

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El Puente 4 de Julio ha sido objeto de debate desde sus fases iniciales, encarnando tensiones entre criterios técnicos, funcionales y patrimoniales en la planificación urbana de Tarija. En abril de 2024, el Colegio de Arquitectos de Tarija intervino públicamente mediante un manifiesto en el que manifestaba su oposición a la construcción del puente en la ubicación seleccionada. Argumentaron que la avenida Costanera construida con respeto al entorno natural e histórico de la ciudad fue alterada de forma inadecuada, rompiendo el ritmo urbano diseñado para cruzar el río Guadalquivir cada 800 metros. Propusieron como alternativa viable la construcción del Puente Isaac Attie, ubicado aguas arriba, que habría absorbido el 80 % del flujo vehicular, dejando solo un 20 % para el Puente San Martín. También propusieron reconvertir el Puente 4 de Julio en un espacio cultural o turístico, fomentando su integración armónica en el paisaje urbano, en lugar de insistir en su funcionalidad vehicular desde una ubicación cuestionada.

A finales de noviembre de 2024, la Alcaldía de Tarija procedió a realizar rigurosas pruebas de carga como parte del protocolo técnico previo a la activación del puente. Se emplearon ocho volquetas de ripio, con un peso total de 320 toneladas, junto con maquinaria pesada, para verificar la capacidad estructural del puente. La deformación registrada fue de apenas 9-10 mm, muy por debajo del límite permisible de 130-140 mm. Este resultado robusteció la confiabilidad técnica de la obra, y se estimó una vida útil de entre 100 y 150 años para el puente.

Tras superar satisfactoriamente las pruebas, se habilitó provisionalmente el puente para tránsito vehicular y peatonal desde el 14 de noviembre de 2024, iniciándose así un período de prueba que se extendió hasta abril de 2025. Durante este lapso, se monitorearía su funcionamiento y se evaluarían ajustes técnicos pendientes.

No obstante, se constató que el proyecto original no preveía los accesos, lo que generó una desconexión entre la infraestructura y la red vial de la ciudad. En enero de 2025, la Alcaldía inició intervenciones en la avenida Las Américas realizando jardinería en el carril central, habilitando salidas fluidas y coordinando la sincronización semafórica con el

objetivo de mejorar la funcionalidad del puente y aliviar el colapso vehicular en la zona durante el reinicio del ciclo escolar el 3 de febrero.

Durante las primeras semanas de funcionamiento, se organizaron trabajos para habilitar ingresos accesibles, incluyendo propuestas específicas para personas con discapacidad, lo que fue señalado por autoridades municipales como indicativo del compromiso por darle utilidad real a la infraestructura.

Pese a las medidas técnicas y administrativas, en enero de 2025 el presidente del barrio San Martín, David Cardozo, señaló que el puente continuaba siendo subutilizado durante las horas pico. En ese momento, el Puente San Martín absorbía más de 500 vehículos, mientras que el Puente 4 de Julio no era considerado por el transporte público ni privado, lo que evidenciaba una falta de alineamiento entre la infraestructura y las necesidades de movilidad urbana. Esa situación se atribuía tanto a la ubicación del puente como a una planificación vial insuficiente.

Finalmente, en febrero de 2025 la Sociedad de Ingenieros de Bolivia (SIB) en Tarija solicitó que la investigación sobre el Puente 4 de Julio fuera técnica y objetiva, buscando identificar responsabilidades. La SIB había anticipado desde estudios anteriores que la construcción del puente en esa ubicación no resultaba funcional y no representaba una buena relación costo-beneficio, además de lamentar que existieran múltiples proyectos con escasa utilidad en el departamento.

Hasta ahora no se ha publicado un informe final o conclusión formal de la investigación que solicitó la Sociedad de Ingenieros de Bolivia (SIB) sobre el Puente 4 de Julio en Tarija. No obstante, hay varias acciones e informes parciales relevantes:

SIB advirtió y recomendó reubicar el puente (2025) Pascual Velásquez, presidente de la SIB, recordó que en un estudio anterior ya habían recomendado cambiar la ubicación del puente debido a riesgos técnicos y cuestionamientos sobre su viabilidad estructural y funcional. También subrayó la necesidad de que cualquier nueva investigación sea objetiva, técnica y que conduzca a establecer responsabilidades concretas, más allá del ruido político.

Expertos critican planificación e insisten en investigación un grupo de ingenieros especialistas en estructuras, geotecnia, hidráulica y administración advirtió que el puente presenta deficiencias desde su ubicación hasta su rentabilidad. Señalan que la

planificación fue deficiente y exigen una evaluación exhaustiva, técnica y sin fines políticos. Además, mencionaron que ya se registraron accidentes en los accesos, reforzando la necesidad de una revisión completa.

Observaciones previas al funcionamiento final incluso antes de su habilitación definitiva, en diciembre de 2024, la SIB alertó que los accesos no resolverían el problema de congestión vehicular. Consideraron que, sin una planificación urbana adecuada, el puente podría ser una inversión sin retorno real.

Investigación judicial en marcha la Fiscalía de Tarija ya realizó dos pericias técnicas una en auditoría forense y otra en ingeniería como parte del proceso penal por presuntas irregularidades. Este procedimiento apunta a recolectar elementos probatorios y fortalecer la acusación contra autoridades y funcionarios involucrados, aunque no hay una conclusión publicada aún.

1.2 Situación problemática

En la ciudad de Tarija como en todas las ciudades de Bolivia el tráfico se ha vuelto un problema cada vez más grande, especialmente en algunas zonas donde hay mucho movimiento de autos. Uno de esos lugares es el Puente 4 de Julio, que conecta partes importantes de la ciudad. Aunque este puente fue pensado para ayudar a mejorar la movilidad, en la realidad ha traído varios problemas, sobre todo por el lugar donde está ubicado.

Muchos conductores se quejan de que pasar por el puente es complicado, y en algunos casos hasta peligroso. Se han visto varios accidentes en los accesos y durante las horas pico se forma un caos de autos que casi no se mueven. Además, la forma en que está distribuido el tráfico no ayuda mucho, ya que no hay una buena planificación de cómo se debería organizar el paso de vehículos por ahí. Todo esto afecta no solo a los conductores sino también al orden del tráfico en la ciudad y se pierde tiempo todos los días.

Por eso, es importante entender cómo se comporta el tráfico en ese lugar. En especial, hay que analizar cómo se relacionan la velocidad de los autos, la cantidad de vehículos (volumen), y qué tan llenas están las vías (densidad). Existen varios modelos matemáticos que intentan explicar esto, algunos más simples (lineales) y otros un poco más complejos (no lineales), pero no se sabe cuál de estos modelos funciona mejor en una ciudad como Tarija, y menos aún en una zona tan complicada como los accesos al Puente 4 de Julio.

1.2.1 Planteamiento del problema

¿Cómo y por qué el Puente 4 de Julio, concebido para mejorar la movilidad urbana en Tarija, ha llegado a convertirse en un punto de congestión vehicular, al interactuar factores como la velocidad, el volumen y la densidad del tráfico, y qué modelo matemático, ya sea lineal o no lineal, podría explicar de manera más adecuada este fenómeno considerando las condiciones específicas de su ubicación?

1.3 Justificación

La construcción del Puente 4 de Julio en Tarija, finalizada y actualmente en funcionamiento, ha sido objeto de múltiples cuestionamientos técnicos y funcionales desde su concepción. La Sociedad de Ingenieros de Bolivia (SIB) advirtió desde el inicio que la ubicación seleccionada para el puente era inapropiada, recomendando su reubicación para evitar problemas de congestión vehicular y garantizar la seguridad estructural.

A pesar de estas advertencias, la obra se ejecutó en el emplazamiento original, lo que ha resultado en una infraestructura que no cumple con su objetivo principal: aliviar el tráfico urbano. Los accesos al puente no han logrado descongestionar las vías adyacentes, y la falta de planificación integral ha generado nuevos puntos de congestión en lugar de resolver los existentes.

En este contexto, el análisis del comportamiento del tráfico vehicular mediante modelos matemáticos se presenta como una herramienta esencial para comprender las dinámicas de circulación en la zona del puente. Los modelos de tráfico, tanto lineales como no lineales, permiten simular y predecir el flujo vehicular, identificando cuellos de botella, puntos de saturación y posibles mejoras en la infraestructura vial. Mientras que los modelos lineales ofrecen una aproximación simplificada, los modelos no lineales proporcionan una representación más realista de las complejas interacciones en entornos urbanos congestionados.

Esta investigación busca evaluar la aplicabilidad de ambos tipos de modelos en el contexto específico del Puente 4 de Julio, con el objetivo de proponer soluciones basadas en evidencia que optimicen el flujo vehicular y mejoren la seguridad vial. Además, se pretende contribuir al conocimiento técnico sobre la planificación y evaluación de infraestructuras viales en ciudades en crecimiento, como Tarija.

El estudio adquiere una importancia especial considerando el crecimiento constante del parque automotor y el desarrollo urbano acelerado que vive Tarija. Estas transformaciones han generado una presión visible sobre la red vial, especialmente en zonas estratégicas como los accesos al Puente 4 de Julio. Analizar el comportamiento del tráfico mediante modelos matemáticos no solo permitirá entender cómo se está utilizando la infraestructura actual, sino también identificar de manera práctica qué ajustes o mejoras podrían aplicarse para que cumpla realmente su función de aliviar la congestión y mejorar la movilidad de los ciudadanos.

Asimismo, los resultados de esta investigación buscan servir de apoyo para las autoridades locales y los profesionales del área, brindando información clara y sustentada que les permita tomar decisiones más acertadas sobre la gestión del tránsito. Con ello se pretende aportar a una Tarija más ordenada y segura, donde los desplazamientos sean más ágiles, el estrés vial disminuya y la ciudad avance hacia un desarrollo urbano más planificado y sostenible.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Analizar la relación entre velocidad, intensidad y densidad del tráfico vehicular en condiciones de flujo libre en los accesos al Puente 4 de Julio, con el fin de comprender el comportamiento del tránsito vehicular, mediante la aplicación de modelos de comportamiento de tráfico lineales y no lineales, para contribuir a una mejor toma de decisiones en la planificación y gestión del tránsito en dicha zona.

1.4.2 Objetivos específicos

- Estudiar los principios teóricos fundamentales de la ingeniería de tráfico aplicables al análisis del tema en cuestión.
- Levantar datos reales mediante aforos manuales sobre el comportamiento del tráfico en los accesos al puente 4 de Julio.
- Evaluar el comportamiento de los parámetros fundamentales en el tráfico del puente 4 de julio a través de modelos lineales y no lineales.
- Graficar las curvas, velocidad e intensidad, velocidad y densidad, así como entre intensidad y densidad en el tramo del puente 4 de Julio.

- Realizar un análisis de resultados de los modelos de tráfico lineal y no lineal que nos muestra las relaciones intensidad-velocidad, densidad-velocidad e intensidad-densidad entre sí en el área de estudio.
- Establecer un análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones pertinentes que sirvan como aporte para futuros estudios similares.

1.5 Hipótesis

Si el Puente 4 de Julio en Tarija genera congestión vehicular debido a una interacción crítica entre la velocidad, el volumen y la densidad del tráfico, entonces este fenómeno puede ser explicado de manera más adecuada mediante un modelo matemático lineal y no lineal, capaz de representar las dinámicas complejas del flujo vehicular y evidenciar que el diseño actual no responde eficientemente a las condiciones reales de movilidad urbana.

1.6 Identificación de variables

1.6.1 Variable independiente

Circulación del tráfico

1.6.2 Variable dependiente

Volumen, Velocidad y Densidad

1.7 Operación de variables

Tabla N° 1.1 Tabla de operación de variables

Variable	Tipo	Concepto	Procedimiento de medición	Resultados esperados
Circulación del Tráfico	Independiente	Movimiento de vehículos en una vía durante un período determinado.	Observación directa, conteo vehicular y registros de flujo en diferentes momentos del día.	Variaciones en el tráfico afectan directamente al volumen, velocidad y densidad.
Volumen (q)	Dependiente	Número de vehículos que pasan por un punto específico en un período determinado, expresado en veh/h.	Conteo manual o automatizado en intervalos de tiempo definidos.	Aumenta con el incremento del tráfico hasta alcanzar la capacidad máxima de la vía.

Velocidad (v)	Dependiente	Relación entre la distancia recorrida y el tiempo empleado, expresada en km/h.	Medición mediante radares, sensores o cámaras, calculando la velocidad promedio	Disminuye a medida que el tráfico y la densidad aumentan
Densidad (k)	Dependiente	Número de vehículos por unidad de longitud de la vía en un instante dado, expresado en veh/km.	Cálculo indirecto mediante la fórmula $k = q / v$.	Aumenta con el incremento del tráfico y disminuye con velocidades más altas.

Fuente: Elaboración propia

1.8 Diseño metodológico

1.8.1 Unidades de estudio y decisión muestral

Unidades

La unidad de estudio de esta investigación está conformada por los elementos esenciales del flujo vehicular que permiten entender el comportamiento del tránsito en los accesos al Puente 4 de Julio. Estos elementos son la velocidad, el volumen vehicular y la densidad, los cuales serán medidos, analizados y correlacionados para el desarrollo y validación de modelos de comportamiento del tráfico.

La velocidad se entiende como la rapidez con la que los vehículos se desplazan en un tramo determinado. Se medirá en kilómetros por hora (km/h) y será registrada en distintos momentos del día para captar su variabilidad.

El volumen vehicular, también conocido como intensidad de tránsito, corresponde a la cantidad de vehículos que atraviesan un punto específico de la vía durante un periodo de tiempo determinado (vehículos/hora). Este parámetro permite identificar patrones de congestión o fluidez.

La densidad vehicular se refiere al número de vehículos que se encuentran en un tramo específico de vía por unidad de longitud (vehículos/km). Este parámetro está estrechamente relacionado con los niveles de saturación y el nivel de servicio de la vía.

Estos tres parámetros conforman las variables fundamentales de la teoría del flujo vehicular y, por tanto, son los componentes principales de observación y análisis en esta investigación. Su comportamiento conjunto será modelado mediante expresiones

matemáticas tanto lineales como no lineales, con el fin de interpretar adecuadamente las dinámicas del tránsito vehicular en el sector en estudio.

Población

La población de estudio está constituida por la totalidad de los vehículos que transitan por los accesos al Puente 4 de Julio durante un periodo de observación previamente definido. Esta población incluye a todos los vehículos motorizados que utilizan los accesos principales al puente en ambos sentidos de circulación, independientemente de su tipo, tamaño o finalidad de uso.

Dicha población vehicular comparte características comunes que permiten su análisis como un conjunto homogéneo dentro del contexto de la ingeniería de tránsito:

- Circulan por un mismo sistema vial urbano.
- Están sometidos a condiciones similares de señalización, geometría vial, y entorno urbano.
- Forman parte del flujo vehicular que representa la demanda de transporte en uno de los puntos neurálgicos de la red vial de la ciudad de Tarija.

Muestreo

La muestra está conformada por una parte representativa del total de vehículos que circulan por los accesos al Puente 4 de Julio durante los días y horarios seleccionados para la observación. Esta muestra es cuidadosamente seleccionada con el fin de reflejar con la mayor fidelidad posible las características del tránsito general en la zona de estudio.

La muestra incluye:

- Registros de velocidad y volumen vehicular tomados durante franjas horarias estratégicas (como las horas pico de la mañana, mediodía y tarde).
- Datos clasificados por tipo de vehículo, distinguiendo entre vehículos livianos, pesados, motocicletas y otros, en caso de ser posible.
- Observaciones en distintos días de la semana, para considerar variaciones entre días laborales y fines de semana, o incluso eventos atípicos si los hubiera.

El tamaño y la estructura de la muestra buscan garantizar una representación estadística adecuada de la población vehicular, permitiendo así extrapolar los resultados a un contexto más amplio. Con base en esta muestra, se realizará el ajuste de los modelos de comportamiento del tráfico que constituyen el objetivo central del proyecto de grado.

1.8.2 Métodos y técnicas empleadas

1.8.2.1 Método deductivo

Definida como deductivo ya que es una relevante aplicación que se halla implícita dentro del mismo estudio, durante la aplicación del modelo se logrará generar sus propios resultados, es decir un modelo generado a partir de una deducción propia en base a los datos de tránsito vehicular en estudio.

1.8.2.2 Experimento y técnicas

Durante la presente aplicación del tema se requerirá una diversidad de información la cual se precisa generarla de manera verídica y eficiente. Entre estos abarcan mediciones, tanto para dimensionar la calzada y su capacidad de cada carril; y lo más esencial aforo de tráfico, las cuales nos contribuirán con los datos de la cantidad de vehículos que transitan por el tramo.

1.8.2.3 Técnicas de muestreo

Se realizará un tratamiento estadístico descriptivo, por lo que se trabaja en base a una serie de datos donde es preciso llevarlas a organizarlas, tabularlas y analizarlas, de manera que se pueda determinar su distribución de frecuencia de manera más resumida y gráfica que faciliten nuestra labor investigativa logrando representar nuestra serie de datos de aforo vehicular de manera más visual por lo que será más factible denotar a simple inspección visual los puntos críticos de transitabilidad.

1.9 Procedimiento de la aplicación

La metodología que se realizó en la aplicación práctica del estudio del proyecto es la siguiente:

a) Reconocimiento del tramo y aforo vehicular

Se realizará inicialmente un reconocimiento detallado del tramo que comprende los accesos al Puente 4 de Julio. Se identificaron las características geométricas de cada sitio (carriles, anchura, intersecciones, etc.) para seleccionar tres puntos estratégicos de medición. Posteriormente, se efectuaron aforos manuales de tiempos de recorrido (vehículos recorriendo 25 m) y volumen vehicular (clasificado en livianos, medianos y pesados), durante las horas pico: 7:00–8:00, 12:00–13:00 y 18:00–19:00. Estos registros se tomarán durante dos días hábiles y un día no hábil dentro de un mes, apoyados por un equipo de tres personas.

b) Procesamiento y depuración de datos

Los datos recogidos fueron ingresados y organizados en Microsoft Excel. Se aplicó la regla de depuración basada en el criterio " $X \pm S$ " para eliminar datos atípicos (tanto de tiempos como de volúmenes), separando por sentido de circulación (ida/vuelta) y por punto de aforo. Solo los datos depurados servirán para calcular las variables clave: velocidad media, flujo (intensidad) y densidad vehicular.

c) Ajuste estadístico de curvas y correlación

Se procederá a ajustar las relaciones velocidad–intensidad, velocidad–densidad e intensidad–densidad utilizando distintos modelos funcionales: parabólicos, logarítmicos y exponenciales. El modelo que presente el coeficiente de correlación más alto (más cercano a 1) será seleccionado como el que mejor representa cada relación.

d) Análisis e interpretación de resultados

Se elaboro seis gráficas comparativas (tres para sentido ida y tres para sentido vuelta), mostrando las curvas seleccionadas. A partir de ello, se analizó la correlación entre velocidad, intensidad y densidad vehicular en los accesos al puente 4 de Julio. Este análisis permite interpretar el comportamiento del flujo vehicular en relación con las condiciones geométricas y temporales del tramo.

1.10 Tratamiento de datos

Los datos recolectados de campo, para su correcto análisis se procedió a plasmar en planillas de aforo, luego a una tabulación, donde se procedió a analizar los datos recolectados durante la lectura de datos vehicular. Posteriormente se somete estas tabulaciones se proyectan en representaciones gráficas, es decir tratamiento estadístico descriptivo donde se muestra de manera la visual los datos. Para que finalmente se proceda a realizar la aplicación a estos datos a modelos lineales y no lineales, viendo cual presenta más cercana similitud de tendencia.

1.11 Alcance del estudio de aplicación

Este proyecto de grado se desarrolló en el ámbito de la ingeniería de tránsito, una disciplina clave para comprender y optimizar los sistemas de transporte urbano en contextos donde el crecimiento vehicular y la falta de planificación dificultan la movilidad cotidiana. Su propósito fue comparar y analizar modelos de comportamiento del tráfico tanto lineales como no lineales con el fin de profundizar en la relación entre cuatro

variables fundamentales: velocidad, volumen, densidad y su interdependencia estadística, utilizando el método estadístico de correlación para cuantificar dichas relaciones. El estudio se concentrará en los accesos al Puente 4 de Julio en Tarija, una vía estratégica que registrará un aumento notable del flujo vehicular. A partir de datos que se recolectarán en campo, como conteos vehiculares y mediciones de velocidad, se ajustarán modelos matemáticos que representarán el comportamiento real del tránsito en esa zona, analizando cuál de ellos reflejará de manera más fiel la realidad observada.

Este trabajo trascenderá el análisis técnico al convertirse en una herramienta valiosa para la planificación vial y la gestión del tráfico urbano, ya que aportará fundamentos científicos que permitirán diseñar políticas públicas, proyectos de infraestructura o medidas de regulación más eficientes, sostenibles y acordes con las necesidades reales de la población. Asimismo, esta investigación buscará constituirse en un aporte académico significativo para estudiantes e investigadores en Bolivia, al ofrecer una metodología clara, replicable y bien contextualizada.

Se comenzará describiendo la problemática del tránsito en los accesos al puente y se hará énfasis en su relevancia desde una perspectiva técnica, social y urbana. En esa fase se definirán el objetivo general, los objetivos específicos, la hipótesis y las variables principales, junto con una revisión bibliográfica preliminar y la estructura del documento. Luego, se elaborará un marco teórico integral que abordará el sistema de transporte usuario, vehículo y vía, así como las características del tránsito urbano, la normativa vigente, la planificación vial y los dispositivos de control. Se profundizará en la teoría del flujo vehicular, explicando conceptos esenciales como velocidad, densidad, volumen y su modelamiento matemático mediante modelos lineales y no lineales.

En la fase práctica se describe el contexto urbano e infraestructural del área de estudio y se detalló las técnicas utilizadas para recolectar y depurar los datos en campo. Se calculo parámetros esenciales y se ajustarán curvas que representarán las relaciones velocidad-volumen, velocidad-densidad e intensidad-densidad. A partir de herramientas estadísticas como gráficos, análisis de regresión y el empleo del método de correlación se evaluará el grado de relación entre las variables y se comparará el ajuste de los modelos al entorno real.

Finalmente, en la investigación se identificó los resultados más relevantes, evaluando el desempeño de cada modelo y los patrones de comportamiento del tránsito observados en los accesos al Puente 4 de Julio. Se elaboró recomendaciones técnicas y prácticas para mejorar la movilidad en la zona y se propondrán líneas de investigación futuras. Además, se destacará el valor del modelamiento del flujo vehicular como una herramienta estratégica para la planificación urbana y se enfatizó la importancia de incorporar este tipo de análisis en la formulación de políticas de movilidad en la ciudad.

1.12 Resultado

El resultado del trabajo consiste en una gráfica descriptiva del comportamiento vehicular, estableciendo en intervalos durante el tiempo de aforo el cambio de comportamiento vehicular, donde se tomarán en cuenta puntos criterios de mayor demanda horaria y exista mayor control tomando medidas preventivas de la vía como establecer parámetros horarios de unidirección de circulación en la zona de estudio.

Se tendrá mediante una inspección de la vía los puntos donde se acumulan los vehículos, y sus respectivas causas (tráfico, peatones, ciclistas, rompe muelles), por lo cual en base al modelo más acorde a la situación presentada en el área estudiada, se podrá establecer una mejor utilización de la vía realizando una red de circulación de optimización o medidas de ampliación o mejoramiento de la zona del puente 4 de Julio para mantener las condiciones adecuadas de serviciliadad para el conductor.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO

2.1 El vehículo

La invención del vehículo, a pesar de que se considera un hecho reciente, ha ido adquiriendo un valor cada vez mayor y no sólo para la vida cotidiana del ser humano, sino también para la economía del transporte. Este aumento veloz de importancia requirió que tiempo atrás se diese atención preferente a la construcción de calles y carreteras, resaltando sobre todo el aspecto estructural de las mismas.

A partir de la década de los 80, los responsables de los departamentos de tráfico observaron que las soluciones tradicionales que se estaban aplicando no eran viables debido a los costes, a la carencia de espacio disponible y a las consecuencias para el medio ambiente, y es por eso que los departamentos de tráfico comenzaron a buscar soluciones para la optimización de las infraestructuras existentes y así obtener el mejor servicio que puedan proporcionar (Iam Thomson, 2001).

2.2 Aplicación de la ingeniería de tráfico

La ingeniería de tráfico tiene una amplia aplicación en diferentes áreas relacionadas con la movilidad urbana. Algunas de las principales áreas de aplicación son:

Planificación de la movilidad urbana: Se utilizan técnicas y herramientas para planificar y diseñar sistemas de transporte y tráfico que sean seguros, eficientes y sostenibles. La planificación de la movilidad urbana implica la identificación de las necesidades de transporte de la población y la implementación de soluciones que satisfagan estas necesidades.

Diseño de carreteras: Se diseñan y construyen carreteras y calles que sean seguras, eficientes y accesibles para todos los usuarios, incluyendo peatones, ciclistas y conductores de vehículos motorizados.

Diseño de sistemas de transporte público: Se diseñan sistemas de transporte público que sean seguros, eficientes y accesibles para todos los usuarios. Esto incluye el diseño de sistemas de autobuses, metro y tranvía, así como el diseño de estaciones y terminales.

Gestión del tráfico: Se utilizan técnicas y herramientas para gestionar el tráfico y la congestión vehicular en las ciudades. Esto incluye la planificación y diseño de sistemas

de semáforos y señalización vial, así como la implementación de sistemas de gestión de tráfico inteligente.

Seguridad vial: La señalización es uno de los elementos más importantes de la seguridad vial y tiene un gran impacto en la conducta de los conductores. Los ingenieros de tránsito deben evaluar la señalización existente y diseñar nuevas señales para garantizar que sean claras, comprensibles y efectivas. Esto incluye la ubicación adecuada de las señales y la selección de un diseño gráfico efectivo y fácil de entender (Joel Gneco, 2023)

2.3 Características de la infraestructura vial y su efecto en el flujo vehicular.

Existen varios factores que influyen o afectan el flujo vehicular, entre ellos podemos mencionar: las características geométricas de la vía (ancho, pendiente, curvatura), tipo de superficie (trocha, afirmado, tratamiento superficial, carpeta asfáltica), deterioros en la vía (baches, hundimientos, ahuellamientos, etc.) y la señalización o dispositivos de control de tránsito tales como semáforos y señales restrictivas.

2.3.1 Características geométricas de la vía

Las características geométricas de la vía están directamente relacionadas con la capacidad de la vía, con el tipo de vehículos que circularán por ella y con la velocidad de circulación. El ancho de los carriles, la altura libre existente en las estructuras bajo las que pasa la vía, así como otras características geométricas de la misma, limitan las dimensiones de los vehículos. De la misma manera, estas dimensiones imponen unas características geométricas mínimas a la vía. La interdependencia entre la vía y el vehículo, tiene también lugar en lo referente a los pesos totales o por eje que afectan esencialmente al tipo y resistencia de los pavimentos y a la resistencia de las estructuras. El ancho, la separación entre ejes y la longitud total del vehículo determinan un radio mínimo de giro; es así que para diseñar una vía es indispensable conocer el radio de la curva descrita por la rueda interior trasera o radio interior de los vehículos tipo que circularán por dicha vía.

2.3.2 Tipo de superficie

La superficie de rodadura es un factor que influye directamente en el tráfico, es así que la velocidad que desarrolla un vehículo que circula por una trocha carrozable, difiere tremendamente de la velocidad que este puede desarrollar a la circular en una vía pavimentada. (Juan Gabriel Tapia Arandia, 2006).

Se utilizan diversas magnitudes que reúnen las características de los vehículos y usuarios. Estas magnitudes son: la velocidad, el volumen, la densidad, la separación entre vehículos sucesivos, intervalos entre vehículos, tiempos de recorrido y demoras, origen y destino del movimiento, la capacidad de las calles y carreteras, se analizan los accidentes, el funcionamiento de pasos a desnivel, terminales, intersecciones canalizadas, etc.

Por otro lado, se estudia al usuario todas las reacciones para maniobrar el vehículo como ser: rapidez de reacción para frenar, para acelerar, su resistencia al cansancio, etc. (Guisselle Montoya, 2005)

2.4 Reglamentación del tránsito

El Reglamento de Tránsito es un conjunto de normas y regulaciones diseñadas para regular el tráfico y garantizar la seguridad en las vías públicas. Su importancia radica en la prevención de accidentes, la reducción de lesiones y la mejora de la fluidez del tráfico. Todos los conductores deben familiarizarse con estas normas y cumplirlas para contribuir a un entorno vial más seguro y ordenado. La educación y la conciencia sobre el Reglamento de Tránsito son esenciales para promover una cultura de conducción segura (Daniel Alvarado, 2023)

2.5 Planificación vial

Se deben establecer planes o estrategias para una superficie geográfica definida, dentro del ámbito de un territorio, de una provincia, de un municipio, de un estado o del país; con características muy particulares de cada región. A nivel urbano, se deben conocer diversas variables necesarias para su estudio: población, densidad de las diferentes áreas, uso de suelo y clasificación funcional de las vías (Fernando A. Torres, 2018)

2.6 Elementos de la ingeniería de tráfico

Los elementos primordiales del tráfico son: usuario, el vehículo y camino o vía:

2.6.1 Usuario

El usuario es el primer elemento básico debido a que es la persona quien tiene la necesidad de trasladarse o trasladar cosas y sin esa necesidad no sería necesario el tránsito.

El usuario cuenta cuatro subdivisiones a estudiar organizadas por el modo en que la persona se traslada. Estas son el peatón, el pasajero, el ciclista y el conductor. A continuación, una explicación más detallada de cada uno de los elementos mencionados.

2.6.1.1 Peatón

El peatón o transeúnte es la persona que camina a pie utilizando espacios adecuados para trasladarse de un lugar a otro en calles, avenidas y eventualmente en algunas carreteras (Valencia, 2007).

Por otro lado, con la gente que viene de fuera del medio, está indeciso en los cruceros esperando un momento oportuno, sin saber de qué lugar vienen los vehículos y repentinamente trata de cruzar corriendo, o los peatones que cruzan por lugares no debidos.

- El peatón es, dentro de la jerarquía de medios para movilizarse, el más importante y a su vez el más vulnerable, algunos de los parámetros a brindar al peatón son:
- El peatón tiene derecho a vivir en un entorno sano y a disfrutar libremente de los espacios públicos en condiciones que garanticen adecuadamente su bienestar físico y psicológico.
- El peatón tiene derecho a vivir en lugares (urbanos o rurales) pensados para las necesidades de las personas y no para las de los vehículos, y a disponer de dotaciones a distancias que pueda recorrer caminando o en bicicleta.
- Los niños, las personas mayores y los discapacitados tienen derecho a que las poblaciones sean lugares que faciliten el contacto social y no lugares que agraven su propia situación de debilidad.

2.6.1.2 Pasajero

El pasajero siempre debe pagar una algunas regiones del planeta, se puede hacer algún trueque por otros elementos que no sean dinero. En el particular caso de las personas que hacen dedo o que solicitan a desconocidos ser transportados de manera gratuita, como un acto de solidaridad, también se puede considerar como pasajero a aquel que es ayudado. Dependiendo del tipo de viaje a realizar, la distancia a recorrer, el objetivo del viaje y de otras cuestiones, el pasajero puede cambiar su vestimenta, los accesorios que lleva consigo, la ansiedad, etc.

Esto es así porque normalmente una persona que se convierte en pasajero de un colectivo interurbano para ir de su casa al trabajo porta los elementos necesarios para trabajar, mientras que un pasajero que debe realizar un viaje largo desde un país a otro deberá llevar otros implementos, quizás más numerosos. También será distinto el pasajero si el viaje es

por mucho tiempo o por corto tiempo, si se realiza por razones laborales o por placer y turismo (Víctor Gabriel Valencia Alaix, 2007).

Todas las reglas básicas de comportamiento para el peatón, son aplicables en el pasajero, por lo que es necesario internalizarlas como tal. Una actitud prudente es indispensable en la vía pública, y en ella, se basan todas las normas de seguridad. Cuando somos pasajeros deberemos tener presentes algunos puntos. El ascenso y descenso a los vehículos forman parte de ellos. Cuando debemos subir a un vehículo debemos esperarlo sobre la vereda, y esperar a que este totalmente parado antes de subir.

Lo haremos por la puerta que queda del lado de la acera. Nunca nos bajaremos a la calzada. En caso de que sea un transporte público, lo esperaremos en las zonas indicadas, o sea en las paradas. Si hay una fila de personas, nos colocaremos en el lugar correspondiente, evitando que los niños jueguen en ella. Cuando, al contrario, debemos descender del vehículo, deberemos tener en cuenta, sobre todo, tres conceptos:

- Esperar a que el vehículo este totalmente parado para descender, aunque, en el caso de los buses, las puertas se abran con anterioridad.
- No descender en el centro de la vía.
- Y descender siempre por la puerta que a la acera o andén dentro del vehículo: Es importante un adecuado comportamiento dentro de los vehículos, a fin de evitar percances o accidentes y compartir en la mejor forma el servicio de transporte.
- En el caso de los transportes públicos:
 - Una vez dentro, ocupar alguno de los asientos.
 - Si vamos de pie, sujetarnos de las barras o pasamanos disponibles para tal fin o espaldares de los asientos.
 - No sacaremos la cabeza, parte del cuerpo o brazos por las ventanillas. Evitaremos jugar dentro del vehículo en movimiento, apoyarnos en puertas o manipular manijas o seguros.
- En automóviles:
 - Procuraremos ir lo más quietos posible y utilizar, por supuesto, el cinturón de seguridad.

También evitaremos arrojar basura u otros objetos por la ventanilla. Además de dañar el medio ambiente podremos causar algún accidente si este cae sobre el parabrisas de otro vehículo.

Dispositivos de Seguridad:

- Cinturón de seguridad: Su función es la de disminuir los riesgos de los daños que puede sufrir el conductor o pasajero en caso de colisión o desaceleración del vehículo.
- El cinturón de seguridad no solamente es eficaz en choques frontales, también protege en impactos de otra dirección.
- Sillas para niños: Son asientos con espaldar especialmente diseñados para ser utilizado por niños menores a cinco años de edad cuando viajan en autos particulares.
- Bolsa de aire: Generalmente se lo conoce con el nombre de Air Bag. Es un complemento muy importante para la protección de los ocupantes junto con el cinturón de seguridad.

2.6.1.3 Ciclista

Otro usuario, elemento importante del tránsito y el transporte, es el ciclista, que, de alguna manera, ya sea en el desarrollo de una actividad de recreación, trabajo compras o estudio, debe desplazarse de un lugar a otro, sobre facilidades exclusivas o mezcladas con el tránsito peatonal y vehicular. Independientemente de cómo lo realice, siempre ha sido vulnerable a muchos factores tales como: la accidentalidad producida por la interacción con vehículos de motor, facilidad de ser robados, geografía y topografía tortuosa del lugar y el medio ambiente adverso, por ejemplo, la lluvia. (Tapia, 2006).

Con el crecimiento de las ciudades y el aumento de la contaminación ambiental debida a los vehículos automotores, es necesario, y ya se están comenzando a implantar, sistemas de transporte alternativos que utilizan medios no motorizados, ambientalmente inofensivos y sostenibles que no usen carburantes, uno de estos es la bicicleta. Para que esto sea posible los carriles para los ciclistas y ciclo vías deberán llenar todos los requisitos necesarios, en su diseño y operación, de tal manera que reduzca el riesgo del ciclista al mínimo. Por otra parte, un carril para bicicleta es aquella parte de la calle o carretera específicamente reservada también para uso exclusivo o preferencial de los ciclistas. Los

carriles para bicicletas pueden delinearse con franjas, señalamientos o marcas en el pavimento. Estos carriles siempre deben seguir el mismo sentido del tránsito. Entre las ventajas que trae el uso de la bicicleta como medio de transporte se puede mencionar:

- Disminución de la contaminación atmosférica.
- Disminución de la congestión vehicular.
- Quien la utiliza mantienen un buen nivel de actividad física y de salud.
- Ahorro de costos de transporte.
- Más humana y más amable con el medio ambiente.
- No se congestionan, la velocidad se mantiene incluso en horas de máxima demanda de ciclistas.
- Es ecológicamente sostenible.
- No requiere de la construcción de una infraestructura tan costosa.

Conscientes de estas ventajas Colombia y Brasil son los pioneros en el uso de la bicicleta como alternativa de transporte no motorizado en América Latina.

2.6.1.4 Conductor

Por lo regular, el que conduce un vehículo conoce el mecanismo, sabe lo que es el volante, las velocidades, el freno, etc., pero desconoce las limitaciones, la potencialidad de ese vehículo y carece de destreza para mezclarlo en las corrientes de tránsito. Con apoyo en las estadísticas de accidentes se puede asegurar que el vehículo, sin la preparación previa del individuo a través de la educación vial, ha sido convertida en un arma homicida. El individuo que maneja un automóvil, la mayor parte de las veces no se da cuenta de que con un leve movimiento del pedal puede acabar con la vida de varias personas en pocos instantes (Arandia, 2006).

A través del tiempo, sin embargo, el hombre ha demostrado una gran adaptabilidad a los cambios de la vida moderna. Se ha visto como el individuo es capaz de conducir carreteras y rápidamente cambiar a la conducción de diligencias, de mayor velocidad, para posteriormente adaptarse a las condiciones del vehículo de motor. Según se ha ido cambiando y evolucionando el vehículo, el hombre se ha ido adaptando con mucha facilidad, y así como conducía antes vehículos con una velocidad máxima de 30 km/h, en pocos años ha conducido vehículos que pasan de 1,000 km/h; naturalmente, en estos últimos, en competencias deportivas en distancias rectas muy cortas.

Al vehículo de turismo común y corriente, se le ve en eventos deportivos alcanzar promedios de velocidad de 200 a 300 km/h. El individuo tiene la facultad de adaptarse a cualquier innovación que le presenten; se ha demostrado que un piloto lo mismo conduce una carreta de bueyes que un avión a mayor velocidad que la del sonido. Luego no han sido las limitaciones físicas en el hombre sino la falta de adaptación de las masas. Pero no solamente debe adaptarse al piloto de pruebas o al piloto profesional, sino que existe la obligación de preparar a todos los peatones y conductores.

2.6.2 Vehículo

Considerada un elemento que se determina de acuerdo al tipo de vehículo que se utiliza en una ciudad, por lo general en Tarija-Bolivia se usan diferentes tipos de vehículos por los cual presentan características muy diferidas, pero lo que se establece en la actualidad en los vehículos es de menor tamaño, pero más potencia.

2.6.2.1 Clasificación vehicular

Consiste en una clasificación de automotores de que transitan en una vía, esta clasificación varía de acuerdo al estudio que se pretende realizar, para el caso de aforo de vehicular se establece la siguiente clasificación:

Vehículos Pesados

- a) Camiones simples
- b) Camiones con semirremolque
- c) Camiones con remolque
- d) Autobuses

Vehículos Medianos

- a) Camionetas de estacas hasta 2ton.
- b) Volqueta hasta 6 m³.
- c) Micros hasta 20 personas
- d) Minivan hasta 10 personas

Vehículos Livianos

- a) Automóviles
- b) Jeeps
- c) Vagonetas
- d) Camionetas

Se clasifica también de acuerdo a la necesidad de aforo en:

Privado

- a) Pasajero
- b) Carga

Públicos

- a) Pasajeros
- b) Carga

2.6.3 Camino

Considerada como el elemento fundamental para una óptima circulación de los automotores, que permita el adecuado recorrido de los vehículos dando al ancho suficiente de buen desplazamiento. La carretera o ruta es un camino público pavimentado que está dispuesto para el tránsito de vehículos. Por lo general se trata de vías anchas que permiten fluidez en la circulación (Tapia, 2006).

Tomando en cuenta la permanente necesidad de trasladar personas y mercaderías de un lugar a otro y considerando que estos desplazamientos deben ser cada vez más seguros, cómodos, rápidos y económicos, en la construcción y mantención de las vías hay que tomar en cuenta lo siguiente:

- a) Planeamiento de la infraestructura vial.
- b) Estudio y realización de los trazados, especialmente en lo referido a sus intersecciones y enlaces.
- c) Ordenamiento y regulación de la circulación.

Por último, hay que hacer presente que las negativas consecuencias del tránsito vial terrestre (accidentes de tránsito, congestión vial y contaminación) se deben a que, a lo menos, uno de estos elementos (humano, vía o vehículo) se ha comportado en forma deficiente.

Existen caminos en zonas urbanas como rurales para lo cual se presentan características propias de cada una: tal caso una red urbana está formada por peatones y vehículos de motor de no tan alto peso, en el caso de redes rurales presentan vehículos de mayor dimensión y mayor peso.

Las características de las calles o carreteras al ser elementos cuya construcción por lo general es única y no tiene adelantos a través del tiempo se ha convertido en elemento más

estático que produce una incongruencia con el avance tecnológico, el elemento vehículo y con el aumento de la población como usuarios peatones y conductores (Douglas Méndez, 2009).

2.7 Aforo vehicular

Es el conteo de vehículos que se realiza en un determinado tiempo para tener conocimiento de cuántos vehículos circulan por un tramo o una vía, su realización nos permite la recopilación de datos para poder llevar a cabo un proyecto, de esta manera conoceremos las llamadas horas pico donde se genera la congestión vehicular y así brindarle una solución viable al tránsito de la ciudad (Coronado, 2002)

Existen dos tipos de aforos:

- **Aforos manuales**
- **Aforos automáticos**

2.7.1 Aforo manual

El conteo manual es un método para obtener datos de volúmenes de tráfico a través del uso de personal de campo conocido como aforadores de tráfico. Los aforos manuales son usados cuando la información deseada no puede ser obtenida mediante el uso de dispositivos mecánicos. El método manual permite la clasificación de vehículos por tamaño, tipo, número de ocupantes y otras características. Registro de movimiento de vueltas y otros movimientos, tanto vehiculares como de peatones. Los conteos manuales son usados frecuentemente para comprobar la exactitud de los contadores mecánicos (Tapia, 2008)

Este tipo de recuento también es necesario cuando los requisitos para el mismo son poco comunes. Por ejemplo, cuando se necesitan conteos durante periodos de tiempo corto. Algunas veces las malas condiciones de tiempo interfieren con el uso de contadores mecánico de tráfico y, claro está, si no se dispone de equipo automático, el aforo deberá realizarse manualmente.

Estos aforos son realizados en las carreteras o calles de acuerdo a los requerimientos y condiciones geométricas del tramo, lo cual consiste en el conteo de automotores que circulan por diferentes horarios.

La susceptibilidad con que se debe realizar los estudios, son estudios determinados o puntuales de un proyecto o son parte de un control permanente de tráfico lo ideal es

estudiar los volúmenes de tráfico todos los días del año, y en los días por lo menos 12 a 15 horas al día sin embargo esto implica tener un buen equipo de aforadores y procesadores de datos lo cual no siempre es disponible en las instituciones relacionadas a este tema, por ello se establece que para estudios cortos debe ser de 3 horas del día generalmente horas pico, horas críticas y durante 1 mes, si se quiere acortar la duración de los registros a un mes se tendrá que aumentar las horas y días de aforo (Veizaga, 2008). La ventaja de un registro manual está en que no solo se puede hacer un conteo de los vehículos numéricos sino con composición vehicular e inclusive con características especiales para un proyecto especial no es posible para un aforo automático. La desventaja es que requiere mucho personal y por lo tanto mayor costo económico lo que restringe el uso del trabajo de aforo manual.

2.7.2 Aforo automático

Se basan en la utilización de mecanismos automáticos que detectan el paso de vehículos, procediendo a su conteo y posterior almacenamiento. Entre los más comunes en el uso son controladores o registradores automáticos que permiten aforar la cantidad de vehículos que pasan por una sección definida constan de un captador formado por un tubo de goma colocado transversalmente sobre la calzada, y un detector compuesto por una membrana formada por dos laminas metálicas que entran en contacto cada vez que un vehículo pisa el captador (Cerquera, 2007).

Otro tipo de sistema empleados, aunque en menor medida, son los detectores de lazo o bucle, basados en la inducción electromagnética e incluso detectores basados en ondas de choque o en el láser.

2.7.2.1 Junior Counter

La Figura demuestra un contador menor típico (Junior Counter), con un dial visible y una batería de la pila seca. Este tipo de contador está conectado generalmente con los tubos neumáticos colocados a través del camino. Este determina el número total de los vehículos que pasan sobre el tubo neumático registrando un vehículo para cada segundo eje que pase. En este caso, el dial se debe leer al principio y fin de cada período de cuenta o bien reajustar a cero al principio de cada período de cuenta para obtener el volumen para ese período de cuenta. Es útil para los conteos de 24 horas. La desventaja principal de este tipo de contador es que no clasifica los vehículos, así que los volúmenes obtenidos tienen

que ser ajustados considerando el porcentaje de los vehículos que tienen más de dos ejes, si este porcentaje es significativo

Figura N° 2.1 Contador Junior Counter



Fuente: https://sga.unemi.edu.ec/media/recursotema/Documento_2020427161717.pdf

2.7.2.2 Marksman 400

Las características principales de este contador son: (1) un clasificador completo y funcional del tráfico, (2) un vehículo tipo, una velocidad, una longitud, y un clasificador del conteo de ejes, y (3) “Showman Lite” software para presentación de los datos de Microsoft Windows.

Figura N° 2.2 Contador Marksman 400



Fuente: <https://id.scribd.com/doc/160029874/CONTADORES-VEHICULARES>

Puede ser interconectado completamente con una PC de escritorio o una computadora portátil, un teclado y una pantalla LCD (Liquid Cristal Display) se puede utilizar en el

campo. En la terminación del conteo de tráfico, los datos se pueden extraer a través del módulo de datos. Alternativamente, los archivos de datos se pueden transferir directamente a una computadora portátil o generar los informes e imprimirlos con una impresora de la interfaz en serie RS-232.

Estos informes se pueden preparar usando el software “Showman Lite” para Windows. La interfaz estándar de Windows permite la selección de gráficos, de tablas y de un sistema fácil para utilizar el menú. Estos incluyen la clasificación de vehículos en variables dimensionales tales como velocidad, número de ejes, longitud, etc., o en órdenes multidimensionales tales como tipo de vehículo por velocidad del vehículo. La Figura nos muestra el Marksman 400, y la Figura nos muestra una disposición tipo de un detector superficial usando detectores neumáticos para un cierto tramo de carretera

2.7.3 Aforos fotográficos

Se basan en el control aéreo de la circulación, aprovechamiento de los medios de los que se dispone para la vigilancia del tráfico, drones o cámaras. Aun así, este método es caro y poco usual, aunque puede ofrecer información interesante acerca de las densidades, velocidades e incluso intensidades. Por ejemplo:

2.7.3.1 Fotoeléctrico

El registro de objetos por medio de equipo fotoeléctrico se efectúa cuando un vehículo pasa a través de una fuente de luz y una fotocelda (dispositivo capaz de distinguir entre una luz o la falta de la misma). Varios tipos de contadores eléctricos de tráfico pueden ser conectados a la fotocelda y activados por sus circuitos (Ver Figura 2.3).

Figura N° 2.3 Contador fotoeléctrico



Fuente: <https://prezi.com/255km4ov2l0o/contador-fotoelectrico/>

La detección fotoeléctrica no es conveniente para recuento de dos o más carriles, cuando se sabe de antemano que los volúmenes serán mayores a mil vehículos por hora.

Debido a la gran variación de las características geométricas de los vehículos es muy difícil determinar la altura de la fuente luminosa con relación al terreno de tal forma que no cuente ejes de unidades articuladas o postes de las ventanas en los automóviles. Es un sistema simple y digno de confianza, pero está limitado a caminos de volúmenes ligeros, debido a limitaciones en su exactitud y no permite distinguir los volúmenes por carril. (Ildemaro Baptista, 2021)

2.8 Periodo de aforo

Se basa en el tiempo que se toma para el conteo vehicular. Según el tipo de proyecto a elaborar se establecen los siguientes tipos de aforos:

- a) Aforos permanentes
- b) Aforos periódicos
- c) Aforos de tiempo específico

a) Aforo permanentes

En este caso se lo realizan de manera constante mediante un equipo automático instalado en una sección de la carretera donde se registran la cantidad de vehículos para establecer la variación diaria, semanal o mensual de la circulación vehicular.

Generalmente son utilizadas en tramos de gran importancia que se necesita estos datos para determinar la variación de circulación en cierto tramo, pero por el constante funcionamiento del contador vehicular su costo tiene un elevado valor que se deberá disponer para su mantenimiento (Roberto de la LLata Gómez, 1991).

b) Aforo Periódico

Existen situaciones donde no es viable tener un dispositivo de manera constante para el conteo vehicular, ya que existen gran cantidad de redes de camino para instalar un dispositivo particular para cada vía.

Se establece que existen situaciones horarias donde se precise aforación estacionaria para lo cual se opta de acuerdo al historial horario de circulación realizar un conteo de automotores periódicamente por lo cual esto se realiza en ciertas épocas del año y por un máximo de tres veces al año (Arturo Lugo. 2002)

c) Aforos de tiempo específico

Estos tipos de aforos son los que realizan en un determinado sector del tramo generalmente entre 5 a 30 días las 24 horas, en base a lo cual se establecen mediante correlación los

futuros incrementos y tendencia de volumen vehicular. Generalmente se realizan estos tipos de aforos a trazos de carretera que se evalúan hacia una variante o ampliación para cual se evalúa de 5 a 30 días mediante un aforo de mucho cuidado que respalde la cantidad de vehículos que circulan por dicho tramo (Sergio J. Navarro, 2011).

2.9 Parámetros fundamentales de la ingeniería de tráfico.

El ingeniero vial debe conocer las características del tránsito, ya que esto le será útil durante el desarrollo de proyectos viales y planes de transporte, en el análisis del comportamiento económico, en el establecimiento de criterios de diseño, en la selección e implantación de medidas de control de tránsito y en la evaluación del desempeño de las instalaciones de transporte.

2.9.1 Velocidad

$$V = \frac{d}{t}$$

Donde:

V = Velocidad constante (km/h)

d = Distancia recorrida (km)

t = Tiempo de recorrido (h)

2.9.2 Volumen

La tasa de flujo es la cantidad de vehículos que pasa por un punto o sección transversal de una vía en un tiempo menor a una hora, se puede expresar en unidades de [veh/hora] teniendo en cuenta que no representa exactamente el número de vehículos por hora. Por otra parte, el volumen si puede representar una cantidad de vehículos que pasan durante un periodo de tiempo mayor o igual a una hora. Se expresa el flujo de la siguiente manera (Douglas Méndez, 2009)

$$q = \frac{N}{T}$$

Donde:

q = Tasa de flujo (veh/periodo)

N = Número de vehículos que pasan (veh)

T = Tiempo o periodo determinado (unidad de tiempo)

2.9.3 Densidad

Se define la concentración o densidad de tráfico como el número de vehículos que ocupan una longitud específica de una vía en un momento dado. Por lo general se expresa en 11 unidades de vehículos por kilómetro (veh/km).

Se puede medir la densidad de tráfico de un tramo de una vía con la ayuda de una fotografía aérea, en la cual se contaría fácilmente las cantidades de vehículos; también es posible calcular la densidad en función de la intensidad y velocidad.

Está claro que cualquier tramo de vía tiene una densidad máxima, esta situación se da cuando los vehículos están totalmente varados y sin espacios de separación entre ellos; por lo tanto, si se tuviera en el tramo vehículos de una misma longitud, entonces, la densidad o concentración máxima se obtendría como el inverso de la longitud del vehículo. La fórmula para el cálculo de la densidad es la siguiente:(INGARTEC, 2005).

$$k = \frac{N}{d} = \frac{q}{v}$$

Donde:

k = Densidad o concentración de tráfico (veh/km)

N = Número de vehículos (veh)

d = Distancia o longitud (km)

q = Intensidad o flujo (veh/h)

v = Velocidad (km/h)

2.10 Diagnóstico del tráfico

El volumen de tráfico de una carretera está determinado por el número y tipo vehículos que pasan por un punto dado durante un periodo de tiempo específico.

- Si la unidad de tiempo en el tramo es el día, se define el Volumen de Tráfico Diario (T. D.).
- Si la unidad de tiempo en el tramo es el año, se define el Volumen de Tráfico Anual (TA.). El tráfico Anual (TA.) y el tráfico diario (TD.) están relacionados a la factibilidad y la estadística técnico-económica.
- Si la unidad de tiempo en el tramo es la hora, se define el Volumen de tráfico Horario (TH.).

El Tráfico Horario está estrechamente ligado a la determinación de número de carriles, el ancho de plataforma y algunas características geométricas en el alineamiento horizontal y vertical de carreteras.

2.11 Tráfico Promedio Diario (TPD)

El Tráfico Promedio Diario (TPD), sirve para justificar el diseño, clasificar la categoría de camino y hacer estudios de justificación técnico-económica.

El TPD, en general, es representativo de los volúmenes vehiculares en determinada época del año. El período de conteo, debe ser superior a tres y menor a treinta días (Mario Flores, 2001).

2.12 Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)

El Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) se establece mediante el método de conteo y es el resultado del conteo de vehículos durante 24 hrs. al día durante y los 365 días del año.

Los volúmenes de tráfico (TPDA) y (TPD), sirven para justificar el diseño, clasificar la categoría de camino y hacer estudios de justificación técnico-económica (Mario Flores, 2001).

2.13 Estudio del comportamiento de tráfico

Los estudios de tráfico son la herramienta fundamental de la ingeniería aplicada al conocimiento del tráfico para conocer su comportamiento.

Para efectuar un estudio de esta naturaleza es preciso conocer el funcionamiento del tráfico rodado sobre las infraestructuras viarias ya sean estas existentes o de nueva implantación. Para ello se han de realizar medidas sistematizadas sobre las distintas variables que definen el comportamiento de la circulación.

Las variables a tener en cuenta si bien son diversas, inexcusablemente se han de citar las intensidades de tráfico y las velocidades de los vehículos; además se han de tener, otros muchos tales como los accidentes, los usos y costumbres de los conductores y pasajeros, las clases, naturaleza y tipos de los vehículos circulantes, la localización de centros de ocio y/o destino o los focos industriales y comerciales, entre otros. Estos datos pueden ser realmente medidos (infraestructura existente) o pueden ser datos deducidos por prognosis o proyección a futuro, es decir es posible llevar a cabo un análisis de la demanda actual o de futuro. Los estudios de tráfico y análisis de la demanda son la base para llevar a cabo

las actividades de pronóstico, planeamiento, mejora, dimensionamiento y definición geométrica en planta y alzado. Por otro lado, también, es usual utilizar este tipo de datos, estudios y análisis para efectuar investigaciones conducentes a conocer los efectos que los diferentes elementos de la vía ejercen sobre la circulación, es decir para conocer de forma inversa si las infraestructuras ejecutadas son acordes y responden a las previsiones deducidas empíricamente mediante los estudios y análisis citados (FORCEC, 2021).

2.14 Tipos de modelos de tráfico

2.14.1 Modelos lineales

2.14.1.1 Relación entre la velocidad y la densidad

El modelo lineal propuesto por B.D. Greenshields supone una relación lineal entre la velocidad y la densidad a partir de la cual se construye un modelo parabólico de volumen - densidad y velocidad-volumen. El modelo lineal propuesto es el siguiente:

$$V_e = v_1 - \left(\frac{v_1}{k_c}\right)k$$

Donde:

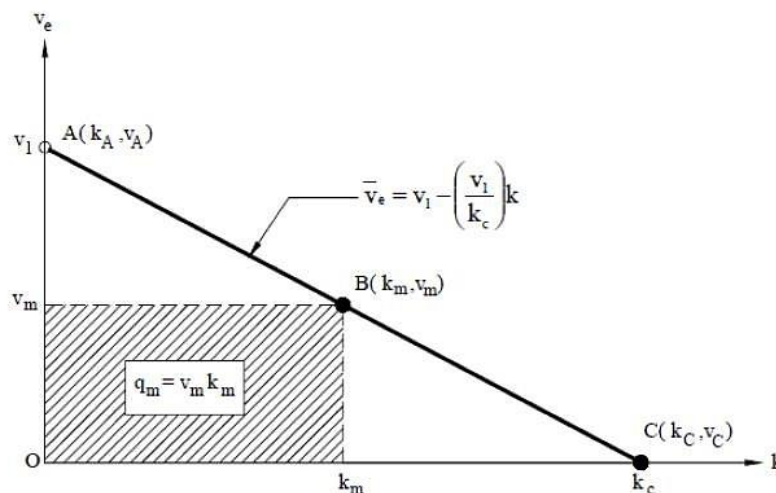
V_e = Velocidad media espacial (km/hora)

v_1 = Velocidad media espacial a flujo libre (km/hora)

k = Densidad (veh/km/carril)

k_c = Densidad de congestionamiento (veh/km/carril)

Figura N° 2.4 Relación velocidad - Densidad



Fuente: Ingeniería de Tránsito, Novena Edición (Cal y Mayor & Cárdenas, Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y Aplicaciones. Novena Edición, 2018)

Para obtener el rectángulo de mayor área (q_m), los valores de v_m y k_m deben ser los siguientes:

$$V_m = \frac{V_1}{2} \quad y \quad k_m = \frac{k_c}{2}$$

Por lo tanto, el valor del flujo máximo (q_m) es:

$$q_m = \frac{V_1 k_c}{4}$$

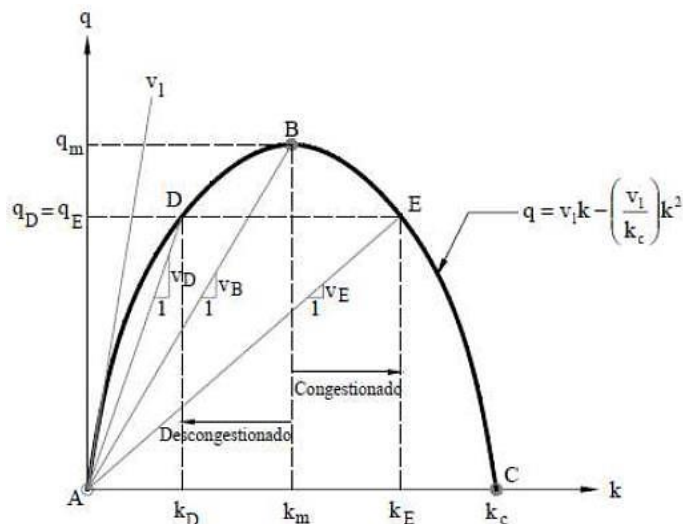
2.14.1.2 Relación entre el flujo y la densidad

La relación entre el flujo y la densidad se obtiene a partir del modelo lineal propuesto para la velocidad y la densidad, reemplazando la ecuación lineal de la velocidad en la ecuación fundamental del flujo vehicular, tal como se muestra a continuación:

$$q = vk = \left[v_1 - \left(\frac{v_1}{k_c} \right) k \right] k$$

$$q = v_1 k - \left(\frac{v_1}{k_c} \right) k^2$$

Figura N° 2.5 Relación flujo - densidad



Fuente: Ingeniería de Tránsito, Novena Edición (Cal y Mayor & Cárdenas, Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y Aplicaciones. Novena Edición, 2018)

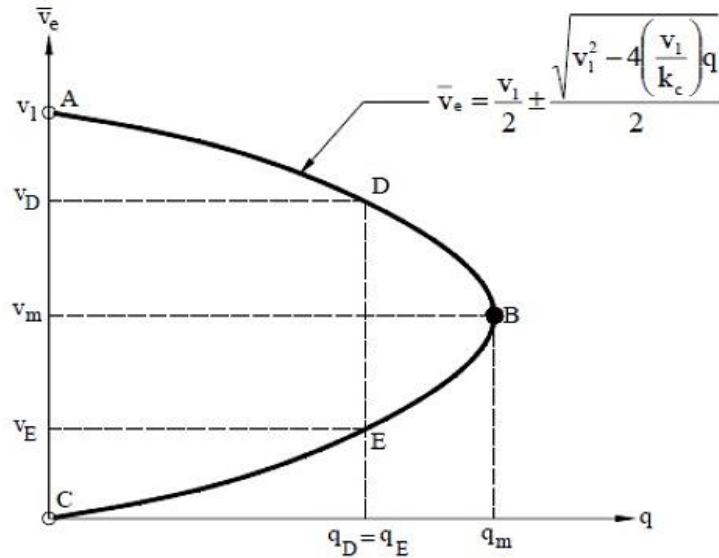
2.14.1.3 Relación entre velocidad y flujo

Se obtiene también esta relación a partir del modelo lineal propuesto, despejando k de la ecuación lineal y reemplazándola en la ecuación fundamental del flujo vehicular. Se expresa como sigue:

$$q = \bar{v}_e k = \bar{v}_e \left[k_c - \left(\frac{k_c}{v_l} \right) \bar{v}_e \right] = \bar{v}_e k_c - \left(\frac{k_c}{v_l} \right) (\bar{v}_e)^2$$

$$\bar{v}_e = \frac{v_l}{2} \pm \frac{\sqrt{v_l^2 - 4 \left(\frac{v_l}{k_c} \right) q}}{2}$$

Figura N° 2.6 Relación Velocidad - Flujo



Fuente: Ingeniería de Tránsito, Novena Edición (Cal y Mayor & Cárdenas, Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y Aplicaciones. Novena Edición, 2018)

2.15 Modelos no lineales

2.15.1 Modelo logarítmico

Este modelo propuesto por H. Greenberg analiza el comportamiento del flujo vehicular de forma análoga a la hidrodinámica de los fluidos compresibles, dando como resultado las siguientes expresiones:

$$\bar{v}_e = v_m \ln \left(\frac{k_c}{k} \right)$$

$$q = v_m k \ln \left(\frac{k_c}{k} \right)$$

Este modelo da buenos ajustes especialmente en flujos congestionados, pero no funciona bien a bajas densidades. Por lo tanto, para condiciones de flujo máximo se tiene:

$$\frac{k}{v_e} = \frac{k_m}{v_m} \Rightarrow v_m = v_m \ln\left(\frac{k_c}{k_m}\right) \Rightarrow \ln\left(\frac{k_c}{k_m}\right) = 1 \Rightarrow k_m = \frac{k_c}{e}$$

Reemplazando el valor de k_m en la ecuación fundamental del flujo vehicular en condiciones de flujo máximo o capacidad se tiene:

$$q_m = v_m k_m = \frac{v_m k_c}{e}$$

2.15.2 Modelo exponencial

Modelo propuesto por R.T. Underwood, formula las siguientes ecuaciones:

$$\frac{k}{v_e} = v_1 e^{k/k_m}$$

$$q = v_1 k e^{k/k_m}$$

Este modelo da buenos ajustes para flujos no congestionados, por lo tanto, para condiciones de flujo máximo se tiene:

$$\frac{k}{v_e} = \frac{k_m}{v_m} \Rightarrow v_m = v_1 e^{k_m/k_m} \Rightarrow v_m = \frac{v_1}{e}$$

Reemplazando el valor de v_m en la ecuación fundamental del flujo vehicular en condiciones de flujo máximo o capacidad se tiene:

$$q_m = v_m k_m = \frac{v_1 k_m}{e}$$

2.16 Análisis estadístico descriptivo

La estadística Descriptiva es el método de obtener de un conjunto de datos conclusiones sobre si mismos y no sobrepasan el conocimiento proporcionado por éstos. Puede utilizarse para resumir o describir cualquier conjunto ya sea que se trate de una población o de una muestra, cuando en la etapa preliminar de la Inferencia Estadística se conocen los elementos de una muestra (EPIDAT, 2014).

2.17 Distribución de frecuencias

Grupo de valores que describen una característica. Deben incluir todas las observaciones y ser excluyentes. Los intervalos contienen los límites de clase que son los puntos extremos del intervalo. Se denominan intervalos cerrados, cuando contienen ambos límites e intervalos abiertos si incluyen solo un límite

Límites Reales: Sirven para mantener la continuidad de las clases

Marca de Clase: Es el punto medio del intervalo de clase, se recomienda observar que los puntos medios coincidan con los datos observados para minimizar el error.

Frecuencia: es el número de veces que aparece un valor

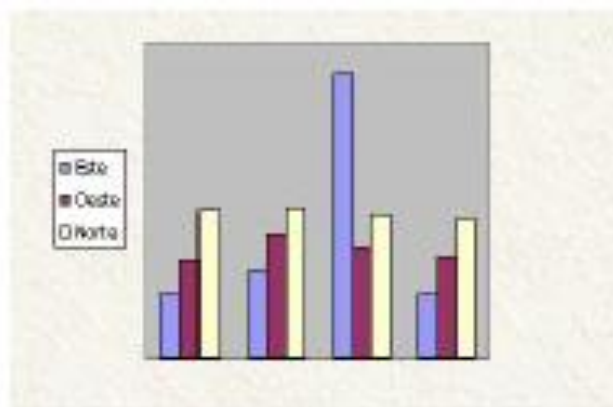
Frecuencia Acumulada: Indica cuantos casos hay por debajo o arriba de un determinado valor o límite de clase. (CEC Y TEC, 2021)

2.18 Representaciones gráficas

2.18.1 Histograma

Está formado por rectángulos cuya base es la amplitud del intervalo y tiene la característica que la superficie que corresponde a las barras es representativa de la cantidad de casos o frecuencia de cada tramo de valores, puede construirse con clases que tienen el mismo tamaño o diferente (intervalo variable). La utilización de los intervalos de amplitud variable se recomienda cuando en alguno de los intervalos, de amplitud constante, se presente la frecuencia cero o la frecuencia de alguno o algunos de los intervalos sea mucho mayor que la de los demás, logrando así que las observaciones se hallen mejor repartidas dentro del intervalo.

Figura N° 2.7 Histograma



Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Histograma>

2.18.2 Polígono de frecuencias

Se puede obtener uniendo cada punto medio (marca de clase) de los rectángulos del histograma con líneas rectas, teniendo cuidado de agregar al inicio y al final marcas de clase adicionales, con el objeto de asegurar la igualdad de las áreas.

2.19 Medidas descriptivas

Con estas medidas se persigue reducir en pocas cifras significativas el conjunto de observaciones de una variable y describir con ellas ciertas características de los conjuntos, logrando una comparación más precisa de los datos que la que se puede conseguir con tablas y gráficas (Dogson, 2001).

2.19.1 Medidas de tendencia central: promedios

Los promedios son una medida de posición que dan una descripción compacta de cómo están centrados los datos y una visualización más clara del nivel que alcanza la variable, pueden servir de base para medir o evaluar valores extremos o raros y brinda mayor facilidad para efectuar comparaciones (Charles, 2003).

Es importante poner en relieve que la notación de promedio lleva implícita la idea de variación y que este número promedio debe cumplir con la condición de ser representativo de conjunto de datos.

El promedio como punto típico de los datos es el valor al rededor del cual se agrupan los demás valores de la variable.

2.19.2 Media aritmética

Es una medida matemática, un número individual que representa razonablemente el comportamiento de todos los datos.

Para datos no agrupados $\bar{X} = \sum x_i / n$

Para datos agrupados $\bar{X} = \sum f_i X_i / \sum f_i$

Donde X_i es la marca de clase para cada intervalo y f_i es la frecuencia de clase.

2.19.3 Varianza

Para evadir la suma cero de las desviaciones de las observaciones respecto a su Media Aritmética, consiste en recurrir al proceso de elevar al cuadrado estas desviaciones y sumar los cuadrados, dividiendo la suma por el número de casos, a esta cantidad se le denomina varianza, y es la más importante de las medidas de variación porque tiene la

ventaja de no prescindir de los signos de las desviaciones, pero al igual que la desviación media los valores extremos pueden distorsionarla (Bayes, 2001)

$$s^2 = \sum (x_i - X)^2 / n$$

$$s^2 = \sum f_i (x_i - X)^2 / \sum f_i$$

$$S^2 = \sum (x_i - X)^2 / (n)$$

$$S^2 = \sum f_i (x_i - X)^2 / (\sum f_i)$$

$$S^2 = \sum (x_i - X)^2 / (n-1)$$

$$S^2 = \sum f_i (x_i - X)^2 / (\sum f_i - 1)$$

2.20 Desviación estándar

Cuando se utiliza la varianza como medida de dispersión, para salvar el problema de trabajar con distintas dimensiones en la media y en la medida de variabilidad es necesario definir la Desviación estándar como la raíz cuadrada de varianza.

La Desviación Estándar es útil para describir cuanto se apartan de la media de la distribución los elementos individuales. Una medida de ello se denomina puntuación estándar número de desviaciones a las que determinada observación se encuentra con respecto a la media.

Puntuación estándar de $x_i = (x_i - X) / s$

Al comparar distribuciones también hacemos uso de la calificación estándar (CEC Y TEC, 2021)

2.21 Nivel de serviciabilidad

Las carreteras se diseñan para operar a volúmenes horarios por debajo de la capacidad. Entiéndase por nivel de servicio el volumen máximo horario del tránsito que una carretera acondiciona, dispuesto quizá a tolerar un mínimo de congestionamiento.

Conviene aclarar que al hablar de congestionamiento en una carretera no se refiere a la paralización de todo el movimiento, sino cuando la corriente de tránsito empieza a perder su capacidad de flujo libre.

Los niveles de servicio se han definido subjetivamente por las letras de la “A” hasta la “F”; en el nivel de servicio “A” el volumen de tránsito es menor que la capacidad de la carretera, en el nivel de servicio “F” el volumen de tránsito es mayor que la capacidad de la carretera, las definiciones de cada nivel de servicio se describen en el Cuadro.

Figura N° 2.8 Nivel de Servicio

Nivel de servicio	Descripción	
	A	Flujo libre de vehículos, bajos volúmenes de tránsito y relativamente a altas velocidades de operación
	B	Flujo libre razonable, pero la velocidad empieza a ser restringida por las condiciones de tránsito
	C	Se mantiene en zona estable, pero muchos conductores empiezan a sentir restricciones a su libertad para seleccionar su propia velocidad
	D	Acercándose al flujo inestable, los conductores tienen poca libertad para maniobrar
	E	Flujo inestable, suceden pequeños embotellamientos
	F	Flujo forzado, condiciones de "Pare y Siga", congestión de tránsito

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras

La AASHTO recomienda seleccionar el nivel de servicio de una carretera, en función de su clasificación y las características del terreno. (GMV, 2022).

2.22 Relación y aplicación de los modelos de tráfico lineales y no lineales

El comportamiento del tránsito vehicular puede ser representado mediante modelos matemáticos que describen la relación existente entre los tres parámetros fundamentales de la ingeniería de tráfico: velocidad (v), volumen o intensidad (q) y densidad (k). Estos modelos permiten interpretar, analizar y predecir la forma en que se desplazan los vehículos bajo distintas condiciones de operación vial, constituyéndose en una herramienta esencial para la planificación y gestión del tránsito urbano.

Dentro de estos modelos se distinguen dos enfoques principales: modelos lineales y modelos no lineales, los cuales difieren en su formulación matemática, nivel de complejidad y capacidad de representación del comportamiento real del flujo vehicular.

El modelo lineal, representado clásicamente por el modelo de Greenshields, establece una relación directa y proporcional entre la velocidad y la densidad del tránsito. Este modelo asume que la velocidad media de circulación disminuye de manera uniforme a medida que la densidad vehicular aumenta, alcanzando una velocidad nula cuando la vía se encuentra completamente saturada. A partir de esta relación lineal, es posible derivar las relaciones flujo–densidad y velocidad–flujo, lo que permite identificar parámetros fundamentales como la capacidad máxima de la vía y la densidad crítica.

Por otro lado, los modelos no lineales, como el modelo exponencial de Underwood y el modelo logarítmico, consideran que la disminución de la velocidad no se produce de manera uniforme, sino que responde a un comportamiento más complejo, especialmente en condiciones de tránsito congestionado. Estos modelos representan con mayor precisión las variaciones abruptas de velocidad que se presentan cuando la densidad vehicular se incrementa rápidamente, permitiendo describir de forma más realista situaciones de saturación y colapso del flujo vehicular.

En la aplicación práctica de esta investigación, los modelos lineales y no lineales fueron ajustados a partir de datos reales obtenidos mediante aforos vehiculares en los accesos al Puente 4 de Julio. Los valores de velocidad media, volumen vehicular y densidad fueron correlacionados mediante técnicas estadísticas, evaluando el grado de ajuste de cada modelo a través del coeficiente de determinación (R^2). Este procedimiento permitió comparar el desempeño de los distintos modelos y establecer cuál representa de mejor manera el comportamiento del tránsito en el área de estudio.

2.23 Justificación del uso del modelo lineal en zonas urbanas

A pesar de que los modelos no lineales suelen presentar un mejor ajuste estadístico en escenarios de alta congestión, el modelo lineal continúa siendo ampliamente utilizado en estudios de tráfico urbano, debido a una serie de ventajas técnicas y prácticas que lo hacen especialmente adecuado para este tipo de análisis.

En primer lugar, el modelo lineal ofrece una interpretación sencilla e intuitiva del comportamiento del tránsito, lo cual resulta fundamental en estudios aplicados a la gestión urbana. En zonas urbanas, donde el tránsito está influenciado por múltiples factores externos como intersecciones, semáforos, cruces peatonales y accesos directos, contar con un modelo de fácil comprensión permite una evaluación rápida y clara del desempeño vial.

En segundo lugar, el modelo lineal es especialmente útil en condiciones de flujo bajo a medio, que son predominantes en la mayor parte del tiempo en las vías urbanas. En estos rangos operativos, la relación entre velocidad y densidad tiende a comportarse de manera aproximadamente lineal, por lo que el modelo de Greenshields proporciona resultados coherentes y suficientemente precisos para el análisis del tránsito.

Otra razón importante para el uso del modelo lineal en zonas urbanas es su capacidad para establecer valores de referencia, tales como la velocidad libre, la densidad crítica y la capacidad máxima de la vía. Estos parámetros son fundamentales para la evaluación del nivel de servicio, la identificación de puntos críticos y la toma de decisiones relacionadas con la semaforización, redistribución de flujos o mejoras geométricas.

Asimismo, el modelo lineal requiere menor cantidad de datos y menor complejidad computacional, lo que lo hace particularmente adecuado para estudios realizados con aforos manuales, como es el caso de esta investigación. En contextos urbanos de ciudades intermedias como Tarija, donde los recursos técnicos y tecnológicos pueden ser limitados, el uso del modelo lineal permite obtener resultados confiables sin necesidad de herramientas avanzadas de simulación.

Finalmente, el modelo lineal cumple una función clave como modelo base o de comparación, permitiendo contrastar sus resultados con los obtenidos mediante modelos no lineales. Esta comparación no solo enriquece el análisis, sino que fortalece la validez del estudio al demostrar de manera objetiva las ventajas y limitaciones de cada enfoque en función de las condiciones reales del tránsito urbano.

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA Y ANALISIS DE RESULTADOS

3.1 Ubicación del Área de estudio

El presente estudio se desarrolla en la ciudad de Tarija, capital de la provincia Cercado y del departamento del mismo nombre, situada en la región sur del Estado Plurinacional de Bolivia. Tarija se encuentra a una altitud aproximada de 1.866 m.s.n.m., sobre un valle interandino rodeado por cadenas montañosas, y se caracteriza por un clima templado que favorece la concentración poblacional en su área metropolitana. Según datos oficiales, la ciudad ha experimentado un acelerado crecimiento demográfico y urbano en las últimas décadas, lo cual ha incrementado de manera notable la demanda de movilidad y transporte en su red vial principal.

Figura N° 3.1 Puntos de aforo



Fuente: Google Earth

La zona de análisis corresponde específicamente a los accesos viales al Puente 4 de Julio, una de las principales infraestructuras de conexión urbana en la capital tarijeña.

Geográficamente, el sector se encuentra en la parte central del valle de Tarija, en las proximidades del río Guadalquivir, el cual es atravesado por el Puente 4 de Julio. Las coordenadas geográficas aproximadas del puente son 21°32' de latitud sur y 64°44' de longitud oeste. Su ubicación estratégica vincula los barrios y zonas urbanas del sector norte y sur de la ciudad, permitiendo el tránsito vehicular y peatonal a través de una de las áreas de mayor desarrollo urbano y comercial. Los límites del área de estudio comprenden, en su acceso norte, las inmediaciones de la Avenida Víctor Paz Estenssoro y las conexiones hacia la rotonda de Las Américas, mientras que en su acceso sur se articula con la Avenida La Madrid y la Avenida Costanera, que bordean el cauce del río Guadalquivir. Estas vías no solo constituyen corredores de movilidad interna de la ciudad, sino también ejes de acceso hacia sectores de crecimiento residencial y de servicios.

En cuanto a la accesibilidad, el Puente 4 de Julio forma parte del anillo de circunvalación urbana y es considerado un punto neurálgico en la red vial de Tarija, ya que concentra un elevado volumen de tráfico vehicular, conectando zonas de alta densidad poblacional, centros educativos, instituciones administrativas y áreas comerciales. Su importancia radica en que constituye uno de los ingresos principales al centro de la ciudad desde el sur, además de ser un vínculo fundamental para la distribución del tráfico proveniente de la periferia.

3.2 Características del área de estudio

El área de estudio corresponde a los accesos al Puente 4 de Julio en la ciudad de Tarija, considerado uno de los proyectos viales más relevantes de los últimos años debido a la magnitud de su inversión y a la función estratégica que cumple en la red vial urbana. Este puente constituye un punto de conexión fundamental entre la zona central y la margen oeste de la ciudad, ya que vincula avenidas principales como Las Américas y La Banda, articulando diferentes flujos vehiculares y peatonales en un mismo entorno.

Desde el punto de vista geométrico, el puente presenta una longitud aproximada de 140 metros, con un diseño atirantado sostenido por 76 tensores capaces de soportar alrededor de 320 toneladas. La plataforma cuenta con dos carriles vehiculares de 7,5 metros cada uno, que permiten la circulación en ambos sentidos, además de veredas peatonales de 3 metros destinadas a garantizar la accesibilidad y seguridad de los transeúntes. El sistema de circulación en los accesos inmediatos combina flujos continuos y discontinuos, donde

interactúan vehículos particulares, transporte público, motocicletas y peatones. La proximidad de rotondas y la convergencia de vías secundarias generan puntos de conflicto, especialmente en horas de máxima demanda, lo que incrementa la heterogeneidad del tránsito y hace indispensable un control eficiente de los flujos. En cuanto a la señalización, el área cuenta con dispositivos horizontales y verticales que cumplen funciones esenciales de regulación y seguridad. La señalización horizontal incluye líneas de carril, flechas direccionales, pasos peatonales y líneas de detención, que organizan la circulación y delimitan las áreas de maniobra. La señalización vertical, por su parte, se compone de señales reglamentarias, preventivas e informativas que orientan al conductor sobre la velocidad permitida, advertencias de intersección y prioridad de paso. No obstante, el estado de conservación y la correcta ubicación de estas señales resulta determinante, ya que una señal deteriorada o poco visible puede comprometer la seguridad.

Figura N° 3.2 Señalización vertical en la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia

La semaforización es uno de los elementos más relevantes del área. Se han instalado semáforos vehiculares y peatonales en los accesos inmediatos al puente, con el objetivo de regular la interacción entre los distintos movimientos de ingreso y salida. La ubicación de estos semáforos responde a la necesidad de coordinar los flujos de la avenida Las Américas, la avenida La Banda y la rotonda del barrio San Martín. El funcionamiento de las fases semafóricas permite ordenar la prioridad de maniobras, reducir la conflictividad y mejorar la seguridad vial.

Figura N° 3.3 Semaforización en la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia

La semaforización es uno de los elementos más relevantes del área. Se han instalado semáforos vehiculares y peatonales en los accesos inmediatos al puente, con el objetivo de regular la interacción entre los distintos movimientos de ingreso y salida. La ubicación de estos semáforos responde a la necesidad de coordinar los flujos de la avenida Las Américas, la avenida La Banda y la rotonda del barrio San Martín.

El funcionamiento de las fases semafóricas permite ordenar la prioridad de maniobras, reducir la conflictividad y mejorar la seguridad vial.

Figura N° 3.4 Iluminación del Puente 4 de Julio

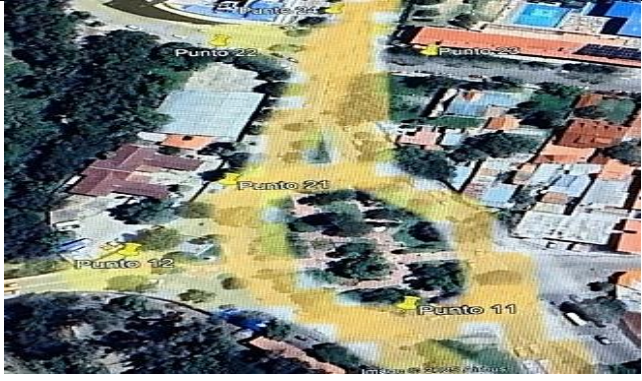


Fuente: Elaboración propia

Otra característica notable del área es el sistema de iluminación LED instalado en el puente, el cual además de brindar visibilidad y seguridad durante la noche, tiene un componente estético y turístico, pues las luces cambian de tonalidad automáticamente y embellecen la estructura. Esto genera un entorno más seguro para peatones y conductores, reduciendo riesgos de accidentes asociados a la falta de visibilidad.

En lo referente a los pavimentos, tanto el puente como sus accesos presentan superficies asfaltadas de reciente construcción. El buen estado del pavimento asegura condiciones de rodadura cómodas y seguras, facilitando el flujo vehicular y disminuyendo la probabilidad de accidentes. Sin embargo, en algunos accesos secundarios aún persisten tramos con desgaste, baches o uniones irregulares entre pavimento antiguo y nuevo, lo que repercute en la velocidad y en la comodidad de los usuarios.

Tabla N° 3.1 Características de los 30 puntos

	En la imagen se presenta los puntos 1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 12 y 21: Estos puntos están próximos al ingreso del puente 4 de Julio y tienen influencia directa en su circulación vehicular, sus coordenadas son: Inicio: 319908.68 m E; 7617662.24 m S Final: 319656.88 m E; 7617885.32 m S
	En la imagen se presenta los puntos 11, 12, 21, 22, 23 y 24: Estos puntos están próximos al ingreso del puente 4 de Julio y tienen influencia directa en su circulación vehicular, sus coordenadas son: Inicio: 319763.12 m E; 7617861.55 m S Final: 319735.49 m E; 7618030.44 m S
	En la imagen se presenta los puntos 17, 18, 19, 20, 29, y 30: Estos puntos están próximos al ingreso del puente 4 de Julio y tienen influencia directa en su circulación vehicular, sus coordenadas son: Inicio: 319806.32 m E; 7618335.17 m S Final: 319494.82 m E; 7618535.79 m S
	En la imagen se presenta los puntos 17, 18 y 30: Estos puntos están próximos al ingreso del puente 4 de Julio y tienen influencia directa en su circulación vehicular, sus coordenadas son: Inicio: 319804.48 m E; 7618484.85 m S Final: 319794.66 m E; 7618541.07 m S

	En la imagen se presenta los puntos 5, 6, 7, 8, 13, 14, 15 y 16: Estos puntos están próximos al ingreso del puente 4 de Julio y tienen influencia directa a la circulación vehicular, sus coordenadas son: Inicio: 319651.02 m E; 7617587.49 m S Final: 319506.15 m E; 7617441.71 m S
	En la imagen se presenta los puntos 14, 15, 16, 25, 26, 27 y 28: Estos puntos están próximos al ingreso del puente 4 de Julio y tienen influencia directa a la circulación vehicular, sus coordenadas son: Inicio: 319552.26 m E; 7617534.86 m S Final: 319272.37 m E; 7617182.29 m S

Fuente: Elaboración propia

En el Anexo V se muestra todos los puntos estudiados en un plano referencial.

3.3 Criterio y aforamiento de datos

Definir cuanto tiempo se va realizar los aforos para estudiar su comportamiento es importante y necesario en la actualidad existen los países que por el avance tecnológico tienen monitoreo permanente de los volúmenes de tráfico lo que quiere decir registro de todas las horas de todos los días del año.

Se realizó el aforo de un día desde las 6 de la mañana hasta las 10 de la noche en un punto de la zona de estudio, aforando los vehículos que circulan por dicho tramo, determinamos la cantidad de vehículos por hora para graficar en un histograma y establecer las horas pico del día, del cual se eligió las que tenían mayor cantidad por hora, mediante ese criterio obtendremos las horas pico del día para todos los puntos ya mencionados.

La persona encargada del aforo se coloca al centro del tramo y realiza el conteo de vehículos, utilizando un cronómetro controla el tiempo, observando y anotando la cantidad de vehículos pasan por la ubicación en la que se encuentra luego se procede a realizar el histograma que nos permita decidir qué hora serán las picos del centro de la ciudad.

La información que se recopilará es clasificada por cada acceso y sentidos de circulación de llegada a los puntos estudiados. A través del procedimiento de la norma Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transportes Oficiales (AASHTO), los periodos de aforo de velocidades son: 3 días a la semana, de los cuales son 2 días hábiles de lunes a viernes y 1 día no hábil sábado o domingo durante 1 mes en horarios picos.

3.3.1 Volumen o Intensidad (q)

Este parámetro de tráfico se realizó en una planilla utilizando la metodología de la AASHTO la cual indica aforar 3 días a la semana, de los cuales son 2 días hábiles de lunes a viernes y 1 día no hábil sábado o domingo durante 1 mes en horarios picos.

La cantidad de vehículos en aforo para horarios picos se clasifico en vehículos livianos mediados y pesados, se muestra el detalle del aforo de todos los puntos en Anexos II.

3.3.2 Velocidad (v)

Consiste en la cantidad de tiempo que le toma al vehículo cruzar una determinada distancia. Para realizar la medición el observador se ubicó en el tramo central entre cada punto, la distancia que se tomó fue de 25 metros, la medición de la distancia se hizo con la ayuda de una cinta métrica, teniendo en cuenta que el observador no sea visto por los usuarios de los automóviles al momento de estar midiendo para que se pueda cronometrar los tiempos de cada uno de los vehículos. La medición de las velocidades se realizó tomando el aforo 5 vehículos, un vehículo cada 10 minutos aproximadamente por hora que pasan por el punto en estudio, que fue aplicado en el punto donde el flujo sea libre sin interferencias de demoras.

3.4 Datos extraídos de campo

3.4.1 Aforos de volúmenes

Se realizó el aforo de un día desde las 7 de la mañana hasta las 10 de la noche en el ingreso del puente, aforando los vehículos que circulan por dicho tramo, determinamos la cantidad de vehículos por hora para graficar en un histograma y establecer las horas pico del día, del cual se eligió las que tenían mayor cantidad por hora, mediante ese criterio obtendremos las horas pico del día, para todos los puntos ya mencionados y así realizar el estudio de velocidades, densidades, capacidad y nivel servicio.

La persona encargada del aforo se coloca al centro del tramo y realiza el conteo de vehículos, utilizando un cronómetro controla el tiempo, observando y anotando la

cantidad de vehículos pasan por la ubicación en la que se encuentra luego se procede a realizar el histograma que nos permita decidir qué hora serán las picos del centro de la ciudad.

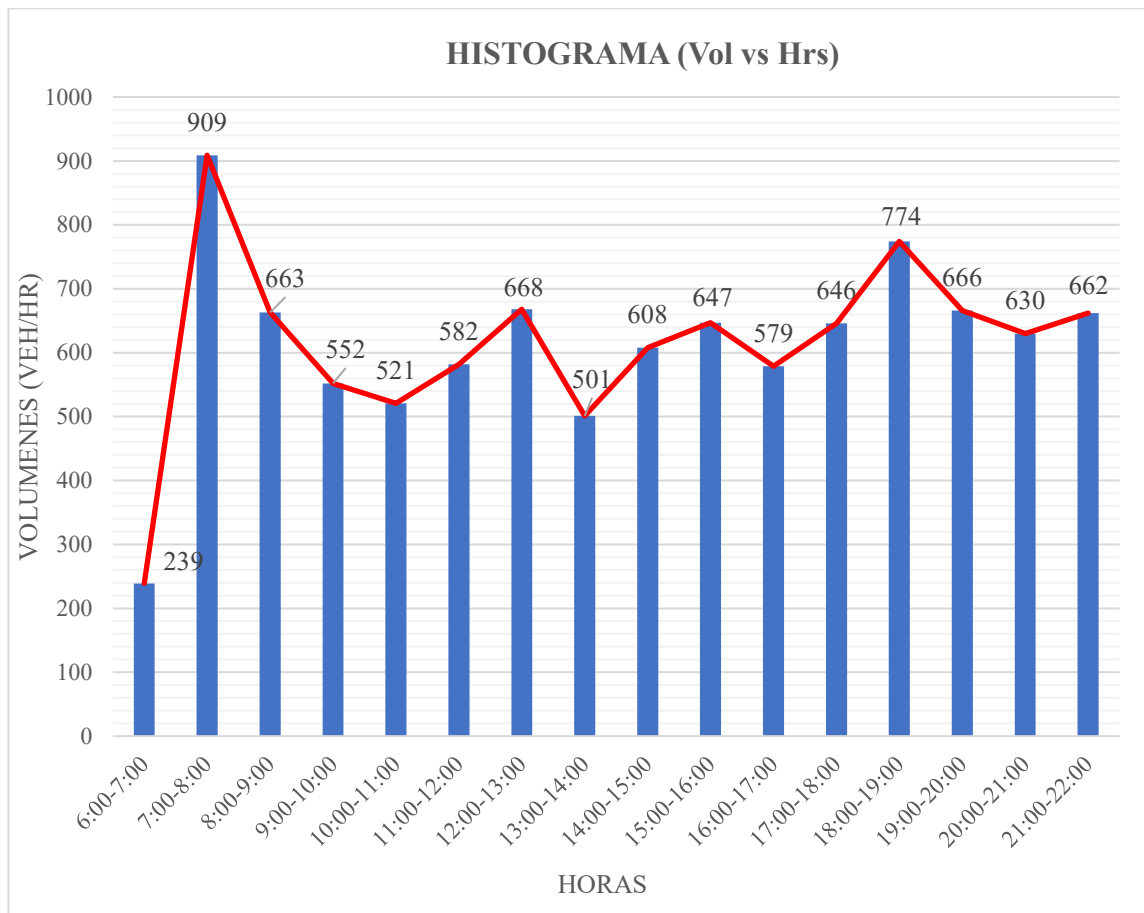
**Tabla N° 3.2 Recopilación de volúmenes para horas picos el ingreso y salida del
Puente 4 de Julio**

Horas	Ingreso	Salida	Volúmenes (veh/hr)
6:00 - 7:00	64	175	239
7:00 - 8:00	231	678	909
8:00 - 9:00	185	478	663
9:00 - 10:00	148	404	552
10:00 - 11:00	145	376	521
11:00 - 12:00	163	419	582
12:00 - 13:00	180	488	668
13:00 - 14:00	118	383	501
14:00 - 15:00	148	460	608
15:00 - 16:00	143	504	647
16:00 - 17:00	140	439	579
17:00 - 18:00	149	497	646
18:00 - 19:00	170	604	774
19:00 - 20:00	177	489	666
20:00 - 21:00	142	488	630
21:00 - 22:00	324	338	662

Fuente: Elaboración propia

La tabla recopilada de datos de aforo nos indica la cantidad de vehículos que circulan por dicho punto en cada hora tomando sus registros respectivos, para la determinación horas pico, se ubicó cómo punto de aforo en el ingreso y salida del puente, estableciendo que las horas de máximo volumen son: 07:00 - 8:00 am, 12:00 - 13:00 pm y 18:00-19:00 pm. Este gráfico es un histograma que muestra el volumen de vehículos por hora (Veh/Hora) a lo largo de un día, desde las 6:00 hasta las 22:00.

Figura N° 3.5 Horas pico de los aforos en el ingreso y salida del Puente 4 de Julio



Fuente: Elaboración propia

En el eje X representa las horas del día, desde las 6:00 hasta las 22:00 y el eje indica el volumen de tráfico expresados en vehículos por hora (Veh/Hora).

El gráfico muestra las horas pico en el tráfico vehicular del centro de la ciudad, identificando tres periodos críticos los cuales son 07:00 - 8:00 am, 12:00 - 13:00 am y 18:00-19:00 pm. donde circulan la mayor cantidad de vehículos por hora.

07:00 - 8:00 am= Donde circulan 909 vehículos por hora.

12:00 - 13:00 pm= Donde circulan 668 vehículos por hora.

18:00 - 19:00 pm= Donde circulan 774 vehículos por hora.

Las tablas e imágenes del aforo para la hora pico se encuentra en el Anexo II, para fines de cálculo y procedimiento se realizó el ejemplo de en un punto (Punto 4) que permita demostrar los cálculos y procedimientos que se realizaron para todos los puntos. Estos cálculos y procedimientos están en ANEXO IV.

Tabla N° 3.3 Volúmenes de vehículos del Punto 4

			Públicos			Privados			
		Hora	Liviano	Mediano	Pesado	Liviano	Mediano	Pesado	
Semana 1	Lunes	7:00 a 8:00	0	40	0	476	0	0	1172
		12:00 a 13:00	0	0	0	448	0	8	1144
		18:00 a 19:00	464	0	0	0	4	8	1172
	Miércoles	7:00 a 8:00	428	32	0	584	8	0	1056
		12:00 a 13:00	0	16	4	0	8	0	648
		18:00 a 19:00	560	28	0	468	4	0	1084
	Sábado	7:00 a 8:00	448	52	0	592	8	12	1120
		12:00 a 13:00	0	0	0	568	4	12	956
		18:00 a 19:00	0	0	0	508	4	12	852
Semana 2	Lunes	7:00 a 8:00	0	39	0	474	0	0	1166
		12:00 a 13:00	0	0	6	450	0	9	1149
		18:00 a 19:00	462	0	2	0	3	7	1167
	Miércoles	7:00 a 8:00	430	33	5	586	9	0	1068
		12:00 a 13:00	0	0	4	0	7	0	641
		18:00 a 19:00	562	29	3	470	5	0	1086
	Sábado	7:00 a 8:00	446	51	0	590	7	11	1113
		12:00 a 13:00	0	0	4	570	5	13	959
		18:00 a 19:00	0	0	4	506	3	11	849
Semana 3	Lunes	7:00 a 8:00	0	38	0	476	0	0	1170
		12:00 a 13:00	0	0	0	448	0	8	1148
		18:00 a 19:00	464	0	0	0	2	8	1168
	Miércoles	7:00 a 8:00	428	34	0	584	10	0	1060
		12:00 a 13:00	0	0	4	0	6	0	644
		18:00 a 19:00	560	30	0	468	6	0	1088
	Sábado	7:00 a 8:00	448	50	0	592	6	12	1116
		12:00 a 13:00	0	0	0	568	6	12	960
		18:00 a 19:00	0	0	0	508	2	12	848
Semana 4	Lunes	7:00 a 8:00	0	37	0	474	0	0	1164
		12:00 a 13:00	0	0	6	450	0	9	1153
		18:00 a 19:00	462	0	2	0	0	7	1163
	Miércoles	7:00 a 8:00	430	35	5	586	11	0	1072
		12:00 a 13:00	0	0	4	0	5	0	637
		18:00 a 19:00	562	31	3	470	7	0	1090
	Sábado	7:00 a 8:00	446	49	0	590	5	11	1109
		12:00 a 13:00	0	0	4	570	7	13	963
		18:00 a 19:00	0	0	4	506	0	11	845

Fuente: Elaboración propia

Calculando la media de la sumatoria de los vehículos por hora en cada columna

$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Por ejemplo

$$x = \frac{1172 + 1144 + 1172 + 1056 + 648 + 1084 + \dots + 1090 + 1109 + 963 + 845}{36}$$

$$x = 1022$$

Luego calculamos la desviación estándar para cada columna

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - X)^2}$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{36-1} * (1172 - 1022)^2 + (1144 - 1022)^2 + \dots + (845 - 1022)^2}$$

$$S = 169$$

Posteriormente calculamos el rango superior e inferior sumando y restando la media con la desviación respectivamente.

Rango superior

Definido por la media más la desviación estándar

$$rango\ superior = 1022 + 169$$

$$rango\ superior = 1191$$

Rango inferior

Definido por la media menos la desviación estándar

$$rango\ inferior = 1022 - 169$$

$$rango\ inferior = 853$$

En la siguiente tabla se identifican los valores medios que se encuentran fuera del rango previamente calculado. Los valores dentro de la casilla de color amarillo identifican el valor fuera del rango. Por lo tanto, se calcula la media excluyendo dichos valores:

Tabla N° 3.4 Volúmenes fuera del rango superior e inferior

		Públicos			Privados				
		Hora	Liviano	Mediano	Pesado	Liviano	Mediano	Pesado	
Semana 1	Lunes	7:00 a 8:00	0	40	0	476	0	0	1172
		12:00 a 13:00	0	0	0	448	0	8	1144
		18:00 a 19:00	464	0	0	0	4	8	1172

	Semana 2	Miércoles	7:00 a 8:00	428	32	0	584	8	0	1056
			12:00 a 13:00	0	16	4	0	8	0	648
			18:00 a 19:00	560	28	0	468	4	0	1084
		Sábado	7:00 a 8:00	448	52	0	592	8	12	1120
			12:00 a 13:00	0	0	0	568	4	12	956
			18:00 a 19:00	0	0	0	508	4	12	852
	Semana 3	Lunes	7:00 a 8:00	0	39	0	474	0	0	1166
			12:00 a 13:00	0	0	6	450	0	9	1149
			18:00 a 19:00	462	0	2	0	3	7	1167
		Miércoles	7:00 a 8:00	430	33	5	586	9	0	1068
			12:00 a 13:00	0	0	4	0	7	0	641
			18:00 a 19:00	562	29	3	470	5	0	1086
		Sábado	7:00 a 8:00	446	51	0	590	7	11	1113
			12:00 a 13:00	0	0	4	570	5	13	959
			18:00 a 19:00	0	0	4	506	3	11	849
	Semana 4	Lunes	7:00 a 8:00	0	38	0	476	0	0	1170
			12:00 a 13:00	0	0	0	448	0	8	1148
			18:00 a 19:00	464	0	0	0	2	8	1168
		Miércoles	7:00 a 8:00	428	34	0	584	10	0	1060
			12:00 a 13:00	0	0	4	0	6	0	644
			18:00 a 19:00	560	30	0	468	6	0	1088
		Sábado	7:00 a 8:00	448	50	0	592	6	12	1116
			12:00 a 13:00	0	0	0	568	6	12	960
			18:00 a 19:00	0	0	0	508	2	12	848
	Semana 5	Lunes	7:00 a 8:00	0	37	0	474	0	0	1164
			12:00 a 13:00	0	0	6	450	0	9	1153
			18:00 a 19:00	462	0	2	0	0	7	1163
		Miércoles	7:00 a 8:00	430	35	5	586	11	0	1072
			12:00 a 13:00	0	0	4	0	5	0	637
			18:00 a 19:00	562	31	3	470	7	0	1090
		Sábado	7:00 a 8:00	446	49	0	590	5	11	1109
			12:00 a 13:00	0	0	4	570	7	13	963
			18:00 a 19:00	0	0	4	506	0	11	845

Fuente: Elaboración propia

Luego se procede a anotar los nuevos valores, los que se encuentran dentro del rango de valores de los vehículos por hora en todas las columnas obtenemos el siguiente resultado:

Tabla N° 3.5 Volúmenes dentro del rango superior e inferior

		Hora	Públicos			Privados			
			Liviano	Mediano	Pesado	Liviano	Mediano	Pesado	
Semana 1	Lunes	7:00 a 8:00	0	40	0	476	0	0	1172
		12:00 a 13:00	0	0	0	448	0	8	1144
		18:00 a 19:00	464	0	0	0	4	8	1172
	Miércoles	7:00 a 8:00	428	32	0	584	8	0	1056
		12:00 a 13:00	0	16	4	0	8	0	0
		18:00 a 19:00	560	28	0	468	4	0	1084
	Sábado	7:00 a 8:00	448	52	0	592	8	12	1120
		12:00 a 13:00	0	0	0	568	4	12	956
		18:00 a 19:00	0	0	0	508	4	12	0
Semana 2	Lunes	7:00 a 8:00	0	39	0	474	0	0	1166
		12:00 a 13:00	0	0	6	450	0	9	1149
		18:00 a 19:00	462	0	2	0	3	7	1167
	Miércoles	7:00 a 8:00	430	33	5	586	9	0	1068
		12:00 a 13:00	0	0	4	0	7	0	0
		18:00 a 19:00	562	29	3	470	5	0	1086
	Sábado	7:00 a 8:00	446	51	0	590	7	11	1113
		12:00 a 13:00	0	0	4	570	5	13	959
		18:00 a 19:00	0	0	4	506	3	11	0
Semana 3	Lunes	7:00 a 8:00	0	38	0	476	0	0	1170
		12:00 a 13:00	0	0	0	448	0	8	1148
		18:00 a 19:00	464	0	0	0	2	8	1168
	Miércoles	7:00 a 8:00	428	34	0	584	10	0	1060
		12:00 a 13:00	0	0	4	0	6	0	0
		18:00 a 19:00	560	30	0	468	6	0	1088
	Sábado	7:00 a 8:00	448	50	0	592	6	12	1116
		12:00 a 13:00	0	0	0	568	6	12	960
		18:00 a 19:00	0	0	0	508	2	12	0
Semana 4	Lunes	7:00 a 8:00	0	37	0	474	0	0	1164
		12:00 a 13:00	0	0	6	450	0	9	1153
		18:00 a 19:00	462	0	2	0	0	7	1163
	Miércoles	7:00 a 8:00	430	35	5	586	11	0	1072
		12:00 a 13:00	0	0	4	0	5	0	0
		18:00 a 19:00	562	31	3	470	7	0	1090
	Sábado	7:00 a 8:00	446	49	0	590	5	11	1109
		12:00 a 13:00	0	0	4	570	7	13	963
		18:00 a 19:00	0	0	4	506	0	11	0

Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla muestra los valores finales de las 4 semanas de los vehículos tanto Liviano, Mediano y Pesado tanto públicos y privados en el Punto 4.

Tabla N° 3.6 Volúmenes finales del Punto 4

			Públicos			Privados			
			Hora	Liviano	Mediano	Pesado	Liviano	Mediano	
Semana 1	Lunes	7:00 a 8:00	0	40	0	476	0	0	1172
		12:00 a 13:00	0	0	0	448	0	8	1144
		18:00 a 19:00	464	0	0	0	4	8	1172
	Miércoles	7:00 a 9:00	428	32	0	584	8	0	1056
		18:00 a 19:00	560	28	0	468	4	0	1084
	Sábado	7:00 a 8:00	448	52	0	592	8	12	1120
12:00 a 13:00		0	0	0	568	4	12	956	
Semana 2	Lunes	7:00 a 8:00	0	39	0	474	0	0	1166
		12:00 a 13:00	0	0	6	450	0	9	1149
		18:00 a 19:00	462	0	2	0	3	7	1167
	Miércoles	7:00 a 9:00	430	33	5	586	9	0	1068
		18:00 a 19:00	562	29	3	470	5	0	1086
	Sábado	7:00 a 8:00	446	51	0	590	7	11	1113
12:00 a 13:00		0	0	4	570	5	13	959	
Semana 3	Lunes	7:00 a 8:00	0	38	0	476	0	0	1170
		12:00 a 13:00	0	0	0	448	0	8	1148
		18:00 a 19:00	464	0	0	0	2	8	1168
	Miércoles	7:00 a 9:00	428	34	0	584	10	0	1060
		18:00 a 19:00	560	30	0	468	6	0	1088
	Sábado	7:00 a 8:00	448	50	0	592	6	12	1116
12:00 a 13:00		0	0	0	568	6	12	960	
Semana 4	Lunes	7:00 a 8:00	0	37	0	474	0	0	1164
		12:00 a 13:00	0	0	6	450	0	9	1153
		18:00 a 19:00	462	0	2	0	0	7	1163
	Miércoles	7:00 a 9:00	430	35	5	586	11	0	1072
		18:00 a 19:00	562	31	3	470	7	0	1090
	Sábado	7:00 a 8:00	446	49	0	590	5	11	1109
12:00 a 13:00		0	0	4	570	7	13	963	

MEDIA	454	34	4	514	6	10	1022
DES. EST.	121	19	3	105	5	4	169
MEDIA+DES.	575	53	7	619	11	15	1191
MEDIA-DES.	332	15	1	409	1	6	853
MEDIA CORRE.	475	37	4	521	6	10	1053

Vehículos Livianos	996	Veh/h
% Veh. Livianos	95	%
Medianos	43	Veh/h
% Med	4	%
Vehículos Pesados	14	Veh/h
% Veh Pesados	1	%
Total	1053	Veh/h
%	100	%
Vehículos Públicos	516	Veh/h
% Veh Públicos	49	%
Vehículos Privados	537	Veh/h
% Veh Privados	51	%
Total	1053	Veh/h
%	100	%

Fuente: Elaboración propia

La tabla corresponde al aforo de las 4 semanas para el tráfico vehicular en el Punto 4, analizando los distintos tipos de vehículos ya sean públicos o privados.

Se observa el comportamiento de volúmenes de vehículos en tres días de la semana, dos días hábiles Martes y Jueves y un día no hábil el Sábado, donde podemos verificar que la cantidad de vehículos que circula por hora en esos días son los siguientes:

Vehículos livianos 996 vehículos/hora, medianos 43 vehículos/hora y pesados 14 vehículos/hora; haciendo un total de 1053 vehículos/hora que pasan por dicho punto.

A continuación, se muestra una tabla resumen de todos los vehículos que circulan en el área de estudio.

Tabla N° 3.7 Resumen de volúmenes de vehiculos de los puntos de estudio

Punto	Tipo de Vehículos			Vol veh/hr
	Livianos	Medianos	Pesados	
1	70	0	2	72
2	431	4	7	441
3	198	2	5	205
4	996	43	14	1053
5	135	1	3	139
6	342	3	5	351
7	84	3	2	90
8	455	5	1	461
9	775	22	8	804
10 Bajada	294	2	1	297
10 Subida	402	21	7	430
11	590	21	10	621
12	836	31	15	882
13	503	18	5	526
14	701	18	4	724
15	832	30	11	872
16	781	30	6	818
17	680	13	11	705
18	328	14	8	350
19	730	36	8	773
20 Bajada	119	2	1	122
20 Subida	113	3	1	117
21	1612	77	17	1706
22	753	27	11	791
23 Entrada	33	4	0	37
23 Salida	52	3	0	55
24	702	26	3	731
25	598	39	1	639
26	674	40	3	717
27	355	16	3	374
28	334	29	0	363
29 Entrada	84	8	0	91
29 Salida	12	3	0	14
30 Entrada	250	12	0	262
30 Salida	198	10	0	208

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo los datos de volúmenes de todas las calles y avenidas del área de estudio y se realizó las gráficas correspondientes para luego poder evaluar en el análisis de resultados el comportamiento de los vehículos que circulan por cada punto, las tablas e imágenes se encuentran en el Anexo I.

3.4.2 Aforos de velocidad

Para proceder a la medición de las velocidades en la zona de estudio se realizó la medición de la distancia de un punto a otro, en la intersección donde se tenía menos afluencia vehicular sin ningún tipo de obstrucciones, se tomó la distancia de 25 metros en el tramo de estudio; luego se controló el tiempo en que tarda en pasar por esa distancia medida, registrando 5 vehículos, un vehículo cada 10 minutos por hora. Se realizó las mediciones de los tiempos para las tres horas pico (07:00 – 08:00, 12:00 – 13:00 y 18:00 – 19:00) tres días de la semana (2 hábiles y uno no hábil), durante las 4 semanas para completar el mes. Para calcular las velocidades en km/h de los aforos de tiempos se usó la siguiente ecuación:

$$V = \frac{D}{T}$$

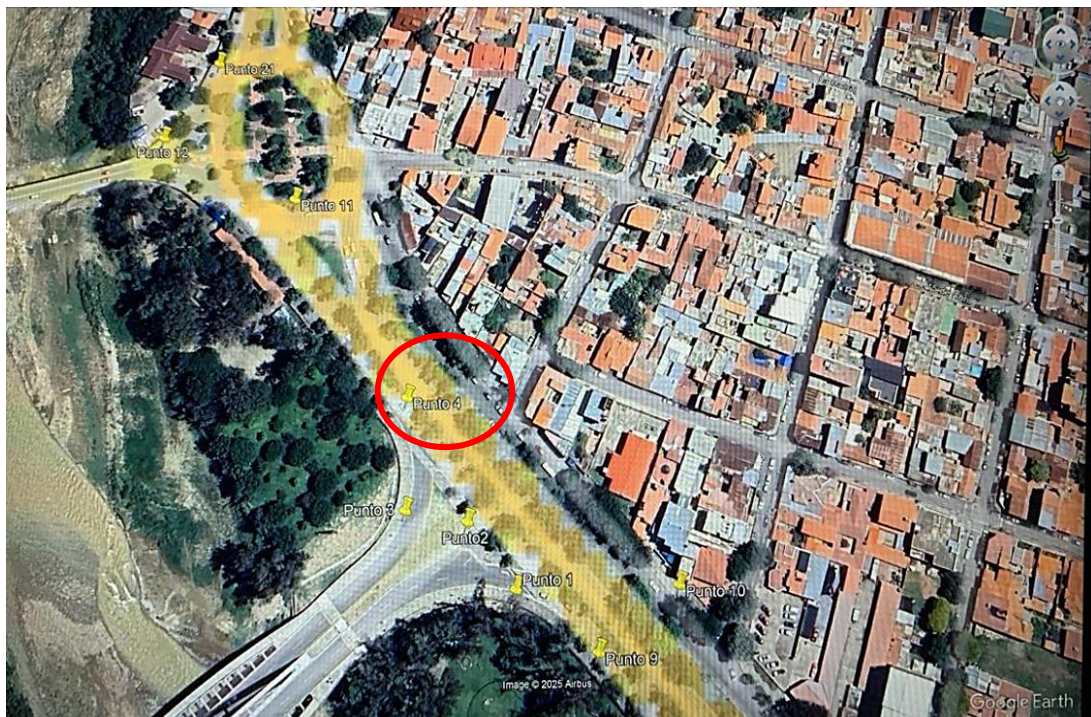
Donde:

V= Velocidad de punto (km/h)

D= Distancia de recorrido (km)

T= Tiempo de recorrido (h)

Figura N° 3.6 Imagen satelital del Punto 4



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.8 Velocidad de vehículos en el Punto 4

Punto 4						Corrección
	Día	Tiempo seg	Distancia m	Velocidad m/s	Velocidad km/h	Velocidad km/h
Semana 1	Martes	02,17	25	11,52	41,47	41,47
		04,00	25	6,25	22,50	22,50
		03,67	25	6,81	24,52	24,52
		02,14	25	11,68	42,06	0
		04,06	25	6,16	22,17	22,17
	Jueves	01,98	25	12,63	45,45	0
		03,31	25	7,55	27,19	27,19
		02,64	25	9,47	34,09	34,09
		03,31	25	7,55	27,19	27,19
		02,58	25	9,69	34,88	34,88
	Sábado	03,10	25	8,06	29,03	29,03
		04,10	25	6,10	21,95	21,95
		03,10	25	8,06	29,03	29,03
		04,22	25	5,92	21,33	21,33
		05,23	25	4,78	17,21	0
Semana 2	Martes	2,00	25	12,50	45,00	0
		4,17	25	6,00	21,58	21,58
		3,79	25	6,60	23,75	23,75
		2,00	25	12,50	45,00	0
		4,19	25	5,97	21,48	21,48
	Jueves	1,81	25	13,81	49,72	0
		3,48	25	7,18	25,86	25,86
		2,76	25	9,06	32,61	32,61
		3,17	25	7,89	28,39	28,39
		2,71	25	9,23	33,21	33,21
	Sábado	2,93	25	8,53	30,72	30,72
		4,27	25	5,85	21,08	21,08
		3,22	25	7,76	27,95	27,95
		4,08	25	6,13	22,06	22,06
		5,36	25	4,66	16,79	0
Semana 3	Martes	1,83	25	13,66	49,18	0
		4,34	25	5,76	20,74	20,74
		3,91	25	6,39	23,02	23,02
		1,86	25	13,44	48,39	0
		4,32	25	5,79	20,83	20,83
	Jueves	1,64	25	15,24	54,88	0
		3,65	25	6,85	24,66	24,66
		2,88	25	8,68	31,25	31,25
		3,03	25	8,25	29,70	29,70
		2,84	25	8,80	31,69	31,69

	Sábado	2,76	25	9,06	32,61	32,61
		4,44	25	5,63	20,27	20,27
		3,34	25	7,49	26,95	26,95
		3,94	25	6,35	22,84	22,84
		5,49	25	4,55	16,39	0
Semana 4	Martes	1,66	25	15,06	54,22	0
		4,51	25	5,54	19,96	19,96
		4,03	25	6,20	22,33	22,33
		1,72	25	14,53	52,33	0
		4,45	25	5,62	20,22	20,22
	Jueves	1,47	25	17,01	61,22	0
		3,82	25	6,54	23,56	23,56
		3,00	25	8,33	30,00	30,00
		2,89	25	8,65	31,14	31,14
		2,97	25	8,42	30,30	30,30
	Sábado	2,59	25	9,65	34,75	34,75
		4,61	25	5,42	19,52	19,52
		3,46	25	7,23	26,01	26,01
		3,80	25	6,58	23,68	23,68
		5,62	25	4,45	16,01	0
				MEDIA CORRE.		26,45
				MEDIA	29,64	km/h
				DES. EST.	12,11	km/h
				MEDIA+DES.	41,74	km/h
				MEDIA-DES.	17,53	km/h
				MEDIA CORRE.	26,45	km/h

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.9 Resumen de Velocidad de punto de las calles de estudio

Punto	Vel km/h
1	23,50
2	27,62
3	26,24
4	26,45
5	32,39
6	27,79
7	27,39
8	42,18
9	32,49
10 Bajada	33,24
10 Subida	24,51
11	14,38

12	15,28
13	11,49
14	27,60
15	20,59
16	25,82
17	30,72
18	17,51
19	21,88
20 Bajada	29,03
20 Subida	28,76
21	18,66
22	21,04
23 Entrada	18,06
23 Salida	25,25
24	10,65
25	34,00
26	35,48
27	32,69
28	26,75
29 Entrada	32,32
29 Salida	34,61
30 Entrada	32,18
30 Salida	32,18

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo los datos de medición de tiempos en todos los puntos y se determinó las velocidades de vehículos tanto del transporte público como privado el detalle se encuentra en Anexo II.

3.4.3 Densidad vehicular (k)

Determinación de la densidad vehicular

La densidad vehicular es el número de vehículos que ocupa cierta longitud dada de una carretera o carril y generalmente se expresa como vehículos por kilómetro (veh/km).

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Volumen(Veh/h)}}{\text{Velocidad(Km/h)}}$$

Densidad vehicular en el punto 4

$$\text{Densidad de Vehículos} = \frac{1053 \text{ (Veh/h)}}{46,45 \text{ (Km/h)}}$$

$$\text{Densidad de Vehículos} = 40 \text{ Veh/km}$$

Tabla N° 3.10 Resumen de Densidad vehicular de las calles de estudio

Punto	Tipo de Vehículos			Vol veh/hr	Vel km/h	Densidad veh/km
	Livianos	Medianos	Pesados			
1	70	0	2	72	23,50	3
2	431	4	7	441	27,62	16
3	198	2	5	205	26,24	8
4	996	43	14	1053	26,45	40
5	135	1	3	139	32,39	4
6	342	3	5	351	27,79	13
7	84	3	2	90	27,39	3
8	455	5	1	461	42,18	11
9	775	22	8	804	32,49	25
10 Bajada	294	2	1	297	33,24	9
10 Subida	402	21	7	430	24,51	18
11	590	21	10	621	14,38	43
12	836	31	15	882	15,28	58
13	503	18	5	526	11,49	46
14	701	18	4	724	27,60	26
15	832	30	11	872	20,59	42
16	781	30	6	818	25,82	32
17	680	13	11	705	30,72	23
18	328	14	8	350	17,51	20
19	730	36	8	773	21,88	35
20 Bajada	119	2	1	122	29,03	4
20 Subida	113	3	1	117	28,76	4
21	1612	77	17	1706	18,66	91
22	753	27	11	791	21,04	38
23 Entrada	33	4	0	37	18,06	2
23 Salida	52	3	0	55	25,25	2
24	702	26	3	731	10,65	69
25	598	39	1	639	34,00	19
26	674	40	3	717	35,48	20
27	355	16	3	374	32,69	11
28	334	29	0	363	26,75	14
29 Entrada	84	8	0	91	32,32	3
29 Salida	12	3	0	14	34,61	0
30 Entrada	250	12	0	262	32,18	8
30 Salida	198	10	0	208	32,18	6

Fuente: Elaboración propia

3.5 Ajuste de curvas a los datos obtenidos

Se muestra una representación gráfica de la relación de los parámetros vehiculares en el tramo DEL PUENTE 4 DE JULIO en cada punto de estudio, estableciendo la relación en función de la densidad velocidad de tráfico vehicular estableciendo una ecuación acorde a los datos con una mayor correlación por lo que esta correlación determinara el tipo de modelo a aplicar.

Punto 4. -

Se procede demostrar las gráficas de VELOCIDAD - DENSIDAD para el punto 4.

Velocidad - Densidad de ida

Por el método de la correlación se ajustó la curva velocidad densidad para este punto mediante una ecuación.

Tabla N° 3.11 Tabla resumen de volumen, velocidad y densidad

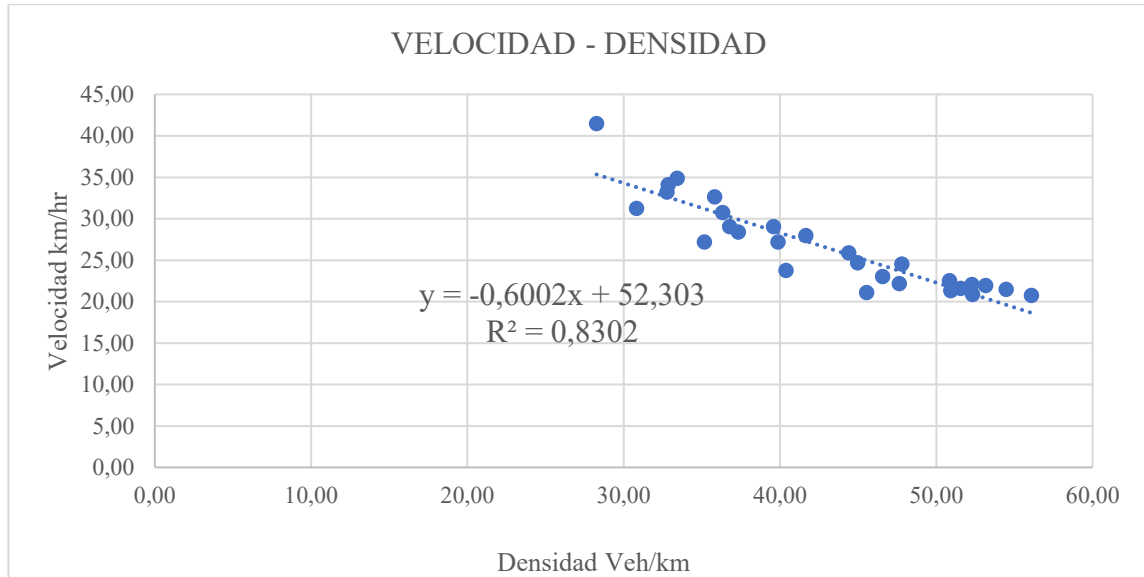
Punto 4		
Vol veh/h	Vel km/h	Densidad veh/km
1172	41,47	28,26
1144	22,50	50,84
1172	24,52	47,79
1056	22,17	47,64
1084	27,19	39,87
1120	34,09	32,85
956	27,19	35,16
1166	34,88	33,43
1149	29,03	39,58
1167	21,95	53,16
1068	29,03	36,79
1086	21,33	50,92
1113	21,58	51,57
959	23,75	40,38
1170	21,48	54,47
1148	25,86	44,39
1168	32,61	35,82
1060	28,39	37,34
1088	33,21	32,76
1116	30,72	36,33
960	21,08	45,55
1164	27,95	41,65
1153	22,06	52,27
1163	20,74	56,08
1072	23,02	46,57

1090	20,83	52,32
1109	24,66	44,98
963	31,25	30,82

Fuente: Elaboración propia

CORRELACION LINEAL

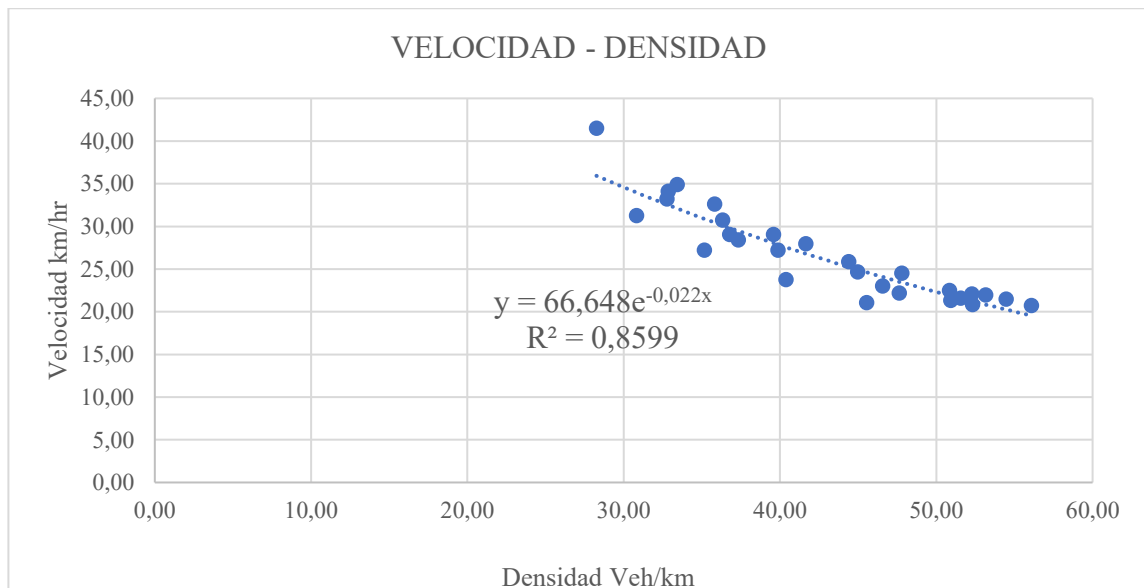
Figura N° 3.7 Correlación Lineal de Velocidad-Densidad Punto 4



Fuente: Elaboración propia

CORRELACION NO LINEAL: EXPONENCIAL

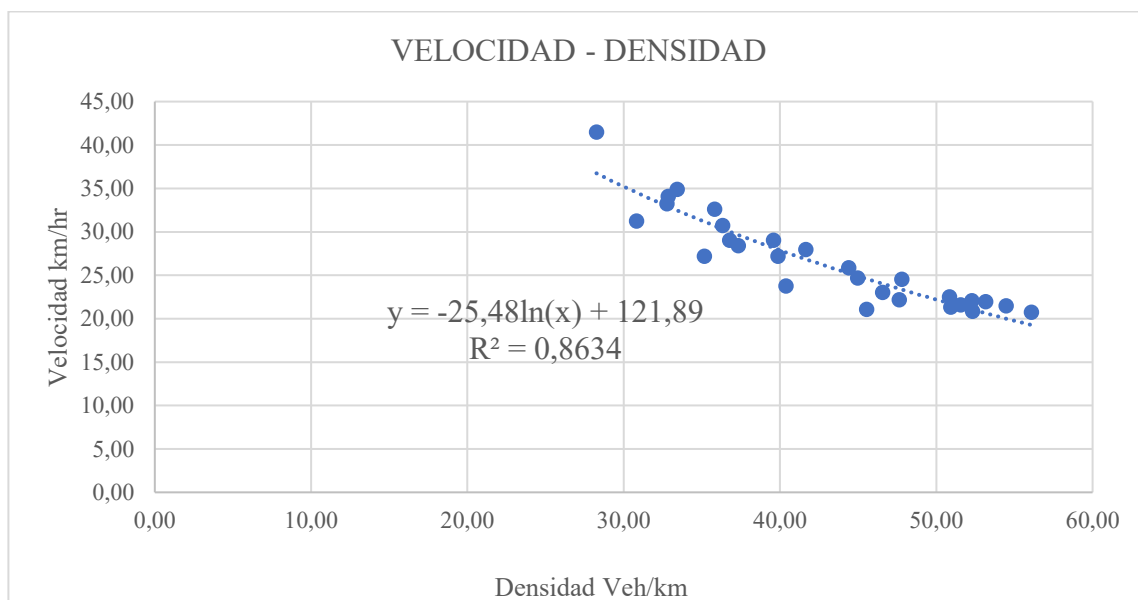
Figura N° 3.8 Correlación Exponencial de Velocidad-Densidad Punto 4



Fuente: Elaboración propia

CORRELACION NO LINEAL: LOGARITMICA

Figura N° 3.9 Correlación Logarítmica de Velocidad-Densidad Punto 4



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.12 Tabla de resumen de correlación de cada tramo

Punto	Ecuación	Valor	Punto	Ecuación	Valor
1	Lineal	0,4095	18	Lineal	0,2140
	Logaritmo	0,3943		Logaritmo	0,2065
	Exponencial	0,4048		Exponencial	0,2126
2	Lineal	0,4778	19	Lineal	0,5134
	Logaritmo	0,4887		Logaritmo	0,5148
	Exponencial	0,4855		Exponencial	0,5152
3	Lineal	0,4995	20 Bajada	Lineal	0,2581
	Logaritmo	0,5675		Logaritmo	0,2433
	Exponencial	0,5216		Exponencial	0,2541
4	Lineal	0,8302	20 Subida	Lineal	0,1921
	Logaritmo	0,8634		Logaritmo	0,2103
	Exponencial	0,8599		Exponencial	0,1959
5	Lineal	0,1255	21	Lineal	0,8012
	Logaritmo	0,1415		Logaritmo	0,8431
	Exponencial	0,1279		Exponencial	0,8384
6	Lineal	0,5704	22	Lineal	0,5696
	Logaritmo	0,6006		Logaritmo	0,5750
	Exponencial	0,5903		Exponencial	0,5784

7	Lineal	0,2892	23 Entrada	Lineal	0,6990
	Logaritmo	0,2192		Logaritmo	0,6371
	Exponencial	0,2705		Exponencial	0,6899
8	Lineal	0,0831	23 Salida	Lineal	0,4110
	Logaritmo	0,0820		Logaritmo	0,3494
	Exponencial	0,0829		Exponencial	0,3907
9	Lineal	0,2826	24	Lineal	0,8762
	Logaritmo	0,2869		Logaritmo	0,9406
	Exponencial	0,2862		Exponencial	0,9410
10 Bajada	Lineal	0,8063	25	Lineal	0,2944
	Logaritmo	0,8211		Logaritmo	0,2982
	Exponencial	0,8216		Exponencial	0,2962
10 Subida	Lineal	0,9082	26	Lineal	0,4232
	Logaritmo	0,9695		Logaritmo	0,4155
	Exponencial	0,9628		Exponencial	0,4206
11	Lineal	0,5889	27	Lineal	0,7042
	Logaritmo	0,6326		Logaritmo	0,7202
	Exponencial	0,6153		Exponencial	0,7126
12	Lineal	0,8321	28	Lineal	0,8515
	Logaritmo	0,8498		Logaritmo	0,8484
	Exponencial	0,8588		Exponencial	0,8499
13	Lineal	0,8263	29 Entrada	Lineal	0,1840
	Logaritmo	0,8757		Logaritmo	0,1704
	Exponencial	0,8688		Exponencial	0,1819
14	Lineal	0,7311	29 Salida	Lineal	0,0425
	Logaritmo	0,7102		Logaritmo	0,0046
	Exponencial	0,7189		Exponencial	0,0405
15	Lineal	0,8938	30 Entrada	Lineal	0,5758
	Logaritmo	0,9095		Logaritmo	0,4834
	Exponencial	0,9085		Exponencial	0,5447
16	Lineal	0,6652	30 Salida	Lineal	0,0086
	Logaritmo	0,6782		Logaritmo	0,0102
	Exponencial	0,6728		Exponencial	0,0085
17	Lineal	0,8264			
	Logaritmo	0,8514			
	Exponencial	0,8477			

Fuente: Elaboración propia

3.6 Aplicación de los modelos de tráfico

3.6.1 Modelo Lineal D. B. Greenshields

Punto 4

De la relación lineal obtenida entre los datos de velocidad-densidad se obtiene la siguiente ecuación:

$$y = -0,6002 * X + 52,303$$

$$v1 = -0,6002 * kc + 52,303$$

Se procede aplicar el criterio de congestiónamiento donde teóricamente para la velocidad media espacial igual cero se obtiene la densidad de congestiónamiento.

$$0 = -0,6002 * kc + 52,303$$

$$kc = 87 \frac{veh}{carril} km$$

La velocidad a flujo libre se la obtiene, teóricamente ante la situación densidad congestiónamiento igual a cero. Por tanto:

$$v1 = -0,6002 * 0 + 52,303$$

$$v1 = 52,303 \frac{km}{h}$$

La relación **velocidad-densidad**, según la ecuación:

$$ve = v1 - \frac{v1}{kc} k$$

$$ve = 52,303 - \frac{52,303}{87} k$$

$$ve = 52,303 - 0,600k$$

La relación **FLUJO-DENSIDAD**, según la ecuación:

$$q = v1k - \left(\frac{v1}{kc}\right)k^2$$

$$q = 52,303k - \left(\frac{52,303}{87}\right)k^2$$

$$q = 52,303k - 0,600k^2$$

La relación **VELOCIDAD-FLUJO**, según la ecuación:

$$ve = \frac{v1}{2} \pm \frac{\sqrt{v1^2 - 4\left(\frac{v1}{kc}\right)q}}{2}$$

$$ve = \frac{52,303}{2} \pm \frac{\sqrt{52,303^2 - 4\left(\frac{52,303}{87}\right)q}}{2}$$

$$ve = 26,152 \pm \frac{\sqrt{52,303^2 - 4\left(\frac{52,303}{87}\right)q}}{2}$$

Por lo tanto, las ecuaciones del modelo son:

$$ve = 52,303 - 0,600k$$

$$q = 52,303k - 0,600k^2$$

$$ve = 26,152 \pm \frac{\sqrt{52,303^2 - 4\left(\frac{52,303}{87}\right)q}}{2}$$

El valor medio se procede a calcular de la siguiente manera y así obtener el flujo máximo

$$vm = \frac{v1}{2}$$

$$vm = \frac{52,303}{2} = 26,15 \text{ km/h}$$

$$km = \frac{kc}{2}$$

$$km = \frac{87}{2} = 44 \frac{veh}{km} / carril$$

$$qm = \frac{v1 * kc}{4}$$

$$qm = \frac{52,303 * 87}{4} = 1139 \frac{veh}{hr} / carril$$

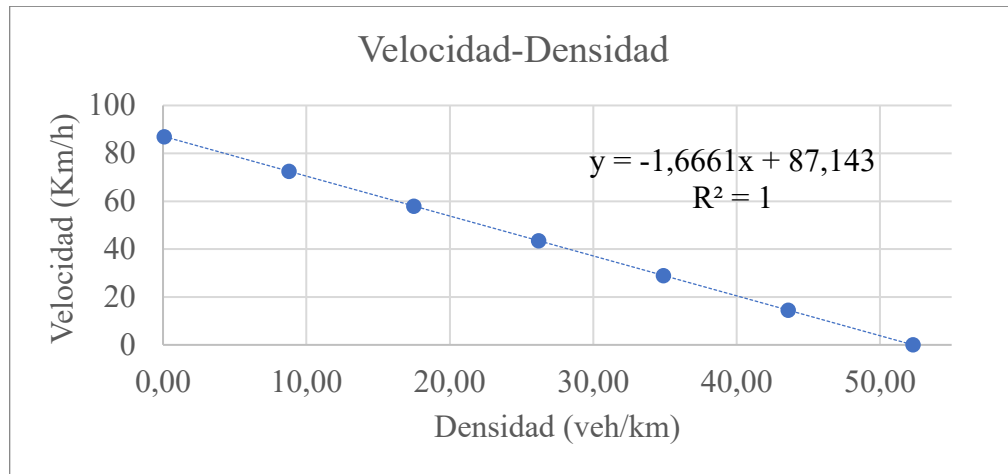
Por tanto, las curvas del modelo de Greenshields son:

Tabla N° 3.13 Tabla de Velocidad vs Densidad modelo lineal

V	K
52,30	0
43,60	14,50
34,90	29,00
26,15	43,50
17,49	58,00
8,79	72,50
0,09	87,00

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.10 Velocidad vs Densidad modelo lineal



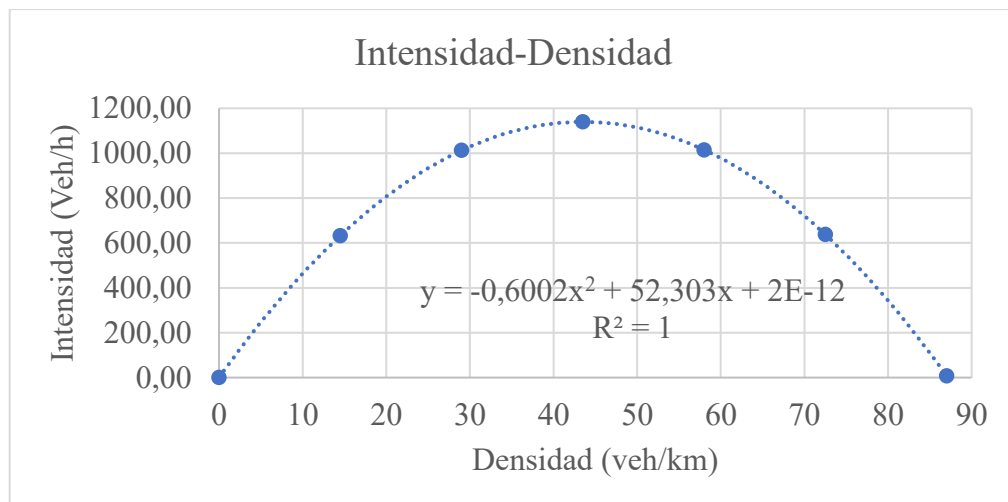
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.14 Tabla de Intensidad vs Densidad modelo lineal

K	Q
0	0
14,50	632,20
29,00	1012,02
43,50	1139,45
58,00	1014,50
72,50	637,17
87,00	7,45

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.11 Intensidad vs Densidad modelo lineal



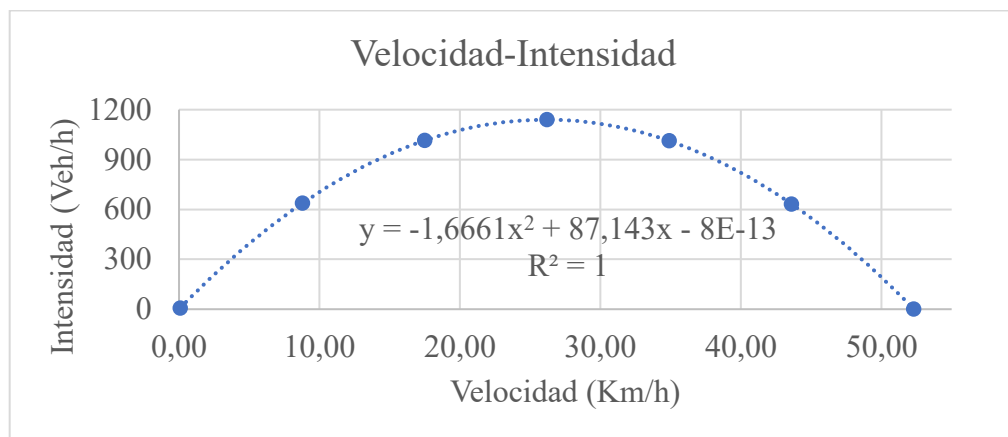
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.15 Tabla de Velocidad vs Intensidad modelo lineal

V	Q
52,30	0
43,60	632,20
34,90	1012,02
26,15	1139,45
17,49	1014,50
8,79	637,17
0	7,45

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.12 Intensidad vs Velocidad modelo lineal



Fuente: Elaboración propia

Para hallar el nivel de servicio del punto, bajo condiciones de circulación continua, se han definido seis características generales de operación en función de la densidad de congestionamiento, así:

Condición de flujo libre:	$0 < k_1 < 0,05 \text{ kc}$
Condición de flujo estable:	$0,05 \text{ kc} < k_2 < 0,15 \text{ kc}$
Condición de flujo aun estable:	$0,15 \text{ kc} < k_3 < 0,30 \text{ kc}$
Condición de flujo casi estable:	$0,30 \text{ kc} < k_4 < 0,40 \text{ kc}$
Condición de flujo inestable:	$0,40 \text{ kc} < k_5 < 0,60 \text{ kc}$
Condición de flujo forzado:	$0,60 \text{ kc} < k_6 < 1 \text{ kc}$

Los valores máximos de las densidades que limitan cada una de las condiciones:

$$k_1 = 0,05 \text{ kc} = 0,05 * 87 = 4,36 \text{ veh/km/carril}$$

$$k_2 = 0,15 \text{ kc} = 0,15 * 87 = 13,07 \text{ veh/km/carril}$$

$$k_3 = 0,30 \text{ kc} = 0,30 * 87 = 26,14 \text{ veh/km/carril}$$

$$k_4 = 0,40 \quad k_c = 0,40 * 87 = 34,86 \text{ veh/km/carril}$$

$$k_5 = 0,60 \quad k_c = 0,60 * 87 = 52,29 \text{ veh/km/carril}$$

$$k_6 = 1,00 \quad k_c = 1,00 * 87 = 87,00 \text{ veh/km/carril}$$

Las velocidades correspondientes a estas densidades son:

$$V_{e1} = 52,303 - 0,600 * k_1 = 52,303 - 0,600 * (4,36) = 49,69 \text{ km/h}$$

$$V_{e2} = 52,303 - 0,600 * k_2 = 52,303 - 0,600 * (13,07) = 44,46 \text{ km/h}$$

$$V_{e3} = 52,303 - 0,600 * k_3 = 52,303 - 0,600 * (26,14) = 36,61 \text{ km/h}$$

$$V_{e4} = 52,303 - 0,600 * k_4 = 52,303 - 0,600 * (34,86) = 31,38 \text{ km/h}$$

$$V_{e5} = 52,303 - 0,600 * k_5 = 52,303 - 0,600 * (52,29) = 20,92 \text{ km/h}$$

$$V_{e6} = 52,303 - 0,600 * k_6 = 52,303 - 0,600 * (87,00) = 0 \text{ km/h}$$

Los flujos correspondientes a las densidad y velocidades anteriores, son:

$$q_1 = v_{e1} * k_1 = 49,69 * 4,36 = 216,50$$

$$q_2 = v_{e2} * k_2 = 44,46 * 13,07 = 581,12$$

$$q_3 = v_{e3} * k_3 = 36,61 * 26,14 = 957,14$$

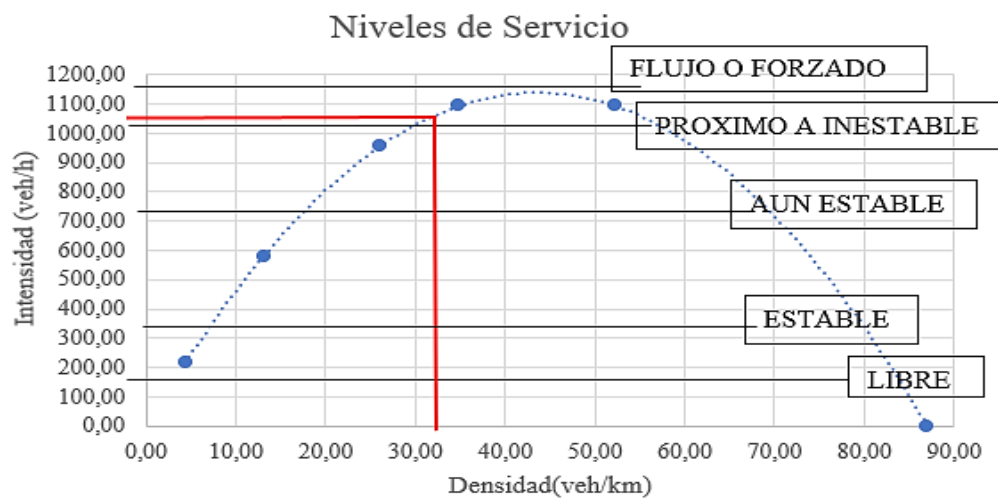
$$q_4 = v_{e4} * k_4 = 31,38 * 34,86 = 1093,88$$

$$q_5 = v_{e5} * k_5 = 20,92 * 52,29 = 1093,88$$

$$q_6 = v_{e6} * k_6 = 0 * 87,00 = 0$$

Se representa gráficamente todas las características de los niveles de servicio. La intensidad que pasa por el Punto 4 es de 1053 Veh/h.

Figura N° 3.13 Nivel de Servicio del Punto 4



Fuente: Elaboración propia

En base a la gráfica presentada en relación a la densidad-intensidad se procede a obtener el nivel de servicialidad es de:

$$K = 31,00 \text{ veh/km}$$

$0 < k_1 < 4,36$	nivel de servicio A
$4,36 < k_2 < 13,07$	nivel de servicio B
$13,07 < k_3 < 26,14$	nivel de servicio C
$26,14 < k = 31,00 < 34,86$	nivel de servicio D
$34,86 < k_5 < 52,29$	nivel de servicio E
$52,29 < k_6 < 87,00$	nivel de servicio F

entonces de acuerdo al valor $K=31,00 \text{ veh/km}$ se encuentra entre 26,14 y 34,86 perteneciendo al nivel de servicio D

Nivel de servicio D
El Punto 4 esta con un Próximo a flujo inestable

3.6.2 Modelo no Lineal

3.6.2.1 Modelo exponencial R.T. Underwood

Se aplica los modelos no lineales (logarítmico y exponencial) solo para establecer la variación y diferencia que existen de la misma con el modelo lineal el cual es el modelo de tráfico más adecuado para su aplicación.

Punto 4

De la relación obtenida entre los datos de velocidad-densidad se obtiene la siguiente ecuación exponencial:

$$y = 66,648 e^{-0.022 \cdot x}$$

$$v_1 = 66,648 e^{-0.022 \cdot k}$$

La velocidad a flujo libre se la obtiene, teóricamente ante la situación densidad congestionamiento igual a cero. Por tanto:

$$v_1 = 66,648 e^{-0.022 \cdot 0}$$

$$v_1 = 66,648 \text{ km/h}$$

La relación **velocidad-densidad**, según la ecuación:

$$ve = v_1 * e^{-\frac{k}{km}}$$

$$ve = 66,648 * e^{-k/32}$$

La relación **flujo-densidad**, según la ecuación:

$$q = v1k * e^{-k/km}$$

$$q = 66,648k * e^{-k/km}$$

$$q = 66,648k * e^{-k/32}$$

Por lo tanto, las ecuaciones del modelo son:

$$ve = 66,648 * e^{-k/32}$$

$$q = 66,648k * e^{-k/32}$$

El valor medio se procede a calcular de la siguiente manera y así obtener el flujo máximo

$$vm = \frac{v1}{e}$$

$$vm = \frac{66,648}{e} = 22,518km/h$$

$$km = \frac{kc}{e}$$

$$kc = 87$$

$$km = \frac{87}{e} = 32,01 = 32 \frac{veh}{km} / carril$$

$$qm = \frac{v1 * kc}{e}$$

$$qm = \frac{66,648 * 32}{e} = 785 \frac{veh}{hr} / carril$$

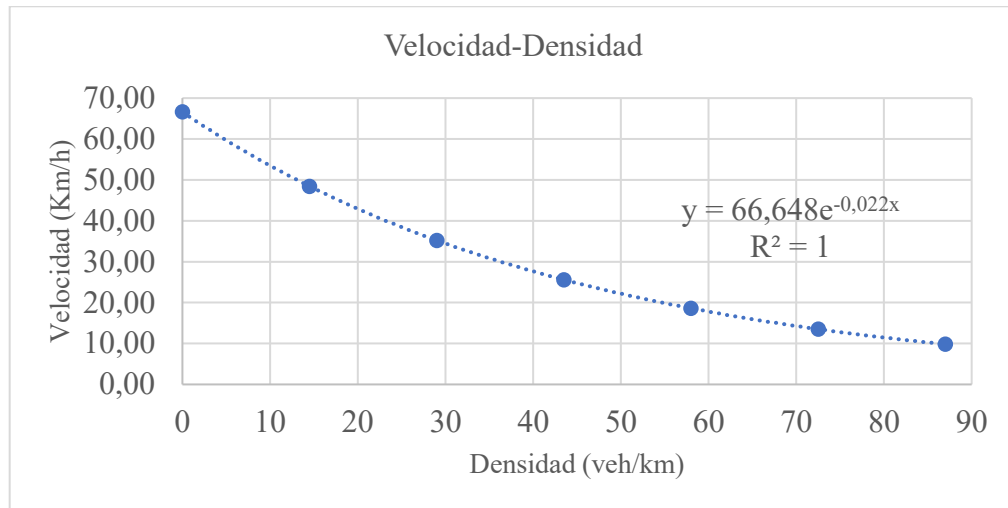
Por tanto, las curvas del modelo son:

Tabla N° 3.16 Tabla de Velocidad vs Densidad modelo exponencial

V	K
66,65	0
48,44	14,50
35,21	29,00
25,60	43,50
18,60	58,00
13,52	72,50
9,83	87,00

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.14 Velocidad vs Densidad modelo exponencial



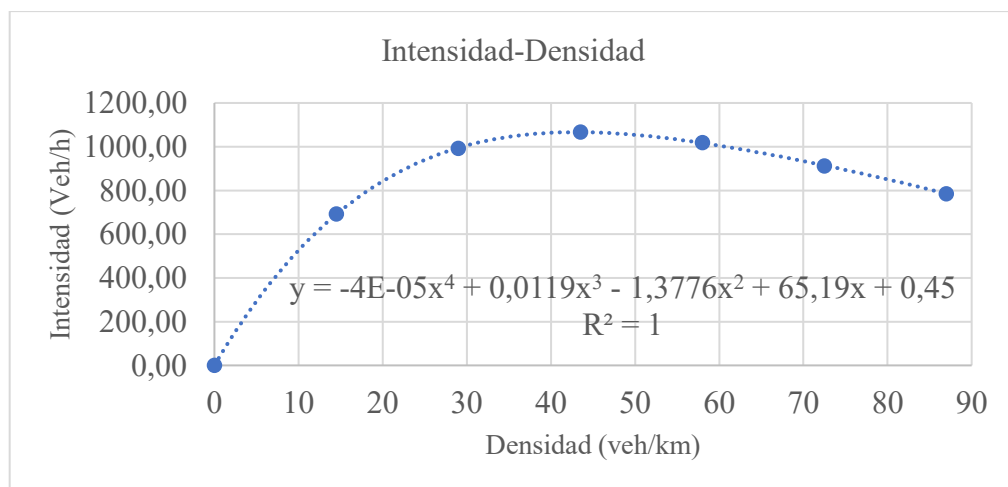
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.17 Tabla de Intensidad vs Densidad modelo exponencial

K	Q
0	0,00
14,50	692,45
29,00	992,33
43,50	1066,55
58,00	1018,96
72,50	912,64
87,00	784,72

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.15 Intensidad vs Densidad modelo exponencial



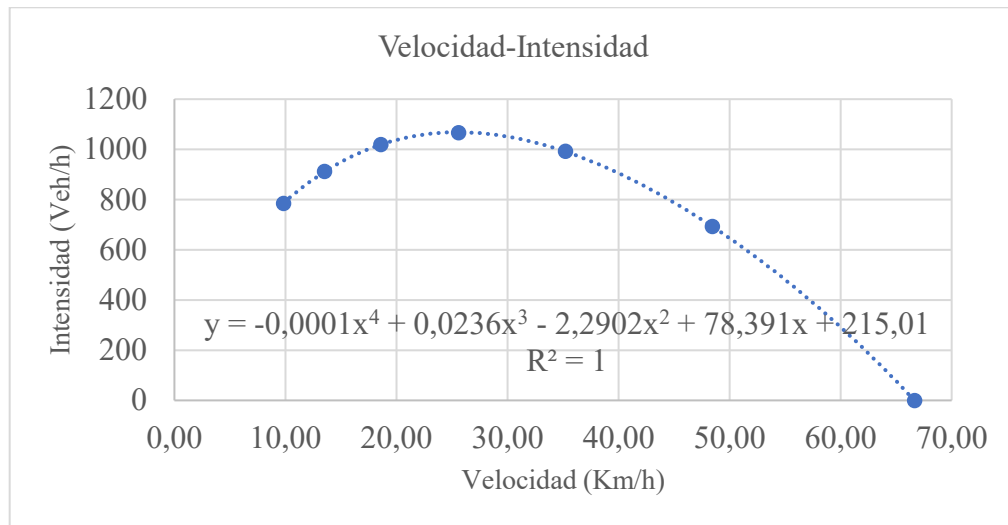
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.18 Tabla de Velocidad vs Intensidad modelo exponencial

V	Q
66,65	0
48,44	692,45
35,21	992,33
25,60	1066,55
18,60	1018,96
13,52	912,64
10	784,72

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.16 Intensidad vs Velocidad modelo exponencial



Fuente: Elaboración propia

3.6.3 Modelo tráfico logarítmico

Punto 4

De la relación de logaritmo obtenida entre los datos de velocidad-densidad se obtiene la siguiente ecuación:

$$y = -25,48 * \ln X + 121,89$$

$$v1 = -25,48 * \ln X + 121,89$$

Se procede aplicar el criterio de congestionamiento donde para la velocidad media espacial igual cero se obtiene la densidad de congestionamiento para su aplicación en el modelo logarítmico.

$$kc = 87 \frac{veh}{carril} km$$

La velocidad a flujo libre se la obtiene, teóricamente ante la situación densidad congestionamiento igual a 1. Por tanto:

$$v1 = -25,48 * 0 + 121,89$$

$$v1 = 96,410 \frac{km}{h}$$

La relación **velocidad-densidad**, según la ecuación:

$$vm = \frac{v1}{2} = \frac{96,410}{2} = 48,205 \text{ km/h}$$

$$ve = vm * \ln\left(\frac{kc}{k}\right)$$

$$ve = 48,205 \ln\left(\frac{87}{k}\right)$$

El valor medio se procede a calcular de la siguiente manera y así obtener el flujo máximo

$$k = km$$

$$\implies Vm = Vm \ln\left(\frac{kc}{km}\right) \implies \ln\left(\frac{kc}{km}\right) = 1 \implies km = \frac{kc}{e}$$

$$Ve = vm$$

$$km = \frac{kc}{e}$$

$$vm = \frac{87}{e} = 32 \frac{veh}{km} / carril$$

La relación **flujo-densidad**, según la ecuación:

$$q = vm * k * \ln\left(\frac{kc}{k}\right)$$

$$q = 48,205 * k * \ln\left(\frac{87}{k}\right)$$

$$qm = vm * km$$

$$qm = 48,205 * 32 = 1543 \frac{veh}{km} / carril$$

Por lo tanto, las ecuaciones del modelo son:

$$ve = 49,599 \ln\left(\frac{35}{k}\right)$$

$$q = 45,99 * k * \ln\left(\frac{35}{k}\right)$$

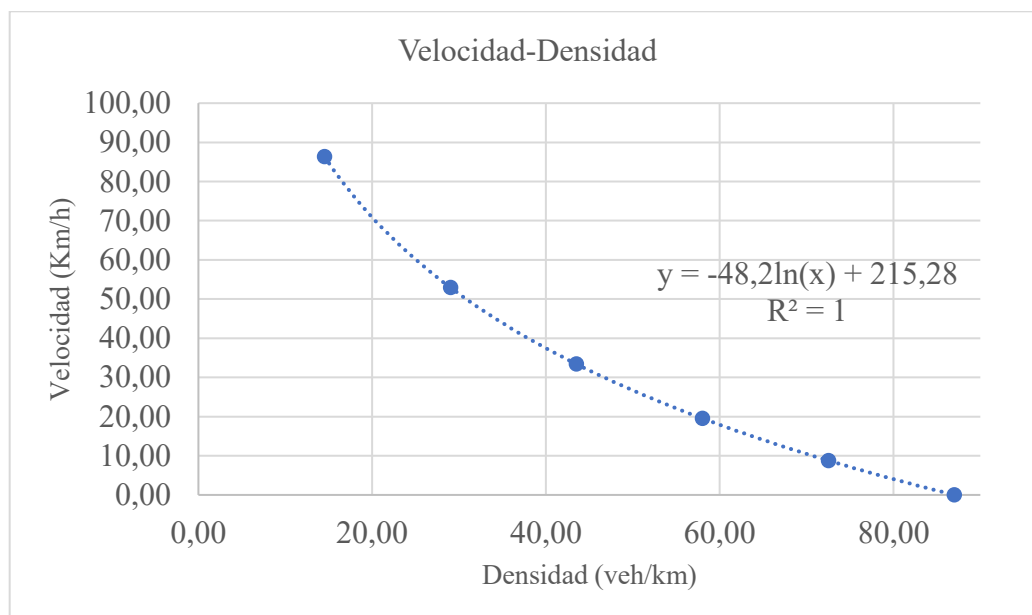
La representación grafico del modelo logarítmico es:

Tabla N° 3.19 Tabla de Velocidad vs Densidad modelo logarítmico

V	K
0,00	0
86,37	14,50
52,96	29,00
33,41	43,50
19,55	58,00
8,79	72,50
0,00	87,00

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.17 Velocidad vs Densidad modelo logarítmico



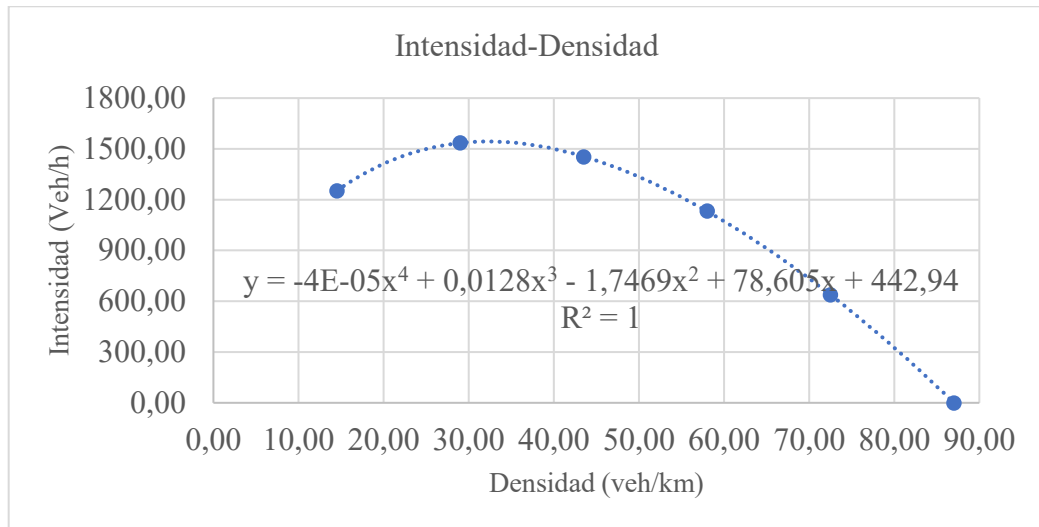
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.20 Tabla de Intensidad vs Densidad modelo logarítmico

K	Q
0	0,00
14,50	1252,39
29,00	1535,80
43,50	1453,47
58,00	1133,64
72,50	637,19
87,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.18 Intensidad vs Densidad modelo logarítmico



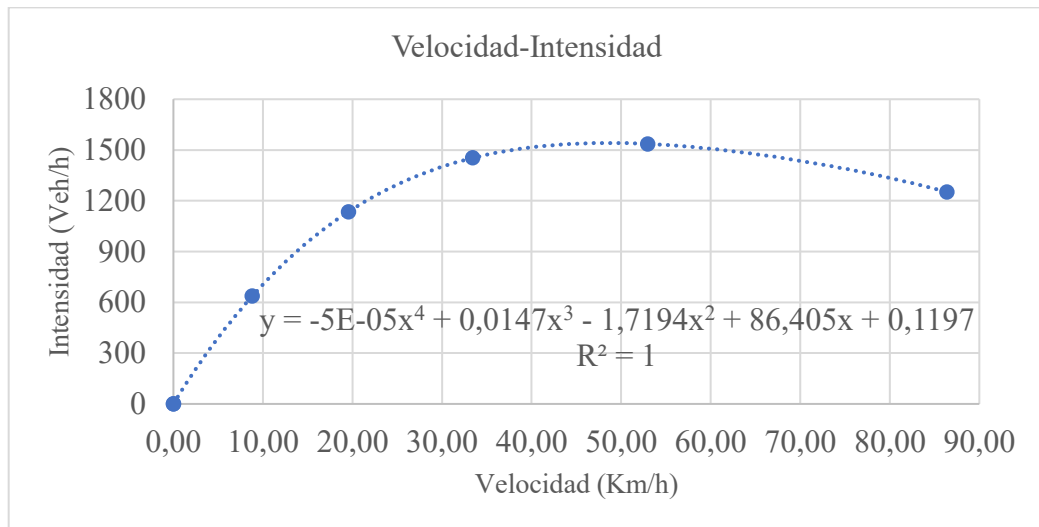
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.21 Tabla de Velocidad vs Intensidad modelo logarítmico

V	Q
0,00	0
86,37	1252,39
52,96	1535,80
33,41	1453,47
19,55	1133,64
8,79	637,19
0	0,00

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.19 Intensidad vs Velocidad modelo logarítmico



Fuente: Elaboración propia

3.7 Señalización

Para obtener los diferentes tipos de señalización se hizo una inspección visual en todos los puntos de estudio, a continuación, se presenta un resumen en la siguiente tabla:

Tabla N° 3.22 Señalización en los puntos de estudio

Tipo	PUNTO																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Resumen de señalización horizontal																													
Flechas direccionales	✓	✓			✓		✓	✓			✓																			
Línea amarilla continua										✓																				
Línea de eje segmentada	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓																					
Línea de paso de peatonal																														
Paso peatonal tipo cebra	✓	✓	✓		✓	✓	✓																							
Resalto															✓					✓	✓									
Tachas	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓																					
Tipo	Resumen de señalización vertical																													
Cilindro de tránsito												✓								✓				✓						
Letrero de circulación obligatoria																														
Letrero de giro a la derecha obligatorio															✓							✓	✓							
Letrero de indicador de Rotonda	✓	✓			✓			✓						✓																
Letrero de ingreso y salida de vehículos																				✓										
Letrero de no estacionar									✓	✓										✓										
Letrero de nombres de calle y sus sentidos																														
Letrero de pare																														
Letrero de paso peatonal					✓		✓							✓									✓							
Letrero de parqueo																														
Letrero de reductores de velocidad(res altos)																														
Letrero de velocidad Máxima 20km/h																														

Fuente: Elaboración propia

3.8 Análisis de resultados

Como se puede observar de manera práctica, los datos de velocidades de campo presentan características más dispersas, donde sus datos son más discontinuos y de rangos gran variación, en el cual se establece una variación de velocidad oscilantes entre 10 y 43 km/h en la mayoría de los puntos de estudio y densidades de entre 0 – 92 veh/km.

Parámetros de cada modelo analizado considerado como más adecuado

Los parámetros fundamentales para aplicación de los modelos son: velocidad, volumen y densidad vehicular.

Modelo lineal

Consideran espaciamiento y las velocidades individuales de los vehículos, con base de la teoría del seguimiento vehicular, se procede a hacer una relación velocidad - densidad, se observa una dispersión de datos tabuladas, para el caso de modelo lineal, es de movimiento gradual hacia arriba de los datos, no se espera que se repitan entre sí. Cuando los ingresos de densidades y velocidades, aumentan o disminuyen a un ritmo constante se encuentra ante un efecto lineal, es una relación funcional entre dos o más variables correlacionadas, se utiliza para pronosticar una variable con base en la otra.

Existen 3 tipos de relaciones a estudiar:

Velocidad – Densidad

Se observa que el valor de la velocidad disminuye cuando la densidad se incrementa hasta llegar a una $v_e=0$ (valor mínimo), el valor de la densidad se hace cero $k=0$ pero en la práctica esto no existe ya que no existiría flujo y sin lugar al incremento de velocidad.

Flujo – Densidad

Cuando la densidad se aproxima a cero, también debemos mencionar que el flujo, se acerca a cero, es entonces en ese punto donde podemos mencionar que la operación es óptima, ya que tenemos una velocidad a flujo libre, pero a medida que la densidad se incrementa el flujo disminuye, una buena relación Densidad - Flujo es cuando podemos ver hasta cuándo se puede obtener un flujo estable, esto quiere decir que, para mantener el flujo constante, debemos tener una densidad media de todo el sistema analizado.

Velocidad – Flujo

A medida que el flujo aumenta se observa que la velocidad disminuye, de manera que cuando el flujo se aproxima a su máximo valor existirá mayor servicio esta dinámica

puede ocasionar que el flujo se reduzca por debajo de la curva indicando que la operación se encuentra en nivel de congestión.

Análisis de la determinación de la ecuación

El flujo se puede representar en el diagrama velocidad-densidad a través de la recta de la ecuación fundamental $q = v * k$ donde para cualquier punto sobre la recta las coordenadas (k, v) . Por lo tanto, el flujo máximo es: $q_m = v_m * k_m$, o lo que es lo mismo $q_m = v_l * k_c / 4$. La relación entre el flujo q y la densidad k , se obtienen reemplazando la ecuación fundamental así:

$$q = v * k = \left(v_l - \frac{v_l}{k} * k \right) * k$$

$$q = v_l * k - \left(\frac{v_l}{k} \right) * k^2$$

Para el modelo no lineal

La operación vehicular en términos de sus variables de flujo, generalmente tomadas como promedio. Esta situación se presenta cuando no existe una buena correlación lineal entre la velocidad y la densidad, los cuales presentan unas curvaturas. Genera una ecuación para describir la relación no lineal entre una variable de respuesta continua (densidad) y un predictor (velocidad), predice nuevas observaciones, utilice la regresión no lineal en lugar de la regresión habitual de mínimos cuadrados cuando no pueda modelar adecuadamente la relación con parámetros lineales, una tendencia logarítmica es una línea curva que se ajusta perfectamente y que es muy útil cuando los índices de cambios de los gastos aumentan o disminuyen rápidamente y después se estabiliza.

Esta línea de tendencia logarítmica puede utilizar valores positivos o negativos.

Análisis de determinación de la ecuación

Esta ecuación se determina bajo situaciones de congestionamiento elevado, ya que debido a que cuando K tiene a cero la velocidad se hacen tan grande que puede llegar a infinita, que sería de la condición del flujo libre. Por lo tanto, los parámetros del modelo son la velocidad a flujo máximo V_m , y la densidad de congestionamiento k_c , los cuales deben de ser especificados pues a partir de ellos se determinan otras características del flujo vehicular en estudio.

Para condiciones de flujo máximo:

$$V_e = V_m \text{ y } k = k_m$$

Reemplazando la velocidad y la densidad a flujo máximo

$$V_m = V_m \ln\left(\frac{k_c}{k_m}\right)$$

$$\ln\left(\frac{k_c}{k_m}\right) = 1$$

Donde:

$$k_m = k_c$$

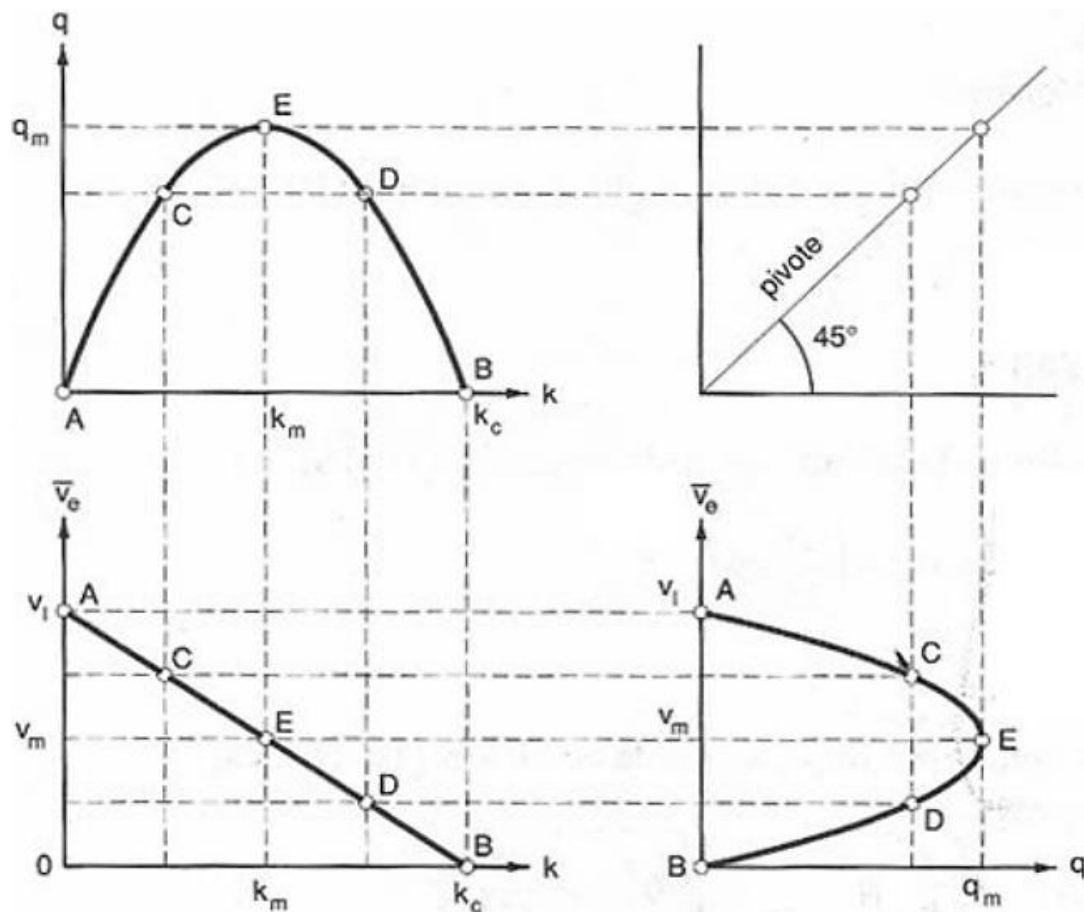
$$e = 2.718282$$

Y por lo tanto el flujo máximo q_m o capacidad es:

$$q_m = V_m * k_m = \frac{V_m * k_c}{e}$$

Condiciones de criterio de análisis

Figura N° 3.20 Diagrama fundamental del flujo vehicular



Fuente: Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones (Reyes Espíndola, y otros, 2007).

Condiciones de parámetros para una regresión lineal

Se caracterizan de la siguiente manera:

- Las velocidades presentan una variación creciente, pero de poca dispersión, manteniendo la pendiente de la recta de una manera continua en medio de los datos en estudio.
- Para densidad baja la velocidad es grande y el flujo aumenta con la densidad, ya que estaríamos en la región lineal del diagrama fundamental.
- Consideran espaciamiento y las velocidades individuales de los vehículos, con base de la teoría del seguimiento vehicular, se procede a hacer una relación velocidad densidad, se observa una dispersión de datos tabuladas; Para el caso de modelo lineal, es de movimiento gradual hacia arriba de los datos, no se espera que se repitan entre sí.
- Cuando los ingresos de densidades y velocidades, aumentan o disminuyen a un ritmo constante se encuentra ante un efecto lineal, es una relación funcional entre dos o más variables correlacionadas. Se utiliza para pronosticar una variable con base en la otra, tanto para pronósticos de series de tiempo como para pronósticos de relaciones causales.
- Existe una variación proporcional entre las variables de los ejes (velocidad y densidad) donde mantiene una proporción de variación constante.
- Los intervalos de promedio en velocidad son 3 - 9 seg, tomando en cuenta que a mayor separación la velocidad de los vehículos es mayor y los intervalos de tiempo que son menores los vehículos están más cerca uno del otro.
- Las densidades vehiculares se presentan entre 0-91 veh/km, considerándose dado muy bajo para una correlación parabólica ya que requiere mayor valor para que exista dispersión en la regresión lineal

Condiciones de parámetros para una regresión no lineal

Se caracterizan de la siguiente manera:

- De manera natural podemos pensar que existe una fuerte correlación entre el comportamiento de la velocidad promedio y la densidad de vehículos a lo largo de los puntos de estudio, de hecho, un aumento en la densidad provoca una

disminución de la velocidad, y muestra el comportamiento de estas dos variables como funciones del tiempo.

- Una tendencia logarítmica es una línea curva que se ajusta perfectamente y que es muy útil cuando los índices de cambios de los gastos aumentan o disminuyen rápidamente y después se estabiliza. Esta línea de tendencia logarítmica puede utilizar valores positivos o negativos.
- Separación temporal, muestra un ejemplo para la distribución de la separación de tiempos, corresponde a un valor de 5–10 seg. Correspondiendo a una densidad que tiene que ser mayor 30–50 veh/km y se muestra que la distribución de tiempos es más angosta antes de que se inicie el tráfico congestionado. Vemos que, para baja densidad, la velocidad es cercana a la velocidad máxima y para alta densidad, la velocidad es considerablemente menor.
- Para ello necesitamos un número grande de vehículos circulando en los puntos de estudio, de manera que hablar de variables como la densidad, la velocidad promedio y algunas otras variables nos proporcionen una medida significativa del comportamiento en el flujo.
- El modelo seleccionado como el más representativo del comportamiento del tráfico fue aquel que presentó el mayor coeficiente de correlación y cuya gráfica se ajusta mejor a la nube de puntos obtenida de los datos reales de campo.
- Mediante la ilustración gráfica se puede observar que el modelo lineal representa de mejor manera el comportamiento del tránsito en condiciones reales, ya que el tráfico urbano no se comporta de forma completamente lineal, especialmente cuando la densidad vehicular aumenta y se producen condiciones de congestión.
- Por esta razón, el uso de modelo lineal resulta más adecuado para describir el comportamiento del flujo vehicular en los accesos e intersecciones próximas al Puente 4 de Julio.

Correlación de gráficas para los modelos

Tabla N° 3.23 Tabla resumen de correlación de gráficas de modelos

Punto	Ecuación	Valor	Punto	Ecuación	Valor
1	Lineal	0,4095	18	Lineal	0,2140
	Logaritmo	0,3943		Logaritmo	0,2065
	Exponencial	0,4048		Exponencial	0,2126

2	Lineal	0,4778	19	Lineal	0,5134
	Logaritmo	0,4887		Logaritmo	0,5148
	Exponencial	0,4855		Exponencial	0,5152
3	Lineal	0,4995	20 Bajada	Lineal	0,2581
	Logaritmo	0,5675		Logaritmo	0,2433
	Exponencial	0,5216		Exponencial	0,2541
4	Lineal	0,8302	20 Subida	Lineal	0,1921
	Logaritmo	0,8634		Logaritmo	0,2103
	Exponencial	0,8599		Exponencial	0,1959
5	Lineal	0,1255	21	Lineal	0,8012
	Logaritmo	0,1415		Logaritmo	0,8431
	Exponencial	0,1279		Exponencial	0,8384
6	Lineal	0,5704	22	Lineal	0,5696
	Logaritmo	0,6006		Logaritmo	0,5750
	Exponencial	0,5903		Exponencial	0,5784
7	Lineal	0,2892	23 Entrada	Lineal	0,6990
	Logaritmo	0,2192		Logaritmo	0,6371
	Exponencial	0,2705		Exponencial	0,6899
8	Lineal	0,0831	23 Salida	Lineal	0,4110
	Logaritmo	0,0820		Logaritmo	0,3494
	Exponencial	0,0829		Exponencial	0,3907
9	Lineal	0,2826	24	Lineal	0,8762
	Logaritmo	0,2869		Logaritmo	0,9406
	Exponencial	0,2862		Exponencial	0,9410
10 Bajada	Lineal	0,8063	25	Lineal	0,2944
	Logaritmo	0,8211		Logaritmo	0,2982
	Exponencial	0,8216		Exponencial	0,2962
10 Subida	Lineal	0,9082	26	Lineal	0,4232
	Logaritmo	0,9695		Logaritmo	0,4155
	Exponencial	0,9628		Exponencial	0,4206
11	Lineal	0,5889	27	Lineal	0,7042
	Logaritmo	0,6326		Logaritmo	0,7202
	Exponencial	0,6153		Exponencial	0,7126
12	Lineal	0,8321	28	Lineal	0,8515
	Logaritmo	0,8498		Logaritmo	0,8484
	Exponencial	0,8588		Exponencial	0,8499
13	Lineal	0,8263	29 Entrada	Lineal	0,1840

	Logaritmo	0,8757		Logaritmo	0,1704
	Exponencial	0,8688		Exponencial	0,1819
14	Lineal	0,7311	29 Salida	Lineal	0,0425
	Logaritmo	0,7102		Logaritmo	0,0046
	Exponencial	0,7189		Exponencial	0,0405
15	Lineal	0,8938	30 Entrada	Lineal	0,5758
	Logaritmo	0,9095		Logaritmo	0,4834
	Exponencial	0,9085		Exponencial	0,5447
16	Lineal	0,6652	30 Salida	Lineal	0,0086
	Logaritmo	0,6782		Logaritmo	0,0102
	Exponencial	0,6728		Exponencial	0,0085
17	Lineal	0,8264			
	Logaritmo	0,8514			
	Exponencial	0,8477			

Fuente: Elaboración propia

Se aplicó todas líneas de tendencia para ver a cuál modelo de tráfico presenta mayor correlación para su aplicación en base a los datos extraídos de campo.

En los 30 puntos, cuyo análisis se lo realizó de una manera específica para cada punto, presenta una mayor correlación con la tendencia lineal, correspondiendo al modelo de tráfico lineal como el adecuado para aplicar en los tramos en estudio debido a sus características tanto volumen, velocidad y densidad vehicular.

El modelo lineal es el más indicado para el estudio de tráfico vehicular en todos los puntos, debido a su densidad y velocidad ya que sus valores extraídos del modelo lineal como la densidad a flujo máximo son mayores que en el método no lineal, resaltando que en la mayoría los puntos que se encuentran cercanos al puente 4 de Julio la densidades están entre 0-90 veh/km estableciendo que debe tenerse mayor precaución y prevención al ingreso y salida del puente ya que se acumulan mayores vehículos en estos puntos.

Los modelos no lineales (exponencial-logaritmo) no aplicables a la mayoría de puntos en la zona de estudio, pero que se realizó para analizar sus resultados con respecto al lineal, expresan resultados de menor valor densidad 13-40 veh/km con capacidad de máxima 400 a 1200 tomando valores distantes y diferenciados al modelo lineal, confirmando de igual forma el concepto teórico de que los modelos no lineales son aplicables a tramos de

congestionamiento muy elevados, es decir se podría aplicar estos valores a los puntos de ingreso y salida del puente.

Nivel de servicio

Tabla N° 3.24 Tabla de resultados del Nivel de Servicio

Modelo	Punto	Nivel de servicio	Punto	Nivel de servicio
Lineal	1	C	18	C
	2	C	19	D
	3	C	20 Bajada	C
	4	D	20 Subida	B
	5	C	21	D
	6	D	22	D
	7	C	23 Entrada	B
	8	B	23 Salida	C
	9	D	24	C
	10 Bajada	D	25	C
	10 Subida	C	26	C
	11	D	27	C
	12	D	28	D
	13	C	29 Entrada	B
	14	D	29 Salida	A
	15	D	30 Entrada	C
	16	D	30 Salida	A
	17	D		

Fuente: Elaboración propia

Se considera solo el resultado del modelo lineal para determinar el estudio de nivel de servicio, para lo cual resulta que los puntos 8, 20 Subida, 23 Entrada, 29 Entrada, 29 Salida, y 30 Salida presentan un nivel de servicialidad A y B, lo cual se establece un tráfico a flujo **libre y estable** demostrando así un resultado diferente, es decir un nivel de servicio que permite que el flujo sea constante y no permita interrupciones.

Los demás puntos se encuentran en un nivel de servicio, C y D en un tráfico de flujo **aun estable y próximo a inestable** estos valores nos demuestran que hay que tomar acciones en horas pico donde los vehículos circulan con menor fluidez y mayor tráfico.

Señalización

La señalización horizontal muestra una distribución variada a lo largo de los puntos evaluados del 1 al 30, La línea de eje segmentada es la más constante, presente en los puntos 1, 2, 3, 5, 6, 7, y 11, lo que garantiza continuidad visual en la mayoría de los tramos iniciales del recorrido, los pasos peatonales, tanto en formato de línea simple como tipo

cebra, se concentran principalmente en los puntos 1, 2, 3, 5, 6 y 7, lo que evidencia que la prioridad peatonal está reforzada solo en los primeros sectores, las flechas direccionales aparecen en los puntos 1, 2, 5, 7, 8 y 11, mientras que la línea amarilla continua solo se registra en el punto 10, mostrando una limitada delimitación de sentidos de circulación, los resaltos, elementos clave para el control de velocidad, están presentes únicamente en los puntos 15, 19 y 20, lo que refleja una falta de medidas de tráfico en la mayor parte del trayecto. Finalmente, las tachas reflectivas, instaladas en los puntos 1, 2, 3, 5, 6, 7 y 9, refuerzan la visibilidad nocturna solo en algunos puntos de la zona de estudio.

En conjunto, la señalización horizontal es funcional en los primeros puntos, pero disminuye notablemente a partir del punto 15, revelando la necesidad de una intervención para homogenizar y reforzar la continuidad de la señalización.

La señalización horizontal presenta una cobertura reducida y distribuida de forma muy puntual a lo largo de los 30 puntos, las señales clave como Pare, circulación obligatoria, velocidad Máxima de 20Km/h, el aviso de reductor de velocidad, parqueo y sentidos de vía están prácticamente ausentes en todo el recorrido, solo ciertos elementos aparecen de manera aislada: el cilindro de tránsito en los puntos 12, 20 y 24, el giro obligatorio a la derecha en los puntos 15, 22 y 23, el indicador de rotonda en los puntos 1, 2, 5, 8 y 14, así como el letrero de ingreso y salida de vehículos en el punto 20, las señales de no estacionar se ubican únicamente en los puntos 9, 10 y 20, mientras que las de paso peatonal aparecen en los puntos 5, 7, 15 y 24.

Esta presencia de señalización vertical evidencia que gran parte de la vía carece de advertencias y regulaciones claras para el conductor, lo que puede incrementar la probabilidad de maniobras incorrectas, excesos de velocidad y conflictos con peatones. En conjunto, se observa una urgente necesidad de complementar y estandarizar la señalización vertical para garantizar un entorno vial seguro y uniformemente regulado

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Para que el presente estudio tenga resultados satisfactorios al realizar su implementación es necesario que se tomen en cuenta las siguientes conclusiones:

- El presente trabajo tuvo como objetivo analizar el comportamiento del tráfico vehicular en los accesos al Puente 4 de Julio mediante la aplicación de modelos de tráfico lineales y no lineales, utilizando como variables principales la velocidad, el volumen y la densidad vehicular. Para el desarrollo del estudio se realizaron aforos vehiculares, mediciones de velocidad y cálculos de densidad en diferentes puntos de estudio, durante horarios de mayor demanda vehicular. Posteriormente, los datos fueron procesados, depurados y analizados mediante métodos estadísticos y modelos matemáticos de flujo vehicular.
- El análisis de los modelos permitió determinar que los modelos no lineales representan de mejor manera el comportamiento real del tráfico en los accesos al puente, debido a que el flujo vehicular en zonas urbanas congestionadas no presenta un comportamiento lineal, especialmente cuando la densidad vehicular aumenta y la velocidad disminuye considerablemente.
- Se concluye que los accesos al Puente 4 de Julio presentan problemas de funcionamiento vial, principalmente en horas pico, donde la densidad vehicular aumenta y el nivel de servicio disminuye, generando congestión vehicular. Esto demuestra que la infraestructura no fue acompañada de una adecuada planificación vial de sus accesos, el estudio demuestra la importancia de aplicar modelos de tráfico en la planificación urbana, ya que permiten prever problemas de congestión y mejorar la toma de decisiones en proyectos de infraestructura vial.
- Los puntos que no se encuentran próximos al puente presentan una densidad estable donde el flujo vehicular es adecuado, pero los puntos de ingreso y salida del Puente 4 de Julio presentan una circulación vehicular más baja y que debe tomarse en cuenta para tomar medidas preventivas como establecer áreas de

parqueo o desplazamiento de circulación mediante otras vías alternas que permitan un mejor flujo vehicular especialmente en horas pico.

- Los vehículos de mayor circulación en el tramo es el liviano privado y mediano privado, donde observa que la mayor cantidad suele transitar con vehículos propios y por tanto los puntos que se encuentran próximos al puente requiere zonas extensas de parqueo o estacionamientos para alivianar el congestionamiento cercano al puente.
- Al comparar el modelo lineal con los modelos no lineales, se observó que ambos permiten describir adecuadamente el tránsito, aunque con enfoques distintos. Los modelos no lineales reflejan con mayor detalle las variaciones bruscas de la velocidad cuando la vía se encuentra congestionada; sin embargo, el modelo lineal mostró un comportamiento estable y coherente en la mayor parte de las condiciones analizadas, especialmente en momentos de tránsito bajo y medio, que son los más frecuentes en el área de estudio. El modelo lineal permitió explicar de forma clara y sencilla cómo cambia la velocidad del tránsito a medida que aumenta la cantidad de vehículos, siendo una herramienta práctica y adecuada para el análisis del tráfico urbano.
- El uso del modelo lineal resultó apropiado para este estudio debido a su facilidad de aplicación y a la claridad con la que permite interpretar los resultados. Este modelo facilita identificar cuándo una vía comienza a saturarse, cómo disminuye la velocidad a medida que aumenta el tránsito y en qué punto el flujo vehicular deja de ser eficiente. Esta información es especialmente útil en zonas urbanas, donde las decisiones deben tomarse de manera práctica y comprensible.
- Mediante el modelo seleccionado se analizó el nivel de servicio e identifico las condiciones del mismo en cada punto de estudio. Se considera solo el resultado del modelo lineal para determinar el estudio de nivel de servicio, para lo cual resulta que los puntos 8, 20 Subida, 23 Entrada, 29 Entrada, 29 Salida, y 30 Salida presentan un nivel de servicialidad A y B, lo cual se establece un tráfico a flujo **libre y estable** demostrando así un resultado diferente, es decir un nivel de servicio que permite que el flujo sea constante y no permita interrupciones. Los demás

puntos se encuentran en un nivel de servicio, C y D en un tráfico de flujo **aun estable y próximo a inestable** estos valores nos demuestran que hay que tomar acciones en horas pico donde los vehículos circulan con menor fluidez y mayor tráfico.

- En conclusión, el modelo lineal no solo permitió describir de manera adecuada el comportamiento del tránsito urbano en el sector estudiado, sino que también se constituyó en una herramienta útil para apoyar la toma de decisiones relacionadas con la gestión vial. Los resultados obtenidos pueden servir como base para futuras mejoras en la organización del tránsito, contribuyendo a una circulación más ordenada, segura y eficiente en la ciudad.

4.2 Recomendaciones

Para que el presente estudio tenga resultados satisfactorios al realizar su implementación es necesario que se tomen en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Nuestra ciudad tiende a un crecimiento vehicular constante por el cual existe congestionamiento de la misma en muchos tramos de manera eventual o constante, pero para lo cual realizando estudios de comportamiento de tráfico en los puntos mencionados anteriormente y los que se encuentran próximos al Puente 4 Julio se debe tomar medidas necesarias para mejorar la fluidez vehicular.
- Una medida acertada en el Puente 4 de Julio establecer un sistema de circulación vehicular: Los puntos que presentan nivel de servicio B, C, D se encuentran relativamente de manera fluida es decir en condiciones de Flujo LIBRE, por lo cual no existe problema, en cambio los puntos que están de ingreso y salida del puente se debe tomar medidas preventivas ante la posible congestión, se podría establecer tramos variantes sobre todo en horas pico que permita mejor flujo en dicha zona de esta manera evitar congestionamiento vehicular.
- Se recomienda que el análisis del tránsito se tome en cuenta el tipo de vía que se está evaluando, por ejemplo en zonas urbanas, donde la circulación de vehículos se ve influenciada por semáforos, cruces peatonales y accesos frecuentes, el uso del modelo lineal resulta más adecuado por su facilidad de aplicación y por permitir entender de forma clara cómo cambia la velocidad cuando aumenta el

tránsito, en el caso de las carreteras, donde el flujo vehicular es más continuo y las velocidades son mayores, los modelos no lineales pueden representar mejor las situaciones de congestión. La comparación entre ambos enfoques permite seleccionar el modelo más apropiado y contribuye a una mejor planificación y gestión del tránsito.

- Se recomienda que antes de la ejecución de obras de infraestructura vial de gran magnitud, como puentes, distribuidores o avenidas principales, se realicen estudios integrales que no solo contemplen aspectos estructurales, sino también estudios de tráfico, estudios sociales, estudios urbanos y estudios de localización, con el fin de evitar inversiones que no respondan a las necesidades reales de la población y se recomienda realizar estudios de impacto vial antes de la construcción de cualquier obra importante, con el objetivo de analizar cómo afectará la nueva infraestructura al flujo vehicular existente, a las intersecciones cercanas y a la red vial en general.
- También se recomienda a las autoridades municipales implementar medidas de gestión del tráfico en los accesos al Puente 4 de Julio, como mejoras en la señalización, sincronización semafórica, redistribución de sentidos de circulación o ampliación de carriles en puntos críticos, con el fin de mejorar el nivel de servicio de la vía.
- Este estudio podría ser aplicada en diferentes tramos de la ciudad tomando en cuenta el flujo libre del vehículo siempre en cuando presente las mismas características de nivel vehicular.
- Es necesario que se controle bien a los conductores que transiten por esta zona ya que existen gran cantidad de vehículos y peatones (turistas), por lo cual mantener una velocidad adecuada de frenado y así una velocidad no elevada evitara en gran medida la posibilidad de accidentes, se recomienda que futuros estudios continúen analizando el comportamiento del tráfico en la zona, considerando el crecimiento del parque automotor y el desarrollo urbano de la ciudad.