

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

El flujo vehicular eficiente y seguro en las intersecciones viales es un aspecto fundamental para garantizar una adecuada movilidad urbana en el Casco Viejo de la ciudad de Tarija, esta problemática se agrava debido a la particularidad de sus calles estrechas y una alta densidad de tráfico, que generan problemas de congestión y afectan la calidad de los niveles de servicio. Para abordar estos desafíos, es fundamental contar con herramientas y métodos adecuados para evaluar el nivel de servicio ante esta situación, surge la necesidad de realizar una comparación entre el Método HCM 2010 y el software VISSIM para determinar cuál de los dos enfoques es el más adecuado para evaluar el nivel de servicio en las intersecciones del Casco Viejo de la ciudad de Tarija, para poder planificar mejoras en las intersecciones.

El método HCM 2010 es una guía ampliamente utilizada para evaluar el rendimiento y la capacidad de las carreteras y las intersecciones ya que proporciona una serie de fórmulas y procedimientos para estimar el nivel de servicio en función de variables como la velocidad, el volumen de tráfico y la capacidad de las vías.

Mientras el software VISSIM es una herramienta de simulación de tráfico que permite modelar el comportamiento de los vehículos, las interacciones entre ellos y analizar el rendimiento de las intersecciones ya que utiliza algoritmos y modelos de tráfico avanzados para simular situaciones reales y proporcionar resultados muy precisos sobre el nivel de servicio.

Esta investigación se propone recopilar datos de tráfico en las intersecciones seleccionadas, utilizando técnicas de conteo y observación, posteriormente con estos datos obtener el nivel de servicio mediante el método HCM 2010 y el software VISSIM donde el objetivo principal será analizar y comparar los resultados obtenidos por ambos métodos, para determinar cuál es el más eficiente considerando variables como los tiempos de espera, las velocidades promedio y otros indicadores relevantes.

Los resultados de esta investigación serán de gran relevancia para la toma de decisiones relacionadas con la gestión del tráfico y la planificación de mejoras en las intersecciones, también permitirá identificar la metodología más precisa y efectiva para evaluar el nivel de servicio en estas además, se espera que esta comparación contribuya al conocimiento existente sobre la eficacia y aplicabilidad de estos enfoques en contextos urbanos específicos, como es el caso de las intersecciones del Casco Viejo de la ciudad de Tarija.

1.2. Justificación

Las intersecciones del casco viejo de la ciudad de Tarija son puntos donde los flujos de tráfico se cruzan, y su eficiencia afecta directamente la movilidad y el tiempo de viaje de los conductores y pasajeros, estas intersecciones son lugares donde pueden ocurrir accidentes y colisiones, por lo cual evaluar el nivel de servicio adecuadamente puede contribuir a diseñar intersecciones más seguras y prevenir situaciones de alto riesgo para los conductores y peatones.

Comparar diferentes métodos de evaluación de nivel de servicio ayuda a identificar cuál es más adecuado para cada situación, lo que puede llevar a mejoras en el flujo del tráfico. La comparación entre el Método HCM 2010, un enfoque analítico tradicional, y el software VISSIM, que utiliza simulaciones, permite tomar mejores decisiones informadas.

El software VISSIM es una tecnología más avanzada al permitir la simulación del tráfico en tiempo real y considerar comportamientos detallados de los vehículos, comparar esta tecnología con un enfoque analítico más simple como el Método HCM 2010 proporciona información sobre cuándo y cómo puede ser beneficioso utilizar tecnologías más avanzadas.

Este estudio puede proporcionar información sobre qué enfoque es más adecuado en diferentes circunstancias, permitiendo una aplicación más precisa y eficiente de las metodologías. La comparación entre el método HCM 2010 y el software VISSIM es relevante tanto en el ámbito de la investigación como en el de la práctica profesional.

Los resultados del estudio pueden ser útiles para futuras investigaciones en el casco viejo de la ciudad de Tarija, como para ingenieros de tráfico, planificadores urbanos y profesionales involucrados en la gestión del tráfico y el transporte.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Situación Problemática

La ingeniería de tráfico se ocupa del estudio, diseño y gestión de sistemas de transporte para lograr un flujo eficiente y seguro de vehículos y peatones; En este contexto, el nivel de servicio es una medida utilizada para evaluar el desempeño de una intersección en términos de calidad y comodidad; Para determinar el nivel de servicio en intersecciones, se pueden utilizar herramientas útiles como el método HCM 2010 y el software VISSIM. Ambas herramientas son útiles para determinarlo.

El método HCM 2010 y software VISSIM son dos herramientas utilizadas para evaluar el nivel de servicio en intersecciones de tráfico, el método HCM 2010 es un enfoque analítico que utiliza fórmulas y modelos teóricos para calcular el nivel de servicio, mientras que VISSIM es un software de simulación de tráfico que permite modelar el comportamiento del tráfico en tiempo real. Ambos métodos tienen sus ventajas y pueden proporcionar información valiosa para la evaluación del nivel de servicio en intersecciones.

No realizar este estudio haría imposible comprender el nivel de servicio en las intersecciones que se está estudiando, lo que dificultaría más encontrar soluciones específicas, ya que el nivel de servicio es fundamental para comprender cómo funciona actualmente una intersección y qué mejoras se pueden implementar.

Es necesario hacer una comparación entre el método HCM 2010 con el software VISSIM, para encontrar el nivel de servicio y así obtener resultados más precisos que ayuden a abordar alternativas para mejorar la eficiencia del flujo vehicular en las intersecciones.

1.3.2. Formulación del Problema

¿De qué manera las mediciones del nivel de servicio en intersecciones de tráfico del casco viejo de la ciudad de Tarija, determina la mejor eficiencia entre los métodos HCM 2010 y Software VISSIM?

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

Comparar los métodos de medición del nivel de servicio HCM 2010 con el software VISSIM; considerando intersecciones de tráfico en el casco viejo de la ciudad de Tarija; con la finalidad de conocer el de mayor eficiencia en esas condiciones.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Recopilar información de campo necesaria de los métodos HCM 2010 y el software VISSIM.
- Elaborar un modelo con ayuda del software VISSIM, calibrado y validado.
- Determinar el nivel de servicio en las intersecciones del casco viejo de la ciudad de Tarija con el método HCM 2010 y el software VISSIM.
- Establecer el nivel de servicio de la situación actual mediante el método HCM 2010 y el software VISSIM.
- Comparar los resultados entre el método HCM 2010 con el software VISSIM.

1.5. Planteamiento de la Hipótesis y sus Variables

1.5.1. Formulación de la Hipótesis

El software VISSIM es mejor que el método HCM 2010 en la medición de niveles de servicio.

1.5.2. Identificación y conceptualización de variables

Se trata de mejorar la confiabilidad del nivel de servicio mediante dos métodos.

- **Variable:** nivel de servicio

1.5.3. Conceptualización y operacionalización de las variables

Variable	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Nivel de servicio	Sirve para medir la calidad del flujo vehicular. Tomando en cuenta la velocidad, volumen de automóviles, tiempo de recorrido, ancho de carril, etc.	Nivel de servicio	A, B, C, D, E, F	Dividir el volumen aforado entre la capacidad vehicular
		Volumen	Vehículos	Aforo de vehículos en cada intersección
		Velocidad	[m/s]	División entre la distancia recorrida y el tiempo total de recorrido
		Tiempo de recorrido	[Seg]	Medición de tiempo que tarda un vehículo en desplazarse entre dos puntos
		Ancho de carril	[m]	Medir la distancia destinada al tránsito de vehículos en una sola fila
		Capacidad vehicular	[Veh/hr]	Número máximo de vehículos que puede pasar por un punto

1.6. Determinación del alcance de la investigación

El estudio se enfoca en Tarija, Bolivia, centrado en el área del casco viejo de la ciudad. Se ha identificado las intersecciones más problemáticas para llevar a cabo un estudio detallado, delimitado desde la calle Campero hasta la Suipacha, y desde la calle 15 de Abril hasta la avenida Domingo Paz. Estas áreas críticas fueron seleccionadas para realizar

el conteo de vehículos, también conocido como aforo. Esta red abarca 25 cuadras y 30 intersecciones distribuidas cada una con dos accesos teniendo un total de 60 puntos.

El alcance real de la presente investigación se la realiza identificando primero el número de variables, en este caso existe una sola variable que es el Nivel de servicio, en tal sentido corresponde el nivel “Descriptivo”, de esta manera la variable no es manipulada por el investigador lo que responde a un tipo de diseño “No experimental”, transeccional debido a que los fenómenos ocurrirán en un momento único para desarrollar la investigación.

El objetivo de este proyecto es comparar los métodos de medición del nivel de servicio establecidos por el HCM 2010 con los proporcionados por el software VISSIM, aplicados a intersecciones con semáforos en el casco viejo de la ciudad de Tarija. La finalidad es identificar cuál de los métodos ofrece una mayor eficiencia para determinar los niveles de servicio actuales en las condiciones específicas de la zona de estudio.

Los datos de aforo recopilados son fundamentales para calcular el nivel de servicio mediante el método HCM 2010 y el software VISSIM, con el fin de comparar ambos enfoques y evaluar cuál proporciona resultados más confiables.

Se realizarán aforos vehiculares en todas las calles que conforman la red durante 16 horas: 06:00 – 22:00, un día por calle para la determinación de la hora pico.

Se realizarán conteos de vehículos en todas las intersecciones que compone el área de estudio durante las horas pico, en los tres intervalos de tiempo definidos previamente, durante un mes en cada intersección, para determinar los respectivos volúmenes de tráfico.

Se realizará el registro de los aforos vehiculares que serán clasificados de la siguiente manera:

- Según su función: público o privado
- Según el tamaño: Liviano y mediano.
- De acuerdo al sentido de circulación: Giro izquierda, giro derecho o de frente

Cualquier otra categoría de vehículo será excluida, así como también se omitirán los conteos de motocicletas y bicicletas.

La velocidad se calculará para cada calle de la red, utilizando la velocidad de punto a lo largo de una distancia de 25 metros durante la hora pico. Los tiempos de recorrido se medirán en un tramo determinado de la zona durante la hora pico. Las longitudes de las colas se registrarán en cada intersección durante ese mismo período. Para la calibración del modelo, se emplearán las longitudes de las colas y/o los tiempos de recorrido como parámetros de referencia.

Se emplea el programa PTV VISSIM para construir el modelo, el cual facilita la comprensión del tráfico en las diferentes intersecciones. Esto posibilita determinar el nivel de servicio en estas intersecciones y su comparación con el manual HCM 2010 para comprobar la exactitud de los resultados generados por el modelo.

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO SOBRE EL HCM 2010 Y EL SOFTWARE VISSIM

2.1. Ingeniería de tráfico

2.1.1. Definición de tráfico¹

Las siguientes definiciones, sirven de base para entender el concepto tanto técnico como científico de la Ingeniería de Tráfico y Transporte:

- **Transportar:** Llevar una cosa de un paraje o lugar a otro. Llevar de una parte a otra por el porte o precio convenido.
- **Transporte o transportación:** Acción y efecto de transportar o transportarse.
- **Transitar:** Ir o pasar de un punto a otro por vías, calles o parajes públicos.
- **Tránsito:** Acción de transitar. Sitio por donde se pasa de un lugar a otro.
- **Tráfico:** Tránsito de personas y circulación de vehículos por calles, carreteras, caminos, etc.

Ingeniería de Tráfico: Es aquella fase de la ingeniería de transporte que tiene que ver con la planeación segura y eficiente, el proyecto geométrico y la operación del tránsito por calles y carreteras, sus redes, terminales, tierras adyacentes y su relación con otros modos de transporte motorizado y no motorizado.

Ingeniería de Transporte: Es la aplicación de los principios tecnológicos y científicos a la planeación, al proyecto funcional, a la operación y a la administración de las diversas partes de cualquier modo de transporte, con el fin de proveer la movilización de personas y mercancías de una manera segura, rápida, confortable, conveniente, económica y compatible con el medio ambiente.

¹ CAL Y MAYOR, Rafael., CARDENAS, James. *Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones*, México, 9ª Ed Alfaomega. 2018, p.23.

2.2. Objetivos y alcance de la ingeniería de tráfico²

El objetivo principal de la Ingeniería de Tráfico es conseguir que la circulación de personas y mercancías sea segura, rápida y económica.

La Ingeniería de Tránsito analiza lo siguiente:

2.2.1. Características del tránsito

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.

2.2.2. Reglamentación del tránsito

Se debe establecer los reglamentos del tránsito, como ser: la responsabilidad y licencias de los conductores, peso y dimensiones de los vehículos, control de accesorios obligatorios y equipo de iluminación, acústicos y de señalamiento.

También se debe tomar en cuenta la prioridad de paso, tránsito en un sentido, tiempo de estacionamiento, el control policiaco en intersecciones, sanciones relacionadas con accidentes, etc.

2.2.3. Señalamiento y dispositivos de control

Este aspecto tiene por objeto determinar los proyectos, construcción, conservación y uso de las señales, iluminación, dispositivos de control, etc. Los estudios deben complementarse con investigaciones de laboratorio, aunque el técnico en tránsito, no es

² TAPIA, Juan., VEIZAGA, Romel. *Apoyo Didáctico para la Enseñanza y Aprendizaje de la Asignatura de Ingeniería de Tráfico*, Bolivia, Universidad Mayor de San Simón Facultad de Ciencias y Tecnología Carrera de Ingeniería Civil, 2006, p.4.

responsable de la fabricación de estas señales y semáforos a él incumbe señalar su alcance, promover su empleo y juzgar su eficiencia.

2.2.4. Planificación vial

Es necesario analizar y realizar investigaciones para poder adaptar el desarrollo de las calles y carreteras a las necesidades del tránsito, y de esta manera conocer los problemas que se presentan al analizar el crecimiento demográfico, las tendencias del aumento en el número de vehículos y la demanda de movimiento de una zona a otra.

Se debe establecer claramente los objetivos concretos y operacionales que se quiere alcanzar.

2.2.5. Administración

Es necesario examinar las relaciones entre las distintas dependencias públicas que tienen competencia en materia vial y su actividad administrativa al respecto. Deben considerarse los distintos aspectos tales como: económico, político, fiscal, de relaciones públicas, de sanciones, etc.

2.3. Componentes de la ingeniería de tráfico³

Con el propósito de estudiar los aspectos operacionales de la ingeniería de tránsito, es importante analizar, primeramente, de manera muy general, los elementos básicos que hacen que se produzcan los flujos de tránsito y, que por lo tanto interactúan entre sí; éstos son:

- **El usuario:** conductores, peatones y pasajeros.
- **El vehículo:** privado, público y comercial.
- **La vía o vialidad:** calles y carreteras.

³ CAL Y MAYOR, Rafael., CARDENAS, James. *Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones*, México, 9a Ed Alfaomega. 2018, p.44.

2.3.1. Usuario

Siempre que se trate de la planeación, estudio, proyecto y operación de un sistema de transporte automotor, se debe conocer las habilidades, limitaciones y requisitos que tiene el usuario, como elemento de la ingeniería de tránsito.

Los seres humanos, como usuarios de los diferentes medios de transporte, son elementos primordiales del tránsito por calles y carreteras, quienes deben ser estudiados y entendidos claramente con el propósito de poder ser controlados y guiados en forma apropiada.

2.3.1.1. El Peatón

Se puede considerar como peatón potencial a la población en general, desde personas de un año hasta de cien años de edad, prácticamente todos somos peatones, por lo tanto, a todos nos interesa este aspecto, también, puede decirse, que el número de peatones en un país casi equivale al censo de la población.

Por otra parte, es importante estudiar al peatón porque es, por jerarquía entre modos, el más vulnerable, lo cual lo convierte en un componente importante dentro de la seguridad vial.

En la mayoría de los países del mundo, que cuentan con un número grande de vehículos, los peatones muertos anualmente en accidentes de tránsito ocupan una cifra muy alta. Muchos de los accidentes sufridos por peatones ocurren porque éstos no cruzan en las zonas demarcadas para ellos o porque no siempre los flujos están adecuadamente canalizados.

Tanto el conductor como el peatón, en muchos casos, no han asimilado el medio en que se mueven y lo que significan como usuarios del transporte.

En las actividades comunes del conductor y el peatón, en las calles, en la vida diaria, sigue existiendo situaciones anormales. Esto se nota más claramente en aquellos sitios en que el conductor del vehículo automotor no le cede el paso al peatón donde comparten un mismo espacio para circular. Y por otro lado, con la gente que viene de fuera del medio, como el provinciano que llega a una ciudad; está indeciso en los cruceos 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, razón por la cual mundialmente se ha hecho conciencia de dicha situación.

2.3.1.2. Conductor

El conductor constituye el elemento de tránsito más importante, ya que el movimiento y calidad de circulación de los vehículos dependerá fundamentalmente de ellos para adaptarse a las características de la carretera y de la circulación. Para el estudio de los conductores es necesario conocer el comportamiento o factores que influyen en sus condiciones físicas y psíquicas, sus conocimientos, su estado de ánimo, etc.

Se ha encontrado para el conductor un tiempo mínimo de reacción para actuar que se detallara a continuación:

- Para un vehículo sin movimiento un tiempo promedio de 0.25 seg. por ejemplo el tiempo de reacción para arrancar el vehículo cuando el semáforo cambia de rojo a verde.
- Para un vehículo sin movimiento en semáforos aislados un tiempo de 0.25 seg.
- Para un vehículo en movimiento en semáforos aislados un tiempo de 0.83 seg.
- En algunos casos podría llegar hasta 2 ó 3 seg.

2.3.1.2.1. Factores que pueden modificar las facultades del individuo en el tiempo de reacción.

- La fatiga.
- Las enfermedades o deficiencias físicas.
- El alcohol y las drogas. - Su estado emocional.
- El clima.

- La época del año.
- Las condiciones del tiempo.
- La altura sobre el nivel del mar.
- El cambio del día a la noche y viceversa.

2.3.1.2.2. Características del conductor⁴

Las decisiones y acciones de un conductor dependen principalmente de la información que transmiten los sentidos, cuya información llegan al conductor a través de los ojos, oídos y terminales nerviosas. A continuación, citaremos las características más importantes del conductor:

- **Cono de agudeza visual**, se refiere a la visión más nítida de una persona que está concentrada dentro de un cono con un ángulo central de alrededor de 3 grados respecto a la horizontal. La agudeza visual es razonablemente nítida dentro de un ángulo cónico de hasta 10 grados aproximadamente.
- **Visión periférica**, se refiere a que una persona puede percibir objetos periféricos dentro de un cono con ángulo central de hasta 160 grados.
- **Información visual**, se refiere a que el conductor mediante movimientos de la cabeza y los ojos aumenta la cantidad de información visual recibida.
- **Encandilamiento**, se refiere a la visión del conductor en condiciones de encandilamiento.
- **Sensibilidad visual**, a la luz y al color (daltonismo).
- **La altura del ojo del conductor**, respecto a la superficie será de 1,14 metros.
- **Percepción del espacio**, es decir, que al divisar un obstáculo u objeto a velocidades altas la distancia de frenado será mayor.

⁴ TAPIA Arandia, J. G., VEIZAGA Balta, R. D., *Apoyo Didáctico para la Enseñanza y Aprendizaje de la Asignatura de Ingeniería de Tráfico*, Universidad Mayor de San Simón Facultad de Ciencias y Tecnología Carrera de Ingeniería Civil. 2006. p. 9.

2.3.2. Vehículo⁵

En ciertos países, la incorporación de mayor cantidad de vehículos no solo ha mejorado el transporte, ya que también ha elevado el nivel económico general del país, por lo que se puede afirmar que la relación de habitantes por vehículo es un indicador para apreciar el progreso de un determinado territorio.

Por lo tanto, es indispensable que cada país mejore las condiciones del transporte para su progreso y de esta manera poder transportar los bienes de consumo desde las fuentes de producción hasta los mercados y de allí comercializarlo a la población.

Actualmente, es inevitable que aumente el número de vehículos cada año, lo que es deseable y conveniente, logrando así reducir más la actual relación de habitantes por vehículo.

En consecuencia, el segundo elemento componente del tránsito, el vehículo, irremediablemente va en aumento.

2.3.2.1. Clasificación y características del vehículo de proyecto

Vehículo de proyecto es aquel tipo de vehículo hipotético, cuyo peso, dimensiones y características de operación son utilizados para establecer los lineamientos que guiaran el proyecto geométrico de las carreteras, calles e intersecciones, tal que estas puedan acomodar vehículos de este tipo.

Para que la circulación sea segura, económica y cómoda para conductores y pasajeros, al proyectar las carreteras es necesario tener en cuenta las características de los vehículos. Estas características pueden ser muy diferentes de unos vehículos a otros, ya que actualmente circulan tipos muy variados. La forma de clasificar la variedad de vehículos que circulan por la vía de estudio se basa en el agrupamiento de vehículos que tienen comportamiento similar en las vías públicas.

⁵ TAPIA Arandia, J. G., VEIZAGA Balta, R. D., *Apoyo Didáctico para la Enseñanza y Aprendizaje de la Asignatura de Ingeniería de Tráfico*, Universidad Mayor de San Simón Facultad de Ciencias y Tecnología Carrera de Ingeniería Civil. 2006. p. 10.

A continuación, se muestra la clasificación vehicular según el método Manual Colombiano:⁶

2.3.2.1.1. Según el tamaño

❖ Vehículos livianos

Son los vehículos cuya longitud no supera los 3.5 m. como indica el manual colombiano, y solo cuentan con 2 ejes. Entran en esta clasificación taxis, automóviles y Vans.

❖ Vehículos Medianos

Son los vehículos cuya longitud supera los 3.5 m y menor a 7m y pueden tener en el eje trasero más de dos ruedas. Entran a esta clasificación los micros, vagonetas de cuatro puertas y camionetas doble cabina.

❖ Vehículos Pesados

Son los vehículos cuya longitud excede los 7 m. y cuentan con más de dos ejes tándem. Puesto que no se permite el acceso a este tipo de vehículos en las intersecciones estudiadas no se tuvieron en cuenta.

2.3.2.1.2. Según su función

❖ Vehículos Privados

Son los vehículos cuya función está al servicio de una persona particular, es decir no es usado para el transporte de pasajeros.

❖ Vehículos Públicos

Vehículos dedicados al transporte de pasajeros, son exclusivamente dedicados a este rubro. Entran en esta clasificación: taxis, micros y taxi trufis.

⁶ Manual Colombiano

2.3.3. La vialidad o vía⁷

El tercer elemento fundamental del tráfico es la vialidad o la vía por el que se mueven los vehículos.

La vía es una infraestructura de transporte especialmente acondicionada dentro de toda una faja de terreno, con el propósito de permitir la circulación de vehículos de manera continua en el espacio y en el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y comodidad. El elevado nivel de vida de un país se relaciona con un excelente sistema vial o viceversa.

Uno de los patrimonios más valiosos con el que cuenta cualquier país, es la infraestructura y en particular la del sistema vial, por lo que su magnitud y calidad representan uno de los indicadores del grado de desarrollo del mismo. Por esto es común encontrar un excelente sistema vial en un país de un alto nivel de vida y un sistema vial deficiente es un país subdesarrollado.

2.3.3.1. Clasificación de las vías⁸

Sin embargo en Bolivia existe una clasificación definida en el Decreto Supremo 25134 de 1998 que define el Sistema Nacional de Carretera. Esta clasificación no está orientada al diseño, sino a la administración de las redes viales del país, definiendo tres niveles dentro del sistema: Red Fundamental, Redes Departamentales y Redes Municipales. La Red Fundamental está bajo la responsabilidad de la Administradora Boliviana de Carreteras.

Categoría de las vías

La clasificación para diseño consulta seis categorías divididas en dos grupos, ellas son:

Carreteras: Autopistas, autorrutas y primarias

Caminos: Colectores, locales y de desarrollo

- ❖ **Autopista (O):** Son carreteras nacionales diseñadas desde su concepción original para cumplir con las características y niveles de servicio que se describen a

⁷ TAPIA Arandia, J. G., VEIZAGA Balta, R. D., *Apoyo Didáctico para la Enseñanza y Aprendizaje de la Asignatura de Ingeniería de Tráfico*, Universidad Mayor de San Simon Facultad de Ciencias y Tecnología Carrera de Ingeniería Civil. 2006. p. 25.

⁸ Manual de Carreteras de la ABC

continuación. Normalmente su emplazamiento se sitúa en terrenos rurales donde antes no existían obras viales de alguna consideración, que impongan restricciones a la selección del trazado y pasando a distancias razonablemente alejadas del entorno suburbano que rodea las ciudades o poblados (Circunvalaciones).

- ❖ **Autorrutas (I.A):** Son carreteras nacionales existentes a las que se les ha construido o se le construirá una segunda calzada prácticamente paralela a la vía original. Normalmente se emplazan en corredores a lo largo de los cuales existen extensos tramos con desarrollo urbano, industrial o agrícola intensivo, muy próximo a la faja de la carretera.

Están destinadas principalmente al tránsito de paso, de larga distancia, pero en muchos sub-tramos sirven igualmente al tránsito interurbano entre localidades próximas entre sí. Podrán circular por ellas toda clase de vehículos motorizados incluso aquellos que para hacerlo deban contar con una autorización especial, y que no estén expresamente prohibidos o cuyo tipo de rodado pueda deteriorar la calzada.

- ❖ **Carreteras primarias (I.B):** Son carreteras nacionales o regionales, con volúmenes de demanda medios a altos, que sirven al tránsito de paso con recorridos de mediana y larga distancia, pero que sirven también un porcentaje importante de tránsito de corta distancia, en zonas densamente pobladas. La sección transversal puede estar constituida por carriles unidireccionales separadas por un cantero central que al menos de cabida a una barrera física entre ambas calzadas más 1,0 m libre desde ésta al borde interior de los carriles adyacentes, pero por lo general se tratará de una calzada con dos carriles para tránsito bidireccional.
- ❖ **Caminos colectores (II):** Son caminos que sirven tránsitos de mediana y corta distancia, a los cuales acceden numerosos caminos locales o de desarrollo. El servicio al tránsito de paso y a la propiedad colindante tiene una importancia similar. Podrán circular por ellos toda clase de vehículos motorizados. En zonas densamente pobladas se deberán habilitar carriles auxiliares destinados a la construcción de ciclo vías.

Su sección transversal normalmente, es de dos carriles bidireccionales, pudiendo llegar a tener calzadas unidireccionales.

- ❖ **Caminos locales (III):** Son caminos que se conectan a los caminos colectores. Están destinados a dar servicio preferentemente a la propiedad adyacente. Son pertinentes las ciclo vías. La sección transversal prevista consulta dos carriles bidireccionales.
- ❖ **Caminos de desarrollo:** Están destinados a conectar zonas aisladas y por ellas transitarán vehículos motorizados y vehículos a tracción animal. Sus características responden a las mínimas consultadas para los caminos públicos, siendo su función principal la de posibilitar tránsito permanente aun cuando las velocidades sean reducidas, de hecho, las velocidades de proyecto que se indican a continuación son niveles de referencia que podrán ser disminuidos en sectores conflictivos. La sección transversal que se les asocia debe permitir el cruce de un vehículo liviano y un camión a velocidades tan bajas como 10 km/hr y la de dos camiones, estando uno de ellos detenido.

Tipos de terreno:

- ❖ **Terreno llano:** Está constituido por amplias extensiones libres de obstáculos naturales y una cantidad moderada de obras construidas por el hombre, lo que permite seleccionar con libertad el emplazamiento del trazado haciendo uso de muy pocos elementos de características mínimas. El relieve puede incluir ondulaciones moderadas de la rasante para minimizar las alturas de cortes y terraplenes; consecuentemente la rasante de la vía estará comprendida mayoritariamente entre $\pm 3\%$
- ❖ **Terreno ondulado:** Está constituido por un relieve con frecuentes cambios de cota que si bien no son demasiado importantes en términos absolutos, son repetitivos, lo que obliga a emplear frecuentemente pendientes de distinto sentido que pueden fluctuar entre 3 al 6%, según la Categoría de la ruta. El trazado en planta puede estar condicionado en buena medida por el relieve del terreno, con el objeto de evitar cortes y terraplenes de gran altura, lo que justificará un uso más frecuente

de elementos del orden de los mínimos. Según la importancia de las ondulaciones del terreno se podrá tener un Ondulado Medio o uno Franco o Fuerte.

- ❖ **Terreno montañoso:** Está constituido por cordones montañosos o “Cuestas”, en las cuales el trazado salva desniveles considerables en términos absolutos. La rasante del proyecto presenta pendientes sostenidas de 4 a 9%, según la Categoría del Camino, ya sea subiendo o bajando. La planta está controlada por el relieve del terreno (Puntillas, Laderas de fuerte inclinación transversal, Quebradas profundas, etc.) y también por el desnivel a salvar, que en oportunidades puede obligar al uso de Curvas de Retorno. En consecuencia, el empleo de elementos de características mínimas será frecuente y obligado.

En trazados por donde se atraviesan zonas urbanas o suburbanas, salvo casos particulares, no es el relieve del terreno el que condiciona el trazado, siendo el entorno de la ciudad, barrió industrial, uso de suelo, etc., el que los impone. Situaciones normalmente reguladas por el Plan Regulador y su Seccional correspondiente.

2.3.3.2. Partes integrantes de una vía⁹

- **Calzada o superficie de rodamiento**

Es aquella faja acondicionada especialmente para el tránsito de los vehículos.

- **Carril**

Es aquella parte de la calzada o superficie de rodamiento, de ancho suficiente para la circulación de una sola fila de vehículos.

- **Acotamientos o bermas**

Son fajas laterales que sirven de confinamiento lateral de la superficie de rodamiento y que eventualmente puede usarse como estacionamiento provisional para alojar vehículos en caso de emergencia.

⁹ TAPIA Arandia, J. G., VEIZAGA Balta, R. D., *Apoyo Didáctico para la Enseñanza y Aprendizaje de la Asignatura de Ingeniería de Tráfico*, Universidad Mayor de San Simón Facultad de Ciencias y Tecnología Carrera de Ingeniería Civil. 2006. p. 27.

- **Corona**

Es la superficie terminada de una carretera, comprendida entre los hombros, por lo que incluye la calzada más los acotamientos.

- **Hombro**

Es el punto de intersección de las líneas definidas por el talud del terraplén y la corona, o por ésta y el talud interior de la cuneta

- **Cunetas**

Van paralelamente a los acotamientos, destinadas a facilitar el drenaje superficie longitudinal de la carretera.

- **Contra cunetas o zanjas de coronamiento**

Puede existir en aquellos tramos donde se prevea la necesidad de desviar las corrientes de agua y evitar que invadan la carretera o sobrecarguen la cuneta.

- **Taludes**

Son las superficies laterales inclinadas, comprendidos entre las cunetas y el terreno natural.

- **Drenaje transversal**

Está formado por las alcantarillas y estructuras mayores por ejemplo los puentes, que permitan que el agua cruce de un lado a otro de la carretera sin invadir su superficie.

- **Rasante**

Como eje, es la proyección vertical del desarrollo del eje real de la superficie de rodamiento de la carretera.

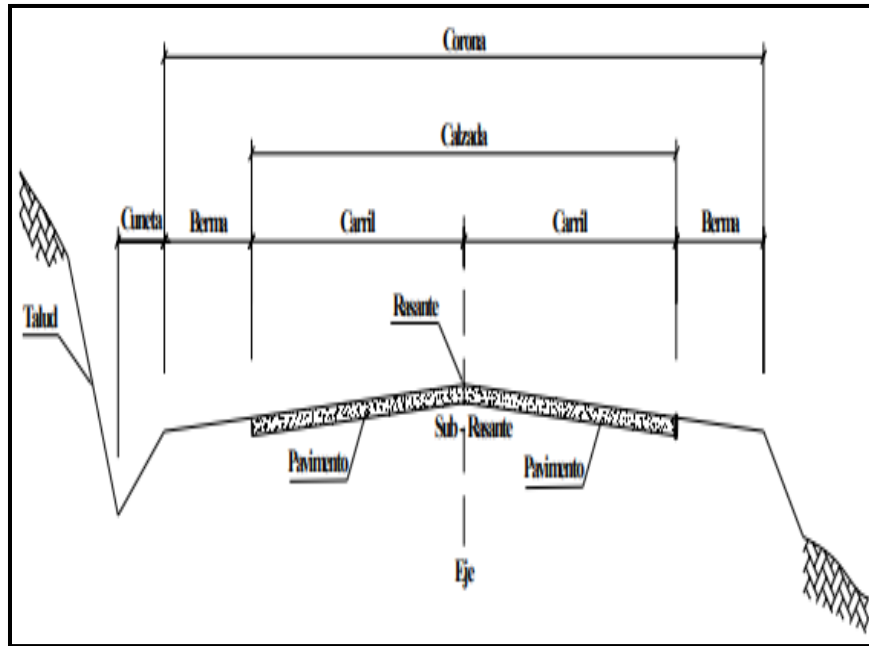
- **Subrasante**

Es la superficie de terreno especialmente acondicionada sobre la cual se apoya la estructura del pavimento

- **Pavimento**

Es la superficie especialmente tratada con materiales perdurables y que permitan un tránsito rápido, eficiente y sin polvo.

Figura 1. Partes integrantes de una vía



Fuente: Diseño Geométrico de Carreteras de James Cárdenas Grisales

2.4. Parámetros fundamentales del tráfico.¹⁰

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.

Son tres los parámetros fundamentales a la hora de hacer un estudio de tráfico:

- Volumen de tráfico.
- Velocidad de tráfico.
- Densidad de tráfico.

¹⁰ TAPIA Arandia, VEIZAGA Balta. 2006.

2.4.1. Volumen de Tráfico¹¹

Generalidades

Al igual que muchos sistemas dinámicos, los medios físicos y estáticos del tránsito, tales como las carreteras, las calles, las intersecciones, las terminales, etc., están sujetos a ser solicitados y cargados por volúmenes de tránsito, los cuales poseen características espaciales (ocupan un lugar) y temporales (consumen tiempo).

Las distribuciones temporales de los volúmenes de tránsito son el producto de los estilos y formas de vida que hacen que las gentes sigan determinados patrones de viaje basados en el tiempo, realizando sus desplazamientos durante ciertas épocas del año, en determinados días de la semana o en horas específicas del día.

El proyecto de una intersección o calle dependen fundamentalmente del volumen de tránsito o demanda que circulará durante un intervalo de tiempo dado, de su variación, de su tasa de crecimiento y de su composición.

Los estudios sobre volúmenes de tránsito son realizados con el propósito de obtener información relacionada con el movimiento de vehículos y/o personas sobre puntos o secciones específicas dentro de un sistema vial. Dichos datos de volúmenes de tránsito son expresados con respecto al tiempo, y de su conocimiento se hace posible el desarrollo de estimativos razonables de la calidad del servicio prestado a los usuarios.

2.4.1.1. Volumen de tráfico

Se define volumen de tráfico, como el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o de una calzada, durante un período determinado, y se expresa como:

$$Q = \frac{N}{t}$$

¹¹ CAL Y MAYOR, Rafael., CARDENAS, James. *Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones*, México, 9ª Ed Alfaomega. 2018, p.180.

Donde:

Q= Vehículos que pasan por unidad de tiempo (vehículos/periodo).

N= Número total de vehículos que pasan (vehículos).

t= Tiempo o periodo determinado (unidades de tiempo).

2.4.1.2. Volúmenes de tránsito absolutos o totales

Es el número total de vehículos que pasan durante un lapso de tiempo determinado. Dependiendo de la duración del lapso de tiempo, se tienen los siguientes volúmenes de tránsito absolutos o totales:

- **Tránsito anual (TA):** Es el número total de vehículos que pasan durante un año. En este caso $t=1$ año.
- **Tránsito mensual (TM):** Es el número total de vehículos que pasan durante un mes. En este caso $t=1$ mes.
- **Tránsito semanal (TS):** Es el número total de vehículos que pasan durante una semana. En este caso $t=1$ semana.
- **Tránsito diario (TD):** Es el número total de vehículos que pasan durante un día. En este caso $t=1$ día.
- **Tránsito horario (TH):** Es el número total de vehículos que pasan durante una hora. En este caso $t=1$ hora.
- **Tránsito en un período inferior a una hora (q):** Es el número total de vehículos que pasan durante un período inferior a una hora. En este caso $T < 1$ hora y donde i , por lo general, representa el período en minutos.

2.4.1.3. Volúmenes de tránsito promedio diarios¹²

Se define el volumen de tránsito promedio diario (TPD), como el número total de vehículos que pasan durante un período dado (en días completos) igual o menor a un año

¹² CAL Y MAYOR, Rafael., CARDENAS, James. Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones, México, 9a Ed Alfaomega. 2018.

y mayor que un día, dividido por el número de días del período. De manera general se expresa como:

$$TPD = \frac{N}{1 \text{ día} < t \leq 1 \text{ año}}$$

Donde N representa el número de vehículos que pasan durante t días. De acuerdo al número de días del período, se presentan los siguientes volúmenes de tránsito promedio diario, dados en vehículos por día.

- **Tránsito promedio diario anual (TPDA)**

$$TPDA = \frac{TA}{365}$$

- **Tránsito promedio diario mensual (TPDM)**

$$TPDM = \frac{TM}{30}$$

- **Tránsito promedio diario semanal (TPDS)**

$$TPDS = \frac{TS}{7}$$

2.4.1.4. Volúmenes de tránsito horarios

Con base en la hora seleccionada, se definen los siguientes volúmenes de tránsito horarios, dados en vehículos por hora:

- **Volumen horario máximo anual (VHMA)**

Es el máximo volumen horario que ocurre en un punto o sección de un carril o de una calzada durante un año determinado. En otras palabras, es la hora de mayor volumen de las 8,760 horas del año.

- **Volumen horario de máxima demanda (VHMD)**

Es el máximo número de vehículos que pasan por un punto o sección de un carril o de una calzada durante 60 minutos consecutivos. Es el representativo de los períodos de máxima demanda que se pueden presentar durante un día en particular.

➤ **Volumen horario-décimo, vigésimo, trigésimo-anual (10VH, 20VH, 30VH)**

Es el volumen horario que ocurre en un punto o sección de un carril o de una calzada durante un año determinado, que es excedido por 9, 19 y 29 volúmenes horarios, respectivamente. También se le denomina volumen horario de la 10-ava, 20-ava y 30-ava hora de máximo volumen.

➤ **Volumen horario de proyecto o diseño (VHP)**

Es el volumen de tránsito horario que servirá de base para determinar las características geométricas de la vialidad. Fundamentalmente se proyecta con un volumen horario pronosticado. No se trata de considerar el máximo número de vehículos por hora que se puede presentar dentro de un año, ya que exigiría inversiones demasiado cuantiosas, sino un volumen horario que se pueda presentar un número máximo de veces en el año, previa convención al respecto.

2.4.1.5. Uso de los volúmenes de tránsito¹³

2.4.1.5.1. Uso general de los volúmenes de tránsito

Desde un punto de vista general, se utilizan los datos de volúmenes de tránsito en los siguientes campos:

Planeación

- Clasificación sistemática de redes de carreteras
- Estimación de los cambios anuales en los volúmenes de tránsito
- Modelos de asignación y distribución de tránsito
- Desarrollo de programas de mantenimiento, mejoras y prioridades
- Análisis económicos
- Estimaciones de la calidad del aire

¹³ CAL Y MAYOR, Rafael., CARDENAS, James. Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones, México, 9a Ed Alfaomega. 2018, p. 190.

- Estimaciones del consumo de combustibles

Proyecto

- Aplicación a normas de proyecto geométrico
- Requerimientos de nuevas carreteras
- Análisis estructural de superficies de rodamiento

Ingeniería de tránsito

- Análisis de capacidad y niveles de servicio en todo tipo de vialidades
- Caracterización de flujos vehiculares
- Zonificación de velocidades
- Necesidad de dispositivos para el control de tránsito
- Estudio de estacionamientos

Seguridad

- Cálculo de índices de accidentes y mortalidad
- Evaluación de mejoras por seguridad

Investigación

- Nuevas metodologías sobre capacidad
- Análisis e investigación en el campo de los accidentes y la seguridad
- Estudio sobre ayudas, programas o dispositivos para el cumplimiento de las normas de tránsito
- Estudios de antes y después
- Estudios sobre el medio ambiente y la energía.

Usos comerciales

- Hoteles y restaurantes

- Urbanismo
- Autoservicios
- Actividades recreacionales y deportivas

2.4.1.5.2. Uso específico de los volúmenes de tránsito

Específicamente, dependiendo de la unidad de tiempo en que se expresen los volúmenes de tránsito, éstos se utilizan para:

➤ Los volúmenes de tránsito anual (TA)

- Determinar los patrones de viaje sobre áreas geográficas.
- Estimar los gastos esperados de los usuarios de las carreteras.
- Calcular índices de accidentes.
- Indicar las variaciones y tendencias de los volúmenes de tránsito, especialmente en carreteras de cuota.

➤ Los volúmenes de tránsito promedio diario (TPD)

- Medir la demanda actual en calles y carreteras.
- Evaluar los flujos de tránsito actuales con respecto al sistema vial.
- Definir el sistema arterial de calles y carreteras.
- Localizar áreas donde se necesite construir nuevas vialidades o mejorar las existentes.
- Programar mejoras capitales.

➤ Los volúmenes de tránsito horario (TH)

- Determinar la longitud y magnitud de los períodos de máxima demanda.
- Evaluar deficiencias de capacidad.

- Establecer controles en el tránsito, como: colocación de señales, semáforos y marcas viales; jerarquización de calles, sentidos de circulación y rutas de tránsito; y prohibición de estacionamiento, paradas y maniobras de vueltas.
- Proyectar y rediseñar geométricamente calles e intersecciones.

➤ **Las tasas de flujo (q)**

- Analizar flujos máximos.
- Analizar variaciones del flujo dentro de las horas de máxima demanda.
- Analizar limitaciones de capacidad en el flujo de tránsito.
- Analizar las características de los volúmenes máximos.

2.4.1.6. Características de los volúmenes de tránsito¹⁴

Los volúmenes de tránsito siempre deben ser considerados como dinámicos, por lo que solamente son precisos para el período de duración de los aforos. Sin embargo, debido a que sus variaciones son generalmente rítmicas y repetitivas, es importante tener un conocimiento de sus características, para así programar aforos, relacionar volúmenes en un tiempo y lugar con volúmenes de otro tiempo y lugar, y prever con la debida anticipación la actuación de las fuerzas dedicadas al control del tránsito y labor preventiva, así como las de conservación.

Por lo tanto, es fundamental, en la planeación y operación de la circulación vehicular, conocer las variaciones periódicas de los volúmenes de tránsito dentro de las horas de máxima demanda, en las horas del día, en los días de la semana y en los meses del año. Aún más, es también importante conocer las variaciones de los volúmenes de tránsito en función de su distribución por carriles, su distribución direccional y su composición.

¹⁴ CAL Y MAYOR, Rafael., CARDENAS, James. Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones, México, 9a Ed Alfaomega. 2018, p. 190.

2.4.1.6.1. Distribución y composición del volumen de tránsito

La distribución de los volúmenes de tránsito por carriles debe ser considerada, tanto en el proyecto como en la operación de calles y carreteras. En una zona urbana, la mayor velocidad y capacidad, generalmente se logran en el carril del medio. Las fricciones laterales, como paradas de autobuses y taxis y las vueltas izquierdas y derechas causan un flujo más lento en los carriles extremos, llevando el menor volumen el carril cercano a la acera.

En cuanto a la distribución direccional, en las calles que comunican el centro de la ciudad con la periferia de la misma, el fenómeno común que se presenta en el flujo de tránsito es de volúmenes máximos hacia el centro en la mañana y hacia la periferia en las tardes y noches.

Igualmente, en los estudios de volúmenes de tránsito muchas veces es útil conocer la composición y variación de los distintos tipos de vehículos. La composición vehicular se mide en términos de porcentajes con respecto al volumen total. Por ejemplo, porcentaje de automóviles, de autobuses y de camiones.

2.4.1.6.2. Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda

En zonas urbanas, la variación de los volúmenes de tránsito dentro de una misma hora de máxima demanda, para una calle o intersección específica, puede llegar a ser repetitiva y consistente durante varios días de la semana. Sin embargo, puede ser bastante diferente de un tipo de calle o intersección a otro, para el mismo período máximo.

En cualquiera de estos casos, es importante conocer la variación del volumen dentro de las horas de máxima demanda y cuantificar la duración de los flujos máximos, para así realizar la planeación de los controles del tránsito para estos períodos durante el día, tales como prohibición de estacionamientos, prohibición de ciertos movimientos de vuelta y disposición de los tiempos de los semáforos.

El factor de la hora de máxima demanda es un indicador de las características del flujo de tránsito en períodos máximos. Indica la forma como están distribuidos los flujos máximos

dentro de la hora. Su mayor valor es la unidad, lo que significa que existe una distribución uniforme de flujos máximos en cada período durante toda la hora.

2.4.1.6.3. Variación horaria del volumen de tránsito¹⁵

Es la variación que se presenta en los volúmenes de tránsito a lo largo de las horas del día, esta variación depende del tipo de ruta y la actividad que prevalezca sobre la misma, como ser: rutas de tipo agrícola, comercial, turística, etc. Un ejemplo de variaciones horarias se presenta en las ciudades, los volúmenes de tráfico son bajos en la madrugada, este se incrementa hasta un máximo entre las 07:30 y las 09:30 horas; luego baja para alcanzar otro máximo entre las 11:00 y las 13:00 horas; por último alcanza un tercer máximo entre las 18:00 y las 20:00 horas para luego bajar nuevamente a un mínimo en la madrugada.

2.4.1.6.4. Variación diaria del volumen de tránsito

En carreteras principales se presentan volúmenes estables de lunes a viernes, registrándose valores máximos durante los fines de semana ya que se añade la demanda de usuarios de tipo turístico y recreacional. Existe una notable variación en días de eventos especiales como ser: aniversarios regionales o estatales, navidad, fin de año, competencias deportivas, etc.

2.4.1.6.5. Variación mensual del volumen de tránsito

Los meses en que las vías presentan máximos volúmenes de tráfico son por lo general los meses de vacación escolar, meses de vacación de fin de año, mes de alguna festividad regional, etc. Por lo general estas variaciones se mantienen constantes año a año siempre que no se realice cambios importantes en el diseño de la vía, en los usos de la tierra, o se construyan vías alternas.

¹⁵ TAPIA Arandia, J. G., VEIZAGA Balta, R. D., *Apoyo Didáctico para la Enseñanza y Aprendizaje de la Asignatura de Ingeniería de Tráfico*, Universidad Mayor de San Simón Facultad de Ciencias y tecnología Carrera de Ingeniería Civil. 2006. p. 61.

2.4.1.7. Estudio de volúmenes de tránsito¹⁶

Los estudios sobre volúmenes de tránsito se realizan con el propósito de obtener datos reales relacionados con el movimiento de vehículos y/o personas, sobre puntos o secciones específicas dentro de un sistema vial de carreteras o calles. Dichos datos se expresan con relación al tiempo, y de su conocimiento se hace posible el desarrollo de metodologías que permiten estimar de manera razonable, la calidad del servicio que el sistema presta a los usuarios.

El tipo de datos recolectados en un estudio de volúmenes de tránsito depende mucho de la aplicación que se le vaya dar a los mismos. Así por ejemplo, algunos estudios requieren detalles como la composición vehicular y los movimientos direccionales, mientras que otros sólo exigen conocer los volúmenes totales.

También, en algunos casos es necesario aforar vehículos únicamente durante períodos cortos de una hora o menos, otras veces el período puede ser de un día, una semana o un mes e inclusive un año.

Existen diversas formas para obtener los recuentos de volúmenes de tránsito, como son: Los aforos manuales a cargo de personas, o los aforos con el uso de dispositivos mecánicos, los cuales automáticamente contabilizan y registran los ejes de los vehículos.

2.4.1.8. Aforo de volúmenes de tráfico¹⁷

Los aforos de volumen realizados en un punto o sección de una vía nos permiten obtener datos relacionados con el movimiento de automóviles respecto al tiempo y espacio, las características de los aforos dependen del tipo de análisis solicitado en una vía. Los aforos de volumen sirven para efectuar:

- Estudios prioritarios de conservación (mantenimiento)
- Estudios prioritarios de construcción
- Estudios prioritarios de señalización

¹⁶ CAL Y MAYOR, Rafael., CARDENAS, James. Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones, México, 9a Ed Alfaomega. 2018, p. 243.

¹⁷ (Tapia Arandia & Veizaga Balta, 2006)

- Estudios de accidentes en la zona

Uno de los primeros pasos en cualquier estudio de tráfico es la evaluación de los movimientos que se producen, para lo que es preciso medir el número de vehículos que pasan por cada carril en un determinado periodo de tiempo.

Los objetivos que se pretenden generalmente mediante los aforos, todos ellos encaminados a conocer aspectos importantes de la demanda de tráfico, como son su volumen y composición, se sintetizan en los siguientes:

- Justificación económica de las inversiones en las que el tráfico puede intervenir como variable.
- Determinación de las características físicas de las vías, especialmente en los cruces, de acuerdo con las necesidades del tráfico.
- Establecimiento de la señalización fija o automática.
- Asignaciones de tráfico a nuevas vías.
- Elementos de investigación

En cuanto a duración, los aforos denominados breves se refieren por lo general a períodos de 15, 30 ó 60 minutos; sobre 60 minutos de duración constituyen aforos extensos.

2.4.1.8.1. Métodos de aforo

Existen diferentes tipos para obtener datos sobre volúmenes de tráfico, podemos mencionar:

- Método Manual
- Método Automático

1) Aforo de Volúmenes de Trafico (método manual)¹⁸

¹⁸ VILLEGAS Villa, K. N. *Comparación de los resultados entre aforo automático y aforo manual*. 2013., p.24.

Los aforos manuales consisten en registrar la cantidad de vehículos, por tipo, que cruzan una línea imaginaria en diferentes puntos carreteros y urbanos, con la finalidad de determinar 100% de los volúmenes de vehículos, así como su composición vehicular

Son aquellos en los cuales se considera que el conteo de vehículos va a ser realizado en forma manual por uno o varios observadores quienes en base a una planilla preestablecida realicen el conteo de vehículos en un punto de aforo definido y en tiempos determinados.

Los tipos de datos a obtener pueden ser:

- Composición vehicular
- Flujo direccional y por carriles
- Volúmenes totales

El tiempo de aforo pueden ser periodos de una hora o menos, un día, un mes o un año. Definir cuanto tiempo se va a realizar los aforos para estudiar su comportamiento, es importante y necesario. En la actualidad existen 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. Cuando esto no sucede requerimos la información tenemos dos alternativas:

- Según la ABC se establece como tiempo de aforo mínimo para un proyecto vial 7 días de la semana y las 24 horas del día.
- Según la AASTHO, establece un proyecto vial cuyo registro de volúmenes son requeridos, primero se toma un día completo de aforo cuyo resultado establece las tres horas pico del día; en función a ello se realiza el aforo en función a esas horas pico por tres días a la semana, dos días hábiles y un día no hábil durante un periodo del mes.

La desventaja de este método es muy lento, trabajoso y con posibilidades de tener errores personales, además de tener un costo elevado por la cantidad de personal necesario.

La ventaja de este método está en que el aforamiento puede ser más completo y tomando en cuenta varias variables como ser tipo de vehículos, número de ejes, tipo de vehículos por servicio (Comerciales, de servicio público, particulares, de carga, etc.)

2) Aforo de Volúmenes de Trafico (método Automático)¹⁹

Los contadores automáticos se utilizan para obtener conteos vehiculares en lugares situados a mitad de cuadra o en tramos continuos a campo abierto. Se realiza mediante dispositivos mecánicos instalados en la vía, estos dispositivos son:

- **Detectores neumáticos:** consiste en un tubo neumático colocado en forma transversal sobre la calzada que registra mediante impulsos causados por las ruedas de los vehículos el conteo de los ejes del mismo.
- **Contacto eléctrico:** consiste en una placa de acero recubierta por una capa de hule que contiene una tira de acero flexible, que al accionar de las ruedas del vehículo cierra circuito y procede al conteo respectivo, con este dispositivo se pueden realizar conteos por carril y sentido.
- **Fotoeléctrico:** consiste en una fuente emisora de luz colocada a un lado de la vía, realiza el conteo de vehículos cuando estos interfieren con la luz del dispositivo.
- **Radar:** lanza ondas que al ser interceptadas por un vehículo en movimiento cambian de frecuencia, realizando así el conteo.
- **Fotografías:** se toman fotografías del tramo y después se procede al conteo de vehículos.

2.4.2. Velocidad²⁰

En general, el término velocidad se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo. Es decir, para un vehículo representa su relación de movimiento, usualmente expresada en kilómetros por hora (km/h). Para el caso de una

¹⁹ Tapia Arandia, J. G., & Veizaga Balta, R. D., *Apoyo Didáctico para la Enseñanza y Aprendizaje de la Asignatura de Ingeniería de Tráfico*, Universidad Mayor de San Simón Facultad de Ciencias y Tecnología Carrera de Ingeniería Civil. 2006. p. 67.

²⁰ CAL Y MAYOR Reyes Spíndola, R., CÁRDENAS Grisales, J., *Ingeniería de tránsito fundamentos y aplicaciones* (9 ed.). 2018. p. 257.

velocidad constante, ésta se define como una función lineal de la distancia y el tiempo, expresada por la fórmula:

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

Donde:

V = Velocidad constante (kilómetros por hora)

d = Distancia recorrida (kilómetros)

t = Tiempo de recorrido (horas)

Finalmente, se puede decir que el término velocidad, aplicado al movimiento de los vehículos, se utiliza de diferentes maneras de acuerdo a los estudios que se efectúen y los objetivos que se persigan. Esto significa que existen conceptualmente varios tipos de velocidad, los cuales deben ser definidos y aplicados claramente, tal como se expone a continuación.

2.4.2.1. Velocidad de punto²¹

Se denomina velocidad de punto a aquella velocidad de los vehículos que recorren distancias relativamente pequeñas (25, 50, 70, 100 metros).

Conocida también como velocidad instantánea, es la velocidad de un vehículo a su paso por un punto específico de una vía. Se presentan dificultades prácticas para la medición de la velocidad de punto ya que la misma por definición se presenta en un tramo de recorrido bastante corto, en la actualidad existen dispositivos de medición de tipo electrónicos y electromecánicos que facilitan su medición, como ser: tubos neumáticos transversales, radares Doppler, enescopios.

Para medir la velocidad de punto se pueden utilizar varios métodos en los que se tiene.

²¹ TAPIA Arandia, J. G., VEIZAGA Balta, R. D., *Apoyo Didáctico para la Enseñanza y Aprendizaje de la Asignatura de Ingeniería de Tráfico*, Universidad Mayor de San Simon Facultad de Ciencias y Tecnología Carrera de Ingeniería Civil. 2006, p. 48.

- **El método del cronómetro**

Es aquel que utiliza generalmente dos operadores, una a la entrada provisto de algún dispositivo para dar la señal en el momento que el vehículo ingresa a la línea de entrada para que el segundo operador ubicado en la línea de parada final pueda accionar el cronómetro y detener el mismo en el momento que cruza la línea de salida.

Este método es el más utilizado por la facilidad de su realización y por la necesidad solamente de un cronómetro. Es factible utilizando las distancias mínimas que este método pueda ser ejecutado por un solo operador y que tenga visualidad suficiente a la línea de entrada y salida.

Para la selección de los puntos de aforo, se tomó en cuenta las vías con mayor incidencia o de mayor importancia ya que debemos demostrar la situación actual que se presentan en las intersecciones de objeto de estudio.

- **El método del radar métrico**

Es el método menos utilizado, pero determinación de velocidades utiliza un transmisor incorporado en un vehículo que puedan ser emite ondas de longitud media que son captadas por un radar u transformadas en distancias de la diferencia de las longitudes emitidas en el momento de ingreso de la línea de entrada y el ingreso a la línea de salida, se obtiene la distancia y el tiempo de recorrido determinándose así las velocidades de punto. Estas velocidades de punto en un estudio de tráfico deben ser llevadas a cabo en 3 horarios diferentes de cada día, recomendable en horas pico, 3 diferentes días de la semana, si se lo va a hacer anualmente 3 diferentes meses del año.

2.4.2.2. Velocidad media temporal²²

Es la media aritmética de las velocidades de punto de todos los vehículos, o parte de ellos, que pasan por un punto específico de una carretera o calle durante un intervalo de tiempo seleccionado. Se dice entonces, que se tiene una distribución temporal de velocidades de punto.

²² (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 2018)

2.4.2.3. Velocidad media espacial²³

La velocidad media espacial o velocidad media-espacio, es la media aritmética de las velocidades de los vehículos que en un instante dado ocupan un tramo de una vía.

En un espacio o distancia dados, la velocidad media espacial se calcula dividiendo la distancia entre el promedio de los tiempos empleados por los vehículos en recorrerlo.

2.4.2.4. Velocidad de recorrido²⁴

Llamada también velocidad global o de viaje, es el resultado de dividir la distancia recorrida, desde principio a fin de viaje, entre el tiempo total que se empleó en recorrerla. En el tiempo total de recorrido están incluidas todas aquellas demoras operacionales por reducciones de velocidad y paradas provocadas por la vía, el tránsito y los dispositivos de control, ajenos a la voluntad del conductor. No incluye aquellas demoras fuera de la vía, como pueden ser las correspondientes a gasolineras, restaurantes, lugares de recreación, etc.

Para todos los vehículos o para un grupo de ellos, la velocidad media de recorrido es la suma de las distancias recorridas dividida entre la suma de los tiempos totales de viaje. Si todos o el grupo de vehículos recorren la misma distancia, la velocidad media de recorrido se obtiene dividiendo la distancia recorrida entre el promedio de los tiempos de recorrido. Así, puede verse que la velocidad media de recorrido es una velocidad media espacial o con base en la distancia.

La velocidad de recorrido sirve principalmente para comprobar condiciones de fluidez en ciertas rutas; ya sea una con otra, o bien, en una misma ruta cuando se han realizado cambios para medir los efectos.

²³ (Tapia Arandia & Veizaga Balta, 2006)

²⁴ CAL Y MAYOR, Rafael., CARDENAS, James. *Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones*, México, 9ª Ed Alfaomega. 2018, p. 270.

2.4.2.5. Velocidad de marcha²⁵

Para un vehículo, la velocidad de marcha o velocidad de crucero, es el resultado de dividir la distancia recorrida entre el tiempo durante el cual el vehículo estuvo en movimiento. Para obtener la velocidad de marcha en un viaje normal, se descontará del tiempo total de recorrido, todo aquel tiempo en el que el vehículo se hubiese detenido, por cualquier causa. Por lo tanto, esta velocidad por lo general, será de valor superior a la de recorrido.

2.4.2.4. Velocidad del proyecto

Llamada también velocidad de diseño, es la velocidad máxima a la cual pueden transitar los vehículos con seguridad sobre una sección específica de una vía, cuando las condiciones atmosféricas y del tránsito son tan favorables que las características geométricas del proyecto gobiernan la circulación. Todos aquellos elementos geométricos del alineamiento horizontal, vertical y transversal, tales como radios mínimos, pendientes máximas, distancias de visibilidad, sobre elevaciones, anchos de carriles y acotamientos, anchuras y alturas libres, etc., dependen de la velocidad de proyecto y varían con un cambio de esta.

La sección de la velocidad de proyecto depende de la importancia o categoría de la futura vía, de los volúmenes de tránsito que va a mover, de la configuración topográfica de la región, del uso del suelo y de la disponibilidad de recursos económicos.

Al proyectar un tramo de una vía, es conveniente, aunque no siempre factible, mantener un valor constante para la velocidad de proyecto. Sin embargo, los cambios drásticos en condiciones topográficas y sus limitaciones mismas, pueden obligar a usar diferentes velocidades de proyecto para distintos tramos.

Las velocidades de proyecto máximas actualmente son de 112 km/h en E.E.U.U. y de 120 km/h en Europa.

²⁵CAL Y MAYOR, Rafael., CARDENAS, James. *Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones*, México, 9ª Ed Alfaomega. 2018.

2.4.2.5. Estudios de velocidad²⁶

Uno de los indicadores que más se utiliza para medir la eficiencia de un sistema vial es la velocidad de los vehículos. Desde este punto de vista, para medir la calidad del movimiento del tránsito se utilizan la velocidad de punto, en sus dos componentes media temporal y media espacial, la velocidad de recorrido, y la velocidad de marcha.

2.4.2.5.1. Estudios de velocidad de punto²⁷

La mayor parte de los estudios de velocidad se refieren a la velocidad de los vehículos en determinado punto de una carretera o de una calle. Los estudios de velocidad de punto están diseñados para medir las características de la velocidad en un lugar específico, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito y del estado del tiempo en el momento de llevar a cabo el estudio; lo mismo que permiten obtener la distribución de velocidades por grupos de usuarios.

Los estudios de velocidad de punto para un tramo específico de una vía, sirven para determinar las características de la velocidad en dicho tramo bajo las condiciones atmosféricas y de tráfico al momento de realizar dicho estudio. Las velocidades agrupadas en un tiempo y espacio dados, presentan un coeficiente de dispersión alto, por lo que pueden representarse mediante una distribución normal de velocidades que es lo que mejor se acomoda al tipo de datos.

Los estudios de velocidad de punto se aplican para:

- Determinar la tendencia de velocidades de los vehículos en un tramo especificado.
- Determinar la relación entre accidentes y velocidad que pueda ayudar a tomar medidas de corrección para evitar accidentes.
- Establecer límites de velocidad máxima y mínima.
- Determinar longitudes en zonas de rebase prohibido.

²⁶ CAL Y MAYOR, Rafael., CARDENAS, James. *Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones*, México, 9ª Ed Alfaomega. 2018, p. 274.

²⁷ (Tapia Arandia & Veizaga Balta, 2006)

- Localizar y definir los tiempos de semaforización.
- Evaluar los resultados de algún cambio efectuado en las condiciones y controles de tránsito existentes.
- Evaluar los efectos de las distribuciones de las velocidades reales en las características de los elementos geométricos de la vía.
- Realizar estudios de investigación sobre capacidades, efecto de obstrucciones laterales en la velocidad, teoría de flujo vehicular.

Dada la incertidumbre que se tiene para caracterizar la población total de velocidades a partir de variables basadas en una muestra, y debido a que todos los vehículos no viajan a la misma velocidad sino más bien se acomodan a una distribución de velocidades dentro de un intervalo de comparación, se debe utilizar la estadística descriptiva y la inferencia estadística en el análisis de los datos de velocidad de punto.

2.4.2.5.2. Estudios de velocidad de recorrido²⁸

Los estudios de velocidad de recorrido sirven para evaluar la calidad del movimiento vehicular a lo largo de una ruta y determinar la ubicación, tipo y magnitud de las demoras del tránsito.

En este tipo de estudios juega un rol importante el tiempo total de recorrido en el que, como ya se definió anteriormente, incluye las demoras debidas al tránsito.

Los estudios de demoras en intersecciones permiten evaluar el comportamiento del tránsito al entrar y cruzar o cambiar de dirección a través de ellas. El factor principal que se evalúa en este estudio, es la eficacia del control del tránsito.

Los estudios de velocidad y demoras del transporte público se realizan con el propósito de evaluar la calidad del servicio a lo largo de sus rutas, para así determinar la ubicación, tipo y duración de las demoras en los vehículos del transporte de pasajeros. La eficiencia del servicio de transporte público de pasajeros se mide en términos de velocidad de

²⁸ CAL Y MAYOR, Rafael., CARDENAS, James. *Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones*, México, 9ª Ed Alfaomega. 2018, p. 289.

recorrido, velocidad de marcha, factores de carga y apego al horario. En el estudio de campo se obtiene el tiempo total de recorrido y de marcha para luego convertirlos a sus velocidades correspondientes.

2.4.3. Densidad²⁹

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 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:

$$Densidad = \frac{Volumen}{Velocidad}$$

Donde:

Densidad = Volumen/Velocidad (veh/km)

Velocidad = Velocidad de circulación (km/hr)

Volumen = Volumen de tráfico (veh/hr)

Formas de determinación

²⁹ TAPIA Arandia, J. G., VEIZAGA Balta, R. D., *Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de ingeniería de tráfico*, Universidad mayor de san simon facultad de ciencias y tecnología carrera de ingeniería civil. 2006. P. 53.

En la actualidad gracias al avance de la tecnología han aparecido equipos electrónicos, como detectores neumáticos, contacto eléctrico, fotoeléctrico, radar, fotografías, filmadoras, etc. que de alguna manera pueden ayudar a medir la densidad del tráfico.

2.5. Semaforización³⁰

Se define como semáforo a los dispositivos electromagnéticos y electrónicos, que se usan para facilitar el control de tránsito de vehículos y peatones, mediante indicaciones visuales de luces de colores universalmente aceptados, como lo son el rojo, amarillo y verde.

Su función principal es la de permitir el paso alternadamente a las corrientes de tránsito que cruzan, permitiendo el uso ordenado y seguro del espacio disponible.

2.5.1. Ventajas y desventajas³¹

Si la instalación y operación de los semáforos es correcta, éstos podrán aportar diversas ventajas. En cambio, si uno o más semáforos son deficientes, servirán para entorpecer el tránsito, tanto de vehículos como de peatones. Es muy importante que antes de seleccionar y poner a funcionar un semáforo, se efectúe un estudio completo de las condiciones de la intersección y del tránsito y, se cumpla con los requisitos que la experiencia ha fijado o como lo indican los Manuales de Dispositivos para el Control del Tránsito. También es importante que después que el sistema de semáforos empiece a funcionar, se compruebe que éste responde a las necesidades del tránsito y, en caso de no ser, se hagan los ajustes pertinentes.

Un semáforo o un sistema de semáforos, que opere correctamente, tendrá una o más de las siguientes ventajas y desventajas:

2.5.1.1. Ventajas

- Ordena la circulación del tránsito y, en muchos casos, mediante una asignación apropiada del derecho al uso de la intersección, optimiza la capacidad de las calles.

³⁰ (Tapia Arandia & Veizaga Balta, 2006)

³¹ CAL Y MAYOR, Rafael., CARDENAS, James. *Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones*, México, 9ª Ed Alfaomega. 2018, p. 497.

- Reduce la frecuencia de cierto tipo de accidentes.
- Con espaciamientos favorables se pueden sincronizar para mantener una circulación continua, o casi continua, a una velocidad constante en una ruta determinada. En algunos casos, esa velocidad constante es conveniente reducirla para fines de seguridad.
- Permiten interrumpir periódicamente los volúmenes de tránsito intensos de una arteria, para conceder el paso de vehículos y peatones de las vías transversales. Así, en zonas escolares, ayudan a los estudiantes a cruzar con mayor seguridad.
- En la mayoría de los casos representan una economía considerable por su mayor habilidad en el control del tránsito con respecto a la utilización de otras formas de control, como por ejemplo señales o policías de tránsito.

2.5.1.2. Desventajas

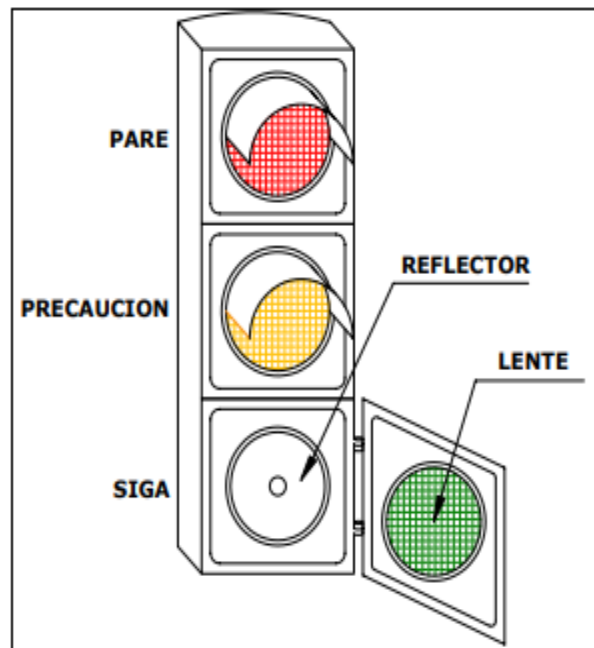
Cuando el proyecto o la operación de un semáforo o sistema de semáforos es deficiente, ya sea por falta de elementos de juicio, o bien porque se ha abusado de los semáforos como una panacea para resolver todos los problemas, pueden presentarse una o varias de las siguientes desventajas:

- Se incurre en gastos no justificados para soluciones que podían haberse resuelto solamente con señales o en otra forma económica.
- Causan demoras injustificadas a cierto número de usuarios, especialmente tratándose de volúmenes de tránsito pequeños, al causar retardos molestos por excesiva duración de la luz roja o del tiempo total del ciclo.
- Producen reacción desfavorable en el público, con la consiguiente falta de respeto hacia ellos o hacia las autoridades.
- Incrementan en el número de accidentes del tipo alcance, por cambios sorpresivos de color.
- Ocasionan pérdidas innecesarias de tiempo en las horas del día, cuando se presentan escasos volúmenes de tránsito que no requieren control de semáforos.

- Aumentan la frecuencia o gravedad de ciertos accidentes cuando la conservación es deficiente, especialmente en casos de focos fundidos o interrupciones del servicio eléctrico.
- En intersecciones rurales, la aparición intempestiva de un semáforo ocasiona accidentes cuando no hay avisos previos adecuados.
- Cuando son operados por los agentes de tránsito, causan mayores demoras en los accesos y enojo en los automovilistas.

2.5.2. Componentes de un semáforo³²

Figura 2. Componentes de un semáforo



Fuente: Elementos de Ingeniería de Tráfico, Universidad Politécnica de Madrid

La cara de un semáforo es el conjunto de unidades ópticas como ser: el lente, reflector, lámpara y portalámpara. Por seguridad, se recomienda el uso de dos caras para cada acceso

³² TAPIA Arandia, J. G., VEIZAGA Balta, R. D., *Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de ingeniería de tráfico*, Universidad mayor de san simon facultad de ciencias y tecnologia carrera de ingeniería civil. 2006. P. 390.

a la intersección, ya que uno de ellos podría ser tapado por un vehículo grande o por si se ha fundido alguna de las lámparas.

El lente es la parte de la unidad óptica que por refracción dirige la luz proveniente de la lámpara y de su reflector en la dirección deseada. Se recomienda que la cara de un semáforo tenga por lo menos tres lentes: rojo, amarillo y verde.

El color rojo significa que tanto los vehículos como los peatones que se encuentran frente a un semáforo con luz roja deberán detenerse. y esperar que la luz cambie a color verde antes de proseguir su marcha.

El color verde significa que tanto los vehículos como los peatones que se encuentran frente a un semáforo con luz verde pueden continuar su marcha sin detenerse.

El color amarillo significa precaución ya que la luz roja está a punto de encenderse y por lo tanto vehículos y peatones deberán detenerse. El conductor deberá detener su vehículo en forma suave evitando frenar bruscamente.

El reflector, es un aparato de forma cónica que lanza la luz de la lámpara o foco en una determinada dirección.

2.5.3. Tipos de semáforos³³

En la actualidad se manejan principalmente 4 tipos de semáforos: de tiempo fijo, coordinados, semiaccionados y completamente accionados. Donde los semáforos de tiempo fijo representan la inmensa mayoría de los semáforos que se encuentran en las ciudades mexicanas, sin embargo, poco a poco ante el constante crecimiento de vehículos se ha popularizado el hecho de invertir en mejoras al tránsito en su operación además de las inversiones típicas en infraestructura vial. Para todos los casos es necesario contar con buena información vial que permita analizar la situación real de los casos en donde se necesiten mejorar las condiciones del tránsito. Se recomendará utilizar el tipo de semáforo que convenga de acuerdo a las situaciones que lo justifiquen, de acuerdo a la cantidad de vehículos, cantidad de peatones, importancia de la calle secundaria, demanda horaria,

³³ Coordinación de Semáforos en la Avenida Miguel Ángel de Quevedo por Ricardo Peña Garibay, Cd Mx, 2016.

accidentes, complejidad de los cruces y sus movimientos y fluctuaciones del tránsito a lo largo del tiempo.

En los siguientes puntos se abordarán los 4 tipos de semáforos que se usan en la actualidad, donde se resaltarán principalmente su modo de operación, sus beneficios y problemáticas.

Tiempo Fijo: Los semáforos de tiempo fijo son los primeros semáforos que se crearon; éstos tuvieron un auge importante para resolver el control del tránsito, sin embargo, con el incremento de la demanda vial, los semáforos de tiempo fijo comenzaron a mostrar carencias para tener un sistema efectivo de fluidez, que hoy en día ya se tienen varias soluciones. En la actualidad se siguen utilizando bastante los semáforos de tiempo fijo en países en vías de desarrollo, sin embargo, la teoría ha desarrollado ciertas recomendaciones para la utilización de los semáforos. En el caso de los semáforos de tiempo fijo, se recomienda colocar un semáforo de tiempo fijo cuando se tiene un cruce que no presenta mucha variación en su demanda o en una intersección aislada que no requiera coordinación con algún otro dispositivo de control.

Un semáforo de tiempo fijo opera con una unidad de control, que es la encargada de regir el comportamiento de las luces en los semáforos con base a una programación. Los semáforos de tiempo fijo permiten tener un programa de tiempos y fases que se asigna con base a información vial recopilada previamente. Algunas unidades de control permiten tener programas que varíen con respecto a la hora, para que de esta manera se asigne la mejor programación para ciertos periodos específicos, de acuerdo a la demanda del tráfico.

La gran problemática con los semáforos de tiempo fijo es que para que éstos funcionen siempre de la mejor manera, se tienen que hacer periódicamente aforos para conocer si han cambiado las condiciones del tránsito, para posteriormente reasignar la mejor programación semafórica. En los casos cuando los niveles de servicio sean muy bajos, será posible que instalando semáforos de otro tipo se puedan mejorar las condiciones.

Coordinados: Los semáforos coordinados son aquellos que parten de semáforos de tiempo fijo, pero que dada la cercanía de los cruces que tienen semáforos se ha visto necesario coordinar éstos para que se tenga fluidez en la avenida. Las avenidas que

presentan varios cruces a lo largo de su longitud y que presentan semáforos, en una distancia de máximo 400 metros será prácticamente obligatorio lograr una coordinación entre los mismos para que no se generen demoras excesivas y los vehículos puedan circular sin detenerse.

Para lograr semáforos coordinados se han definido en la teoría 4 sistemas de coordinación principales que ayudan para lograr esta coordinación. Es evidente que éstos varían de acuerdo a la geometría de la avenida, si es de doble sentido, de sus fases, de los volúmenes de las vialidades que cruzan, etc. Dados estos sistemas se han independizado los semáforos coordinados de los de tiempo fijo para estudiarse por aparte, ya que en algunos casos se tienen unidades de control específicas para regular este tipo de semáforos y deben estudiarse por aparte.

Semiaccionados: Los semáforos semiaccionados utilizan detectores en sólo algunos de los accesos de una intersección para regular el flujo del tránsito en la misma. En este caso la duración de los ciclos y fases varía de acuerdo a la demanda del tránsito, y el control se ajusta continuamente para brindar el servicio. En un cruce operado por semáforos semiaccionados, se le dará prioridad y derecho de paso primordialmente a la avenida principal, y se le daría el paso a la calle secundaria de acuerdo a la demanda que esta última presente.

Para la operación, se le asigna a la avenida principal un tiempo verde mínimo, mismo que puede ser mayor de acuerdo a la demanda vehicular. A su vez se cuenta con un intervalo de despeje de la calle principal, que se asigna para que la intersección quede totalmente despejada después de terminar el tiempo verde; un intervalo inicial para la calle secundaria, que permite que arranquen los vehículos que esperan el verde; un intervalo para los vehículos de la calle secundaria, que permite que los vehículos que arrancan después del intervalo inicial logren pasar por el detector; una extensión máxima para la calle secundaria, que limita la reiniciación del tiempo del intervalo para los vehículos de la calle secundaria; y un intervalo de despeje de la calle secundaria, fijado para determinar la duración del tiempo para despejar la intersección, terminado el verde de la calle secundaria.

En un semáforo semiaccionados se utilizan las variables antes mencionadas para operar los tiempos semafóricos de las intersecciones. Este tipo de semáforos resulta útil cuando se tiene un cruce de una avenida principal con una secundaria y el volumen de la secundaria es bastante menor con respecto a la principal, y presenta variaciones importantes de demanda a lo largo del día. Como ejemplo se puede tener una calle residencial que cruza con una avenida principal, donde la calle residencial presenta demanda principalmente a una hora en la mañana y en la tarde o noche, para este caso será útil un semáforo semiaccionados que permita que los vehículos de la calle residencial tengan verde en aquellos horarios principales de demanda, mientras que en horas valle, donde la demanda en la calle residencial sea prácticamente nula, se tendría siempre verde en la avenida principal, hasta que la secundaria presente demanda.

Completamente Accionados: Los semáforos completamente accionados por el tránsito utilizan detectores en todos los accesos de una intersección para regular el flujo del tránsito en la misma. En este caso la duración de los ciclos y fases varía de acuerdo a la demanda del tránsito, y el control se ajusta continuamente para brindar el servicio. Los semáforos completamente accionados trabajan prácticamente de la misma manera que los semáforos semiaccionados (descritas sus variables anteriormente) aunque con la posibilidad de poder omitir totalmente el paso a un acceso si éste no presenta demanda.

Una intersección compleja o con varias fases (3 o más) se podría solucionar más eficientemente con un control completamente accionado. Para estos casos, los semáforos además de utilizar las variables descritas en el punto anterior, permiten ajustar un intervalo inicial de tiempo para permitirle arrancar a los vehículos; un intervalo de vehículos, que le permite al vehículo alcanzar la intersección desde el detector; un intervalo máximo, que se define por un tiempo máximo del que se puede disponer una demanda continua en cualquiera de las otras fases; y un intervalo de despeje, que permite darle un tiempo a la intersección de despejarse de vehículos.

Este tipo de semáforos resulta muy útil para la operación de intersecciones complejas o de intersecciones de dos avenidas principales con demandas grandes. En México este tipo de semáforos son los que más escasean y la solución que brindan da muy buenos

resultados, sin embargo, la implementación de los mismos es la más cara económicamente y es por eso que no se ha invertido mucho en este tipo de herramientas.

2.6. Longitud de cola³⁴

La longitud de cola de los vehículos se determina basadas en la teoría de las colas las que consiste en Utilizar la estadística y ciertas asunciones sobre el proceso de servicio. Permite estimar, a partir de las tasas de llegada de los clientes (ya sean vehículos o personas) y de la velocidad de atención de cada canal de servicio, la longitud de cola y el tiempo promedio de atención. La tasa de llegada de los clientes debe analizarse para conocer, no solamente su intensidad en número de clientes por hora, sino su distribución en el tiempo.

La Teoría de Colas es el estudio matemático del comportamiento de líneas de espera. Estas se presentan cuando “clientes” llegan a un “lugar” demandando un servicio a un “servidor” el cual tiene cierta capacidad de atención. Si el servidor no está disponible inmediatamente y el cliente decide esperar, entonces se forma en la línea de espera.

Una cola es una línea de espera y la teoría de colas es una colección de modelos matemáticos que describen sistemas de líneas de espera particulares o de sistemas de colas. Los modelos sirven para encontrar un buen compromiso entre costes del sistema y los tiempos promedio de la línea de espera para un sistema dado. El problema es determinar qué capacidad o tasa de servicio proporciona el balance correcto. Esto no es sencillo, ya que un cliente no llega a un horario fijo, es decir, no se sabe con exactitud en qué momento llegarán los clientes. También el tiempo de servicio no tiene un horario fijo.

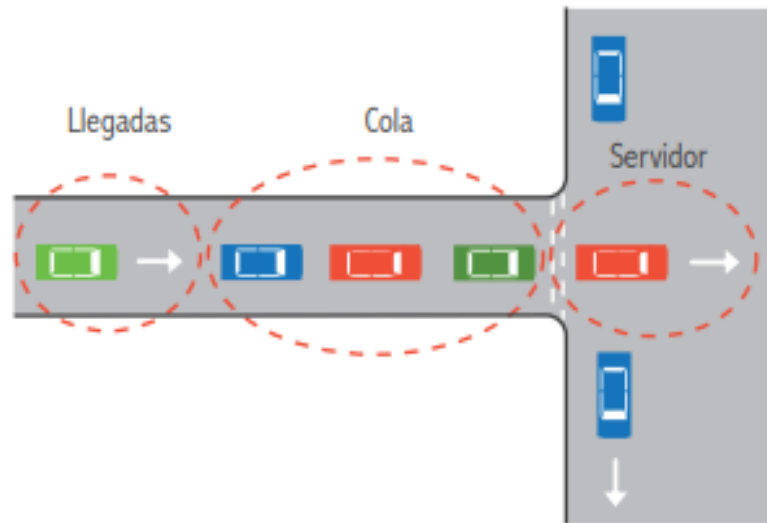
Para la distribución de probabilidad que se emplea en la teoría de colas se ha tomado en cuenta las distribuciones más representativas o más utilizadas al momento de realizar un estudio basado en teoría de colas, entre estas distribuciones están la distribución de Poisson, la distribución Exponencial y la distribución Gamma (Erlang).

La distribución de Poisson describe las llegadas por unidad de tiempo y la distribución exponencial estudia el tiempo entre cada una de estas llegadas. Si las llegadas son de Poisson, el tiempo entre ellas es exponencial. La distribución de Poisson es discreta,

³⁴ TIMANA, Jorge. Master en Ingeniería de Transporte. *Introducción a la Teoría de Colas*. Universidad de Perú.

mientras que la distribución exponencial es continua, porque el tiempo entre llegadas no tiene por qué ser un número entero. Esta distribución se usa mucho para describir el tiempo entre eventos, específicamente, la variable aleatoria que representa el tiempo necesario para servir a la llegada.

Figura 3. Sistemas de colas en una intersección



Fuente: (Fernández, 2010, p. 114)

2.7. Demoras

Demoras, es el tiempo perdido en un viaje que un vehículo realiza de un punto a otro debido a la concentración del tráfico. Puede ser por Congestión o por Intersección. Las demoras estacionarias resultan de la diferencia entre la velocidad de viaje y la velocidad de recorrido. La demora por congestión reduce la velocidad de recorrido por debajo de un nivel razonable. Los dos tipos de demora representan un tiempo gastado o no productivo, y esto puede ser convertido a valor monetario, el cual demostrará el costo hacia la comunidad por efectos de una vía inadecuada.

Demoras por Congestionamiento. Es el tiempo adicional por los vehículos cuando viajan bajo la velocidad crítica – velocidad razonable. Se produce por vehículos estacionados, carriles muy angostos, altos volúmenes de tráfico.

Demoras por Intersección. Es producido por las demoras causadas por todas las aproximaciones a una intersección dada, frecuentemente se miden estas demoras para evaluar ciertos efectos como: Diseño Geométrico de ciertas intersecciones, y tipos de control.

El trabajar con las velocidades instantáneas o locales no suele ser útil, por lo cual es preferible trabajar con tiempos de recorrido. Se entiende por tiempo de recorrido, el tiempo empleado por un vehículo en desplazarse entre dos puntos fijos separados una cierta longitud. La velocidad de recorrido será la relación entre la longitud del viaje y el tiempo de recorrido.

La ventaja de operar con tiempos, es que los tiempos pueden sumarse directamente y las velocidades no, lo que hace que en estudios urbanos sea generalmente más cómodo trabajar con tiempos que con velocidades. En cambio, las medias obtenidas con velocidades son más estables que los tiempos, y como consecuencia de ello, para un mismo grado de fiabilidad basta una muestra más reducida.

Las demoras son la principal medida de las condiciones críticas en los flujos vehiculares interrumpidos y son consideradas como el principal indicador del nivel de servicio de una intersección. Las demoras deben expresarse en términos de demora media por vehículo, por grupo o por intersección.

2.7. Capacidad vial³⁵

2.7.1. Capacidad vial

En el estudio de la capacidad de calles y caminos el propósito que generalmente se sigue es el de determinar la calidad del servicio que presta cierto tramo o componente de una arteria. Es poco frecuente el caso de querer determinar la capacidad de la vía.

Se entiende por capacidad el número máximo de vehículos por unidad de tiempo que razonablemente puede esperarse que pasen por un tramo de una carretera, en un sentido o en dos sentidos, bajo las condiciones imperantes del camino y del tráfico. Por lo general la unidad de

³⁵ GÓMEZ JOHNSON, Ronald Cesar. *Texto del Alumno Ingeniería de Tráfico Civ-326*. p.170

tiempo será una hora y al referirse a la capacidad, deben manifestarse las condiciones del camino y del tráfico a las cuales corresponde esa capacidad.

La Capacidad de un camino es tan variable como las variables físicas de la carretera. Por esta razón los análisis de capacidad de una carretera se consideran tomando diversas partes de la misma como un tramo recto, un tramo con curvas continuas, un tramo con pendientes elevadas, acceso a intersecciones, etc.

2.7.2. Nivel de servicio³⁶

Para medir la calidad del flujo se usa el concepto de Nivel de Servicio. Es una medida cualitativa del efecto que pueden tener en la capacidad muchos factores tales como la velocidad, el tiempo de recorrido, las interrupciones del tráfico, la libertad de maniobras, la seguridad, los costos de operación, etc.

A cada nivel de servicio corresponde un Volumen de Servicio, que será el máximo número de vehículos por unidad de tiempo (casi siempre por hora), que pasará mientras se conserve dicho nivel.

De los factores que afectan el nivel de servicio distinguimos los internos y los externos. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones en la velocidad, en el volumen, en la composición del tráfico, en el porcentaje de movimientos de entrecruzamientos o direccionales, etc. Entre los externos están las características físicas tales como la anchura de carriles, la distancia libre lateral, la anchura de hombreras, las pendientes, etc.

El Manual de Capacidad Vial HCM 2010 del TRB ha establecido seis niveles de servicio denominados: A, B, C, D, E y F, que van del mejor al peor, los cuales se definen según que las condiciones de operación sean de circulación continua o discontinua, como se verá más adelante.

³⁶ CAL Y MAYOR, Rafael., CARDENAS, James. *Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones*, México, 9ª Ed Alfaomega. 2018, p. 397.

2.7.3. Nivel de servicio en intersecciones con semáforos ³⁷

El nivel de servicio de una intersección con semáforos se define a través de las demoras, las cuales representan para el usuario una medida del tiempo perdido de viaje, del consumo de combustible, de la incomodidad y de la frustración. Específicamente, el nivel de servicio se expresa en términos de la demora media por vehículo debida a los controles.

Las demoras cuantifican el incremento en el tiempo de viaje por la presencia de los semáforos, que obligan a los vehículos a detenerse. El nivel de servicio para toda la intersección o para un determinado acceso, se determina solamente con base en la demora. A su vez, el nivel de servicio de un grupo de carriles, se define con base en las demoras y en la relación volumen/capacidad (v/c).

Nivel de servicio A

Operación con demoras muy bajas, menores de 10 segundos por vehículo. Relaciones volumen/capacidad (v/c) muy pequeñas, donde la mayoría de los vehículos llegan durante la fase verde y no se detienen del todo. Longitudes de ciclo corto pueden contribuir a demoras mínimas.

Figura 4. Nivel de servicio A



Fuente: Ingeniería de tránsito de Rafael Cal y Mayor; James Cárdenas

³⁷ CAL Y MAYOR, Rafael., CARDENAS, James. *Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones*, México, 9ª Ed Alfaomega. 2018, p. 458.

Nivel de servicio B

Operación con demoras entre 10 y 20 segundos por vehículo. Algunos vehículos comienzan a detenerse. Las relaciones volumen/capacidad (v/c) siguen siendo bajas y la progresión del tránsito también es altamente favorable, para longitudes cortas de ciclo.

Figura 5. Nivel de servicio B



Fuente: Ingeniería de tránsito de Rafael Cal y Mayor; James Cárdenas

Nivel de servicio C

Operación con demoras entre 20 y 35 segundos por vehículo. A pesar de que la progresión es aún favorable, algunos ciclos empiezan a malograrse, donde sus longitudes son relativamente moderadas. El número de vehículos que se detienen es significativo, aunque muchos pasan la intersección sin detenerse.

Figura 6. Nivel de servicio C



Fuente: Ingeniería de tránsito de Rafael Cal y Mayor; James Cárdenas

Nivel de servicio D

Operación con demoras entre 35 y 55 segundos por vehículo. Las demoras pueden deberse a la mala progresión del tránsito o llegadas en la fase roja, longitudes de ciclo amplias, o relaciones v/c altas. Muchos vehículos se detienen y se hacen más notables los ciclos malogrados.

Figura 7. Nivel de servicio C



Fuente: Ingeniería de tránsito de Rafael Cal y Mayor; James Cárdenas

Nivel de servicio E

Operación con demoras entre 55 y 80 segundos por vehículo. Se considera como el límite aceptable de demoras. Las demoras son causadas por progresiones pobres, ciclos muy largos y relaciones v/c muy altas.

Figura 8. Nivel de servicio E



Fuente: Ingeniería de tránsito de Rafael Cal y Mayor; James Cárdenas

Nivel de servicio F

Operación con demoras superiores a los 80 segundos por vehículo. Los flujos de llegada exceden la capacidad de los accesos de la intersección, lo que ocasiona congestionamiento y operación saturada, con relaciones v/c mayores a 1.0.

Figura 9. Nivel de servicio F



Fuente: Ingeniería de tránsito de Rafael Cal y Mayor; James Cárdenas

Tabla 1. Niveles de servicio en intersecciones con semáforos

Nivel de servicio	Demora Promedio (seg.)
A	<10
B	10.1-20
C	20.1-35
D	35.1-55
E	55.1-80
F	>80
Niveles de servicio para una intersección con semáforos	

Fuente: TRB. Highway Capacity Manual. HCM 2010

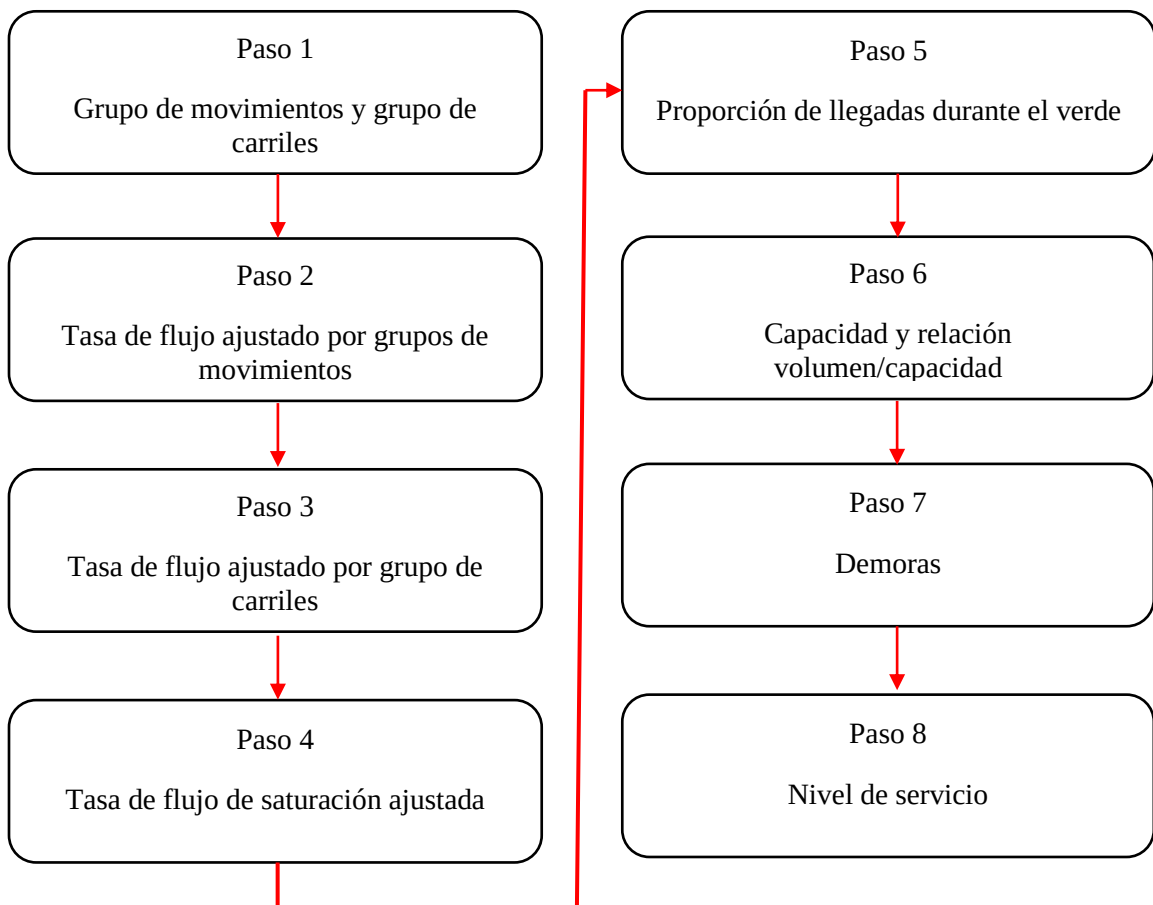
2.8. Metodología del manual HCM 2010 en intersecciones semaforizadas³⁸

2.8.1. Nivel de servicio según HCM 2010

Mediante el análisis operacional se determina la capacidad y el nivel de servicio de cada grupo de carriles o acceso, lo mismo que el nivel de servicio de la intersección como un todo o globalmente, a partir de una información detallada de las condiciones prevalecientes geométricas, del tránsito y del control semafórico.

En la figura se muestran la secuencia de pasos para estimar las diferentes medidas de eficiencia., los cuales se describen a continuación.

Figura 10. Esquema metodológico para el análisis de intersecciones con semáforos



Fuente: TRB. Highway Capacity Manual. HCM 2010

³⁸ CAL Y MAYOR, Rafael., CARDENAS, James. *Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones*, México, 9ª Ed Alfaomega. 2018, p. 461.

Pasó 1: Determinación de grupos de movimientos y grupos de carriles

Estos dos grupos tienen significados muy similares. La diferencia se da solamente cuando se presenta un carril compartido sobre un acceso con dos o más carriles.

Las siguientes reglas se utilizan en la determinación de grupos de movimientos en un determinado acceso de una intersección:

- Un movimiento de vuelta (a izquierda o derecha) que es servido por uno o más carriles exclusivos (no compartidos), deberá designarse como un grupo de movimientos.
- Cualesquiera otros carriles, no asignados a un grupo por la regla anterior, deberán ser combinados en un grupo de movimientos. Estas reglas dan como resultado, la asignación de uno a tres grupos de movimientos para cada acceso.

Las siguientes reglas se utilizan en la determinación de grupos de carriles en un determinado acceso de una intersección:

- Un carril (o carriles) exclusivo para dar vuelta (a izquierda o derecha), deberá ser designado como un grupo de carril separado.
- Cualquier carril compartido, deberá ser asignado como un grupo de carril separado.
- Cualesquiera otros carriles que no sean carriles exclusivos de vueltas o carriles compartidos, deberán ser combinados en un grupo de carriles.

Paso 2: Determinación de la tasa de flujo por grupos de movimientos

En este paso se determina la tasa de flujo de cada grupo de movimientos. Si un movimiento de vuelta es servido por uno o más carriles exclusivos, sin carriles compartidos, entonces la tasa de flujo del movimiento se asigna a un grupo de movimiento. El flujo restante, que no ha sido asignado aún, deberá asignarse a otros grupos de movimientos. La tasa de flujo por vueltas a la derecha en rojo, debe restarse de la tasa de flujo por vueltas a la derecha, independientemente de si la vuelta ocurre desde un carril compartido o exclusivo.

Paso 3: Determinación de la tasa de flujo por grupos de carriles

En este paso se determina la tasa de flujo de cada grupo de carriles. Si no hay carriles compartidos en el acceso o éste tiene solamente un carril, hay una correspondencia uno a uno entre grupos de carriles y grupos de movimientos. En esta situación, la tasa de flujo del grupo de carriles es igual a la tasa de flujo del grupo de movimientos.

Es necesario convertir los volúmenes horarios a tasas de flujo través del factor de la hora de máxima demanda, con la siguiente ecuación.

$$v = \frac{V}{FHMD}$$

Donde:

v= Tasa de flujo ajustado (vehículos/hra)

V= Volumen horario (vehículos/hra)

FHMD= Factor de la hora de máxima demanda

Los valores del factor de la hora máxima demanda se extienden desde 0.80 a 0.95, pero se recomienda utilizar para accesos con volumen total horario menor a los 1000 veh /hra un factor de 0.90.

Paso 4: Determinación de la tasa de flujo de saturación ajustada

La tasa de flujo de saturación se define como la tasa máxima de flujo, en un acceso o grupo de carriles, que puede pasar a través de la intersección bajo las condiciones prevalecientes del tránsito y la calle, suponiendo que dicho acceso o grupo de carriles tiene el 100% del tiempo disponible como verde efectivo (esto es, $g/C=1.0$).

Las condiciones prevalecientes del tránsito incluyen los volúmenes por tipo de movimiento (izquierda, directo, derecha), su composición vehicular (automóviles, autobuses, camiones), maniobras de estacionamiento, paradas de autobuses y conflictos con peatones y ciclistas.

Las condiciones prevalecientes de la calle describen las características geométricas de los accesos en términos del número y ancho de carriles, pendientes y uso de carriles incluyendo carriles de estacionamiento.

Las condiciones prevalecientes del semáforo incluyen la secuencia de fases, asignación de tiempos y el tipo de operación o control.

El procedimiento aplicado en este paso, consiste de intersecciones que operan bajo ciclos prefijados y sin interacciones con peatones y ciclistas.

El flujo de saturación, del grupo de carriles i , puede determinarse mediante estudios de campo o ajustarse con la siguiente expresión:

$$S_i = S_o * N_i * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{LU} * f_L * f_R * f_{Lpb} * f_{Rpb}$$

Donde:

S_i = Tasa de flujo de saturación ajustada del grupo de carriles i (vehículos/hora verde)

S_o = Tasa de flujo de saturación base (autos/hora verde/ carril)

N_i = Número de carriles del grupo i

f_w = Factor de ajuste por ancho de carriles

f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados en el flujo de tránsito

f_g = Factor de ajuste por pendiente del acceso

f_p = Factor de ajuste por estacionamiento adyacente al grupo de carriles

f_{bb} = Factor de ajuste por bloqueo de buses que paran en el área de la intersección

f_a = Factor de ajuste por tipo de área

f_{LU} = Factor de ajuste por utilización de carriles

f_L = factor de ajuste por vueltas a la izquierda

f_R = Factor de ajuste por vueltas a la derecha

f_{Lpb} = Factor de ajuste por peatones y bicicletas para vueltas vehiculares a la izquierda

fRpb= Factor de ajuste por peatones y bicicletas para vueltas vehiculares a la derecha

Los anteriores factores se describen a continuación:

Tasa de flujo de saturación base: s_0

El criterio para poder selección el valor de s_0 es la población del área en la que se sitúa la intersección. Los valores por defecto empleados para este parámetro son los siguientes:

- Si la intersección está ubicada en una zona urbana con una población igual o superior a 250.000 habitantes, el valor de s_0 será de 1900 veh/hora carril.
- En caso contrario, $s_0 = 1750$ veh/hora carril.

Ajuste por ancho de carriles: f_w

Tiene en cuenta el impacto negativo en el flujo de saturación por la presencia de carriles angostos, y a su vez, permite incrementar el flujo cuando se dispone de carriles amplios (de anchos mayores a 3.92 metros).

Tabla 2. Factor de ajuste

Ancho medio del carril (m)	Factor de ajuste f_w
< 3.0	0.96
≥ 3.0 -3.92	1
> 3.92	1.04

Fuente: HCM 2010

Ajuste por vehículos pesados: f_{HV}

Tiene en cuenta el efecto de la presencia de vehículos pesados en el flujo vehicular. Dentro de los vehículos pesados se tienen en cuenta los camiones de carga y los autobuses, sin incluir aquellos buses locales que se detienen en la intersección en un paradero por ascenso y descenso de pasajeros. Los valores para este factor se calculan con la siguiente ecuación:

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_{HV}(E_T - 1)}$$

Donde:

f_{HV} = Porcentaje de vehículos pesados en el correspondiente grupo (%)

E_T = Número equivalente de automóviles directos a un vehículo pesado = 2

Ajuste por pendiente del acceso: f_g

Tiene en cuenta el efecto de la pendiente del acceso sobre el funcionamiento de los vehículos. Los valores para este factor se calculan con la siguiente ecuación.

$$f_g = 1 - \frac{P_g}{200}$$

Donde:

P_g = Porcentaje de pendiente del acceso, correspondiente al grupo de movimientos (%)

Este factor aplica para pendientes en el rango de -6% a +10%. Las pendientes negativas representan descenso y las positivas ascenso.

Ajuste por estacionamiento: f_p

Tiene en cuenta el efecto producido por el área de estacionamiento existente a un costado del carril. Introduce los posibles bloqueos ocasionados por la entrada y salida de vehículos del estacionamiento.

Cuando no haya la posibilidad de estacionarse, el valor de este factor tendrá el valor de 1, caso contrario se utiliza la ecuación.

$$f_p = \frac{N_i - 0.1 - \frac{18N_m}{3600}}{N_i} \geq 0.050$$

Donde:

N_m = Número de maniobras de estacionamiento (≤ 180 maniobras/hra).

N_i = Número de carriles del grupo i.

Ajuste por bloqueo de buses que paran: f_{bb}

Es un ajuste que se produce por la detención de los buses para recoger o descargar pasajeros, bloqueando el flujo de tránsito en el respectivo grupo de carriles. Los valores para este factor se calculan con la ecuación.

$$f_{bb} = \frac{N_i - 0.1 - \frac{14.4N_b}{3600}}{N_i} \geq 0.050$$

Donde:

N_i = Número de carriles del grupo i

N_b = Número de buses que paran (buses/hra)

La ecuación anterior aplica para un máximo de 250 buses/hra, en el caso de que no existiera un bloqueo producido por los buses el factor de ajuste será 1.

Ajuste por tipo de área: fa

Este ajuste se usa para tener en cuenta la ineficiencia de las intersecciones cuando se encuentran ubicadas en el centro de la ciudad, en comparación con aquellas ubicadas fuera del centro. En tal caso, se utiliza un factor de 0.9.

Ajuste por utilización de carriles: f_{LU}

Este ajuste se utiliza cuando el grupo de carriles tiene más de un carril, donde la demanda no es igual en ellos. Los valores para este factor se calculan con la siguiente ecuación.

$$f_{LU} = \frac{V_i}{V_1 * N_i}$$

Donde:

V_i = Volumen de demanda del grupo de carriles i (vehículos/hra)

V_1 = Volumen de demanda del carril con el volumen más alto del grupo de carriles i (vehículos/hra)

N_i = Número de carriles del grupo i

Si el grupo de carriles tiene un carril compartido o un solo carril exclusivo, entonces este factor es 1.

Ajuste por vueltas a la izquierda f_L

Es el efecto que tiene la trayectoria de los vehículos que giran a la izquierda. Para carriles exclusivos el valor de f_L es de 0.95, para carriles compartidos el valor se calcula con la ecuación.

$$f_L = \frac{1}{1 + 0.05 * P_L}$$

Donde:

P_L = Proporción de vueltas a la izquierda en el grupo de carriles.

Ajuste por vueltas a la derecha f_R

Al igual que el anterior se utiliza para reflejar la trayectoria de los vehículos, pero en este caso, aquellos que dan vuelta a la derecha. Este factor se la calcula con la ecuación.

$$f_R = 1 - 0.15 * P_R$$

Donde:

P_R = Proporción de vueltas a la derecha en el grupo de carriles.

Para carriles exclusivos, el factor es de 0.85.

Ajuste por peatones y bicicletas en vueltas vehiculares a la izquierda y a la derecha f_{Lpb} y f_{Rpb}

Es un factor por la intervención de peatones y bicicletas en zonas de conflicto. Para este proyecto no se tomarán en cuenta.

Paso 5: Determinación de la proporción de llegadas durante el verde

Las demoras y las longitudes de cola en intersecciones semaforizadas dependerán en gran medida de la cantidad de vehículos que llegan en fase verde o rojo. Para el cálculo de este ajuste se emplea la siguiente ecuación.

$$P_i = R_{pi} * \left(\frac{g_i}{C} \right)$$

Donde:

P_i = Proporción de vehículos que llegan durante la fase verde.

R_{pi} = Relación de llegada, en el grupo de carriles i.

g_i = Tiempo de verde efectivo (seg).

C = Duración del ciclo (seg).

La calidad del flujo vehicular entre intersecciones se describe en seis tipos de llegadas a los accesos.

Tipo 1: Gran cantidad de vehículos que llegan al inicio de la fase roja, por tanto, la fluidez es deficiente ($R_p= 0.33$)

Tipo 2: Grupo moderado de vehículos que llegan a la mitad de la fase roja ($R_p= 0.67$)

Tipo 3: Llegadas aleatorias. Representa la operación en intersecciones aisladas o no interconectadas, o donde los beneficios de la progresión son mínimos ($R_p=1$)

Tipo 4: Grupo moderado de vehículos que llegan a la mitad de la fase verde ($R_p= 1.33$)

Tipo 5: Gran cantidad de vehículos que llegan al inicio de la fase verde. La calidad de la progresión es favorable ($R_p=1.67$)

Tipo 6: Grupos muy densos que progresan a través de varias intersecciones cortamente espaciadas ($R_p= 2$)

Paso 6: Determinación de la capacidad y la relación volumen a capacidad

Se debe determinar la capacidad y la relación que existe entre el volumen y la capacidad. Primero se calcula la capacidad, que es la tasa máxima de flujo que puede pasar a través de la intersección y se calcula con la siguiente ecuación.

$$c_i = s_i * \left(\frac{g_i}{C} \right)$$

Donde:

C_i = Capacidad del grupo de carriles i (veh/hra)

s_i = Tasa de flujo de saturación (veh/hora verde)

g_i = Tiempo de verde efectivo (seg)

C = Tiempo de ciclo del semáforo (seg)

Relación volumen a capacidad:

Para el cálculo de la relación de volumen capacidad o también llamado grado de saturación se la calcula con la siguiente ecuación.

$$X_i = \frac{v_i}{c_i}$$

Donde:

X = Relación volumen capacidad

v = Demanda (veh/hra)

c = Capacidad del grupo (veh/hra)

Paso 7: Determinación de las demoras

Las demoras calculadas en este paso representan un tiempo medio de demora que experimentan los vehículos que llegan a la intersección durante el periodo de análisis. Para calcular se emplea la siguiente ecuación.

$$d_i = d_1 * (PF) + d_2$$

Donde:

d_i = Demora media (seg/veh)

d_1 = Demora uniforme (seg/veh)

PF = Factor de ajuste por coordinación de semáforos.

d_2 = Demora incremental (seg/veh)

Factor de ajuste por coordinación

Una coordinación buena de los semáforos hará que una gran cantidad de vehículos lleguen en fase verde, y así favorecer el flujo vehicular. Para calcular este factor se utiliza la siguiente ecuación.

$$PF = \frac{(1 - P_i) * f_{PA}}{1 - \left(\frac{g_i}{C}\right)}$$

Donde:

P_i= Proporción de vehículos que llegan en fase verde.

f_{PA}= Factor de ajuste por grupos vehiculares que llegan en verde (para tipo de llegadas 1, 3, 5 y 6 el valor será de 1; para tipo de llegada 2 el valor será 2; para tipo de llegada 4 el valor será 1.15)

g_i/C= Proporción de tiempo verde disponible

Demora uniforme

Es la que ocurriría si los vehículos llegaran uniformemente distribuidos, tal que no existiera saturación durante ningún ciclo. Se determina mediante la siguiente ecuación.

$$d_1 = \frac{0.5 * C * \left(1 - \frac{g_i}{C}\right)^2}{1 - \left(\min(1, X_i) * \frac{g_i}{C}\right)}$$

Demora incremental

Esta demora toma en cuenta las llegadas aleatorias que pueden ocasionar que algunos ciclos se sobresaturen. Se calcula con la siguiente ecuación.

$$d_2 = 900 * T * \left((X_i - 1) + \sqrt{(X_i - 1)^2 + \frac{8 * k * I * X_i}{c_i * T}} \right)$$

Donde:

T= Duración del periodo de análisis (0.25 hra).

k= Factor de demora incremental de los semáforos en intersecciones (k=0.50).

I= Factor de ajuste por entradas en la intersección corriente arriba.

El factor de ajuste I tiene en cuenta los efectos de intersecciones corriente arriba, en la llegada de vehículos a un acceso de la intersección en estudio.

Para intersecciones aisladas el valor de $I = 1$, para intersecciones no aisladas se utiliza la siguiente ecuación.

$$I = 1 - 0.91 * (X_u^{2.68}) \geq 0.090$$

Donde:

X_u = Media ponderada de la relación volumen-capacidad de todos los movimientos de la intersección corriente arriba que contribuyen con el volumen del acceso de estudio.

Demoras agregadas

Para determinar la demora de un acceso se debe realizar un promedio ponderado de las demoras de todos los grupos de carriles del acceso, utilizando los flujos ajustados de los grupos de carriles, según la siguiente ecuación.

$$d_A = \frac{\sum_{i=1}^A (d_i v_i)}{\sum_{i=1}^A v_i}$$

Donde:

A = Número de grupos de carriles en el acceso A .

d_A = Demora en el acceso A (seg/veh).

d_i = Demora en el grupo de carriles i , en el acceso A (seg/veh).

v_i = Volumen ajustado del grupo de carriles i (veh/hra).

La demora en la intersección, igualmente se determina como un promedio ponderado de las demoras en todos los accesos de la intersección, según la siguiente ecuación.

$$d_I = \frac{\sum_{i=1}^I (d_A v_A)}{\sum_{i=1}^I v_A}$$

Donde:

I = Número de accesos de la intersección.

d_I = Demora en la intersección (seg/veh).

d_A = Demora en el acceso A (seg/veh).

v_A = Volumen ajustado del acceso A (veh/hra).

Paso 8: Determinación del nivel de servicio

Una vez obtenida la demora promedio para cada grupo de carriles y calcular la demora para cada acceso y para la intersección, se determina los niveles de servicio según la **Tabla 1**. Niveles de servicio en intersecciones con semáforos.

2.9. Metodología del software VISSIM³⁹

El VISSIM es un programa que puede analizar la operación del transporte vial público y privado bajo diferentes condiciones tales como: las particularidades del carril, composición vehicular, señales de tránsito, pares, etc., por lo que se constituye en una herramienta de gran utilidad para la evaluación de distintas alternativas basadas en la ingeniería de tránsito y medidas efectivas de planeación. Su estructura de red flexible proporciona a los usuarios confianza, para que perciban que se puede modelar cualquier tipo de configuración geométrica o comportamiento especial de la operación de los vehículos en el sistema de transporte.

Desarrollado por la empresa alemana Planung Transport Verkehr AG, este software basa su funcionamiento, principalmente, en el modelo de seguimiento vehicular desarrollado por Wiedemann y el modelo de cambio de carril.

El desarrollo de micro simulaciones en VISSIM, se realiza a través del suministro de parámetros al modelo, los cuales son obtenidos a través de fichas técnicas, que por ejemplo pueden ser brindadas por fabricantes de vehículos, o información recopilada en campo; esto permite que VISSIM pueda emular, de manera muy real, el comportamiento de un sistema.

³⁹ CONDORI AGUILAR, W. N. *Análisis y Evaluación microscópica del tráfico en el óvalo quiñones, haciendo uso del software PTV VISSIM*. 2018. p. 38.

2.9.1. Funcionamiento del software VISSIM⁴⁰

El software VISSIM es una herramienta computacional que demuestra la planificación del tráfico y el transporte sobre el flujo vial y sus impactos, mapeando las vías, las intersecciones, óvalos, entre otros. Asimismo, modela diferentes polígonos desde una calle simple hasta una intersección compleja.

La herramienta VISSIM es usada para la simulación del tráfico a nivel microscópico y mesoscópico. Esta simulación reproduce el tráfico real, considerando que se toma en cuenta los detalles como el diseño geométrico, número de vehículos, colas, etc. Y poder resolver los problemas viales para una mayor eficiencia. Además, la calibración de la simulación se obtiene por la interacción de los vehículos y el comportamiento del conductor en condiciones de tráfico real.

Esta herramienta genera la simulación del flujo de tráfico a diferentes niveles. A nivel microscópico, ofrece un nivel de detalle desde una perspectiva de accesibilidad, gestión de tránsito y seguridad, ya que los vehículos y los peatones pueden ser simulados individualmente. A nivel de modelo mesoscópico tienen un nivel de detalle más bajo.

El software VISSIM en su concepción es un modelo que conceptualiza el flujo del tráfico y control de señales. Realiza la simulación de manera realista, usando los parámetros de flujo de tráfico de vehículos y peatones. Así mismo, define los parámetros más relevantes como tiempo de viaje, demoras por control, longitud de colas entre otros.

2.9.2. Parámetros de entrada del modelo

VISSIM incorpora varios parámetros de entrada para la simulación del tráfico; a continuación, realizaremos una breve descripción de cada uno de ellos.

➤ Funciones de aceleración y deceleración

VISSIM utiliza distribuciones estocásticas para las funciones de aceleración y deceleración las cuales dependen de la velocidad actual y representan los diferentes comportamientos en la conducción.

⁴⁰ PTV VISSIM 8 (2015). User Guide.

Para cada tipo de vehículo se asigna dos funciones de aceleración y otras dos para la deceleración; y se representan mediante gráficas. Cada gráfica consiste de tres diferentes curvas que muestran los valores mínimos, medios y máximos de las funciones.

➤ **Distribuciones**

Algunos parámetros que se manejan en VISSIM están representados por medio de distribuciones de naturaleza estocástica, los cuales permiten asemejarse más a las situaciones reales. Los siguientes son parámetros que corresponden a esta naturaleza

- Distribución de Velocidad
- Distribución de Color
- Distribución de Modelo de Vehículos
- Distribución de Tiempos de Demora

➤ **Tipos de vehículos**

Se le denomina tipo a un grupo de vehículos con características técnicas y comportamiento de conducción similar, por defecto el VISSIM presenta los siguientes tipos: autos, camionetas, micros, camiones, bus, bus articulado, trenes, bicicletas y peatones.

➤ **Clase de vehículo**

Son características que contienen varios tipos de vehículos; VISSIM contiene por defecto las siguientes clases de vehículos: livianos, medianos, pesados, buses, trenes, peatones y bicicletas. Cabe mencionar que estos también pueden ser creados.

2.9.3. Modelo de seguimiento vehicular⁴¹

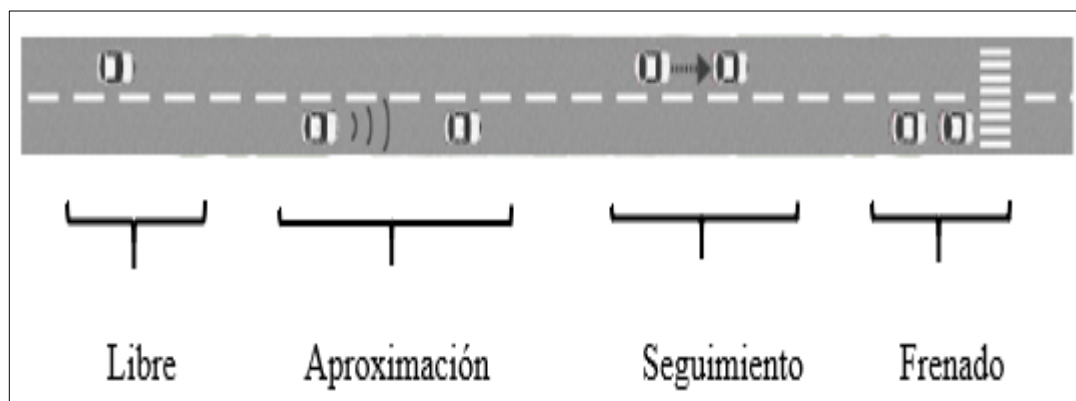
El modelo de seguimiento vehicular, desarrollado por Wiedemann (1974), está basado en parámetros psicofísicos que considera la percepción y reacción de los conductores frente a un vehículo precedente; este modelo describe el comportamiento del tráfico dentro de

⁴¹ SUAREZ, Andrea. *Análisis y Evaluación Operacional de Intersecciones Urbanas Mediante Microsimulación*. Universidad Nacional de Colombia. 2007.

un mismo carril, y se basa en cuatro estados, como se puede ver en la figura, los cuales son:

- Conducción libre: fase en la que el vehículo no es influenciado por la presencia de vehículos precedentes, el vehículo transita a una velocidad deseada.
- Aproximación: fase en la que el vehículo desacelera, debido a la presencia de un vehículo precedente que transita a una velocidad menor, hasta una velocidad que le permita mantener una distancia que el conductor considere segura respecto al vehículo precedente.
- Seguimiento: fase en la que el vehículo sigue al vehículo precedente a una distancia segura, manteniendo una velocidad similar a la del vehículo precedente.
- Frenado: fase en la que el vehículo desacelera, debido a que la distancia entre él y el vehículo precedente es menor a la distancia que el segundo vehículo considera segura.

Figura 11. Fases del modelo de Wiedemann 74



Fuente: Walter Aguilar (Arequipa – Perú)

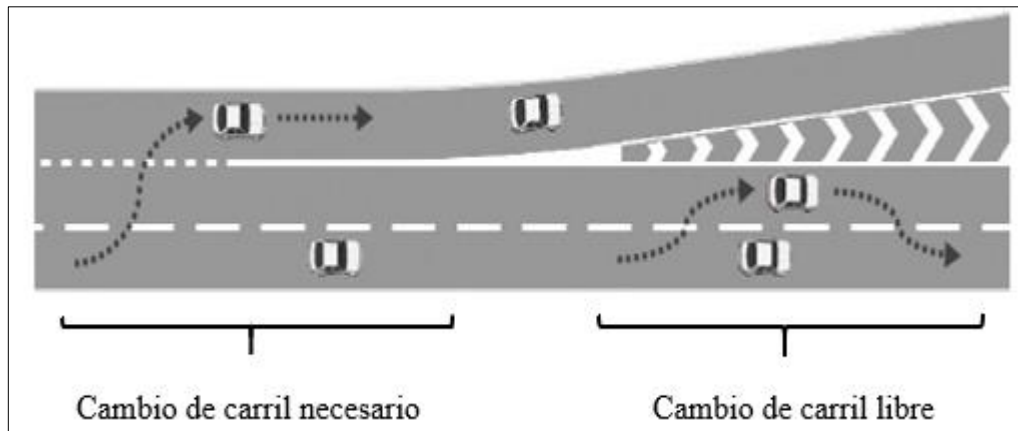
2.9.4. Modelo de cambio de carril.

Este modelo funciona a través de dos alternativas que tiene el conductor que circula por una vía, como se puede ver en la siguiente figura, estos son:

- Cambio de carril necesario: es cuando un vehículo debe cambiar de carril para poder seguir una ruta asignada.

- Cambio de carril libre: es cuando un vehículo rebasa a un vehículo más lento; para realizar el movimiento deseado, el conductor debe evaluar el riesgo que implica la maniobra; es decir, comprobar la presencia de vehículos circulando por el carril de adelantamiento.

Figura 12. Modelo de cambio de carril



Fuente: Walter Aguilar (Arequipa – Perú)

2.9.5. Calibración del modelo

La obtención de los parámetros necesarios en la correcta modelación, se pueden obtener de cuatro fuentes distintas: mediciones obtenidas en los ensayos de campo, valores citados de la bibliografía disponible, por “default” (valor propuesto por el modelo) y tomando el valor obtenido de la calibración, producto de correr el modelo hasta que el resultado de la predicción coincida con los valores obtenidos en campo, y corroborando que estos valores estén dentro de valores posibles citados en la bibliografía.

La calibración es un proceso iterativo que tiene por finalidad asegurar que el modelo realizado refleje adecuadamente la situación real (a través de sus condiciones locales). Se lleva a cabo mediante la comparación entre parámetros de eficiencia obtenidos con el software y los datos de campo. Se emplean parámetros como la longitud de colas, velocidad de viaje, tiempo de viaje y otros (Dowling et al., 2004). Estudios realizados por Bloomberg (2003) hacen mención que se podría presentar hasta una diferencia de resultados del 69% a condiciones futuras, si se presenta una diferencia del 13% entre velocidades en la calibración en vías rápidas. Para vías urbanas se toma aceptación hasta

el 20 % de margen de error en longitud de cola según el Software utilizado y menor al 10% en tiempos recorridos de un punto a otro.

Tabla 3. Errores admisibles en parámetros para la calibración

Parámetro	% error admisible hasta
Tiempo de recorrido	10
Longitud de cola	20
Velocidad en vías rápidas	13
Velocidad en vías interrumpidas	18

Fuente: Bloomberg (2003)

La simulación se lleva a cabo sobre modelos que contienen parámetros en representación del comportamiento individual de los vehículos, parámetros que describen desde elección de rutas hasta tiempos de reacción o agresividad en adelantamientos. En muchos casos, estos parámetros no son observables y deben ser calibrados antes de utilizar el modelo como herramienta predictiva. Los modelos de tráfico acostumbran a estar formados por submodelos, que intentan reproducir una toma de decisión concreta de un viajero individual, como por ejemplo la decisión de realizar un adelantamiento o de decelerar tras una frenada del coche precedente. Cada uno de estos submodelos contiene varios parámetros, con lo que en conjunto el modelo global consta de, quizás, varias de ellos. Por ello, resulta imposible aislarlos para medirlos individualmente. Por ello, lo usual es realizar la calibración de varios parámetros simultáneamente. A la hora de calibrar, se ajustan los parámetros para que los resultados del modelo sean similares a los datos reales medidos. Esta diferencia entre valores reales y simulados se calcula usando un agregado de información, que no describe el comportamiento individual de los vehículos. Esta información pueden ser flujos vehiculares, velocidades, tiempos de recorrido, longitudes de cola, etc. Igual que cualquier modelo, los modelos de tráfico no están exentos de simplificación.

Hay elementos con gran impacto en el comportamiento del tráfico en la realidad que no son tenidos en cuenta, como por ejemplo todo lo que pasa al lado de las vías o situaciones accidentales en la carretera. Sin embargo, al comparar los datos reales y los simulados, estamos suponiendo que el modelo tiene en cuenta todos los factores que afectan al tráfico, lo cual no es cierto, pero es una limitación que debemos aceptar. Esto va a llevar a errores e imperfecciones inevitables. En cuanto a los parámetros a calibrar, lo ideal sería calibrarlos todos. Sin embargo, computacionalmente o por limitación de datos disponibles, esto no es posible, por lo que es importante seleccionar adecuadamente cuales se van a calibrar y evitar a toda costa dejar sin calibrar parámetros de gran influencia.

Para este trabajo en específico se realizará el ajuste y calibración del software mediante la variación de los parámetros que componen los modelos con los que opera el software los cuales son: modelo de seguimiento vehicular de Wiedemann 74, modelo de cambio de carril y modelo de comportamiento lateral.

Validación del modelo

Este es el proceso donde se verifica si el modelo realizado cumple con las condiciones necesarias para ser apto a la evaluación de resultados. Como resultado final, se debe obtener valores semejantes entre el software utilizado y los resultados del campo, donde se tiene como base los parámetros modificados dentro del software en el proceso de calibración. Con la validación se busca cuantificar la confiabilidad con la que un modelo es capaz de predecir una determinada situación o proceso. En este proceso se considerarán tanto el tiempo de recorrido como la longitud de la cola, el objetivo final es obtener resultados similares entre los datos del software y los obtenidos en campo.

2.10. Metodología del método AASHTO

2.10.1. Nivel de servicio según AASHTO

Los niveles de servicio son una medida cualitativa de las condiciones de circulación, estableciéndose por el manual de capacidad de la administración federal de caminos de USA considerados como una norma en los países americanos los niveles de servicio son⁴²:

⁴² ORGAZ, Johnny. *Apuntes de clase Ingeniería de Tráfico*.

Tabla 4. Niveles de servicio según AASHTO

Nivel de servicio	Relación V/C	Descripción
A	<0,6	Flujo libre de vehículos
B	0,61-0,70	Flujo libre razonable
C	0,71-0,80	Se mantiene en zona estable
D	0,81-0,90	Acercándose a flujo inestable
E	0,91-1	Flujo inestable
F	>1	Flujo forzado

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets

La Tabla muestra la guía recomendada por la AASHTO en el conocido manual de la especialidad de diseño geométrico, para seleccionar el nivel de servicio de una carretera y calles urbanas, en función de su tipología y las características. Las limitaciones financieras características del medio centroamericano y las distancias medias de viajes relativamente más cortas, combinados con una aparente tolerancia a mayores grados de congestiónamiento, inducen a pensar que esta tabla puede ofrecer las soluciones más deseables, aunque los niveles de servicio recomendables sean de menores exigencias⁴³.

2.10.2. Análisis de la capacidad vehicular

Aunque resulte bastante difícil establecer valores numéricos para la capacidad vehicular en calles y carreteras por los diversos factores que rodean a la circulación vehicular, los estudios más serios que se han realizado a nivel mundial son las que están reflejadas por el manual de capacidad de la administración federal de los EEUU que después de numerosos estudios en diferentes tipos de carreteras donde variaban No de carriles volúmenes de tráfico, tipos de vehículos, condiciones de entorno, características físicas, geométricas, etc. establecieron algunas pautas generales para medición de capacidad de carreteras y calles diferentes tablas de valores o factores de incidencia en la reducción de esta capacidad.

⁴³ AASHTO, A Policy on Geometric Design of Rural Highways and Streets, 1994, p. 90.

$$\text{Capacidad real} = \text{capacidad teórica} * f_c * f_b * f_{vp}$$

Capacidad teórica= 900 veh/h

$f_c * f_b * f_{vp}$ = coeficientes de reducción de capacidad dados por el manual de capacidad

Debido a las condiciones diferentes que existe entre la circulación en carreteras y la circulación en calles urbanas, se ha diferenciado el estudio de capacidad en:

- Capacidad para vías ininterrumpidas
- Capacidad para vías interrumpidas

2.10.2.1. Capacidad en vías interrumpidas⁴⁴

A diferencia de lo que ocurre en las carreteras o vías interrumpidas en calles urbanas se considera a las vías de carácter interrumpido debido a que en la circulación existen una serie de factores que producen paralización y demoras en la circulación haciéndose el tráfico interrumpido.

❖ Efectos que reducen la capacidad en vías interrumpidas

Existen diferentes factores que inciden en la capacidad vehicular en las calles urbanas, entre esos efectos los más importantes son:

Tabla 5. Coeficiente por ancho de carril

ANCHO DE CARRIL (m)	VEHICULOS POR HORA	PORCENTAJE DE CAPACIDAD
3,65	900	100
3,35	774	86
3,05	693	77
2,75	630	70

Fuente: Método AASHTO

⁴⁴ ORGAZ, Johnny. *Apuntes de clase Ingeniería de Tráfico*.

Tabla 6. Coeficiente por ancho de berma

ANCHO DE BERMA	ANCHO EFECTIVO DE CALZADA
1,80	7,30
1,20	6,70
0,60	6,10
0,00	5,50

Fuente: Método AASHTO

Tabla 7. Coeficiente por vehículos pesados

	VEHICULOS	PESADOS		
	TERRENO	PLANO	TERRENO	ONDULADO
% VEHICULOS PESADOS	VEHICULOS POR HORA	% DE CAPACIDAD	VEHICULOS POR HORA	% DE CAPACIDAD
0	900	100	900	100
10	800	89	640	71
20	710	79	500	55

Fuente: Método AASHTO

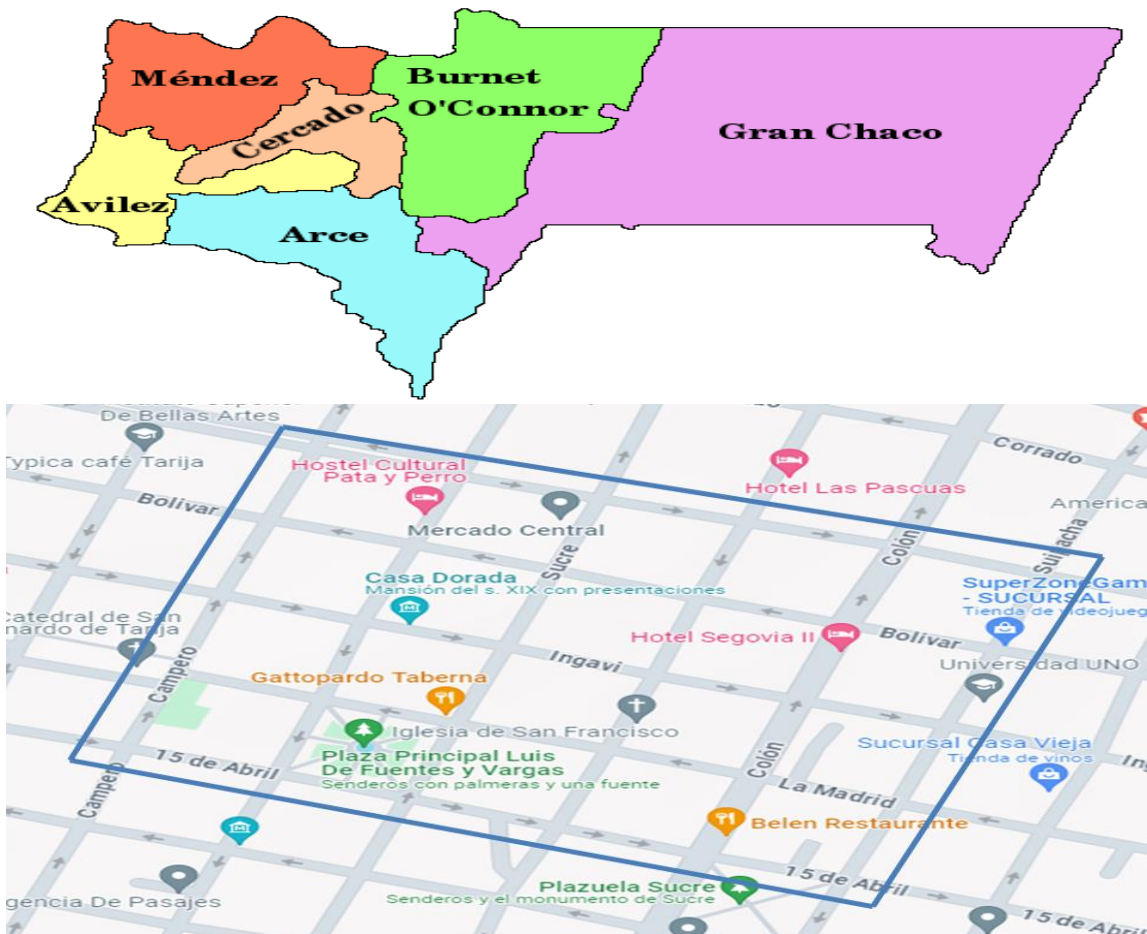
CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA SOBRE LA COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS HCM 2010 Y VISSIM EN EL CASCO VIEJO DE LA CIUDAD DE TARIJA

3.1. Ubicación del área de estudio

El estudio de investigación se encuentra en la ciudad de Tarija, Bolivia, específicamente en la provincia cercado en la zona central del casco viejo de la ciudad, en el cual se optó por estudiar las intersecciones o puntos en donde el tráfico es muy denso y así ver el comportamiento de los vehículos en las calles, al igual que otras ciudades, presenta serios problemas de tráfico vehicular que afectan a todos los usuarios en su desplazamiento hacia sus destinos y actividades.

Figura 13. Ubicación del área de proyecto

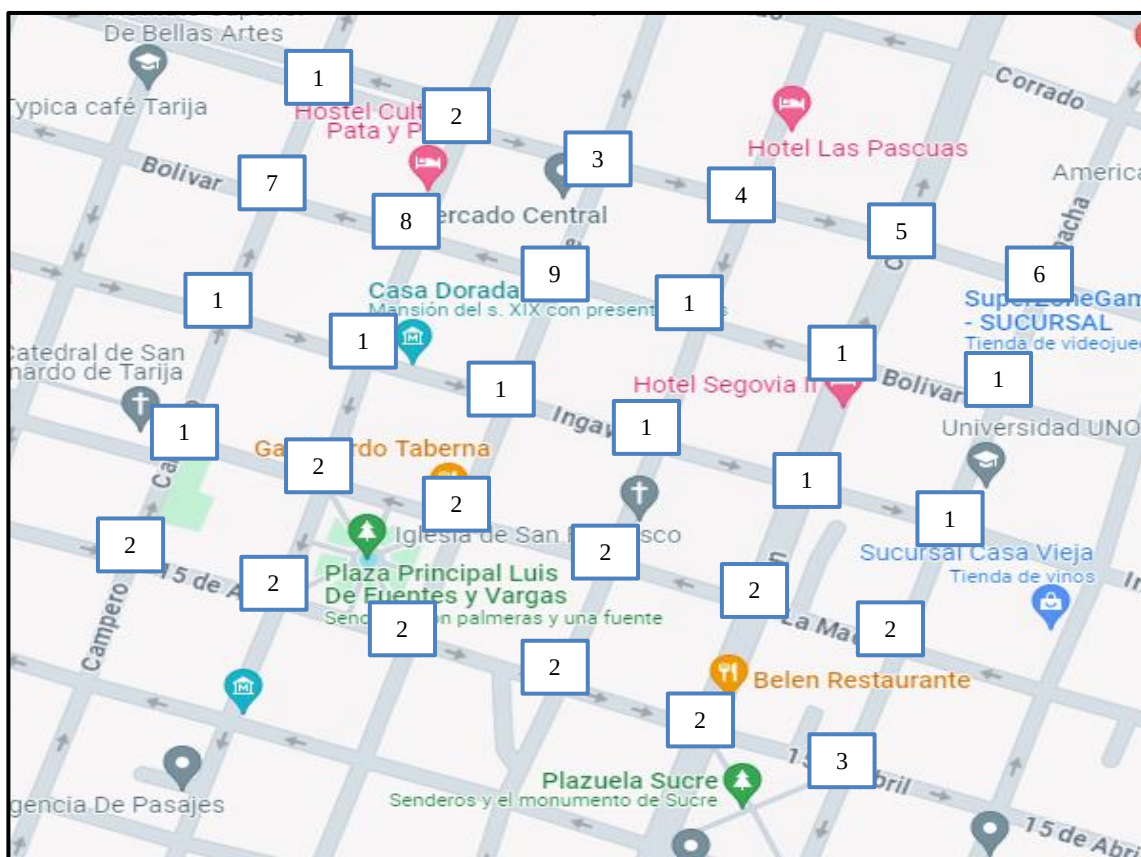


Fuente: Elaboración propia

3.2. Delimitación del área de estudio

Es fundamental mencionar que antes de establecer la delimitación del área de investigación, se llevó a cabo un análisis visual de la zona y se recorrió el lugar, también se revisaron las características de la realidad, se observó el sistema de transporte y se analizaron los tipos de vehículos y la calidad del servicio, durante este proceso se pudo notar que las intersecciones o puntos más problemáticos experimentaban un mayor nivel de tráfico congestionado. A partir de estos factores, se optó por realizar un estudio de las mencionadas intersecciones, delimitadas específicamente desde la calle Campero hasta la Suipacha y la calle 15 de Abril hasta la avenida Domingo Paz, donde se identificaron las intersecciones más críticas para la realización del conteo vehicular también denominado aforo, esta red consta de 25 cuadras y 30 intersecciones distribuidas cada una con dos accesos teniendo un total de 60 puntos.

Figura 14. Delimitación del área de estudio



Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Intersecciones del área de estudio

Intersección	Acceso
1	Calle Domingo Paz
	Calle Campero
2	Calle Domingo Paz
	Calle General Trigo
3	Calle Domingo Paz
	Calle Sucre
4	Calle Domingo Paz
	Calle Daniel Campos
5	Calle Domingo Paz
	Calle Colón
6	Calle Domingo Paz
	Calle Suipacha
7	Calle Bolívar
	Calle Campero
8	Calle Bolívar
	Calle Gral. Trigo
9	Calle Bolívar
	Calle Sucre
10	Calle Bolívar
	Calle Daniel Campos
11	Calle Bolívar
	Calle Colón
12	Calle Bolívar
	Calle Suipacha
13	Calle Ingavi
	Calle Campero
14	Calle Ingavi
	Calle Gral. Trigo
15	Calle Ingavi
	Calle Sucre
16	Calle Ingavi
	Calle Daniel Campos
17	Calle Ingavi
	Calle Colón
18	Calle Ingavi
	Calle Suipacha
19	Calle La Madrid
	Calle Campero

20	Calle La Madrid
	Calle Gral. Trigo
21	Calle La Madrid
	Calle Sucre
22	Calle La Madrid
	Calle Daniel Campos
23	Calle La Madrid
	Calle Colón
24	Calle La Madrid
	Calle Suipacha
25	Calle 15 de Abril
	Calle Campero
26	Calle 15 de Abril
	Calle Gral. Trigo
27	Calle 15 de Abril
	Calle Sucre
28	Calle 15 de Abril
	Calle Daniel Campos
29	Calle 15 de Abril
	Calle Colón
30	Calle 15 de Abril
	Calle Suipacha

Fuente: Elaboración propia

3.3. Características del área de estudio

Las 30 intersecciones en el casco viejo de la ciudad de Tarija comparten características físicas similares, como calles estrechas y un tráfico vehicular dinámico. Con más del 50% de las actividades comerciales concentradas en esta área, muchas personas recurren al uso de vehículos, tanto públicos como privados, para acceder al centro y realizar sus actividades cotidianas. Esto resulta en una ocupación significativa del espacio vial, especialmente durante las horas pico; particularmente en las mañanas, al mediodía y por las tardes, cuando se observa una gran cantidad de vehículos congestionando las calles estrechas del centro. La situación se ve agravada por la creciente presencia de vehículos livianos y medianos, como taxis, taxis trufis y micros, así como por la falta de semáforos en algunas intersecciones y su mal estado en otras, lo que dificulta la circulación vehicular. Además, los estacionamientos no permitidos y la falta de respeto a las paradas de transporte público contribuyen al caos vial. La señalización horizontal en el área también

está deteriorada. Si no se toman medidas concretas y comprometidas para abordar esta problemática, es probable que enfrentemos una emergencia vial dramática en el futuro cercano.

3.4. Relevamiento de información

El relevamiento de los datos para poder analizar una intersección controlada por semáforos es un paso esencial en la realización del estudio.

Para la realización de levantamiento de datos, como primer paso se procede a determinar las horas pico, posteriormente el aforo de volúmenes, determinación de velocidades en cada tramo, determinación del ciclo de semáforos, determinación de longitud de cola, determinación de tiempos de recorrido, determinación de anchos de carriles, maniobras de estacionamiento y vehículos que paran.

3.4.1. Determinación de horas pico

Para determinar los horarios pico relevantes para este estudio, se realizó un seguimiento continuo del tráfico en la zona para localizar el tramo más congestionado y conflictivo.

Para identificar las horas pico específicas del tramo, se decidió utilizar la metodología AASHTO, esta recomendación se fundamenta en la premisa de que un lapso de 16 horas ofrece una visión integral de las condiciones de tráfico durante un día común, lo cual facilita la identificación de las horas pico.

El aforo vehicular se realiza durante 16 horas continuas, el propósito de realizar un aforo de 16 horas es el de poder identificar las horas con mayor flujo vehicular (horas pico), para este trabajo, no se realizó una discretización de los vehículos, sino que solamente se tomó en cuenta el volumen, es decir el número total de vehículos que transitaron por el punto por cada hora, y finalmente para la identificación de las horas pico propias del tramo, se vio la necesidad de generar un histograma de tráfico vehicular utilizando el volumen de vehículos vs tiempo (hora), para lo cual se realizó el conteo de un día completo en uno de los puntos del tramo, desde las 6:00 hasta las 22:00, rango en el cual se presentan las horas pico durante el día.

Tabla 9. Aforos vehiculares para la determinación de horas pico

Planilla de Aforo (Manual)				
Hoja de Aforo				
Fecha	Tipo			
08/08/2023	Tráfico Liviano		Tráfico Mediano	
Calle				
Bolívar	Público	Privado	Público	Privado
Hora	Fr	Fr	Fr	Fr
6:00-6:15	1	1	0	1
6:15-6:30	4	1	5	1
6:30-6:45	9	1	5	2
6:45-7:00	3	1	12	1
7:00-7:15	10	16	10	2
7:15-7:30	38	23	14	6
7:30-7:45	31	19	19	4
7:45-8:00	18	12	25	1
8:00-8:15	31	12	19	2
8:15-8:30	30	13	25	3
8:30-8:45	29	11	22	1
8:45-9:00	39	17	23	2
9:00-9:15	33	14	21	5
9:15-9:30	27	8	18	3
9:30-9:45	36	8	26	2
9:45-10:00	23	18	20	1
10:00-10:15	21	9	23	1
10:15-10:30	26	15	21	2
10:30-10:45	21	6	22	3
10:45-11:00	23	13	26	2
11:00-11:15	33	8	25	2
11:15-11:30	32	11	21	4
11:30-11:45	30	12	24	4
11:45-12:00	29	13	23	3
12:00-12:15	17	8	24	1
12:15-12:30	17	11	24	0
12:30-12:45	17	13	24	1
12:45-13:00	20	12	27	0

13:00-13:15	28	6	24	2
13:15-13:30	25	7	20	3
13:30-13:45	18	18	17	2
13:45-14:00	15	13	21	0
14:00-14:15	29	20	17	5
14:15-14:30	23	11	21	1
14:30-14:45	16	12	16	7
14:45-15:00	18	14	25	2
15:00-15:15	31	10	21	7
15:15-15:30	21	11	23	9
15:30-15:45	21	14	17	9
15:45-16:00	22	19	22	1
16:00-16:15	25	15	22	2
16:15-16:30	22	23	21	4
16:30-16:45	17	14	15	5
16:45-17:00	17	14	20	3
17:00-17:15	25	8	24	3
17:15-17:30	23	10	16	1
17:30-17:45	18	9	23	1
17:45-18:00	11	16	18	2
18:00-18:15	10	13	21	0
18:15-18:30	10	11	24	2
18:30-18:45	12	12	16	4
18:45-19:00	21	19	16	2
19:00-19:15	24	18	23	5
19:15-19:30	23	19	22	3
19:30-19:45	25	22	21	1
19:45-20:00	24	19	20	2
20:00-20:15	16	11	8	4
20:15-20:30	20	14	14	2
20:30-20:45	22	11	11	4
20:45-21:00	27	14	8	6
21:00-21:15	31	10	5	3
21:15-21:30	25	8	3	2
21:30-21:45	22	9	1	1
21:45-22:00	20	6	1	1

Fuente: Elaboración propia

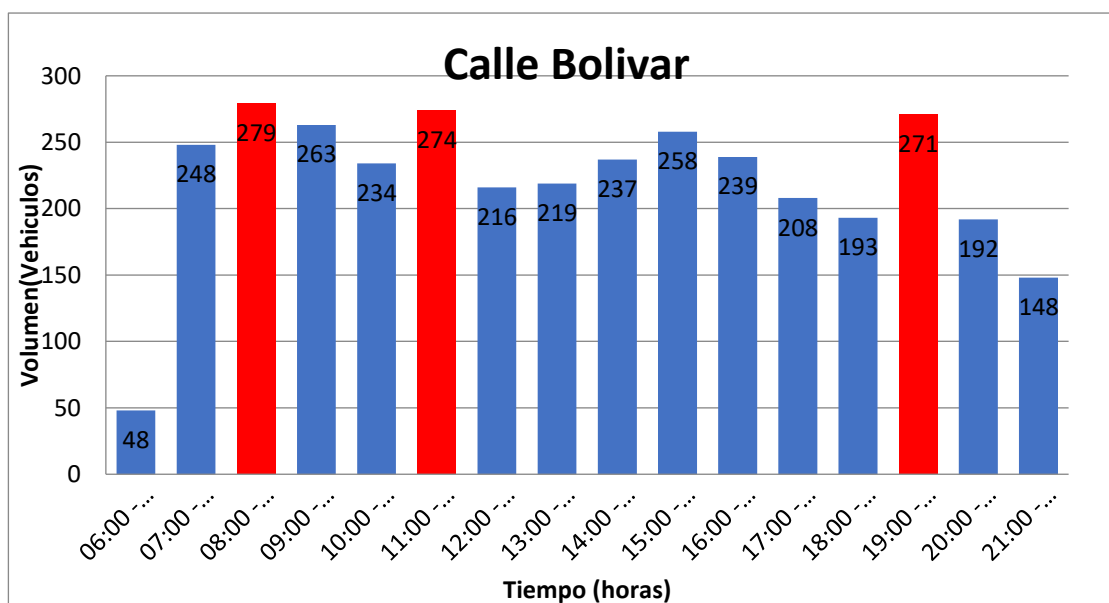
3.4.1.1. Resultados hora pico

Tabla 10. Resultados para la determinación de horas pico

Calle Bolívar	
Tiempo (horas)	Volumen (vehículos)
06:00 - 07:00	48
07:00 - 08:00	248
08:00 - 09:00	279
09:00 - 10:00	263
10:00 - 11:00	234
11:00 - 12:00	274
12:00 - 13:00	216
13:00 - 14:00	219
14:00 - 15:00	237
15:00 - 16:00	258
16:00 - 17:00	239
17:00 - 18:00	208
18:00 - 19:00	193
19:00 - 20:00	271
20:00 - 21:00	192
21:00 - 22:00	148

Fuente: Elaboración propia

Figura 15. Histograma para identificar las horas pico



Fuente: Elaboración propia

Nota: Con estas horas picos se trabajó para las treinta intersecciones.

A través de la gráfica con los registros de volúmenes de vehículos y tiempo se pudo determinar los horarios pico, cuyos resultados de horarios pico fueron de 08:00 a 09:00, 11:00 a 12:00 y de 19:00 a 20:00 respectivamente.

3.4.2. Aforo volumen vehicular

Ya con los horarios establecidos mediante las horas pico se determinó la clasificación vehicular y las distribuciones por acceso en cada una de las intersecciones de la red.

Tabla 11. Hoja de aforo vehicular

Hoja de Aforo											
Tipo											
Tráfico Liviano						Tráfico Mediano					
Público			Privado			Público			Privado		
											
Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr

Fuente: Elaboración propia

Los estudios de volúmenes de tráfico tienen como objetivo obtener datos precisos sobre el movimiento de vehículos en puntos específicos dentro de un sistema vial.

El proceso de conteo vehicular inicia con la selección de la metodología a seguir para conseguir los datos de campo bajo una normativa válida y reconocida tanto nacional como internacionalmente, la normativa AASHTO.

Durante este proceso, se consideró la composición vehicular (liviano, mediano, público o privado) y la dirección que seguían los vehículos (giro a la izquierda, giro a la derecha o recto).

A través del procedimiento de la norma Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transportes Oficiales (AASHTO), los periodos de aforo de volúmenes son de 1 mes, 3

días a la semana por 3 horas al día, de los cuales son 2 días hábiles y 1 día no hábil por semana durante 1 mes por intersección.

Según la normativa de la AASHTO, se optó por realizar la recopilación de datos durante los períodos de mayor flujo de tráfico en las áreas designadas; El conteo de vehículos se realizó manualmente, con observadores posicionados en cada intersección seleccionada para el estudio, utilizando una plantilla diseñada específicamente para este propósito, se registraron los datos durante los tres horarios de pico previamente establecidos: de 08:00 a 09:00, de 11:00 a 12:00 y de 19:00 a 20:00.

Se realizaron la toma de datos 3 días, siendo 2 días hábiles de lunes a viernes y un día no hábil sábado o domingo, durante un mes por cada intersección.

El intervalo de medición de cada punto de aforo se ha establecido en 1 hora, que serían en las horas pico.

A continuación, se presenta una muestra de los datos levantados de volumen vehicular sin depurar para la intersección N° 7 durante 1 mes.

Tabla 12. Aforo sin depurar intersección N° 7 (Calle Bolívar) de 08:00-09:00

Intersección		Hoja De Aforo											
Bolívar y Campero		Tipo											
		Tráfico Liviano						Tráfico Mediano					
Acceso Aforado		Tráfico Liviano						Tráfico Mediano					
Calle Bolívar													
Hora		Público			Privado			Público			Privado		
08:00-09:00													
Nº	Día	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr
Semana1	Lunes	0	39	120	0	35	74	0	64	24	0	10	14
	Miércoles	0	35	113	0	24	66	0	67	23	0	8	15
	Sábado	0	46	112	0	28	59	0	64	20	0	13	20
Semana2	Lunes	0	35	105	0	25	46	0	63	24	0	9	15
	Miércoles	0	27	112	0	20	53	0	60	23	0	15	19
	Sábado	0	34	111	0	25	60	0	64	23	0	11	16
Semana3	Lunes	0	40	113	0	29	66	0	65	22	0	10	15
	Miércoles	0	35	111	0	25	61	0	64	23	0	11	16
	Sábado	0	40	113	0	29	66	0	65	22	0	10	15
Semana4	Lunes	0	36	112	0	26	61	0	64	23	0	11	16
	Miércoles	0	37	112	0	27	62	0	64	23	0	11	16
	Sábado	0	41	110	0	26	63	0	66	22	0	11	15

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Aforo sin depurar intersección N° 7 (Calle Bolívar) de 11:00-12:00

Intersección		Hoja De Aforo											
Bolívar y Campero		Tipo											
		Tráfico Liviano						Tráfico Mediano					
Acceso Aforado													
Calle Bolívar													
Hora		Público			Privado			Público			Privado		
11:00-12:00													
Nº	Día	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr
Semana1	Lunes	0	32	106	0	24	68	0	60	20	0	5	11
	Miércoles	0	38	117	0	34	72	0	62	23	0	10	14
	Sábado	0	34	110	0	23	64	0	65	22	0	8	13
Semana2	Lunes	0	45	108	0	27	58	0	62	20	0	13	20
	Miércoles	0	40	102	0	17	45	0	61	23	0	9	15
	Sábado	0	34	108	0	25	61	0	62	22	0	9	14
Semana3	Lunes	0	35	107	0	25	63	0	61	23	0	9	13
	Miércoles	0	39	110	0	28	65	0	63	22	0	10	15
	Sábado	0	35	108	0	25	62	0	62	22	0	9	14
Semana4	Lunes	0	39	110	0	28	65	0	63	22	0	10	15
	Miércoles	0	36	108	0	26	63	0	62	22	0	9	14
	Sábado	0	42	110	0	31	65	0	62	22	0	12	17

Fuente: Elaboración propia**Tabla 14.** Aforo sin depurar intersección N° 7 (Calle Bolívar) de 08:00-09:00

Intersección		Hoja De Aforo											
Bolívar y Campero		Tipo											
		Tráfico Liviano						Tráfico Mediano					
Acceso Aforado		Tráfico Liviano						Tráfico Mediano					
Calle Bolívar													
Hora		Público			Privado			Público			Privado		
19:00-20:00													
N.º	Día	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr
Semana1	Lunes	0	35	91	0	29	70	0	61	18	0	7	13
	Miércoles	0	36	95	0	29	68	0	60	20	0	9	12
	Sábado	0	39	106	0	25	61	0	62	20	0	11	15
Semana2	Lunes	0	34	103	0	22	63	0	60	19	0	10	17
	Miércoles	0	25	106	0	27	51	0	60	22	0	6	17
	Sábado	0	34	100	0	25	60	0	61	20	0	8	15
Semana3	Lunes	0	36	102	0	26	60	0	61	20	0	8	16
	Miércoles	0	37	97	0	28	66	0	61	19	0	9	13
	Sábado	0	35	100	0	25	61	0	61	20	0	8	15
Semana4	Lunes	0	37	93	0	29	66	0	61	19	0	9	13
	Miércoles	0	35	99	0	26	61	0	61	20	0	8	15
	Sábado	0	38	101	0	27	65	0	61	20	0	10	14

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Aforo sin depurar intersección N° 7 (Calle Campero) de 08:00-09:00

Intersección		Hoja De Aforo											
Bolívar y Campero		Tipo											
		Tráfico Liviano						Tráfico Mediano					
Acceso Aforado													
Calle Campero													
Hora		Público			Privado			Público			Privado		
08:00-09:00													
N°	Día	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr
Semana1	Lunes	41	0	110	34	0	67	0	0	29	20	0	20
	Miércoles	44	0	111	40	0	76	0	0	24	15	0	21
	Sábado	62	0	90	33	0	61	0	0	29	18	0	20
Semana2	Lunes	48	0	107	46	0	60	0	0	26	16	0	18
	Miércoles	65	0	120	32	0	65	0	0	30	22	0	19
	Sábado	50	0	104	35	0	60	0	0	28	17	0	20
Semana3	Lunes	44	0	108	35	0	60	0	0	28	18	0	20
	Miércoles	50	0	114	35	0	69	0	0	28	19	0	20
	Sábado	46	0	109	35	0	64	0	0	28	18	0	20
Semana4	Lunes	49	0	106	35	0	61	0	0	28	18	0	20
	Miércoles	43	0	114	33	0	66	0	0	30	19	0	20
	Sábado	55	0	116	36	0	71	0	0	27	19	0	20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Aforo sin depurar intersección N° 7 (Calle Campero) de 11:00-12:00

Intersección		Hoja De Aforo											
Bolívar y Campero		Tipo											
		Tráfico Liviano						Tráfico Mediano					
Acceso Aforado													
Calle Campero													
Hora		Público			Privado			Público			Privado		
11:00-12:00													
N°	Día	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr
Semana1	Lunes	36	0	106	25	0	54	0	0	24	5	0	28
	Miércoles	45	0	103	16	0	53	0	0	26	4	0	20
	Sábado	36	0	137	21	0	64	0	0	25	11	0	34
Semana2	Lunes	35	0	106	10	0	56	0	0	27	5	0	25
	Miércoles	33	0	102	18	0	65	0	0	26	6	0	20
	Sábado	36	0	111	18	0	58	0	0	26	6	0	22
Semana3	Lunes	35	0	106	18	0	58	0	0	26	5	0	20
	Miércoles	37	0	115	21	0	56	0	0	25	7	0	27
	Sábado	35	0	107	19	0	56	0	0	26	5	0	22
Semana4	Lunes	36	0	110	18	0	57	0	0	26	6	0	23
	Miércoles	41	0	105	21	0	52	0	0	25	5	0	24
	Sábado	37	0	105	21	0	53	0	0	25	7	0	27

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Aforo sin depurar intersección N° 7 (Calle Campero) de 19:00-20:00

Intersección		Hoja De Aforo											
Bolívar y Campero		Tipo											
		Tráfico Liviano						Tráfico Mediano					
Acceso Aforado		Tráfico Liviano						Tráfico Mediano					
Calle Campero													
Hora		Público			Privado			Público			Privado		
19:00-20:00													
N.º	Día	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr
Semana1	Lunes	45	0	85	29	0	48	0	0	24	6	0	26
	Miércoles	23	0	98	28	0	53	0	0	26	5	0	3
	Sábado	22	0	113	21	0	60	0	0	23	11	0	30
Semana2	Lunes	20	0	101	28	0	59	0	0	27	10	0	24
	Miércoles	34	0	113	25	0	66	0	0	24	9	0	21
	Sábado	29	0	102	26	0	57	0	0	25	8	0	21
Semana3	Lunes	26	0	100	27	0	57	0	0	25	8	0	24
	Miércoles	25	0	109	25	0	62	0	0	25	10	0	25
	Sábado	28	0	103	26	0	58	0	0	25	8	0	22
Semana4	Lunes	26	0	102	26	0	58	0	0	25	8	0	24
	Miércoles	21	0	113	25	0	62	0	0	25	10	0	25
	Sábado	28	0	113	23	0	63	0	0	24	10	0	26

Fuente: Elaboración propia

3.4.2.1. Depuración de volumen vehicular

Lo más importante es que los datos de aforos que han sido recolectados en el campo durante el mes, la información debe ser procesada para ser analizada. La evaluación de los resultados de los estudios debe ser evaluada utilizando el método estadístico apropiado.

Después de ordenar los datos, se procedió a procesar los volúmenes de tráfico en las intersecciones, calculando la media y la desviación estándar para establecer los rangos aceptables, tanto superiores como inferiores. Esto permitió depurar aquellos datos que no se encontraban dentro de estos límites; Luego, se recalculó la media, que representa el resultado final con el que se trabajará para determinar los resultados finales.

- **Media aritmética**

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

Donde:

$\bar{x}$ = Media aritmética

x_i = Valor de observación

N = Número de datos

- **Desviación estándar**

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

Donde:

s = Desviación estándar

x_i = Valor de observación

$\bar{x}$ = Media aritmética

N = Número de datos

Determinación del rango superior:

La suma de la media más la desviación estándar determinan el rango superior

Rango superior = $\bar{x} + s$

Determinación del rango inferior:

La diferencia entre la media y la desviación estándar determinan el rango inferior

Rango inferior = $\bar{x} - s$

Para el procesamiento lo primero que se determina es la media de cada grupo de los datos de volúmenes vehiculares como se muestra en la tabla, de las cuatro semanas con su correspondiente horario de aforo en las 3 horas pico.

Posteriormente como segundo paso se calcula la desviación para luego obtener la media más la desviación y la media menos la desviación con esto adquirimos nuestro rango de cantidad máxima y mínima de vehículos. Los valores que se encuentran fuera de este

rango son depurados y se muestran en la tabla resaltados en rojo. Una vez depurados, se procede a realizar un nuevo cálculo para obtener la media de cada acceso, utilizando estos valores para calcular la media de cada uno de ellos.

Este procedimiento se repite para las demás intersecciones. Se adjunta un resumen de datos y resultados de aforos para todas las intersecciones estudiadas en los anexos.

Para la depuración de datos se tomó como ejemplo la intersección N° 7

Tabla 18. Depuración de datos intersección N° 7 (Calle Bolívar) de 08:00-09:00

Intersección		Hoja De Aforo											
Bolívar y Campero		Tipo											
Acceso Aforado		Tráfico Liviano						Tráfico Mediano					
Calle Bolívar													
Hora		Público			Privado			Público			Privado		
08:00-09:00													
N°	Día	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr
Semana1	Lunes	0	39	120	0	35	74	0	64	24	0	10	14
	Miércoles	0	35	113	0	24	66	0	67	23	0	8	15
	Sábado	0	46	112	0	28	59	0	64	20	0	13	20
Semana2	Lunes	0	35	105	0	25	46	0	63	24	0	9	15
	Miércoles	0	27	112	0	20	53	0	60	23	0	15	19
	Sábado	0	34	111	0	25	60	0	64	23	0	11	16
Semana3	Lunes	0	40	113	0	29	66	0	65	22	0	10	15
	Miércoles	0	35	111	0	25	61	0	64	23	0	11	16
	Sábado	0	40	113	0	29	66	0	65	22	0	10	15
Semana4	Lunes	0	36	112	0	26	61	0	64	23	0	11	16
	Miércoles	0	37	112	0	27	62	0	64	23	0	11	16
	Sábado	0	41	110	0	26	63	0	66	22	0	11	15
Media		0	37	112	0	27	61	0	64	23	0	11	16
Desviación		0	5	3	0	4	7	0	2	1	0	2	2
Rango Superior		0	42	115	0	31	68	0	66	24	0	13	18
Rango Inferior		0	32	109	0	23	54	0	62	22	0	9	14
Media		0	37	112	0	26	63	0	64	23	0	11	15

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Depuración de datos intersección N° 7 (Calle Bolívar) de 11:00-12:00

Intersección		Hoja De Aforo											
Bolívar y Campero		Tipo											
Acceso Aforado		Tráfico Liviano						Tráfico Mediano					
Calle Bolívar													
Hora		Público			Privado			Público			Privado		
11:00-12:00													
N°	Día	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr
Semana1	Lunes	0	32	106	0	24	68	0	60	20	0	5	11
	Miércoles	0	38	117	0	34	72	0	62	23	0	10	14
	Sábado	0	34	110	0	23	64	0	65	22	0	8	13
Semana2	Lunes	0	45	108	0	27	58	0	62	20	0	13	20
	Miércoles	0	40	102	0	17	45	0	61	23	0	9	15
	Sábado	0	34	108	0	25	61	0	62	22	0	9	14
Semana3	Lunes	0	35	107	0	25	63	0	61	23	0	9	13
	Miércoles	0	39	110	0	28	65	0	63	22	0	10	15
	Sábado	0	35	108	0	25	62	0	62	22	0	9	14
Semana4	Lunes	0	39	110	0	28	65	0	63	22	0	10	15
	Miércoles	0	36	108	0	26	63	0	62	22	0	9	14
	Sábado	0	42	110	0	31	65	0	62	22	0	12	17
Media		0	37	109	0	26	63	0	62	22	0	9	15
Desviación		0	4	3	0	4	7	0	1	1	0	2	2
Rango Superior		0	41	112	0	30	70	0	63	23	0	11	17
Rango Inferior		0	33	106	0	22	56	0	61	21	0	7	13
Media		0	37	109	0	26	63	0	62	22	0	9	14

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Depuración de datos intersección N° 7 (Calle Bolívar) de 19:00-20:00

Intersección		Hoja De Aforo											
Bolívar y Campero		Tipo											
Acceso Aforado		Tráfico Liviano						Tráfico Mediano					
Calle Bolívar													
Hora		Público			Privado			Público			Privado		
19:00-20:00													
N°	Día	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr
Semana1	Lunes	0	35	91	0	29	70	0	61	18	0	7	13
	Miércoles	0	36	95	0	29	68	0	60	20	0	9	12
	Sábado	0	39	106	0	25	61	0	62	20	0	11	15
Semana2	Lunes	0	34	103	0	22	63	0	60	19	0	10	17
	Miércoles	0	25	106	0	27	51	0	60	22	0	6	17
	Sábado	0	34	100	0	25	60	0	61	20	0	8	15
Semana3	Lunes	0	36	102	0	26	60	0	61	20	0	8	16
	Miércoles	0	37	97	0	28	66	0	61	19	0	9	13
	Sábado	0	35	100	0	25	61	0	61	20	0	8	15
Semana4	Lunes	0	37	93	0	29	66	0	61	19	0	9	13
	Miércoles	0	35	99	0	26	61	0	61	20	0	8	15
	Sábado	0	38	101	0	27	65	0	61	20	0	10	14
Media		0	35	99	0	27	63	0	61	20	0	9	15
Desviación		0	4	5	0	2	5	0	1	1	0	1	2
Rango Superior		0	39	104	0	29	68	0	62	21	0	10	17
Rango Inferior		0	31	94	0	25	58	0	60	19	0	8	13
Media		0	36	100	0	27	63	0	61	20	0	9	15

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Depuración de datos intersección N° 7 (Calle Campero) de 08:00-09:00

Intersección		Hoja De Aforo											
Bolívar y Campero		Tipo											
Acceso Aforado		Tráfico Liviano						Tráfico Mediano					
Calle Campero													
Hora		Público			Privado			Público			Privado		
08:00-09:00													
N°	Día	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr
Semana1	Lunes	41	0	110	34	0	67	0	0	29	20	0	20
	Miércoles	44	0	111	40	0	76	0	0	24	15	0	21
	Sábado	62	0	90	33	0	61	0	0	29	18	0	20
Semana2	Lunes	48	0	107	46	0	60	0	0	26	16	0	18
	Miércoles	65	0	120	32	0	65	0	0	30	22	0	19
	Sábado	50	0	104	35	0	60	0	0	28	17	0	20
Semana3	Lunes	44	0	108	35	0	60	0	0	28	18	0	20
	Miércoles	50	0	114	35	0	69	0	0	28	19	0	20
	Sábado	46	0	109	35	0	64	0	0	28	18	0	20
Semana4	Lunes	49	0	106	35	0	61	0	0	28	18	0	20
	Miércoles	43	0	114	33	0	66	0	0	30	19	0	20
	Sábado	55	0	116	36	0	71	0	0	27	19	0	20
Media		50	0	109	36	0	65	0	0	28	18	0	20
Desviación		7	0	8	4	0	5	0	0	2	2	0	1
Rango Superior		57	0	117	40	0	70	0	0	30	20	0	21
Rango Inferior		43	0	101	32	0	60	0	0	26	16	0	19
Media		48	0	110	35	0	63	0	0	28	18	0	20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Depuración de datos intersección N° 7 (Calle Campero) de 11:00-12:00

Intersección		Hoja De Aforo											
Bolívar y Campero		Tipo											
Acceso Aforado		Tráfico Liviano						Tráfico Mediano					
Calle Campero													
Hora		Público			Privado			Público			Privado		
11:00-12:00													
N°	Día	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr
Semana1	Lunes	36	0	106	25	0	54	0	0	24	5	0	28
	Miércoles	45	0	103	16	0	53	0	0	26	4	0	20
	Sábado	36	0	137	21	0	64	0	0	25	11	0	34
Semana2	Lunes	35	0	106	10	0	56	0	0	27	5	0	25
	Miércoles	33	0	102	18	0	65	0	0	26	6	0	20
	Sábado	36	0	111	18	0	58	0	0	26	6	0	22
Semana3	Lunes	35	0	106	18	0	58	0	0	26	5	0	20
	Miércoles	37	0	115	21	0	56	0	0	25	7	0	27
	Sábado	35	0	107	19	0	56	0	0	26	5	0	22
Semana4	Lunes	36	0	110	18	0	57	0	0	26	6	0	23
	Miércoles	41	0	105	21	0	52	0	0	25	5	0	24
	Sábado	37	0	105	21	0	53	0	0	25	7	0	27
Media		37	0	109	19	0	57	0	0	26	6	0	24
Desviación		3	0	9	4	0	4	0	0	1	2	0	4
Rango Superior		40	0	118	23	0	61	0	0	27	8	0	28
Rango Inferior		34	0	100	15	0	53	0	0	25	4	0	20
Media		36	0	107	19	0	56	0	0	26	6	0	23

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Depuración de datos intersección N° 7 (Calle Campero) de 19:00-20:00

Intersección		Hoja De Aforo											
Bolívar y Campero		Tipo											
Acceso Aforado		Tráfico Liviano						Tráfico Mediano					
Calle Campero													
Hora		Público			Privado			Público			Privado		
19:00-20:00													
N°	Día	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr
Semana1	Lunes	45	0	85	29	0	48	0	0	24	6	0	26
	Miércoles	23	0	98	28	0	53	0	0	26	5	0	3
	Sábado	22	0	113	21	0	60	0	0	23	11	0	30
Semana2	Lunes	20	0	101	28	0	59	0	0	27	10	0	24
	Miércoles	34	0	113	25	0	66	0	0	24	9	0	21
	Sábado	29	0	102	26	0	57	0	0	25	8	0	21
Semana3	Lunes	26	0	100	27	0	57	0	0	25	8	0	24
	Miércoles	25	0	109	25	0	62	0	0	25	10	0	25
	Sábado	28	0	103	26	0	58	0	0	25	8	0	22
Semana4	Lunes	26	0	102	26	0	58	0	0	25	8	0	24
	Miércoles	21	0	113	25	0	62	0	0	25	10	0	25
	Sábado	28	0	113	23	0	63	0	0	24	10	0	26
Media		27	0	104	26	0	59	0	0	25	9	0	23
Desviación		7	0	8	2	0	5	0	0	1	2	0	7
Rango Superior		34	0	112	28	0	64	0	0	26	11	0	30
Rango Inferior		20	0	96	24	0	54	0	0	24	7	0	16
Media		26	0	102	26	0	60	0	0	25	9	0	24

Fuente: Elaboración propia

Nota: Todos los datos que están marcado con rojo son depurados.

Una vez eliminados los datos que no entran dentro de los rangos establecidos, se obtienen los volúmenes finales para la intersección N°7 que se tomó como ejemplo para explicar la depuración de datos.

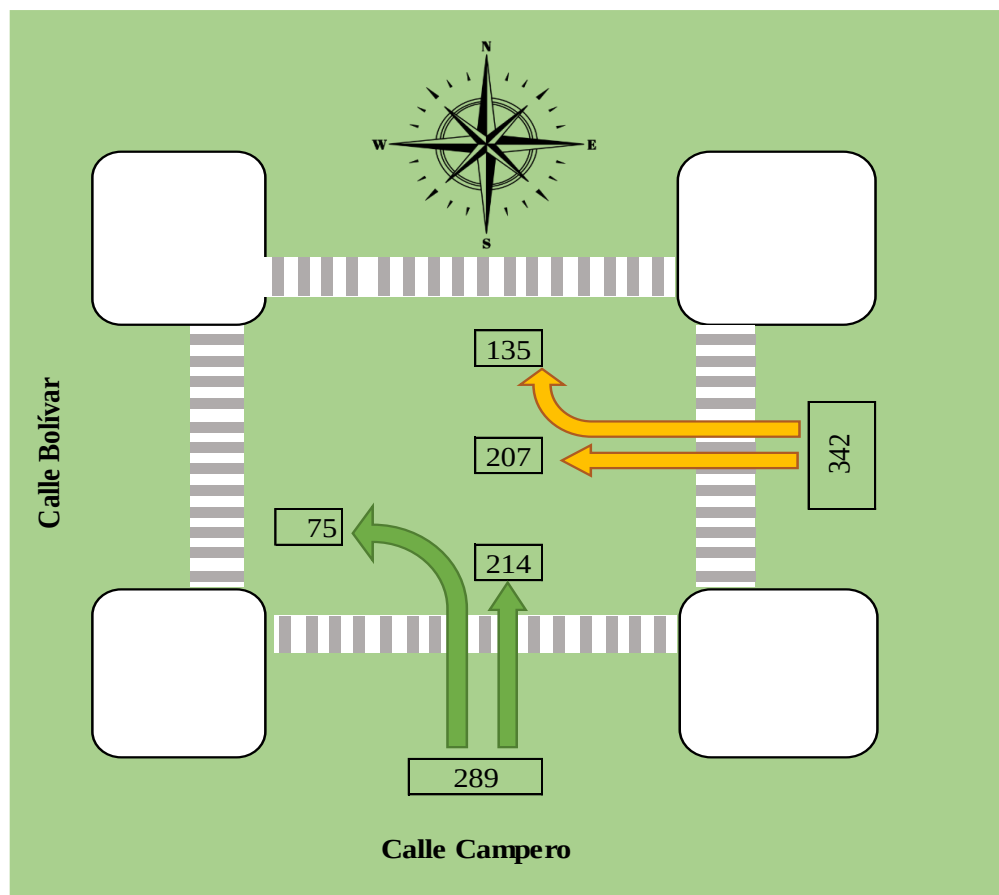
Resultados de volúmenes vehiculares ya depurados de la intersección N° 7

Tabla 24. Resultados de volúmenes vehiculares intersección N° 7 (Bolívar-campero)

Acceso	Tráfico Liviano						Tráfico Mediano						Total (Veh/Hr)	Total		
	Público			Privado			Público			Privado				Gi	Gd	Fr
	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr				
Calle Bolívar	0	37	107	0	26	63	0	62	22	0	10	15	342	0	135	207
Calle Campero	37	0	106	27	0	60	0	0	26	11	0	22	289	75	0	214

Fuente: Elaboración propia

Figura 16. Resultados de distribución vehicular intersección N° 7 (Bolívar-campero)



Fuente: Elaboración propia

3.4.2.2. Resumen de los Resultados de volumen vehicular

En la siguiente tabla se muestra los resultados totales de volúmenes vehiculares para cada intersección con sus respectivos accesos.

Tabla 25. Resumen de los resultados de volumen de vehicular

Intersección	Acceso	Total (Veh/Hr)	Total (Veh/Hr)		
			Gi	Gd	Fr
1	Calle Domingo Paz	339	57	0	282
	Calle Campero	353	48	100	205
2	Calle Domingo Paz	327	0	90	237
	Calle General Trigo	345	110	87	148
3	Calle Domingo Paz	368	120	0	248
	Calle Sucre	341	0	96	245
4	Calle Domingo Paz	354	0	78	276
	Calle Daniel Campos	315	71	0	244
5	Calle Domingo Paz	358	63	0	295
	Calle Colón	418	0	91	327
6	Calle Domingo Paz	324	0	92	232
	Calle Suipacha	411	156	0	255
7	Calle Bolívar	342	0	135	207
	Calle Campero	289	75	0	214
8	Calle Bolívar	344	83	0	261
	Calle Gral. Trigo	295	0	62	233
9	Calle Bolívar	322	0	116	206
	Calle Sucre	310	74	0	236
10	Calle Bolívar	424	190	0	234
	Calle Daniel Campos	337	0	76	261
11	Calle Bolívar	302	0	74	228
	Calle Colón	404	136	0	268
12	Calle Bolívar	286	79	0	207
	Calle Suipacha	365	0	83	282
13	Calle Ingavi	287	51	0	236
	Calle Campero	343	0	98	245
14	Calle Ingavi	331	0	95	236
	Calle Gral. Trigo	314	100	0	214

15	Calle Ingavi	340	87	0	253
	Calle Sucre	307	0	85	222
16	Calle Ingavi	348	0	69	279
	Calle Daniel Campos	406	156	0	250
17	Calle Ingavi	414	143	0	271
	Calle Colón	370	0	69	301
18	Calle Ingavi	317	0	71	246
	Calle Suipacha	384	96	0	288
19	Calle La Madrid	301	228	73	0
	Calle Campero	259	0	0	259
20	Calle La Madrid	328	145	0	183
	Calle Gral. Trigo	316	0	118	198
21	Calle La Madrid	258	0	121	137
	Calle Sucre	273	70	0	203
22	Calle La Madrid	313	90	0	223
	Calle Daniel Campos	330	0	62	268
23	Calle La Madrid	319	0	132	187
	Calle Colón	327	110	0	217
24	Calle La Madrid	325	97	0	228
	Calle Suipacha	334	0	83	251
25	Calle 15 de Abril	365	125	0	240
	Calle Campero	268	0	55	213
26	Calle 15 de Abril	317	0	108	209
	Calle Gral. Trigo	320	140	0	180
27	Calle 15 de Abril	336	105	0	231
	Calle Sucre	358	0	87	271
28	Calle 15 de Abril	326	0	84	242
	Calle Daniel Campos	300	72	0	228
29	Calle 15 de Abril	358	79	0	279
	Calle Colón	344	0	94	250
30	Calle 15 de Abril	396	0	104	292
	Calle Suipacha	386	117	0	269

Fuente: Elaboración propia

3.4.3. Aforo de velocidades

Para estudiar las velocidades, se midió la velocidad de punto usando el método del cronómetro, este aforo se realizó de manera manual, donde se mide una distancia entre dos puntos de 25 m de circulación libre, justo antes de cada acceso a la intersección y con un cronómetro se procedió a medir los tiempos que tarda cada vehículo en recorrer esa distancia, para así obtener las velocidades, es así que se realiza la medición de cinco vehículos al azar por cada acceso durante las horas pico.

Para el cálculo de la velocidad de punto se realizó los aforos de los tiempos en los mismos días que se eligió para hacer los aforos de volúmenes. Se tomó también un mes de aforo en los mismos días y horas que se eligió para hacer los aforos de volúmenes.

Para proceder a la medición de las velocidades en las zonas de estudio, se realizó de la siguiente manera, primero se midió la distancia de un punto a otro, se tomó distancias de 25 metros, luego se controló el tiempo en que tarda en pasar el vehículo por esa distancia medida, registrando cada 5 vehículos que pasaban por cada acceso.

Para calcular las velocidades de punto 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)

Tabla 26. Aforo de velocidades

N°	Acceso	Distancia	Velocidad (Km/h)				
		(m)	1	2	3	4	5
1	Domingo Paz y Campero	25	12,80	11,67	15,73	14,45	14,17
2	Domingo Paz y General Trigo	25	8,88	8,81	8,40	9,27	8,90
3	Domingo Paz y Sucre	25	10,45	10,19	10,59	9,89	9,85
4	Domingo Paz y Daniel Campos	25	13,14	11,35	16,92	15,79	14,06
5	Domingo Paz y Colon	25	18,60	16,82	18,26	18,67	16,48
6	Domingo Paz y Suipacha	25	18,71	19,48	18,63	19,15	21,08
7	Bolívar y Campero	25	15,49	17,48	16,42	19,35	14,13
8	Bolívar y General Trigo	25	14,90	11,60	12,88	11,69	12,30
9	Bolívar y Sucre	25	8,13	7,67	7,44	7,83	7,44
10	Bolívar y Daniel Campos	25	11,19	12,30	10,70	11,11	10,56
11	Bolívar y Colon	25	15,25	13,78	11,44	12,48	15,15
12	Bolívar y Suipacha	25	17,44	14,40	14,73	13,31	16,42
13	Ingavi y Campero	25	13,91	14,47	14,24	12,50	12,88
14	Ingavi y General Trigo	25	12,28	13,72	10,42	12,16	11,11
15	Ingavi y Sucre	25	11,60	10,84	11,90	12,16	10,98
16	Ingavi y Daniel Campos	25	14,13	13,06	15,46	13,85	13,43
17	Ingavi y Colon	25	11,72	14,35	13,82	14,35	14,29
18	Ingavi y Suipacha	25	14,83	13,95	14,40	13,27	13,91
19	La Madrid y Campero	25	9,16	9,86	9,68	9,77	10,11
20	La Madrid y General Trigo	25	14,26	13,78	15,23	14,31	13,93
21	La Madrid y Sucre	25	14,38	13,82	14,29	12,68	12,95
22	La Madrid y Daniel Campos	25	17,82	16,73	16,22	16,61	15,25
23	La Madrid y Colon	25	13,25	12,86	14,33	12,40	12,59

24	La Madrid y Suipacha	25	16,67	14,80	15,20	16,30	14,63
25	15 de Abril y Campero	25	14,08	16,01	15,79	15,18	15,65
26	15 de Abril y General Trigo	25	17,82	17,11	17,89	16,98	16,51
27	15 de Abril y Sucre	25	17,14	16,27	17,05	15,79	16,51
28	15 de Abril y Daniel Campos	25	12,50	12,41	12,50	13,37	13,72
29	15 de Abril y Colon	25	11,19	10,23	11,73	12,36	12,28
30	15 de Abril y Suipacha	25	12,11	12,00	14,24	14,38	13,85

Fuente: Elaboración propia

3.4.3.1. Depuración de velocidades

Una vez calculadas las velocidades para cada tramo, se realizó el análisis estadístico correspondiente, considerando la media aritmética, la desviación estándar y el rango de depuración. Se busca calcular la dispersión de los datos en cualquier muestra estadística, identificando los límites en los que se sitúa el valor obtenido en los aforos de cada punto y tramo. Para determinar este intervalo, se ordenan los datos, se calcula la media aritmética y la desviación estándar, y se establece el rango de depuración.

La depuración de velocidades en una intersección tiene como objetivo optimizar y controlar las velocidades de los vehículos para mejorar tanto la seguridad vial como el flujo del tráfico en ese lugar específico.

Después de filtrar los datos que están fuera de los rangos establecidos, se lleva a cabo un nuevo cálculo para determinar la media, lo que resulta en la velocidad final objeto de estudio.

Media aritmética

Esta velocidad es una estimación de la velocidad esperada de cualquier vehículo al azar, en el punto donde el estudio fue realizado, y estadísticamente un estimador de la velocidad media real de punto de la población.

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

Donde:

$\bar{x}$ = Media aritmética

x_i = Valor de observación

N = Número de datos

Desviación estándar

Debido a que no todos los vehículos viajan a la misma velocidad, existe una dispersión de sus velocidades alrededor de la media. Una medida estadística de dispersión es la desviación estándar, la cual por definición se expresa como:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

Donde:

s = Desviación estándar

x_i = Valor de observación

$\bar{x}$ = Media aritmética

N = Número de datos

Determinación del rango superior:

La suma de la media más la desviación estándar determinan el rango superior

$$\text{Rango superior} = \bar{x} + s$$

Determinación del rango inferior:

La diferencia entre la media y la desviación estándar determinan el rango inferior

$$\text{Rango superior} = \bar{x} - s$$

Eliminando todos los datos que no estén comprendidos entre ese rango.

Tabla 27. Depuración de velocidades

N°	Acceso	Distancia (m)	Velocidad (Km/h)					Media (Km/h)	Desviación	R. Superior	R. Inferior	Velocidad Media
			1	2	3	4	5					(Km/h)
1	Domingo Paz y Campero	25	12,80	11,67	15,73	14,45	14,17	13,77	1,57	15,33	12,20	13,81
2	Domingo Paz y General Trigo	25	8,88	8,81	8,40	9,27	8,90	8,85	0,31	9,16	8,54	8,86
3	Domingo Paz y Sucre	25	10,45	10,19	10,59	9,89	9,85	10,19	0,33	10,52	9,86	10,18
4	Domingo Paz y Daniel Campos	25	13,14	11,35	16,92	15,79	14,06	14,25	2,19	16,44	12,06	14,33
5	Domingo Paz y Colon	25	18,60	16,82	18,26	18,67	16,48	17,77	1,03	18,80	16,73	18,09
6	Domingo Paz y Suipacha	25	18,71	19,48	18,63	19,15	21,08	19,41	0,99	20,40	18,42	18,99
7	Bolívar y Campero	25	15,49	17,48	16,42	19,35	14,13	16,57	1,98	18,56	14,59	16,46
8	Bolívar y General Trigo	25	14,90	11,60	12,88	11,69	12,30	12,67	1,35	14,02	11,32	12,11
9	Bolívar y Sucre	25	8,13	7,67	7,44	7,83	7,44	7,70	0,29	7,99	7,41	7,60
10	Bolívar y Daniel Campos	25	11,19	12,30	10,70	11,11	10,56	11,17	0,68	11,85	10,49	10,89
11	Bolívar y Colon	25	15,25	13,78	11,44	12,48	15,15	13,62	1,67	15,29	11,96	14,17
12	Bolívar y Suipacha	25	17,44	14,40	14,73	13,31	16,42	15,26	1,65	16,91	13,61	15,18
13	Ingavi y Campero	25	13,91	14,47	14,24	12,50	12,88	13,60	0,87	14,46	12,73	13,68
14	Ingavi y General Trigo	25	12,28	13,72	10,42	12,16	11,11	11,94	1,26	13,20	10,68	11,85
15	Ingavi y Sucre	25	11,60	10,84	11,90	12,16	10,98	11,50	0,57	12,07	10,92	11,49
16	Ingavi y Daniel Campos	25	14,13	13,06	15,46	13,85	13,43	13,99	0,92	14,91	13,07	13,80

17	Ingavi y Colon	25	11,72	14,35	13,82	14,35	14,29	13,71	1,13	14,84	12,57	14,20
18	Ingavi y Suipacha	25	14,83	13,95	14,40	13,27	13,91	14,07	0,58	14,65	13,49	14,09
19	La Madrid y Campero	25	9,16	9,86	9,68	9,77	10,11	9,72	0,35	10,07	9,36	9,77
20	La Madrid y General Trigo	25	14,26	13,78	15,23	14,31	13,93	14,30	0,56	14,87	13,74	14,07
21	La Madrid y Sucre	25	14,38	13,82	14,29	12,68	12,95	13,62	0,77	14,40	12,85	13,86
22	La Madrid y Daniel Campos	25	17,82	16,73	16,22	16,61	15,25	16,53	0,93	17,45	15,60	16,52
23	La Madrid y Colon	25	13,25	12,86	14,33	12,40	12,59	13,09	0,77	13,85	12,32	12,77
24	La Madrid y Suipacha	25	16,67	14,80	15,20	16,30	14,63	15,52	0,91	16,43	14,61	15,24
25	15 de Abril y Campero	25	14,08	16,01	15,79	15,18	15,65	15,34	0,77	16,11	14,58	15,66
26	15 de Abril y General Trigo	25	17,82	17,11	17,89	16,98	16,51	17,26	0,59	17,85	16,68	17,30
27	15 de Abril y Sucre	25	17,14	16,27	17,05	15,79	16,51	16,55	0,56	17,11	15,99	16,61
28	15 de Abril y Daniel Campos	25	12,50	12,41	12,50	13,37	13,72	12,90	0,60	13,50	12,30	12,70
29	15 de Abril y Colon	25	11,19	10,23	11,73	12,36	12,28	11,56	0,88	12,44	10,68	11,89
30	15 de Abril y Suipacha	25	12,11	12,00	14,24	14,38	13,85	13,32	1,17	14,48	12,15	14,15

Fuente: Elaboración propia

Nota: Todos los datos que están marcado con rojo son depurados.

3.4.3.2. Resumen de los Resultados de velocidades

Una vez depurados los datos que no están comprendidos en los rangos calculados, se obtienen las velocidades de punto finales.

Tabla 28. Resumen de los Resultados de velocidades

N°	Acceso	Velocidad Media
		(Km/h)
1	Domingo Paz y Campero	13,81
2	Domingo Paz y General Trigo	8,86
3	Domingo Paz y Sucre	10,18
4	Domingo Paz y Daniel Campos	14,33
5	Domingo Paz y Colon	18,09
6	Domingo Paz y Suipacha	18,99
7	Bolívar y Campero	16,46
8	Bolívar y General Trigo	12,11
9	Bolívar y Sucre	7,60
10	Bolívar y Daniel Campos	10,89
11	Bolívar y Colon	14,17
12	Bolívar y Suipacha	15,18
13	Ingavi y Campero	13,68
14	Ingavi y General Trigo	11,85
15	Ingavi y Sucre	11,49
16	Ingavi y Daniel Campos	13,80
17	Ingavi y Colon	14,20
18	Ingavi y Suipacha	14,09
19	La Madrid y Campero	9,77
20	La Madrid y General Trigo	14,07
21	La Madrid y Sucre	13,86
22	La Madrid y Daniel Campos	16,52

23	La Madrid y Colon	12,77
24	La Madrid y Suipacha	15,24
25	15 de Abril y Campero	15,66
26	15 de Abril y General Trigo	17,30
27	15 de Abril y Sucre	16,61
28	15 de Abril y Daniel Campos	12,70
29	15 de Abril y Colon	11,89
30	15 de Abril y Suipacha	14,15

Fuente: Elaboración propia

3.4.4. Determinación del ciclo de semáforos

Para la zona de estudio del casco antiguo incluye 30 intersecciones, pero únicamente 28 de ellas están equipadas con semáforos. Por tanto, para el proyecto en cuestión, solo se considerarán las intersecciones que disponen de semáforos. Se ha llevado a cabo un registro de los semáforos en las intersecciones analizadas, lo que ha permitido registrar los ciclos correspondientes a cada intersección, así como los tiempos de luz verde, roja y ámbar para cada semáforo en esas vías.

Para medir el tiempo de verde, ámbar y rojo, se utiliza una cámara filmadora y un cronometro. Con la cámara se filma por unos minutos los cambios de fase del semáforo y con el cronometro se mide el tiempo de cada fase.

Cabe resaltar que cada semáforo fue registrado independientemente, mínimo por tres ciclos para efectos de exactitud en los registros en el turno de la mañana y la tarde.

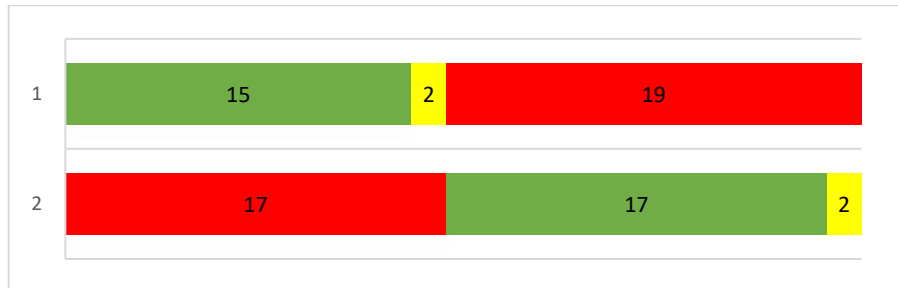
Tabla 29. Ciclo semaforico para la intersección (Domingo Paz -Daniel campos)

Intersección	Fase 1			Fase 2		
Domingo Paz-Daniel campos	Verde	Ámbar	Rojo	Verde	Ámbar	Rojo
1	15,21	2	19,09	17,09	2	17,21
2	15,03	1,98	19,24	17,26	1,98	17,01
3	15,11	1,96	19,58	17,62	1,96	17,07
Promedio	15	2	19	17	2	17
Tiempo de ciclo	36			36		

Fuente: Elaboración propia

El tiempo de ciclo semafórico para la intersección (Domingo Paz -Daniel campos) es de 36 segundos como se puede observar en la figura.

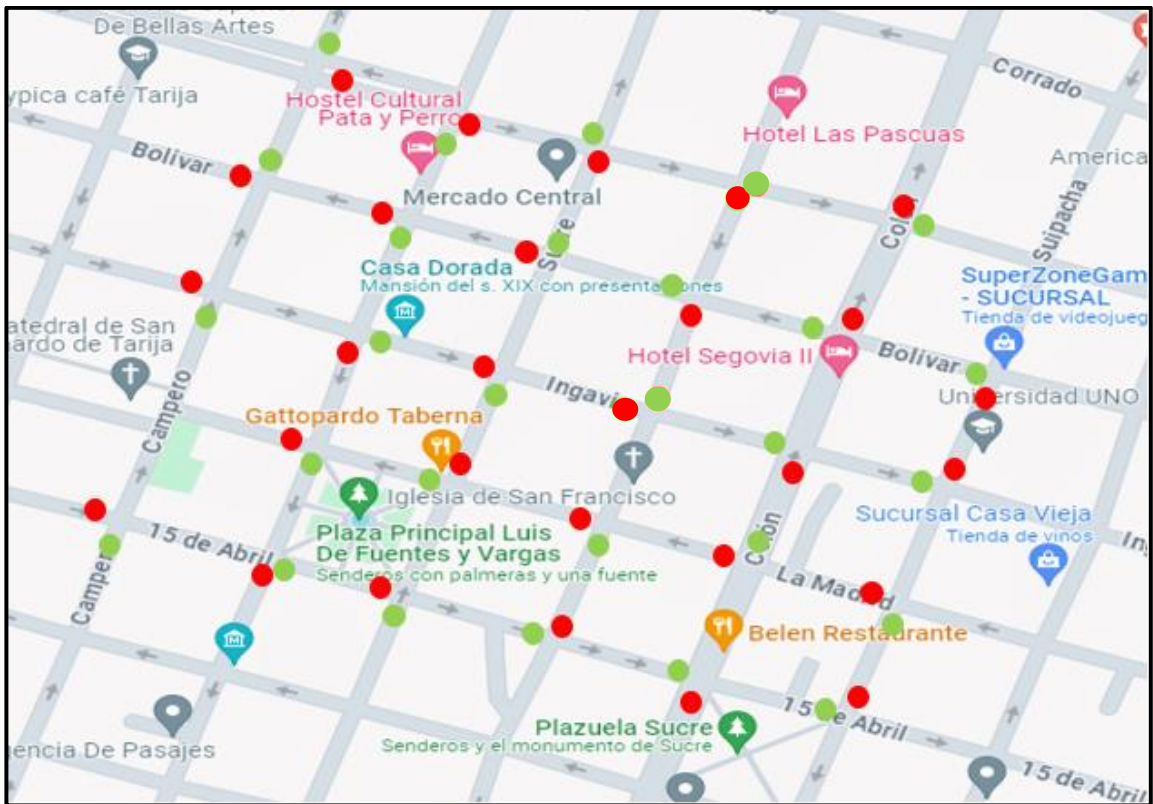
Figura 17. Cambios de fase para la intersección (Domingo Paz -Daniel campos)



Fuente: Elaboración propia

Para las demás intersecciones en estudio se muestra el tiempo de ciclo semafórico en los anexos.

Figura 18. Coordinación de semáforos en la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia

3.4.5. Ancho de carril

La medición de los anchos de carril se llevó a cabo utilizando una cinta métrica, tomando las dimensiones de ambos carriles que forman la intersección. Para agilizar el proceso de recolección de datos, se contó con la colaboración de dos personas, lo que permitió obtener las medidas de manera más eficiente y precisa.

Tabla 30. Ancho de carril para la zona de estudio

Acceso	Ancho de carril w (m)				
	N° de cuadras				
	1	2	3	4	5
Calle Domingo Paz	3	2,7	2,8	2,85	2,7
Calle Bolívar	2,8	2,7	2,65	3,3	2,7
Calle Ingavi	2,8	2,85	3	3,1	2,75
Calle La Madrid	2,65	2,9	2,75	2,8	2,85
15 de Abril	2,75	3,1	2,75	3	3,1
Calle Campero	2,8	2,7	2,65	2,7	
Calle Gral. Trigo	2,8	2,7	2,75	2,8	
Calle Sucre	2,7	2,75	2,7	2,75	
Calle Daniel Campos	2,75	3,05	2,8	2,8	
Calle Colón	2,8	3,1	2,7	2,7	
Calle Suipacha	2,85	2,8	2,75	2,7	

Fuente: Elaboración propia

3.4.6. Maniobras de estacionamiento y vehículos que paran

Para establecer este parámetro, el manual HCM 2010 hace referencia para maniobras de estacionamiento, a la cantidad de vehículos que entran o salen de un estacionamiento, así como las interrupciones ocasionales en los carriles adyacentes a la circulación. Además, según el manual, es importante contar el número de vehículos que se detienen para permitir el embarque o desembarque de pasajeros.

Se realizó aforos de vehículos que entran o salen de un estacionamiento, así mismo se aforo el número de vehículos que se paran para subir o bajar pasajeros en la zona anterior o posterior de la intersección.

Para el levantamiento de datos se procedió a realizar el aforo de placas de vehículos estacionados y que se paran a lo largo de la zona de estudio, durante un periodo de un día en las horas pico identificadas anteriormente, de 8:00am a 9:00am, de 11:00am a 12:00pm y de 19:00pm a 20:00pm.

Tabla 31. Número de maniobras y vehículos que paran

Intersección	Acceso	Número de maniobras	Vehículos que paran
1	Calle Domingo Paz	31	33
	Calle Campero	25	20
2	Calle Domingo Paz	10	15
	Calle General Trigo	11	23
3	Calle Domingo Paz	10	62
	Calle Sucre	4	28
4	Calle Domingo Paz	18	28
	Calle Daniel Campos	22	25
5	Calle Domingo Paz	16	48
	Calle Colón	25	18
7	Calle Bolívar	15	22
	Calle Campero	10	31
8	Calle Bolívar	0	40
	Calle Gral. Trigo	15	22
9	Calle Bolívar	20	42
	Calle Sucre	0	31
10	Calle Bolívar	48	61
	Calle Daniel Campos	15	33
11	Calle Bolívar	15	38
	Calle Colón	31	44
12	Calle Bolívar	17	30
	Calle Suipacha	11	22
13	Calle Ingavi	8	20
	Calle Campero	15	37
14	Calle Ingavi	16	22
	Calle Gral. Trigo	0	28
15	Calle Ingavi	0	31
	Calle Sucre	0	40

16	Calle Ingavi	0	15
	Calle Daniel Campos	15	32
17	Calle Ingavi	28	40
	Calle Colón	18	28
18	Calle Ingavi	12	33
	Calle Suipacha	15	28
20	Calle La Madrid	8	12
	Calle Gral. Trigo	0	25
21	Calle La Madrid	0	18
	Calle Sucre	15	22
22	Calle La Madrid	0	14
	Calle Daniel Campos	0	19
23	Calle La Madrid	25	27
	Calle Colón	33	31
24	Calle La Madrid	22	33
	Calle Suipacha	18	25
25	Calle 15 de Abril	22	10
	Calle Campero	15	12
26	Calle 15 de Abril	16	15
	Calle Gral. Trigo	25	18
27	Calle 15 de Abril	28	15
	Calle Sucre	30	16
28	Calle 15 de Abril	0	18
	Calle Daniel Campos	0	25
29	Calle 15 de Abril	0	26
	Calle Colón	67	53
30	Calle 15 de Abril	12	25
	Calle Suipacha	15	20

Fuente: Elaboración propia

3.4.7. Longitud de cola

La medición de colas es de gran importancia para el software Ptv-VISSIM, ya que partir de este se puede determinar si la simulación que se presenta es acorde o no con la realidad; para la medición de las colas se toma en cuenta cuales son los periodos en que los volúmenes de tránsito son mayores. Se miden las longitudes en cada uno de los accesos (entradas vehiculares) donde pudiese presentarse el fenómeno de las colas

La longitud de cola de vehículos, se produce a causa de los tiempos de rojo, y de la demanda de vehículos que ingresan a la intersección, Para la medición de este parámetro

se utilizó flexómetro, tiza para marcar y una planilla. Se realizaron tres mediciones en tres diferentes días, durante la hora pico.

La longitud de cola es la distancia que los vehículos están formados uno tras otro, esto debido al congestionamiento vehicular o también se pueden ocasionar por los tiempos de fase muy largos de los semáforos.

Para medir la longitud en campo será necesario marcar el acceso a cada 10 o 15 metros, y medir la longitud de los vehículos que estén parados.

Tabla 32. Longitud de cola

Intersección	Acceso	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Longitud de cola (m)
1	Calle Domingo Paz	60,5	61	60,2	60,6
	Calle Campero	65,5	67,5	63,8	65,6
2	Calle Domingo Paz	59	55,2	58,5	57,6
	Calle Gral. Trigo	60,5	50,5	55,3	55,4
3	Calle Domingo Paz	60,2	65,2	85,4	70,3
	Calle Sucre	63	66	75,5	68,2
4	Calle Domingo Paz	50	54,8	77	60,6
	Calle Daniel Campos	76,5	58,3	62	65,6
5	Calle Domingo Paz	60,5	61	60,2	60,6
	Calle Colon	54	54	55,5	54,5
6	Calle Domingo Paz	61,5	60	60,2	60,6
	Calle Suipacha	60,5	66	70,2	65,6
7	Calle Bolívar	66,5	56	50,3	57,6
	Calle Campero	57,3	61	45	54,4
8	Calle Bolívar	50	59,5	57,5	55,7
	Calle Gral. Trigo	55,5	49,5	44	49,7
9	Calle Bolívar	60	60	65	61,7
	Calle Sucre	57,8	61	44,5	54,4
10	Calle Bolívar	49,5	52	50,3	50,6
	Calle Daniel Campos	63	61	62	62
11	Calle Bolívar	58,5	49,5	58,5	55,5
	Calle Colon	78,6	61,3	66	68,6
12	Calle Bolívar	61	49,8	55	55,3
	Calle Suipacha	57,3	64,2	72	64,5
13	Calle Ingavi	55,8	59,5	57,5	57,6
	Calle Campero	55,5	59,8	48	54,4

14	Calle Ingavi	71	75	67,2	71,1
	Calle Gral. Trigo	68	75,5	62,3	68,6
15	Calle Ingavi	60,5	61	60,2	60,6
	Calle Sucre	58,8	73	65	65,6
16	Calle Ingavi	50	61,5	61,2	57,6
	Calle Daniel Campos	57	61	44,5	54,2
17	Calle Ingavi	65,8	66,5	64,5	65,6
	Calle Colon	49,3	55,5	68	57,6
18	Calle Ingavi	57,3	61	45,5	54,6
	Calle Suipacha	50	59,5	57,5	55,7
19	Calle La Madrid	65	50,3	66,5	60,6
	Calle Campero	60	60	65	61,7
20	Calle La Madrid	49,5	53,5	60,2	54,4
	Calle Gral. Trigo	55,5	50,5	45,8	50,6
21	Calle La Madrid	35,8	44	52,3	44
	Calle Sucre	54	57,5	55,7	55,7
22	Calle La Madrid	42	39,5	39,3	40,3
	Calle Daniel Campos	65	60	60	61,7
23	Calle La Madrid	40,5	38	41,8	40,1
	Calle Colon	48	64,5	60,2	57,6
24	Calle La Madrid	57,3	61	45	54,4
	Calle Suipacha	70	69	66	68,3
25	Calle 15 de Abril	30	39,6	28	32,5
	Calle Campero	36	25,5	30	30,5
26	Calle 15 de Abril	47,5	48,5	40	45,3
	Calle Gral. Trigo	35,5	40,5	38,8	38,3
27	Calle 15 de Abril	44	32,5	30,8	35,8
	Calle Sucre	50	31	40,5	40,5
28	Calle 15 de Abril	40	38,5	58,3	45,6
	Calle Daniel Campos	38	48	37,5	41,2
29	Calle 15 de Abril	47,5	41	48,3	45,6
	Calle Colón	50	45	55,5	50,2
30	Calle 15 de Abril	39,5	49,5	44	44,3
	Calle Suipacha	38,5	42	41,3	40,6

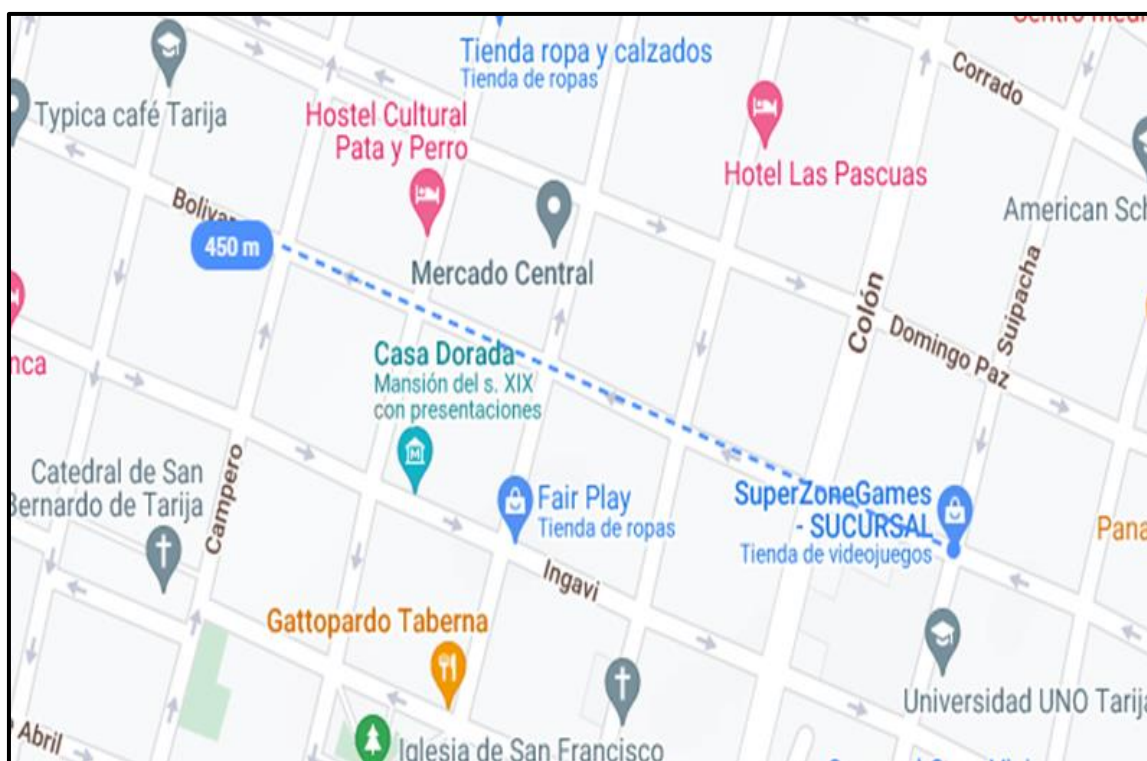
Fuente: Elaboración propia

3.4.8. Tiempo de recorrido

Para la determinación de este parámetro se utilizó el método del vehículo flotante, consiste en cronometrar el tiempo de recorrido de cada tipo de vehículo. Los responsables del estudio de campo realizan esta medición por persecución, es decir se da seguimiento al tipo de vehículo que se está muestreando. Cuando se trate de vehículos de pasajeros, los responsables de medir los tiempos de recorrido se incorporan como usuarios en el vehículo objeto de la muestra, cronometrando los recorridos sin considerar los tiempos muertos por paradas continuas (ascenso y descenso de pasajeros).

Los tiempos de recorrido fueron realizados durante tres días, en las horas pico, se registraron los tiempos de viaje en la concurrida calle Bolívar debido a su elevado flujo vehicular. Estos registros se efectuaron desde un vehículo público, utilizando un cronómetro para registrar con precisión tanto los tiempos como las horas. Se procuró emular el estilo de conducción común entre la mayoría de los conductores para obtener resultados representativos cercanos al promedio.

Figura 19. Distancia para determinar el tiempo de recorrido



Fuente: Elaboración propia

Tabla 33. Tiempos de recorrido para la zona de estudio

Calle Bolívar				
N°	Distancia (m)	Tiempo (seg)		
		08:00-09:00	11:00-12:00	19:00-20:00
1	450	247,57	284,05	251,05
2	450	245,23	285,27	247,24
3	450	240,45	280,04	253,15
4	450	246,22	283,12	245,71
5	450	248,13	278,17	240,28
6	450	230,53	281,56	250,21
7	450	238,45	286,37	253,92
8	450	242,34	282,08	242,32
9	450	235,46	285,78	247,56
10	450	248,2	277,23	255,64
Promedio		242,26	282,28	248,13
		257,56		

Fuente: Elaboración propia

3.5. Determinación del nivel de servicio por el método HCM 2010

En este apartado se presenta el cálculo del nivel de servicio actual para intersecciones semaforizadas, empleando la metodología establecida en el Manual HCM 2010, previamente definida para la zona de estudio.

3.5.1. Parámetros de entrada

Para llevar a cabo el análisis de los datos, es necesario contar con ciertos parámetros de entrada, los cuales se definen a continuación. Estos parámetros son fundamentales para aplicar correctamente todos los pasos de la metodología descrita en el Manual HCM 2010. Los principales parámetros a considerar para esta metodología son los siguientes:

- Composición vehicular
- Volumen vehicular
- Ciclo de semáforos
- Ancho de carril
- Número de maniobras de estacionamiento y número de vehículos que paran

Composición vehicular

Tabla 34. Composición vehicular intersección (Domingo Paz- Daniel Campo)

Acceso	Tráfico Liviano						Tráfico Mediano					
	Público			Privado			Público			Privado		
												
	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr
Calle Domingo Paz	0	48	95	0	17	75	0	0	70	0	13	36
Calle Daniel Campo	26	0	112	30	0	92	0	0	17	15	0	23

Fuente: Elaboración propia

Volumen vehicular

Como se mencionó anteriormente, los datos de volumen vehicular deben ser procesados y depurados antes de su análisis para poder aplicar correctamente el manual HCM 2010, garantizando que reflejen los volúmenes durante las horas pico. La tabla resumen presenta los volúmenes totales de tráfico en cada intersección, incluyendo los sentidos de circulación y los puntos de acceso correspondientes.

Tabla 35. Volúmenes vehiculares intersección (Domingo Paz- Daniel Campo)

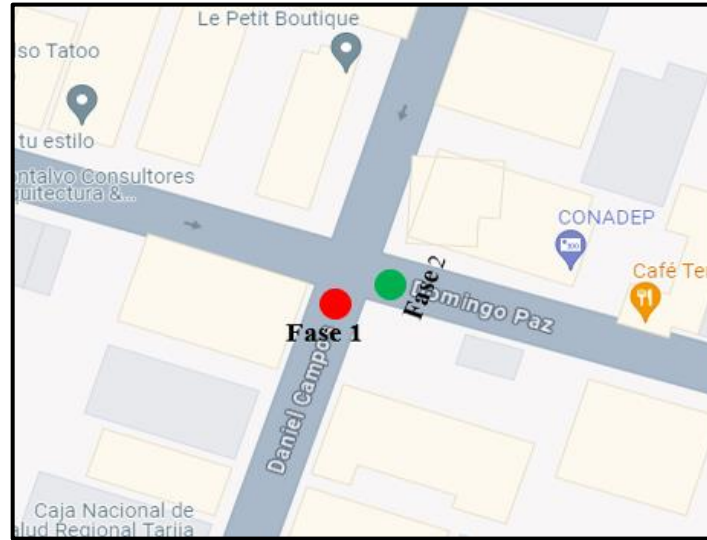
Acceso	Tráfico Liviano						Tráfico Mediano						Total (Veh/Hr)	Total		
	Público			Privado			Público			Privado						
	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr		Gi	Gd	Fr
Calle Domingo Paz	0	48	95	0	17	75	0	0	70	0	13	36	354	0	78	276
Calle Daniel Campos	26	0	112	30	0	92	0	0	17	15	0	23	315	71	0	244

Fuente: Elaboración propia

Ciclo de semáforos

En el cálculo del nivel de servicio para intersecciones con semáforos, el tiempo de ciclo se utiliza para determinar el tiempo de verde efectivo disponible para cada dirección de tráfico, lo que influye directamente en la capacidad de la intersección. Si el ciclo es largo y el volumen de tráfico es alto, la intersección puede volverse ineficiente, lo que reduce el nivel de servicio.

Figura 20. Ubicación de semáforos en la calle (Domingo Paz -Daniel campos)



Fuente: Elaboración propia

Ancho de carril

El HCM 2010 incorpora un ajuste por ancho de carril en las estimaciones de capacidad: si el ancho de carril es más estrecho que el estándar, la capacidad de la vía se reduce, lo que disminuye la eficiencia del tráfico y afecta el nivel de servicio.

Número de maniobras de estacionamiento

Es el conteo de maniobras de estacionamiento dentro de los 80 metros detrás de la línea de parada. Si existen más de 180 maniobras/h se debe adoptar este valor como el límite práctico. El conteo de maniobras se divide para la duración del periodo de análisis para obtener una tasa de flujo horaria.

Número de vehículos que paran

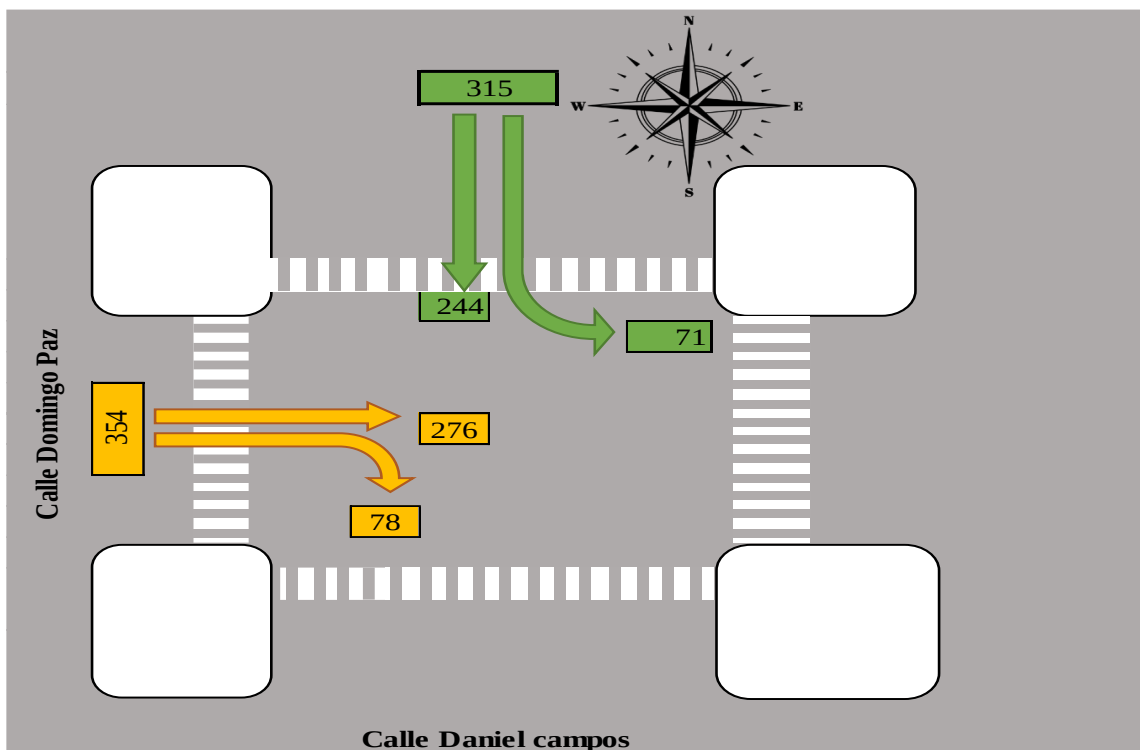
Es el número de autobuses que se detienen y obstaculizan el tráfico de un grupo de movimientos dentro de los 80 metros detrás de la línea de parada. Si existen más de 250 autobuses/h se debe adoptar este valor como el límite práctico. El conteo de buses se divide para la duración del periodo de análisis para obtener una tasa de flujo horaria.

3.5.2. Procedimiento para calcular el nivel de servicio por el método HCM 2010

Nivel de servicio para intersecciones semaforizadas

A continuación, se muestra el procedimiento paso a paso para obtener el nivel de servicio en una intersección con semáforo, para el ejemplo se optará por la intersección de la calle Domingo Paz y Daniel Campo; cuenta con dos accesos, cada acceso tiene un carril de circulación que comparte los movimientos.

Figura 21. Distribución vehicular en la intersección N° 4



Fuente: Elaboración propia

Paso 1. Grupo de movimientos y grupo de carriles

Para el análisis se utiliza la siguiente simbología:

Gi= Grupo de movimientos con giro a la izquierda

Gd= Grupo de movimientos con giro a la derecha

Fr= Grupo de movimientos de frente

La designación del grupo de movimientos se lo realizara de la siguiente manera:

- Para el acceso de la calle Daniel Campo se tiene un carril y dos movimientos; vuelta a la izquierda y movimiento de frente.
- Para el acceso de la calle Domingo Paz se tiene un carril con dos movimientos; vuelta a la derecha y de frente.

En cuanto al grupo de carriles, se agrupará de la siguiente manera:

- En el acceso de la calle Daniel Campo los dos movimientos comparten un mismo carril, por lo tanto, se denominará un solo grupo de carril denominado como Gi-Fr.
- En el acceso de la calle Domingo Paz se tiene dos movimientos compartiendo un mismo carril, entonces, se tendrá un grupo de carril denominado Gd-Fr.

Paso 2. Tasa de flujo ajustado por grupo de movimientos

Según la ecuación.

$$v = \frac{V}{FHMD}$$

Para el acceso de la calle Daniel Campos se tiene:

$$v_{FR} = \frac{244}{0.85} = 287 \text{ veh/hra}$$

$$v_{GI} = \frac{71}{0.85} = 84 \text{ veh/hra}$$

Para el acceso de la calle Domingo Paz se tiene:

$$v_{FR} = \frac{276}{0.85} = 325 \text{ veh/hra}$$

$$v_{GD} = \frac{78}{0.85} = 92 \text{ veh/hra}$$

Paso 3. Tasa de flujo ajustado por grupo de carriles

Los movimientos del acceso de la calle Daniel Campos comparten un carril por lo tanto este formará un grupo de carril, y de la misma manera sucede con la calle Domingo Paz. Por lo tanto, la tasa de flujo ajustado queda de la siguiente manera:

Para el acceso de la calle Daniel Campos:

$$v_{f,GI-FR} = 287 + 84 = 371 \text{ veh/hra}$$

Para el acceso de la calle Domingo Paz:

$$v_{f,GD-FR} = 325 + 92 = 417 \text{ veh/hra}$$

Paso 4. Tasa de flujo de saturación ajustada

Para la obtención de este paso se utiliza la ecuación, que tiene la siguiente expresión:

$$s_i = s_o * N_i * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{LU} * f_L * f_R * f_{Lpb} * f_{Rpb}$$

Para el acceso de la calle Daniel Campos:

- **Tasa de flujo de saturación base s_o**

Según proyecciones del INE (Instituto Nacional de Estadística), para el año 2022 el municipio de Cercado contará con aproximadamente 272.692 habitantes.

Tabla 36. Población de la ciudad de Tarija

Departamento de Tarija (Cercado-Tarija)			
Año	Población	Año	Población
2012	219.263	2018	251.375
2013	224.606	2019	256.723
2014	229.959	2020	262.062
2015	235.319	2021	267.378
2016	240.670	2022	272.692
2017	246.025		

Fuente: INE

De acuerdo con esta proyección el año 2022 superará los 250.000 habitantes, por lo tanto, la tasa de flujo de saturación base será 1900 veh/hra.

$$s_o = 1900 \text{ veh/hra}$$

- **Ajuste por ancho de carril f_w**

De acuerdo con la **Tabla 2.**, el factor de ajuste por ancho de carril será de 0.96.

$$f_w = 0.96$$

- **Factor de ajuste por vehículos pesados f_{HV}**

Según la ecuación se tiene:

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_{HV}(E_T - 1)}$$

Como no se cuenta con vehículos pesados este factor será igual a 1.

$$f_{HV} = 1$$

- **Ajuste por pendiente del acceso f_g**

La pendiente en el acceso es muy pequeña, por lo tanto, este factor de ajuste será 1.

$$f_g = 1$$

- **Ajuste por estacionamiento f_p**

Se utiliza la siguiente ecuación:

$$f_p = \frac{N_i - 0.1 - \frac{18 * N_m}{3600}}{N_i} \geq 0.05$$

Para el número de maniobras N_m se tiene un valor de 22

$$f_p = \frac{1 - 0.1 - \frac{18 * 22}{3600}}{1} = 0.79 \geq 0.05$$

- **Ajuste por bloqueo de buses f_{bb}**

Según la ecuación se tiene:

$$f_{bb} = \frac{N_i - \frac{14.4 * N_b}{3600}}{N_i} \geq 0.050$$

El número de buses que paran N_b tiene un valor de 25

$$f_{bb} = \frac{1 - \frac{14.4 * 25}{3600}}{1} = 0.90 \geq 0.050$$

- **Ajuste por tipo de área f_a**

El valor del ajuste por el tipo de área será de 0.9, porque la intersección se encuentra en la zona central.

$$f_a = 0.9$$

- **Ajuste por la utilización de carriles f_{LU}**

El valor para este factor de ajuste será de 1.

$$f_{LU} = 1$$

- **Ajuste por vueltas a la izquierda f_L**

De acuerdo con la ecuación se tiene:

$$f_L = \frac{1}{1 + 0.05 * P_L}$$

Para determinar la proporción de vueltas a la izquierda, se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_L = \frac{v_{GI}}{v_{GI} + v_{FR}} = \frac{84}{84 + 287} = 0.23$$

Donde:

V_{GI} = Volumen de vehículos que giran a la izquierda en una hora

V_{GD} = Volumen de vehículos que giran a la derecha en una hora

Entonces:

$$f_L = \frac{1}{1 + 0.05 * 0.23} = 0.99$$

- **Ajuste por vueltas a la derecha f_R**

Como no existe ningún movimiento de vuelta a la derecha este factor es 1.

$$f_R = 1$$

Para determinar el flujo de saturación ajustado S_i , se utiliza la ecuación.

$$S_i = S_o * N_i * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{LU} * f_L * f_R * f_{Lpb} * f_{Rpb}$$

$$S_i = 1900 * 1 * 0.96 * 1 * 1 * 0.79 * 0.90 * 0.9 * 1 * 0.99 * 1 * 1 * 1 = 1154 \text{ veh/hra}$$

Para el acceso de la calle Domingo paz:

- **Tasa de flujo de saturación base s_o**

De la misma manera que en el acceso de la calle Daniel campos.

$$s_o = 1900 \text{ veh/hra}$$

- **Ajuste por ancho de carril f_w**

De acuerdo con la **Tabla 2**, el factor de ajuste por ancho de carril será de 0.96.

$$f_w = 0.96$$

- **Factor de ajuste por vehículos pesados f_{HV}**

Como no se cuenta con vehículos pesados este factor será igual a 1.

$$f_{HV} = 1$$

- **Ajuste por pendiente del acceso f_g**

La pendiente en el acceso es muy pequeña, por lo tanto, este factor de ajuste será 1.

$$f_g = 1$$

- **Ajuste por estacionamiento f_p**

Se utiliza la siguiente ecuación:

$$f_p = \frac{N_i - 0.1 - \frac{18 * N_m}{3600}}{N} \geq 0.05$$

Para el número de maniobras N_m se tiene un valor de 18

$$f_p = \frac{1 - 0.1 - \frac{18 * 18}{3600}}{1} = 0.81 \geq 0.05$$

- **Ajuste por bloqueo de buses f_{bb}**

Según la ecuación se tiene:

$$f_{bb} = \frac{N_i - \frac{14.4 * N_b}{3600}}{N_i} \geq 0.050$$

El número de buses que paran N_b tiene un valor de 28.

$$f_{bb} = \frac{1 - \frac{14.4 * 28}{3600}}{1} = 0.89 \geq 0.050$$

- **Ajuste por tipo de área f_a**

El valor del ajuste por el tipo de área será de 0.9, porque la intersección se encuentra en la zona central.

$$f_a = 0.9$$

- **Ajuste por la utilización de carriles f_{LU}**

El valor para este factor de ajuste será de 1.

$$f_{LU} = 1$$

- **Ajuste por vueltas a la izquierda f_L**

Como no existe ningún movimiento de vuelta a la izquierda este factor es 1.

$$f_L = 1$$

- **Ajuste por vueltas a la derecha f_R**

Según la ecuación.

$$f_R = 1 - 0.15 * P_R$$

$$f_R = 1 - 0.15 * \frac{92}{92 + 325} = 0.97$$

Según la ecuación.

$$s_i = 1900 * 1 * 0.96 * 1 * 1 * 0.81 * 0.89 * 0.9 * 1 * 1 * 0.97 * 1 * 1 = 1142 \text{ veh/hra}$$

Paso 5. Proporción de llegadas durante el verde

Según la ecuación se tiene:

$$P_i = R_{pi} * \left(\frac{g_i}{C}\right)$$

El tiempo de verde efectivo g_i tiene un valor de 14 y 16 segundos para la calle Domingo Paz y Daniel Campos, respectivamente.

$$P_{(Daniel Campos)} = 0.33 * \frac{16}{36} = 0.15$$

$$P_{(Domingo Paz)} = 0.33 * \frac{14}{36} = 0.13$$

Paso 6. Capacidad y relación volumen-capacidad

Para calcular la capacidad del grupo de carriles se utiliza la siguiente ecuación.

$$C_{(Daniel Campos)} = s_i * \left(\frac{g_i}{C}\right) = 1154 * \frac{16}{36} = 513 \text{ veh/hra}$$

$$C_{(Domingo Paz)} = s_i * \left(\frac{g_i}{C}\right) = 1142 * \frac{14}{36} = 444 \text{ veh/hra}$$

Para determinar la relación de volumen capacidad se utiliza la ecuación.

$$X_{(Daniel Campos)} = \frac{v_i}{c_i} = \frac{371}{513} = 0.72$$

$$X_{(Domingo Paz)} = \frac{v_i}{c_i} = \frac{417}{444} = 0.94$$

Paso 7. Tiempo de demoras

- **Demora uniforme**

Según la ecuación.

$$d_{1(Daniel campos)} = \frac{0.5 * C * \left(1 - \frac{g_i}{C}\right)^2}{1 - \left(\min(1, X_i) * \frac{g_i}{C}\right)} = \frac{0.5 * 36 * \left(1 - \frac{16}{36}\right)^2}{1 - \left(0.72 * \frac{16}{36}\right)} = 8,19 \text{ seg}$$

$$d_{1(Domingo paz)} = \frac{0.5 * C * \left(1 - \frac{g_i}{C}\right)^2}{1 - \left(\min(1, X_i) * \frac{g_i}{C}\right)} = \frac{0.5 * 36 * \left(1 - \frac{14}{36}\right)^2}{1 - \left(0.94 * \frac{14}{36}\right)} = 10,59 \text{ seg}$$

- **Factor de ajuste por coordinación**

Según la ecuación.

$$PF_{(Daniel Campos)} = \frac{(1 - P_i) * f_{PA}}{1 - \left(\frac{g_i}{C}\right)} = \frac{(1 - 0.15) * 1}{1 - \frac{16}{36}} = 1.54$$

$$PF_{(Domingo paz)} = \frac{(1 - P_i) * f_{PA}}{1 - \left(\frac{g_i}{C}\right)} = \frac{(1 - 0.13) * 1}{1 - \frac{14}{36}} = 1.43$$

- **Demora incremental**

Según la ecuación.

$$d_2 = 900 * T * \left((X_i - 1) + \sqrt{(X_i - 1)^2 + \frac{8 * k * I * X_i}{c_i * T}} \right)$$

$$d_{2(D.campos)} = 900 * 0.25 \left((0.72 - 1) + \sqrt{(0.72 - 1)^2 + \frac{8 * 0.5 * 0,85 * 0.72}{513 * 0.25}} \right)$$

$$d_{2(D. campos)} = 3.78 \text{ seg}$$

$$d_{2(D.Paz)} = 900 * 0.25 * \left((0.94 - 1) + \sqrt{(0.94 - 1)^2 + \frac{8 * 0.5 * 0.86 * 0.94}{444 * 0.25}} \right)$$

$$d_{2(D. Paz)} = 16.69 \text{ seg}$$

- **Demora media**

Según la ecuación.

$$d_i = d_1 * (PF) + d_2$$

$$d_{(Daniel Campos)} = 8.19 * (1.54) + 3.78 = 16.36 \text{ seg}$$

$$d_{(Domingo Paz)} = 10.59 * (1.43) + 16.69 = 31.79 \text{ seg}$$

- **Demoras agregadas**

De la ecuación.

$$d_{A(Daniel Campos)} = \frac{\sum_{i=1}^A (d_i v_i)}{\sum_{i=1}^A v_i} = \frac{16.36 * 371}{371} = 16.36 \text{ seg}$$

$$d_{A(Domingo Paz)} = \frac{\sum_{i=1}^A (d_i v_i)}{\sum_{i=1}^A v_i} = \frac{31.79 * 417}{417} = 31.79 \text{ seg}$$

Para determinar la demora en la intersección se utiliza la siguiente ecuación.

$$d_I = \frac{\sum_{i=1}^I (d_A v_A)}{\sum_{i=1}^I v_A} = \frac{16.36 * 371 + 31.79 * 417}{371 + 417} = 24.52 \text{ seg}$$

Paso 8. Obtención del Nivel de servicio

Para obtener el nivel de servicio en los accesos y en la intersección se utiliza la **Tabla 1**

Para el acceso de la calle Daniel Campos, el nivel de servicio es “B”.

Para el acceso de la calle Domingo Paz, el nivel de servicio es “C”.

Para la intersección el nivel de servicio es “C”.

Según los resultados del método HCM 2010, la intersección 4 muestra un nivel de servicio C, lo cual es aceptable. Lo mismo ocurre con sus dos accesos: la calle Daniel Campos tiene un nivel de servicio B y la calle Domingo Paz un nivel de servicio C. Esto indica que el flujo de tráfico en esta intersección es estable y no enfrenta problemas significativos de congestión.

3.5.3. Resultados de niveles de servicio obtenido manualmente según el HCM 2010

A continuación, se presentan tablas resumen que reflejan los resultados de la evaluación de los niveles de servicio de la situación actual para todos los accesos y su intersección en el área de estudio, según el método HCM 2010.

El desarrollo del cálculo de cada intersección se puede observar en Anexos.

Tabla 37. Resultados de niveles de servicio según el método HCM 2010

Intersección	Acceso	Tiempo de demora (seg)		Nivel de servicio	
		Acceso	Intersección	Acceso	Intersección
1	Calle Domingo Paz	23,44	29,44	C	C
	Calle Campero	35,20		D	
2	Calle Domingo Paz	15,09	20,60	B	C
	Calle Gral. Trigo	25,84		C	
3	Calle Domingo Paz	23,35	30,59	C	C
	Calle Sucre	38,42		D	
4	Calle Domingo Paz	31,79	24,52	C	C
	Calle Daniel Campos	16,36		B	
5	Calle Domingo Paz	31,10	32,26	C	C
	Calle Colón	33,24		C	
7	Calle Bolívar	27,26	22,98	C	C
	Calle Campero	17,90		B	
8	Calle Bolívar	24,90	26,42	C	C
	Calle Gral. Trigo	28,20		C	
9	Calle Bolívar	44,52	34,65	D	C
	Calle Sucre	24,42		C	
10	Calle Bolívar	23,12	29,62	C	C
	Calle Daniel Campos	37,80		D	
11	Calle Bolívar	24,09	22,96	C	C
	Calle Colón	22,11		C	
12	Calle Bolívar	23,01	26,09	C	C
	Calle Suipacha	28,50		C	

13	Calle Ingavi	17,37	31,08	B	C
	Calle Campero	42,58		D	
14	Calle Ingavi	32,53	26,95	C	C
	Calle Gral. Trigo	21,08		B	
15	Calle Ingavi	29,23	22,45	C	C
	Calle Sucre	14,94		B	
16	Calle Ingavi	34,93	28,09	C	C
	Calle Daniel Campos	22,24		C	
17	Calle Ingavi	18,73	27,69	B	C
	Calle Colón	37,73		D	
18	Calle Ingavi	16,41	31,33	B	C
	Calle Suipacha	43,65		D	
20	Calle La Madrid	22,19	24,58	C	C
	Calle Gral. Trigo	27,06		C	
21	Calle La Madrid	19,87	19,60	B	B
	Calle Sucre	19,35		B	
22	Calle La Madrid	20,90	24,19	C	C
	Calle Daniel Campos	27,32		C	
23	Calle La Madrid	19,96	27,54	B	C
	Calle Colón	34,94		C	
24	Calle La Madrid	25,96	22,00	C	C
	Calle Suipacha	18,15		B	
25	Calle 15 de Abril	26,86	23,76	C	C
	Calle Campero	19,55		B	
26	Calle 15 de Abril	30,30	30,63	C	C
	Calle Gral. Trigo	30,95		C	
27	Calle 15 de Abril	34,72	27,63	C	C
	Calle Sucre	20,97		C	
28	Calle 15 de Abril	33,55	30,44	C	C
	Calle Daniel Campos	27,05		C	
29	Calle 15 de Abril	35,24	27,96	D	C
	Calle Colón	20,39		C	
30	Calle 15 de Abril	23,71	23,64	C	C
	Calle Suipacha	23,57		C	

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que todas las intersecciones estarían operando con niveles de servicio B y C, siendo niveles aceptables de circulación. Estos niveles indican un flujo estable y eficiente, lo que contribuye a una experiencia de tránsito satisfactoria para los usuarios.

3.6. Determinación del nivel de servicio por el software VISSIM

3.6.1. Parámetros de entrada

Tras obtener la información esencial para el desarrollo del proyecto, se procedió a la digitalización y procesamiento de los datos. Esto permitió facilitar la interpretación y la introducción de la información necesaria para construir el modelo, obteniendo los siguientes datos:

-  Composición vehicular
-  Volumen vehicular
-  Velocidad vehicular
-  Dimensión de los vehículos
-  Ciclo de semáforos
-  Ancho de carril
-  Longitud de cola
-  Tiempo de recorrido

Composición vehicular

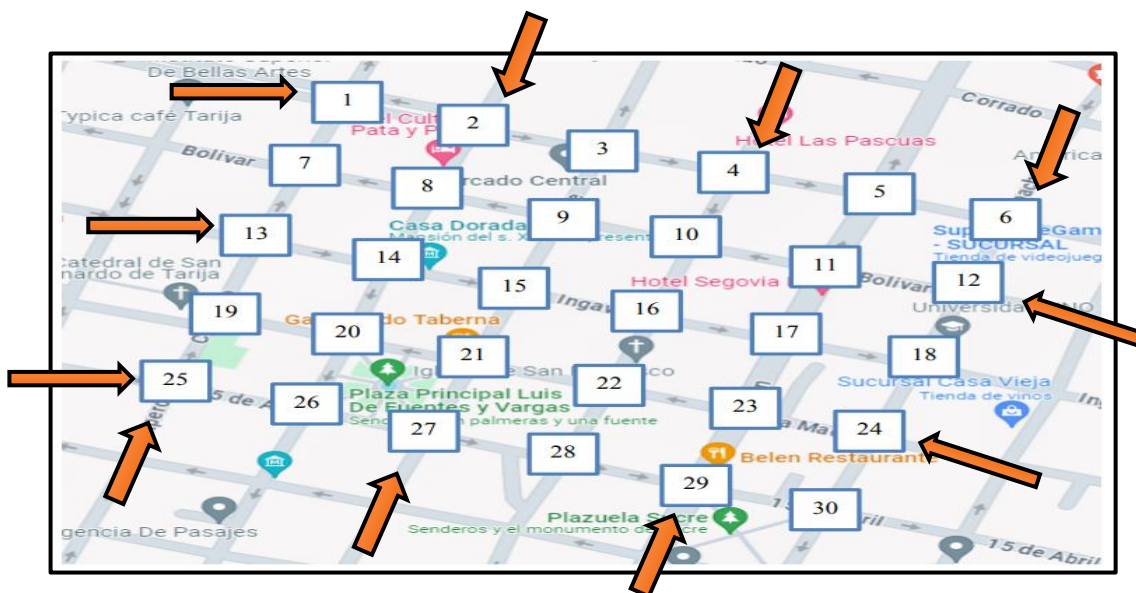
Se asignan los tipos de vehículos correspondientes, introduciendo los valores de sus volúmenes. Se definen las composiciones vehiculares, eligiendo los tipos de vehículos deseados e ingresando los valores necesarios en el software VISSIM. El análisis del tráfico se desglosará según los tipos de vehículos (livianos y medianos) y su categoría (público y privado).

Volumen vehicular

Sera necesario tener como dato los volúmenes de los vehículos, estos ya deben estar trabajados, es decir, ya deben estar depurados y deberán ser los volúmenes en hora pico. Los volúmenes ya deben estar clasificados por tipo de vehículos como también el sentido de circulación (giro izquierdo, giro derecha y de frente).

Velocidad vehicular

Figura 22. Velocidades de ingreso a la red



Fuente: Elaboración propia

Tabla 38. Resumen de los resultados de velocidades

Nº	Acceso	Distancia	Velocidad Media
		(m)	(Km/h)
1	Domingo Paz y Campero	25	13,81
2	Domingo Paz y General Trigo	25	8,86
4	Domingo Paz y Daniel Campos	25	14,33
6	Domingo Paz y Suipacha	25	18,99
12	Bolívar y Suipacha	25	15,18
13	Ingavi y Campero	25	13,68
24	La Madrid y Suipacha	25	15,24
25	15 de Abril y Campero	25	15,66
27	15 de Abril y Sucre	25	16,61
29	15 de Abril y Colon	25	11,89

Fuente: Elaboración propia

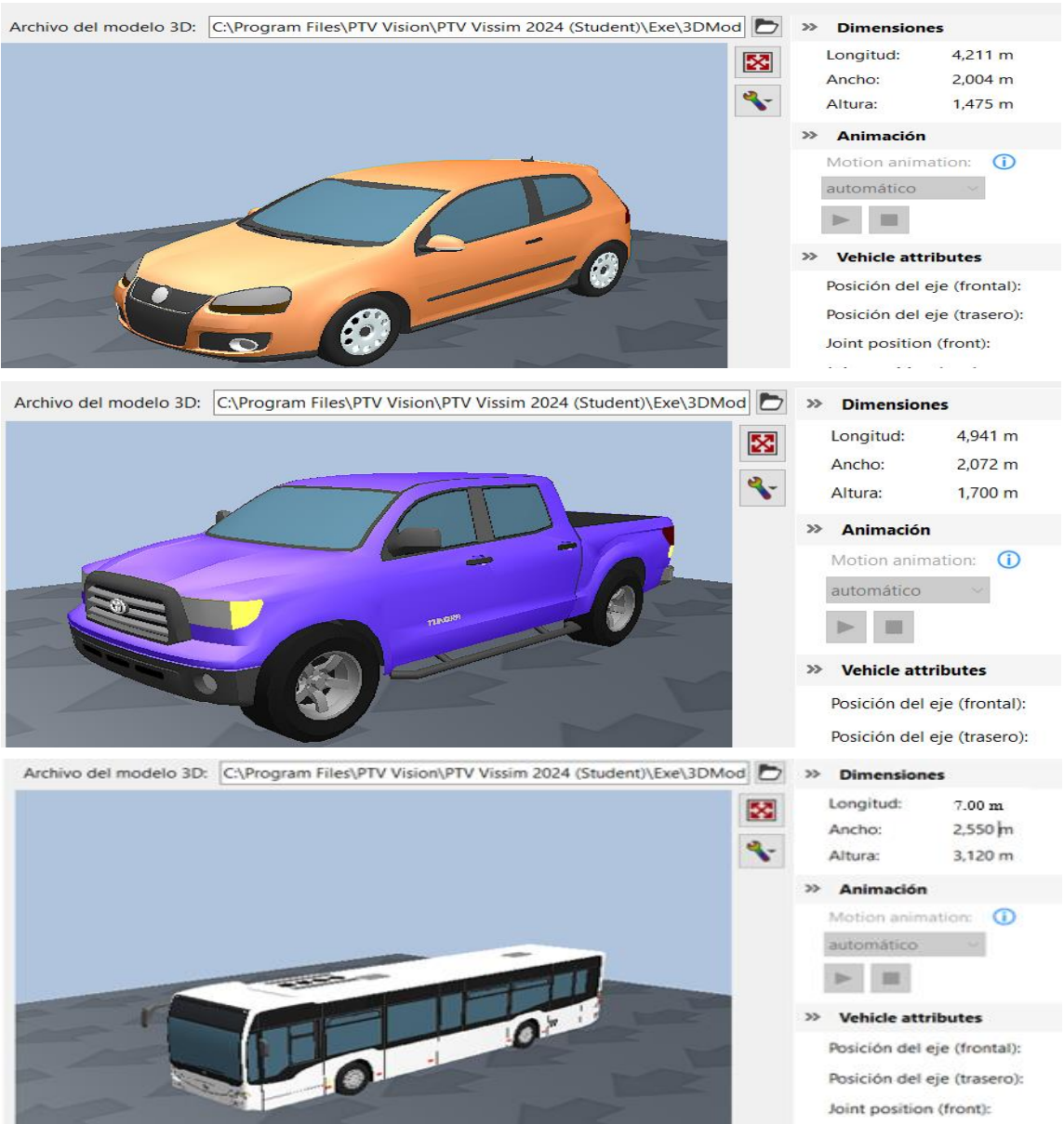
La velocidad vehicular es un indicador clave del nivel de servicio de una vía. Una velocidad baja puede sugerir congestión o problemas de tráfico, mientras que una velocidad muy alta podría indicar falta de control o inseguridad en la vía. La velocidad también está influenciada por el tipo de vehículo, el volumen de tráfico y la infraestructura vial.

La velocidad vehicular a considerar será únicamente la de entrada en la red, por lo que no será necesario registrar las velocidades en cada intersección. Las intersecciones donde se ha tomado esta velocidad son las siguientes: 1, 2, 4, 6, 12, 13, 24, 25, 27 y 29.

Dimensión de los vehículos

Sera necesario determinar las dimensiones para cada clasificación de vehículo (vehículo liviano y medianos).

Figura 23. Dimensión de los vehículos livianos y medianos



Fuente: Elaboración propia

Longitud de cola

Las longitudes de las colas se pueden determinar con contadores de colas en cualquier punto de la red VISSIM y evaluarlas para cualquier intervalo de tiempo. Esto se facilita por las líneas de parada de intersecciones señalizadas en enlaces y conectores.

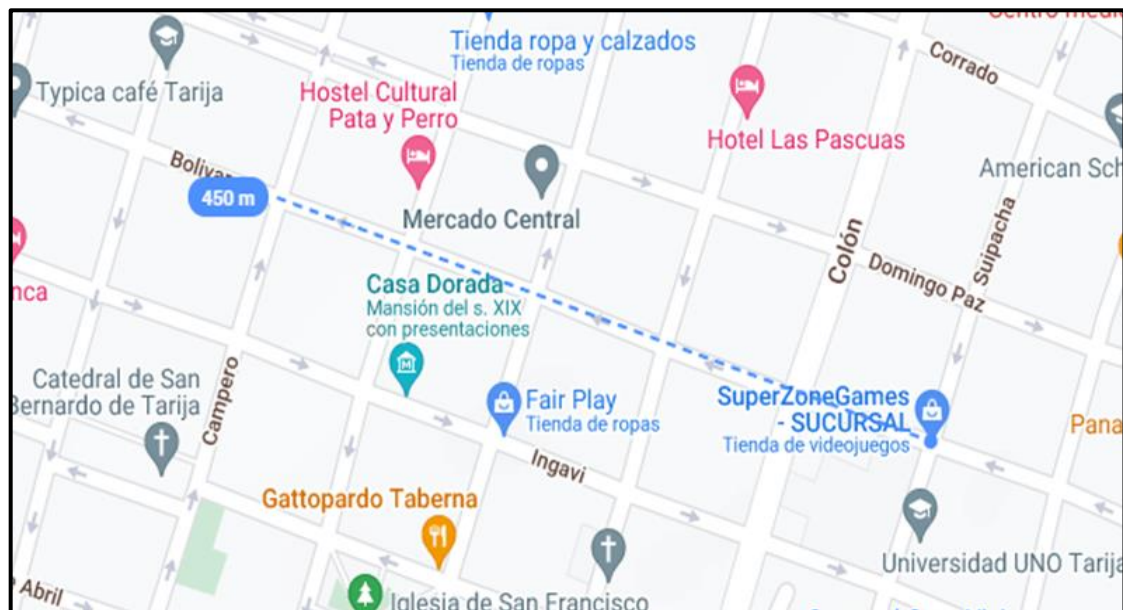
La longitud de cola es la distancia que los vehículos están formados uno tras otro, esto debido al congestionamiento vehicular o también se pueden ocasionar por los tiempos de fase muy largos de los semáforos.

Tiempo de recorrido

La medición del tiempo de viaje del vehículo consta de una sección hasta otra. Se calcula el tiempo medio de viaje desde que atraviesa la sección, incluyendo el tiempo de espera y/o el tiempo de parada en todos los carriles.

El tiempo de recorrido, es el tiempo que tarda en circular un vehículo desde un punto 1 hasta un punto 2. Para nuestro estudio se tomó la distancia de 450 m en la calle Bolívar como se muestra en la siguiente imagen.

Figura 24. Distancia para determinar el tiempo de recorrido



Fuente: Elaboración propia

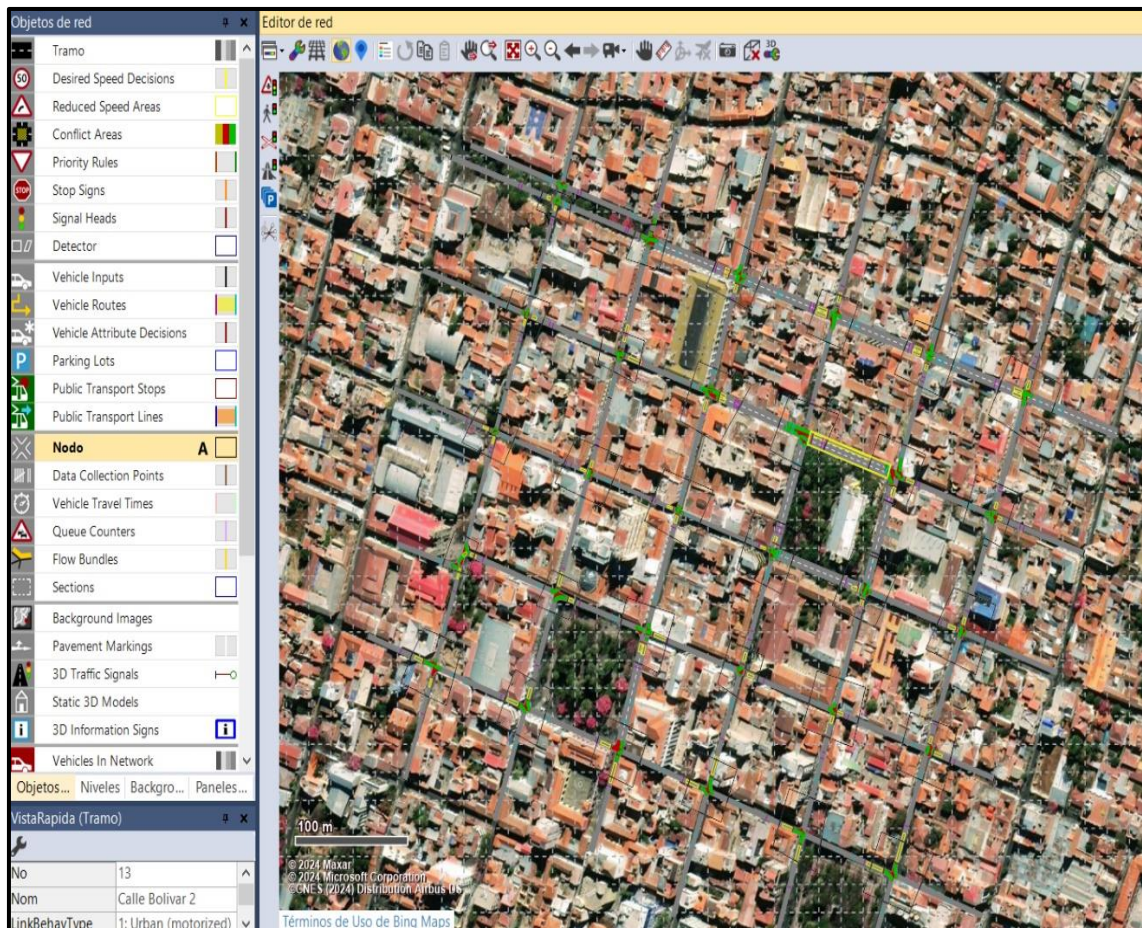
3.6.2. Proceso de construcción del modelo

Como parte de la metodología propuesta, se continúa con la etapa de la construcción del modelo. Los datos recolectados en campo sirven como información de entrada para la modelación que se desarrolla mediante el software VISSIM. En ese sentido, se procede a presentar los pasos más relevantes para la creación del modelo.

Cargar imagen de fondo

Se puede utilizar un plano de Google Earth en vista satelital, Google Maps o el mapa que el programa nos brinda en su configuración, seleccionamos la zona de análisis, el cual nos sirve de referencia para la creación de la red vial, esta imagen debe ser ajustada a la escala con la que se va a trabajar, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 25. Vista satelital

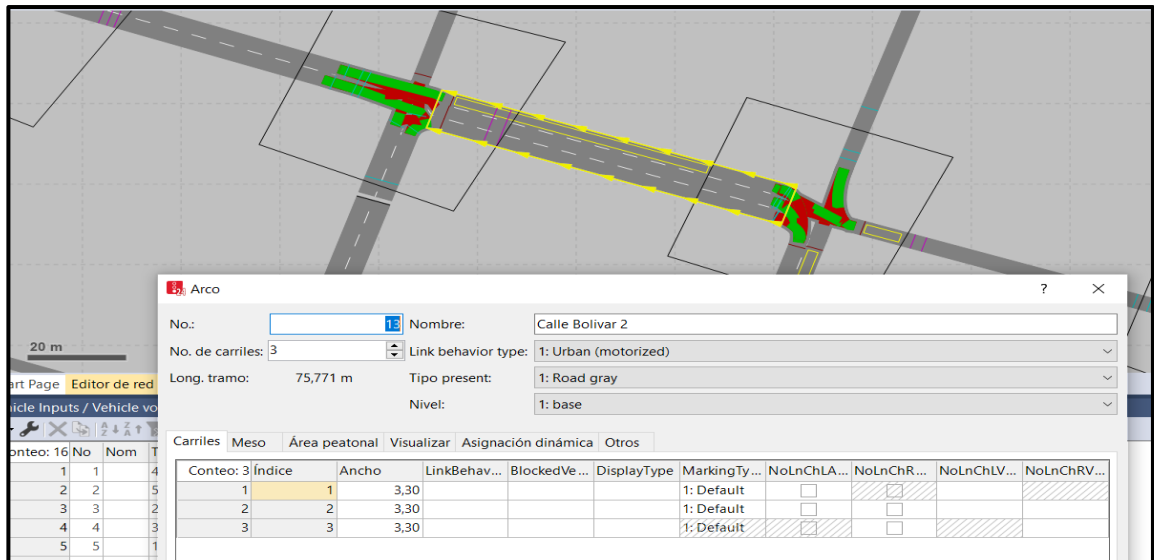


Fuente: Elaboración propia

Creación de link y conectores

Estas herramientas del software representan las vías diseñadas dentro del sistema, los cuales serán definidos por los números de carriles, distancia entre carriles, la dirección de viaje permitido, entre otros. En cambio, los conectores sirven para poder unir par de links.

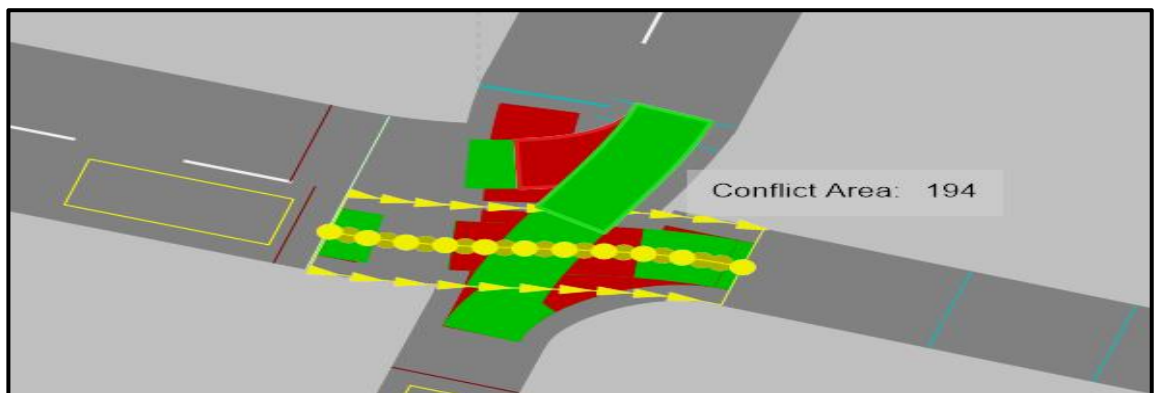
Figura 26. Creación de calle o link



Fuente: Elaboración propia

Los conectores se utilizan para unir dos links, con el objetivo de que los vehículos puedan pasar de un link a otro mediante giro izquierda o giro a la derecha, de esta manera se crea la red vial.

Figura 27. Creación de conectores

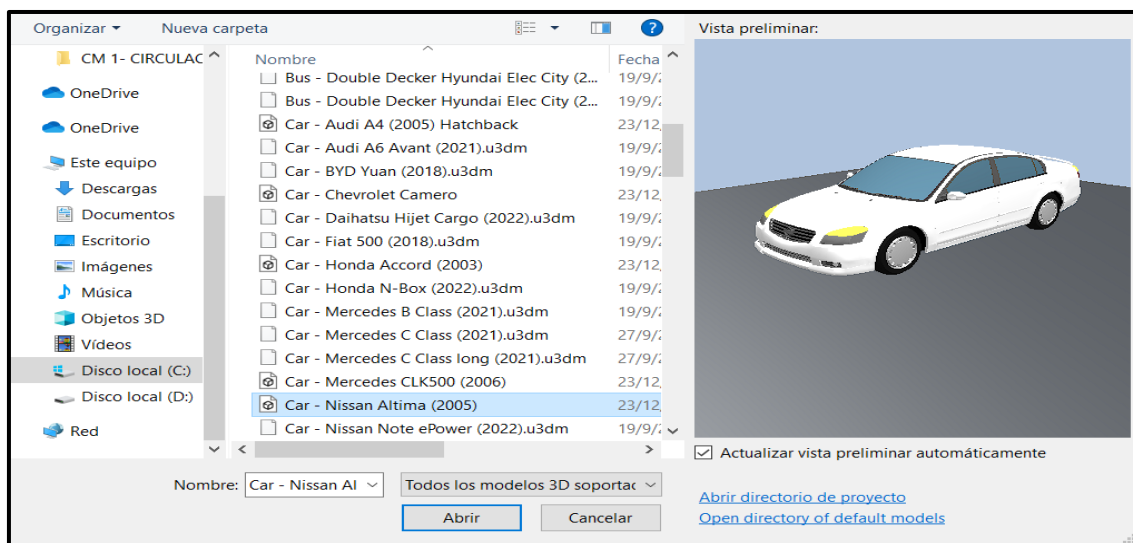


Fuente: Elaboración propia

Configuración de vehículos

Para configurar los diferentes tipos de vehículos que formaran parte de la red se debe seguir una secuencia de pasos. Primeramente, se importa de la base de datos del programa los tipos de vehículos coincidentes con la clasificación de aforos.

Figura 28. Importación de vehículos al VISSIM

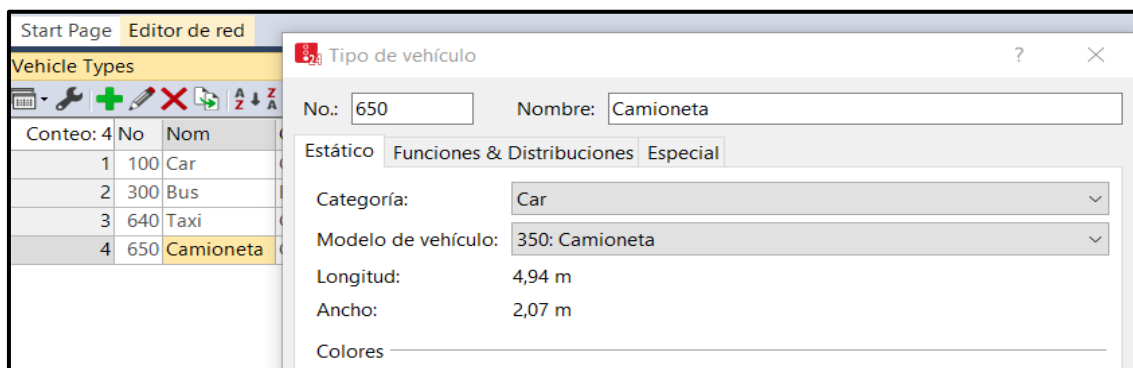


Fuente: Elaboración propia

Dimensión de los vehículos tipo

Las dimensiones de los vehículos tipo incluyen autos, taxis, camionetas y micros. Esta distribución modela los distintos tipos de vehículos que pueden encontrarse en la red de acuerdo a las características de sus dimensiones, (longitud y ancho).

Figura 29. Dimensión del vehículo tipo



Fuente: Elaboración propia

Composición vehicular

La composición vehicular está clasificada según su tamaño en vehículos livianos, medianos y en función al tipo de vehículo que transita por la zona de estudio, en nuestro análisis se consideró 4 tipos de vehículos: autos, taxis, camionetas y micros.

En la composición vehicular se detalla el tipo de vehículo y su cantidad o volumen, así también se debe configurar la velocidad con la que circula cada tipo de vehículo.

Ingreso de volúmenes vehiculares

El siguiente paso es ingresar los datos de campo que fueron procesados en gabinete, para ello se utiliza la herramienta “Vehicle Inputs” donde se ingresan los volúmenes vehiculares para cada Link que compone la intersección.

Figura 30. Ingreso de volúmenes vehiculares

Vehicle Inputs / Vehicle volumes by time interval					
Vehicle volumes by					
Conteo: 16	No	Nom	Tramo	Volume(0-MAX)	VehComp(0-MAX)
1	1		4: Calle Domingo Paz	339,0	2: Domingo Paz
2	2		5: Calle Bolivar	286,0	3: Bolivar
3	3		2: Calle Ingavi	287,0	4: Ingavi
4	4		3: Calle La Madrid	325,0	5: La Madrid
5	5		1: Calle Campero	268,0	6: Campero
6	6		6: Calle Gral. Trigo	345,0	7: Gral. Trigo
7	8		8: Calle Daniel Campos	315,0	9: Daniel Campos
8	9		9: Calle Colon	344,0	10: Colon
9	10		10: Calle Suipacha	411,0	11: Suipacha
10	11		26: Calle Campero	380,0	12: Campero 2

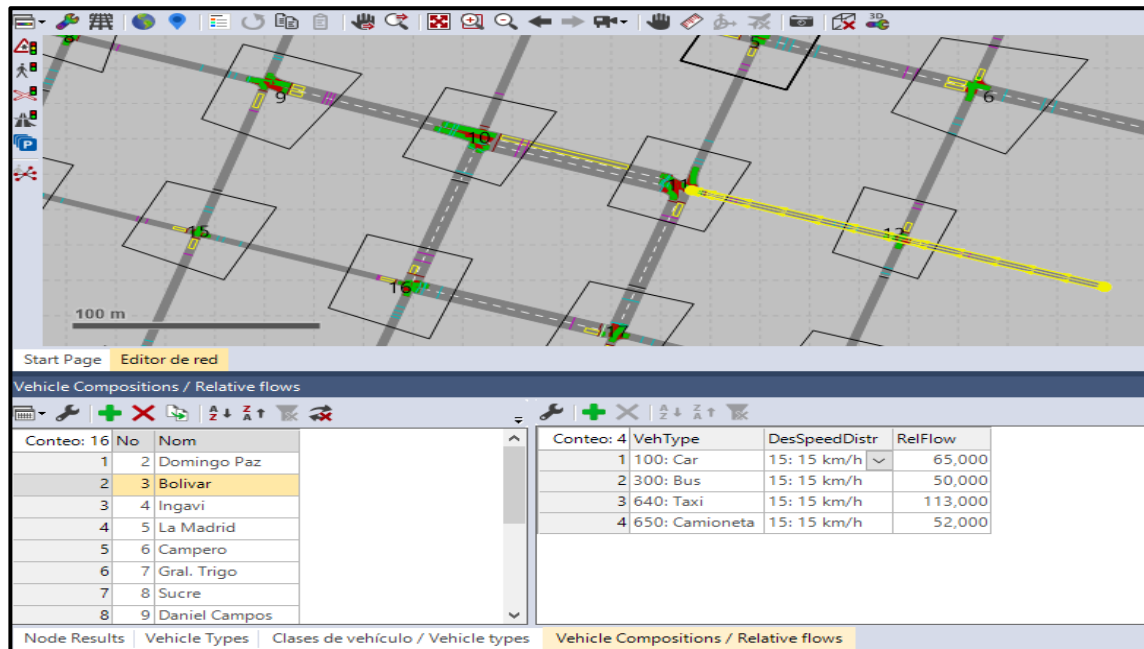
Fuente: Elaboración propia

Ingreso de velocidades vehiculares

Se ingresan las velocidades medias, así como la distribución entre estos valores para cada categoría de vehículos presente en el modelo, según los valores observados en campo.

Para el ingreso de las velocidades vehiculares, solo se toman en cuenta los puntos de inicio de cada vía o entrada a la red.

Figura 31. Ingreso de velocidades vehiculares

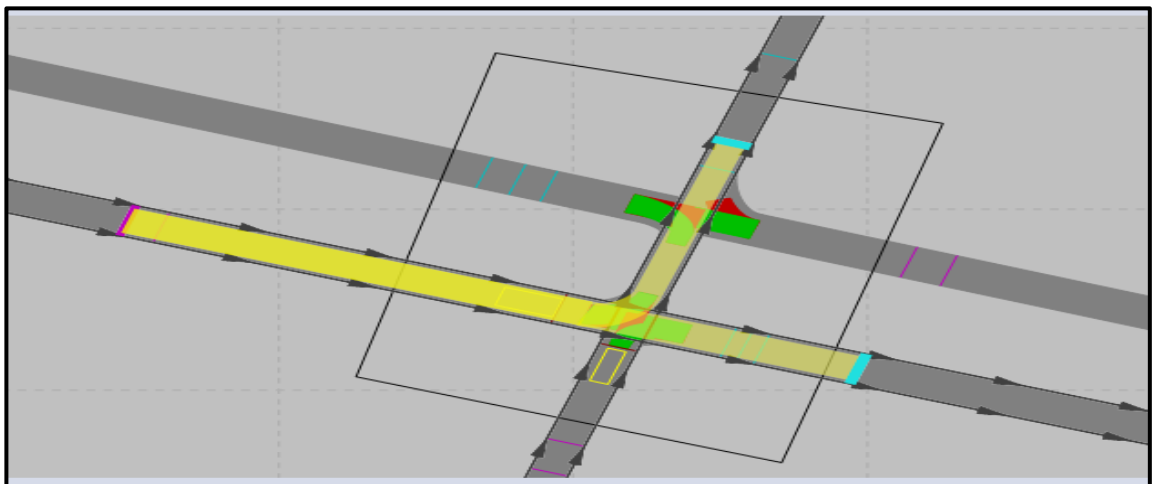


Fuente: Elaboración propia

Rutas vehiculares

Son las posibles alternativas de circulación que tiene un vehículo; giro a la izquierda, giro a la derecha o recto. Se debe configurar la cantidad de vehículos que giran a la izquierda, a la derecha y los que van de frente. Se crea una ruta vehicular exclusiva para los micros.

Figura 32. Movimientos de circulación



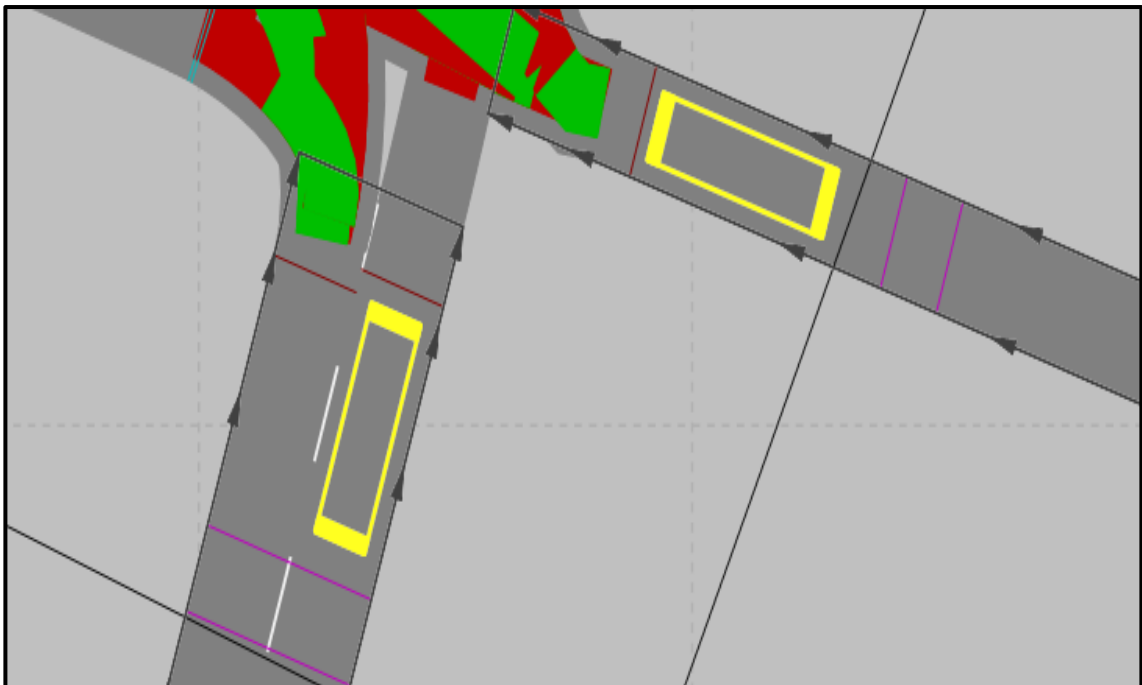
Fuente: Elaboración propia

Áreas de reducción de velocidad

Son áreas donde la velocidad de circulación disminuye, generalmente al aproximarse a las intersecciones.

En este episodio se considera las zonas donde se requiere reducir la velocidad como, por ejemplo, en las curvas (giro izquierdo y derecho), en estos, generalmente los vehículos reducen su velocidad.

Figura 33. Asignación de las áreas de reducción de velocidad



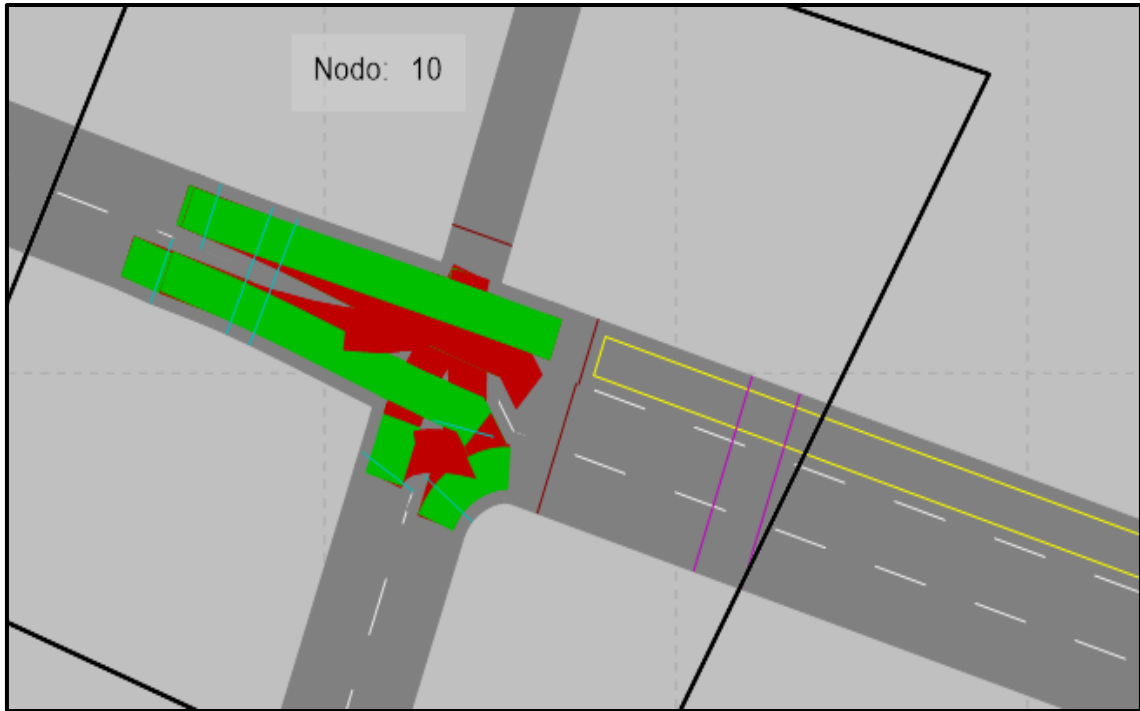
Fuente: Elaboración propia

Reglas de prioridad y zonas de conflicto

En las intersecciones existe una superposición geométrica de las rutas, ocasionando una colisión de vehículos al momento de la simulación. La solución a este problema es configurar esta superposición dando prioridad a los vehículos que circulan en un sentido.

Las reglas de prioridad son utilizadas en intersecciones con varios accesos y que necesiten una mejor calibración, mientras que las zonas de conflicto son usadas en intersecciones más simples.

Figura 34. Reglas de prioridad y zonas de conflicto



Fuente: Elaboración propia

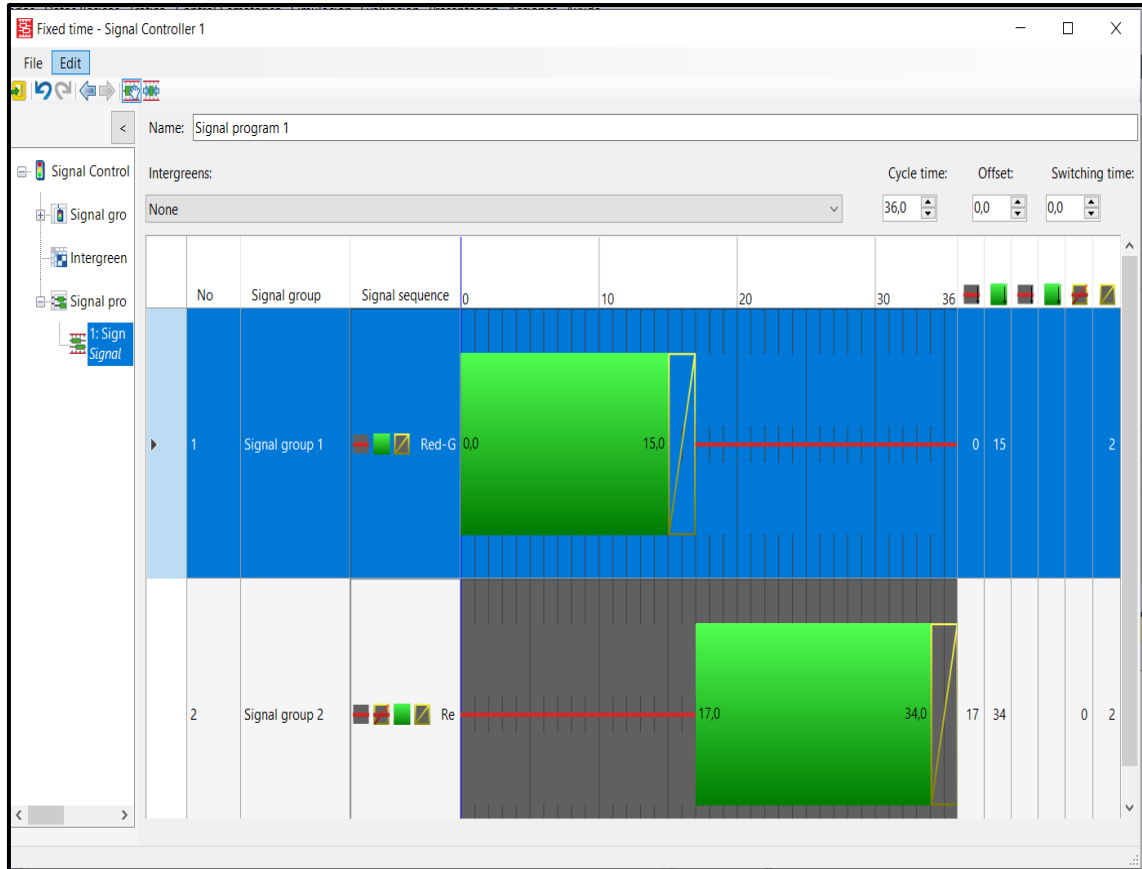
Semaforización

En VISSIM los semáforos funcionan como líneas de alto, por lo que estos se colocan en los lugares donde los vehículos deben detenerse. Estos se colocan habiendo previamente definidos los controladores con la aplicación que se encuentra dentro del programa. El registro de los tiempos semafóricos fue la base para definir los controladores. Para este caso fue preciso observar con cuidado el comportamiento de los grupos de señales.

Para la colocación de semáforos que regulan el tránsito, primero se debe definir el tiempo de ciclo y el tiempo de cada color de fase que se lo realizo en campo.

Estos dispositivos se programan en el software a través de la herramienta de señales de control (Signal Control). Una vez determinada las fases y ciclos semafóricos se ubican las “Signal Heads” en la posición de los semáforos existentes. La colocación de estos reguladores de tránsito será en la misma ubicación de los semáforos.

Figura 35. Asignación de los tiempos de fase



Fuente: Elaboración propia

3.6.3. Calibración del modelo

Una vez definidos todos los elementos contenidos en la red, se procede a calibrar el modelo; este es un proceso mediante el cual se ajustan determinados parámetros con el fin de que la simulación se asemeje a las condiciones del tráfico existente. El modelo de Wiedemann 74, que es usado para entornos urbanos, permite modificar el comportamiento de los conductores, y se le denomina modelo de seguimiento vehicular.

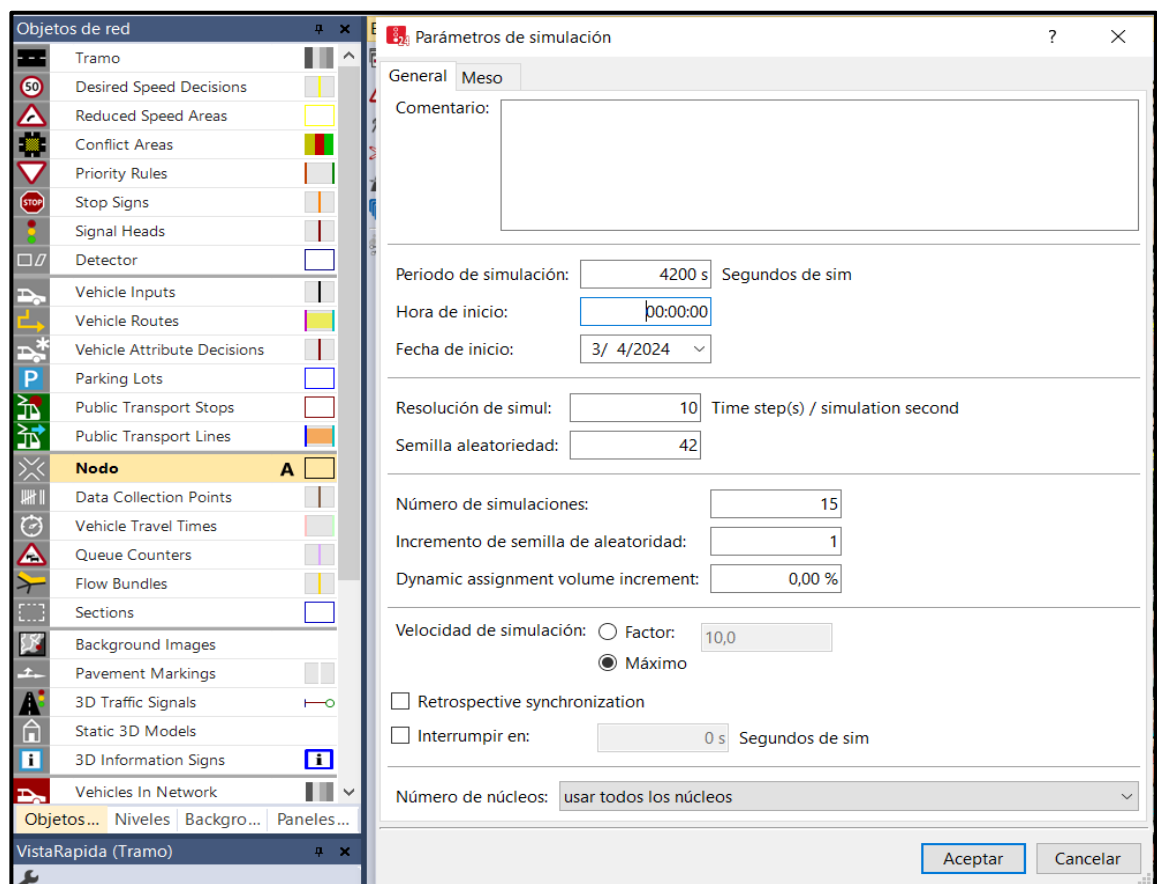
El proceso de calibración del modelo consiste en comparar los valores estimados y simulados por el software PTV VISSIM con los observados en campo, modificando los parámetros y validando la simulación hasta lograr un error tolerable entre los datos.

Parámetros de simulación

Los parámetros de simulación, que se definen antes de iniciar la construcción del modelo son los siguientes: número semilla, incremento del número semilla, número de corridas y el tiempo de simulación.

Para el presente trabajo se tomó como numero semilla el valor de 42, que viene por defecto en el software, con un incremento de 1. Tomando en cuenta recomendaciones de FHWA (2004) y de PTV Group, se determinó que el número de corridas mínimas son 15, dando una confiabilidad del 95%. El tiempo de simulación está compuesta por dos periodos de tiempo, uno de 3600 segundos equivalentes a una hora, y otro de 600 segundos equivalentes a 10 minutos, que es el tiempo de estabilización mínima, dando como resultado final un tiempo de simulación de 4200 segundos.

Figura 36. Configuración de los parámetros de simulación



Fuente: Elaboración propia

Calibración del modelo mediante longitud de colas

La calibración consiste en modificar los parámetros de Wideman 74 que viene por defecto en el programa, que son ax, bxadd y bxmult con valores 2, 3 y 3 respectivamente. En el primer intento, se utilizaron estos parámetros por defecto, con los cuales se obtuvo los resultados de longitud de cola muy diferentes a los obtenidos en campo con margen de error de más del 50% en la mayoría de las intersecciones de la zona de estudio.

Tabla 39. Comparación de longitud de cola

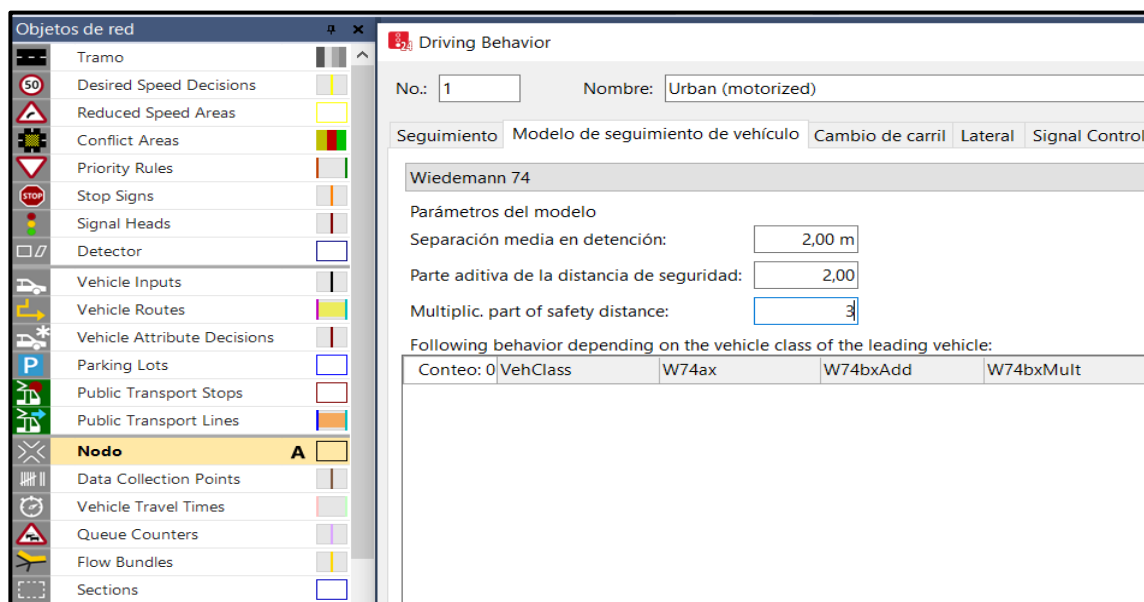
Intersección	Acceso	Longitud de cola		% de error	Observación
		Campo	VISSIM		
1	Calle Domingo Paz	60,6	50,588124	16,52	Cumple
	Calle Campero	65,6	31,819031	51,50	No cumple
2	Calle Domingo Paz	57,6	32,610812	43,38	No cumple
	Calle Gral. Trigo	54,4	22,316372	58,98	No cumple
3	Calle Domingo Paz	70,3	9,725426	86,17	No cumple
	Calle Sucre	68,2	39,396599	42,23	No cumple
4	Calle Domingo Paz	60,6	11,913681	80,34	No cumple
	Calle Daniel Campos	65,6	23,755007	63,79	No cumple
5	Calle Domingo Paz	57,6	10,414485	81,92	No cumple
	Calle Colon	54,4	59,561192	9,49	Cumple
6	Calle Domingo Paz	60,6	15,412	74,57	No cumple
	Calle Suipacha	65,6	51,636551	21,29	No cumple
7	Calle Bolívar	57,6	10,750998	81,34	No cumple
	Calle Campero	54,4	37,102269	31,80	No cumple
8	Calle Bolívar	55,7	12,632632	77,32	No cumple
	Calle Gral. Trigo	49,7	6,78661	86,34	No cumple
9	Calle Bolívar	61,7	10,578399	82,86	No cumple
	Calle Sucre	54,4	49,907433	8,26	Cumple
10	Calle Bolívar	50,6	15,814315	68,75	No cumple
	Calle Daniel Campos	62	26,219821	57,71	No cumple
11	Calle Bolívar	55,5	27,631201	50,21	No cumple
	Calle Colon	68,6	28,360937	58,66	No cumple
12	Calle Bolívar	55,3	45,540916	17,65	Cumple
	Calle Suipacha	64,5	61,994742	3,88	Cumple
13	Calle Ingavi	57,6	11,385679	80,23	No cumple
	Calle Campero	54,4	4,362405	91,98	No cumple
14	Calle Ingavi	71,1	7,699703	89,17	No cumple
	Calle Gral. Trigo	68,6	23,36624	65,94	No cumple
15	Calle Ingavi	60,6	25,182351	58,44	No cumple
	Calle Sucre	65,6	7,898786	87,96	No cumple

16	Calle Ingavi	57,6	14,726947	74,43	No cumple
	Calle Daniel Campos	54,2	20,634995	61,93	No cumple
17	Calle Ingavi	65,6	10,149535	84,53	No cumple
	Calle Colon	57,6	40,162565	30,27	No cumple
18	Calle Ingavi	54,6	17,556642	67,84	No cumple
	Calle Suipacha	55,7	37,472986	32,72	No cumple
19	Calle La Madrid	60,6	55,607317	8,24	Cumple
	Calle Campero	61,7	0,440028	99,29	No cumple
20	Calle La Madrid	54,4	14,306639	73,70	No cumple
	Calle Gral. Trigo	50,6	30,512825	39,70	No cumple
21	Calle La Madrid	44	5,920853	86,54	No cumple
	Calle Sucre	55,7	5,711768	89,75	No cumple
22	Calle La Madrid	40,3	3,284135	91,85	No cumple
	Calle Daniel Campos	61,7	31,937504	48,24	No cumple
23	Calle La Madrid	40,1	12,254249	69,44	No cumple
	Calle Colon	57,6	10,90107	81,07	No cumple
24	Calle La Madrid	54,4	8,793191	83,84	No cumple
	Calle Suipacha	68,3	16,036095	76,52	No cumple
25	Calle 15 de Abril	32,5	37,472986	15,30	Cumple
	Calle Campero	30,5	0,440028	98,56	No cumple
26	Calle 15 de Abril	45,3	12,254249	72,95	No cumple
	Calle Gral. Trigo	38,3	10,90107	71,54	No cumple
27	Calle 15 de Abril	35,8	17,681088	50,61	No cumple
	Calle Sucre	40,5	4,619365	88,59	No cumple
28	Calle 15 de Abril	45,6	55,607317	21,95	No cumple
	Calle Daniel Campos	41,2	14,306639	65,28	No cumple
29	Calle 15 de Abril	45,6	37,472986	17,82	Cumple
	Calle Colón	50,2	0,440028	99,12	No cumple
30	Calle 15 de Abril	44,3	7,699703	82,62	No cumple
	Calle Suipacha	40,6	25,182351	37,97	No cumple

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar una gran cantidad de longitud de colas que no cumplen con la condición de tener un margen de error menor a un 20%.

Figura 37. Calibración del modelo de seguimiento vehicular



Fuente: Elaboración propia

La calibración se lleva a cabo en un segundo intento, ajustando los parámetros de seguimiento vehicular del modelo Wiedemann 74.

Tabla 40. Comparación de longitud de cola en campo y en VISSIM

Intersección	Acceso	Longitud de cola		% de error	Observación
		Campo	VISSIM		
1	Calle Domingo Paz	60,6	72,5	19,6	Cumple
	Calle Campero	65,6	77,6	18,3	Cumple
2	Calle Domingo Paz	57,6	72,3	25,5	No cumple
	Calle Gral. Trigo	54,4	62,6	15,1	Cumple
3	Calle Domingo Paz	70,3	61,2	12,9	Cumple
	Calle Sucre	68,2	81,5	19,5	Cumple
4	Calle Domingo Paz	60,6	44,1	27,2	No cumple
	Calle Daniel Campos	65,6	54,4	17,0	Cumple
5	Calle Domingo Paz	57,6	54,3	5,7	Cumple
	Calle Colon	54,4	80,2	47,3	No cumple
6	Calle Domingo Paz	60,6	72,7	20,0	Cumple
	Calle Suipacha	65,6	86,3	31,6	No cumple
7	Calle Bolívar	57,6	68,8	19,4	Cumple
	Calle Campero	54,4	44,4	18,4	Cumple
8	Calle Bolívar	55,7	65,5	17,6	Cumple
	Calle Gral. Trigo	49,7	24,9	49,9	No cumple
9	Calle Bolívar	61,7	54,3	11,9	Cumple
	Calle Sucre	54,4	39,1	28,1	No cumple

10	Calle Bolívar	50,6	71,0	40,3	No cumple
	Calle Daniel Campos	62,0	68,5	10,5	Cumple
11	Calle Bolívar	55,5	63,6	14,6	Cumple
	Calle Colon	68,6	37,4	45,4	No cumple
12	Calle Bolívar	55,3	66,3	19,9	Cumple
	Calle Suipacha	64,5	98,4	52,6	No cumple
13	Calle Ingavi	57,6	46,1	19,9	Cumple
	Calle Campero	54,4	13,8	74,5	No cumple
14	Calle Ingavi	71,1	26,5	62,7	No cumple
	Calle Gral. Trigo	68,6	55,2	19,5	Cumple
15	Calle Ingavi	60,6	61,7	1,8	Cumple
	Calle Sucre	65,6	38,1	41,9	No cumple
16	Calle Ingavi	57,6	68,9	19,6	Cumple
	Calle Daniel Campos	54,2	36,0	33,6	No cumple
17	Calle Ingavi	65,6	41,2	37,2	No cumple
	Calle Colon	57,6	68,5	18,9	Cumple
18	Calle Ingavi	54,6	57,8	5,9	Cumple
	Calle Suipacha	55,7	47,8	14,2	Cumple
19	Calle La Madrid	60,6	71,3	17,7	Cumple
	Calle Campero	61,7	6,9	88,8	No cumple
20	Calle La Madrid	54,4	30,2	44,5	No cumple
	Calle Gral. Trigo	50,6	60,1	18,8	Cumple
21	Calle La Madrid	44,6	38,7	13,2	Cumple
	Calle Sucre	55,7	29,6	46,9	No cumple
22	Calle La Madrid	40,3	37,6	6,7	Cumple
	Calle Daniel Campos	61,7	73,3	18,8	Cumple
23	Calle La Madrid	40,1	41,2	2,6	Cumple
	Calle Colon	57,6	56,9	1,2	Cumple
24	Calle La Madrid	54,4	37,5	31,1	No cumple
	Calle Suipacha	68,3	69,8	2,1	Cumple
25	Calle 15 de Abril	32,5	33,5	3,1	Cumple
	Calle Campero	30,5	35,5	16,4	Cumple
26	Calle 15 de Abril	45,3	58,3	28,7	No cumple
	Calle Gral. Trigo	38,3	44,2	15,4	Cumple
27	Calle 15 de Abril	35,8	29,5	17,6	Cumple
	Calle Sucre	40,5	48,2	19,0	Cumple
28	Calle 15 de Abril	45,6	37,5	17,7	Cumple
	Calle Daniel Campos	41,2	65,2	58,3	No cumple
29	Calle 15 de Abril	45,6	68,2	49,6	No cumple
	Calle Colón	50,2	44,2	12,0	Cumple
30	Calle 15 de Abril	44,3	51,2	15,6	Cumple
	Calle Suipacha	40,6	25,5	37,2	No cumple

Fuente: Elaboración propia

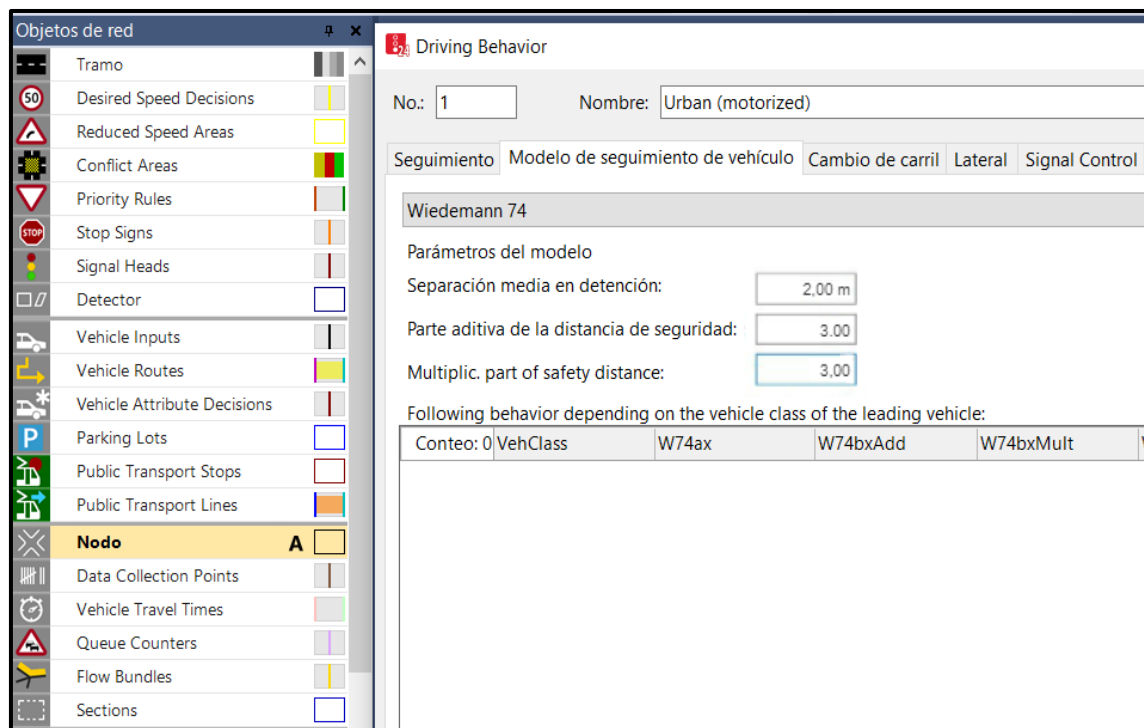
Esto es lo más cercano que pudimos ajustar el modelo, es por eso que para realizar una calibración más ajusta y que nos permita validar el modelo se optó por calibrar mediante el tiempo de recorrido.

Calibración del modelo mediante tiempo de recorrido

Entonces a partir de aquí se opta por considerar otro parámetro de calibración, que se asemeje a la realidad, este nuevo parámetro analizado es el tiempo de recorrido, del cual se trabaja con la media de varias mediciones.

Como primer intento se realiza una simulación con la configuración que viene por defecto en el software que son: la distancia promedio entre vehículos detenidos que tiene un valor de 2 m, distancia extra de seguridad con un valor de 3 y el múltiplo de la distancia de seguridad que tiene un valor de 3.

Figura 38. Configuración de Parámetros de Wiedemann 74



Fuente: Elaboración propia

Como se trata de un proceso iterativo se irá cambiando las tres variables hasta que el tiempo de recorrido sea similar a los obtenidos en campo.

Tabla 41. Parámetros de Wiedemann 74 para la calibración

Intento	A	B	C	VISSIM	Campo	Error
				Media (d=450 m)		%
1	2	3	3	188,65	257,56	27%
2	3	2	2	188,33	257,56	27%
3	2	1	2	179,21	257,56	30%
4	2	2	3	191,36	257,56	26%
5	1,5	3	4	183,32	257,56	29%
6	1,5	4	5	219,12	257,56	15%
7	1,5	2,5	4	256,39	257,56	0,5%
8	1,5	2	4	194,32	257,56	25%
9	1,5	3	3	234,21	257,56	9%
10	1	4	4	239,71	257,56	7%
11	1	3	5	260,69	257,56	1%
12	1	3	6	266,36	257,56	3%
14	1	4	5	277,60	257,56	8%
15	0,5	5	5	221,10	257,56	14%
16	0,5	6	5	276,21	257,56	7%
17	0,5	5	6	273,32	257,56	6%
18	0,5	2	5	205,23	257,56	20%
19	0,5	1	5	223,45	257,56	13%
20	0,5	4	6	243,74	257,56	5%

Fuente: Elaboración propia

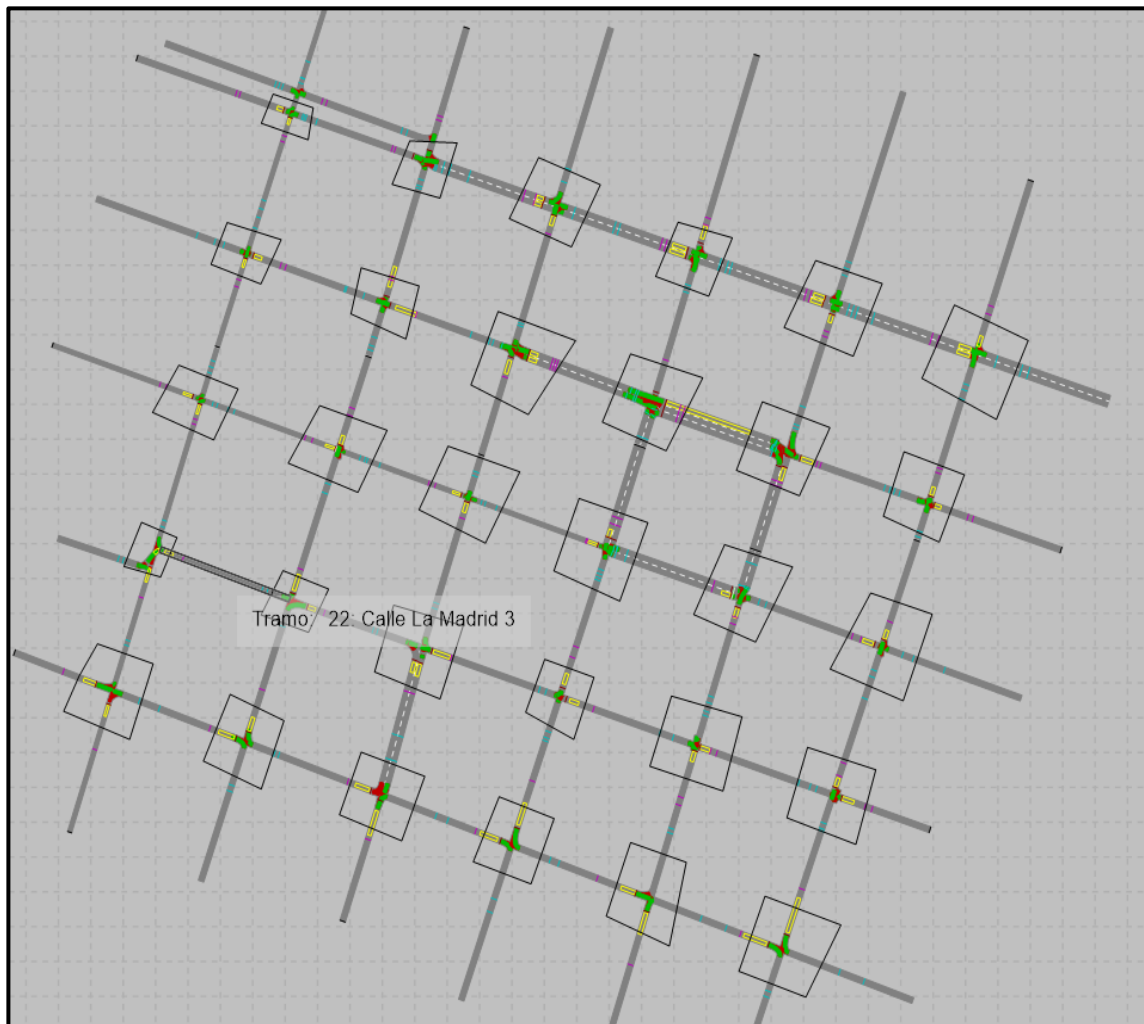
Se realiza la comparación entre los resultados obtenidos a partir de los parámetros de Wiedemann 74 según la similitud entre resultados de VISSIM y campo.

El tiempo de recorrido registrado en campo durante las horas pico tiene un promedio de 257,56 segundos, como se muestra en la tabla, mientras que en el modelo creado con el software VISSIM, el tiempo es de 256,39 segundos, según se observa. Se puede notar que el intento con el menor margen de error en la zona central es el intento 7, con una diferencia del 0,5 %, lo que está por debajo del margen de error del 5%. Con los datos obtenidos tanto en campo como mediante el programa, se puede concluir que el modelo es válido.

3.6.4. Resultados de niveles de servicio obtenido según el software VISSIM

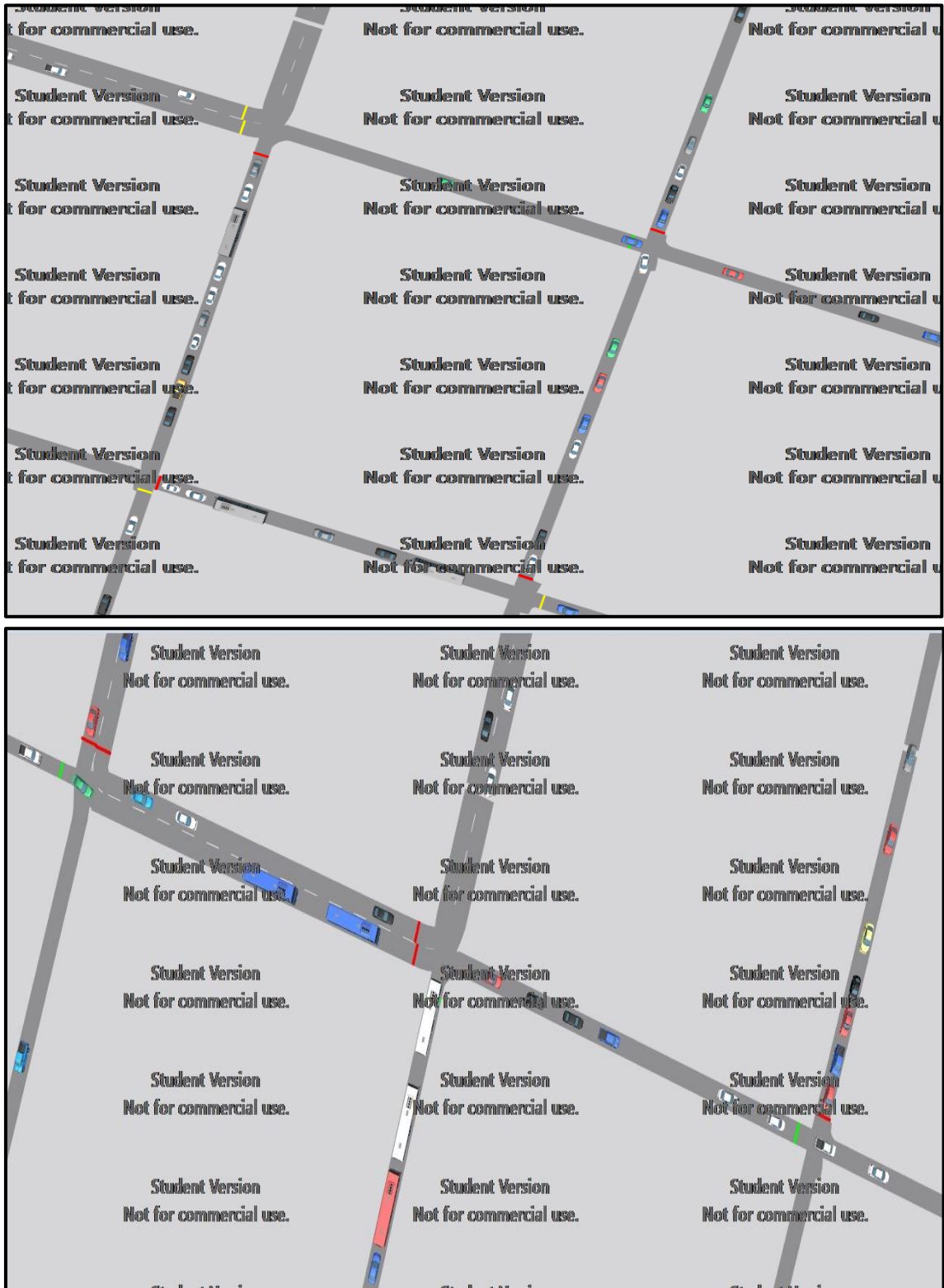
Una vez que el modelo ha sido construido, calibrado y validado, se procede a realizar la simulación, obteniendo posteriormente los resultados del nivel de servicio en cada intersección dentro de la zona de estudio.

Figura 39. Modelo construido de la red



Fuente: Elaboración propia

Figura 40. Simulación del modelo construido



Fuente: Elaboración propia

Tabla 42. Resultados de niveles de servicio según el software VISSIM

Intersección	Acceso	Demora promedio				Nivel de servicio			
		GI	GD	FR	Intersección	GI	GD	FR	Intersección
1	Calle Domingo Paz	40,8		35,0	37,98	D		C	D
	Calle Campero	34,8	42,1	40,4		C	D	D	
2	Calle Domingo Paz		26,7	24,2	32,43		C	C	C
	Calle Gral. Trigo	44,2	33,6	47,1		D	C	D	
3	Calle Domingo Paz	16,4		10,6	29,99	B		B	C
	Calle Sucre		63,4	53,2			E	D	
4	Calle Domingo Paz		38,0	21,2	44,15		D	C	D
	Calle Daniel Campos	60,0		62,6		E		E	
5	Calle Domingo Paz	20,6		15,8	26,55	C		B	C
	Calle Colón		42,0	36,7			D	D	
7	Calle Bolívar		22,2	15,1	28,35		C	B	C
	Calle Campero	33,9		36,5		C		D	
8	Calle Bolívar	23,7		18,3	15,46	C		B	B
	Calle Gral. Trigo		26,2	16,4			C	B	
9	Calle Bolívar		27,1	23,7	39,41		C	C	D
	Calle Sucre	55,2		64,4		E		E	
10	Calle Bolívar	14,1		15,3	24,40	B		B	C
	Calle Daniel Campos		36,2	36,6			D	D	
11	Calle Bolívar		39,7	40,1	41,86		D	D	D
	Calle Colón	52,3		49,6			A	D	
12	Calle Bolívar	50,1		44,8	36,74		A	D	D
	Calle Suipacha		54,2	38,1			D	D	
13	Calle Ingavi	54,9		59,1	44,99	D		E	D
	Calle Campero		26,0	30,4			C	C	
14	Calle Ingavi		50,5	48,7	35,13		D	D	D
	Calle Gral. Trigo	41,8		31,6		D		C	
15	Calle Ingavi	36,0		39,3	27,48	D		D	C
	Calle Sucre		33,8	23,3			C	C	
16	Calle Ingavi		46,7	38,6	58,10		D	D	E
	Calle Daniel Campos	68,0		92,4		E		F	

17	Calle Ingavi	21,7		24,2	29,16	C		C	C
	Calle Colón		49,6	37,6			D	D	
18	Calle Ingavi		55,2	24,6	34,99		E	C	C
	Calle Suipacha	50,4		41,4		D		D	
20	Calle La Madrid	23,3		31,4	28,61	C		C	C
	Calle Gral. Trigo		30,4	25,0			C	C	
21	Calle La Madrid		23,5	21,6	15,04		C	C	B
	Calle Sucre	16,0		19,4		B		B	
22	Calle La Madrid	10,9		7,4	20,96	B		A	C
	Calle Daniel Campos		40,3	38,4			D	D	
23	Calle La Madrid		52,9	62,1	46,17		D	E	D
	Calle Colón	28,2		37,8		C		D	
24	Calle La Madrid	31,6		41,0	38,25	C		D	D
	Calle Suipacha		63,8	37,6			E	D	
25	Calle 15 de Abril	67,6		56,3	43,73	E		E	D
	Calle Campero		45,4	35,6			D	D	
26	Calle 15 de Abril		43,9	65,7	40,76		D	E	D
	Calle Gral. Trigo	33,0		7,7		C		A	
27	Calle 15 de Abril	35,5		33,5	27,04	D		C	C
	Calle Sucre		25,0	26,0			C	C	
28	Calle 15 de Abril		18,0	17,2	20,54		B	B	C
	Calle Daniel Campos	22,2		27,4		C		C	
29	Calle 15 de Abril	19,9		19,2	37,66	B		B	D
	Calle Colón		57,3	54,5			E	D	
30	Calle 15 de Abril		24,7	27,8	29,55		C	C	C
	Calle Suipacha	26,6		39,1		C		D	

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla, los niveles de servicio que proporciona el software VISSIM para las intersecciones, bajo las condiciones actuales, se encuentran principalmente entre los niveles B, C, D y E. Esto sugiere que los niveles entre B y C corresponden a un flujo aceptable, mientras que los niveles entre D y E indican un flujo no aceptable.

3.7. Determinación del nivel de servicio por el método AASHTO

3.7.1. Parámetros de entrada

- Volumen vehicular

Tabla 43. Resumen de los resultados de volumen de vehicular

Intersección	Acceso	Total (Veh/Hr)
1	Calle Domingo Paz	339
	Calle Campero	353
2	Calle Domingo Paz	327
	Calle General Trigo	345
3	Calle Domingo Paz	368
	Calle Sucre	341
4	Calle Domingo Paz	354
	Calle Daniel Campos	315
5	Calle Domingo Paz	358
	Calle Colón	418
6	Calle Domingo Paz	324
	Calle Suipacha	411
7	Calle Bolívar	342
	Calle Campero	289
8	Calle Bolívar	344
	Calle Gral. Trigo	295
9	Calle Bolívar	322
	Calle Sucre	310
10	Calle Bolívar	424
	Calle Daniel Campos	337
11	Calle Bolívar	302
	Calle Colón	404
12	Calle Bolívar	286
	Calle Suipacha	365
13	Calle Ingavi	287
	Calle Campero	343
14	Calle Ingavi	331
	Calle Gral. Trigo	314
15	Calle Ingavi	340
	Calle Sucre	307
16	Calle Ingavi	348
	Calle Daniel Campos	406
17	Calle Ingavi	414
	Calle Colón	370
18	Calle Ingavi	317
	Calle Suipacha	384

19	Calle La Madrid	301
	Calle Campero	259
20	Calle La Madrid	328
	Calle Gral. Trigo	316
21	Calle La Madrid	258
	Calle Sucre	273
22	Calle La Madrid	313
	Calle Daniel Campos	330
23	Calle La Madrid	319
	Calle Colón	327
24	Calle La Madrid	325
	Calle Suipacha	334
25	Calle 15 de Abril	365
	Calle Campero	268
26	Calle 15 de Abril	317
	Calle Gral. Trigo	320
27	Calle 15 de Abril	336
	Calle Sucre	358
28	Calle 15 de Abril	326
	Calle Daniel Campos	300
29	Calle 15 de Abril	358
	Calle Colón	344
30	Calle 15 de Abril	396
	Calle Suipacha	386

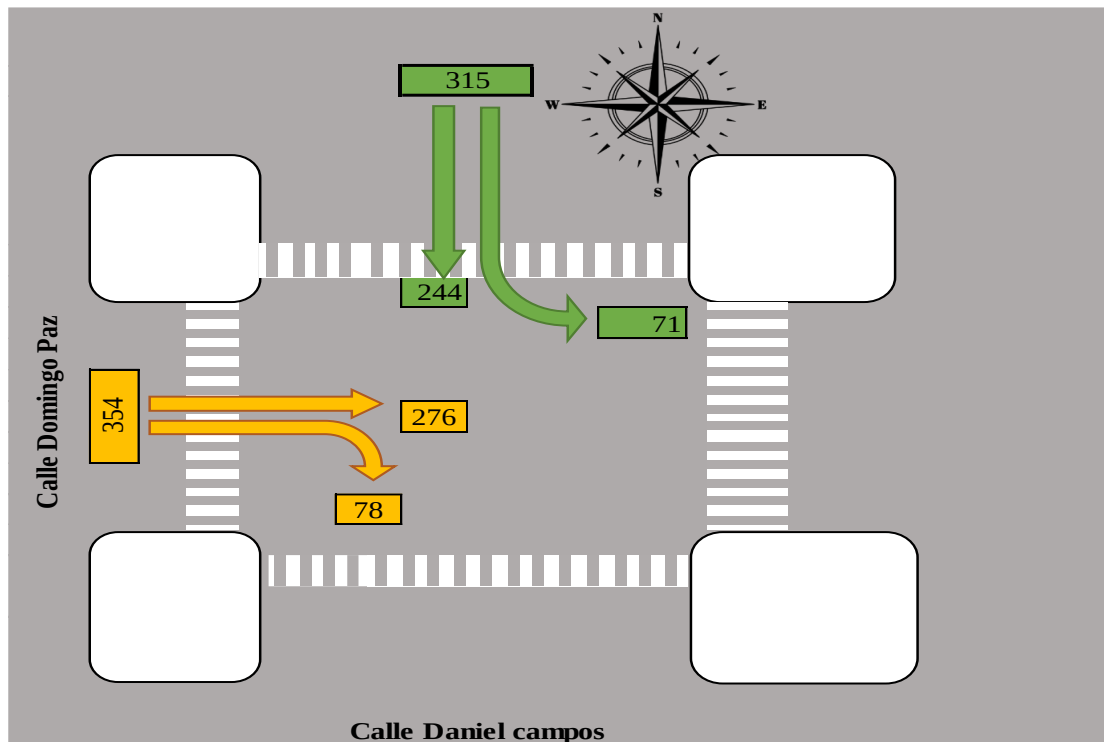
Fuente: Elaboración propia

- **Ancho de carril**

Acceso	Ancho de carril w (m)				
	Nº de cuadras				
	1	2	3	4	5
Calle Domingo Paz	3	2,7	2,8	2,85	2,7
Calle Bolívar	2,8	2,7	2,65	3,3	2,7
Calle Ingavi	2,8	2,85	3	3,1	2,75
Calle La Madrid	2,65	2,9	2,75	2,8	2,85
15 de abril	2,75	3,1	2,75	3	3,1
Calle Campero	2,8	2,7	2,65	2,7	
Calle Gral. Trigo	2,8	2,7	2,75	2,8	
Calle Sucre	2,7	2,75	2,7	2,75	
Calle Daniel Campos	2,75	3,05	2,8	2,8	
Calle Colón	2,8	3,1	2,7	2,7	
Calle Suipacha	2,85	2,8	2,75	2,7	

Fuente: Elaboración propia

3.7.2. Procedimiento para calcular el nivel de servicio por el método AASHTO



Accesos	Calle Domingo Paz	Calle Daniel campos
Sentido del flujo vehicular	O-E	N-S
Volúmenes (veh/hra)	354	315
ancho de carril (m)	2,8	2,75
Coeficiente por ancho de carril f_c	0,71	0,70
Coeficiente por ancho de berma f_b	0,70	0,70
% Vehículos pesados	0	0
Coeficiente por vehículos pesados f_{vp}	1	1
Capacidad (Veh/hra)	447	441
Nivel de servicio del grupo de carriles	0,79	0,71
	C	C
Nivel de servicio global de la intersección	0,75	
	C	

Según los resultados del método AASHTO, la intersección 4 muestra un nivel de servicio C, lo cual es aceptable. Lo mismo ocurre con sus dos accesos: la calle Daniel Campos y la calle Domingo Paz, que también presentan niveles de servicio C. Esto indica que el

flujo de tráfico en esta intersección es estable y no enfrenta problemas significativos de congestión.

3.7.3. Resultados de niveles de servicio obtenido por el método AASHTO

A continuación, se presentan tablas resumen que reflejan los resultados de la evaluación de los niveles de servicio de la situación actual para todos los accesos y su intersección en el área de estudio, según el método AASHTO.

El desarrollo del cálculo de cada intersección se puede observar en Anexos.

Tabla 44. Resultados de niveles de servicio según el método AASHTO

Intersección	Acceso	Relación V/C		Nivel de servicio	
		Acceso	Intersección	Acceso	Intersección
1	Calle Domingo Paz	0,71	0,75	C	C
	Calle Campero	0,79		C	
2	Calle Domingo Paz	0,68	0,73	B	C
	Calle Gral. Trigo	0,77		C	
3	Calle Domingo Paz	0,83	0,80	D	C
	Calle Sucre	0,77		C	
4	Calle Domingo Paz	0,79	0,75	C	C
	Calle Daniel Campos	0,71		C	
5	Calle Domingo Paz	0,79	0,87	C	D
	Calle Colón	0,94		E	
7	Calle Bolívar	0,77	0,72	C	C
	Calle Campero	0,66		B	
8	Calle Bolívar	0,78	0,72	C	C
	Calle Gral. Trigo	0,66		B	
9	Calle Bolívar	0,73	0,72	C	C
	Calle Sucre	0,70		B	
10	Calle Bolívar	0,79	0,78	C	C
	Calle Daniel Campos	0,76		C	
11	Calle Bolívar	0,68	0,75	B	C
	Calle Colón	0,81		D	
12	Calle Bolívar	0,65	0,73	B	C
	Calle Suipacha	0,80		C	
13	Calle Ingavi	0,64	0,71	B	C
	Calle Campero	0,78		C	

14	Calle Ingavi	0,74	0,73	C	C
	Calle Gral. Trigo	0,71		C	
15	Calle Ingavi	0,75	0,73	C	C
	Calle Sucre	0,70		B	
16	Calle Ingavi	0,73	0,79	C	C
	Calle Daniel Campos	0,84		D	
17	Calle Ingavi	0,83	0,84	D	D
	Calle Colón	0,84		D	
18	Calle Ingavi	0,72	0,79	C	C
	Calle Suipacha	0,86		D	
20	Calle La Madrid	0,70	0,71	B	C
	Calle Gral. Trigo	0,72		C	
21	Calle La Madrid	0,59	0,61	A	B
	Calle Sucre	0,62		B	
22	Calle La Madrid	0,70	0,72	B	C
	Calle Daniel Campos	0,74		C	
23	Calle La Madrid	0,70	0,72	B	C
	Calle Colón	0,74		C	
24	Calle La Madrid	0,72	0,74	C	C
	Calle Suipacha	0,76		C	
25	Calle 15 de Abril	0,83	0,72	D	C
	Calle Campero	0,61		B	
26	Calle 15 de Abril	0,72	0,72	C	C
	Calle Gral. Trigo	0,72		C	
27	Calle 15 de Abril	0,67	0,74	B	C
	Calle Sucre	0,81		D	
28	Calle 15 de Abril	0,74	0,71	C	C
	Calle Daniel Campos	0,67		B	
29	Calle 15 de Abril	0,75	0,77	C	C
	Calle Colón	0,78		C	
30	Calle 15 de Abril	0,80	0,84	C	D
	Calle Suipacha	0,88		D	

Fuente: Elaboración Propia

3.8. Comparación de resultados de niveles de servicio

Después de haber determinado los niveles de servicio de las intersecciones semaforizadas en la zona de estudio, se presenta a continuación una comparación de las demoras y el nivel de servicio en la situación actual de las intersecciones analizadas. Esta comparación se basa en los resultados obtenidos del método HCM 2010 y el software VISSIM. Dada la existencia de diferencias notables entre estos métodos, se ha decidido incorporar un tercer método, el de la AASHTO, para llevar a cabo una evaluación más exhaustiva de los niveles de servicio. Este análisis proporcionará una comprensión más clara del flujo vehicular en las intersecciones, permitiendo así determinar un nivel de servicio más confiable.

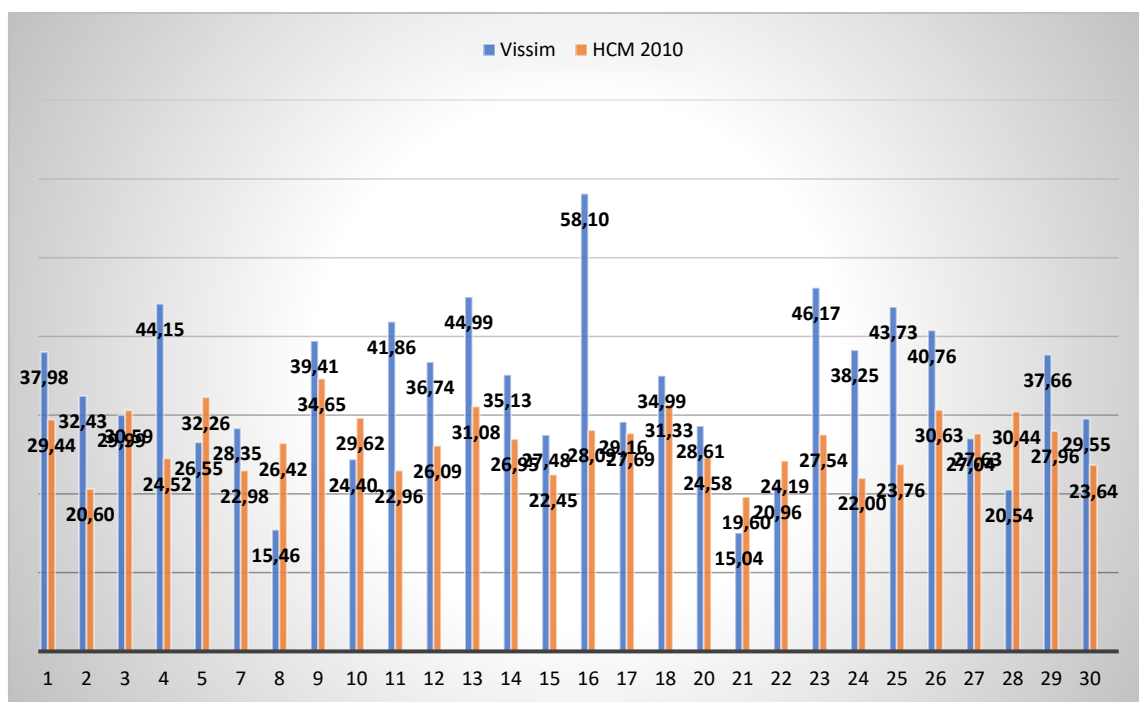
Tabla 45. Comparación de niveles de servicio entre el HCM 2010 y VISSIM

Intersección	Acceso	HCM 2010		VISSIM	
		Demora (seg/veh)	Nivel de servicio	Demora (seg/veh)	Nivel de servicio
1	Calle Domingo Paz	29,44	C	37,98	D
	Calle Campero				
2	Calle Domingo Paz	20,60	C	32,43	C
	Calle Gral. Trigo				
3	Calle Domingo Paz	30,59	C	29,99	C
	Calle Sucre				
4	Calle Domingo Paz	24,52	C	44,15	D
	Calle Daniel Campos				
5	Calle Domingo Paz	32,26	C	26,55	C
	Calle Colón				
7	Calle Bolívar	22,98	C	28,35	C
	Calle Campero				
8	Calle Bolívar	26,42	C	15,46	B
	Calle Gral. Trigo				
9	Calle Bolívar	34,65	C	39,41	D
	Calle Sucre				
10	Calle Bolívar	29,62	C	24,40	C
	Calle Daniel Campos				
11	Calle Bolívar	22,96	C	41,86	D
	Calle Colón				
12	Calle Bolívar	26,09	C	36,74	D
	Calle Suipacha				

13	Calle Ingavi	31,08	C	44,99	D
	Calle Campero				
14	Calle Ingavi	26,95	C	35,13	D
	Calle Gral. Trigo				
15	Calle Ingavi	22,45	C	27,48	C
	Calle Sucre				
16	Calle Ingavi	28,09	C	58,10	E
	Calle Daniel Campos				
17	Calle Ingavi	27,69	C	29,16	C
	Calle Colón				
18	Calle Ingavi	31,33	C	34,99	C
	Calle Suipacha				
20	Calle La Madrid	24,58	C	28,61	C
	Calle Gral. Trigo				
21	Calle La Madrid	19,60	B	15,04	B
	Calle Sucre				
22	Calle La Madrid	24,19	C	20,96	C
	Calle Daniel Campos				
23	Calle La Madrid	27,54	C	46,17	D
	Calle Colón				
24	Calle La Madrid	22,00	C	38,25	D
	Calle Suipacha				
25	Calle 15 de Abril	23,76	C	43,73	D
	Calle Campero				
26	Calle 15 de Abril	30,63	C	40,76	D
	Calle Gral. Trigo				
27	Calle 15 de Abril	27,63	C	27,04	C
	Calle Sucre				
28	Calle 15 de Abril	30,44	C	20,54	C
	Calle Daniel Campos				
29	Calle 15 de Abril	27,96	C	37,66	D
	Calle Colón				
30	Calle 15 de Abril	23,64	C	29,55	C
	Calle Suipacha				

Fuente: Elaboración Propia

Figura 41. Comparación de tiempos de demora entre el HCM 2010 y VISSIM



Fuente: Elaboración Propia

La siguiente tabla presenta los resultados de los niveles de servicio de las intersecciones evaluadas, utilizando el método HCM 2010, el software VISSIM y un tercer método propuesto por la AASHTO. Este último método nos permite comparar cuál de estos es más eficiente en la medición de niveles de servicio.

Tabla 46. Comparación de niveles de servicio (HCM 2010-VISSIM-AASHTO)

Intersección	Acceso	HCM 2010	VISSIM	AASHTO
		Nivel de servicio	Nivel de servicio	Nivel de servicio
1	Calle Domingo Paz	C	D	C
	Calle Campero			
2	Calle Domingo Paz	C	C	C
	Calle Gral. Trigo			
3	Calle Domingo Paz	C	C	C
	Calle Sucre			
4	Calle Domingo Paz	C	D	C
	Calle Daniel Campos			
5	Calle Domingo Paz	C	C	D
	Calle Colón			
7	Calle Bolívar	C	C	C
	Calle Campero			

8	Calle Bolívar	C	B	C
	Calle Gral. Trigo			
9	Calle Bolívar	C	D	C
	Calle Sucre			
10	Calle Bolívar	C	C	C
	Calle Daniel Campos			
11	Calle Bolívar	C	D	C
	Calle Colón			
12	Calle Bolívar	C	D	C
	Calle Suipacha			
13	Calle Ingavi	C	D	C
	Calle Campero			
14	Calle Ingavi	C	D	C
	Calle Gral. Trigo			
15	Calle Ingavi	C	C	C
	Calle Sucre			
16	Calle Ingavi	C	E	C
	Calle Daniel Campos			
17	Calle Ingavi	C	C	D
	Calle Colón			
18	Calle Ingavi	C	C	C
	Calle Suipacha			
20	Calle La Madrid	C	C	C
	Calle Gral. Trigo			
21	Calle La Madrid	B	B	B
	Calle Sucre			
22	Calle La Madrid	C	C	C
	Calle Daniel Campos			
23	Calle La Madrid	C	D	C
	Calle Colón			
24	Calle La Madrid	C	D	C
	Calle Suipacha			
25	Calle 15 de Abril	C	D	C
	Calle Campero			
26	Calle 15 de Abril	C	D	C
	Calle Gral. Trigo			
27	Calle 15 de Abril	C	C	C
	Calle Sucre			
28	Calle 15 de Abril	C	C	C
	Calle Daniel Campos			
29	Calle 15 de Abril	C	D	C
	Calle Colón			
30	Calle 15 de Abril	C	C	D
	Calle Suipacha			

Fuente: Elaboración Propia

3.9. Análisis de resultados

Para el análisis de resultados se tomará en cuenta tres parámetros.

3.9.1. Diferencia de parámetros

Se identifican diferencias significativas en los parámetros de entrada requeridos por los distintos métodos de evaluación. En la siguiente tabla se presentan los parámetros utilizados por HCM 2010, VISSIM y AASHTO, lo que permite una comparación clara entre ellos.

Tabla 47. Diferencia de parámetros

Parámetros	HCM 2010	VISSIM	AASHTO
Composición vehicular	Si	Si	Si
Volumen vehicular	Si	Si	Si
Velocidad vehicular	No	Si	No
Ciclo de semáforos	Si	Si	No
Ancho de carril	Si	Si	Si
Nº de maniobras y que paran	Si	No	No
Dimensiones de vehículos	No	Si	No

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la tabla, el VISSIM incluye una mayor cantidad de parámetros de entrada en comparación con el HCM 2010 y la AASHTO. Por ejemplo, VISSIM considera la velocidad y las dimensiones de los vehículos, aspectos que no están contemplados en el HCM 2010.

- **Composición vehicular:** Este parámetro es tomado en cuenta por los tres métodos, lo que resalta su relevancia en la evaluación del nivel de servicio. La variedad de tipos de vehículos, ya sea por su tamaño (livianos o medianos) o por su función (públicos o privados), puede afectar el comportamiento del tráfico.
- **Volumen vehicular:** También se incluye en los tres enfoques, reflejando su papel fundamental en la determinación del nivel de servicio, ya que el volumen de tráfico afecta la capacidad de las intersecciones.

- **Velocidad vehicular:** Este parámetro es relevante solo para VISSIM, lo que sugiere que este método se centra más en la simulación dinámica del tráfico, mientras que HCM 2010 y AASHTO no lo consideran esencial en su análisis.
- **Ciclo de semáforos:** HCM 2010 y VISSIM incluyen este parámetro, lo que resalta la importancia de los tiempos de señalización en el rendimiento de las intersecciones. AASHTO, en cambio, no lo considera en su enfoque.
- **Ancho de carril:** Este parámetro se toma en cuenta en los tres métodos, lo que indica que el diseño físico de la vía es un aspecto comúnmente reconocido en la evaluación del servicio.
- **Número de maniobras y que paran:** Solo HCM 2010 incluye este parámetro, lo que sugiere que este método se enfoca más en la dinámica de las intersecciones, mientras que VISSIM y AASHTO no consideran este aspecto en sus análisis.
- **Dimensiones de vehículos:** Este parámetro es considerado únicamente por VISSIM, lo que implica un enfoque más detallado en la representación de los vehículos dentro de la simulación.

Este análisis muestra cómo cada método aborda diferentes aspectos del tráfico, lo que puede influir en la evaluación del nivel de servicio y, por ende, en la toma de decisiones para la planificación y gestión del tráfico en las intersecciones estudiadas.

Además, al construir el modelo, el software VISSIM incluye parámetros de calibración diseñados para que la simulación se aproxime lo más posible a la realidad. Estos parámetros se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 48. Parámetros de calibración

Parámetros	HCM 2010	VISSIM	AASHTO
Tiempo de recorrido	No	Si	No
Longitud de cola	No	Si	No

Fuente: Elaboración Propia

3.9.2. Diferencia de Resultados

Al realizar un análisis, se presenta un cuadro comparativo de los niveles de servicio en intersecciones semaforizadas del casco viejo de la ciudad de Tarija, utilizando las metodologías del HCM 2010 y el software VISSIM. Se observó que, de las 28 intersecciones analizadas, 14 presentan resultados coincidentes en ambos métodos, lo que significa que solo el 50% de las intersecciones tienen niveles de servicio iguales. De estas, 13 tienen un nivel de servicio C y 1 presenta un nivel de servicio B, ambos considerados aceptables. Esto demuestra que el flujo de tráfico en estas intersecciones es estable y no enfrenta problemas significativos de congestión.

Tabla 49. Niveles de servicio iguales según (HCM 2010 - VISSIM)

Intersección	Acceso	HCM 2010	VISSIM	Comparación
		Nivel de servicio	Nivel de servicio	
2	Calle Domingo Paz	C	C	Igual
	Calle Gral. Trigo			
3	Calle Domingo Paz	C	C	Igual
	Calle Sucre			
5	Calle Domingo Paz	C	C	Igual
	Calle Colón			
7	Calle Bolívar	C	C	Igual
	Calle Campero			
10	Calle Bolívar	C	C	Igual
	Calle Daniel Campos			
15	Calle Ingavi	C	C	Igual
	Calle Sucre			
17	Calle Ingavi	C	C	Igual
	Calle Colón			
18	Calle Ingavi	C	C	Igual
	Calle Suipacha			
20	Calle La Madrid	C	C	Igual
	Calle Gral. Trigo			
21	Calle La Madrid	B	B	Igual
	Calle Sucre			
22	Calle La Madrid	C	C	Igual
	Calle Daniel Campos			
27	Calle 15 de Abril	C	C	Igual
	Calle Sucre			
28	Calle 15 de Abril	C	C	Igual
	Calle Daniel Campos			
30	Calle 15 de Abril	C	C	Igual
	Calle Suipacha			

Fuente: Elaboración Propia

Se presenta un análisis comparativo de los niveles de servicio en intersecciones con resultados diferentes, utilizando las metodologías del HCM 2010 y el software VISSIM. De las 28 intersecciones analizadas, 14 muestran discrepancias en los resultados entre ambos métodos, lo que significa que el 50% de las intersecciones tienen niveles de servicio distintos. En el HCM, estas intersecciones tienen un nivel de servicio C, que indica un flujo aceptable, mientras que en VISSIM se clasifican como B, D y E, lo que refleja un flujo no aceptable.

Tabla 50. Niveles de servicio diferentes según (HCM 2010 - VISSIM)

Intersección	Acceso	HCM 2010	VISSIM	Comparación
		Nivel de servicio	Nivel de servicio	
1	Calle Domingo Paz	C	D	Diferente
	Calle Campero			
4	Calle Domingo Paz	C	D	Diferente
	Calle Daniel Campos			
8	Calle Bolívar	C	B	Diferente
	Calle Gral. Trigo			
9	Calle Bolívar	C	D	Diferente
	Calle Sucre			
11	Calle Bolívar	C	D	Diferente
	Calle Colón			
12	Calle Bolívar	C	D	Diferente
	Calle Suipacha			
13	Calle Ingavi	C	D	Diferente
	Calle Campero			
14	Calle Ingavi	C	D	Diferente
	Calle Gral. Trigo			
16	Calle Ingavi	C	E	Diferente
	Calle Daniel Campos			
23	Calle La Madrid	C	D	Diferente
	Calle Colón			
24	Calle La Madrid	C	D	Diferente
	Calle Suipacha			
25	Calle 15 de Abril	C	D	Diferente
	Calle Campero			
26	Calle 15 de Abril	C	D	Diferente
	Calle Gral. Trigo			
29	Calle 15 de Abril	C	D	Diferente
	Calle Colón			

Fuente: Elaboración Propia

Se lleva a cabo un análisis utilizando un tercer método, presentando un cuadro comparativo de los niveles de servicio en intersecciones semaforizadas mediante las metodologías del HCM 2010 y AASHTO. De las 28 intersecciones estudiadas, 25 presentan resultados coincidentes en ambos enfoques, lo que equivale al 89% de las intersecciones con niveles de servicio iguales. En ambos métodos, se registran niveles de servicio C y B, considerados aceptables. Esto sugiere que el flujo de tráfico en estas intersecciones es estable y no enfrenta problemas significativos de congestión.

Tabla 51. Niveles de servicio iguales según (HCM 2010 - AASHTO)

Intersección	Acceso	HCM 2010	AASHTO	Comparación
		Nivel de servicio	Nivel de servicio	
1	Calle Domingo Paz	C	C	Igual
	Calle Campero			
2	Calle Domingo Paz	C	C	Igual
	Calle Gral. Trigo			
3	Calle Domingo Paz	C	C	Igual
	Calle Sucre			
4	Calle Domingo Paz	C	C	Igual
	Calle Daniel Campos			
7	Calle Bolívar	C	C	Igual
	Calle Campero			
8	Calle Bolívar	C	C	Igual
	Calle Gral. Trigo			
9	Calle Bolívar	C	C	Igual
	Calle Sucre			
10	Calle Bolívar	C	C	Igual
	Calle Daniel Campos			
11	Calle Bolívar	C	C	Igual
	Calle Colón			
12	Calle Bolívar	C	C	Igual
	Calle Suipacha			
13	Calle Ingavi	C	C	Igual
	Calle Campero			
14	Calle Ingavi	C	C	Igual
	Calle Gral. Trigo			
15	Calle Ingavi	C	C	Igual
	Calle Sucre			
16	Calle Ingavi	C	C	Igual
	Calle Daniel Campos			
18	Calle Ingavi	C	C	Igual
	Calle Suipacha			
20	Calle La Madrid	C	C	Igual
	Calle Gral. Trigo			

21	Calle La Madrid	B	B	Igual
	Calle Sucre			
22	Calle La Madrid	C	C	Igual
	Calle Daniel Campos			
23	Calle La Madrid	C	C	Igual
	Calle Colón			
24	Calle La Madrid	C	C	Igual
	Calle Suipacha			
25	Calle 15 de Abril	C	C	Igual
	Calle Campero			
26	Calle 15 de Abril	C	C	Igual
	Calle Gral. Trigo			
27	Calle 15 de Abril	C	C	Igual
	Calle Sucre			
28	Calle 15 de Abril	C	C	Igual
	Calle Daniel Campos			
29	Calle 15 de Abril	C	C	Igual
	Calle Colón			

Fuente: Elaboración Propia

Se presenta un análisis comparativo de los niveles de servicio en intersecciones con resultados diferentes, aplicando las metodologías del HCM 2010 y AASHTO. De las 28 intersecciones analizadas, 3 muestran discrepancias entre ambos métodos, lo que significa que solo el 11% de las intersecciones tienen niveles de servicio distintos. En el HCM, estas intersecciones se clasifican con un nivel de servicio C, lo que indica un flujo aceptable, mientras que en AASHTO se cataloga con un nivel de servicio D, lo que sugiere un flujo próximo a lo inestable.

Tabla 52. Niveles de servicio diferentes según (HCM 2010 - AASHTO)

Intersección	Acceso	HCM 2010	AASHTO	Comparación
		Nivel de servicio	Nivel de servicio	
5	Calle Domingo Paz	C	D	Diferente
	Calle Colón			
17	Calle Ingavi	C	D	Diferente
	Calle Colón			
30	Calle 15 de Abril	C	D	Diferente
	Calle Suipacha			

Fuente: Elaboración Propia

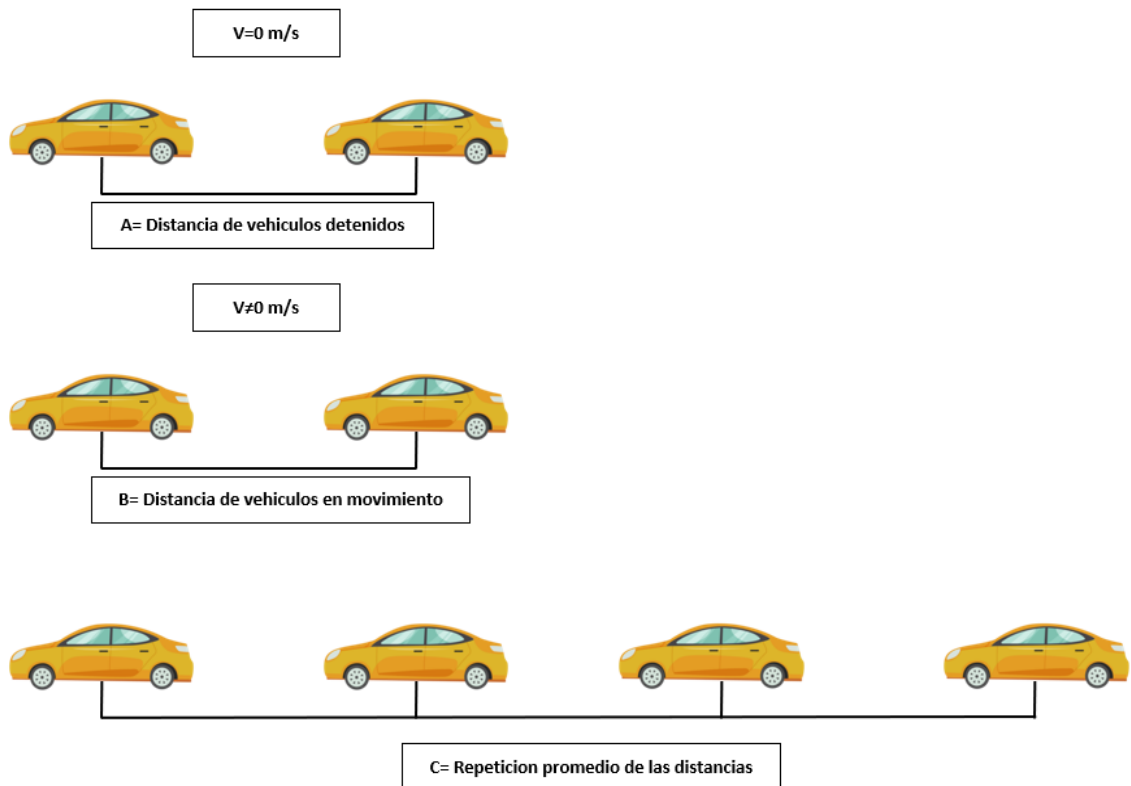
3.9.3. Causales de la diferencia de resultados

3.9.3.1. Comportamiento de los vehículos

Como ya apreciamos en la tabla existen parámetros que el VISSIM toma en cuenta y el HCM 2010 no. Uno de ellos es la velocidad vehicular, en el modelo creado en VISSIM la velocidad es un parámetro importando, con esta velocidad la red de tráfico se regula en toda la red.

El VISSIM también contempla la interacción entre vehículos o seguimiento vehicular, esto hace referencia a la distancia que hay entre dos vehículos en movimiento, la distancia que hay entre vehículos detenidos y en promedio cuantas veces se repite esta distancia. Esto se puede apreciar mejor en el apartado de calibración del modelo.

Figura 42. Comportamiento de los vehículos

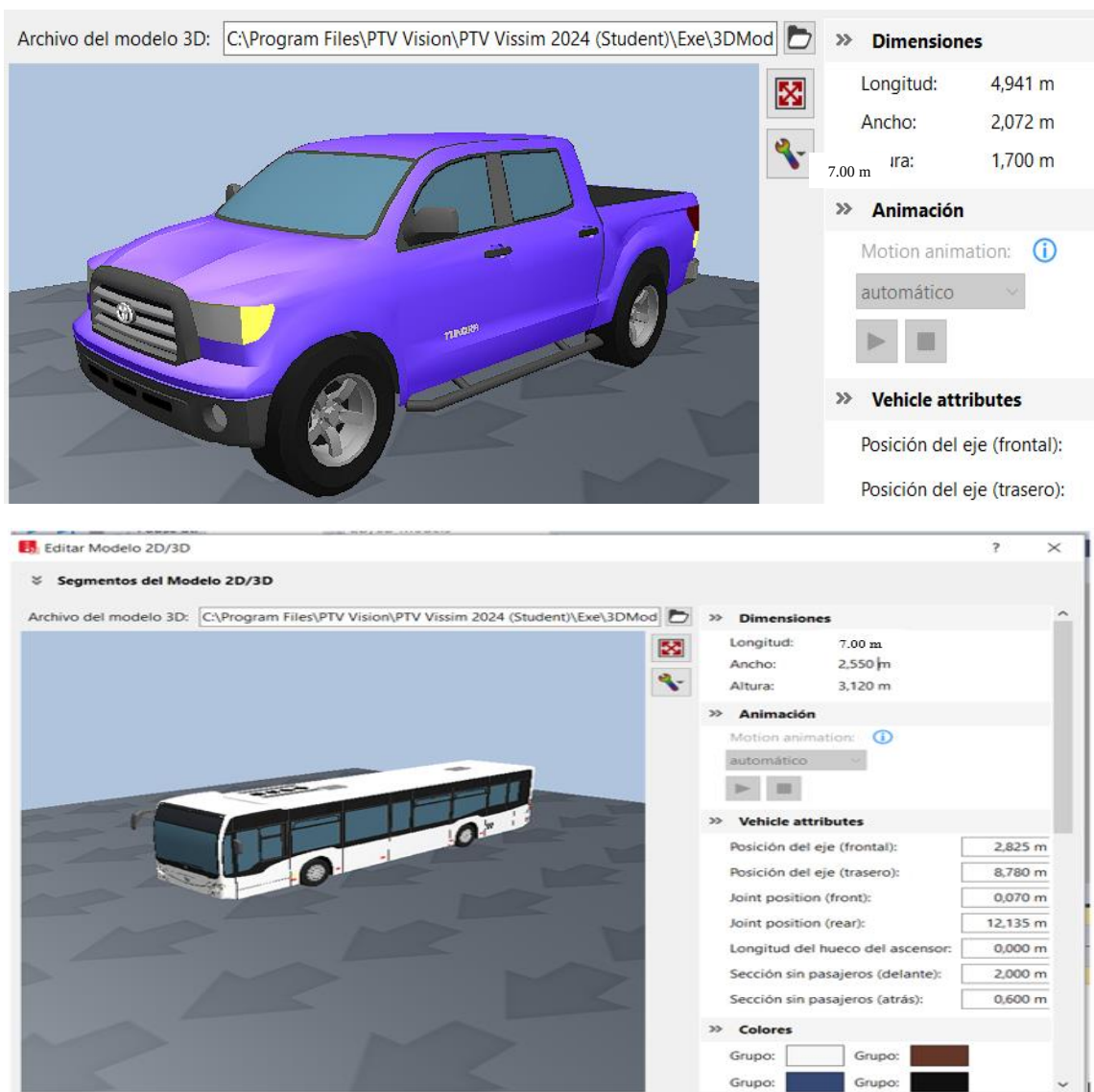


Fuente: Elaboración Propia

3.9.3.2. Dimensión de vehículos

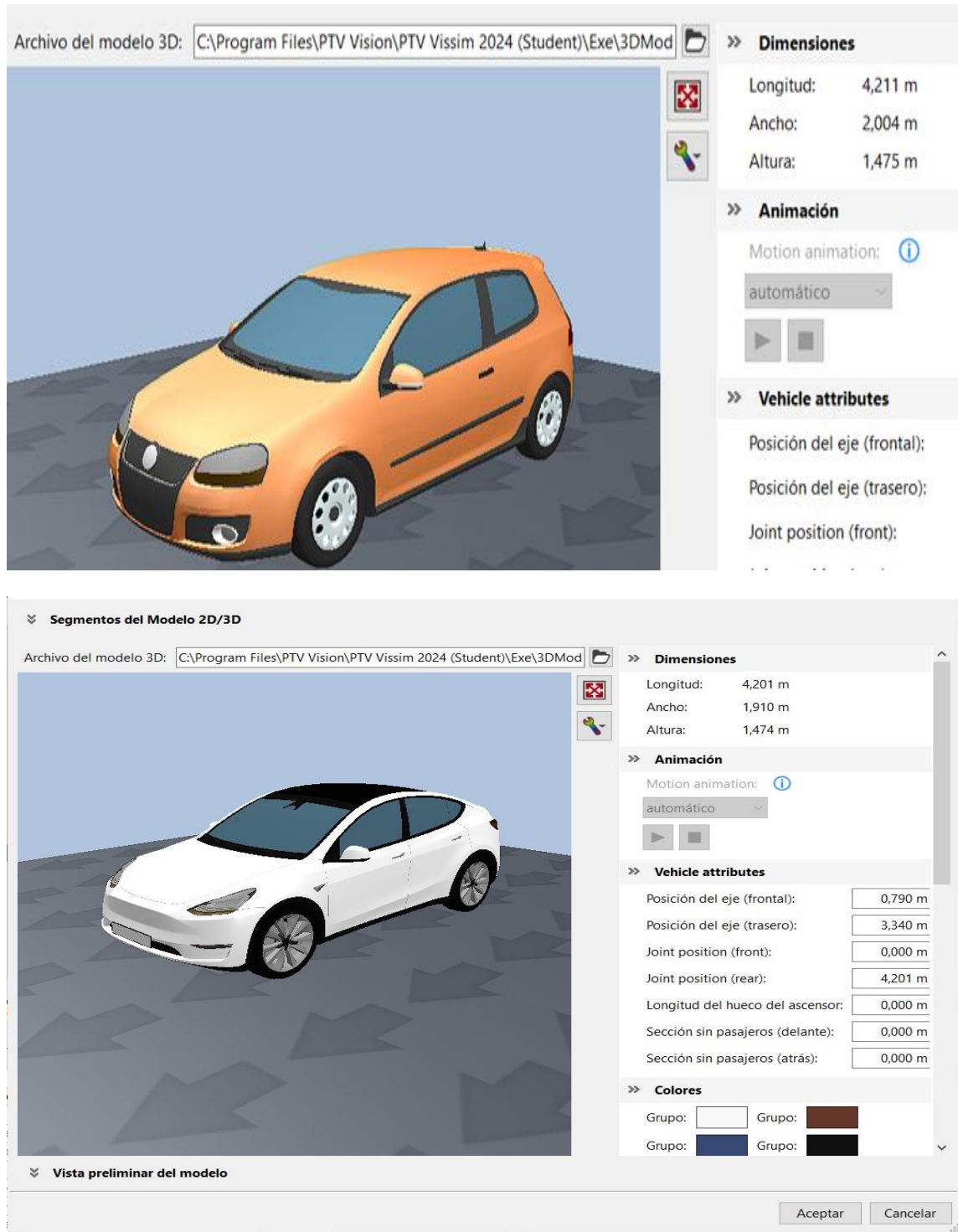
La dimensión de los diferentes tipos de vehículos y la cantidad de circulación en la red también es un factor relevante para las variaciones en los resultados obtenidos. El manual HCM no considera las dimensiones de los vehículos, solo incorpora un factor de ajuste para vehículos pesados, sin hacer distinción entre vehículos livianos o medianos. En cambio, el software VISSIM sí tiene en cuenta las dimensiones de cada tipo de vehículo en la zona de estudio, como se puede apreciar en las siguientes figuras.

Figura 43. Dimensión de vehículos medianos



Fuente: Elaboración Propia

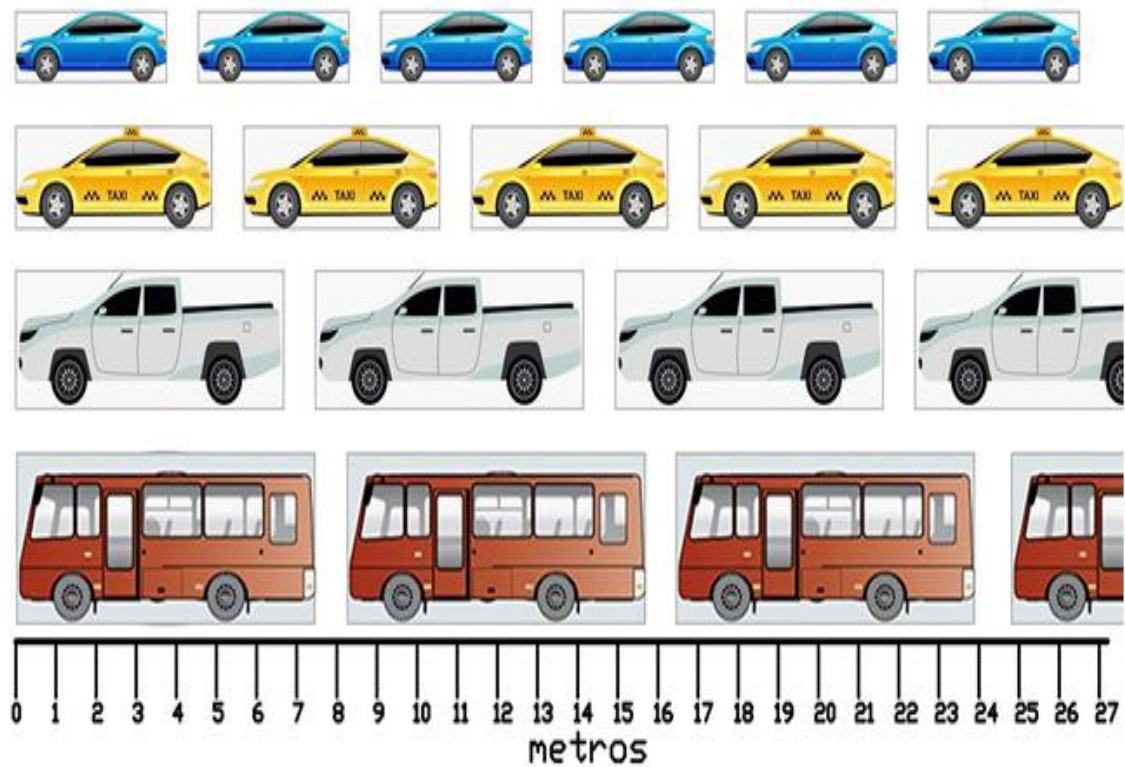
Figura 44. Dimensión de vehículos livianos



Fuente: Elaboración Propia

Al comparar la longitud de un automóvil con la de otros tipos de vehículos, se puede observar una relación importante, como se muestra en la figura. En un mismo espacio, la cantidad de vehículos que pueden entrar varía en función de su longitud. Al analizar las dimensiones de cada tipo de vehículo, se concluye que cada uno ocupa un espacio específico y distinto, lo cual queda claramente ilustrado en la siguiente figura.

Figura 45. Comparación de las dimensiones

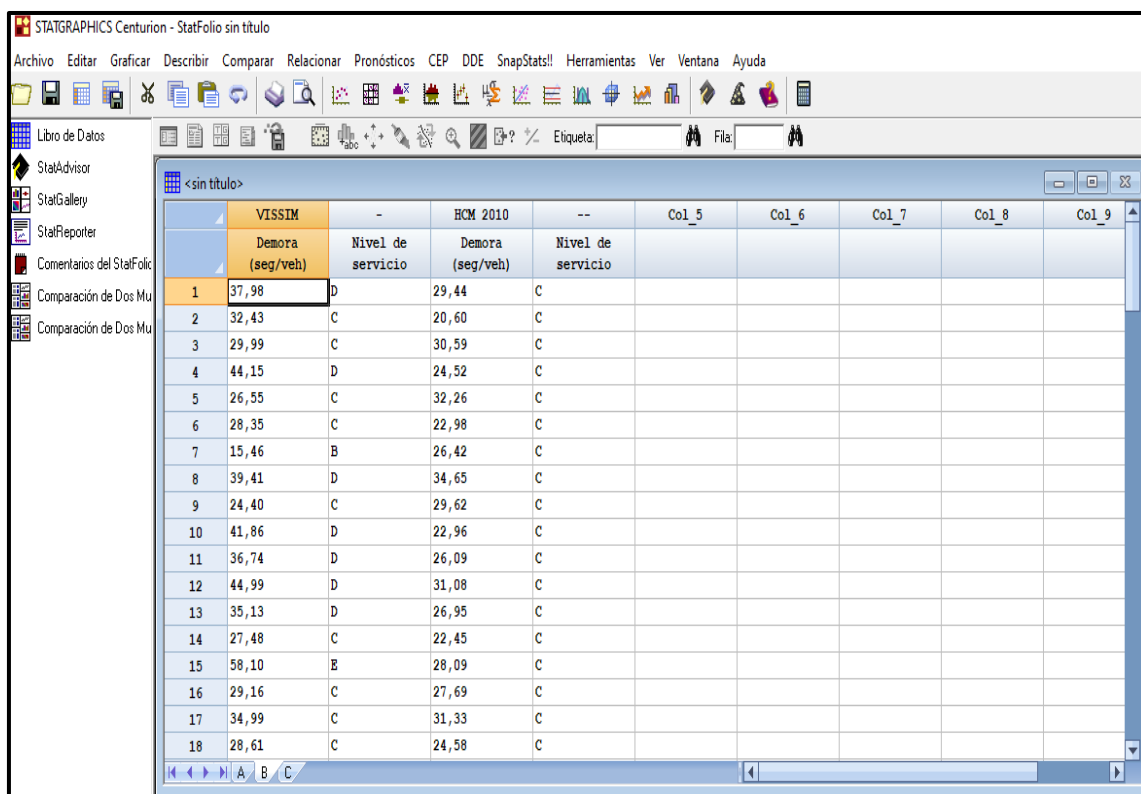


Fuente: Elaboración Propia

3.10. Análisis estadístico de confiabilidad

Para realizar el análisis estadístico de confiabilidad y determinar cuál de los dos métodos (VISSIM y HCM 2010) es el mejor y más confiable en términos de consistencia y precisión al estimar los niveles de servicio, se empleó un enfoque comparativo basado en la demora (segundos por vehículo) obtenida por ambos métodos. Para realizar este análisis de confiabilidad, se utilizó el software estadístico **STATGRAPHICS**, empleando la prueba F de Fisher para comparar las diferencias entre los resultados y así identificar cuál de los métodos ofrece estimaciones más precisas y consistentes.

Figura 46. Introducción de datos de demoras (VISSIM-HCM 2010)



	VISSIM	-	HCM 2010	--	Col_5	Col_6	Col_7	Col_8	Col_9
	Demora (seg/veh)	Nivel de servicio	Demora (seg/veh)	Nivel de servicio					
1	37,98	D	29,44	C					
2	32,43	C	20,60	C					
3	29,99	C	30,59	C					
4	44,15	D	24,52	C					
5	26,55	C	32,26	C					
6	28,35	C	22,98	C					
7	15,46	B	26,42	C					
8	39,41	D	34,65	C					
9	24,40	C	29,62	C					
10	41,86	D	22,96	C					
11	36,74	D	26,09	C					
12	44,99	D	31,08	C					
13	35,13	D	26,95	C					
14	27,48	C	22,45	C					
15	58,10	E	28,09	C					
16	29,16	C	27,69	C					
17	34,99	C	31,33	C					
18	28,61	C	24,58	C					

Fuente: Elaboración Propia

Nota: Este paso debe ser realizado en statgraphics cargando los datos en dos columnas

Comparación de Dos Muestras - VISSIM y HCM 2010

Muestra 1: VISSIM (Demora (seg/veh))

Muestra 2: HCM 2010 (Demora (seg/veh))

Muestra 1: 28 valores en el rango de 15,04 a 58,1

Muestra 2: 28 valores en el rango de 19,6 a 34,65

Resumen Estadístico

Esta tabla presenta el resumen estadístico de las dos muestras de datos, el cual incluye información esencial sobre cada muestra, como la media, la desviación estándar y otros parámetros importantes. A continuación, se exponen las estadísticas más significativas.

Tabla 53. Resumen estadístico

	<i>VISSIM</i>	<i>HCM 2010</i>
Recuento	28	28
Promedio	33,41	26,7746
Desviación Estándar	9,90182	3,80504
Coefficiente de Variación	29,6373%	14,2114%
Error Estándar	1,87127	0,719086
Mínimo	15,04	19,6
Máximo	58,1	34,65
Rango	43,06	15,05
Sesgo Estandarizado	0,407057	0,0550468
Curtosis Estandarizada	0,182772	-0,790745

Fuente: Elaboración Propia

- El promedio de VISSIM es superior al de HCM 2010, lo que sugiere que VISSIM tiende a calcular demoras más altas en comparación. Esto podría indicar que VISSIM genera un nivel de servicio más deficiente (mayor demora).
- La desviación estándar de VISSIM es significativamente más alta que la de HCM 2010, lo que señala que los resultados de VISSIM son más variables y menos consistentes. En cambio, HCM 2010 muestra mayor estabilidad en las estimaciones de demora, con menor dispersión.
- El coeficiente de variación de VISSIM es casi el doble que el de HCM 2010, lo que indica que las estimaciones de demora de VISSIM son mucho más variables

en comparación con su media, mientras que HCM 2010 muestra una mayor consistencia.

- El HCM 2010 muestra un error estándar más bajo que VISSIM, lo que indica una mayor precisión en la estimación de la media y sugiere que el modelo es más consistente en sus predicciones.
- Los valores mínimo y máximo muestran el rango de demoras estimadas. VISSIM tiene un rango mucho más amplio en comparación con HCM 2010, lo que destaca la mayor variabilidad de VISSIM en sus estimaciones.
- El rango más amplio de VISSIM indica una mayor variabilidad en los datos, lo que puede ser una señal de que las estimaciones de demora no son tan confiables como las de HCM 2010.

Comparación de Desviaciones Estándar (Prueba F)

Tabla 54. Comparación de desviaciones estándar

	<i>VISSIM</i>	<i>HCM 2010</i>
Desviación Estándar	9,90182	3,80504
Varianza	98,0461	14,4784
Gl	27	27

Fuente: Elaboración Propia

Razón de Varianzas $F = 6,7719$

Esto indica que la dispersión de VISSIM es aproximadamente 6,77 veces mayor que la de HCM 2010.

Intervalos de confianza del 95,0%

Hipótesis: "El software VISSIM es mejor que el método HCM 2010"

La hipótesis planteada es que VISSIM tiene una desviación estándar menor que HCM 2010, lo que implicaría que VISSIM es más preciso en la medición de la demora.

El intervalo de confianza del 95% para la desviación estándar proporciona un rango dentro del cual se espera que se encuentre la desviación estándar real de la población con un 95% de confianza.

Esto sugiere que, con un 95% de certeza, la desviación estándar poblacional de VISSIM está entre 12,8024, mientras que la de HCM 2010 está entre 4,91968.

Desviación Estándar de VISSIM: [7,82858; 13,4777] [12,8024]

Desviación Estándar de HCM 2010: [3,00834; 5,17918] [4,91968]

Razones de Varianzas: [3,13377; 14,6337] [12,8993]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar

Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$

Hipótesis Alt.: $\sigma_1 < \sigma_2$

F = 6,7719 valor-P = 0,999998

Esto significa que no se rechaza la hipótesis nula, ya que el valor-P calculado es mucho mayor que el nivel de significancia $\alpha=0,05$.

En otras palabras, no hay suficiente evidencia estadística para sostener que VISSIM tenga una desviación estándar significativamente menor que HCM 2010. De modo que no se puede afirmar que VISSIM sea más confiable ni más preciso que HCM 2010 en la medición de la demora.

Comparación de Desviaciones Estándar

Se propone una nueva hipótesis para evaluar qué método ofrece mayores niveles de confiabilidad en sus resultados y así poder determinar cuál es el mejor.

Hipótesis: "El método HCM 2010 es mejor que el software VISSIM"

La segunda hipótesis planteada se invierte, sugiriendo que HCM 2010 tiene una desviación estándar menor que VISSIM, lo que indicaría una mayor precisión en las mediciones.

	<i>VISSIM</i>	<i>HCM 2010</i>
Desviación Estándar	9,90182	3,80504
Varianza	98,0461	14,4784
Gl	27	27

Razón de Varianzas= 6,7719

Intervalos de confianza del 95,0%

Desviación Estándar de VISSIM: [8,12368]

Desviación Estándar de HCM 2010: [3,12175]

Razones de Varianzas: [3,55514]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar

Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$

Hipótesis Alt.: $\sigma_1 > \sigma_2$

$F = 6,7719$ valor-P = 0,00000198204

Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, ya que el valor-P obtenido es inferior al nivel de significación $\alpha=0,05$, lo que indica que la desviación estándar de VISSIM es significativamente mayor que la de HCM 2010.

El análisis estadístico realizado con STATGRAPHICS y la comparación de las desviaciones estándar entre VISSIM y HCM 2010 ha demostrado que HCM 2010 presenta una mayor confiabilidad en sus resultados en comparación con VISSIM. Esto se debe a su menor rango de demoras y coeficiente de variación más bajo, lo que indica que los niveles de servicio calculados reflejan con mayor precisión las condiciones reales de la zona de estudio.

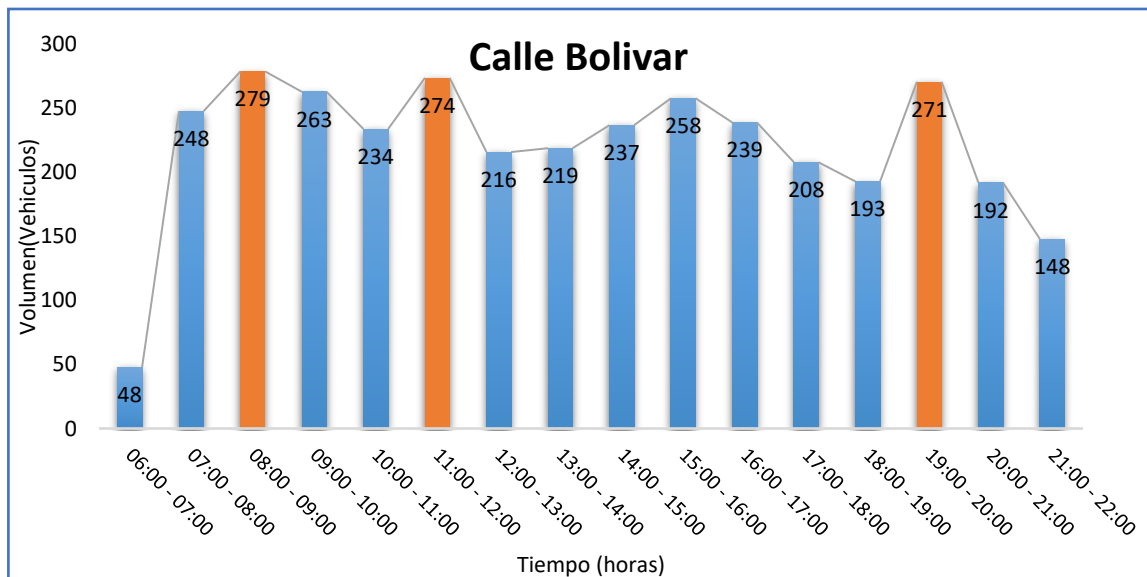
CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se logró el objetivo general de comparar los métodos de medición del nivel de servicio HCM 2010 con el software VISSIM; considerando las intersecciones semaforizadas de tráfico en el casco viejo de la ciudad de Tarija; logrando la finalidad de identificar cuál de los métodos presenta mayor eficiencia en las condiciones de nuestra zona de estudio.
- Para identificar las horas de máxima demanda, también denominadas horas pico, se realizaron conteos continuos de tráfico en la calle Bolívar durante un periodo de 16 horas al día, desde las 6:00 hasta las 22:00. Los resultados mostraron que los momentos con mayor afluencia vehicular ocurren entre las 8:00 y las 9:00 de la mañana, de 11:00 a 12:00 del mediodía, y por la tarde, entre las 19:00 y las 20:00 al finalizar la jornada laboral.

Tabla 55. Horas pico de estudio

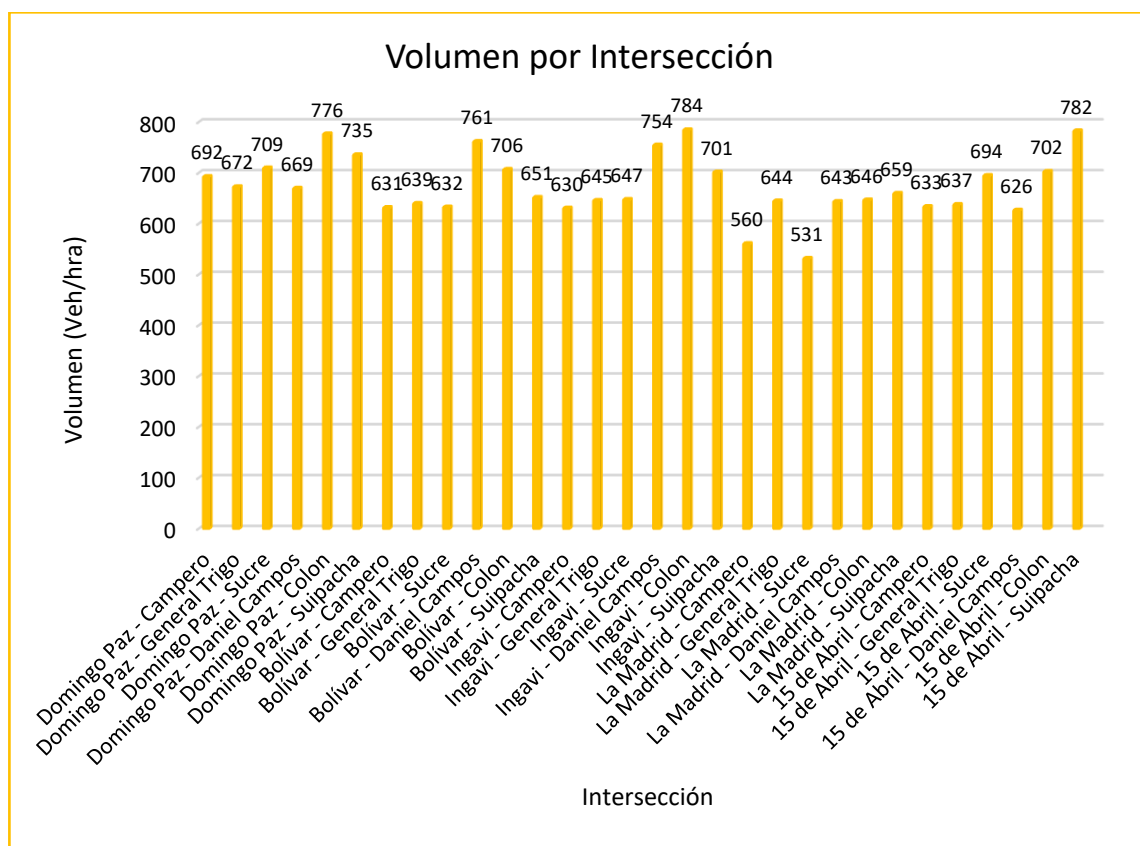


Fuente: Elaboración Propia

Para obtener una evaluación más precisa de volúmenes, se realizó una depuración de los datos recopilados en las horas picos durante un mes, considerando dos días hábiles y un día no hábil, conforme a la norma AASHTO. Este proceso de depuración se realizó para cada intersección, ya que es necesario optimizar los datos obtenidos de los aforos y así mejorar la calidad de la información recolectada.

Los resultados revelaron la considerable cantidad de tráfico que circula por las calles del casco viejo de la ciudad de Tarija.

Tabla 56. Volúmenes por intersección

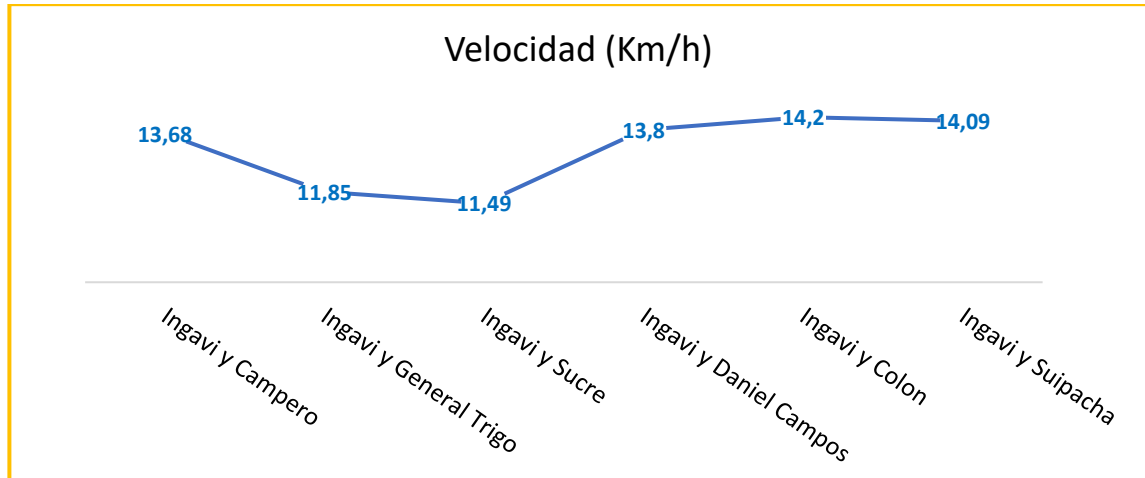


Fuente: Elaboración Propia

En las velocidades obtenidas muestran que, por las calles céntricas del casco viejo de la ciudad de Tarija, los vehículos circulan a velocidades reducidas no pasan los 20 km/h, por la intensidad de vehículos y peatones que circulan por el lugar, por paradas indebidas que hacen los conductores.

Según el Código de Tránsito, en las calles urbanas con alta circulación de peatones y vehículos, la velocidad permitida es de 20 km/h. Los datos obtenidos indican que las velocidades registradas están dentro de estos límites establecidos.

Tabla 57. Velocidad de punto calle Ingavi (O-E)



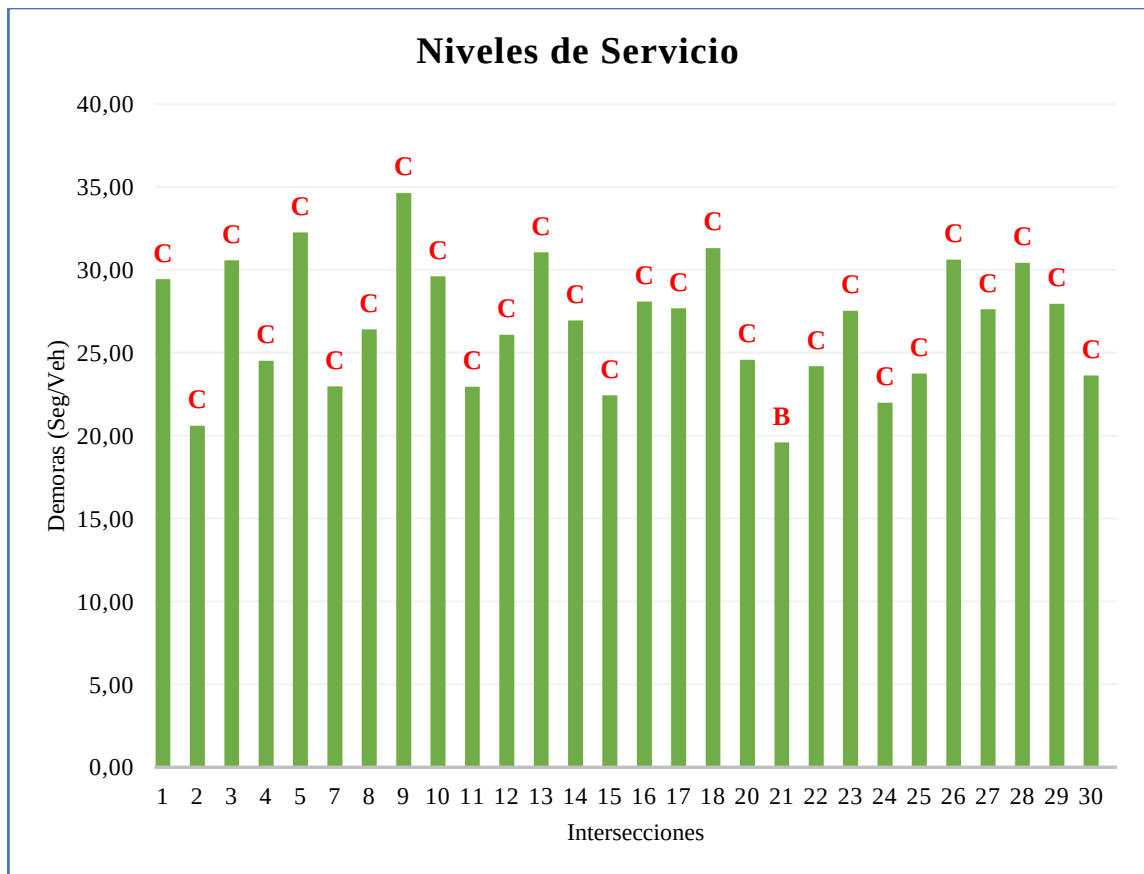
Fuente: Elaboración Propia

- Al realizar la construcción del modelo mediante el software VISSIM, se hizo la calibración correspondiente para que la simulación se asemeje bastante a la realidad, se ajustaron dos tipos de parámetros durante la calibración. Inicialmente, se ajustó el indicador que evalúa la distancia entre vehículos detenidos para medir la longitud de las colas. Para obtener una calibración adecuada en el caso de la longitud de cola, no se debe exceder al 20% del error entre el dato real y el dato obtenido, puesto que este parámetro de longitud de cola en todos los intentos se ha presentado errores de más del 20%, se optó por incluir otro parámetro para la verificación durante la calibración, específicamente el tiempo de recorrido. Este fue medido en las calles Bolívar y Domingo Paz a lo largo de una distancia de 450 metros. En la Tabla 39 se muestran los resultados del modelo calibrado, que presenta un error del 0,5% entre el dato medido en campo y el programa, sin embargo, el modelo aun así presenta ciertas diferencias con la realidad, producto de causas que no pueden modelarse tal cual en una simulación.

- Se logró establecer el nivel de servicio en cada intersección utilizando el manual HCM 2010 y el software VISSIM, lo que permitió identificar el nivel de servicio para 28 intersecciones, dado que 2 de ellas no disponían de semáforos. Este análisis ofrece una comprensión clara de la operatividad actual de las intersecciones, lo cual es esencial para conocer los niveles de servicio y los flujos de tráfico que presentan.

Aplicando el manual HCM 2010, los niveles de servicio establecidos en las intersecciones en su situación actual son de tipo C para 27 intersecciones y de tipo B para 1, lo que se considera aceptable para la circulación. Estos niveles indican un flujo de tráfico estable

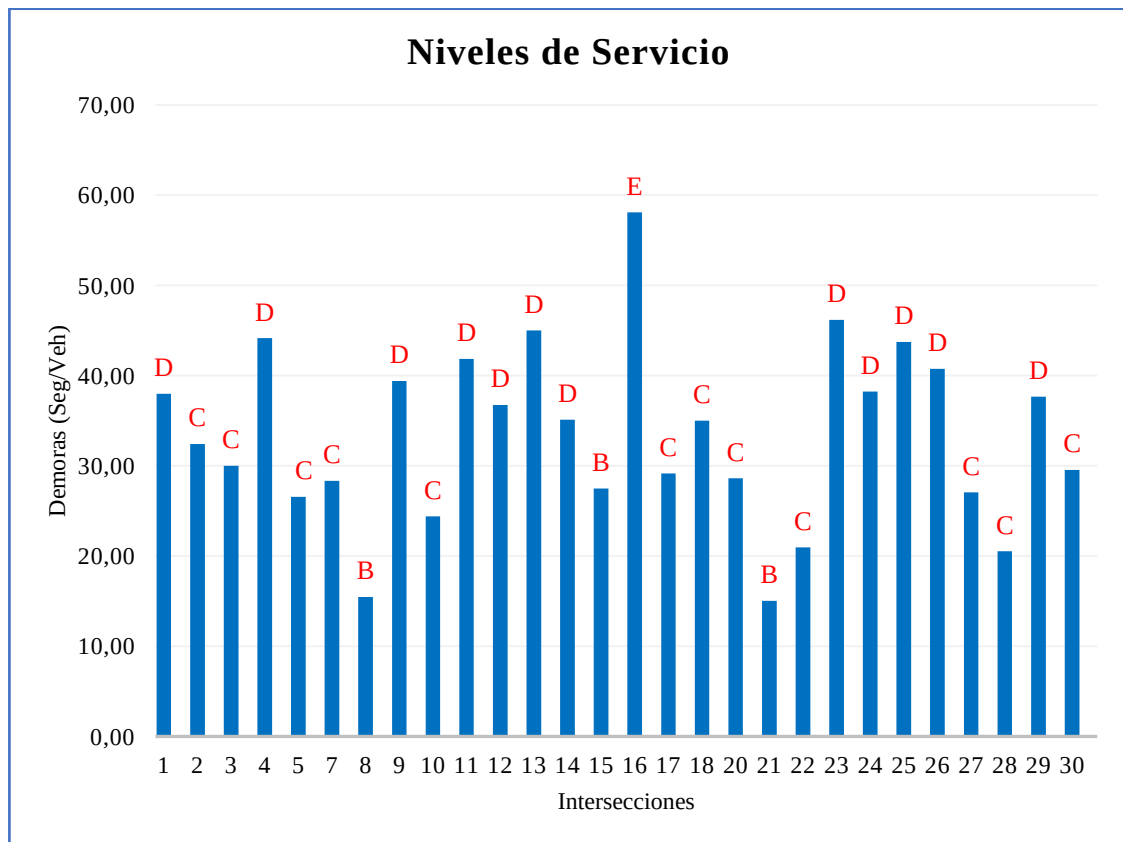
Figura 47. Histograma de niveles de servicio según HCM 2010



Fuente: Elaboración Propia

Utilizando el software VISSIM, los niveles de servicio determinados en las intersecciones en su situación actual son variados: 3 intersecciones presentan un nivel de servicio B, 12 son de tipo C, 12 de tipo D y 1 de nivel de servicio E, lo que refleja un flujo de tráfico no aceptable.

Figura 48. Histograma de niveles de servicio según software VISSIM



Fuente: Elaboración Propia

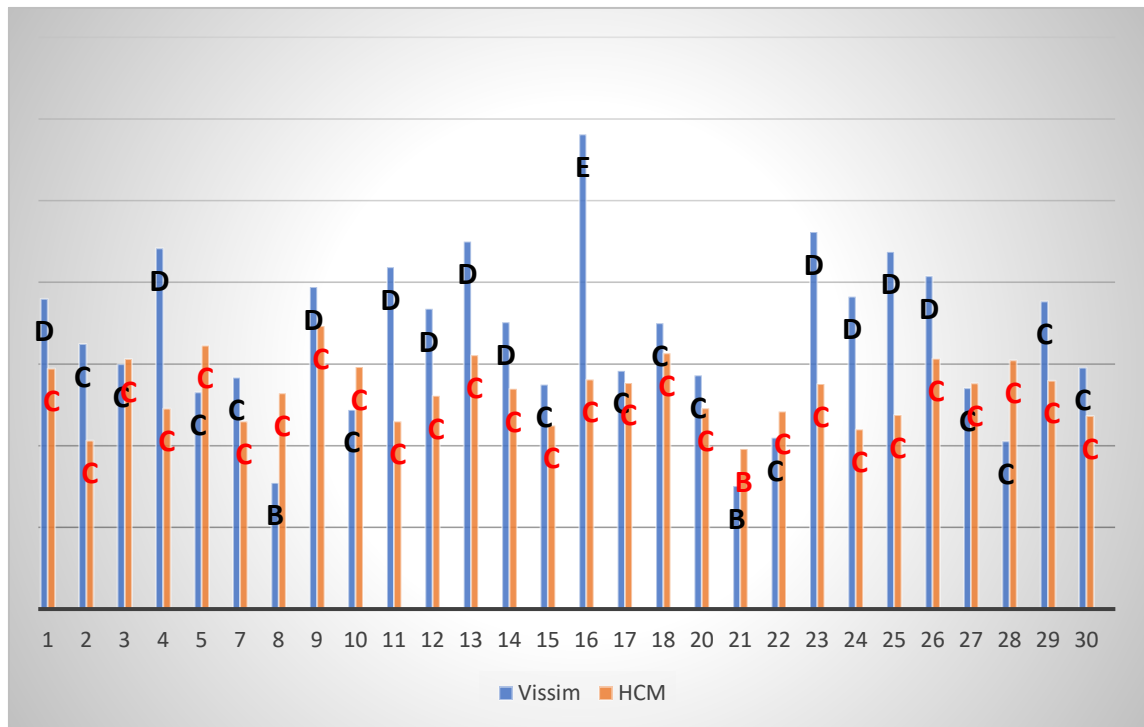
- Al comparar las metodologías para la determinación de los niveles de servicio utilizando el manual HCM 2010 y el software VISSIM, se constató que, de las 28 intersecciones analizadas, 14 presentaron niveles de servicio coincidentes, mientras que las otras 14 mostraron diferencias en sus niveles. Esto sugiere que ambos métodos no son completamente consistentes, ya que utilizan distintos parámetros de entrada.

El VISSIM considera los siguientes parámetros:

- Como la velocidad de los vehículos
- La interacción entre vehículos
- Zonas de reducción de velocidad
- Priorización de los movimientos de circulación
- Dimensiones de los vehículos.
- Volumen vehicular
- Tiempo de ciclo de semáforos
- Longitud de cola

EL HCM 2010 incorpora los siguientes parámetros:

- Factores de reducción por giros, por estacionamiento, por vehículos que se detienen.
- Ancho de los carriles
- Tiempo de ciclo de los Semáforos
- Volumen vehicular



Fuente: Elaboración Propia

- Debido a las diferencias notables entre los métodos HCM 2010 y VISSIM, se opta por incorporar un tercer enfoque, el de AASHTO, con el fin de llevar a cabo una evaluación más exhaustiva de los niveles de servicio. Este análisis ofrece una visión más clara del flujo vehicular en las intersecciones, lo que facilita la determinación de un nivel de servicio más confiable. Al comparar las tres metodologías empleadas, se observa que tanto el HCM 2010 como el AASHTO coinciden en sus resultados, alcanzando un 89% de intersecciones con resultados similares. Entre estas metodologías, el HCM 2010 es considerado el más adecuado y el de mayor eficiencia para establecer los niveles de servicio en las intersecciones del casco viejo de la ciudad de Tarija, ya que es un método determinístico que se adapta eficazmente a las condiciones locales, como la geometría, el tráfico y la demanda vehicular, junto con otros parámetros específicos de la zona.

Intersección	Acceso	HCM 2010	AASHTO	Comparación
		Nivel de servicio	Nivel de servicio	
1	Calle Domingo Paz	C	C	Igual
	Calle Campero			
2	Calle Domingo Paz	C	C	Igual
	Calle Gral. Trigo			
3	Calle Domingo Paz	C	C	Igual
	Calle Sucre			
4	Calle Domingo Paz	C	C	Igual
	Calle Daniel Campos			
5	Calle Domingo Paz	C	D	Diferente
	Calle Colón			
7	Calle Bolívar	C	C	Igual
	Calle Campero			
8	Calle Bolívar	C	C	Igual
	Calle Gral. Trigo			
9	Calle Bolívar	C	C	Igual
	Calle Sucre			
10	Calle Bolívar	C	C	Igual
	Calle Daniel Campos			
11	Calle Bolívar	C	C	Igual
	Calle Colón			
12	Calle Bolívar	C	C	Igual
	Calle Suipacha			
13	Calle Ingavi	C	C	Igual
	Calle Campero			
14	Calle Ingavi	C	C	Igual
	Calle Gral. Trigo			

15	Calle Ingavi	C	C	Igual
	Calle Sucre			
16	Calle Ingavi	C	C	Igual
	Calle Daniel Campos			
17	Calle Ingavi	C	D	Diferente
	Calle Colón			
18	Calle Ingavi	C	C	Igual
	Calle Suipacha			
20	Calle La Madrid	C	C	Igual
	Calle Gral. Trigo			
21	Calle La Madrid	B	B	Igual
	Calle Sucre			
22	Calle La Madrid	C	C	Igual
	Calle Daniel Campos			
23	Calle La Madrid	C	C	Igual
	Calle Colón			
24	Calle La Madrid	C	C	Igual
	Calle Suipacha			
25	Calle 15 de Abril	C	C	Igual
	Calle Campero			
26	Calle 15 de Abril	C	C	Igual
	Calle Gral. Trigo			
27	Calle 15 de Abril	C	C	Igual
	Calle Sucre			
28	Calle 15 de Abril	C	C	Igual
	Calle Daniel Campos			
29	Calle 15 de Abril	C	C	Igual
	Calle Colón			
30	Calle 15 de Abril	C	D	Diferente
	Calle Suipacha			

4.2. Recomendaciones

- Cuando se realiza los recuentos de tráfico para identificar la hora pico en distintas áreas, es crucial examinar los tipos de vehículos más predominantes. Esto permite una clasificación vehicular más precisa al ingresar esta información en el programa VISSIM.
- La información sobre el flujo de vehículos es fundamental para cualquier análisis o estudio de tráfico. Dado que el software VISSIM clasifica los distintos tipos de vehículos de manera más precisa, puede generar múltiples categorías, lo que puede

complicar los recuentos durante las horas pico. Para simplificar el conteo de vehículos, se pueden emplear cámaras de video o grabadoras de audio.

- Es importante considerar que el programa VISSIM fue creado en Alemania y, por lo tanto, las dimensiones predeterminadas de los vehículos no coinciden con las que se encuentran en Tarija, Bolivia. Por esta razón, es necesario ajustar las dimensiones de los vehículos en el programa para obtener resultados más exactos.
- En esta investigación se monitorearon 30 intersecciones en el centro de la ciudad de Tarija. Se sugiere reducir el área de estudio para obtener una mayor precisión en el análisis del comportamiento del tránsito vehicular, lo que permitiría desarrollar una solución más completa al aplicar el software VISSIM y el manual HCM 2010.
- Se recomienda asegurar un registro preciso y adecuado de los datos de campo durante el desarrollo del proyecto, ya que estos datos son fundamentales para evaluar correctamente el nivel de servicio en las intersecciones de tráfico. Para lograr esto, es crucial contar con el apoyo de profesionales capacitados y con experiencia en el área, quienes garantizarán la precisión y calidad de la información recopilada.
- Al comparar ambos métodos que determinan los niveles de servicio, se recomienda utilizar el manual HCM 2010, ya que este se ajusta mejor a las características del tráfico y las condiciones locales de nuestro entorno. A diferencia del software VISSIM, que proporciona valores diferentes, el HCM 2010 refleja de manera más precisa las particularidades del tráfico en nuestra área, lo que lo convierte en una herramienta más adecuada para este tipo de análisis.