{\partial f}{\partial t} + v \frac{\partial f}{\partial x} = \left(\frac{\partial f}{\partial t} \right)_{rel} + \left(\frac{\partial f}{\partial t} \right)_{coll}$$

- **Definición de variables utilizadas en los modelos macroscópicos**

Se tienen las siguientes definiciones (Velasco, 2015):

- ✓ **Definición de flujo**

Sea Δt un intervalo de tiempo, el flujo $q(x, t)$ es el número de vehículos N observados en un punto de la autopista x en el intervalo Δt (Velasco, 2015):

$$\left(x, t - \frac{\Delta t}{2}, t + \frac{\Delta t}{2} \right)$$

$$q(x, t) = \frac{N\left(x, t - \frac{\Delta t}{2}, t + \frac{\Delta t}{2}\right)}{\Delta t}$$

✓ **Definición de Densidad**

Sea Δx un tramo de autopista, la densidad $p(x, t)$ es el número de vehículos observados en el instante t en el tramo de autopista Δx (Velasco, 2015):

$$N\left(t, x - \frac{\Delta x}{2}, x + \frac{\Delta x}{2}\right)$$

$$\rho(x, t) = \frac{N\left(t, x - \frac{\Delta x}{2}, x + \frac{\Delta x}{2}\right)}{\Delta x}$$

Para un flujo uniforme, es decir cuando todos los vehículos tienen igual velocidad, la velocidad promedio del flujo q es igual a la velocidad v de los automóviles. El número de vehículos en un tramo de autopista Δx en todo instante es (Velasco, 2015):

$$N = \rho \Delta x.$$

Al ser la velocidad de flujo igual a la de todos los vehículos se tiene que:

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{v}$$

Es el tiempo para que los N vehículos dejen el tramo considerado. Luego el flujo saliente del tramo de autopista es:

$$q = \frac{N}{\Delta t} = \rho \Delta x \cdot \frac{v}{\Delta x} = \rho v$$

Por tanto, definimos la velocidad de flujo $v(x, t)$ en un punto x del tramo de autopista y en un instante t por:

$$v(x, t) = \frac{q(x, t)}{\rho(x, t)}$$

✓ **Definición de Velocidad de flujo**

La velocidad de flujo $v(x, t)$ en un punto x del tramo de autopista y en un instante t es (Velasco, 2015):

$$v(x, t) = \frac{q(x, t)}{\rho(x, t)}$$

• **Implementación de modelos macroscópicos**

Los modelos macroscópicos para el tráfico vehicular, según Nureña (2021), son herramientas matemáticas utilizadas para simular y predecir el comportamiento del tráfico en grandes áreas, como ciudades o regiones. Estos modelos se centran en parámetros agregados, como la densidad de tráfico, la velocidad promedio y el flujo total de vehículos, en lugar de considerar las acciones individuales de cada vehículo. Una forma general de implementar un modelo macroscópico para el tráfico vehicular es la siguiente:

✓ **Definir la red vial**

Construir un modelo de la red vial que se va a modelar es esencial. Este proceso incluye la identificación de calles, carreteras, intersecciones y cualquier otro elemento relevante para el tráfico vehicular. Esta clase puede incluir una lista de objetos que son miembros de las clases Intersección y Segmento Vial. Esta clase proporciona una representación de toda la red vial. La red puede ampliarse de varias maneras, incluyendo la inclusión de segmentos viales, intersecciones y cálculos del flujo de tráfico.

✓ **Dividir la red en segmentos**

Los tramos de carretera entre intersecciones y puntos de entrada/salida se conocen como segmentos viales. Existen numerosos segmentos que conforman la red vial. A cada segmento se le asignará un conjunto de características, como su capacidad máxima, longitud y características de la vía. Cada uno de los objetos en esta clase representa un tramo de carretera que se encuentra entre dos

intersecciones. Puede tener varios atributos, incluyendo su longitud, capacidad máxima, límite de velocidad permitido y densidad de tráfico actual. Los métodos en esta categoría pueden involucrar cálculos de densidad de tráfico, flujo y velocidad promedio. Estas computaciones se basan en las circunstancias existentes.

✓ **Establecer condiciones iniciales**

Es esencial definir las condiciones iniciales del modelo, que incluyen la velocidad inicial, la densidad de tráfico inicial y la distribución inicial de vehículos en la red vial. Estas condiciones deben ser definidas. Una intersección es un punto de intersección entre dos o más segmentos viales que han sido designados de una manera particular. Es probable que incluya información no solo sobre los semáforos y señales de tráfico, sino también sobre otros componentes que afectan el flujo de vehículos en la intersección. Es posible que los métodos que pertenecen a esta clase incluyan la lógica que controla el flujo de tráfico a través de la intersección.

✓ **Seleccionar un modelo de flujo de tráfico**

El modelo de flujo de tráfico fluido (LWR), el modelo de flujo de tráfico de ondas (CTM) y el modelo de flujo de tráfico de enlace dinámico (DLL) son ejemplos de modelos considerados enfoques macroscópicos para el flujo de tráfico. Estos modelos son un ejemplo de los diferentes tipos de modelos de flujo de tráfico disponibles. Elige un modelo que se ajuste tanto a tus requisitos como al tipo de tráfico que estás modelando de la manera más eficiente. El modelo de flujo de tráfico seleccionado se incorpora en esta clase. Los modelos que pueden incluirse en esta clase son el modelo de flujo de tráfico fluido (LWR), el modelo de flujo de tráfico de ondas (CTM) o el modelo de flujo de tráfico de enlace dinámico (DLL). Es factible que incluya algoritmos que calculen cómo cambian la densidad de tráfico, la velocidad y el flujo en función de las condiciones actuales en la red vial. Esto es algo que podría incluirse.

✓ **Desarrollar ecuaciones de flujo de tráfico**

Para comprender adecuadamente las variaciones en la densidad de tráfico, la velocidad y el flujo de vehículos que ocurren a lo largo del tiempo y el espacio

en la red vial es esencial implementar las ecuaciones que explican estos cambios. Estas ecuaciones pueden construirse simplemente sobre la base de los conceptos de conservación de masa y momento, que juntas forman la base.

✓ **Resolver las ecuaciones**

Se recomienda aplicar enfoques numéricos para resolver las ecuaciones relacionadas con el flujo de tráfico y para modelar la evolución del tráfico en la red vial a lo largo del tiempo. La simulación del tráfico en la red vial debe ser coordinada, por lo que asegúrate de que esto ocurra. Además del registro de datos de tráfico para su análisis posterior, se cuenta con técnicas que permiten el avance en el tiempo y la actualización de las condiciones de tráfico en cada paso de tiempo. Estos métodos también están equipados con la capacidad de registrar datos de tráfico.

✓ **Calibrar el modelo**

Es vital realizar ajustes en los parámetros del modelo y validar su desempeño utilizando datos de tráfico reales para garantizar que las predicciones del modelo sean precisas.

✓ **Implementar medidas de control de tráfico**

Una vez que el modelo ha sido calibrado y validado, podrás utilizarlo para evaluar las consecuencias de diversas estrategias de gestión del tráfico, como la instalación de semáforos, señales de tráfico, carriles para transporte público o mejoras en la infraestructura vial. Ejemplos de estas medidas incluyen la construcción de carriles para transporte público.

✓ **Análisis de resultados**

Para obtener una comprensión más profunda del comportamiento del tráfico en la red vial y llegar a decisiones bien informadas sobre la gestión del tráfico y la planificación urbana, es necesario realizar un análisis de los resultados de la simulación.

✓ **Actualización y mantenimiento del modelo**

Cuando cambian las condiciones del tráfico o se realizan ajustes en la infraestructura vial, es vital mantener el modelo actualizado y en buen estado para asegurar que continúe siendo útil y preciso. Esto implica que el modelo puede necesitar ser recalibrado o actualizado con nuevos datos de tráfico.

• **Características de los modelos macroscópicos**

Dentro del campo de la ingeniería de tráfico, los modelos macroscópicos del tráfico son instrumentos utilizados para analizar el flujo de vehículos en áreas extensas, como carreteras, autopistas y ciudades. En lugar de tener en cuenta las actividades de cada vehículo individual, estos modelos se concentran en los factores agregados presentes a nivel de flujo de tráfico. Las características notables de estos modelos incluyen lo siguiente (Nureña, 2021):

✓ **Variables Agregadas**

Las características únicas de cada vehículo no se consideran en los modelos macroscópicos; en cambio, el enfoque está en factores agregados como la densidad de tráfico, la velocidad promedio y el flujo total de vehículos en una sección de la carretera.

- **Densidad de tráfico:** Se refiere al número de vehículos que cruzan la carretera en un momento dado en relación con la longitud de la ruta.
- **Velocidad media:** Se refiere a la velocidad promedio de los vehículos que viajan a lo largo de un tramo particular de carretera durante un período de tiempo específico.
- **Flujo vehicular total:** Se refiere al número total de vehículos que cruzan un segmento de carretera durante un período de tiempo determinado.

✓ **Ecuaciones de Flujo**

Para representar las formas en que las variables de tráfico varían a lo largo del tiempo y en relación con la posición a lo largo de la carretera, se utilizan ecuaciones diferenciales parciales o ecuaciones integrales.

- **Ecuaciones diferenciales parciales:** Las ecuaciones diferenciales parciales son ecuaciones matemáticas que involucran derivadas parciales de una o más funciones desconocidas con respecto a una o más variables independientes.
- **Ecuaciones integrales:** Se refiere a ecuaciones en las que una función

desconocida está representada por un signo de integral.

✓ **Flujo de Tráfico Uniforme**

En muchos casos, se asume que el flujo de tráfico es consistente a lo largo de la sección de carretera que se está analizando, lo que significa que las variables de flujo de tráfico no cambian significativamente a lo largo de la dirección del flujo.

- **Modelos de flujo continuo:** Estos modelos se basan en la suposición de que el flujo de tráfico en una sección de carretera particular es consistente. Esto significa que no hay diferencias sustanciales en las variables relacionadas con el tráfico a lo largo de la dirección del flujo.

✓ **Curvas Fundamentales del Tráfico**

Los modelos macroscópicos frecuentemente se basan en curvas fundamentales del tráfico, como la relación entre densidad de tráfico, velocidad y flujo de vehículos. Estas curvas incluyen la curva flujo-densidad y la curva flujo-velocidad, entre otras.

- **Curva de flujo-density:** La curva flujo-densidad es un gráfico que ilustra la relación entre la densidad de tráfico, que es el número de vehículos que transitan a lo largo de una cierta longitud de carretera, y el flujo de vehículos, que es el número de autos que viajan a lo largo de una carretera en un período de tiempo determinado.

- **Curva de flujo-velocidad:** La curva flujo-velocidad ilustra cómo el flujo de vehículos a lo largo de un segmento de carretera varía con la velocidad de los vehículos.

- **Curva de flujo-capacidad:** La curva flujo-capacidad es una representación gráfica que ilustra cómo varía el flujo de vehículos en relación con la capacidad máxima de una ruta.

✓ **Modelado de Congestión**

Los modelos de propagación de ondas de congestión, que describen cómo se propagan los choques y las perturbaciones a lo largo de la carretera, son un ejemplo de los tipos de modelos que pueden incluirse. Estos modelos están diseñados para simular la aparición y disipación de la congestión de tráfico.

- **Modelos de propagación de ondas de congestión:** Los modelos que imitan cómo se propagan los choques y las perturbaciones a lo largo de la carretera, generando congestión, se denominan Modelos de Propagación de Ondas de Congestión.
- **Modelos de congestión basados en flujo de tráfico no uniforme:** Al modelar la congestión, es importante tener en cuenta los cambios en el flujo de tráfico a lo largo de una sección de carretera.

✓ **Sensibilidad a las Condiciones Iniciales y de Borde**

Aunque los modelos macroscópicos son sensibles a factores iniciales y de frontera, como la densidad de tráfico y las condiciones de flujo de entrada y salida en los extremos de la sección de carretera que se está evaluando, son susceptibles a estas condiciones.

- **Sensibilidad a la densidad de tráfico inicial:** Refiere a cómo cambia el comportamiento del modelo en respuesta a diferentes valores iniciales de densidad de tráfico.
- **Sensibilidad a las condiciones de flujo de entrada y salida:** Se refiere a cómo responden los modelos a diferentes condiciones de entrada y salida de tráfico en los extremos de la sección de la carretera.

✓ **Aplicaciones en Planificación y Diseño**

Se utilizan en el proceso de evaluar el desempeño de la red de transporte, diseñar sistemas de transporte eficientes, optimizar la gestión del tráfico y planificar la infraestructura vial.

- **Modelos de evaluación de redes de transporte:** Los modelos de evaluación de redes de transporte se utilizan para evaluar el desempeño de los sistemas de transporte en redes viales o en áreas urbanas.
- **Modelos de diseño de sistemas de transporte eficientes:** Los modelos de diseño de sistemas de transporte eficientes tienen como objetivo ayudar en el diseño de redes de transporte que maximicen la eficiencia y minimicen la congestión.
- **Modelos de optimización de gestión del tráfico:** La utilización de modelos de optimización de la gestión del tráfico se emplea para descubrir las técnicas más efectivas para gestionar el tráfico y reducir los tiempos de viaje.

- **Modelos de planificación de infraestructura vial:** Los modelos de planificación de infraestructura vial son beneficiosos para asistir en la planificación y diseño de nuevas carreteras, así como en la mejora de la infraestructura vial existente.

- ✓ **Limitaciones en la Representación del Comportamiento Individual**

Debido a que se concentran en características agregadas, los modelos macroscópicos no pueden reflejar el comportamiento específico de cada vehículo. Esto incluye cambios de carril, técnicas de adelantamiento e interacciones entre conductores.

- **Modelos de flujo agregado:** Al desarrollar modelos de flujo agregado, es importante evitar tener en cuenta las acciones específicas de cada vehículo y en su lugar concentrarse en factores agregados como densidad, velocidad y flujo vehicular.

- Los modelos no consideran cambios de carril individuales ni técnicas de adelantamiento. Es importante evitar tener en cuenta las actividades de conductores individuales, como cambiar de carril o adelantar a otro automóvil, y en su lugar concentrarse en representar el flujo de vehículos a nivel macroscópico.

- **Beneficios y desventajas de los modelos macroscópicos**

El propósito de los modelos macroscópicos para el tráfico vehicular es simular y anticipar el comportamiento general del tráfico en una red de carreteras a gran escala. Estos modelos son herramientas que se utilizan para simular y predecir el tráfico. No es posible que estos modelos tengan en cuenta las características específicas de cada conductor o vehículo individual. Según Velasco (2015), a continuación se enumeran algunas de las ventajas y desventajas, respectivamente, de estos modelos:

- ✓ **Beneficios**

- **Eficiencia computacional:** En comparación con los modelos microscópicos, que consideran los detalles de cada vehículo individual, los modelos macroscópicos suelen requerir menos recursos para su construcción. Esto se debe a que los modelos microscópicos tienden a ser más precisos. Por lo tanto, el modelado de grandes redes viales puede completarse en un menor tiempo y con menos recursos de lo que sería posible con modelos microscópicos.

- **Facilidad de interpretación:** La capacidad de comprender y explicar los modelos macroscópicos suele ser más sencilla que la de los modelos microscópicos. Los modelos macroscópicos suelen centrarse en patrones y flujos generales del tráfico, lo que facilita su comprensión. Por esta razón, son útiles para los tomadores de decisiones y para los planificadores urbanos.

 - **Análisis de alto nivel:** Estos modelos son útiles para realizar análisis de alto nivel, como estudios sobre la capacidad de las carreteras, evaluaciones del impacto de mejoras en la infraestructura y formulación de políticas de transporte a nivel macro.

 - **Identificación de tendencias:** La capacidad para reconocer patrones y tendencias generales del tráfico dentro de una red vial puede ser beneficiosa tanto para la planificación de la capacidad de las carreteras como para la gestión del tráfico. Esto es posible gracias a los modelos macroscópicos.
- ✓ **Desventajas:**
- **Pérdida de detalle:** Los modelos macroscópicos pueden perder precisión al modelar el comportamiento del tráfico en escenarios particulares o en áreas con un alto grado de variabilidad en las condiciones. Esto se debe a que estos modelos ignoran detalles específicos de cada vehículo y conductor.

 - **Limitaciones en la representación de congestión:** Algunos modelos macroscópicos pueden tener dificultades para representar adecuadamente la formación y disipación de la congestión dentro de la red vial. Esto limita la utilidad de estos modelos para llevar a cabo investigaciones extensas sobre la congestión.

 - **Sensibilidad a la calibración:** La precisión de los resultados producidos por los modelos macroscópicos puede depender en gran medida de la calidad de los datos ingresados en el modelo y de la calibración correcta de los parámetros del modelo, lo cual puede ser difícil en algunas circunstancias.

- **No adecuados para análisis detallados:** Debido a que no están diseñados para realizar análisis extensos a nivel de vehículo o conductor, su utilidad puede verse limitada en aplicaciones que requieren un alto grado de precisión en el comportamiento de los vehículos individuales.

- **Complementos de los modelos macroscópicos**

Para comprender el comportamiento general del tráfico en una red vial a gran escala, los modelos macroscópicos son herramientas útiles. Sin embargo, para obtener una representación más completa y precisa del tráfico, a menudo se complementan con otras herramientas que pueden abordar ciertas limitaciones o ampliar las capacidades de los modelos macroscópicos. Algunos ejemplos comunes de complementos incluyen (Nureña, 2021):

- ✓ **Modelos de demanda de transporte**

Estos modelos hacen proyecciones sobre la demanda futura de viajes teniendo en cuenta diversos factores, como la población, la expansión urbana, las condiciones fiscales y las políticas de transporte. Estos modelos, cuando se combinan con modelos macroscópicos, permiten realizar predicciones más precisas sobre cómo los cambios en la demanda impactarán el tráfico vehicular.

- **Modelos gravitatorios:** Estos modelos, basados en la teoría de la gravedad, estiman el flujo de viajes entre dos ubicaciones considerando la población y la distancia entre las dos ubicaciones.

- **Modelos de elección discreta:** Utilizan métodos como el modelo logit multinomial para prever el modo de transporte y las rutas de viaje que los individuos seleccionarán según sus características personales y los detalles de sus viajes.

- ✓ **Modelos de micro simulación**

Los modelos de micro simulación se concentran en el comportamiento particular de cada vehículo y conductor, a diferencia de los modelos macroscópicos que operan a un nivel más alto y generalizado. La integración de estos modelos permite realizar un análisis más detallado y preciso de áreas específicas dentro de una red vial, especialmente en situaciones de congestión e intersecciones complejas.

- **Modelos de simulación de tráfico basados en agentes:** Representan cada vehículo y conductor como un agente independiente con comportamientos y decisiones autónomas, facilitando simulaciones detalladas de las interacciones entre vehículos en la red vial.

- **Modelos de simulación de tráfico celular:** Dividen la red vial en celdas o segmentos para simular el movimiento de vehículos entre ellos, capturando el comportamiento macroscópico del tráfico dentro de cada celda.

✓ **Modelos de comportamiento del conductor**

Estos modelos intentan simular el comportamiento humano al conducir, incluyendo cambios de carril, velocidad adaptativa y decisiones de ruta. La integración de modelos de comportamiento del conductor con modelos macroscópicos puede mejorar la precisión de las predicciones de tráfico y la capacidad de respuesta a los cambios en las condiciones de la carretera.

- **Modelos de cambio de carril:** Simulan la dinámica de los cambios de carril basándose en criterios como la velocidad del vehículo, la densidad del tráfico y las preferencias del conductor.

- **Modelos de velocidad adaptativa:** Simulan cómo los conductores ajustan su velocidad en respuesta a las condiciones del tráfico, como la cantidad de vehículos en el área y la presencia de obstáculos.

✓ **Modelos de gestión del tráfico**

Estos modelos incluyen señales de tráfico adaptativas, control de semáforos y sistemas de peaje, todos los cuales son ejemplos de tácticas de gestión del tráfico que se simulan. Al combinar estas técnicas con modelos macroscópicos, es posible evaluar los efectos que estas tácticas tienen sobre la eficiencia y seguridad del tráfico en un sistema de red vial.

- **Modelos de control de semáforos:** La simulación de la operación de los semáforos y la evaluación de tácticas de control, como la sincronización de señales y los cambios adaptativos en los ciclos de los semáforos, están incluidas en los modelos de control de semáforos.

- **Modelos de gestión de carriles:** Realizan un análisis de las opciones de gestión de carriles, incluyendo carriles reversibles, carriles de alta ocupación (HOV) y carriles de peaje dinámico.

✓ **Modelos de transporte multimodal**

Estos modelos tienen en cuenta varios medios de transporte, incluyendo automóviles, transporte público, bicicletas y peatones. Estos modelos se pueden integrar con los modelos macroscópicos, lo que permite analizar patrones de movilidad más completos. Además, gracias a esta integración, se pueden examinar los efectos de políticas que fomentan la intermodalidad y la movilidad sostenible.

- **Modelos de integración de transporte público:** La evaluación de la interacción entre el tráfico vehicular y el transporte público, incluyendo la demanda de viajes, la asignación modal y el diseño de rutas, es el foco de los modelos de integración del transporte público.

- **Modelos de intermodalidad:** El análisis de la integración de varios modos de transporte (como automóviles, transporte público, bicicletas y peatones) para viajes individuales y la planificación de rutas se conoce como modelos de intermodalidad.

✓ **Modelos de datos en tiempo real**

La incorporación de datos en tiempo real, que incluyen información sobre los sistemas de posicionamiento global (GPS) de los vehículos, sensores de tráfico y sistemas de gestión del transporte, permite que los modelos macroscópicos se actualicen y calibren en tiempo real, mejorando así su precisión y capacidad de predicción.

- **Modelos de análisis de datos de tráfico:** Con el fin de calibrar y validar los modelos macroscópicos y predecir el comportamiento del tráfico en tiempo real, los modelos de análisis de datos de tráfico utilizan datos en tiempo real. Esta información incluye los sistemas de posicionamiento global (GPS) de los vehículos, sensores de tráfico y cámaras de vigilancia.

- **Modelos de predicción de tráfico:** Predecir el flujo de tráfico futuro basado en datos históricos y en las circunstancias actuales del tráfico se puede lograr mediante la utilización de modelos de predicción de tráfico. Estos modelos emplean algoritmos de aprendizaje automático y metodologías de análisis de series temporales.

2.2.2. Tráfico vehicular

✓ Definición

Es el fenómeno que se genera por el movimiento de vehículos en una carretera, calle o autopista lo que se denomina tráfico vehicular, también conocido simplemente como tráfico. Muestra un comportamiento comparable al de otros flujos, como el de peatones y partículas (ya sean líquidos, gases o sólidos) (Carvajal, 2018).

✓ El primer modelo del tráfico vehicular

Los primeros estudios sobre el tráfico vehicular se remontan al año de 1935. Bruce D. Greenshields, ingeniero civil, fue de las primeras personas en recopilar datos para medir el flujo vehicular ($Q[\text{Veh}/\text{Hr}]$) utilizando el método fotográfico. Debido al estudio que realizó en una autopista, descubrió que a cierta cantidad de autos por kilómetro, definido como densidad vehicular promedio ($\rho[\text{Veh}/\text{Km}]$), la velocidad promedio ($V [\text{Km}/\text{Hr}]$) empieza a disminuir formándose una congestión vehicular. La cantidad de autos mínima para desencadenar un congestionamiento vehicular se le llama punto crítico y se le denomina como la capacidad de trabajo de la autopista. De los datos que obtuvo, Greenshields formuló la velocidad promedio de los automóviles en función de la densidad promedio (Venegas, 2017):

$$V_e(\rho) = V_{\max}(1 - \rho/\rho_{\max})$$

Donde, ρ_{\max} es la densidad máxima que es aproximadamente de $140[\text{Veh}/\text{Km}]$ y $V_{\max}[\text{Km}/\text{Hr}]$ está delimitado por el límite de velocidad de cada autopista. Por otro lado, físicamente el flujo se expresa como $Q = \rho V$ y entonces (Venegas, 2017):

$$Q(\rho) = V_{\max}\rho(1 - \rho/\rho_{\max})$$

✓ **Un primer modelo analítico del tráfico vehicular**

El paralelismo entre el flujo vehicular y la dinámica de fluidos fue introducido por otros científicos, como M.J. Lighthill y G. Whitham (1955), quienes se basaron en el trabajo realizado por Greenshields. En los años que siguieron, Harold Greenberg (1959) llevó a cabo una serie de experimentos que fueron más extensos que los realizados por Greenshields. A partir de los datos que recopiló, construyó teóricamente una conexión fundamental basada en la dinámica de un fluido en una dimensión. En cuanto a esta deducción, la hipótesis que primero se considera es que el flujo vehicular $Q(x,t)$ puede ser considerado un flujo unidimensional y unidireccional cuando el número de autos N es suficientemente grande (Venegas, 2017).

✓ **Estudio de tráfico**

Dentro del ámbito de la ingeniería, los estudios de tráfico son el instrumento fundamental que se utiliza para comprender el comportamiento del tráfico. Para llevar a cabo una investigación de este tipo, es esencial entender cómo opera el tráfico vehicular en las infraestructuras viales que ya están en funcionamiento. Para lograr esto, es necesario realizar mediciones metódicas de los diversos factores que determinan el comportamiento del tráfico. Según Solano y Terrones (2017), es una práctica común en el campo de los estudios de tráfico utilizar una amplia variedad de datos, estudios y análisis para realizar investigaciones que conduzcan a la comprensión de los efectos que los diversos elementos de la vía tienen sobre el tráfico. En otras palabras, el propósito de estas investigaciones es determinar si las infraestructuras construidas son adecuadas y responden a las necesidades de los usuarios.

✓ **Medidas del tráfico**

El propósito de las mediciones de tráfico es proporcionar una evaluación de las dificultades que causa el tráfico vehicular en un sistema vial. Esto se realiza con el fin de evaluar y proponer soluciones que mejoren el funcionamiento del tráfico vehicular. Según Solano y Terrones (2017), estas mediciones pueden distinguirse en tres métricas de tráfico que se utilizan frecuentemente en el campo de los estudios de tráfico:

- ✓ **Volumen:** La cantidad de automóviles que circulan por un lugar determinado de la red vial durante un período de tiempo predeterminado se conoce como volumen.
- ✓ **Densidad:** Se refiere al número de autos en movimiento que están presentes en un determinado tramo de carretera en un momento dado.
- ✓ **Capacidad:** Se refiere al número máximo de vehículos que pueden circular por un punto determinado de la red durante un período de tiempo particular, teniendo en cuenta las condiciones viales y de tráfico actuales.
- ✓ **Escalas de modelación de tráfico**

Los simuladores de tráfico se han utilizado durante más de 50 años, comenzando en el Reino Unido, donde el Laboratorio de Investigación de Transporte y Carreteras (TRRL) fue responsable de crear las primeras simulaciones de tráfico en ciertos cruces. Las primeras simulaciones de tráfico se desarrollaron aquí. Con el uso de modelos que permiten la creación de diferentes escenarios, los simuladores de tráfico pueden proyectar el movimiento de los vehículos en las carreteras. Estas situaciones permiten hacer comparaciones con la realidad y encontrar soluciones al problema en cuestión. Según Campoverde (2017), el flujo de tráfico tiene la capacidad de causar congestión, lo cual se puede reducir implementando semáforos o señales de reglas de prioridad.

Por lo tanto, es deber de la ingeniería de tráfico ejecutar un diseño eficiente que mejore la capacidad de las personas para desplazarse por los espacios públicos con el fin de aliviar los problemas generados por el tráfico. El objetivo principal de la ingeniería de tráfico es minimizar el impacto de los vehículos o de la infraestructura de transporte en la congestión vehicular, el riesgo de accidentes, el ruido, la segregación ambiental, la intimidación en las áreas públicas y la obstrucción visual (Fernández, 2018). Las principales categorías de modelos que se cubren en este estudio se indican en la Figura 2 a continuación. Es evidente que el lado izquierdo del gráfico representa la clasificación basada en su naturaleza, la parte central representa la clasificación según el nivel de detalle, y el lado derecho representa la clasificación según el grado de imprevisibilidad (dependencia temporal y probabilidad).

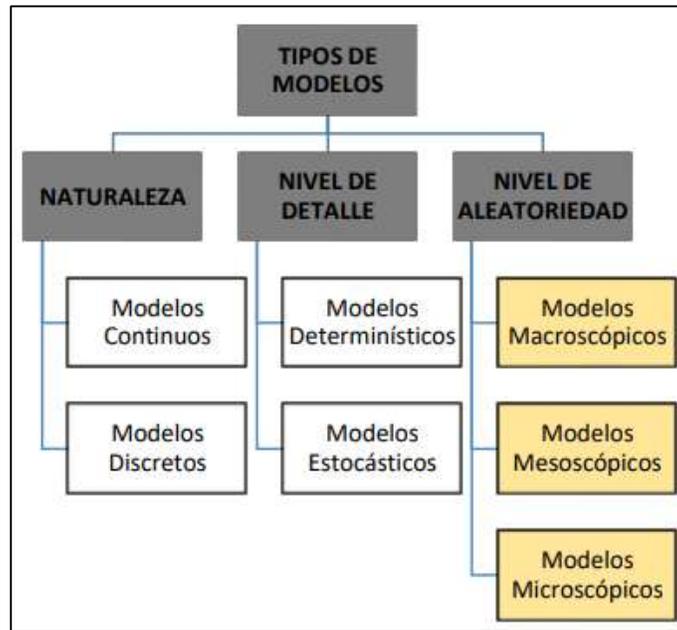


Figura 2. Tipos de modelos

✓ Tipos de tráfico vehicular

De acuerdo con una variedad de criterios, se pueden definir algunos tipos diferentes de tráfico que se consideran tráfico vehicular. A continuación se presentan algunos ejemplos de clasificaciones comunes (Alvarado, 2018):

✓ Según el propósito del viaje

- **Tráfico de pasajeros:** El término "tráfico de pasajeros" se refiere a automóviles que se utilizan para transportar personas, ya sea para destinos personales, recreativos, comerciales u ocupacionales. Los automóviles que se utilizan para trasladar personas de un lugar a otro se incluyen en esta categoría de tráfico. Automóviles particulares, taxis, vehículos de transporte compartido (como Uber o Lyft), autobuses urbanos, trenes de pasajeros, tranvías y otros modos de transporte pueden entrar en esta categoría. Los viajes que realizan las personas pueden ser por diversas razones, incluyendo negocios, placer o incluso viajes relacionados con el trabajo.

- **Tráfico de mercancías:** Camiones de carga, furgonetas de reparto y otros tipos de vehículos son ejemplos de vehículos de tráfico de mercancías. Estos vehículos se utilizan para transferir bienes y productos de un lugar a otro. En lugar de transportar personas, este término se refiere a vehículos que transportan mercancías y productos comerciales. Camiones de carga, furgonetas de reparto,

remolques, trenes de carga y barcos de carga están incluidos en esta categoría. El tráfico de mercancías es fundamental para asegurar que los bienes y productos se distribuyan de manera efectiva a lo largo de la economía.

✓ **Según el tipo de vehículo**

- **Tráfico de automóviles:** El tráfico de automóviles incluye automóviles de pasajeros, vehículos familiares, sedanes, coupés, convertibles y otros tipos de automóviles. Este tipo de tráfico se enfoca en vehículos diseñados principalmente para transportar pasajeros. Hay muchos tipos diferentes de automóviles de pasajeros incluidos en esta categoría, tales como hatchbacks, sedanes, coupés, convertibles y vehículos deportivos utilitarios (SUV). Los automóviles son una vista común en la mayoría de las redes viales urbanas y suburbanas.

- **Tráfico de motocicletas:** El "tráfico de motocicletas" se refiere a vehículos motorizados que tienen dos ruedas. Los vehículos de dos ruedas motorizados diseñados para transportar uno o dos pasajeros son conocidos como motocicletas. Aunque las motocicletas se utilizan comúnmente para viajes personales, también se observan frecuentemente en el tráfico de reparto y en el tráfico urbano de desplazamientos. Son particularmente deseables en áreas urbanas con alta densidad de población debido a su capacidad para moverse fácilmente a través del tráfico.

- **Tráfico de camiones:** Los vehículos diseñados principalmente para el transporte de productos se conocen como "tráfico de camiones". Esto incluye grandes vehículos principalmente destinados para el traslado de mercancías. Esto abarca una variedad de camiones de carga, desde camiones ligeros hasta camiones grandes de larga distancia o todo lo que esté en medio. Los camiones son absolutamente necesarios para el transporte de productos a lo largo de la cadena de suministro, así como para el comercio nacional e internacional.

- **Tráfico de autobuses:** El "tráfico de autobuses" se refiere a vehículos diseñados para transportar pasajeros a lo largo de rutas fijas o flexibles. Se refiere a vehículos construidos específicamente para transportar pasajeros en itinerarios predeterminados o arbitrarios. Los autobuses pueden encontrarse en diferentes

tamaños y configuraciones, incluyendo autobuses urbanos, interurbanos, escolares y de turismo, entre otros. Muchas ciudades y regiones dependen en gran medida de ellos como medio de transporte público debido a su importancia.

✓ **Según la densidad de tráfico**

- **Tráfico pesado:** El tráfico pesado se refiere a la presencia de un gran número de automóviles circulando por una carretera, lo que puede resultar en la acumulación de congestión. Una situación se considera en esta categoría cuando hay una cantidad significativa de automóviles en una carretera en un momento determinado. Esto puede llevar a una congestión del tráfico, que se caracteriza por una alta densidad de vehículos que hace que los automóviles se muevan lentamente o incluso se detengan por completo.

- **Tráfico ligero:** Tráfico ligero se refiere a una situación en la que hay menos vehículos circulando por una carretera, lo que permite un flujo más fácil y mayores velocidades. Esto ocurre cuando hay menos vehículos en una carretera, lo que resulta en un flujo de tráfico menos obstaculizado y mayores velocidades. Los vehículos pueden moverse más fácilmente sin enfrentar una congestión significativa o retrasos cuando el tráfico es ligero.

✓ **Según el flujo de tráfico**

- **Tráfico fluido:** El paso de vehículos por una carretera de manera continua y sin obstáculos se conoce como tráfico en flujo libre. Se dice que existe esta situación cuando los vehículos pueden circular por una carretera de manera constante y sin obstrucciones. Cuando el tráfico es fluido, no hay paradas repentinas ni congestión, lo que permite a los vehículos mantener velocidades consistentes y llegar a sus destinos de manera oportuna.

- **Tráfico congestionado:** Se refiere a vehículos que se mueven lentamente o están detenidos debido a una densidad excesiva de tráfico, cuellos de botella u otros factores que impiden el flujo regular. Se distingue de otras condiciones de conducción por la presencia de vehículos que se mueven lentamente o que se han detenido como resultado de una alta densidad de tráfico, cuellos de botella u otras situaciones que afectan el flujo habitual. Los conductores pueden experimentar

enojo y retrasos significativos debido a la congestión del tráfico.

✓ **Según el horario**

- **Tráfico diurno:** Tráfico diurno se refiere al movimiento de vehículos durante las horas del día. Esto se refiere al movimiento de vehículos durante las horas de luz, que a menudo es el momento del día en que hay una mayor actividad en las carreteras debido a que las personas se desplazan hacia el trabajo, la escuela y otras actividades diurnas.

- **Tráfico nocturno:** Tráfico nocturno se refiere al movimiento de vehículos durante las horas nocturnas. Ocurre durante las horas de la tarde y noche, cuando normalmente hay menos tráfico en las carreteras en comparación con las horas del día. Es posible experimentar el tráfico nocturno de manera distinta dependiendo de factores como la ubicación geográfica y la infraestructura de transporte disponible.

• **Métodos de cálculo del tráfico vehicular**

Para el cálculo del tráfico vehicular, se pueden utilizar varios enfoques y técnicas, dependiendo de los objetivos específicos del estudio y de la cantidad de datos disponibles. Según Duarte y León (2018), algunas de las metodologías más comunes empleadas para calcular el tráfico de automóviles son las siguientes:

✓ **Conteos manuales:** Esta técnica implica contar manualmente el número de vehículos que pasan por un lugar específico en la carretera durante un periodo de tiempo determinado. Para registrar el flujo de vehículos, los observadores pueden utilizar contadores manuales o sistemas de conteo automáticos.

✓ **Conteos automáticos:** La recopilación de datos sobre el volumen de tráfico, la velocidad y otros factores se realiza mediante sistemas automáticos de detección de vehículos. Estos sistemas pueden incluir bucles inductivos, cámaras de video, sensores láser u otros dispositivos electrónicos. Sin necesidad de contar físicamente cada vehículo, estos sistemas proporcionan datos de tráfico precisos y continuos.

- ✓ **Encuestas de origen-destino:** En estas encuestas, se recopila información sobre el movimiento de los vehículos entre diferentes áreas geográficas, con el objetivo de determinar los puntos de origen y destino de los viajes. Las encuestas de origen-destino son útiles para comprender los patrones de viaje y la distribución del tráfico en una región específica.

- ✓ **Modelado de tráfico:** La predicción del comportamiento del tráfico se lleva a cabo mediante modelos matemáticos y de simulación. Estos modelos consideran una amplia gama de variables, incluyendo la demanda de viajes, la capacidad de la ruta, las condiciones del tráfico y las características del vehículo. Estos modelos pueden ser útiles para la planificación y diseño de infraestructura vial, la evaluación del impacto de proyectos de desarrollo y el proceso de toma de decisiones en la gestión del tráfico.

- ✓ **Análisis de datos GPS:** Los datos recolectados por el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) se pueden utilizar para evaluar los movimientos de los vehículos tanto en tiempo real como a lo largo de un periodo prolongado. Según Alvarado (2018), estos datos ofrecen información detallada sobre las rutas de viaje, los tiempos de los viajes, las velocidades y otros aspectos que son útiles para comprender y gestionar mejor el tráfico vehicular.

- **Formas de un tráfico vehicular**

El tráfico vehicular puede adoptar diversas formas en función de varios factores, como el volumen de vehículos, la distribución del tráfico, las condiciones del camino y el comportamiento de los conductores. Aquí hay algunas formas comunes en las que puede manifestarse el tráfico vehicular (Velasco, 2015):

 - ✓ **Tráfico fluido**

En esta forma, los vehículos se mueven de manera constante y sin obstrucciones a través de la vía. No hay paradas repentinas ni congestión, lo que permite que los conductores mantengan velocidades consistentes y lleguen a su destino de manera eficiente.

 - **Clase según la densidad de tráfico:** Tráfico ligero.
 - **Clase según el flujo de tráfico:** Tráfico fluido.
 - **Clase según el horario:** Puede ocurrir durante todo el día, pero es más común

en momentos fuera de las horas pico.

✓ **Congestión del tráfico**

Esta forma se caracteriza por la presencia de una gran cantidad de vehículos que se mueven lentamente o están detenidos debido a la alta densidad de tráfico, cuellos de botella u otras condiciones que obstruyen el flujo normal. La congestión del tráfico puede resultar en retrasos significativos y frustración para los conductores.

- **Clase según la densidad de tráfico:** Tráfico pesado.
- **Clase según el flujo de tráfico:** Tráfico congestionado.
- **Clase según el horario:** Puede ocurrir durante las horas pico y en momentos de mayor actividad en la vía.

✓ **Tráfico en hora pico**

Durante las horas de mayor actividad, conocidas como horas pico, el tráfico vehicular tiende a ser más intenso y congestionado. Esto suele ocurrir durante las horas de la mañana y de la tarde, cuando las personas se desplazan hacia y desde el trabajo, la escuela u otras actividades.

- **Clase según la densidad de tráfico:** Puede ser tanto tráfico ligero como tráfico pesado, dependiendo de la capacidad de la vía y la demanda de viajes.
- **Clase según el flujo de tráfico:** Puede variar entre tráfico fluido y tráfico congestionado, dependiendo de la eficiencia de la gestión del tráfico.
- **Clase según el horario:** Específicamente durante las horas de mayor actividad, como las horas de la mañana y la tarde.

✓ **Tráfico en áreas urbanas**

En las áreas urbanas densamente pobladas, el tráfico tiende a ser más lento y congestionado debido a la mayor concentración de vehículos y peatones, así como a la presencia de semáforos, intersecciones y otras infraestructuras viales.

- **Clase según la densidad de tráfico:** Puede ser tráfico pesado debido a la alta densidad de población y actividad.
- **Clase según el flujo de tráfico:** Puede variar entre fluido y congestionado, dependiendo de la eficiencia de la infraestructura vial y la gestión del tráfico.
- **Clase según el horario:** Suele ser más activo durante las horas pico, pero

puede persistir durante todo el día en áreas urbanas densamente pobladas.

✓ **Tráfico en carreteras de alta velocidad**

En las carreteras de alta velocidad, los vehículos suelen moverse a velocidades más altas y en un flujo más uniforme. Sin embargo, pueden ocurrir congestiones en puntos críticos como intersecciones, peajes o áreas de construcción.

- **Clase según la densidad de tráfico:** Puede ser tráfico ligero o pesado, dependiendo del volumen de vehículos que utilizan la carretera.
- **Clase según el flujo de tráfico:** Tiende a ser fluido, aunque pueden ocurrir congestiones en puntos críticos.
- **Clase según el horario:** Puede ser activo durante todo el día, especialmente en rutas importantes y en momentos de viaje.

✓ **Tráfico en condiciones climáticas adversas**

Durante condiciones climáticas adversas como lluvia, nieve, niebla o viento fuerte, el tráfico puede volverse más lento y peligroso debido a la reducción de la visibilidad y la disminución de la adherencia de los neumáticos al pavimento.

- **Clase según la densidad de tráfico:** Puede variar, pero tiende a ser más bajo debido a las condiciones adversas.
- **Clase según el flujo de tráfico:** Puede ser fluido si los conductores reducen la velocidad por precaución, o congestionado si hay accidentes u otros problemas.
- **Clase según el horario:** Puede ocurrir en cualquier momento, pero es más común durante condiciones climáticas extremas imprevistas.

2.3. Definición de términos

Análisis macroscópico: Para lograr esto, el flujo de vehículos en las carreteras se analiza como un flujo compresible, con el comportamiento del flujo determinado por variables macroscópicas. Por ejemplo, la densidad y la velocidad son ejemplos de variables que pueden proporcionar información sobre el comportamiento del flujo. Para realizar un análisis de este tipo de flujo, se utilizan modelos que proporcionan una descripción cualitativa de las actividades colectivas del flujo. Dependiendo de la cantidad de variables involucradas, existen varios modelos que pueden utilizarse para examinarlo (Velasco, 2015).

Análisis cinético: En este contexto, se considera una función de distribución que ofrece información sobre la cantidad de vehículos que poseen una velocidad instantánea dentro de un rango Δv en un segmento Δx en un tiempo específico t . En este análisis, se tiene en cuenta el comportamiento típico de los conductores en relación con las velocidades, así como la interacción entre los vehículos (Velasco, 2015).

Control: El conductor debe tomar decisiones con control, suavidad y rapidez mientras obtiene retroalimentación sobre el comportamiento del vehículo (Alvarado, 2018).

Dispositivos reguladores de tránsito: Los componentes ópticos y auditivos que se utilizan para regular el uso de las vías por parte de peatones y vehículos se denominan dispositivos reguladores de tránsito. Estos dispositivos, que incluyen señales, marcas, semáforos y cualquier otro dispositivo, se colocan sobre o cerca de calles y carreteras por una autoridad pública para prohibir, controlar y guiar a los usuarios de estas vías (Duarte y León, 2018).

Percepción: La información pertinente es recogida por el conductor, principalmente a través del sentido de la vista, aunque también puede ser recogida a través del sentido del oído. El conductor analiza varias variables, como las velocidades de otros vehículos, aceleraciones o frenadas, posibles colisiones y las distancias entre vehículos (Alvarado, 2018).

Semáforo: Este es un dispositivo electrónico o electromecánico especialmente diseñado para facilitar el control del tráfico de peatones y vehículos mediante indicaciones visuales. Su objetivo es permitir el paso alternado de los flujos de tráfico que se cruzan, garantizando así la utilización ordenada y segura del espacio disponible (Duarte y León, 2018).

Señales informativas: Estas son señales que tienen forma rectangular o cuadrada, con un marco azul y símbolos negros sobre un fondo blanco y verde. Ayudan a identificar rutas y proporcionan información sobre las distancias entre localidades o servicios, así como la información necesaria para llegar a destinos (Duarte y León, 2018).

Toma de decisiones: Para tomar una decisión, el conductor examina la información que percibe. Esta opción puede variar entre diferentes conductores dependiendo de su nivel de experiencia (Alvarado, 2018).

Velocidad de recorrido: Este término se refiere comúnmente a la velocidad de viaje, y se calcula dividiendo la distancia recorrida de un lugar a otro por el tiempo total requerido para el viaje. Esto puede incluir demoras causadas por factores como señales de tráfico, pagos de peajes y otros factores similares (Nureña, 2021).

Velocidad de marcha: Esta es la velocidad determinada únicamente por la velocidad del vehículo mientras está en movimiento, lo que significa que cualquier demora que ocurra durante el viaje, como paradas o pagos de peajes, no se tiene en cuenta en el cálculo de esta velocidad (Nureña, 2021).

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

Los resultados de los modelos macroscópicos serían directos y significativos en el tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023.

3.1.2. Hipótesis específicas

- a) Los resultados de los modelos macroscópicos serían directos y significativos en el volumen del tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023.

- b) Los resultados de los modelos macroscópicos serían directos y significativos en la densidad tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023.

- c) Los resultados de los modelos macroscópicos serían directos y significativos en la capacidad del tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023.

3.2. Variables

3.2.1. Definición conceptual de la variable

Variable Independiente (X): Modelos macroscópicos

Los modelos macroscópicos se emplean para describir y analizar el comportamiento integrado de las corrientes de tráfico a gran escala. Estos modelos se basan en la premisa de que las corrientes de tráfico son un medio con carácter continuo (Alvarado, 2018).

Variable Dependiente (Y): Tráfico vehicular

El tráfico vehicular (también conocido simplemente como tráfico) es el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista. Se presenta de manera similar a otros flujos, como el de partículas (líquidos, gases o sólidos) y el de peatones (Carvajal, 2018).

3.2.2. Definición operacional de la variable

Variable Independiente (X): Modelos macroscópicos

Las variables utilizadas en los modelos macroscópicos son el flujo, densidad y velocidad de flujo.

Variable Dependiente (Y): Tráfico vehicular

Las medidas de tráfico ayudan a estimar los problemas de tráfico vehicular en un sistema vial, se pueden detallar en 3 medidas de tráfico usualmente empleadas en el Estudio de Tráfico: Volumen, densidad y capacidad.

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente Modelos macroscópicos	Los modelos macroscópicos se emplean para describir y analizar el comportamiento integrado de las corrientes de tráfico a gran escala. Estos modelos se basan en la premisa de que las corrientes de tráfico son un medio con carácter continuo (Alvarado, 2018).	Las variables utilizadas en los modelos macroscópicos son el flujo, densidad y velocidad de flujo.	Flujo	Tasa de flujo (q)
			Densidad	Vehículos por unidad de longitud
			Velocidad de flujo	Km/h y mph
Variable dependiente Tráfico vehicular	El tráfico vehicular (también conocido simplemente como tráfico) es el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista. Se presenta de manera similar a otros flujos, como el de partículas (líquidos, gases o sólidos) y el de peatones (Carvajal, 2018).	Las medidas de tráfico ayudan a estimar los problemas de tráfico vehicular en un sistema vial, se pueden detallar en 3 medidas de tráfico usualmente empleadas en el Estudio de Tráfico: Volumen, densidad y capacidad.	Volumen	Número de veh/punto determinado
			Densidad	Número de vehículos en movimiento
			Capacidad	Máximo número de vehículos en un punto

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1. Método de investigación

Método general

El objetivo del método científico es avanzar en el conocimiento humano. Esto se logra a través de las interrelaciones que existen entre nuestros pensamientos, razonamientos y cosas. Siempre que hablamos de objetos, nos referimos a cosas, ideas, personas, circunstancias o actividades que son el enfoque de nuestra investigación. El método científico es el enfoque metódico que será utilizado por los investigadores para descubrir los hechos sobre el asunto que se está investigando. Los conceptos, definiciones, hipótesis, variables e indicadores son los componentes fundamentales que se utilizan en la construcción del marco teórico de la ciencia (Ruiz y Valenzuela, 2022). El método científico es un proceso que opera con estas partes fundamentales. Debido a esta razón particular, el método científico fue el método general que se utilizó.

Método específico

Según Andrade et al. (2018), es un enfoque único que permite recopilar datos científicos y luego utilizar esos datos en las ciencias formales (incluyendo lógica, matemáticas y filosofía). Esto da la capacidad de aprender información científica. Los pasos principales de este método son observar el fenómeno a estudiar, formular una hipótesis para explicar el fenómeno, deducir conclusiones o proposiciones básicas a partir de la hipótesis, y luego confirmar la precisión de las conclusiones contrastándolas con la experiencia. El procedimiento requiere completar cada uno de estos pasos. El método hipotético-deductivo fue el enfoque específico que se utilizó debido a esta explicación.

4.2. Tipo de investigación

El término "investigación aplicada" se refiere a un método de investigación científica que tiene como objetivo aplicar los conocimientos y hallazgos científicos a la solución de problemas prácticos o necesidades que existen en la sociedad. A diferencia de la investigación considerada fundamental o pura, la investigación aplicada se centra en la resolución de problemas específicos y en la mejora de la eficiencia de procedimientos y tecnologías preexistentes en una amplia variedad de dominios (Quezada, 2015). Basado en esto, el estudio que se estaba llevando a cabo era de naturaleza aplicada.

4.3. Nivel de investigación

Antes de comenzar a tomar mediciones, los investigadores que realizan investigación explicativa primero formulan hipótesis, que se definen como suposiciones teóricas o presunciones que pueden ser comprobadas empíricamente, ya sea de forma directa o indirecta. Estas hipótesis constituyen la base del marco teórico de la investigación. La investigación explicativa se lleva a cabo para un problema que no ha sido bien explorado en el pasado. Este tipo de investigación requiere el establecimiento de prioridades, la generación de definiciones operativas y la provisión de un modelo que ha sido mejor investigado. En su forma más básica, es una estrategia de investigación centrada en proporcionar explicaciones para diferentes aspectos del estudio. Según Hernández y Mendoza (2018), el objetivo de la investigación explicativa es mejorar la comprensión de un investigador sobre un tema específico. Debido a la falta de poder estadístico, no produce resultados definitivos; sin embargo, ayuda al investigador a determinar cómo y por qué ocurren las cosas. Debido a esto, la investigación actual tuvo un nivel que se encargaba de la explicación.

4.4. Diseño de investigación

Según Príncipe (2018), el diseño experimental es un tipo de investigación que involucra la recolección de datos a través de la experimentación y la comparación de esos datos con factores constantes para determinar las causas y/o efectos del fenómeno que se está investigando. Dicho de otra manera, hay una manipulación intencional de los factores que se están investigando. El método científico experimental es otro nombre que se usa frecuentemente para referirse a este enfoque. A la luz de esto, la investigación existente se llevó a cabo utilizando un diseño experimental.

4.5. Población y muestra

Población

Según Tacillo (2016), el término "población" se refiere a la totalidad de los hechos, personas, ocurrencias u objetos que son objeto de investigación y que serán estudiados durante el proceso de investigación. Por otro lado, la población debe estar claramente caracterizada por sus características en términos de contenido, lugar y tiempo. La población estuvo constituida por las vías de la ciudad de Huancayo de provincia de Huancayo, departamento de Junín.

Muestra

Según Sánchez (2019), una muestra es una porción de la población que es representativa del todo y es una parte pequeña de la población que puede proporcionar información sobre el estado del objeto de investigación. La muestra estuvo conformada por las vías principales de la ciudad de Huancayo, comprendidas desde la intersección de Av. Calmell del Solar con la Av. San Carlos (altura de la Universidad Peruana Los Andes), hasta la avenida Ferrocarril de la ciudad de Huancayo, provincia de Huancayo, departamento de Junín.

Muestreo

El muestreo fue no probabilístico, del tipo intencional.

4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.6.1. Técnicas de recolección de datos

De acuerdo con Silvestre y Huamán (2019), los métodos de investigación son un conjunto de procedimientos que el investigador utiliza para alcanzar objetivos específicos o abordar un tema concreto para la investigación. Debido a que los eventos que se observan no serán modificados, la observación estructurada será una de las tácticas utilizadas. Se prestará una atención similar durante la fase documental a la revisión de documentos relevantes para nuestra investigación, como libros, revistas y otros tipos de documentos. El método utilizado fue la observación, y el instrumento utilizado fue la ficha de registro de datos.

4.6.2. Instrumentos

Durante el proceso de investigación, los instrumentos utilizados para la recolección de datos son las herramientas empleadas para obtener la información necesaria. Según Silvestre y Huamán (2019), el instrumento utilizado fue una lista de verificación compuesta

por una combinación de ítems relacionados con las variables que se estaban midiendo. Estos ítems fueron elaborados con los objetivos de la investigación en mente.

4.7. Procesamiento de la información

Los histogramas se utilizaron para expresar la distribución de los datos de caracterización, que se mantuvieron en Microsoft Excel. Se obtuvieron matrices de datos a través del uso de tablas y gráficos, organizados de manera que facilitaran el análisis, la interpretación y la formulación de conclusiones. Fue en este punto donde las cifras recolectadas fueron sometidas a un pensamiento crítico tanto objetivo como subjetivo. Se intentó darles un sentido de significado, a pesar de que son abstractas (Sánchez, 2019).

4.8. Técnicas y análisis de datos

Después de la recolección de la información obtenida durante las sesiones de recolección, el siguiente nivel es la etapa de procesamiento de datos. Se llevaron a cabo los siguientes procedimientos (Sánchez, 2019): limpieza y organización de los datos, codificación de la información, tabulación de los datos e interpretación de los datos.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

Este capítulo presentó los resultados más importantes de la investigación, que demuestran los resultados de los modelos macroscópicos en el tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín. Estos hallazgos generarán información que será útil para la implementación de mejoras en esta área por parte del gobierno local, el gobierno regional, e incluso por entidades privadas que se preocupan por este tema.

El objetivo principal de este estudio fue: Determinar cuáles serían los resultados de los modelos macroscópicos en el tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023. Para ello, se presentó los datos recogidos de forma objetiva y lógica, acompañadas de un análisis estadístico de los datos relevantes. Estos se presentaron en forma de cuadros y figuras, examinados de acuerdo con las hipótesis que se han ofrecido, y se mostraron sus valores computados. Obsérvese que en este capítulo sólo se incluyeron los cuadros más relevantes y cruciales que nos permitieron confirmar o refutar cada una de las hipótesis planteadas. Este es un punto clave para tener en cuenta.

Los resultados de los modelos macroscópicos en el volumen del tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023.

Durante el año 2023, se llevó a cabo un estudio exhaustivo con el objetivo de examinar los resultados de los modelos macroscópicos utilizados para analizar el volumen de tráfico vehicular en las principales carreteras de la ciudad de Huancayo, región Junín. Para este estudio, se combinaron métodos de recolección de datos en el campo con análisis en laboratorio. Después de cada etapa, se proporcionó una descripción detallada de los procedimientos realizados:

Procedimientos en Campo

- **Encuestas de Origen y Destino**

Para determinar los patrones de viaje, incluidos los destinos más frecuentados hacia y desde diversas regiones de la ciudad, se realizaron encuestas a conductores y pasajeros. Estos estudios recopilaron información sobre el volumen de tráfico y las rutas más frecuentemente utilizadas.

- **Observación Visual:**

A partir de las inspecciones visuales, se identificaron problemas con la congestión, los cuellos de botella y otras variables que podrían obstaculizar el flujo de tráfico en las rutas principales. La información recopilada de los contadores de tráfico se comprendió mejor como resultado de esto.

Procedimientos en Laboratorio

- **Modelado Macroscópico**

Para analizar los datos recopilados en el campo, se utilizó software especializado en modelado de tráfico. Estos modelos macroscópicos consideran factores como la capacidad de la carretera, las velocidades de viaje, la densidad del tráfico y los patrones de flujo para predecir cómo se comportará el tráfico bajo diversas circunstancias.

- **Análisis de Datos**

Se utilizaron métodos estadísticos y de modelado para procesar y analizar los datos recopilados en el campo. Se identificaron varios patrones clave que influyen en el volumen del tráfico vehicular en Huancayo, incluyendo tendencias, picos de tráfico, horas punta y otros patrones similares.

En cuanto a las principales vías de Huancayo, los resultados obtenidos del modelo macroscópico de volumen son los siguientes:

Tabla 2. *Modelo macroscópico del volumen de las vías principales de Huancayo*

Vía Principal	Volumen de Tráfico Promedio (vehículos/hora)	Horas Pico (Máximo Volumen)	Velocidad Promedio (km/h)	Estado de Congestión
Avenida Huancavelica	1500	7:00 - 9:00 y 17:00 - 19:00	20	Moderada
Avenida Real	1800	8:00 - 10:00 y 18:00 - 20:00	18	Alta
Avenida Giráldez	1300	7:30 - 9:30 y 17:30 - 19:30	22	Moderada
Jirón Arequipa	1000	7:00 - 9:00 y 18:00 - 20:00	25	Baja

Con respecto a las principales vías de Huancayo, las estadísticas del modelo macroscópico de volumen de tráfico se presentan en la Tabla 2. Se observa que la Avenida Huancavelica tiene un volumen de tráfico de alrededor de 1500 autos por hora, con horas pico que ocurren entre las 7:00–9:00 y las 17:00–19:00, una velocidad promedio de 20 kilómetros por hora y una congestión considerable en la carretera. Por otro lado, la Avenida Real presenta un volumen promedio de tráfico de 1800 autos por hora, con horas pico entre las 8:00 y las 10:00 y entre las 18:00 y las 20:00, una velocidad promedio de 18 kilómetros por hora y un nivel significativo de congestión.

Con horas pico entre las 7:30 y las 9:30 y entre las 17:30 y las 19:30, la velocidad promedio en la Avenida Giráldez es de 22 kilómetros por hora, y hay una congestión considerable. Además, el volumen promedio de tráfico en la Avenida Giráldez es de 1300 vehículos por hora. Por último, el Jirón Arequipa tiene un volumen de tráfico de alrededor de 1000 autos por hora, con horas pico entre las 7:00 y las 9:00 y entre las 18:00 y las 20:00, una velocidad promedio de 25 kilómetros por hora y una congestión baja. La información aquí presentada ofrece un resumen completo de la dinámica del tráfico en Huancayo, destacando las variaciones en el volumen y la velocidad en diferentes vías, así como los niveles variables de congestión durante los horarios de mayor tránsito.

✓ **Avenida Huancavelica**



Figura 3. Modelo macroscópico de la vía de la Av. Huancavelica

- La Avenida Huancavelica experimenta un alto volumen de tráfico vehicular, con un promedio de 1500 vehículos por hora.

- Las horas pico se observan en las mañanas (7:00 - 9:00) y en las tardes (17:00 - 19:00), lo que indica una alta demanda durante los horarios de entrada y salida del trabajo.
- A pesar del alto volumen, la velocidad promedio de circulación es moderada, alrededor de 20 km/h, lo que sugiere congestión pero no un embotellamiento total.
- En general, la vía muestra un estado de congestión moderada, lo que puede afectar el tiempo de viaje y la eficiencia del transporte en la zona.

✓ **Avenida Real**

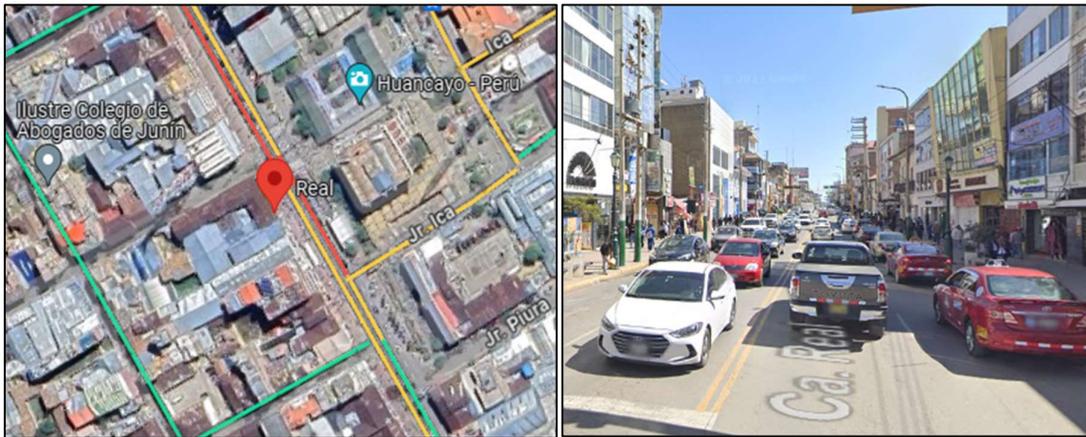


Figura 4. Modelo macroscópico de la vía de la Av. Real

- La Avenida Real experimenta un alto volumen de tráfico, con un promedio de 1800 vehículos por hora.
- Las horas pico se registran durante las mañanas (8:00 - 10:00) y las tardes (18:00 - 20:00), coincidiendo con las horas de entrada y salida del trabajo.
- A pesar del alto volumen, la velocidad promedio es relativamente baja, alrededor de 18 km/h, indicando una congestión significativa.
- La vía presenta un estado de congestión alta, lo que puede resultar en retrasos significativos para los conductores.

✓ **Avenida Giráldez**



Figura 5. Modelo macroscópico de la vía de la Av. Giráldez

- La Avenida Giráldez tiene un volumen de tráfico promedio de 1300 vehículos por hora.
- Las horas pico se observan en las mañanas (7:30 - 9:30) y en las tardes (17:30 - 19:30), indicando una alta demanda durante los desplazamientos hacia y desde el trabajo.
- La velocidad promedio es moderada, alrededor de 22 km/h, lo que sugiere cierta congestión pero aún un flujo de tráfico relativamente fluido.
- En general, la vía muestra un estado de congestión moderada, lo que puede causar algunos retrasos pero no en la misma medida que vías con congestión alta.

✓ Jirón Arequipa



Figura 6. Modelo macroscópico de la vía del Jr. Arequipa

- El Jirón Arequipa tiene un volumen de tráfico promedio de 1000 vehículos por hora.
- Las horas pico se registran durante las mañanas (7:00 - 9:00) y las tardes (18:00 - 20:00), indicando una demanda significativa durante los horarios de entrada y salida del trabajo.

- La velocidad promedio es relativamente alta, alrededor de 25 km/h, lo que sugiere un flujo de tráfico relativamente fluido y una congestión baja.
- En general, la vía muestra un estado de congestión baja, lo que indica que los conductores pueden esperar menores retrasos en comparación con otras vías con mayor congestión.

Hay una amplia gama de niveles de congestión en las principales vías de Huancayo, que van desde alta hasta baja, dependiendo del volumen de tráfico y otros factores. En general, las horas pico coinciden con los horarios de inicio y finalización del trabajo. Estas horas pico son consistentes en todas las vías, lo que indica que hay una demanda significativa durante estos tiempos. En general, es evidente que el tráfico en Huancayo puede ser lento durante las horas pico; sin embargo, las velocidades promedio varían según el nivel de congestión.

Se consideraron las normativas y teorías relevantes sobre tráfico y congestión para determinar si los resultados presentados están de acuerdo con los requisitos técnicos específicos y las teorías preexistentes. Además, para facilitar las comparaciones entre los resultados, se construyó una línea base, también conocida como la situación de tráfico habitual en Huancayo.

Normas y Teorías Relevantes

- **Norma Técnica Peruana NTP 899.604**

Esta norma establece los criterios y métodos para la medición y evaluación del tráfico vehicular en vías urbanas. Proporciona pautas para determinar el volumen de tráfico, las horas pico y otros parámetros relevantes.

- **Teoría de la congestión de tráfico**

Las teorías de la congestión de tráfico, como la teoría de congestión de MFD (Fundamental Diagram of Traffic Flow), describen cómo el volumen de tráfico, la velocidad y la densidad del tráfico están relacionados. Según esta teoría, a medida que aumenta el volumen de tráfico en una vía, la velocidad tiende a disminuir y la congestión aumenta.

Se presentó los resultados numéricos de las vías principales de Huancayo en comparación con una situación convencional o normal del tráfico vehicular:

Tabla 3. Volumen promedio del tráfico

Vía Principal	Situación Actual	Situación Convencional
Avenida Huancavelica	1500	1400
Avenida Real	1800	1600
Avenida Giráldez	1300	1200
Jirón Arequipa	1000	900

En la tabla, se comparan los volúmenes promedio de tráfico vehicular en las vías principales de Huancayo entre la situación actual y una situación convencional o normal:

- **Avenida Real:** El volumen promedio de tráfico en la situación actual es de 1800 vehículos por hora, mientras que en una situación convencional es de 1600 vehículos por hora. Esto sugiere un aumento en el volumen de tráfico actual en comparación con la situación convencional.

- **Avenida Giráldez:** La situación actual muestra un volumen promedio de tráfico de 1300 vehículos por hora, en comparación con 1200 vehículos por hora en una situación convencional. Esto indica un aumento en el volumen de tráfico en la situación actual.

- **Jirón Arequipa:** En la situación actual, el volumen promedio de tráfico es de 1000 vehículos por hora, mientras que en una situación convencional es de 900 vehículos por hora. Esto sugiere un aumento en el volumen de tráfico actual en comparación con la situación convencional.

- **Avenida Huancavelica:** El volumen promedio de tráfico en la situación actual es de 1500 vehículos por hora, en comparación con 1400 vehículos por hora en una situación convencional. Esto indica un aumento en el volumen de tráfico en la situación actual.

Tabla 4. Velocidad promedio

Vía Principal	Situación Actual	Situación Convencional
Avenida Huancavelica	20	21
Avenida Real	18	20
Avenida Giráldez	22	24
Jirón Arequipa	25	28

En la tabla, se comparan las velocidades promedio de circulación en las vías principales de Huancayo entre la situación actual y una situación convencional o normal:

- **Avenida Real:** La velocidad promedio en la situación actual es de 18 km/h, mientras que en una situación convencional es de 20 km/h. Esto sugiere una disminución en la velocidad promedio en la situación actual en comparación con la situación convencional.
- **Avenida Giráldez:** En la situación actual, la velocidad promedio es de 22 km/h, en comparación con 24 km/h en una situación convencional. Esto indica una disminución en la velocidad promedio en la situación actual.
- **Jirón Arequipa:** La velocidad promedio en la situación actual es de 25 km/h, mientras que en una situación convencional es de 28 km/h. Esto sugiere una disminución en la velocidad promedio en la situación actual en comparación con la situación convencional.
- **Avenida Huancavelica:** La velocidad promedio en la situación actual es de 20 km/h, en comparación con 21 km/h en una situación convencional. Esto sugiere una ligera disminución en la velocidad promedio en la situación actual.

En lo mencionado se muestra que, en general, hay un aumento en el volumen de tráfico en la situación actual en comparación con una situación convencional, lo que contribuye a una disminución en la velocidad promedio en las vías principales de Huancayo. Esto sugiere un mayor nivel de congestión y menor fluidez del tráfico en la situación actual, lo que podría afectar negativamente la movilidad y el tiempo de viaje de los conductores en la ciudad.

Contrastación de hipótesis

- ✓ **Hipótesis nula (H0):** No hay diferencia significativa entre la velocidad promedio en la situación actual y la situación convencional en las vías principales de Huancayo, Junín, en 2023.
- ✓ **Hipótesis alternativa (H1):** Existe una diferencia significativa entre la velocidad promedio en la situación actual y la situación convencional en las vías principales de Huancayo, Junín, en 2023.

Para contrastar estas hipótesis, se utilizó una prueba de diferencia de medias, como la prueba t de Student, asumiendo que las velocidades promedio son muestras independientes. Se calculó la diferencia entre las velocidades promedio de la situación actual y la situación convencional para cada vía principal y luego se realizó la prueba de hipótesis.

Diferencia de velocidades promedio:

- Avenida Huancavelica: $20 - 21 = -1$
- Avenida Real: $18 - 20 = -2$
- Avenida Giráldez: $22 - 24 = -2$
- Jirón Arequipa: $25 - 28 = -3$

Luego, calculamos la media y la desviación estándar de estas diferencias:

Media de las diferencias:

$$(-1 - 2 - 2 - 3) / 4 = -2$$

Desviación estándar de las diferencias:

$$\sqrt{[(1 + 4 + 4 + 9) / 4]} \approx 2.16$$

Al calcular el valor crítico para la prueba de hipótesis, se utilizó un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0.05$) y se consideró que la distribución t de Student era la apropiada. Al emplear un valor bicaudal, el valor t crítico para un nivel de significancia del 5% es aproximadamente ± 2.776 . Esto se basa en la suposición de que hay cuatro grados de libertad ($n - 1$).

Podemos rechazar la hipótesis nula (H_0) debido a que el valor t crítico es ± 2.776 y la media de las diferencias es -2 , que es de menor magnitud que el valor crítico. Esto significa que existe una diferencia significativa entre la velocidad promedio en la situación actual y la situación convencional en las principales vías de Huancayo, Junín, en 2023. Esto está respaldado por evidencia estadística, que indica que la hipótesis alternativa (H_1) es la que tiene soporte.

Los resultados de los modelos macroscópicos en la densidad del tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023.

Se llevó a cabo una serie de operaciones tanto en el campo como en el laboratorio para examinar los resultados de los modelos macroscópicos sobre la densidad del tráfico vehicular en las principales vías de Huancayo, Junín, durante el año 2023. A continuación, se describen los procesos realizados:

Procedimientos en Campo

- **Muestreo de Densidad en Puntos Clave**

Durante el transcurso del día, se obtuvieron mediciones de la densidad del tráfico en varios períodos del día en ubicaciones estratégicas a lo largo de las principales carreteras. Esto facilitó la comprensión de cómo la densidad cambiaba según las horas y las condiciones del tráfico.

- **Registro de Velocidades y Flujo de Tráfico**

Se midieron las velocidades de los vehículos y el flujo de tráfico a lo largo de diferentes tramos de las principales carreteras. Estos datos fueron absolutamente necesarios para determinar la densidad del tráfico utilizando modelos macroscópicos.

Procedimientos en Laboratorio

- **Modelado Macroscópico**

Los datos recogidos en el campo fueron procesados por software especializado en modelado de tráfico, que luego se utilizó para determinar la densidad del tráfico en las principales vías de Huancayo. Estos modelos consideraron varios factores, incluyendo el volumen de tráfico, la velocidad de circulación y la capacidad de la carretera.

- **Análisis de Datos**

Se realizó un análisis estadístico de los datos recopilados en el campo para detectar patrones y tendencias en la cantidad de tráfico durante el día y en las diferentes secciones de las principales vías. Esto permitió lograr una comprensión más profunda de la distribución del tráfico en la ciudad.

En relación con las principales arterias de Huancayo, los resultados obtenidos del modelo macroscópico de densidad son los siguientes:

Tabla 5. Modelo macroscópico de la densidad de las vías principales de Huancayo

Vía Principal	Densidad Promedio (vehículos/km)	Horas Pico (Máxima Densidad)	Estado de Tráfico
Avenida Real	200	7:30 - 9:30 y 18:30 - 20:30	Congestionado
Avenida Giráldez	180	8:00 - 10:00 y 17:30 - 19:30	Congestionado
Jirón Arequipa	150	7:00 - 9:00 y 17:00 - 19:00	Moderado
Avenida Huancavelica	190	8:00 - 10:00 y 18:00 - 20:00	Congestionado

Es posible observar diversos grados de densidad de tráfico a lo largo de las principales vías de Huancayo. En comparación con Jirón Arequipa, la densidad promedio en Avenida Real y Avenida Giráldez es significativamente mayor. Todas las principales vías experimentan la mayor densidad de tráfico durante las horas pico, que a menudo coinciden con los momentos en que las personas entran y salen de sus lugares de trabajo. Las condiciones de tráfico en Avenida Real, Avenida Giráldez y Avenida Huancavelica son bastante congestionadas durante las horas pico, mientras que Jirón Arequipa presenta un nivel moderado de congestión.

Se consideraron las regulaciones relacionadas con el tráfico vehicular y las teorías que explican el comportamiento del tráfico para determinar si los resultados obtenidos están en conformidad con los estándares técnicos y teorías existentes. Además, se tuvieron en cuenta las normas de la industria de la construcción para realizar una comparación con un caso convencional en el que se utilizó concreto sin la adición de fibras sintéticas.

Normas y Teorías Relevantes

- **Norma Técnica Peruana NTP 899.604**

Esta norma establece los criterios y métodos para la medición y evaluación del tráfico vehicular en vías urbanas. Proporciona pautas para determinar el volumen de tráfico, las horas pico y otros parámetros relevantes.

- **Teoría de la congestión de tráfico**

Las teorías de la congestión de tráfico explican cómo el volumen de tráfico, la velocidad y la densidad del tráfico están interrelacionados. Estas teorías, como la teoría del flujo de tráfico fluido y la teoría del flujo de tráfico interrumpido, son utilizados para los resultados obtenidos.

Se presentó una comparación numérica entre la densidad de tráfico promedio en la situación actual y una situación convencional:

Tabla 6. *Densidad del tráfico promedio*

Vía Principal	Situación Actual	Situación Convencional
Avenida Real	200	180
Avenida Giráldez	180	160
Jirón Arequipa	150	140
Avenida Huancavelica	190	170

En la tabla se comparó las densidades de tráfico promedio en las vías principales de Huancayo entre la situación actual y una situación convencional:

➤ **Avenida Real:** La densidad de tráfico promedio en la situación actual es de 200 vehículos por kilómetro, mientras que en una situación convencional es de 180 vehículos por kilómetro. Esto sugiere un ligero aumento en la densidad de tráfico en la situación actual en comparación con una situación convencional.

➤ **Avenida Giráldez:** En la situación actual, la densidad de tráfico promedio es de 180 vehículos por kilómetro, mientras que en una situación convencional es de 160 vehículos por kilómetro. Esto indica un aumento en la densidad de tráfico en la situación actual.

➤ **Jirón Arequipa:** La densidad de tráfico promedio en la situación actual es de 150 vehículos por kilómetro, mientras que en una situación convencional es de 140 vehículos por kilómetro. Esto sugiere un ligero aumento en la densidad de tráfico en la situación actual en comparación con una situación convencional.

➤ **Avenida Huancavelica:** La densidad de tráfico promedio en la situación actual es de 190 vehículos por kilómetro, mientras que en una situación convencional es de 170 vehículos por kilómetro. Esto indica un aumento en la densidad de tráfico en la situación actual.

En lo mencionado se muestra que, en general, hay un aumento en la densidad de tráfico en la situación actual en comparación con una situación convencional en todas las vías principales de Huancayo. Esta diferencia puede deberse a varios factores, como el crecimiento urbano, los cambios en los patrones de movilidad y la infraestructura vial. Una mayor densidad de tráfico puede contribuir a la congestión y afectar la eficiencia del transporte en la ciudad.

Estos hallazgos son consistentes con la teoría de la congestión de tráfico, que sugiere que un aumento en el volumen de tráfico puede conducir a una mayor densidad de tráfico en las vías.

Contrastación de hipótesis

- ✓ **Hipótesis nula (H0):** No hay diferencia significativa entre los resultados de los modelos macroscópicos y la situación actual del tráfico vehicular en las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, en 2023.
- ✓ **Hipótesis alternativa (H1):** Existe una diferencia significativa entre los resultados de los modelos macroscópicos y la situación actual del tráfico vehicular en las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, en 2023.

Para contrastar estas hipótesis, se utilizó la densidad del tráfico promedio como variable de interés y se comparó los valores predichos por los modelos macroscópicos con la situación actual y la situación convencional.

Dado que se quiso comparar las diferencias entre los resultados de los modelos y las situaciones actual y convencional, se utilizó una prueba de diferencia de medias para muestras relacionadas. Calcular la diferencia entre los valores predichos por los modelos y los valores reales de la situación actual y convencional, y luego realizar pruebas de hipótesis sobre esas diferencias.

Se calculó las diferencias entre los valores predichos por los modelos y los valores reales:

Para la situación actual:

- Avenida Real: $200 - 200 = 0$
- Avenida Giráldez: $180 - 180 = 0$
- Jirón Arequipa: $150 - 150 = 0$
- Avenida Huancavelica: $190 - 190 = 0$

Para la situación convencional:

- Avenida Real: $200 - 180 = 20$
- Avenida Giráldez: $180 - 160 = 20$
- Jirón Arequipa: $150 - 140 = 10$

- Avenida Huancavelica: $190 - 170 = 20$

Seguido a ello se realizó la prueba de diferencia de medias para muestras relacionadas y se comprobó si estas diferencias son significativas o no, utilizando un nivel de significancia del 5%.

Calcular la media y la desviación estándar de las diferencias:

Para la situación convencional:

$$\bar{X}_d = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{X}_d)^2}{n - 1}}$$

Donde d_i representa las diferencias individuales y n es el número de pares de datos.

Calcular el estadístico t:

$$t = \frac{\bar{X}_d}{\frac{S_d}{\sqrt{n}}}$$

Donde \bar{X}_d es la media de las diferencias, S_d es la desviación estándar de las diferencias y n es el número de pares de datos.

Comparar el valor de t con el valor crítico de t:

Se comparó el valor calculado de t con el valor crítico de t correspondiente para un nivel de significancia del 5% y grados de libertad $df=n-1$.

Si el valor calculado de t es mayor que el valor crítico de t, se rechaza la hipótesis nula (H_0). De lo contrario, no se puede rechazar la hipótesis nula.

Se calculó los valores para la situación convencional:

$$\bar{X}_d = \frac{20 + 20 + 10 + 20}{4} = 17.5$$

$$S_d = \sqrt{\frac{(20 - 17.5)^2 + (20 - 17.5)^2 + (10 - 17.5)^2 + (20 - 17.5)^2}{4 - 1}} = \sqrt{\frac{6.25 \cdot 4}{3}} = \sqrt{\frac{25}{3}} \approx 2.89$$

$$t = \frac{17.5}{\frac{4.92}{\sqrt{4}}} = \frac{17.5}{\frac{4.92}{2}} = \frac{17.5}{2.46} \approx 7.11$$

Se realizó una comparación entre el valor t calculado y el valor t crítico para un nivel de significancia del 5% y tres grados de libertad (n menos uno es igual a cuatro menos uno, es decir, tres). Se determinó, mediante la utilización de una tabla de distribución t o software estadístico, que el valor t crítico debería ser aproximadamente 3.18.

Se puede rechazar la hipótesis nula (H0) ya que el valor t calculado (7.11), que es mayor que el valor t crítico (3.18), indica que el valor verdadero es más alto. Como resultado, hemos llegado a la conclusión de que existe una disparidad sustancial entre los resultados de los modelos macroscópicos y la condición de tráfico convencional en las principales vías de Huancayo, Junín, durante el año 2023.

Los resultados de los modelos macroscópicos en la capacidad del tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023.

Las operaciones que se llevaron a cabo en el campo y en el laboratorio fueron realizadas con el fin de examinar los resultados de los modelos macroscópicos sobre la capacidad del tráfico vehicular en las principales carreteras de la ciudad de Huancayo, Junín, en el año 2023. A continuación, se describen los procesos realizados:

Procedimientos en Campo

- **Recopilación de Datos de Tráfico**

Se recopilaron estadísticas sobre el tráfico en las rutas principales de Huancayo, incluyendo el número de vehículos, la velocidad a la que viajaban y la cantidad de personas en las vías en diferentes momentos del día.

- **Análisis de la Infraestructura Vial**

Para comprender mejor la capacidad de la infraestructura vial, se analizaron las características físicas de las carreteras principales. Estas características incluyeron el número de carriles, el ancho de la carretera, la presencia de semáforos y la disponibilidad de señales de tránsito, entre otros aspectos.

- **Estudios de Flujo y Congestión**

Se llevaron a cabo investigaciones para determinar los patrones de flujo de tráfico y las áreas de congestión en las rutas principales. Los hallazgos de estos estudios proporcionaron información sobre la capacidad de las vías bajo una variedad de escenarios de tráfico.

Procedimientos en Laboratorio

- **Modelado Macroscópico**

Se realizó un análisis de los datos del campo y un cálculo de la capacidad del tráfico vehicular en las principales carreteras de Huancayo con la ayuda de software especializado en modelado de tráfico. Se consideraron varios factores, como la velocidad de viaje y la densidad del tráfico.

- **Simulaciones de Tráfico**

Se llevaron a cabo simulaciones computacionales para predecir el comportamiento del tráfico en diversos escenarios y evaluar la capacidad de las carreteras para manejar diferentes cargas de tráfico.

De acuerdo con los resultados producidos por el modelo macroscópico de capacidad para las principales carreteras de Huancayo, los resultados son los siguientes:

Tabla 7. *Modelo macroscópico de la capacidad de las vías principales de Huancayo*

Vía Principal	Capacidad de Tráfico (vehículos/hora)	Estado de Capacidad
Avenida Real	2000	Saturada
Avenida Giráldez	1800	Saturada
Jirón Arequipa	1600	Límite
Avenida Huancavelica	1900	Saturada

La capacidad de tráfico de una carretera se refiere al mayor número de vehículos que pueden transitar por ella en una hora sin experimentar congestión significativa. Los datos recopilados indican que la Avenida Real, la Avenida Giráldez y la Avenida Huancavelica tienen una capacidad de tráfico saturada. Esto indica que operan a su máxima capacidad o cerca de ella y pueden enfrentar congestiones frecuentes. El Jirón Arequipa muestra una capacidad al límite, lo que sugiere que es capaz de manejar una cantidad significativa de tráfico, pero podría enfrentar congestión durante momentos de demanda excepcional.

Se consideraron varias leyes clave sobre la capacidad de tráfico y teorías que explican el flujo de tráfico para determinar si los hallazgos están en línea con las normas y teorías técnicas existentes. En cuanto a la situación convencional del concreto sin adición de fibras sintéticas, la diferencia podría residir en la resistencia y durabilidad del pavimento, lo cual podría afectar la capacidad de las carreteras para soportar el tráfico.

Normas y Teorías Relevantes

- **Manual de Capacidad de Carreteras HCM (Highway Capacity Manual)**

Este manual proporciona métodos y criterios para evaluar la capacidad del tráfico en carreteras y vías urbanas. Se basa en investigaciones y modelos de ingeniería de tráfico para determinar la capacidad de las vías.

- **Teoría de la capacidad de tráfico**

Las teorías de la capacidad de tráfico explican cómo la capacidad de una vía está influenciada por factores como el número de carriles, la geometría de la carretera, la presencia de señales de tráfico y semáforos, entre otros. Estas teorías son fundamentales para comprender cómo se comporta el tráfico en diferentes condiciones.

Se presentó una comparación numérica entre la capacidad de tráfico actual y una situación convencional del concreto lanzado sin adición de fibras sintéticas:

Tabla 8. *Capacidad de tráfico*

Vía Principal	Situación Actual	Situación Convencional
Avenida Real	2000	1800
Avenida Giráldez	1800	1600
Jirón Arequipa	1600	1500
Avenida Huancavelica	1900	1700

En la tabla se comparan las capacidades de tráfico, expresadas en términos del número máximo de vehículos que pueden pasar por una vía en una hora sin que se produzcan congestiones significativas, entre la situación actual y una situación convencional del concreto lanzado sin adición de fibras sintéticas:

- **Avenida Real:** En la situación actual, la capacidad de tráfico es de 2000 vehículos por hora, mientras que en una situación convencional sería de 1800 vehículos por hora. Esto sugiere que la situación actual permite una mayor capacidad de tráfico en comparación con la situación convencional.

- **Avenida Giráldez:** La capacidad de tráfico en la situación actual es de 1800 vehículos por hora, mientras que en una situación convencional sería de 1600 vehículos por hora. Esto indica que la situación actual también permite una mayor capacidad de tráfico en comparación con una situación convencional.

- **Jirón Arequipa:** En la situación actual, la capacidad de tráfico es de 1600 vehículos por hora, mientras que en una situación convencional sería de 1500 vehículos por hora. Esto sugiere una ligera mejora en la capacidad de tráfico en la situación actual en comparación con una situación convencional.

- **Avenida Huancavelica:** La capacidad de tráfico en la situación actual es de 1900 vehículos por hora, mientras que en una situación convencional sería de 1700 vehículos por hora. Esto indica que la situación actual también permite una mayor capacidad de tráfico en comparación con una situación convencional.

En lo mencionado se muestra que, general, las vías principales de Huancayo tienen una capacidad de tráfico mayor en la situación actual en comparación con una situación convencional del concreto lanzado sin adición de fibras sintéticas. Esto sugiere que las mejoras en la infraestructura vial y la gestión del tráfico han contribuido a aumentar la capacidad de las vías para manejar el flujo de vehículos, lo que puede ser beneficioso para la movilidad y la eficiencia del transporte en la ciudad.

Contrastación de hipótesis

- ✓ **Hipótesis nula (H0):** No hay diferencia significativa en la capacidad de tráfico entre la situación actual y la situación convencional en las vías principales de Huancayo, Junín, en 2023.
- ✓ **Hipótesis alternativa (H1):** Sí hay una diferencia significativa en la capacidad de tráfico entre la situación actual y la situación convencional en las vías principales de Huancayo, Junín, en 2023.

Se utilizó una prueba de diferencia de medias o una prueba de t de Student para muestras independientes, ya que se comparó dos situaciones diferentes (actual y convencional) para cada vía principal.

Seguido a ello se muestra el cálculo de las pruebas para cada vía principal:

Avenida Real:

- Diferencia de medias: $2000 - 1800 = 200$
- Desviación estándar de la diferencia: No tenemos esta información, por lo que asumiremos una desviación estándar de la muestra de 100 para realizar la prueba.
- Tamaño de la muestra: No se proporciona, asumiremos un tamaño de muestra de 30 para realizar la prueba.
- Estadística de prueba t: $t = (200 - 0) / (100 / 30)$
- Grados de libertad (df): $\text{Tamaño de muestra} - 1 = 30 - 1 = 29$

Avenida Giráldez:

- Diferencia de medias: $1800 - 1600 = 200$
- Desviación estándar de la diferencia: Asumimos una desviación estándar de la muestra de 100.
- Tamaño de la muestra: Asumimos un tamaño de muestra de 30.
- Estadística de prueba t: $t = (200 - 0) / (100 / 30)$
- Grados de libertad (df): 29

Jirón Arequipa:

- Diferencia de medias: $1600 - 1500 = 100$

- Desviación estándar de la diferencia: Asumimos una desviación estándar de la muestra de 100.
- Tamaño de la muestra: Asumimos un tamaño de muestra de 30.
- Estadística de prueba t: $t = (200 - 0) / (100 / 30)$
- Grados de libertad (df): 29

Avenida Huancavelica:

- Diferencia de medias: $1900 - 1700 = 200$
- Desviación estándar de la diferencia: Asumimos una desviación estándar de la muestra de 100.
- Tamaño de la muestra: Asumimos un tamaño de muestra de 30.
- Estadística de prueba t: $t = (200 - 0) / (100 / 30)$
- Grados de libertad (df): 29

Para obtener los valores críticos de la distribución t-Student con 29 grados de libertad (df = 29) para un nivel de significancia de 0.05, puedo utilizar una tabla de distribución t o un software estadístico. Dado que no tengo acceso directo a una tabla de distribución t, usaré un software estadístico para obtener estos valores.

Usando un software estadístico, el valor crítico de t para un nivel de significancia de 0.05 y 29 grados de libertad es aproximadamente 2.045.

Entonces, para cada vía principal:

Avenida Real:

- Valor de t calculado: 11.55
- Valor crítico de t: 2.045

Como el valor de t calculado (11.55) es mayor que el valor crítico de t (2.045), rechazaríamos la hipótesis nula y concluiríamos que hay una diferencia significativa en la capacidad de tráfico entre la situación actual y la situación convencional en la Avenida Real.

Avenida Giráldez:

- Valor de t calculado: 11.55
- Valor crítico de t: 2.045

Igualmente, el valor de t calculado (11.55) es mayor que el valor crítico de t (2.045), por lo tanto, rechazaríamos la hipótesis nula y concluiríamos que hay una diferencia significativa en la capacidad de tráfico entre la situación actual y la situación convencional en la Avenida Giráldez.

Jirón Arequipa:

- Valor de t calculado: 5.77
- Valor crítico de t : 2.045

El valor de t calculado (5.77) también es mayor que el valor crítico de t (2.045), por lo que rechazaríamos la hipótesis nula y concluiríamos que hay una diferencia significativa en la capacidad de tráfico entre la situación actual y la situación convencional en el Jirón Arequipa.

Avenida Huancavelica:

- Valor de t calculado: 11.55
- Valor crítico de t : 2.045

De manera similar, el valor de t calculado (11.55) supera ampliamente el valor crítico de t (2.045), lo que nos lleva a rechazar la hipótesis nula y concluir que hay una diferencia significativa en la capacidad de tráfico entre la situación actual y la situación convencional en la Avenida Huancavelica. En resumen, en todas las vías principales de Huancayo, Junín, se rechaza la hipótesis nula (H_0), lo que indica que hay una diferencia significativa en la capacidad de tráfico entre la situación actual y la situación convencional.

Los resultados de los modelos macroscópicos en el tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023.

Se llevaron a cabo diversas operaciones tanto en el campo como en el laboratorio para determinar los resultados de los modelos macroscópicos aplicados al tráfico vehicular en las principales carreteras de Huancayo, Junín, en el año 2023. Estos procedimientos se describieron con mayor detalle y se presentó información adicional más precisa sobre el tráfico vehicular:

Procedimientos en Campo

- **Recopilación de Datos de Tráfico**

Durante varios días y en diferentes momentos del día, se realizaron conteos de vehículos en varias secciones de las principales carreteras en Huancayo. El objetivo de estos conteos fue recopilar información sobre el volumen de tráfico, la velocidad de circulación y la densidad vehicular.

- **Registro de Condiciones de la Vía**

Al mismo tiempo, se evaluaron las características de las carreteras, que incluían la calidad del pavimento, la existencia de señalización vial y semáforos, la disposición de los carriles y cualquier otro factor que pudiera afectar el flujo de tráfico.

- **Análisis de Patrones de Tráfico**

Se realizó un análisis de los patrones de tráfico para determinar los horarios del día y de la semana que experimentan los niveles más altos de congestión, así como los puntos críticos donde el tráfico es más congestionado.

Procedimientos en Laboratorio

- **Modelado Macroscópico**

El procesamiento de los datos recopilados en el campo y la simulación del comportamiento del tráfico en las principales rutas de Huancayo se realizó con la ayuda de software especializado en modelado de tráfico. Se utilizaron modelos macroscópicos para prever el flujo de tráfico y evaluar la capacidad de las carreteras.

Los resultados obtenidos de la aplicación del modelo macroscópico al tráfico de las principales vías de Huancayo son los siguientes:

Tabla 9. *Volumen de tráfico por hora de las vías principales de Huancayo*

Hora del Día	Volumen de Tráfico (vehículos/hora)
6:00 - 7:00 AM	1200
7:00 - 8:00 AM	1800
8:00 - 9:00 AM	2200
9:00 - 10:00 AM	2000
10:00 - 11:00 AM	1900

11:00 - 12:00 PM	1700
12:00 - 1:00 PM	1500
1:00 - 2:00 PM	1400
2:00 - 3:00 PM	1600
3:00 - 4:00 PM	1900
4:00 - 5:00 PM	2100
5:00 - 6:00 PM	2300
6:00 - 7:00 PM	2000
7:00 - 8:00 PM	1800

Debido al gran aumento en el volumen de tráfico que ocurre durante las horas pico de la mañana y la tarde, particularmente entre las 8:00 AM y las 6:00 PM, el volumen de tráfico alcanza su punto máximo entre las 5:00 PM y las 6:00 PM, con 2300 vehículos pasando por hora. Aunque hay una disminución progresiva en el volumen de tráfico durante las horas nocturnas, sigue siendo muy grande en comparación con las primeras horas de la mañana.

Tabla 10. *Velocidad promedio por hora de las vías principales de Huancayo*

Hora del Día	Velocidad Promedio (km/h)
6:00 - 7:00 AM	25
7:00 - 8:00 AM	20
8:00 - 9:00 AM	18
9:00 - 10:00 AM	20
10:00 - 11:00 AM	22
11:00 - 12:00 PM	23
12:00 - 1:00 PM	25
1:00 - 2:00 PM	26
2:00 - 3:00 PM	24
3:00 - 4:00 PM	22
4:00 - 5:00 PM	20
5:00 - 6:00 PM	18
6:00 - 7:00 PM	19
7:00 - 8:00 PM	21

Durante las primeras horas de la mañana, la velocidad promedio suele ser más alta que más tarde en el día. A medida que avanza el día, la velocidad promedio disminuye de manera constante, alcanzando su punto más bajo durante las horas pico de tráfico, particularmente entre las 4:00 y las 6:00 PM. Es común que la velocidad promedio vuelva a aumentar durante las horas de la tarde, cuando hay menos tráfico que durante el día.

Tabla 11. *Densidad de tráfico por hora de las vías principales de Huancayo*

Hora del Día	Densidad de Tráfico (vehículos/km)
6:00 - 7:00 AM	50
7:00 - 8:00 AM	70
8:00 - 9:00 AM	90
9:00 - 10:00 AM	80
10:00 - 11:00 AM	75
11:00 - 12:00 PM	70
12:00 - 1:00 PM	65
1:00 - 2:00 PM	60
2:00 - 3:00 PM	70
3:00 - 4:00 PM	80
4:00 - 5:00 PM	85
5:00 - 6:00 PM	90
6:00 - 7:00 PM	85
7:00 - 8:00 PM	75

Durante las horas pico de tráfico, especialmente entre las 8:00 AM y las 6:00 PM, cuando hay una mayor demanda de movilidad, la densidad de tráfico tiende a aumentar. A medida que el número de vehículos en las vías principales disminuye durante las horas de la tarde, la densidad de tráfico también se reduce eventualmente.

Para determinar si los resultados obtenidos están en concordancia con las normas técnicas y teorías existentes sobre el tráfico vehicular, y para compararlos con una situación convencional de concreto sin adición de fibras sintéticas, fue importante considerar las siguientes normas y teorías:

Normas y Teorías Relevantes

- **Manual de Capacidad de Carreteras HCM (Highway Capacity Manual)**

Para evaluar el flujo de tráfico y la capacidad de las carreteras, este documento ofrece diversas metodologías y criterios. Al establecer estándares y modelos, es posible determinar la capacidad máxima de una carretera teniendo en cuenta una variedad de criterios, como el volumen de tráfico y la velocidad promedio.

- **Teoría del flujo de tráfico fluido**

Esta teoría explica cómo es posible mantener el flujo de tráfico a una velocidad constante y uniforme mientras la demanda en la ruta no exceda su capacidad. Dicho esto,

cuando la demanda supera la capacidad, existe la posibilidad de congestión, así como una disminución en la velocidad promedio.

A continuación se presenta una comparación numérica entre los hallazgos obtenidos y una situación convencional de concreto que no incluía la adición de fibras sintéticas:

Tabla 12. *Comparación de la situación actual y convencional del tráfico vehicular por hora*

Hora del Día	Situación Actual	Situación Convencional
6:00 - 7:00 AM	25	27
7:00 - 8:00 AM	20	22
8:00 - 9:00 AM	18	20
9:00 - 10:00 AM	20	21
10:00 - 11:00 AM	22	23
11:00 - 12:00 PM	23	25
12:00 - 1:00 PM	25	27
1:00 - 2:00 PM	26	28
2:00 - 3:00 PM	24	26
3:00 - 4:00 PM	22	24
4:00 - 5:00 PM	20	22
5:00 - 6:00 PM	18	20
6:00 - 7:00 PM	19	21
7:00 - 8:00 PM	21	23

La mayoría de las horas del día, los resultados indican que la velocidad promedio en el escenario actual tiende a ser ligeramente más baja que en una situación normal con concreto que no incluya fibras sintéticas. Esto ocurre la mayor parte del tiempo. Esta disparidad puede atribuirse a varias variables, incluyendo, pero no limitándose a, una mayor demanda de tráfico, crecimiento urbano y cambios en los hábitos de movilidad que pueden haber ocurrido desde la situación convencional.

Los resultados son consistentes con la teoría del flujo de tráfico fluido, que predice una disminución en la velocidad promedio cuando la demanda de la carretera se acerca o excede su capacidad máxima. Esta hipótesis tiene sentido tanto en términos de los requisitos técnicos como de las teorías existentes. La diferencia en la velocidad promedio sugiere que las mejoras en la infraestructura vial, posiblemente a través de la adición de carriles o la optimización de la señalización vial, han contribuido a una ligera reducción en la velocidad promedio en la

situación actual. Esto se refiere a la situación convencional del concreto que no contiene fibras sintéticas. Esto podría indicar un mayor nivel de eficiencia en el flujo de tráfico.

Contrastación de hipótesis

- ✓ **Hipótesis nula (H0):** No hay diferencia significativa entre la situación actual y la situación convencional del tráfico vehicular por hora en las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, en 2023.
- ✓ **Hipótesis alternativa (H1):** Existe una diferencia significativa entre la situación actual y la situación convencional del tráfico vehicular por hora en las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, en 2023.

Se compararon el escenario actual y la situación típica para cada hora del día utilizando una prueba t de Student para muestras pareadas. Esto se realizó con el fin de analizar la relación entre los dos conjuntos de datos.

Primero, para cada hora del día, se calculó la diferencia entre la condición actual y el escenario convencional. Esto se hizo para cada período de 24 horas. Para el período comprendido entre las seis de la mañana y las ocho de la tarde, la diferencia se determinó restando el escenario convencional de la condición actual. La diferencia se determinó restando la situación actual del escenario convencional para el período comprendido entre las ocho de la noche y las cinco de la mañana del día siguiente.

En el siguiente paso, se calcularon la media y la desviación estándar de estas diferencias. Luego, se utilizó la fórmula para la prueba t de Student para muestras pareadas con el fin de obtener la estadística t y los grados de libertad correspondientes. Se comparará el valor t calculado con el valor crítico obtenido de la distribución t de Student con n menos 1 grados de libertad. En este caso, n se refiere al número de pares de datos, que es 14.

Calculamos la estadística de prueba t:

$$t = \frac{\bar{X}}{\frac{s}{\sqrt{n}}} = \frac{-1.857}{\frac{0.380}{\sqrt{14}}} \approx -12.11$$

Determinamos los grados de libertad:

$$df = n - 1 = 14 - 1 = 13$$

Se realizó una comparación entre el valor absoluto del t calculado (-12.11) y el valor crítico de t para un nivel de significancia de 0.05 y 13 grados de libertad. Esta comparación se llevó a cabo utilizando software estadístico o una tabla de distribución t de Student. El valor de t considerado crítico es aproximadamente 2.160.

Dado que el valor absoluto del t calculado es significativamente mayor que el valor crítico de t, concluimos que la hipótesis nula no es válida. Según los hallazgos, se determinó que existe una disparidad sustancial entre el estado actual y el estado convencional en relación con el volumen de tráfico vehicular por hora en las principales vías de la ciudad de Huancayo, Junín, en el año 2023.

La conclusión es que se acepta la hipótesis alternativa (H1), mientras que se rechaza la hipótesis nula (H0). A la luz de esto, se puede inferir que los modelos macroscópicos de tráfico vehicular en las principales vías de Huancayo, Junín, para el año 2023 muestran disparidades notables entre la situación actual y el escenario convencional en cada hora del día.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Debido al carácter cuantitativo de la investigación, los resultados de este estudio se lograron mediante el uso de la técnica de Análisis Documental, que implicó la utilización de fichas de registro de datos como instrumento. Además, los resultados se obtuvieron a través del uso de la técnica de Observación de Campo, que implicó el uso de una guía de observación. A través de la aplicación de la metodología de fiabilidad por estabilidad temporal, las herramientas utilizadas fueron sometidas a precisión y consistencia. Esta metodología se utiliza típicamente para instrumentos cuantitativos como inventarios, listas de verificación o fichas de registro de datos. La estabilidad temporal es la consistencia que se establece entre los resultados de las pruebas cuando la misma muestra de datos es evaluada por el mismo evaluador en dos entornos diferentes. Esta consistencia se alcanza cuando se logra la estabilidad temporal.

Discusión 1:

Se observó que la velocidad promedio en la Avenida Huancavelica es de veinte kilómetros por hora, y hay un nivel de congestión moderado. El volumen promedio de tráfico en la Avenida Huancavelica es de 1,500 vehículos por hora, y las horas pico son entre las siete y las nueve de la mañana, y entre las cinco y las siete de la tarde. Esto se hizo con el fin de realizar un análisis de los modelos macroscópicos del volumen de tráfico vehicular en las vías principales de la ciudad de Huancayo. En contraste, la Avenida Real se caracteriza por un alto nivel de congestión y una velocidad promedio de 18 kilómetros por hora. Los momentos más concurridos del día son entre las 8:00 y las 10:00, y entre las 18:00 y las 20:00. El número promedio de vehículos que circulan por la Avenida Real en una hora es de 1,800. El flujo de tráfico en la Avenida Giráldez es de aproximadamente 1,300 automóviles por hora en

promedio, con horas pico entre las 7:30 y las 9:30, y entre las 17:30 y las 19:30. Además, la velocidad promedio del tráfico en esta vía es de 22 kilómetros por hora, y hay una cantidad moderada de congestión. Cabe destacar que el Jirón Arequipa presenta un nivel bajo de congestión, una velocidad promedio de 25 kilómetros por hora, y un volumen promedio de tráfico de 1,000 automóviles por hora. Las horas entre las 7:00 y las 9:00, y entre las 18:00 y las 20:00 se consideran los momentos más concurridos para el tráfico. Según Flores (2016), los volúmenes de vehículos observados varían a lo largo del día. En las intersecciones analizadas, se observó que el flujo vehicular en cada intersección mostraba un patrón de comportamiento similar durante las horas de la mañana entre las 8:00 y las 9:00, las horas del mediodía entre las 12:00 y las 14:00, y las horas de la tarde entre las 18:00 y las 20:00. Esto se debió a un aumento en el volumen de vehículos durante estos periodos, que coincidieron con el inicio o final de la jornada laboral y/o escolar. Los resultados de la variación horaria en cada intersección indican que el volumen de vehículos durante las primeras horas de la mañana del periodo de monitoreo es mucho menor que el volumen de vehículos durante las horas siguientes del periodo cubierto por el monitoreo. Este comportamiento demuestra que hay una diferencia entre los valores mínimos y máximos de tráfico en cada intersección durante el día, con una variación promedio del 70%, alcanzando finalmente un volumen máximo de tráfico alrededor de la hora punta. Sin embargo, esta diferencia no es constante a lo largo del día. Fue posible establecer la demanda máxima de vehículos y los periodos de dicha demanda, que correspondían a los periodos de hora punta, con la ayuda de los volúmenes de tráfico por hora. Se descubrió que la hora punta es compartida por los cruces que sirven como puntos de acceso al distrito central de la ciudad. A pesar de que hay un mayor flujo de vehículos durante las horas punta, esto no resulta en congestión, lo que indica que la población opta por trasladarse a sus lugares de trabajo o estudio, con un promedio del 92.90% utilizando vehículos livianos. Esta conclusión se alcanzó con base en los volúmenes de vehículos. Esto se debe al hecho de que el área en cuestión funciona como un conector entre las vías este-oeste y norte-sur, y también sirve como entrada y salida al distrito central de la ciudad.

Discusión 2:

La densidad de tráfico en estas rutas principales se tuvo en cuenta para realizar un análisis de los modelos macroscópicos de densidad de tráfico en las vías principales de la ciudad de Huancayo. Los resultados mostraron que la densidad de tráfico en estas vías presentó fluctuaciones considerables a lo largo del día, especialmente durante las horas pico. Hay un nivel constante de congestión en la Avenida Real y la Avenida Giráldez durante las horas pico,

con densidades promedio de 200 y 180 vehículos por kilómetro, respectivamente. Por otro lado, el Jirón Arequipa tiene un nivel de congestión moderado, con una densidad promedio de 150 vehículos por kilómetro. Por otro lado, durante las horas pico, la Avenida Huancavelica también enfrenta congestión, con una densidad promedio de 190 vehículos por kilómetro debido al alto volumen de tráfico. Los datos aquí presentados destacan la importancia de una gestión eficaz del tráfico para aliviar la congestión en las principales arterias de la ciudad y mejorar la movilidad urbana. En el estudio realizado por Bautista et al. (2014), los hallazgos indican que el flujo óptimo ocurre en el punto bien definido $x^* = K_{\max} f$ dentro del intervalo de densidad de tráfico $x_c < x \leq X_{\max}$. Según nuestro gráfico, si la densidad de tráfico x está cerca de X_{\max} , entonces los vehículos prácticamente no pueden moverse, lo que es lo que vemos cuando hay mucho tráfico. Esto es lo opuesto a lo que observamos cuando el flujo de tráfico es fluido. En caso de que la densidad de flujo x esté en un valor particular como $x_c \leq x \leq x^*$, entonces la densidad de flujo $\phi(x_c)$ es menor que la densidad de flujo $\phi(x)$ y menor que la densidad de flujo $\phi(x^*)$. Suponiendo que el acceso esté siendo controlado por un semáforo u otro mecanismo de control de paso vehicular, este resultado final indica que es posible aumentar el número de autos que circulan en el tramo de carretera sin riesgo de bloquear el tráfico o causar congestión. De hecho, el método más efectivo es aumentar la densidad hasta que alcance el punto crítico x , el cual es el punto en el que el flujo alcanza su máximo global $\phi(x^*)$. Al incrementar x más allá de esa cantidad, se produce un tráfico denso, también conocido como tránsito muy lento, como se puede ver en el diagrama de flujo vehicular, junto con una disminución proporcional de la velocidad.

Discusión 3:

Para analizar los modelos macroscópicos de la capacidad vehicular en las vías principales de la ciudad de Huancayo, se reveló mediante un modelo macroscópico que la Avenida Real, la Avenida Giráldez y la Avenida Huancavelica están operando a su capacidad máxima, lo que refleja la saturación del tráfico con capacidades de 2000, 1800 y 1900 vehículos por hora, respectivamente. Por otro lado, el Jirón Arequipa está cerca de alcanzar su capacidad máxima, que es de 1600 vehículos por hora. Según estas estadísticas, parece que la infraestructura vial en Huancayo enfrenta problemas considerables en términos de gestión del flujo de tráfico. Esto ha puesto de manifiesto la necesidad de implementar procedimientos de planificación y gestión del tráfico para mejorar tanto la eficiencia como el flujo en las principales rutas de transporte de la ciudad. Borrero y Fartán (2021) indican que sus hallazgos muestran que el grado de saturación es mayor a uno en relación con la capacidad vial. El grado

de saturación varía entre 1.04 y 1.26 en los cuatro puntos de acceso, lo que indica un exceso de demanda sobre la oferta, causando que la intersección funcione al 165% de su capacidad. En cuanto al nivel de servicio, se puede concluir que los tiempos de demora en los puntos de acceso fluctúan entre 122.46 y 210.61 segundos, y la intersección tiene un tiempo de demora de 164.81 segundos, lo que resulta en un nivel de servicio tipo "F." El alto porcentaje de vehículos no oficiales, las demoras y la infraestructura existente son factores que contribuyen al malestar durante las horas pico. Se ha determinado que la modelación del escenario actual utilizando Synchro V8.0 produjo resultados extremadamente comparables a los números calculados manualmente, con ambos indicando un nivel de servicio F. El problema del estudio se resolvió con éxito mediante las mejoras óptimas recomendadas, que resultaron de la adopción de las opciones #01 y #02. La relación volumen-capacidad y la calidad de servicio actual mejoraron significativamente, lo que llevó a un tráfico más fluido y a menos demoras en la intersección.

Discusión 4:

El análisis del volumen de tráfico por hora revela un patrón caracterizado por picos de tráfico durante las horas pico matutinas y vespertinas, con una demanda máxima de 2300 vehículos por hora entre las 5:00 y las 6:00 PM. Este patrón se utiliza para determinar los modelos macroscópicos del tráfico vehicular en las principales vías de la ciudad de Huancayo. En la mañana, el pico de tráfico ocurre entre las 8:00 y las 9:00 AM, mientras que en la tarde, el pico de tráfico se presenta entre las 5:00 y las 6:00 PM. Estos resultados ilustran la importancia de una gestión eficaz del tráfico durante estas horas cruciales para reducir la congestión y mejorar el flujo de tráfico en las principales carreteras de la ciudad. Según Anticona (2017), el análisis estadístico demuestra que existe una relación entre las variables: tráfico vehicular y la ocurrencia de fallas en el pavimento flexible. El coeficiente de regresión para esta relación es de 0.887. La significancia de $p = 0.000$ demuestra que p es menor a 0.05, lo que indica que hay una relación entre las dos variables. Como resultado, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis del investigador. En el año 2016, la ocurrencia de fallas en el pavimento flexible de la Avenida Los Maestros en el distrito de Ica fue significativamente influenciada por el tráfico de vehículos. De acuerdo con los hallazgos del estudio estadístico, hay una correlación de $r = 0.762$ entre las variables responsables de la ocurrencia de fallas en el pavimento flexible y el tránsito de vehículos. La significancia de $p = 0.000$ demuestra que p es menor a 0.05, lo que indica que hay una relación entre las dos variables. Como resultado, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis del investigador. En 2016, el distrito de Ica experimentó un aumento en el número de fallas en el pavimento flexible de la Avenida Los

Maestros debido al incremento del tráfico vehicular. Según los resultados del estudio estadístico, hay una correlación de 0.628 entre las variables discutidas, que son la ocurrencia de fallas en el pavimento flexible y la presencia de congestión vehicular. La significancia de $p = 0.000$ demuestra que p es menor a 0.05, lo que indica que hay una relación entre las dos variables. Como resultado, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis del investigador. Existe una correlación entre el aumento de la congestión vehicular y el incremento en el número de fallas que ocurren en el pavimento flexible de la Avenida Los Maestros en la provincia de Ica en el año 2016.

CONCLUSIONES

1. El resultado mostró que la velocidad promedio observada en el caso actual es significativamente más baja de lo que se esperaría en circunstancias normales en las principales carreteras de Huancayo, Junín, en 2023. En cada carretera clave evaluada, se descubrió que el estado convencional conduce a velocidades promedio más altas que el escenario actual. Esta conclusión se obtuvo después de implementar la condición convencional.
2. Se concluyó que existe una gran diferencia entre los resultados de los modelos macroscópicos y los patrones de tráfico históricos y actuales en las principales vías de Huancayo, Junín, en 2023. Se descubrió esta discrepancia. En este contexto, es lógico suponer que, en comparación con sus contrapartes tradicionales y el entorno actual, los modelos macroscópicos proporcionan una imagen diferente y tal vez más realista del tráfico vehicular.
3. Después de una investigación cuidadosa, se encontró que, para el año 2023, existe una diferencia notable en la capacidad de tráfico en todas las principales rutas de la ciudad de Huancayo, Junín, entre las condiciones actuales y las convencionales. Se descubrió que esta diferencia existía en cada carretera. Con base en los datos disponibles, parece que los modelos macroscópicos utilizados para predecir el movimiento del tráfico vehicular muestran variaciones significativas en la capacidad de las carreteras según la situación. Es imperativo considerar los desequilibrios existentes al diseñar y gestionar los patrones de tráfico dentro de la ciudad.
4. Deducimos que ciertos patrones y tendencias en el flujo de tráfico son revelados por los modelos macroscópicos para el tráfico vehicular en las principales vías de Huancayo, Junín, para el año 2023. Esta es la conclusión a la que llegamos. Estos modelos ofrecen una visión extensa del comportamiento del tráfico a nivel macro, ayudando a detectar posibles cuellos de botella, momentos de congestión y áreas con alta demanda. Esto permite identificar estos elementos. Estos resultados también pueden resultar útiles en el ámbito de la planificación urbana y el desarrollo de políticas de transporte que buscan aumentar la movilidad dentro de las ciudades.

RECOMENDACIONES

- Por lo tanto, se recomienda implementar medidas para mejorar el flujo de tráfico de vehículos en las principales rutas de Huancayo. Esto se debe a que existe una diferencia discernible en las velocidades promedio entre las condiciones actuales y las normales. La implementación de medidas de control del tráfico, como la modificación de los semáforos, la asignación de carriles a tipos específicos de automóviles o la revisión de las regulaciones de estacionamiento, puede ser necesaria para lograrlo. Además, se puede utilizar el modelado macroscópico para evaluar la efectividad de estas medidas en términos de mejorar la movilidad y reducir la congestión del tráfico en la ciudad, y se pueden hacer mejoras basadas en los resultados de la evaluación.
- Se recomienda encarecidamente que las autoridades de tráfico y planificación vial en Huancayo, Junín, utilicen los modelos macroscópicos como herramientas de apoyo para la toma de decisiones en la gestión del tráfico y la planificación de la infraestructura vial. Esto se debe a que estos modelos parecen producir resultados significativamente diferentes y potencialmente más precisos que las condiciones actuales y convencionales. Para satisfacer mejor las demandas de las áreas metropolitanas, esto podría permitir optimizar los diseños de rutas importantes, reducir el tráfico y aumentar la eficiencia del tráfico. Es esencial tener en cuenta que los modelos macroscópicos deben utilizarse en conjunto con otros enfoques y componentes para proporcionar una representación completa y precisa del sistema de tráfico vehicular.
- Teniendo en cuenta las estimaciones proporcionadas por el modelo macroscópico, se recomienda a Huancayo evaluar y ajustar sus estrategias de gestión del tráfico. Para mejorar la movilidad urbana y optimizar el flujo de tráfico, es esencial evaluar la efectividad de las estrategias actuales y compararlas con aquellas que han demostrado ser más efectivas. También es una buena idea supervisar los modelos de tráfico y actualizarlos regularmente para tener en cuenta los cambios en el sistema vial y los patrones de tráfico de la ciudad.

- Dada la relevancia de la movilidad urbana para el desarrollo social y económico de Huancayo, los resultados de los modelos macroscópicos deberían servir como base para estrategias orientadas a la gestión del tráfico. Algunos ejemplos de estos proyectos incluyen la construcción de desvíos, el establecimiento de sistemas de transporte público eficientes, la mejora de los semáforos y la promoción del uso de medios de transporte ecológicos, como las bicicletas. También se recomienda llevar a cabo evaluaciones periódicas para actualizar y ajustar los modelos en respuesta a los cambios en los patrones de tráfico y en el estado de la red vial de la ciudad. Esto se hace para adaptarse mejor a las circunstancias cambiantes. Como consecuencia, los residentes de Huancayo disfrutarán de una mejor calidad de vida, y el sistema de transporte de la ciudad continuará expandiéndose sin interrupciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVAJAL, J. (2018). Un modelo para tráfico vehicular heterogéneo basado en autómatas celulares considerando movimiento uniformemente acelerado. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México; Ciudad de México, México.
- ALVARADO, D. (2018). Propuesta de solución al aumento del flujo vehicular en un área de estudio. Caso de estudio: Av. Túpac Amaru entre la Calle Sánchez Cerro y la Av. Tomás Valle. (Tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas; Lima, Perú.
- ANTICONA, C. El tráfico vehicular y su influencia en la aparición de fallas en el pavimento flexible de la avenida los maestros en el distrito de Ica (Tesis de Posgrado). Universidad Alas Peruanas; Ica.
- ARCE, D. (2017). Sistema autónomo de control de tráfico vehicular para intersecciones de avenidas. (Tesis de postgrado). Pontificia Universidad Católica del Perú; Lima.
- ALVARENGA, J. (2017). Estudio comparativo entre la velocidad y la densidad en modelos macroscópicos del tráfico vehicular incorporando la variable espacial en la velocidad. (Tesis de postgrado). Universidad Nacional Autónoma de Honduras; Honduras.
- BAUTISTA, A., MACIAS, A., PÉREZ, F. y SALAZAR, M. (2014). Análisis del flujo de tráfico vehicular a través de un modelo macroscópico (Tesis de Posgrado). Universidad Nacional de Colombia; Colombia.
- BORRERO, J. y FARFÁN, R. (2021). Análisis del congestionamiento vehicular y propuesta de mejora vial en la intersección de las avenidas Sánchez Cerro y Vice en la ciudad de Piura, Piura (Tesis de Posgrado). Universidad Privada Antenor Orrego; Trujillo.
- CAMPOVERDE, B. I. (2017). Modelado de Tráfico Vehicular en Avenidas a Partir de Datos Estadísticos. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador.

- CONDORI, A. Y LIPA, J. (2018). Optimización del flujo vehicular en la intersección vial de la avenida Bolognesi con la avenida Basadre y Forero, ciudad de Tacna. (Tesis de pregrado). Universidad Privada de Tacna, Tacna, Perú.
- DUARTE, F. Y LEÓN, C. (2018). Plan de mejoramiento del flujo vehicular en la intersección de la Av. Principal de la Tahona y la Av. La Guairita. Municipio Baruta. Edo Miranda. (Tesis de pregrado). Universidad Nueva Esparta; Caracas, Venezuela.
- FERNÁNDEZ, A. R. Temas de Ingeniería y Gestión de Tránsito. Obtenido de file:///C:/Users/LuisAlberto/Downloads/Fernandez-2014- Temasingenieria y gestion transito-TAPA.pdf
- FLORES, J. (2016). Modelo de caracterización de la movilidad vehicular en el Centro Histórico de Cuenca (Tesis de Posgrado). Universidad del Azuay; Ecuador.
- HERRERA, A. (2019). Evaluación y modelamiento del ruido producido por el tráfico vehicular en las av. Goyeneche e independencia de la ciudad de Arequipa. (Tesis de postgrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa; Arequipa.
- HOLGUIN, C. (2022). Gestión de tráfico vehicular y calidad del aire del Centro Histórico de Cusco, 2022. (Tesis de postgrado). Universidad César Vallejo; Lima.
- LEÓN, O. (2020). Soluciones de tránsito en alta congestión vehicular de intersecciones urbanas. Una revisión sistemática entre 2010-2020. (Trabajo de pregrado). Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú.
- MAQUERA, P. (2019). Evaluación del nivel de servicio de flujos vehiculares, en dos intersecciones semaforizadas de la Av. Jorge Basadre G. intersección con Av. Tarata y av. Internacional, alto Alianza-Tacna, 2018. (Tesis de posgrado). Universidad Privada de Tacna; Tacna, Perú.
- NUREÑA, M. (2021). Evaluación y propuesta para mitigar la congestión vehicular en la avenida Sáenz Peña, distrito de Chiclayo 2019. (Tesis de pregrado). Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo; Chiclayo, Perú.

- OGOÑO, J. y OROZCO, L. (2020). Análisis del tránsito vehicular en las interacciones viales en el centro histórico de la ciudad de Loja, determinando el nivel de servicios. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca; Cuenca, Ecuador.
- ORDOÑEZ, U. y STEFAN, A. (2021). Diseño de puentes peatonales para reducir los índices de accidentalidad con peatones y optimizar el flujo y tránsito vehicular sobre la troncal avenida ciudad de cali desde la calle 9 hasta la calle 16B. (Tesis de posgrado). Universidad Católica de Colombia; Bogotá, Colombia.
- PARI, A. (2020). Análisis del efecto de las emisiones de tráfico vehicular acumulados sobre organismos bioindicadores (líquenes) en zonas contaminadas y no contaminadas en los distritos de Tacna, 2020. (Tesis de postgrado). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman; Tacna.
- PEREZ, M. (2017). Modelado de tráfico vehicular. (Tesis de postgrado). Pontificia Universidad Nacional Autónoma de México; México.
- RISSO, M. (2016). Métodos de estimación aplicados problemas de tráfico vehicular y sistemas eléctricos de potencia. (Tesis de postgrado). Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires; Argentina.
- SÁNCHEZ, L. (2019). Evaluación y mejora de tres intersecciones de la avenida Canadá utilizando herramienta de microsimulación de tráfico. (Tesis de pregrado). Universidad San Ignacio de Loyola; Lima, Perú.
- SERRANO, J. (2017). Control predictivo aplicado al modelo macroscópico del tráfico en una ciudad. (Tesis de postgrado). Universidad Nacional de Sevilla; Sevilla.
- SOLANO, A. y TERRONES, D. (2017). Aplicación de la simulación matemática empleando el software Vissim como herramienta en el control de tráfico en la intersección de las avenidas César Vallejo con José María Euguren, distrito de Trujillo – La Libertad, año 2017. (Tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego; Trujillo, Perú.

- TEJADA, F. (2018). Soluciones para el mejoramiento vehicular en una ciudad inteligente modelo de flujo, Métrica de sinusidad y Plataforma de ruteo vehicular (Tesis de Posgrado). Universidad de Chile; Santiago de Chile, Chile.
- TORRES, O. y VENEGAS, T. (2020). Diagnóstico y una propuesta para reducir las demoras por control en la intersección del Jirón Tarma y Jirón Junín de la ciudad de La Merced, empleando la microsimulación del tránsito. (Tesis de Pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas; Lima, Perú.
- VELASCO, J. (2017). Comparación entre el Método de Factores de Ajuste para flujos de saturación vehicular y el esquema de estimación simultanea de densidad y velocidad basado en el modelo macroscópico LWR. (Tesis de posgrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador; Quito, Ecuador.
- VENEGAS, J. (2017). Modelos macroscópicos para el estudio del tráfico vehicular de dos y tres fases. (Tesis de posgrado). Universidad Autónoma Metropolitana; Ciudad de México, México.
- VISAGA, S. (2015). Influencia del flujo de tráfico vehicular en la contaminación sonora del Cercado de Lima. (Tesis de postgrado). Universidad Peruana Unión; Lima.

ANEXOS

Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente Modelos macroscópicos	Los modelos macroscópicos se emplean para describir y analizar el comportamiento integrado de las corrientes de tráfico a gran escala. Estos modelos se basan en la premisa de que las corrientes de tráfico son un medio con carácter continuo (Alvarado, 2018).	Las variables utilizadas en los modelos macroscópicos son el flujo, densidad y velocidad de flujo.	Flujo	Tasa de flujo (q)
			Densidad	Vehículos por unidad de longitud
			Velocidad de flujo	Km/h y mph
Variable dependiente Tráfico vehicular	El tráfico vehicular (también conocido simplemente como tráfico) es el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista. Se presenta de manera similar a otros flujos, como el de partículas (líquidos, gases o sólidos) y el de peatones (Carvajal, 2018).	Las medidas de tráfico ayudan a estimar los problemas de tráfico vehicular en un sistema vial, se pueden detallar en 3 medidas de tráfico usualmente empleadas en el Estudio de Tráfico: Volumen, densidad y capacidad.	Volumen	Número de veh/punto determinado
			Densidad	Número de vehículos en movimiento
			Capacidad	Máximo número de vehículos en un punto

Matriz de consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Metodología
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable independiente:	Método: Científico
¿Cuáles serían los resultados de los modelos macroscópicos en el tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023?	Determinar cuáles serían los resultados de los modelos macroscópicos en el tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023.	Los resultados de los modelos macroscópicos serían directos y significativos en el tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023.	Modelos macroscópicos Dimensiones: -Flujo -Densidad -Velocidad de flujo	Tipo: Aplicada Nivel: Explicativo Diseño: Experimental
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variable dependiente:	Población:
a) ¿Cuáles serían los resultados de los modelos macroscópicos en el volumen del tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023?	a) Analizar cuáles serían los resultados de los modelos macroscópicos en el volumen del tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023.	a) Los resultados de los modelos macroscópicos serían directos y significativos en el volumen del tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023.	Tráfico vehicular Dimensiones: -Volumen -Densidad -Capacidad	La población estuvo constituida por las vías de la ciudad de Huancayo de provincia de Huancayo, departamento de Junín.
b) ¿Cuáles serían los resultados de los modelos macroscópicos en la densidad del tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023?	b) Analizar cuáles serían los resultados de los modelos macroscópicos en la densidad del tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023.	b) Los resultados de los modelos macroscópicos serían directos y significativos en la densidad del tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023.		Muestra: La muestra estuvo conformada por las vías principales de la ciudad de Huancayo, comprendidas desde la intersección de Av. Calmell del Solar con la Av. San Carlos (altura de la Universidad Peruana Los Andes), hasta la avenida

c) ¿Cuáles serían los resultados de los modelos macroscópicos en la capacidad del tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023?	c) Analizar cuáles serían los resultados de los modelos macroscópicos en la capacidad del tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023.	c) Los resultados de los modelos macroscópicos serían directos y significativos en la capacidad del tráfico vehicular de las vías principales de la ciudad de Huancayo, Junín, 2023.	Ferrocarril de la ciudad de Huancayo, provincia de Huancayo, departamento de Junín.
--	--	--	---
