

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

Consecuencia del aumento del tráfico vehicular se puede observar calles con alto número de vehículos o calles congestionadas. Algunos factores que influyen al congestionamiento son el ancho de carril, la velocidad de los automóviles, la composición vehicular, el comportamiento del flujo de vehículos, el tiempo de ciclo de los semáforos, etc. Estos factores son considerados en los modelos microscópicos, el objetivo principal de un modelo microscópico es el de poder asemejarse a la realidad y por lo tanto obtener un nivel de servicio con una mayor confiabilidad.

Al evaluar el modelo microscópico se puede saber la confiabilidad que tiene este enfoque en intersecciones con alto y medio flujo vehicular en la zona urbana de la ciudad de Tarija. Lo que se quiere es poder obtener el nivel de servicio con una mayor confiabilidad y para ello se necesita una clasificación de vehículos más detallada, además de tomar en cuenta los factores antes mencionados, así mismo cada modelo debe ser calibrado y validado.

En diversas partes del mundo se usa el modelo microscópico para modelar el flujo vehicular con la finalidad de estudiar el comportamiento vehicular, además de solucionar otros problemas en la red. Los modelos microscópicos analizan el movimiento de vehículos de manera individual y también la interacción con los demás vehículos. Para poder modelar el flujo vehicular es necesario un software, para este trabajo se optó por el software PTV Vissim.

Con ayuda del modelo microscópico y el software se podrá saber el nivel de servicio que existe en intersecciones, con la singularidad de tener resultados más confiables. Para poder evaluar la confiabilidad del modelo microscópico será necesario compararlo con la norma HCM 2010. El tener resultados más confiables ayudará a tener soluciones más eficientes a problemas de tráfico vehicular y así poder conservar el nivel confortable de circulación.

1.2. JUSTIFICACIÓN

En la ciudad de Tarija, el tráfico vehicular fue aumentando gradualmente hasta provocar congestión, accidentes y malestar en la ciudadanía; especialmente en horas pico donde el flujo de vehículos llega a su máximo.

De acuerdo a estudios realizados con anterioridad en la U.A.J.M.S. se eligió intersecciones conflictivas, con flujo de vehículos elevados o medianamente elevados; debido a que en estas zonas existen tiendas comerciales, hoteles, oficinas, restaurantes, colegios, etc.

Se eligió dos zonas de estudio distribuidas de la siguiente manera: la zona central de Tarija y la zona de Villa Fátima, haciendo un total de 30 intersecciones. Lo que se quiere realizar con estas intersecciones es poder comprobar la confiabilidad del modelo microscópico para la obtención del nivel de servicio.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. Situación problemática

La ingeniería de tráfico estudia distintos problemas, uno de ellos es el flujo vehicular, que puede ser estudiado con ayuda de modelos microscópicos. Estos modelos nos ayudan a determinar el nivel de servicio en intersecciones con alto y medio flujo vehicular.

Los modelos microscópicos contemplan interacciones entre vehículos y peatones, también toma en consideración datos como ser: la geometría de la vía, velocidad, cambios de carril, etc. Debido a esto, se consiguen resultados más precisos.

El nivel de servicio es la calidad del flujo vehicular, si no se sabe con precisión el nivel de servicio en intersecciones, no se podrá tomar decisiones eficientes para mantener o mejorar la calidad de flujo.

Es necesario realizar la evaluación del nivel de servicio con modelos microscópicos, para poder obtener resultados confiables y con estos resultados se podrán tomar decisiones que ayuden de forma eficiente la reducción del congestionamiento vehicular.

1.3.2. El problema

¿De qué manera, el modelo microscópico contribuye a la confiabilidad en la obtención del nivel de servicio en intersecciones?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el modelo microscópico en intersecciones de la ciudad de Tarija, considerando aquellas que tengan alto y medio flujo vehicular; con el propósito de obtener mayor confiabilidad en el nivel de servicio.

1.4.2. Objetivos específicos

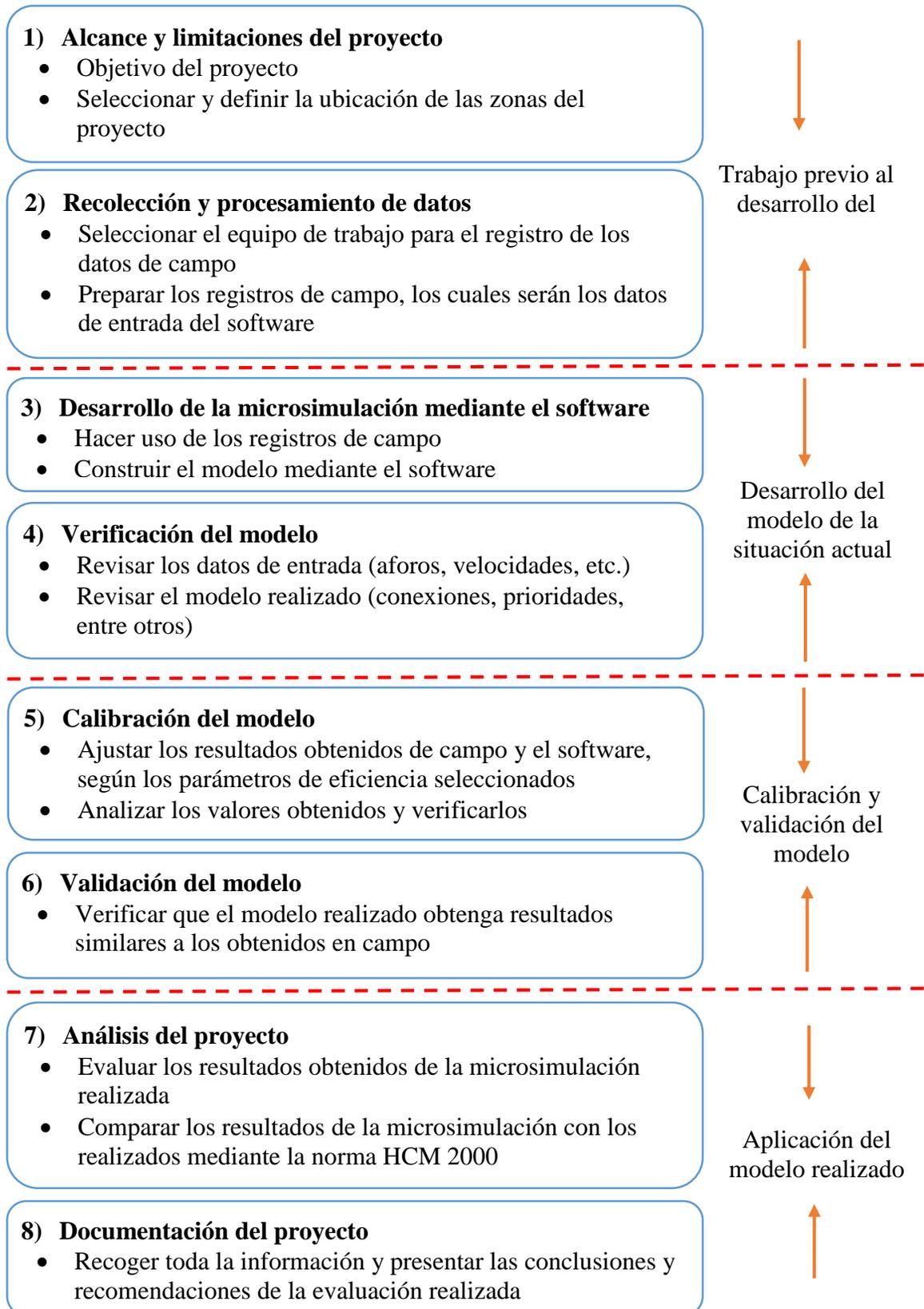
- Identificar intersecciones con alto y medio flujo vehicular.
- Realizar aforos vehiculares.
- Obtener datos necesarios para la microsimulación.
- Realizar el modelo de simulación con ayuda del software.
- Calibrar y validar el modelo de simulación microscópico.
- Obtener el nivel de servicio mediante microsimulación y norma HCM 2010.
- Comparar y analizar los resultados de la microsimulación y la norma HCM 2010.

1.5. DISEÑO METODOLÓGICO

La metodología a emplear tiene como base las recomendaciones dadas por la FHWA (Federal Highway Administration, 2004).

En la Figura 2.1 se puede apreciar la secuencia de pasos para el presente trabajo.

Figura 2.1. Diseño metodológico



1.5.1. Población

Infinita, todos los aforos de las intersecciones con alto y medio flujo vehicular de la ciudad de Tarija.

1.5.2. Muestra

La muestra será un número confiable de aforos en intersecciones urbanas de la ciudad de Tarija.

1.5.3. Tamaño de la muestra

Unidad elemental: aforos

Tamaño de la muestra “n” desconocido.

Para calcular el tamaño de la muestra se utiliza la ecuación 1.1.

$$n = \frac{z^2 * \sigma^2}{e^2} \quad (2.1)$$

Donde:

n= Tamaño de la muestra

z= Variable estandarizada

σ = Varianza

e= Margen de error

- Una investigación es exigente y por lo menos se tiene que establecer como nivel de confianza NC=95%, de acuerdo a ello la variable estandarizada es Z=1.96
- El margen de error es: e=5%, deducido por el nivel de confianza que propone el investigador
- Por el corto tiempo establecido para la investigación, se puede asumir una varianza de $\sigma^2= 0.10$

$$n = \frac{1.96^2 * 0.10}{0.05^2} = 154 \text{ aforos}$$

Los 154 aforos de la muestra, son días que se realizará los aforos y serán repartidos equitativamente en las intersecciones de las zonas de estudio; se realizara 5 días de aforo

en las 30 intersecciones y los 4 aforos restantes se lo realizará en intersecciones que tengan un mayor aporte a la red.

1.6. ALCANCE

El estudio será desarrollado en la ciudad de Tarija en aquellas intersecciones donde el flujo vehicular sea alto y medio. Para este estudio se escogió dos zonas: zona de Villa Fátima sobre la avenida La Paz desde la Av. Belgrano hasta la Av. Potosí y la zona central comprendida desde la calle Domingo Paz hasta la calle La Madrid y entre la calle Suipacha hasta la calle Campero.

El alcance de la investigación tiene diseño no experimental porque no existe ninguna manipulación de variables, solo se tendrá que observar el fenómeno ocurrido en las intersecciones. Al mismo tiempo será de alcance transeccional del tipo descriptivo porque los fenómenos ocurrirán en un momento único.

Para la creación del modelo microscópico se utiliza el software PTV VISSIM, este modelo permite comprender el flujo vehicular para las distintas zonas, permitiendo determinar la calidad de circulación actual y comparar con el manual HCM 2010 para determinar la confiabilidad de los resultados del modelo.

Se realizarán aforos vehiculares durante 13 horas en las distintas zonas, desde las 7:00 hasta las 20:00 horas.

El modelo microscópico permite la clasificación de vehículos de manera específica por lo cual se optó por clasificarlos en cinco grupos:

- Motocicletas
- Automóviles
- Taxis
- Camionetas
- Micros

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ESTUDIO DEL FLUJO VEHICULAR

2.1.1. Concepto de flujo vehicular

El flujo vehicular es el número de vehículos que pasan por un punto, camino o sección transversal durante un periodo de tiempo específico con una determinada velocidad. Algunas características fundamentales del flujo vehicular son: el flujo, la velocidad y la densidad.

2.1.2. Estudio de velocidades

El estudio de velocidades es indispensable para el modelamiento del flujo vehicular, es una medida importante para saber la calidad de servicio que se proporciona al usuario.

Para obtener la velocidad de punto se mide el tiempo que tarda en recorrer un vehículo 20 metros comprendidos al medio de dos intersecciones.

2.1.3. Aforo de vehículos (método manual)

En una red vial los aforos sirven para determinar el número de vehículos que circulan en cierta zona o que atraviesan algún punto en determinados periodos de tiempo.

Se realizará los aforos mediante el método manual que será explicado a continuación:

- Es conveniente realizar un aforo de 12 horas mínimamente durante días representativos como ser los martes, miércoles y jueves, en algunas intersecciones será necesario realizar aforos los días sábado y domingo.
- Los aforos son realizados en periodos cortos de tiempo como ser 5,10,15,20 o 30 minutos, especialmente en las horas pico.

También cabe mencionar que el manual HCM 2010 hace un análisis donde, a un menor periodo de tiempo de aforos, los resultados darían una sobresaturación en la vía.

- Se puede clasificar los vehículos por tamaño, tipo, número de ocupantes o características especiales que tenga un conjunto de automóviles.

- Se registran los movimientos de vuelta y otros movimientos, tanto de vehículos como de los peatones.

2.1.4. Aforo del número de maniobras para estacionamiento

El manual HCM 2010 hace referencia al número de maniobras, a la cantidad de vehículos que entran o salen de un estacionamiento que se encuentra alado de un carril por donde circulan los vehículos.

El número de maniobra toma en cuenta los vehículos que entran y salen, y no las maniobras que utiliza el conductor para entrar o salir del estacionamiento.

2.1.5. Aforo de vehículos que se paran para subir o bajar pasajeros

Según el manual HCM 2010, es necesario que se realice el número de vehículos que se detienen para subir o bajar pasajeros, esto si el vehículo interrumpe la circulación de los vehículos que se encuentran atrás, en caso de que no interrumpa el flujo de vehículos no se tomara en cuenta.

2.1.6. Clasificación vehicular

Según el manual HCM 2010 los automóviles se clasifican en vehículos livianos y pesados, como se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Clasificación vehicular

Vehículos livianos	Vehículos pesados
Automóviles	Camiones
Motocicletas	Autobuses
Camiones pequeños	Vehículos recreativos
Furgonetas	

Fuente: HCM 2010

Según el HCM 2010, la palabra vehículo hace referencia a todo vehículo motorizado.

Por otra parte, el modelo microscópico permite la clasificación de vehículos de una forma más específica, la manera de clasificar dependerá del investigador y que estos sean representativos.

Se puede clasificar todo grupo de vehículos, esto dependerá en gran medida del software que se utilice. En algún software vienen vehículos predeterminados y en otros se los puede modelar, según características que define el investigador.

2.1.7. Capacidad y nivel de servicio

La capacidad es el número máximo de vehículos que puede pasar libremente a través de una calle o carretera. Su medición se realiza en vehículos por hora (veh/hra).

El nivel de servicio mide la calidad del flujo vehicular, ya que es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación del vehículo.

Como se aprecia en la Tabla 2.2 es necesario obtener la demora promedio por vehículo, para obtener esta demora primero se identifica si la intersección cuenta o no con semaforización, dependiendo de esto se escogerá la metodología para obtener el tiempo de demora.

Tabla 2.2. Nivel de servicio para intersecciones por demora

Nivel de servicio	Demora Promedio (seg)	Nivel de servicio	Demora Promedio (seg)
A	<10	A	<10
B	10.1-15	B	10.1-20
C	15.1-25	C	20.1-35
D	25.1-35	D	35.1-55
E	35.1-50	E	55.1-80
F	>50	F	>80
Niveles de servicio para una intersección sin semáforos		Niveles de servicio para una intersección con semáforos	

Fuente: HCM 2010

La interpretación de cada nivel de servicio es de la siguiente manera:

Nivel de servicio A.- Las demoras son muy bajas, cada vehículo demora menos de 10 segundos en la intersección. La mayoría de los vehículos llegan cuando el semáforo está en fase verde o no se detienen del todo y la relación de volumen capacidad es muy baja.

Nivel de servicio B.- Algunos vehículos empiezan a detenerse en la intersección, pero la relación de volumen capacidad es baja. El tiempo de demoras esta entre los 10 y 20 segundos.

Nivel de servicio C.- Se aumenta el número de vehículos detenidos en la intersección, aunque siguen pasando vehículos sin detenerse. Los tiempos de ciclo empiezan a ser más prolongados. La demora por vehículo varía entre los 20 y 35 segundos.

Nivel de servicio D.- Opera con demoras entre los 35 y 55 segundos por vehículo. Muchos vehículos se detienen debido a la llegada de vehículos en fase roja, una relación de volumen capacidad alta, o que el tiempo de ciclo sea alto.

Nivel de servicio E.- La relación de volumen capacidad son muy altas. El tiempo de demora llega a su límite aceptable que varía entre los 55 y 80 segundos por vehículo.

Nivel de servicio F.- Ya existe un congestionamiento vehicular debido a que la llegada de vehículos excede la capacidad de los accesos de la intersección. La relación de volumen capacidad son mayores a 1.

2.1.8. SemafORIZACIÓN

Un semáforo es un dispositivo de control electromagnético especialmente diseñado para facilitar el control de vehículos y peatones. Su principal objetivo es permitir el paso alterno a través de los flujos de tráfico, permitiendo utilizar el espacio disponible de manera ordenada y segura. Se recomienda que la cara de cada semáforo tenga al menos tres lentes: rojo, ámbar y verde.

Para los cálculos de sincronización de semáforos, la variable más importante a considerar es la demora. Así que esto es algo que se debe considerar desde el principio y tener siempre en cuenta, ya que determinará la eficiencia de la sincronización de los semáforos.

2.1.9. Ventajas y desventajas de la semaforización

Ventajas:

- Ordena y optimiza la circulación del tránsito, mediante una asignación apropiada del uso de la intersección.
- Disminuye la cantidad de accidente que ocurren frecuentemente.

- Interrumpe periódicamente los volúmenes de tránsito intenso de un acceso, para ceder el paso a vehículos y peatones, así como en zonas escolares, ayuda a estudiantes a cruzar con mayor seguridad.
- La sincronización adecuada ayuda a mantener una circulación continua, a una velocidad constante, o reduciendo la velocidad para fines de seguridad.

Desventajas:

- Se incurrirá en gastos no justificados para soluciones que podían haberse resuelto solamente con señales o en otra forma económica.
- Por cambios sorpresivos de color, se pueden incrementar el número de accidentes.
- Durante horas donde la circulación no es máxima, ocasionan pérdidas de tiempo innecesarias.
- En intersecciones rurales, la aparición intempestiva de un semáforo ocasiona accidentes cuando no hay avisos previos adecuados.

2.1.10. Estudio del tiempo de recorrido

Un estudio del tiempo de recorrido determina la cantidad de tiempo requerido para partir de un punto a otro, en una ruta determina. Los datos obtenidos de este tiempo se pueden utilizar en las siguientes tareas de la ingeniería de tráfico:

- Comprender la eficiencia de una ruta con respecto a su capacidad
- La identificación de localizaciones con demoras relativamente altas
- Funcionamiento antes y después de los estudios para evaluar la eficiencia de las mejoras de la operación del tráfico
- Puede ayudar a estudios económicos en la evaluación de las distintas alternativas en las operaciones del tráfico que reducen el tiempo de recorrido.

Según la FHWA, para determinar el tiempo de recorrido en una red, la distancia a considerar dependerá del investigador, pero recomienda que la distancia sea representativa y/o crítica en la red para tener una adecuada calibración del modelo.

Para poder determinar el tiempo de recorrido existen varios métodos que dependerán del investigador, la razón del estudio y el equipo disponible. Estos métodos se pueden agrupar en dos categorías:

- Los que requieren un vehículo de prueba
- Los que no requieren un vehículo de prueba

2.1.10.1. Métodos que requieren vehículo de prueba

Esta categoría implica dos métodos posibles: flotando en el tráfico y velocidad media

Técnica flotando en el tráfico. – Para este método, se necesitará un vehículo y un conductor que recorra a lo largo de la sección en estudio, de este modo el vehículo estará flotando en el tráfico. Se registrará el tiempo que tarda en atravesar la sección del estudio de manera repetida y el promedio se registrará como el tiempo de recorrido.

Técnica de la velocidad promedio. – Se conducirá el vehículo de prueba a lo largo de la longitud de la sección de prueba a una velocidad que, en la opinión del conductor, sea la velocidad media de la corriente de tráfico. Se observa el tiempo requerido para atravesar la sección de prueba. Al igual que en el anterior se repetirá el procedimiento y el promedio se registra como el tiempo de recorrido.

2.1.10.2. Métodos que no requieren vehículo de prueba

Esta categoría incluye el método de la licencia-placa y el método de la entrevista.

Método de placas. – Para este método el observador deberá registrar el número de placa de cada vehículo al inicio de la sección de prueba, como también deberá tomar el tiempo en el cual el vehículo está pasando por ese punto. Otro observador deberá colocarse al final de la sección y registrar el número de placa y el tiempo en el cual paso por ese punto. La diferencia entre los tiempos es el tiempo de viaje de cada vehículo. El promedio de estos es el tiempo promedio en la sección de prueba.

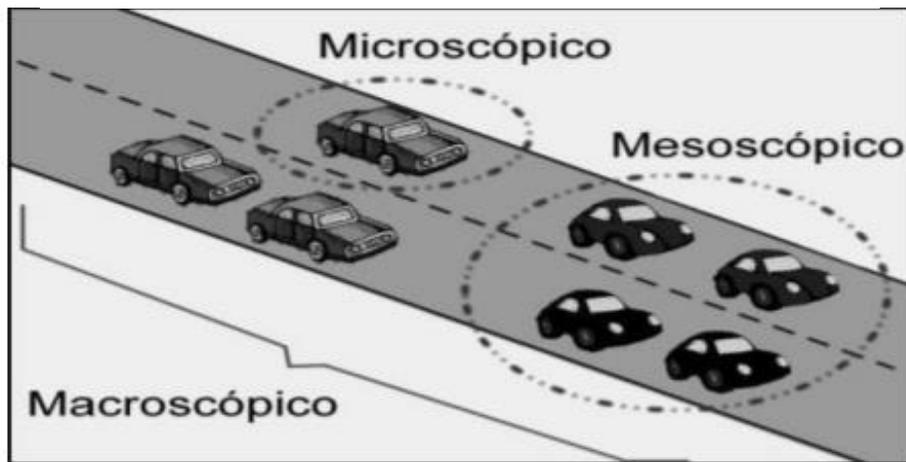
Método de las entrevistas. - El método de las entrevistas se lleva a cabo obteniendo la información de la gente que conduce en el sitio del estudio con respecto a sus tiempos de recorrido, su experiencia de demoras, y así sucesivamente. Este método facilita la colección de una cantidad grande de datos en un tiempo relativamente corto. Sin embargo, requiere de la cooperación de la gente entrevistada, puesto que el resultado depende enteramente de la información dada por ella.

2.2. MODELOS DE TRÁFICO

Los modelos para el estudio de tráfico vehicular se pueden clasificar, según el nivel de detalle, en tres:

- Modelos macroscópicos
- Modelos mesoscópicos
- Modelos microscópicos

Figura 2.1. Modelos según el nivel de detalle



Fuente: Fernández (2015)

2.2.1. Modelos macroscópicos

Este tipo de modelos se centra en captar las relaciones globales que se encuentran en los flujos de tráfico, como densidad del tránsito, velocidad de los vehículos y el flujo vehicular. Adicionalmente, en este tipo de modelos, en lugar de considerar el tráfico como un conjunto de vehículos individuales, se interpreta como un flujo continuo de la materia.

Si bien es cierto que en este tipo de modelo el nivel de detalle no es muy profundo, los resultados obtenidos podrían ser beneficiosos cuando se trata de proyectos de suma importancia en cuanto a eficiencia, ya que implica un menor tiempo de análisis.

2.2.2. Modelos mesoscópicos

Este modelo abarca algunas características de los modelos macroscópicos y microscópicos. Sigue el patrón de considerar pelotones de vehículos como una unidad,

mientras que los movimientos de giro, tiempo de entrada y salida son determinados de manera singular según el mecanismo simulado (Arrieta, 2013).

2.2.3. Modelos microscópicos

El uso de la microsimulación es la alternativa más adecuada para el estudio de proyectos de ingeniería de tránsito, debido al detalle de información que se puede utilizar para la construcción del modelo, a mayor información obtenida en campo, el modelo se acercara más a la realidad. Los modelos microscópicos consideran las velocidades y comportamiento de vehículos, de acuerdo a teoría del seguimiento vehicular o el modelo de cambio de carriles.

El objetivo de la simulación es el poder realizar cambios en el sistema de circulación de vehículos y peatones con el fin de probar posibles alternativas que den solución a problemas específicos.

2.2.4. Fundamentos de la microsimulación

En los modelos de microsimulación se tiene en cuenta los siguientes conceptos fundamentales para obtener el resultado esperado:

- Número semilla
- Número de corridas
- el warm up (Tiempo de estabilidad)
- interacción vehicular
- calibración del modelo
- validación del modelo

2.2.4.1. Número semilla

Es el valor inicial para la simulación. Dicho valor sirve para determinar las características iniciales de la simulación. El valor se ve reflejado en la secuencia de decisiones frente a situaciones específicas. Por ejemplo; el estilo del manejo, pueden observarse conductas agresivas, agradables entre otros; en el tipo de vehículo, pueden ser camionetas, automóviles u otros.

2.2.4.2. Número de corridas

El número de corridas se refiere al número de simulaciones que se realizará, el número de simulaciones dependerá del número semilla. Por cada cambio en el número semilla se debe realizar una simulación del modelo.

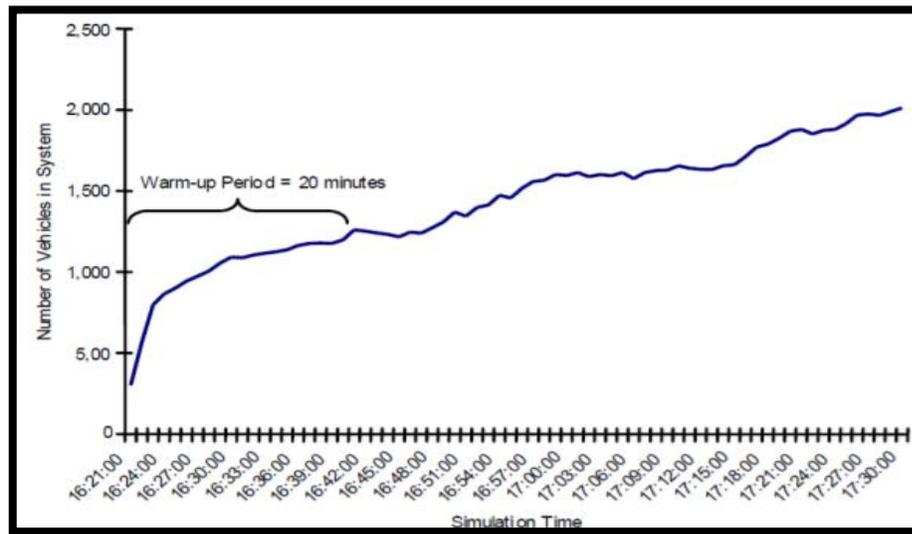
Como no se puede realizar una evaluación de todos los elementos, se realizará la evolución en una muestra, que sea representativa, heterogénea y que represente de la mejor manera la población. Según recomendaciones de PTV Vissim el número de simulaciones mínimas tiene que estar comprendida entre 5 a 20 simulaciones. Para un 95 % de confiabilidad en los resultados se necesita como mínimo 15 simulaciones.

2.2.4.3. Warm up (Tiempo de estabilidad)

Cuando se empieza con la simulación, el sistema no tiene ningún vehículo, ya que el modelo comenzara a incorporar gradualmente la cantidad de vehículos hasta llegar al número de vehículos más cercanos a la realidad. A este periodo de tiempo se le conoce como Warm up. Los resultados que se obtienen dentro de este periodo no deben ser considerado, porque no representan la realidad del sistema.

Un ejemplo de estabilidad es la que proporciona la FHWA (Federal Highway Administration, 2004), en la imagen se puede apreciar que el tiempo de estabilidad es de 20 minutos. En el eje de las abscisas está el tiempo de simulación y en eje de las ordenadas el número de vehículos en el sistema. El tiempo mínimo es de 10 minutos, según recomendaciones de la FHWA.

Figura 2.2. Entrada de vehículos con respecto al tiempo



Fuente: Dowling et al. (2004)

2.2.4.4. Interacción Vehicular

La interacción entre vehículos es analizada a través de los modelos de seguimientos vehicular: Modelo de seguimiento de Wiedemann 74 y por el modelo de cambio de carril. En lo expuesto por Wiedemann se toma en cuenta factores como la velocidad, distancia segura y la desaceleración para evitar una colisión; además, con el segundo modelo se plantea la necesidad de realizar un movimiento adicional cambiando de carril, propiamente dicho, y las acciones que los conductores toman ante cada situación.

2.2.4.5. Calibración del modelo

La finalidad de la calibración es poder obtener un modelo de simulación lo más cercano a la realidad, a través de un proceso iterativo. Para calibrar el modelo podemos utilizar los siguientes parámetros: longitud de cola, velocidad, cantidad de vehículos, volumen de entrada y salida en la intersección, entre otros.

Según la investigación realizada por Bloomberg (2003) se tiene el porcentaje de errores admisibles.

Tabla 2.3. 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)

Para la calibración del modelo no es necesario que todos los parámetros de la Tabla 2.3 se cumplan; se puede calibrar con dos o un parámetro.

De acuerdo al manual de PTV Vissim existe una calibración denominada “GEH” que es un indicador que compara el volumen horario obtenido en campo “C” contra los volúmenes horarios medidos en el modelo “M” para determinar el nivel de error. Para que un modelo este calibrado el indicador GEH deberá ser menor o igual a 5, utilizando la ecuación 2.1.

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}} \leq 5 \quad (2.1)$$

Donde:

GEH= Indicador de calibración

M= Volumen horario medido en el modelo

C= Volumen horario medido en campo

Se recomienda utilizar el indicador GEH cuando los volúmenes vehiculares son poco cambiantes, en calles céntricas de la ciudad o en calles donde la capacidad este por llegar a su límite.

2.2.4.6. Validación del modelo

Una vez que se completa la calibración del modelo, procedemos al paso de verificación o validación donde se verifica que los valores obtenidos en el software de simulación concuerden con el volumen de tráfico, tiempo de recorrido, longitud de cola, etc. si los

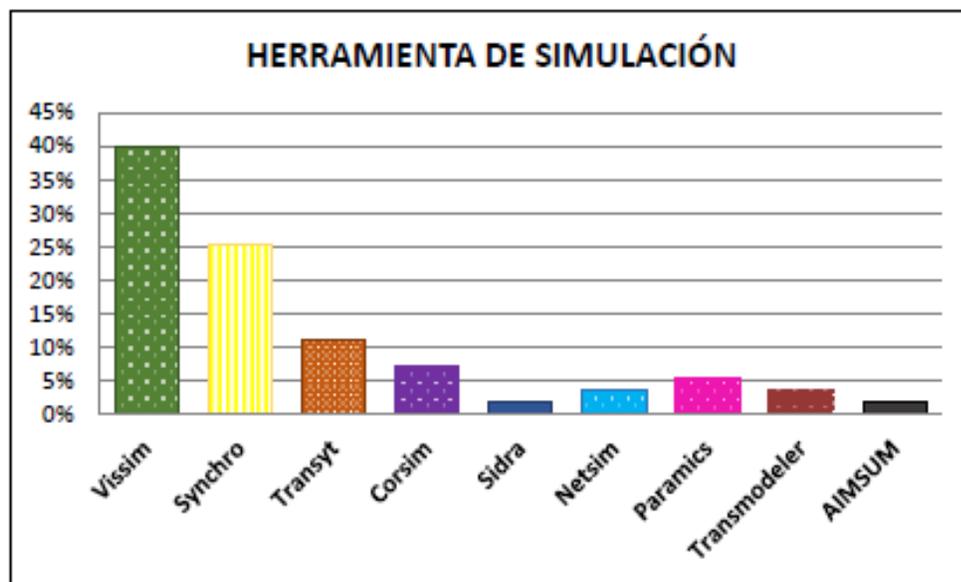
valores de campo coinciden a los valores obtenidos por el software, se da por valido el modelo.

El propósito de la validación es determinar la confianza con la que un modelo puede predecir una situación o un proceso determinado.

2.3. ELECCIÓN DEL SOFTWARE DE MICROSIMULACIÓN

Existe una diversidad de programas que se utilizan para modelar redes, para el presente proyecto se determinó utilizar el software del grupo PTV Vissim; de acuerdo a una tesis doctoral se trata de un programa muy utilizado y confiable debido a la cantidad de parámetros que se pueden modificar.

Figura 2.3. Herramientas de simulación



Fuente: Tesis Doctoral, Santander 2015

2.3.1. PTV Vissim software de Microsimulación

PTV Vissim permite simular el movimiento del tráfico vehicular en ciudades. Para la obtención de resultados más precisos, los movimientos del vehículo se pueden calibrar en la simulación, de modo que el comportamiento de conducción refleje las condiciones de tráfico local. (PTV GROUP, 2021)

Vissim es un paquete de simulación ideal para profesional debido a la cantidad de parámetros que se pueden ingresar para el modelo de un sistema. Otra virtud que tiene es que, puede realizar un análisis dinámico entre el flujo vehicular y el sistema de regulación de tráfico.

El programa permite la representación de los detalles de la infraestructura de red analizada, como por ejemplo el número de carriles, el ancho, pendiente, curvatura, etc. También se podrá apreciar a detalle cada vehículo, observando que ruta elige cada uno, si realizan cambio de carriles, la separación entre ellos, etc.

Vissim trabaja con objetos dinámicos como ser autos, bicicletas, motocicletas y personas, así también se pueden ingresar objetos estáticos como ser edificios, rompe muelles, obstáculos, etc.

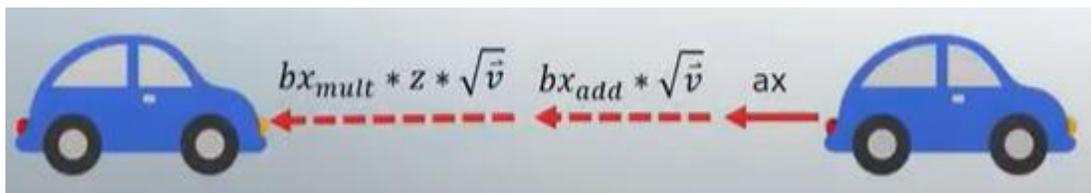
2.3.1.1. Modelo de seguimiento vehicular según Wiedemann 74

Es un modelo considerado psicofísico de seguimiento vehicular, debido a que toma en cuenta aspectos psicológicos como la percepción de los conductores y su comportamiento frente a otros vehículos.

La percepción y reacción humana se ven representadas a través de las influencias de sus propios movimientos, debido al tipo de manejo, máxima aceleración, etc. Así como la distancia entre vehículos y la diferencia de velocidades entre ellos.

En el siguiente grafico se muestra la distancia requerida entre un par de vehículos, así también su ecuación.

Figura 2.4. Modelo de seguimiento vehicular



Fuente: PTV América Knowledge base

$$d = ax + (bx_{add} + bx_{mult} * z) * x * \sqrt{v} \quad (2.2)$$

Donde:

a_x = Distancia promedio deseada entre vehículos detenidos.

$b_{x_{add}}$ = Parte aditiva de la distancia deseada por seguridad.

$b_{x_{mult}}$ = Parte multiplicativa de la distancia deseada por seguridad.

z = Valor entre 0 y 1

v = Velocidad (m/s)

El modelo de flujo de tráfico de Wiedemann se basa en la suposición de que hay cuatro posiciones de conducción diferentes para el conductor:

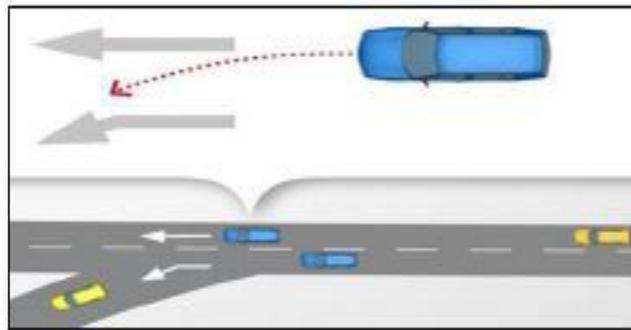
- **Conducción libre:** El conductor busca alcanzar y mantener la velocidad deseada, no se observa vehículos cercanos que puedan influir la percepción del conductor.
- **Acercamiento:** Al acercarse a un vehículo que tiene una menor velocidad, el conductor desacelera de modo que no haya una diferencia de velocidad una vez que alcanza la distancia de seguridad deseada.
- **Seguimiento:** El vehículo está en un proceso de seguimiento, siendo influenciado por el vehículo de adelante en forma no consiente, manteniendo una distancia de seguridad casi constante.
- **Frenado:** El vehículo queda a una distancia de separación menos a la deseada y debe frenar para evitar una colisión.

2.3.1.2. Modelo de cambio de carril

Este modelo cuenta con dos alternativas de decisión por parte del conductor dentro del tráfico: cambio de carril necesario y cambio de carril libre.

Cambio de carril necesario: Este escenario se presenta cuando el conductor tiene la necesidad de seguir una ruta asignada. En la Figura 2.5 se aprecia el vehículo colocándose en la parte extrema del carril derecho para luego poder dirigirse por la entrada. En este modelo, el software de Microsimulación contiene parámetros necesarios para el posible cambio de carril. Un ejemplo es el caso de la desaceleración aceptable para el vehículo que desea cambiar de carril y se detiene el vehículo que es sobrepasado.

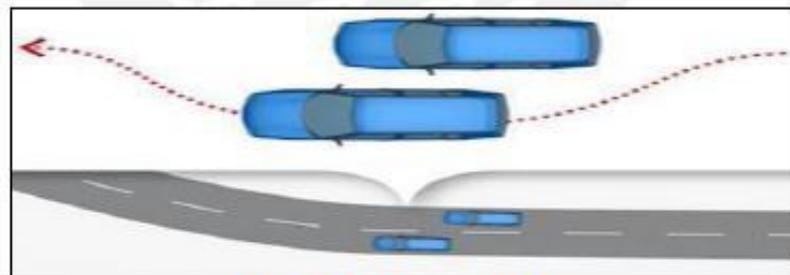
Figura 2.5. Cambio de carril necesario



Fuente: PTV GROUP (2015)

Cambio de carril libre: Para este escenario el adelantamiento de vehículos se produce cuando existe vehículos con velocidad lenta y otro con una mayor velocidad. En estos tipos de modelo se asegura que el vehículo no se vea considerablemente afectado por esta maniobra.

Figura 2.6. Cambio de carril libre



Fuente: PTV GROUP (2015)

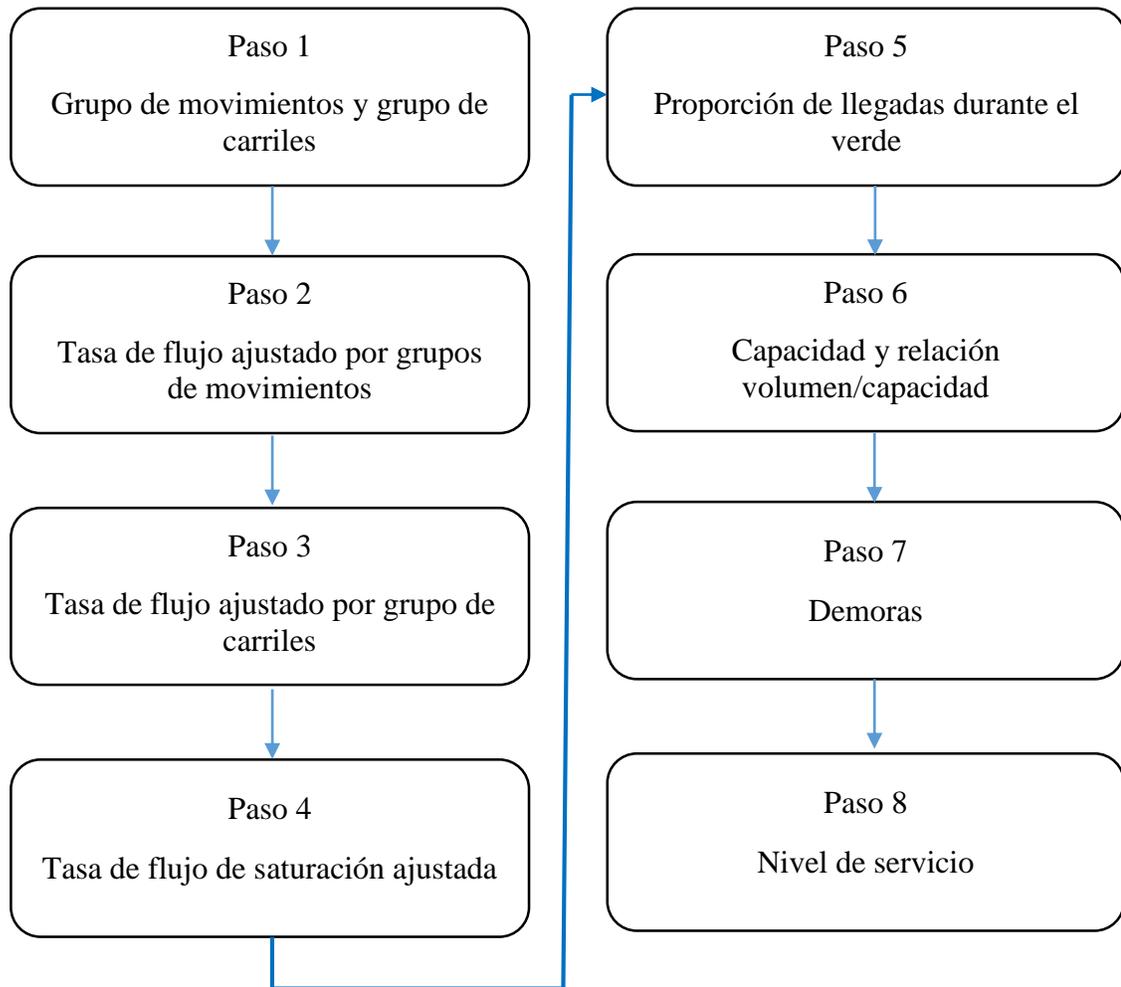
2.4. NIVEL DE SERVICIO SEGÚN HCM 2010

2.4.1. Nivel de servicio en intersecciones semaforizadas

Se realizará un análisis operacional para poder determinar primero la capacidad y luego el nivel de servicio de cada grupo de carriles o acceso, lo mismo que el nivel de servicio de la intersección como un todo. Se deberá recabar información necesaria como ser la geometría de los accesos, el tránsito, tiempo de ciclo de los semáforos, etc.

La metodología a emplear se puede apreciar en la Figura 2.7.

Figura 2.7. Metodología para intersecciones semaforizadas



Fuente: HCM 2010

Paso 1. Tiene dos reglas, uno para determinar los grupos de movimientos y el otro para los grupos de carriles.

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

- Un movimiento de vuelta izquierda o derecha que es servido por uno o más carriles exclusivos, 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.

Las reglas para la determinación de grupo de carriles son las siguientes:

- Un carril 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. Consiste en determinar la tasa de flujo de cada grupo de movimientos, donde el movimiento de vuelta por uno o más carriles son asignados a un grupo de movimiento.

Paso 3. Consiste en determinar la cantidad de vehículos que pasan en un periodo de tiempo menor o igual a una hora de cada grupo de carriles. Si el acceso tiene solamente un carril hay una correspondencia de uno a uno entre grupo de carriles y grupo de movimiento. Para este caso 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 a través del factor de la hora máxima demanda con la ecuación 2.3.

$$v = \frac{V}{FHMD} \quad (2.3)$$

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. Es la determinación de la tasa de flujo de saturación ajustada, es la tasa máxima de flujo. Suponiendo que un acceso o grupo de carriles todo el tiempo funciona el semáforo en verde la relación de $g/C=1$, donde g es el tiempo de fase verde y C es la duración del tiempo de ciclo.

Las condiciones de tráfico a tomar en cuenta son los volúmenes por el tipo de movimiento ya sea giro a la izquierda, derecha o de frente, la composición vehicular que son los automóviles, autobuses y camiones, maniobras de estacionamiento, paradas de autobuses y conflictos con peatones y ciclistas.

Las condiciones geométricas de las calles son el número de carriles de los accesos como el ancho de cada carril, pendientes y uso de carriles incluyendo los estacionamientos.

Las condiciones de semaforización son la secuencia de fases, la asignación de tiempos y el tipo de operación o control.

El siguiente procedimiento es aplicado solo para aquellas intersecciones que no tengan interacción con peatones y ciclistas.

El flujo de saturación, del grupo de carriles i , puede determinarse mediante estudios de campo o ajustarse con la ecuación 2.4.

$$s_i = s_o * N_i * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{LU} * f_L * f_R * f_{Lpb} * f_{Rpb} \quad (2.4)$$

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 carril.

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 vuelta a la izquierda.

f_R = Factor de ajuste por vuelta a la derecha.

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

f_{Rpb} = Factor de ajuste por peatones y bicicletas para vueltas vehiculares a la derecha.

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 carril f_w

Tiene en cuenta el impacto que tiene el ancho de carril en flujo de saturación, cuando el carril es angosto tiene efecto negativo, pero cuando el carril es mayor a los 3.92 metros permite incrementar el flujo.

Tabla 2.4. 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

Factor de ajuste por vehículos pesados f_{HV}

Este factor se basa en aquellos vehículos con más de cuatro ruedas sobre el pavimento de manera simultánea como ser los camiones de carga o autobuses, no se debe incluir vehículos de transporte público que se detienen en la intersección. Para calcular este factor se utiliza la ecuación 2.5.

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_{HV}(E_T - 1)} \quad (2.5)$$

Donde:

P_{HV} = Porcentaje de vehículos pesados en el grupo (%).

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

Ajuste por pendiente del acceso f_g

Se tiene en cuenta el efecto producido por la pendiente del acceso sobre los vehículos. Para calcular el valor de este factor se usa la ecuación 2.6.

$$f_g = 1 - \frac{P_g}{200} \quad (2.6)$$

Donde:

P_g = Porcentaje de pendiente del acceso (%).

Este factor se aplica para pendientes que se encuentre dentro del 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 al área de estacionamiento existe 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 2.7.

$$f_p = \frac{N_i - 0.1 - \frac{18 * N_m}{3600}}{N_i} \geq 0.05 \quad (2.7)$$

Donde:

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

N_i = Número de carriles del grupo i.

Ajuste por bloqueo de buses 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 2.8.

$$f_{bb} = \frac{N_i - \frac{14.4 * N_b}{3600}}{N_i} \geq 0.050 \quad (2.8)$$

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 f_a

Este factor tiene un valor de 0.9, dicho valor se utiliza solo cuando la intersección está ubicada en el centro de la ciudad o en zonas con gran cantidad de negocios que pueden afectar la ineficiencia de la intersección.

Ajuste por la utilización de carriles f_{LU}

Este ajuste se utiliza cuando existe más de un carril, donde la demanda no es igual en ellos. Para el cálculo de este valor se utilizará la ecuación 2.9.

$$f_{LU} = \frac{V_i}{V_1 * N_i} \quad (2.9)$$

Donde:

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

V_1 = Volumen de manda del carril con el volumen más alto del grupo de carriles i (veh/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 tienen 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 2.10.

$$f_L = \frac{1}{1 + 0.05 * P_L} \quad (2.10)$$

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 2.11.

$$f_R = 1 - 0.15 * P_R \quad (2.11)$$

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. 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 ecuación 2.12.

$$P_i = R_{pi} * \left(\frac{g_i}{C}\right) \quad (2.12)$$

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 (1.67)
- Tipo 6: Grupos muy densos que progresan a través de varias intersecciones cortamente espaciadas ($R_p= 2$)

Paso 6. 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 ecuación 2.13.

$$c_i = s_i * \left(\frac{g_i}{C}\right) \quad (2.13)$$

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)

Para el cálculo de la relación de volumen capacidad o también llamado grado de saturación se la calcula con la ecuación 2.14.

$$X_i = \frac{v_i}{c_i} \quad (2.14)$$

Donde:

X= Relación volumen capacidad

v= Demanda (veh/hra)

c= Capacidad del grupo (veh/hra)

Paso 7. 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 ecuación 2.15.

$$d_i = d_1 * (PF) + d_2 \quad (2.15)$$

Donde:

d_i= Demora media (seg/veh)

d₁= Demora uniforme (seg/veh)

PF= Factor de ajuste por coordinación de semáforos.

d₂= 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 ecuación 2.16.

$$PF = \frac{(1 - P_i) * f_{PA}}{1 - \left(\frac{g_i}{C}\right)} \quad (2.16)$$

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 ecuación 2.17.

$$d_1 = \frac{0.5 * C * \left(1 - \frac{g_i}{C}\right)^2}{1 - \left(\min(1, X_i) * \frac{g_i}{C}\right)} \quad (2.17)$$

Demora incremental

Esta demora toma en cuenta las llegadas aleatorias que pueden ocasionar que algunos ciclos se sobresaturen. Se calcula con la ecuación 2.18.

$$d_2 = 900 * T * \left((X_i - 1) + \sqrt{(X_i - 1)^2 + \frac{8 * k * I * X_i}{c_i * T}} \right) \quad (2.18)$$

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 ecuación 2.19.

$$I = 1 - 0.91 * (X_u^{2.68}) \geq 0.090 \quad (2.19)$$

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 ecuación 2.20.

$$d_A = \frac{\sum_{i=1}^A (d_i v_i)}{\sum_{i=1}^A v_i} \quad (2.20)$$

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 ecuación 2.21.

$$d_I = \frac{\sum_{i=1}^I (d_A v_A)}{\sum_{i=1}^I v_A} \quad (2.21)$$

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. 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 2.2

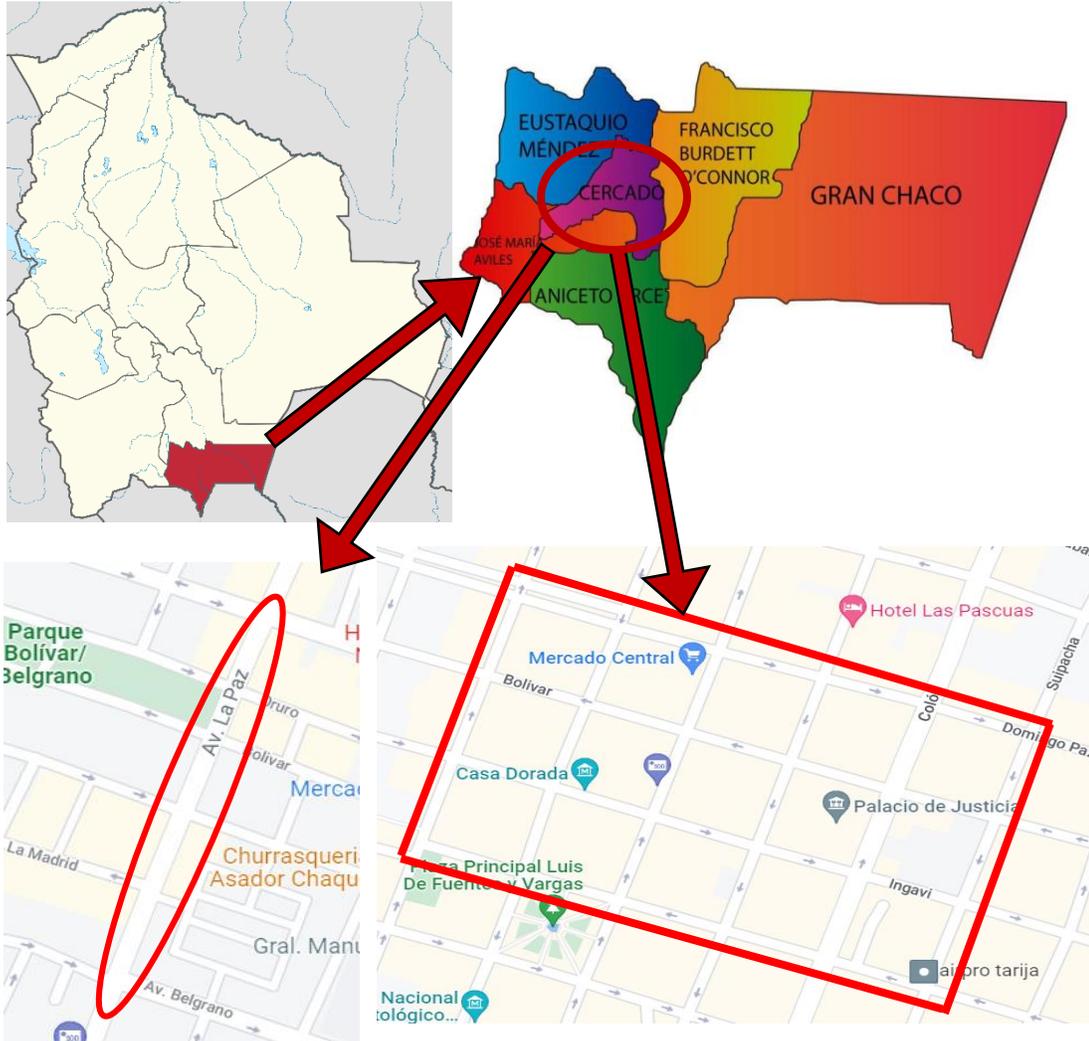
CAPÍTULO III
PROCEDIMIENTO

CAPÍTULO III

PROCEDIMIENTO

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Figura 3.1. Ubicación geográfica de las zonas de estudio



Fuente: Elaboración propia

3.2. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE CAMPO

Para empezar con el procedimiento se necesita recolectar información de la vía, como ser: cantidad de vehículos que pasan por una intersección, velocidad en los accesos de cada zona, ancho y longitud de la vía, tiempos de fase de los semáforos y tiempos de recorrido. Toda esta información se puede obtener aforando en cada intersección, y con la ayuda de planillas que permiten una mejor organización de la información.

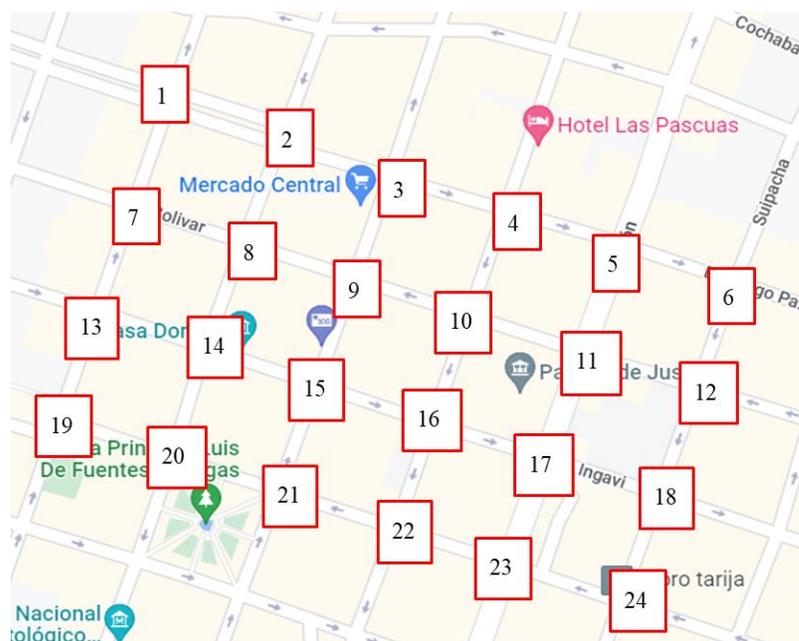
Como se muestra en la Figura 3.1, el proyecto se realizó en dos zonas de la ciudad de Tarija. Para la zona Villa Fátima (Avenida La Paz), la recolección de datos se realizó en las seis intersecciones que comprende esta zona del 17/01/2022 al 05/03/2022, y para la zona central que comprende de veinticuatro intersecciones se realizó desde la fecha 07/03/22 al 07/05/22.

Luego de obtener la información necesaria para el desarrollo del proyecto, se digitalizará para facilitar la interpretación e ingreso de los datos requeridos para la simulación. Para ambas zonas se utilizarán dos modelos de calibración y validación, el tiempo de recorrido y el indicador GEH

3.2.1. Geometría de la red

Los datos que se necesita son el ancho de los carriles en cada intersección y las longitudes de las cuadras, para medir el ancho de los carriles se utilizó una wincha, mientras que para las longitudes de las cuadras se utilizó la vista satelital incorporado en el software Vissim, estos por sugerencia de la FHWA (Federal Highway Administration, 2004)

Figura 3.2. Zona central



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.1. Ancho de carril en la zona central

Numero de cuadra	Ancho de carril (m)				
	1	2	3	4	5
Calle Domingo Paz	2,7	2,7	2,65	2,65	2,7
Calle Bolívar	2,65	2,65	2,65	2,7	2,65
Calle Ingavi	2,65	2,65	2,65	3,10	2,65
Calle La Madrid	2,65	2,7	2,65	2,65	2,6
Calle Campero	2,65	2,65	2,65		
Calle Gral. Trigo	2,65	2,65	2,65		
Calle Sucre	2,65	2,65	2,65		
Calle Daniel Campos	2,65	2,65	2,6		
Calle Colón	2,6	2,7	2,6		
Calle Suipacha	2,65	2,65	2,65		

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.3. Zona de Villa Fátima



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2. Ancho de carril en la zona de Villa Fátima

Numero de cuadra	Ancho de carril (m)				
	1	2	3	4	5
Av. La Paz (N-S)	2,7	2,95	2,9	2,9	2,9
Av. La Paz (S-N)	2,7	2,95	2,9	2,9	2,9
Av. Potosí (E-O)	2,7				
Av. Potosí (O-E)	2,7				
Calle Oruro	2,8				
Calle Bolívar	2,9				
Calle Ingavi	2,6				
Calle La Madrid	2,9				
Av. Belgrano (E-O)	3,5				
Av. Belgrano (O-E)	3,1				

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Análisis de aforos vehiculares

El aforo vehicular se realiza durante 13 horas continuas, este aforo se realiza en cada acceso de la zona de estudio. El propósito de realizar un aforo de 13 horas es el de poder identificar las horas con mayor flujo vehicular (horas pico).

Las horas pico se determinan mediante el análisis del histograma de cada una de las intersecciones, en el histograma se puede apreciar el número de vehículos versus la hora del aforo.

Tabla 3.3. Aforo vehicular para la zona de Villa Fátima

Hora	Av. Belgrano	Av. La Paz	Av. Potosí
07:00 - 07:30	278	260	372
07:30 - 08:00	324	277	432
08:00 - 08:30	345	281	422
08:30 - 09:00	320	270	391
09:00 - 09:30	298	255	372
09:30 - 10:00	307	261	345
10:00 - 10:30	310	248	339
10:30 - 11:00	342	257	342
11:00 - 11:30	327	277	359
11:30 - 12:00	344	284	402
12:00 - 12:30	358	294	420
12:30 - 13:00	349	288	432
13:00 - 13:30	338	280	403
13:30 - 14:00	342	271	418
14:00 - 14:30	331	260	398
14:30 - 15:00	323	253	355
15:00 - 15:30	314	255	362
15:30 - 16:00	310	244	348
16:00 - 16:30	310	239	325
16:30 - 17:00	320	255	339
17:00 - 17:30	300	275	333
17:30 - 18:00	327	280	345
18:00 - 18:30	348	292	389
18:30 - 19:00	337	285	377
19:00 - 19:30	328	271	344
19:30 - 20:00	300	249	320

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.4. Aforo vehicular para la zona central

Aforos para determinar la hora pico						
Centro	Número de vehículos					
Hora	Calle Campero	Calle Gral. Trigo	Calle Sucre	Calle D. Campos	Calle Colón	Calle Suipacha
07:00 - 07:30	231	230	174	176	177	220
07:30 - 08:00	274	235	203	203	203	254
08:00 - 08:30	260	220	185	187	188	287
08:30 - 09:00	257	187	164	173	181	274
09:00 - 09:30	240	179	157	166	175	268
09:30 - 10:00	201	162	136	143	149	264
10:00 - 10:30	222	186	111	117	122	251
10:30 - 11:00	225	196	146	141	136	243
11:00 - 11:30	217	176	186	164	142	258
11:30 - 12:00	220	198	177	169	160	271
12:00 - 12:30	228	214	183	178	172	274
12:30 - 13:00	223	200	177	180	182	261
13:00 - 13:30	197	179	147	152	156	257
13:30 - 14:00	216	188	131	134	136	246
14:00 - 14:30	221	174	121	132	142	244
14:30 - 15:00	217	167	111	136	160	222
15:00 - 15:30	205	149	129	134	139	236
15:30 - 16:00	196	186	119	132	144	239
16:00 - 16:30	187	174	116	122	127	244
16:30 - 17:00	199	155	133	134	134	249
17:00 - 17:30	205	167	177	167	156	245
17:30 - 18:00	210	178	185	176	166	255
18:00 - 18:30	221	210	200	186	157	271
18:30 - 19:00	215	196	181	179	160	266
19:00 - 19:30	184	188	176	173	169	240
19:30 - 20:00	172	180	141	139	137	233

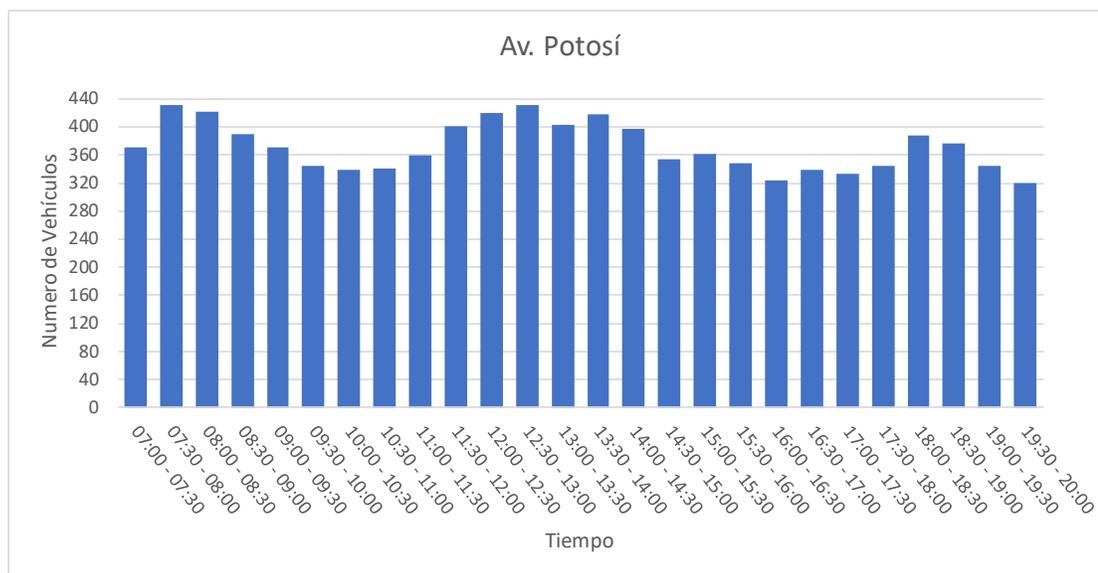
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.5. Aforo vehicular para la zona central

Aforos para determinar la hora pico				
Centro	Número de vehículos			
Hora	Calle D. Paz	Calle Bolivar	Calle Ingavi	Calle La Madrid
07:00 - 07:30	199	154	126	131
07:30 - 08:00	252	201	135	190
08:00 - 08:30	246	216	130	207
08:30 - 09:00	236	187	126	161
09:00 - 09:30	222	155	132	196
09:30 - 10:00	214	145	125	155
10:00 - 10:30	221	127	105	139
10:30 - 11:00	219	138	132	134
11:00 - 11:30	220	147	175	156
11:30 - 12:00	228	181	184	191
12:00 - 12:30	235	175	192	187
12:30 - 13:00	237	163	187	196
13:00 - 13:30	227	170	174	177
13:30 - 14:00	217	154	128	156
14:00 - 14:30	201	139	127	131
14:30 - 15:00	189	127	139	122
15:00 - 15:30	193	133	128	110
15:30 - 16:00	162	132	133	121
16:00 - 16:30	154	143	146	114
16:30 - 17:00	133	157	137	137
17:00 - 17:30	157	178	148	167
17:30 - 18:00	161	192	177	179
18:00 - 18:30	181	188	191	174
18:30 - 19:00	193	191	185	181
19:00 - 19:30	160	179	180	164
19:30 - 20:00	144	174	176	148

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.4. Histograma para identificar las horas pico



Fuente: Elaboración propia

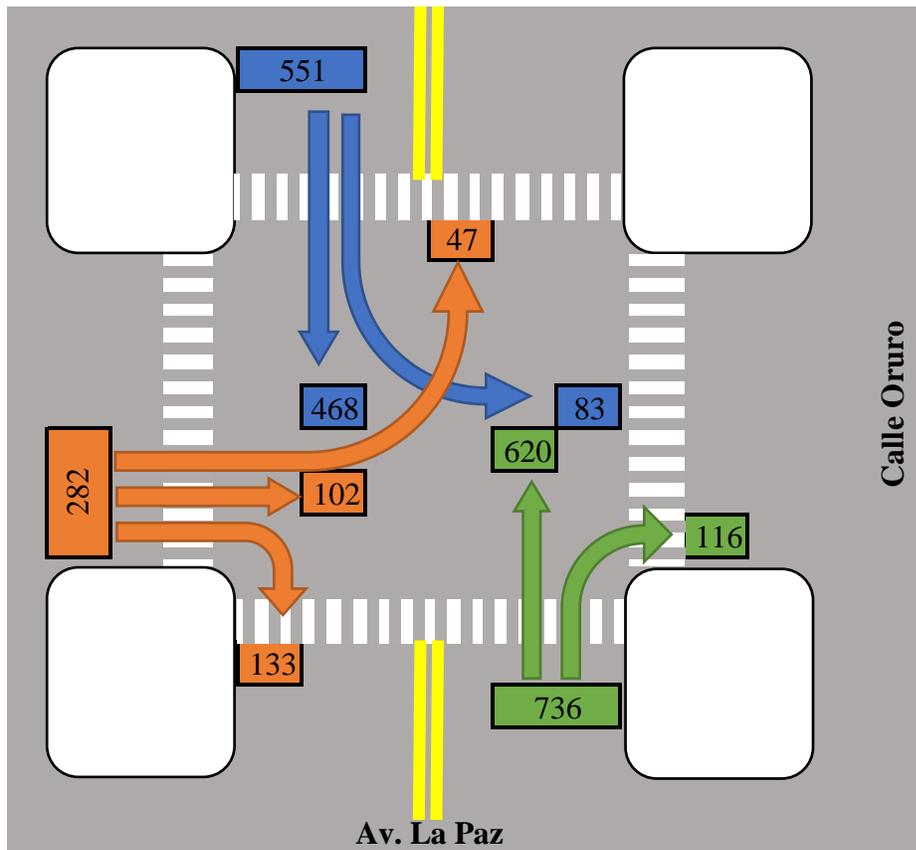
Debido al momento actual de la pandemia, se realiza los aforos durante 20 minutos, con este periodo de tiempo se obtendrán resultados más confiables por ser un periodo más representativo, durante este lapso de tiempo se tomará en cuenta el tipo de vehículo (motocicleta, autobús, coche, etc.) y la distribución (girar a la izquierda, girar a la derecha, seguir adelante).

Tabla 3.6. Composición vehicular detallado

INTERSECCIÓN		HOJA DE AFORO														
Av. La Paz y Oruro		TIPO														
ACCESO AFORADO																
Calle Oruro																
HORA																
12:00-13:00																
N.º	DIA	GI	GD	FR	GI	GD	FR	GI	GD	FR	GI	GD	FR	GI	GD	FR
1	Lunes	19	35	21	9	20	33	15	32	27	5	14	8	0	31	0
2	Martes	12	31	20	10	23	39	10	35	34	9	15	14	0	29	0
3	Miércoles	15	33	22	7	21	39	11	35	30	8	16	15	0	29	0
4	Jueves	15	33	20	9	21	37	12	34	30	7	15	12	0	29	0
5	Viernes	17	30	24	15	17	41	13	37	27	10	20	10	0	30	0

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5. Distribución vehicular (Av. La Paz y Av. Potosí)



Fuente: Elaboración propia

Para introducir la cantidad de vehículos que alimentan la red, solo se introducen vehículos en los accesos a la red; para la zona central se cuenta con 10 accesos y para la zona de Villa Fátima con 9 accesos.

Tabla 3.7. Composición vehicular que alimenta la red (zona Villa Fátima)

Acceso	TIPO															Total
																
	GI	GD	FR	GI	GD	FR	GI	GD	FR	GI	GD	FR	GI	GD	FR	
Av. La Paz (N-S)	6	23	68	10	29	66	18	68	122	12	18	28	0	0	9	477
Av. La Paz (S-N)	0	22	102	0	28	67	0	24	137	0	16	26	0	0	38	460
Av. Potosí (E-O)	14	40	120	15	36	132	23	22	162	11	10	38	0	0	18	641
Av. Potosí (O-E)	16	23	90	18	31	146	13	41	140	11	15	75	0	0	21	640
Calle Oruro	17	32	21	9	21	39	12	35	29	9	15	13	0	30	0	282
Calle Bolívar	17	24	39	48	62	68	53	56	51	14	9	20	0	0	9	470
Calle Ingavi	35	32	42	30	30	89	46	40	75	22	19	41	0	0	0	501
Av. Belgrano (E-O)	28	86	0	39	92	0	19	89	0	18	35	0	0	15	0	421
Av. Belgrano (O-E)	24	22	72	33	62	83	34	52	80	31	13	37	0	17	0	560

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.8. Composición vehicular que alimenta la red (zona Central)

Acceso	TIPO															Total
																
	GI	GD	FR	GI	GD	FR	GI	GD	FR	GI	GD	FR	GI	GD	FR	
Calle Domingo Paz	14	0	78	17	0	52	27	0	128	7	0	30	0	0	71	424
Calle Bolívar	17	0	47	30	0	35	27	0	86	21	0	31	0	0	50	344
Calle Ingavi	32	0	53	28	0	57	39	0	85	4	0	30	0	0	5	333
Calle La Madrid	20	0	60	21	0	53	28	0	88	17	0	29	0	0	29	345
Calle Campero	0	0	63	0	0	78	0	0	99	0	0	19	0	0	53	312
Calle Gral. Trigo	46	47	69	35	37	39	39	22	62	11	9	20	0	16	19	471
Calle Sucre	42	0	45	28	0	63	28	0	106	10	0	31	0	0	0	353
Calle Daniel Campos	21	0	65	26	0	59	29	0	96	10	0	23	0	0	17	346
Calle Colon	23	0	81	23	0	65	20	0	86	11	0	36	1	0	11	357
Calle Suipacha	26	0	90	48	0	58	49	0	107	54	0	75	0	0	12	519

Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Aforo de maniobras de estacionamiento y vehículos que paran

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 los accesos a la intersección.

El aforo se realizó durante las tres horas pico del día, este procedimiento se realizó durante tres días. Una vez obtenido los datos, se sacó la media aritmética de los tres días de aforo.

Tabla 3.9. Número de maniobras y vehículos que paran (zona Villa Fátima)

Intersección	Acceso	Numero de maniobras	Vehículos que paran
1	Av. La Paz (N-S)	4	9
	Av. La Paz (S-N)	1	13
	Av. Potosí (E-O)	6	19
	Av. Potosí (O-E)	10	21
3	Av. La Paz (N-S)	1	12
	Av. La Paz (S-N)	4	29
	Calle Bolívar	6	13
6	Av. La Paz (N-S)	16	43
	Av. La Paz (S-N)	13	43
	Av. Belgrano (E-O)	10	30
	Av. Belgrano (O-E)	14	32

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10. Número de maniobras y vehículos que paran (zona central)

Intersección	Acceso	Numero de maniobras	Vehículos que paran
1	Calle Domingo Paz	5	37
	Calle Campero	6	27
2	Calle Domingo Paz	3	19
	Calle Gral. Trigo	9	26
3	Calle Domingo Paz	0	30
	Calle Sucre	0	20
4	Calle Domingo Paz	2	25
	Calle Daniel Campos	6	16
5	Calle Domingo Paz	5	51
	Calle Colon	11	39
7	Calle Bolívar	3	20
	Calle Campero	7	20
8	Calle Bolívar	0	45
	Calle Gral. Trigo	10	31
9	Calle Bolívar	0	41
	Calle Sucre	0	35
10	Calle Bolívar	13	36
	Calle Daniel Campos	9	29
11	Calle Bolívar	4	32
	Calle Colon	10	32
12	Calle Bolívar	6	36
	Calle Suipacha	8	29
13	Calle Ingavi	13	26
	Calle Campero	10	34
14	Calle Ingavi	6	13
	Calle Gral. Trigo	0	20
15	Calle Ingavi	0	31
	Calle Sucre	0	39
16	Calle Ingavi	0	20
	Calle Daniel Campos	1	18
17	Calle Ingavi	11	38
	Calle Colon	8	34
18	Calle Ingavi	8	18
	Calle Suipacha	6	28
20	Calle La Madrid	3	14
	Calle Gral. Trigo	0	21
21	Calle La Madrid	0	15
	Calle Sucre	1	13
22	Calle La Madrid	0	14
	Calle Daniel Campos	0	19
23	Calle La Madrid	9	19
	Calle Colon	8	17
24	Calle La Madrid	6	25
	Calle Suipacha	6	20

Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Velocidades

Para medir la velocidad de circulación de los diferentes tipos de vehículos se utilizó un tramo a la mitad de la cuadra, en cada calle, con una distancia de 20 m y se utilizó un cronometro para medir el tiempo que tarda en recorrer un vehículo dicha distancia.

Tabla 3.11. Velocidades en los accesos a la red (zona de Villa Fátima)

Zona Villa Fátima					
Acceso	Distancia	Tiempos (seg)			Velocidad media
	(m)	1	2	3	(Km/hra)
Av. La Paz (N-S)	20	6,62	6,33	5,89	11,46
Av. Potosí (E-O)	20	5,99	6,95	7,32	10,66
Av. Potosí (O-E)	20	7,11	6,32	7,22	10,46
Calle Oruro	20	5,66	5,78	6,12	12,3
Calle Bolívar	20	7,45	7,96	8,12	9,18
Calle Ingavi	20	5,69	6,78	6,12	11,62
Av. Belgrano (E-O)	20	7,36	6,33	6,75	10,57
Av. Belgrano (O-E)	20	8,33	6,23	6,95	10,04
Av. La Paz (S-N)	20	6,33	6,01	7,06	11,13

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.12. Velocidades en los accesos a la red (zona central)

Acceso	Distancia	Tiempos (seg)			Velocidad media
	(m)	1	2	3	(Km/hra)
Calle Domingo Paz	20	6,64	5,59	7,85	10,76
Calle Bolívar	20	7,46	5,98	6,33	10,93
Calle Ingavi	20	5,12	6,18	7,33	11,59
Calle La Madrid	20	6,54	6,45	6,03	11,36
Calle Campero	20	5,56	6,85	6,41	11,48
Calle Gral. Trigo	20	7,96	5,88	6,87	10,43
Calle Sucre	20	6,65	6,74	5,1	11,68
Calle Daniel Campos	20	6,32	7,84	6,05	10,69
Calle Colon	20	6,98	5,98	5,64	11,61
Calle Suipacha	20	6,62	6,42	6,38	11,12

Fuente: Elaboración propia

3.2.5. Tiempo de ciclo de los semáforos

Para la zona de estudio de Villa Fátima solo 3 intersecciones cuentan con semáforos y para la zona central se analizó 24 intersecciones de las cuales solo 22 cuentan con semáforo.

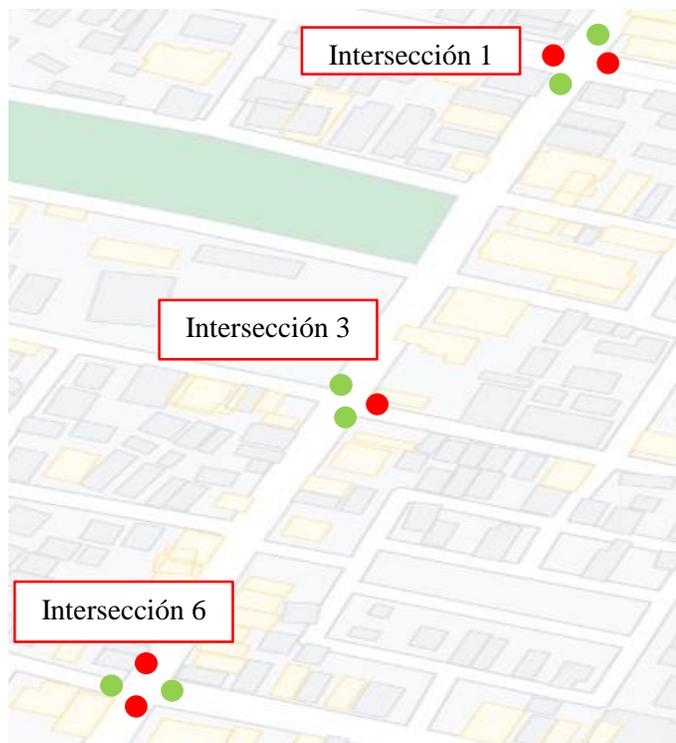
Para medir el tiempo de verde, ámbar y rojo, se utiliza una cámara filmadora y un cronometro. Con la cámara se filma por unos minutos los cambios de fase del semáforo y con el cronometro se mide el tiempo de cada fase.

Tabla 3.13. Tiempo de ciclo para la zona de Villa Fátima

	Intersección	Verde	Ámbar	Rojo	Tiempo de Ciclo
1	Av. La Paz	20	2	18	40
	Av. Potosí	16	2	22	40
3	Av. La Paz	21	2	21	44
	Calle Bolívar	19	2	23	44
6	Av. La Paz	20	2	18	40
	Av. Belgrano	16	2	22	40

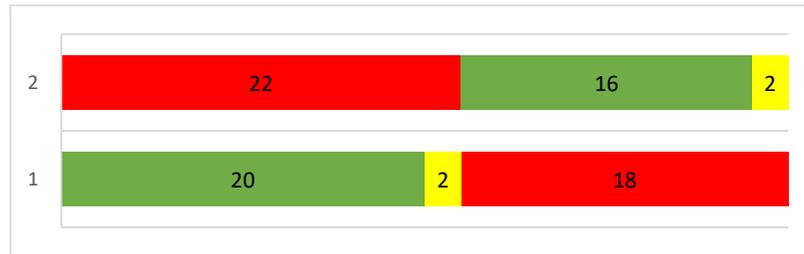
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.6. Ubicación de semáforos en la zona de Villa Fátima



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7. Cambios de fase en intersecciones 1 y 6



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8. Cambios de fase en intersección 3



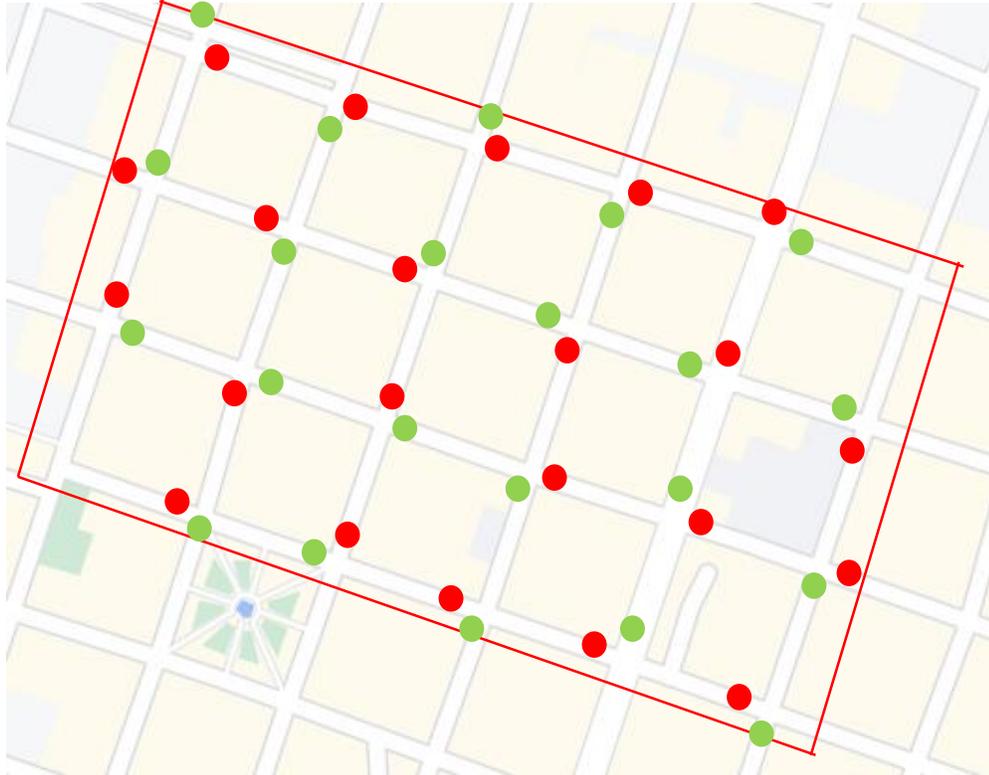
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.14. Tiempo de ciclo para la zona central

Intersección		Verde	Ámbar	Rojo	Tiempo de Ciclo
1,2,3,4,5,7,8,9,11,12,13, 14,15,17,20,21,22,23,24	Fase 1	16	2	22	40
	Fase 2	20	2	18	40
10,16	Fase 1	20	2	24	46
	Fase 2	22	2	22	46

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.9. Coordinación de semáforos en la zona central



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.10. Cambios de fase para la zona central

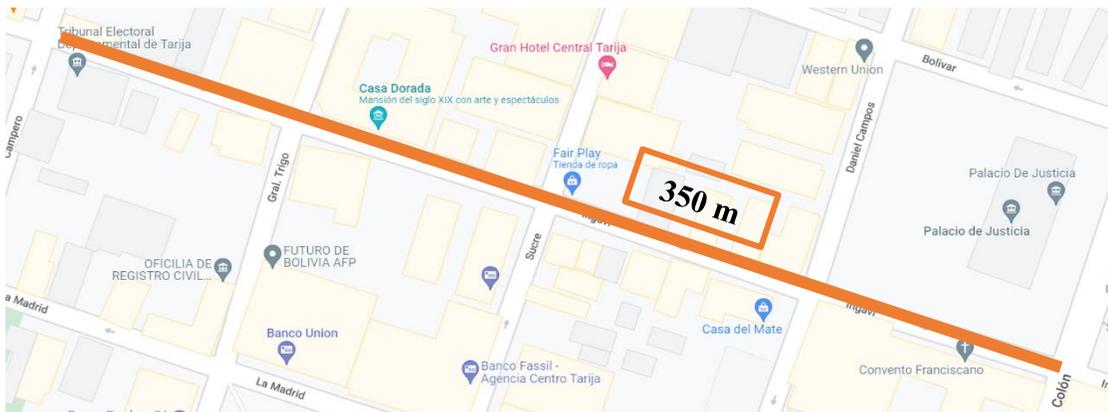


Fuente: Elaboración propia

3.2.6. Tiempo de recorrido

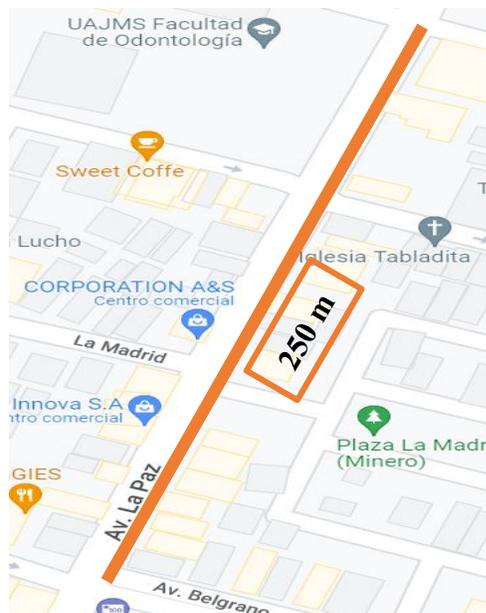
Para obtener el tiempo de recorrido se lo hará a través del método de placas; como la distancia a considerar debe ser representativa para una adecuada calibración se determinó lo siguiente: para la zona central una distancia de 350 metros como se aprecia en la Figura 3.11, de un total de 430 metros, para la zona de Villa Fátima será de 250 metros de distancia como se observa en la Figura 3.12, de un total de 375 metros.

Figura 3.11. Distancia para determinar el tiempo de recorrido (zona central)



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.12. Distancia para determinar el tiempo de recorrido (Villa Fátima)



Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos en campo para la zona de Villa Fátima y para la zona central se pueden apreciar en la Tabla 3.15 y Tabla 3.16 respectivamente.

Tabla 3.15. Tiempos de recorrido para la zona de Villa Fátima

Av. La Paz (S-N)				
N°	Distancia (m)	Tiempo (seg)		
		7:30-8:30	12:00-13:00	18:00-19:00
1	250	133,56	120,36	172,11
2	250	128,65	107,32	125,44
3	250	170,66	141,35	107,45
4	250	145,31	137,44	107,45
5	250	126,23	149,23	187,21
6	250	137,32	166,24	127,51
7	250	154,45	144,32	177,11
8	250	166,32	154,27	107,66
9	250	148,11	120,45	133,81
10	250	152,78	166,45	109,45
Promedio		146,34	140,74	135,52
		140,87		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.16. Tiempos de recorrido para la zona Central

Calle Ingavi				
N°	Distancia (m)	Tiempo (seg)		
		7:30-8:30	12:00-13:00	18:00-19:00
1	350	220,36	226,98	220,69
2	350	144,65	162,36	149,86
3	350	168,36	144,78	228,96
4	350	206,36	218,69	158,77
5	350	243,12	195,36	179,32
6	350	194,32	197,33	184,36
7	350	205,69	235,31	147,83
8	350	222,36	183,12	232,1
9	350	167,63	196,54	197,12
10	350	195,55	216,36	186,54
Promedio		196,84	197,68	188,56
		194,36		

Fuente: Elaboración propia

3.3. MODELADO DE LA RED CON VISSIM

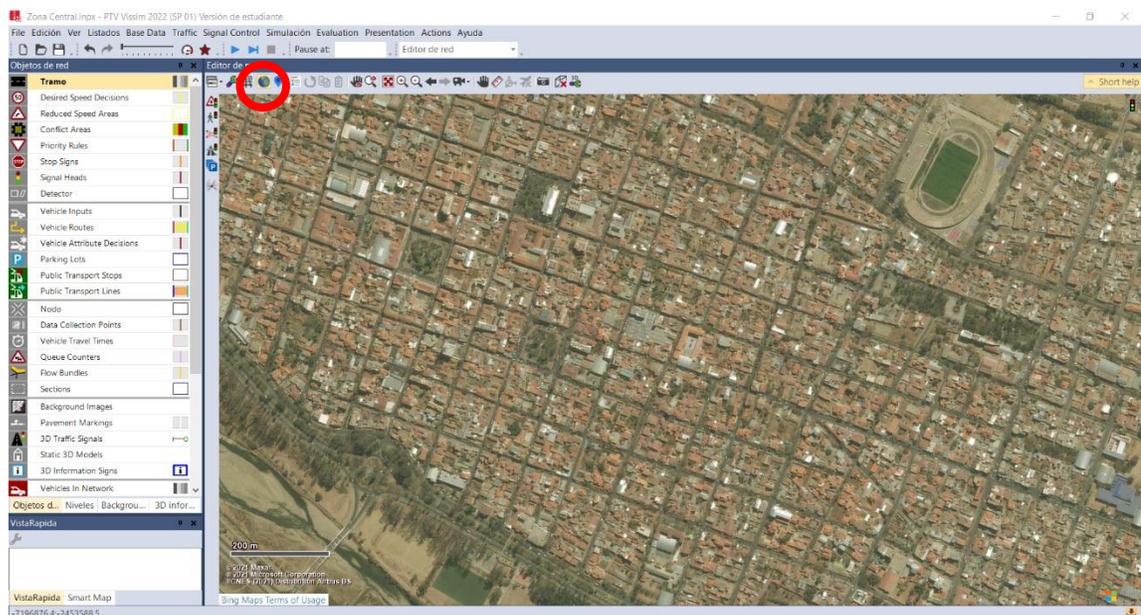
Después de obtener los datos de entrada necesario, se procede a modelar la red mediante el software Vissim. A continuación, se presenta los pasos necesarios para la creación del modelo.

3.3.1. Cargar imagen satelital

La imagen satelital es proporcionada por el programa, aunque también se puede cargar imágenes de Google Earth o Google Maps. Se selecciona la zona de estudio para luego crear la red vial conformada por intersecciones.

En la Figura 3.13 se puede observar la imagen satelital ya cargada y se resalta el botón para activar la visualización de la imagen.

Figura 3.13. Vista satelital



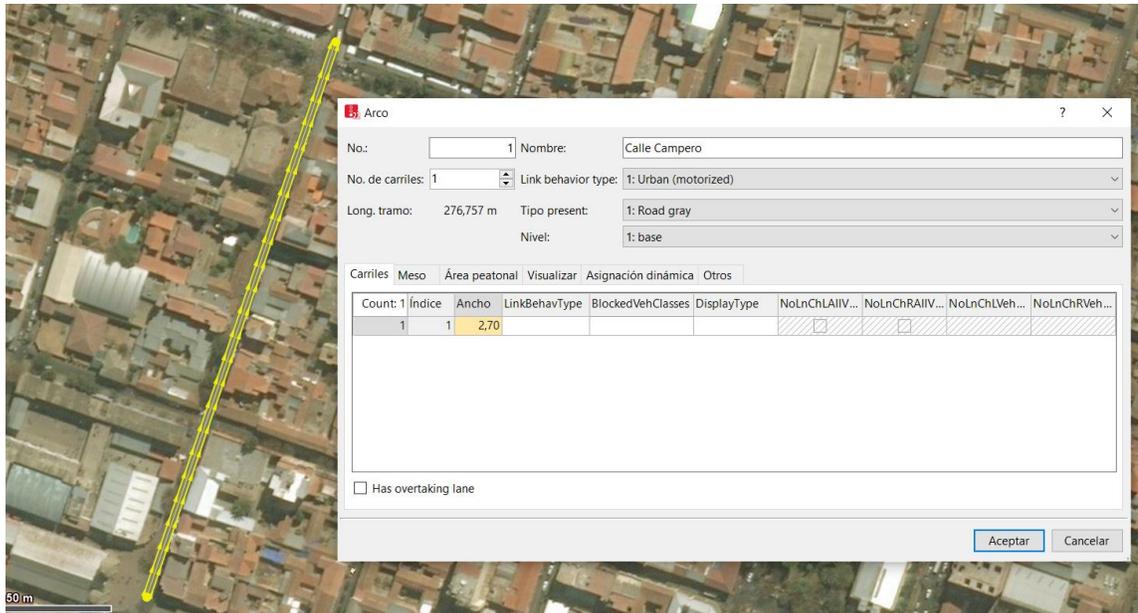
Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Creación de link y conectores

En el software Vissim a la creación de calles se los denomina como links o tramos. Para la creación de links se debe configurar el nombre de la calle, el número de carriles, el ancho de carril y se hay alguna restricción de circulación por el carril; el sentido de

circulación dependerá de los puntos de inicio y finalización. En la Figura 3.14 se puede observar la configuración de un link.

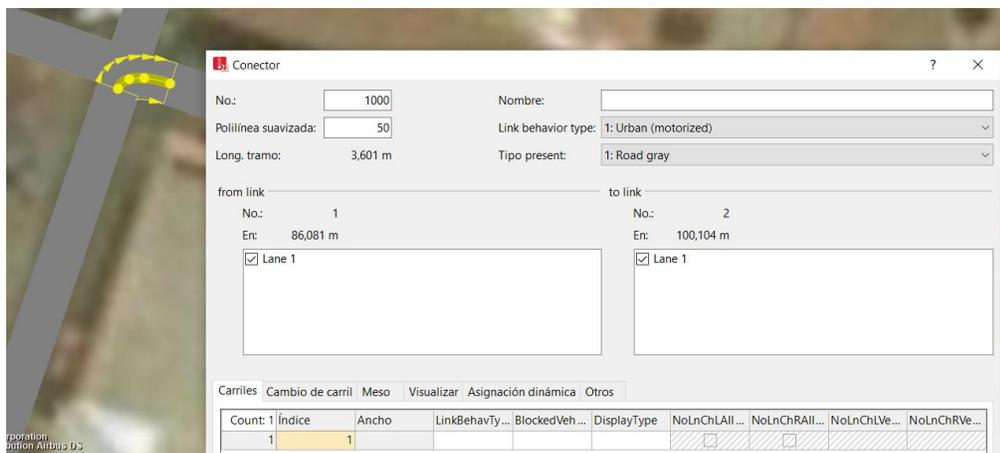
Figura 3.14. Creación de calle o enlaces



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. En la Figura 3.15 se puede ver la creación de un conector.

Figura 3.15. Creación de conectores

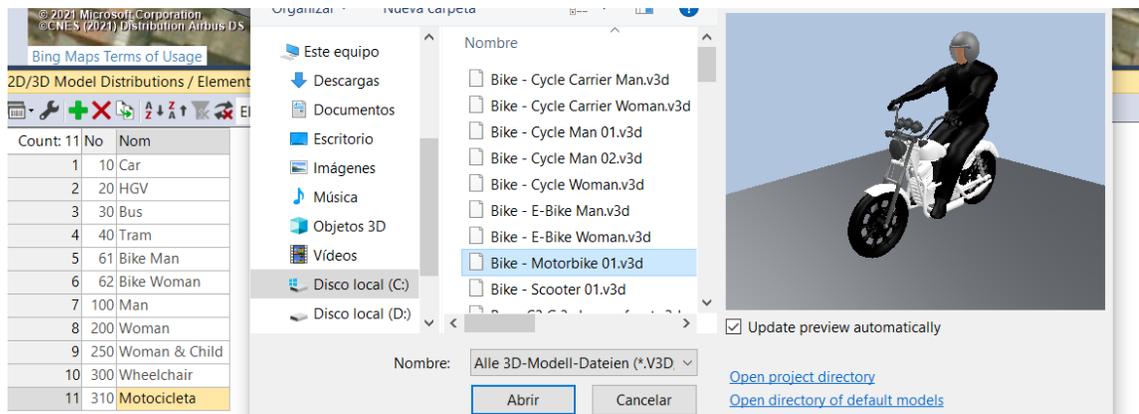


Fuente: Elaboración propia

3.3.3. 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.

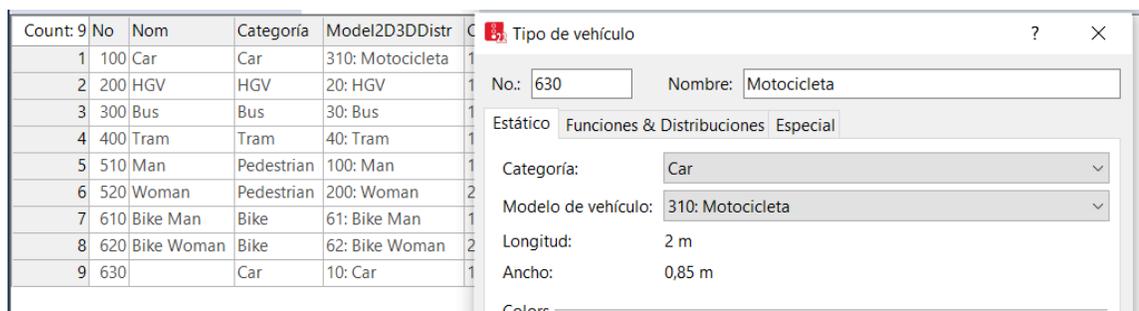
Figura 3.16. Inserción de vehículos



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se debe crear un apartado del tipo de vehículo que se extrajo de la base de datos indicando el modelo del vehículo. Esta creación permite el ordenamiento de vehículos de una forma más específica.

Figura 3.17. Características del vehículo



Fuente: Elaboración propia

Como último paso se crea un apartado de la clasificación del vehículo, que, a diferencia de la creación del tipo de vehículo, la creación de la clasificación del vehículo es una forma de ordenamiento más general.

Figura 3.18. Clasificación del vehículo

Count	No	Nom	VehTypes	UseVehTypeColor	Color
1	10	Car	100	<input checked="" type="checkbox"/>	(255, 0, 0)
2	20	HGV	200	<input checked="" type="checkbox"/>	(255, 0, 0)
3	30	Bus	300	<input checked="" type="checkbox"/>	(255, 0, 0)
4	40	Tram	400	<input checked="" type="checkbox"/>	(255, 0, 0)
5	50	Pedestrian	510,520	<input checked="" type="checkbox"/>	(255, 0, 0)
6	60	Bike	610,620	<input checked="" type="checkbox"/>	(255, 0, 0)
7	70	Motocicleta	630	<input checked="" type="checkbox"/>	(255, 0, 0)

Fuente: Elaboración propia

3.3.4. Ingreso de volúmenes de tráfico y composición vehicular

El ingreso de vehículos es un dato recolectado en los aforos. Este volumen se debe insertar al inicio de cada calle o enlace que sea un acceso a la red.

Figura 3.19. Entrada de volúmenes vehiculares

Count	No	Nom	Tramo	Volume(0-MAX)	VehComp(0-MAX)
1	282		3: Calle Oruro	282,0	4: Calle Oruro
2	421		8: Av. Belgrano (E-O)	421,0	8: Av. Belgrano (E-O)
3	488		2: Av. La Paz (S-N)	488,0	9: Av. La Paz (S-N)
4	510		5: Calle Ingavi	510,0	6: Calle Ingavi
5	527		4: Calle Bolivar	527,0	5: Calle Bolivar
6	588		1: Av. La Paz (N-S)	588,0	2: Av. La Paz (N-S)
7	645		10: Av. Potosi (E-O)	645,0	1: Av. Potosi (E-O)
8	699		7: Av. Belgrano (O-E)	699,0	7: Av. Belgrano (O-E)
9	875		11: Av. Potosi (O-E)	875,0	3: Av. Potosi (O-E)

Fuente: Elaboración propia

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

Figura 3.20. Velocidad de los vehículos

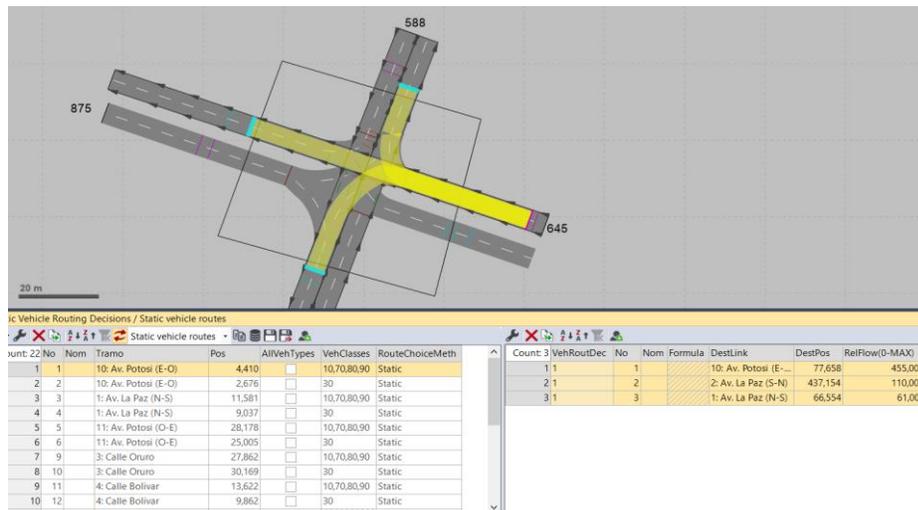
Count	VehType	DesSpeedDistr	RelFlow
1	100: car	12: 12 km/h	183,000
2	300: Bus	12: 12 km/h	18,000
3	630: Motocicleta	12: 12 km/h	177,000
4	640: taxi	12: 12 km/h	206,000
5	650: Camioneta	12: 12 km/h	61,000

Fuente: Elaboración propia

3.3.5. 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 3.21. Movimientos de circulación

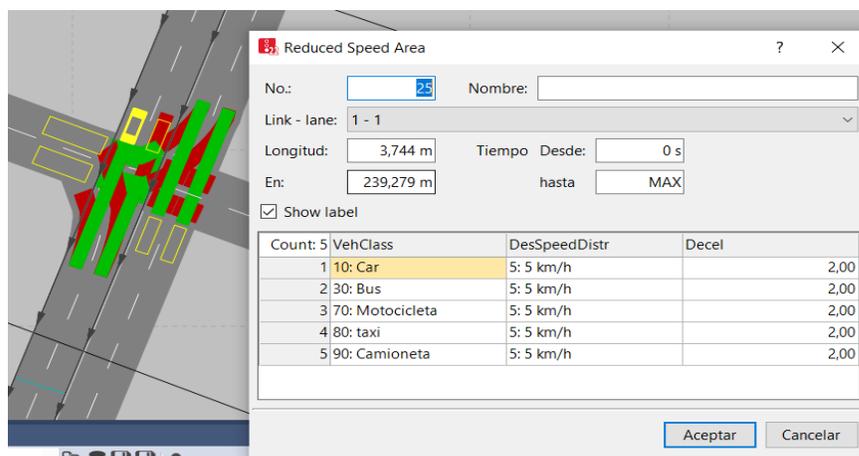


Fuente: Elaboración propia

3.3.6. Áreas de reducción de velocidad

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

Figura 3.22. Asignación de las áreas de reducción de velocidad



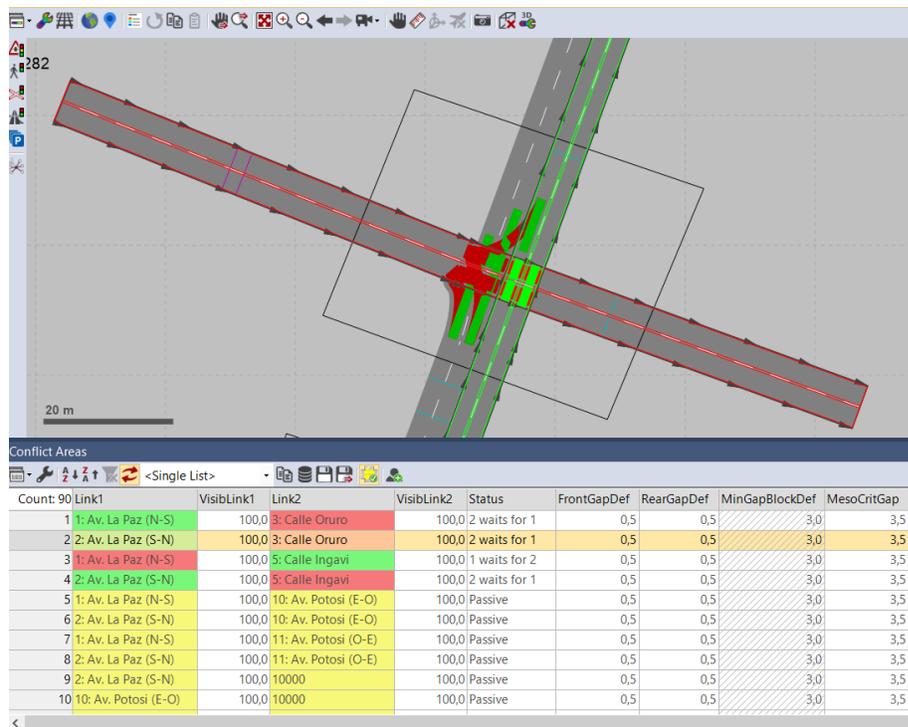
Fuente: Elaboración propia

3.3.7. Reglas de prioridad y zonas de conflicto

En las intersecciones existen 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 3.23. Reglas de prioridad y zonas de conflicto

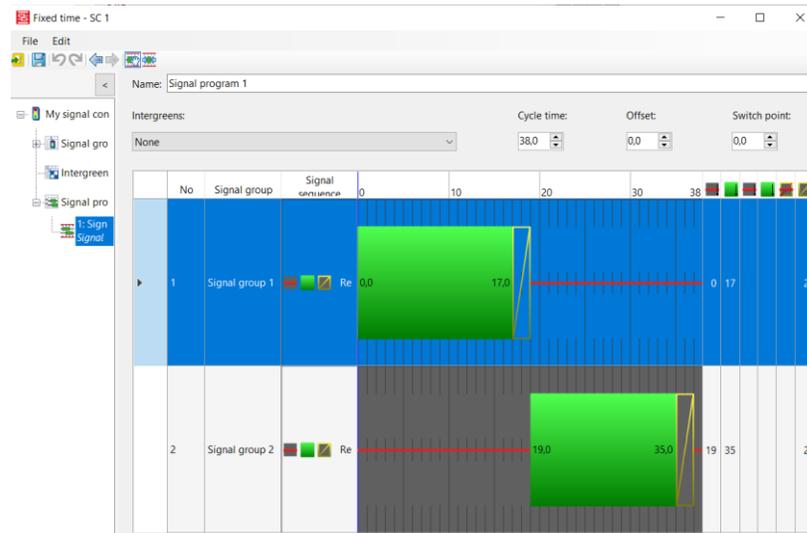


Fuente: Elaboración propia

3.3.8. SemafORIZACIÓN

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.

Figura 3.24. Asignación de los tiempos de fase



Fuente: Elaboración propia

3.4. CALIBRACIÓN DEL MODELO

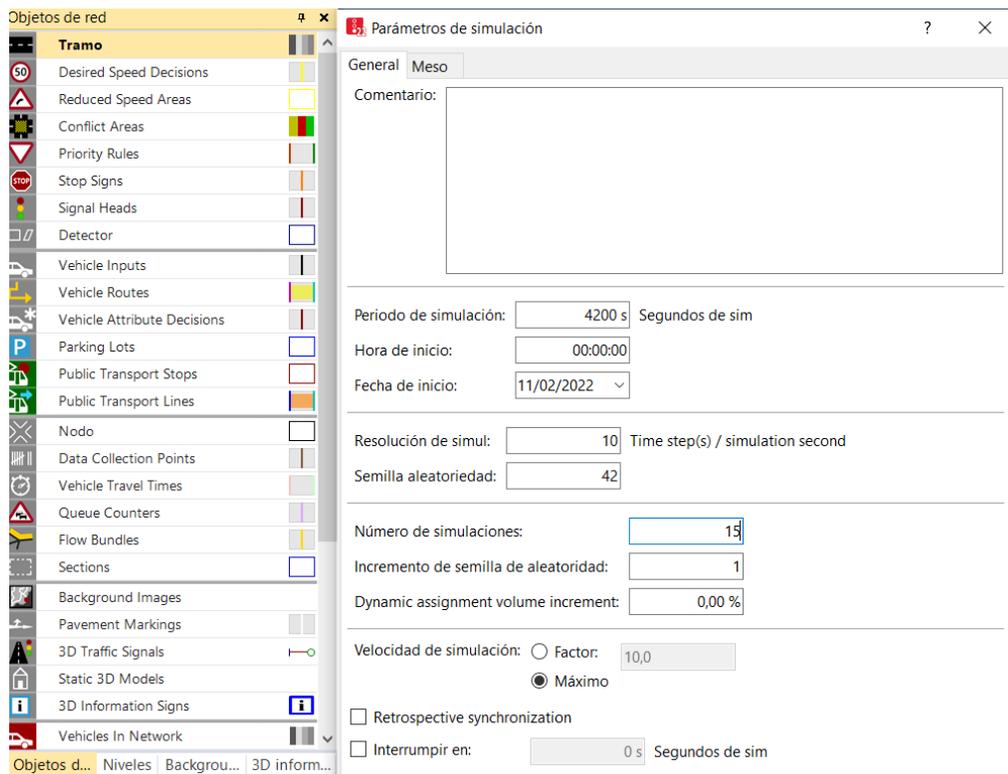
Con la calibración del modelo se quiere representar de la manera más precisa a la realidad el comportamiento del tráfico vehicular. Esto se logrará mediante la configuración de los parámetros de simulación y los parámetros del comportamiento de los conductores. El proceso de calibración es un proceso iterativo.

3.4.1. Parámetros de simulación

Los parámetros que se emplearon son los siguientes: número semilla, incremento del número semilla, número de corridas y el tiempo de simulación.

Para el presente trabajo se tomó como número 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 3.25. Configuración de los parámetros de simulación



Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Parámetros de los conductores

Se hace referencia a las decisiones y acciones que tiene cada conductor en la vía. El software Vissim opera con parámetros de seguimiento vehicular de Wiedemann 74, del modelo cambio de carril y el modelo del comportamiento lateral, estos parámetros se modifican para la calibración del modelo hasta conseguir resultados semejantes a los obtenidos en campo.

3.4.2.1. Calibración del indicador GEH

Para calibrar el modelo en la zona central como primer intento en la construcción del modelo se obtuvo los siguientes resultados mostrados en la Tabla 3.17 donde se tiene un 45% de movimientos bien calibrados. Aquellos resaltados en rojo son movimientos que deben ser ajustados.

Tabla 3.17. Comparación de volúmenes en campo y en Vissim (zona central)

Intersección	Acceso	Vissim			Campo			GEH ≤ 5		
		GI	GD	FR	GI	GD	FR	GI	GD	FR
1	Calle Domingo Paz	66	0	246	65	0	359	0,12	0,00	6,50
	Calle Campero	30	108	114	52	115	237	3,44	0,66	9,28
2	Calle Domingo Paz	0	108	216	0	92	326	0,00	1,60	6,68
	Calle Gral. Trigo	102	108	162	131	131	209	2,69	2,10	3,45
3	Calle Domingo Paz	48	0	240	114	0	341	7,33	0,00	5,93
	Calle Sucre	0	42	174	0	109	281	0,00	7,71	7,09
4	Calle Domingo Paz	0	24	240	0	96	356	0,00	9,30	6,72
	Calle Daniel Campos	90	0	282	86	0	260	0,43	0,00	1,34
5	Calle Domingo Paz	42	0	246	78	0	391	4,65	0,00	8,12
	Calle Colón	0	30	264	0	110	424	0,00	9,56	8,63
6	Calle Domingo Paz	0	60	204	0	119	322	0,00	6,24	7,28
	Calle Suipacha	126	0	294	177	0	342	4,14	0,00	2,69
7	Calle Bolivar	0	54	78	0	159	259	0,00	10,17	13,94
	Calle Campero	60	0	234	106	0	279	5,05	0,00	2,81
8	Calle Bolivar	24	0	120	55	0	276	4,93	0,00	11,09
	Calle Gral. Trigo	0	30	216	0	37	263	0,00	1,21	3,04
9	Calle Bolivar	0	66	114	0	112	211	0,00	4,88	7,61
	Calle Sucre	48	0	156	91	0	276	5,16	0,00	8,16
10	Calle Bolivar	18	0	138	92	0	295	9,98	0,00	10,67
	Calle Daniel Campos	0	54	246	0	115	310	0,00	6,64	3,84
11	Calle Bolivar	0	66	132	0	169	217	0,00	9,50	6,43
	Calle Colón	54	0	270	94	0	312	4,65	0,00	2,46
12	Calle Bolivar	54	0	174	95	0	249	4,75	0,00	5,16
	Calle Suipacha	0	72	264	0	105	438	0,00	3,51	9,29
13	Calle Ingavi	84	0	144	103	0	230	1,96	0,00	6,29
	Calle Campero	0	126	258	0	131	297	0,00	0,44	2,34
14	Calle Ingavi	0	60	168	0	105	302	0,00	4,95	8,74
	Calle Gral. Trigo	72	0	156	102	0	234	3,22	0,00	5,59
15	Calle Ingavi	72	0	150	114	0	265	4,36	0,00	7,98
	Calle Sucre	0	126	144	0	151	259	0,00	2,12	8,10
16	Calle Ingavi	0	24	228	0	94	310	0,00	9,11	5,00
	Calle Daniel Campos	108	0	144	137	0	241	2,62	0,00	6,99
17	Calle Ingavi	84	0	234	146	0	353	5,78	0,00	6,95
	Calle Colón	0	42	282	0	45	342	0,00	0,45	3,40
18	Calle Ingavi	0	78	174	0	86	329	0,00	0,88	9,77
	Calle Suipacha	72	0	216	124	0	402	5,25	0,00	10,58
19	Calle La Madrid	198	114	0	295	107	0	6,18	0,67	0,00
	Calle Campero	0	0	300	0	0	312	0,00	0,00	0,69
20	Calle La Madrid	0	0	192	0	0	323	0,00	0,00	8,16
	Calle Gral. Trigo	0	198	0	0	338	0	0,00	8,55	0,00
21	Calle La Madrid	0	90	108	0	136	215	0,00	4,33	8,42
	Calle Sucre	96	0	198	108	0	245	1,19	0,00	3,16
22	Calle La Madrid	54	0	198	63	0	231	1,18	0,00	2,25
	Calle Daniel Campos	0	12	132	0	73	291	0,00	9,36	10,93
23	Calle La Madrid	0	90	186	0	126	229	0,00	3,46	2,99
	Calle Colón	72	0	264	78	0	279	0,69	0,00	0,91
24	Calle La Madrid	84	0	282	86	0	259	0,22	0,00	1,40
	Calle Suipacha	0	18	216	0	62	315	0,00	6,96	6,08

Fuente: Elaboración propia

Para calibrar el modelo por medio del indicador GEH se realiza cambios en las reglas de prioridad de cada intersección, dando prioridad de paso a los movimientos mal calibrados.

Tabla 3.18. Calibración por medio del indicador GEH (zona central)

Intersección	Acceso	Vissim			Campo			GEH ≤ 5		
		GI	GD	FR	GI	GD	FR	GI	GD	FR
1	Calle Domingo Paz	36	0	288	65	0	359	4,08	0,00	3,95
	Calle Campero	36	72	144	52	115	237	2,41	4,45	6,74
2	Calle Domingo Paz	0	72	270	0	92	326	0,00	2,21	3,24
	Calle Gral. Trigo	108	96	162	131	131	209	2,10	3,29	3,45
3	Calle Domingo Paz	96	0	258	114	0	341	1,76	0,00	4,80
	Calle Sucre	0	72	180	0	109	281	0,00	3,89	6,65
4	Calle Domingo Paz	0	48	252	0	96	356	0,00	5,66	5,96
	Calle Daniel Campos	84	0	240	86	0	260	0,22	0,00	1,26
5	Calle Domingo Paz	48	0	246	78	0	391	3,78	0,00	8,12
	Calle Colón	0	66	246	0	110	424	0,00	4,69	9,73
6	Calle Domingo Paz	0	66	204	0	119	322	0,00	5,51	7,28
	Calle Suipacha	126	0	240	177	0	342	4,14	0,00	5,98
7	Calle Bolivar	0	54	90	0	159	259	0,00	10,17	12,79
	Calle Campero	96	0	228	106	0	279	1,00	0,00	3,20
8	Calle Bolivar	36	0	138	55	0	276	2,82	0,00	9,59
	Calle Gral. Trigo	0	30	198	0	37	263	0,00	1,21	4,28
9	Calle Bolivar	0	78	126	0	112	211	0,00	3,49	6,55
	Calle Sucre	60	0	204	91	0	276	3,57	0,00	4,65
10	Calle Bolivar	36	0	150	92	0	295	7,00	0,00	9,72
	Calle Daniel Campos	0	78	192	0	115	310	0,00	3,77	7,45
11	Calle Bolivar	0	90	120	0	169	217	0,00	6,94	7,47
	Calle Colón	84	0	270	94	0	312	1,06	0,00	2,46
12	Calle Bolivar	72	0	186	95	0	249	2,52	0,00	4,27
	Calle Suipacha	0	48	228	0	105	438	0,00	6,52	11,51
13	Calle Ingavi	84	0	198	103	0	230	1,96	0,00	2,19
	Calle Campero	0	96	180	0	131	297	0,00	3,29	7,58
14	Calle Ingavi	0	66	204	0	105	302	0,00	4,22	6,16
	Calle Gral. Trigo	90	0	204	102	0	234	1,22	0,00	2,03
15	Calle Ingavi	78	0	186	114	0	265	3,67	0,00	5,26
	Calle Sucre	0	108	180	0	151	259	0,00	3,78	5,33
16	Calle Ingavi	0	60	192	0	94	310	0,00	3,87	7,45
	Calle Daniel Campos	120	0	222	137	0	241	1,50	0,00	1,25
17	Calle Ingavi	84	0	204	146	0	353	5,78	0,00	8,93
	Calle Colón	0	42	282	0	45	342	0,00	0,45	3,40
18	Calle Ingavi	0	42	168	0	86	329	0,00	5,50	10,21
	Calle Suipacha	102	0	306	124	0	402	2,07	0,00	5,10
19	Calle La Madrid	306	90	0	295	107	0	0,63	1,71	0,00
	Calle Campero	0	0	168	0	0	312	0,00	0,00	9,30
20	Calle La Madrid	0	0	198	0	0	323	0,00	0,00	7,74
	Calle Gral. Trigo	0	246	0	0	338	0	0,00	5,38	0,00
21	Calle La Madrid	0	84	120	0	136	215	0,00	4,96	7,34
	Calle Sucre	102	0	222	108	0	245	0,59	0,00	1,51
22	Calle La Madrid	54	0	174	63	0	231	1,18	0,00	4,01
	Calle Daniel Campos	0	48	192	0	73	291	0,00	3,21	6,37
23	Calle La Madrid	0	108	168	0	126	229	0,00	1,66	4,33
	Calle Colón	72	0	258	78	0	279	0,69	0,00	1,28
24	Calle La Madrid	66	0	246	86	0	259	2,29	0,00	0,82
	Calle Suipacha	0	60	288	0	62	315	0,00	0,26	1,55

Fuente: Elaboración propia

Como resultado de la calibración se obtiene los resultados mostrados en la Tabla 3.18, donde el porcentaje de movimientos bien calibrados sube de 45% a 70%.

Para la zona de Villa Fátima, en primera instancia se tiene un 60 % de movimientos bien calibrados, como se aprecia en la Tabla 3.19.

Tabla 3.19. Comparación de volúmenes en campo y en Vissim (Villa Fátima)

Intersección	Acceso	Vissim			Campo			GEH ≤ 5		
		GI	GD	FR	GI	GD	FR	GI	GD	FR
1	Av. La Paz (N-S)	30	78	234	46	138	293	2,60	5,77	3,63
	Av. La Paz (S-N)	96	84	264	144	96	412	4,38	1,26	8,05
	Av. Potosí (E-O)	36	66	264	63	108	470	3,84	4,50	10,75
	Av. Potosí (O-E)	24	54	186	58	110	472	5,31	6,18	15,77
2	Av. La Paz (N-S)	42	0	264	83	0	468	5,19	0,00	10,66
	Av. La Paz (S-N)	0	72	468	0	116	620	0,00	4,54	6,52
	Calle Oruro	30	126	90	47	133	102	2,74	0,62	1,22
3	Av. La Paz (N-S)	0	66	300	0	108	493	0,00	4,50	9,69
	Av. La Paz (S-N)	66	0	378	94	0	614	3,13	0,00	10,60
	Calle Bolívar	108	138	162	132	151	187	2,19	1,08	1,89
4	Av. La Paz (N-S)	48	0	414	63	0	538	2,01	0,00	5,68
	Av. La Paz (S-N)	0	30	384	0	35	629	0,00	0,88	10,89
	Calle Ingavi	120	96	216	133	121	247	1,16	2,40	2,04
5	Av. La Paz (N-S)	0	120	384	0	204	487	0,00	6,60	4,94
	Av. La Paz (S-N)	138	0	444	172	0	582	2,73	0,00	6,09
	Calle La Madrid	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
6	Av. La Paz (N-S)	84	0	246	130	0	357	4,45	0,00	6,39
	Av. La Paz (S-N)	0	66	294	0	90	370	0,00	2,72	4,17
	Av. Belgrano (E-O)	84	246	0	104	317	0	2,06	4,23	0,00
	Av. Belgrano (O-E)	66	84	132	122	166	272	5,78	7,33	9,85

Fuente: Elaboración propia

Después de realizar un ajuste de las reglas de prioridad, se obtuvo un máximo de 75 % de movimientos bien calibrados, como se aprecia en la Tabla 3.20.

Tabla 3.20. Calibración por medio del indicador GEH (Villa Fátima)

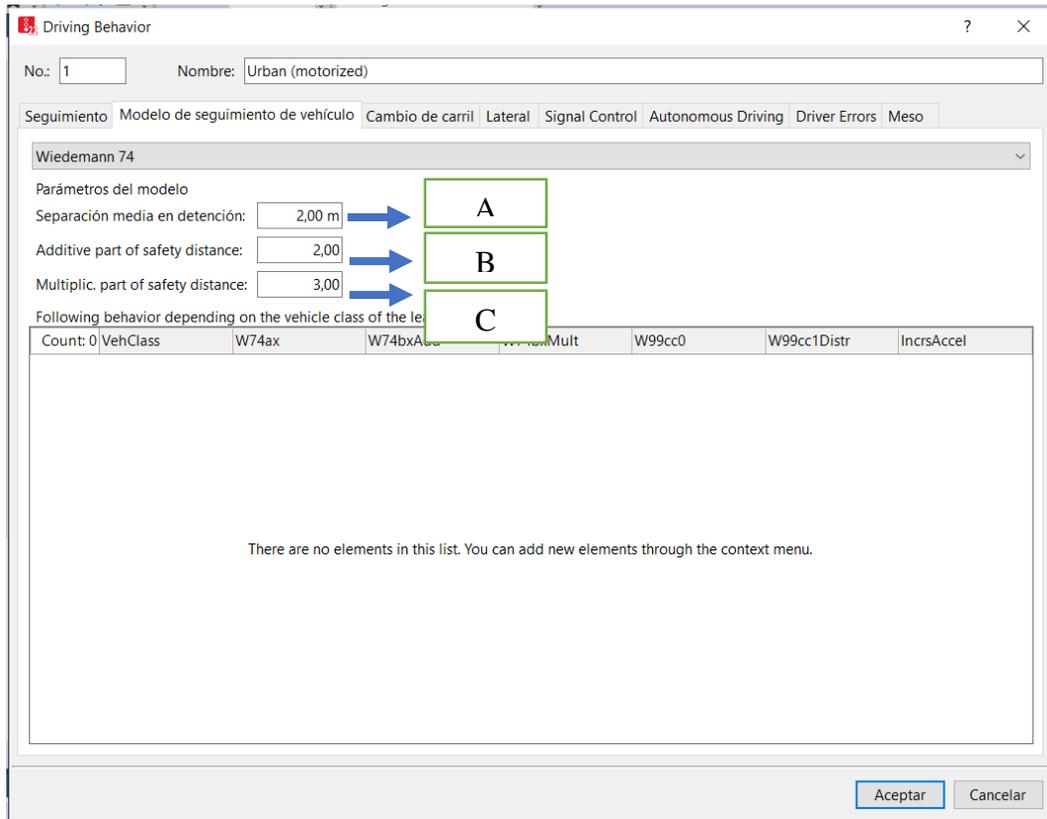
Intersección	Acceso	Vissim			Campo			GEH ≤ 5		
		GI	GD	FR	GI	GD	FR	GI	GD	FR
1	Av. La Paz (N-S)	35	147	273	46	138	293	1,73	0,75	1,19
	Av. La Paz (S-N)	133	70	238	144	96	412	0,93	2,85	9,65
	Av. Potosí (E-O)	42	63	287	63	108	470	2,90	4,87	9,41
	Av. Potosí (O-E)	63	63	252	58	110	472	0,64	5,05	11,56
2	Av. La Paz (N-S)	77	0	287	83	0	468	0,67	0,00	9,32
	Av. La Paz (S-N)	0	140	448	0	116	620	0,00	2,12	7,44
	Calle Oruro	49	91	161	47	133	102	0,29	3,97	5,15
3	Av. La Paz (N-S)	0	77	301	0	108	493	0,00	3,22	9,64
	Av. La Paz (S-N)	70	0	378	94	0	614	2,65	0,00	10,60
	Calle Bolívar	154	189	154	132	151	187	1,84	2,91	2,53
4	Av. La Paz (N-S)	49	0	518	63	0	538	1,87	0,00	0,87
	Av. La Paz (S-N)	0	42	595	0	35	629	0,00	1,13	1,37
	Calle Ingavi	112	77	182	133	121	247	1,90	4,42	4,44
5	Av. La Paz (N-S)	0	273	385	0	204	487	0,00	4,47	4,88
	Av. La Paz (S-N)	154	0	672	172	0	582	1,41	0,00	3,59
	Calle La Madrid	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
6	Av. La Paz (N-S)	63	0	238	130	0	357	6,82	0,00	6,90
	Av. La Paz (S-N)	0	49	399	0	90	370	0,00	4,92	1,48
	Av. Belgrano (E-O)	84	322	0	104	317	0	2,06	0,28	0,00
	Av. Belgrano (O-E)	119	98	133	122	166	272	0,27	5,92	9,77

Fuente: Elaboración propia

3.4.2.2. Calibración del tiempo de recorrido

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 2 y el múltiplo de la distancia de seguridad que tiene un valor de 3.

Figura 3.26. Calibración del modelo de seguimiento vehicular



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.

En la Tabla 3.21 se puede apreciar la variación de las tres variables hasta conseguir resultados similares a los medidos en campo en la zona de Villa Fátima. El intento con menor margen de error es, el intento 18, con error del 0 %.

En la Tabla 3.22 se puede apreciar que el intento con menor margen de error, para la zona central, es el intento 7 con un error del 0 %.

Tabla 3.21. Parámetros de calibración (Villa Fátima)

Intento	A	B	C	Vissim	Campo	Error
				Media (d=250m)		%
1	2	3	3	112,82	140,87	20%
2	2	2	2	148,66	140,87	6%
3	1	3	2	100,2	140,87	29%
4	1	5	2	105,3	140,87	25%
5	1	2	2	109,8	140,87	22%
6	1	4	3	120,3	140,87	15%
7	1	2	3	116,55	140,87	17%
8	1	2	4	113,57	140,87	19%
9	1	3	3	116,81	140,87	17%
10	1	3	4	122,01	140,87	13%
11	1	3	5	127,96	140,87	9%
12	1	3	6	148,75	140,87	6%
14	1	4	5	111,2	140,87	21%
15	1	5	5	185,23	140,87	31%
16	1	6	5	107,84	140,87	23%
17	1	5	6	115,43	140,87	18%
18	1	2	5	140,17	140,87	0%
19	1	1	5	113,23	140,87	20%
20	1	4	6	159,6	140,87	13%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.22. Parámetros de calibración (zona Central)

Intento	A	B	C	Vissim	Campo	Error
				Media (d=350 m)		%
1	2	3	3	114,65	194,36	41%
2	2	2	2	114,33	194,36	41%
3	1,5	1	2	105,21	194,36	46%
4	1,5	2	3	117,36	194,36	40%
5	1,5	3	4	109,32	194,36	44%
6	1,5	4	5	145,12	194,36	25%
7	1,5	2	6	194,42	194,36	0%
8	1	2	4	120,32	194,36	38%
9	1	3	3	160,21	194,36	18%
10	1	3	4	165,71	194,36	15%
11	1	3	5	186,69	194,36	4%
12	1	3	6	192,36	194,36	1%
14	1	4	5	184,25	194,36	5%
15	1	5	5	182,39	194,36	6%
16	1	6	5	202,21	194,36	4%
17	1	5	6	199,32	194,36	3%
18	1	2	5	131,23	194,36	32%
19	1	1	5	149,45	194,36	23%
20	1	4	6	169,74	194,36	13%

Fuente: Elaboración propia

3.5. VALIDACIÓN DEL MODELO

Como etapa final en la construcción del modelo, se realiza la validación mediante un análisis de simulación con un conjunto de datos nuevos. Para obtener los datos de entrada se realizó nuevos aforos en ambas zonas de estudio, se verifico los tiempos de fase de los semáforos y se midió el tiempo de recorrido en ambas zonas.

3.5.1. Validación del modelo en la zona de Villa Fátima

Para la zona de Villa Fátima los datos de entrada corresponden a los aforos realizados del 1/08/2022 al 12/08/2022, realizando cuatro días de aforos por cada intersección en las horas pico. En la Tabla 3.23 se puede ver los nuevos datos de entrada.

Tabla 3.23. Volumen de vehículos para la validación del modelo

Acceso	TIPO														
															
	GI	GD	FR	GI	GD	FR	GI	GD	FR	GI	GD	FR	GI	GD	FR
Av. La Paz (N-S)	11	25	56	13	26	69	18	68	119	12	18	25	0	0	12
Av. La Paz (S-N)	0	20	107	0	29	65	0	25	122	0	16	26	0	0	32
Av. Potosí (E-O)	16	43	120	16	37	134	24	24	168	12	12	43	0	0	20
Av. Potosí (O-E)	33	26	120	22	31	130	28	46	140	16	16	71	0	0	20
Calle Oruro	16	33	24	9	20	31	13	32	34	8	14	17	0	32	0
Calle Bolívar	17	30	43	44	36	54	55	56	59	14	10	16	0	0	8
Calle Ingavi	36	39	43	29	33	76	41	40	73	20	23	36	0	0	0
Av. Belgrano (E-O)	37	89	0	60	92	0	44	127	0	13	40	0	0	16	0
Av. Belgrano (O-E)	30	36	91	60	19	111	36	28	81	26	21	60	0	12	0

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.1. Validación según el indicador GEH

El modelo calibrado tenía un 75 % de movimientos bien calibrados, con los nuevos datos aforados se tiene un 71 % de movimientos bien calibrados, como se muestra en la Tabla 3.24, con los resultados obtenidos se demuestra que el modelo es válido.

Tabla 3.24. Validación del modelo en la zona de Villa Fátima

Intersección	Acceso	Vissim			Campo			GEH ≤ 5		
		GI	GD	FR	GI	GD	FR	GI	GD	FR
1	Av. La Paz (N-S)	42	126	273	54	137	281	1,73	0,96	0,48
	Av. La Paz (S-N)	112	70	308	148	103	416	3,16	3,55	5,68
	Av. Potosí (E-O)	49	77	343	68	116	485	2,48	3,97	6,98
	Av. Potosí (O-E)	49	56	245	99	119	481	5,81	6,73	12,39
2	Av. La Paz (N-S)	49	0	308	86	0	467	4,50	0,00	8,08
	Av. La Paz (S-N)	0	91	525	0	109	583	0,00	1,80	2,46
	Calle Oruro	42	154	112	46	131	106	0,60	1,93	0,57
3	Av. La Paz (N-S)	0	84	343	0	101	547	0,00	1,77	9,67
	Av. La Paz (S-N)	70	0	441	86	0	591	1,81	0,00	6,60
	Calle Bolívar	133	133	182	130	132	180	0,26	0,09	0,15
4	Av. La Paz (N-S)	63	0	511	64	0	542	0,13	0,00	1,35
	Av. La Paz (S-N)	0	21	462	0	40	640	0,00	3,44	7,58
	Calle Ingavi	126	105	182	126	135	228	0,00	2,74	3,21
5	Av. La Paz (N-S)	0	189	399	0	206	488	0,00	1,21	4,23
	Av. La Paz (S-N)	161	0	511	160	0	578	0,08	0,00	2,87
	Calle La Madrid	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
6	Av. La Paz (N-S)	91	0	231	153	0	394	5,61	0,00	9,22
	Av. La Paz (S-N)	0	77	329	0	90	352	0,00	1,42	1,25
	Av. Belgrano (E-O)	77	266	0	154	364	0	7,16	5,52	0,00
	Av. Belgrano (O-E)	98	105	224	152	116	343	4,83	1,05	7,07

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.2. Validación según el tiempo de recorrido

El tiempo de recorrido para la zona de Villa Fátima, para una distancia de 250 metros tiene un valor promedio de 139.61 segundos como se aprecia en la Tabla 3.25.

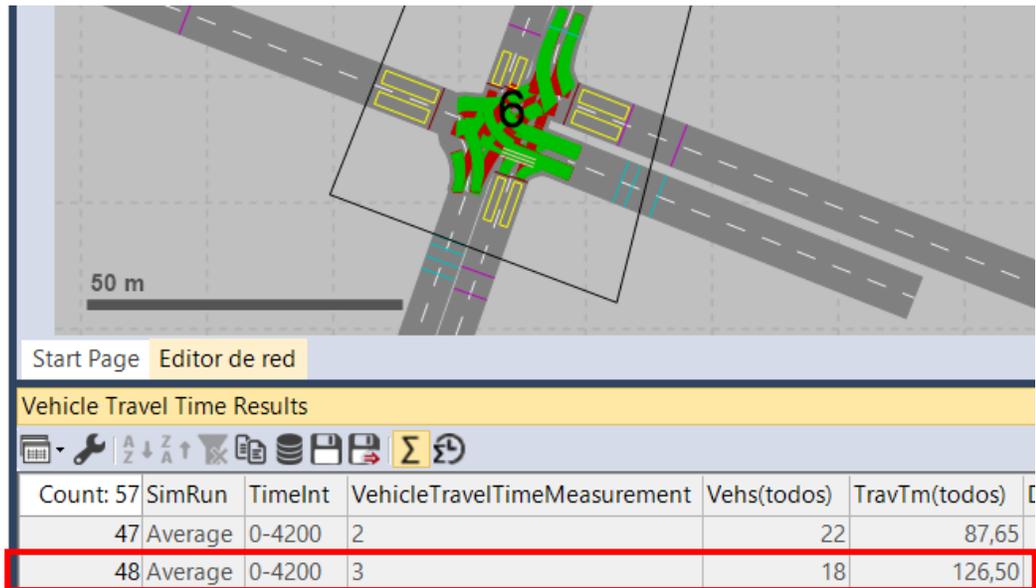
Tabla 3.25. Tiempo de recorrido para la validación del modelo

Av. La Paz (S-N)				
Nº	Distancia (m)	Tiempo (seg)		
		7:30-8:30	12:00-13:00	18:00-19:00
1	250	133,35	130,64	166,28
2	250	128,08	119,33	125,26
3	250	165,01	139,25	109,45
4	250	142,73	135,81	109,45
5	250	125,96	146,17	179,56
6	250	135,7	161,12	127,08
7	250	150,76	141,86	170,68
8	250	164,04	150,6	109,63
9	250	145,19	120,88	132,62
10	250	149,29	161,31	111,21
Promedio		144,01	140,70	134,12
		139,61		

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.27 se puede ver el tiempo de recorrido de 126.50 segundos, considerando que el tiempo medido en campo es de 139.61 segundos se tiene un margen de error menor al 10 %, dando como válido el modelo construido.

Figura 3.27. Tiempo de viaje que valida el modelo (Villa Fátima)



Fuente: Elaboración propia

$$error = \frac{139.61 - 126.50}{139.61} * 100 = 9.39\% < 10\% \text{ (Modelo validado)}$$

3.5.2. Validación del modelo en la zona Central

Para validar el modelo microscópico construido en la zona central, se realizó aforos partir del 15/08/2022 al 26/08/2022, se aforó cuatro días en cada intersección.

Los nuevos volúmenes que ingresan a la red se pueden observar en la Tabla 3.26

Tabla 3.26. Volumen de vehículos para la validación del modelo

Acceso	TIPO														
															
	GI	GD	FR	GI	GD	FR	GI	GD	FR	GI	GD	FR	GI	GD	FR
Calle Domingo Paz	14	0	78	17	0	52	27	0	128	7	0	30	0	0	71
Calle Bolívar	17	0	47	30	0	35	27	0	86	21	0	31	0	0	50
Calle Ingavi	33	0	52	21	0	77	25	0	94	9	0	40	0	0	14
Calle La Madrid	20	0	60	21	0	53	28	0	88	17	0	29	0	0	29
Calle Campero	12	0	55	27	0	48	23	0	67	11	0	26	0	0	56
Calle Gral. Trigo	46	47	69	35	37	39	39	22	62	11	9	20	0	16	19
Calle Sucre	40	0	44	30	0	59	28	0	101	10	0	29	0	0	0
Calle Daniel Campos	21	0	65	26	0	59	29	0	96	10	0	23	0	0	17
Calle Colon	23	0	81	23	0	65	20	0	86	11	0	36	1	0	11
Calle Suipacha	26	0	90	48	0	58	49	0	107	54	0	75	0	0	12

Fuente: Elaboración propia

3.5.2.1. Validación según el indicador GEH

En un principio el modelo contaba con un 70% de movimiento bien calibrados como se aprecia en la Tabla 3.18, con los nuevos datos introducidos al programa se obtuvo un 65% de acierto como se puede ver en la Tabla 3.27, dando como valido el modelo construido.

Tabla 3.27. Indicador GEH validando el modelo

Intersección	Acceso	Vissim			Campo			GEH ≤ 5		
		GI	GD	FR	GI	GD	FR	GI	GD	FR
1	Calle Domingo Paz	42	0	264	78	0	392	4,65	0,00	7,07
	Calle Campero	30	72	138	56	109	240	3,98	3,92	7,42
2	Calle Domingo Paz	0	72	264	0	92	327	0,00	2,21	3,66
	Calle Gral. Trigo	102	96	156	130	126	201	2,63	2,84	3,34
3	Calle Domingo Paz	96	0	252	123	0	329	2,58	0,00	4,52
	Calle Sucre	0	72	174	0	106	280	0,00	3,56	7,04
4	Calle Domingo Paz	0	48	246	0	99	358	0,00	5,95	6,44
	Calle Daniel Campos	78	0	228	87	0	261	1,03	0,00	2,13
5	Calle Domingo Paz	48	0	234	82	0	373	4,22	0,00	7,98
	Calle Colón	0	66	240	0	110	452	0,00	4,66	11,39
6	Calle Domingo Paz	0	60	198	0	122	334	0,00	6,50	8,34
	Calle Suipacha	120	0	216	177	0	350	4,67	0,00	7,99
7	Calle Bolivar	0	54	84	0	157	257	0,00	10,03	13,25
	Calle Campero	90	0	216	92	0	287	0,24	0,00	4,49
8	Calle Bolivar	36	0	132	64	0	276	3,93	0,00	10,06
	Calle Gral. Trigo	0	30	192	0	40	263	0,00	1,66	4,68
9	Calle Bolivar	0	90	120	0	123	209	0,00	3,20	6,94
	Calle Sucre	54	0	192	79	0	274	3,02	0,00	5,40
10	Calle Bolivar	36	0	144	101	0	284	7,85	0,00	9,57
	Calle Daniel Campos	0	72	186	0	125	326	0,00	5,33	8,74
11	Calle Bolivar	0	90	114	0	208	209	0,00	9,67	7,48
	Calle Colón	84	0	264	90	0	324	0,68	0,00	3,49
12	Calle Bolivar	66	0	174	86	0	238	2,29	0,00	4,46
	Calle Suipacha	0	48	216	0	103	427	0,00	6,34	11,78
13	Calle Ingavi	84	0	204	89	0	276	0,55	0,00	4,63
	Calle Campero	0	90	186	0	113	268	0,00	2,25	5,44
14	Calle Ingavi	0	60	222	0	97	296	0,00	4,14	4,60
	Calle Gral. Trigo	90	0	192	105	0	231	1,49	0,00	2,71
15	Calle Ingavi	72	0	186	106	0	275	3,60	0,00	5,86
	Calle Sucre	0	102	168	0	148	259	0,00	4,15	6,22
16	Calle Ingavi	0	60	186	0	99	303	0,00	4,37	7,48
	Calle Daniel Campos	120	0	210	169	0	250	4,06	0,00	2,62
17	Calle Ingavi	84	0	198	165	0	388	7,26	0,00	11,10
	Calle Colón	0	42	276	0	47	355	0,00	0,68	4,45
18	Calle Ingavi	0	42	156	0	95	337	0,00	6,40	11,53
	Calle Suipacha	90	0	282	120	0	416	2,90	0,00	7,17
19	Calle La Madrid	114	90	0	184	130	0	5,76	3,80	0,00
	Calle Campero	42	0	222	73	0	252	4,10	0,00	1,92
20	Calle La Madrid	84	0	114	166	0	248	7,33	0,00	9,95
	Calle Gral. Trigo	0	54	186	0	79	284	0,00	3,10	6,40
21	Calle La Madrid	0	84	150	0	135	209	0,00	4,87	4,39
	Calle Sucre	102	0	210	107	0	233	0,52	0,00	1,54
22	Calle La Madrid	54	0	192	79	0	252	3,03	0,00	4,01
	Calle Daniel Campos	0	42	186	0	92	317	0,00	6,11	8,26
23	Calle La Madrid	0	108	162	0	135	243	0,00	2,45	5,69
	Calle Colón	72	0	252	82	0	276	1,17	0,00	1,50
24	Calle La Madrid	66	0	240	88	0	255	2,51	0,00	0,95
	Calle Suipacha	0	54	270	0	57	295	0,00	0,45	1,49

Fuente: Elaboración propia

3.5.2.2. Validación según el tiempo de recorrido

El tiempo de recorrido medido en campo en las horas pico tiene como promedio 144.61 segundos como se observa en la Tabla 3.28, mientras que en el modelo creado se tiene 132.23 segundos como se aprecia en la Figura 3.28. Con los datos obtenidos en campo y con el programa, se puede afirmar que el modelo es válido.

Tabla 3.28. Tiempo de recorrido para la validación del modelo

Calle Ingavi				
Nº	Distancia (m)	Tiempo (seg)		
		7:30-8:30	12:00-13:00	18:00-19:00
1	350	189,25	189,66	177,69
2	350	205,27	171,99	194,69
3	350	220,61	183,18	190,88
4	350	165,85	186,51	166,71
5	350	179,67	148,24	189,07
6	350	165,51	187,69	185,74
7	350	146,49	191,78	202,36
8	350	185,52	201,21	153,45
9	350	167,12	177,74	154,00
10	350	158,08	166,32	186,24
Promedio		178,34	180,43	180,08
		179,62		

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.28. Tiempo de recorrido según Vissim

Vehicle Travel Time Results					
Count	SimRun	TimeInt	VehicleTravelTimeMeasurement	Vehs(todos)	TravTm(todos)
10	10	0-4200	1	6	168,81
11	11	0-4200	1	14	169,09
12	12	0-4200	1	10	158,64
13	13	0-4200	1	9	157,65
14	14	0-4200	1	7	151,83
15	15	0-4200	1	14	176,47
16	Average	0-4200	1	9	170,68

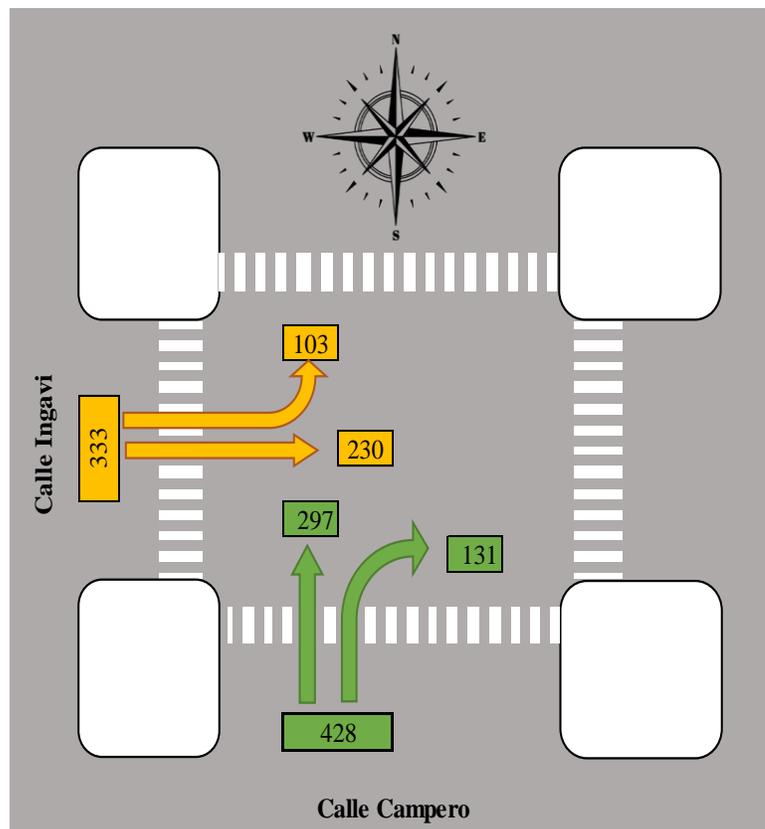
Fuente: Elaboración propia

$$error = \frac{179.62 - 170.68}{179.62} * 100 = 4.98\% < 10\% \text{ (Modelo validado)}$$

3.6. 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 Campero e Ingavi; cuenta con dos accesos, cada acceso tiene un carril de circulación que comparte los movimientos.

Figura 3.29. Distribución vehicular en la intersección N.º 13 (zona central)



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 Ingavi se tiene un carril y dos movimientos; vuelta a la izquierda y movimiento de frente.
- Para el acceso de la calle Campero 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 Ingavi 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 Campero 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 2.3.

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

Para el acceso de la calle Ingavi se tiene:

$$v_{FR} = \frac{230}{0.90} = 256 \text{ veh/hra}$$

$$v_{GI} = \frac{103}{0.90} = 114 \text{ veh/hra}$$

Para el acceso de la calle Campero se tiene:

$$v_{FR} = \frac{297}{0.90} = 330 \text{ veh/hra}$$

$$v_{GD} = \frac{131}{0.90} = 146 \text{ veh/hra}$$

Paso 3. Tasa de flujo ajustado por grupo de carriles

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

Para el acceso de la calle Ingavi:

$$v_{f,GI-FR} = 114 + 256 = 370 \text{ veh/hra}$$

Para el acceso de la calle Campero:

$$v_{f,GD-FR} = 330 + 146 = 476 \text{ veh/hra}$$

Paso 4. Tasa de flujo de saturación ajustada

Para la obtención de este paso se utiliza la ecuación 2.4, 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 Ingavi:

- **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.

Figura 3.30. 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 2.4, 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 2.5 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 ecuación 2.7 de la siguiente manera:

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

Para el número de maniobras N_m se tiene un valor de 13

$$f_p = \frac{1 - 0.1 - \frac{18 * 10}{3600}}{1} = 0.84 \geq 0.05$$

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

Según la ecuación 2.8 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 26

$$f_{bb} = \frac{1 - \frac{14.4 * 26}{3600}}{1} = 0.90 \geq 0.050$$

- **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 2.10, 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:

$$P_L = \frac{v_{GI}}{v_{GI} + v_{GD}} = \frac{114}{114 + 256} = 0.31$$

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:

$$f_L = \frac{1}{1 + 0.05 * 0.31} = 0.98$$

- **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 2.4.

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

$$S_i = 1900 * 1 * 0.96 * 1 * 1 * 0.84 * 0.9 * 0.9 * 1 * 0.98 * 1 * 1 * 1 = 1209 \text{ veh/hra}$$

Para el acceso de la calle Campero:

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

De la misma manera que en el acceso de la calle Ingavi.

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

- **Ajuste por ancho de carril f_w**

De acuerdo con la Tabla 2.4, 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 ecuación 2.7 de la siguiente manera:

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

Para el número de maniobras N_m se tiene un valor de 10

$$f_p = \frac{1 - 0.1 - \frac{18 * 10}{3600}}{1} = 0.85 \geq 0.05$$

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

Según la ecuación 2.8 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 34.

$$f_{bb} = \frac{1 - \frac{14.4 * 34}{3600}}{1} = 0.86 \geq 0.050$$

- **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 2.11. $f_R = 1 - 0.15 * P_R$

$$f_R = 1 - 0.15 * \frac{146}{146 + 330} = 0.95$$

Según la ecuación 2.4.

$$s_i = 1900 * 1 * 0.96 * 1 * 1 * 0.85 * 0.86 * 0.9 * 1 * 1 * 0.95 * 1 * 1 = 1150 \text{ veh/hra}$$

Paso 5. Proporción de llegadas durante el verde

Según la ecuación 2.12, se tiene:

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

El tiempo de verde efectivo g_i tiene un valor de 15 y 19 segundos para la calle Ingavi y Campero, respectivamente.

$$P_{(Ingavi)} = 0.33 * \frac{15}{40} = 0.12$$

$$P_{(Campero)} = 0.33 * \frac{19}{40} = 0.16$$

Paso 6. Capacidad y relación volumen-capacidad

Para calcular la capacidad del grupo de carriles se utiliza la ecuación 2.13.

$$c_{(Ingavi)} = s_i * \left(\frac{g_i}{C}\right) = 1209 * \frac{15}{40} = 453 \text{ veh/hra}$$

$$c_{(Campero)} = s_i * \left(\frac{g_i}{C}\right) = 1150 * \frac{19}{40} = 546 \text{ veh/hra}$$

Para determinar la relación de volumen capacidad se utiliza la ecuación 2.14.

$$X_{(Ingavi)} = \frac{v_i}{c_i} = \frac{370}{453} = 0.82$$

$$X_{(Campero)} = \frac{v_i}{c_i} = \frac{476}{546} = 0.87$$

Paso 7. Tiempo de demoras

Demora uniforme

Según la ecuación 2.17.

$$d_{1(Ingavi)} = \frac{0.5 * C * \left(1 - \frac{g_i}{C}\right)^2}{1 - \left(\min(1, X_i) * \frac{g_i}{C}\right)} = \frac{0.5 * 40 * \left(1 - \frac{15}{40}\right)^2}{1 - \left(0.82 * \frac{15}{40}\right)} = 11.26 \text{ seg}$$

$$d_{1(Campero)} = \frac{0.5 * C * \left(1 - \frac{g_i}{C}\right)^2}{1 - \left(\min(1, X_i) * \frac{g_i}{C}\right)} = \frac{0.5 * 40 * \left(1 - \frac{19}{40}\right)^2}{1 - \left(0.87 * \frac{19}{40}\right)} = 9.41 \text{ seg}$$

Factor de ajuste por coordinación

Según la ecuación 2.16.

$$PF_{(Ingavi)} = \frac{(1 - P_i) * f_{PA}}{1 - \left(\frac{g_i}{C}\right)} = \frac{(1 - 0.32) * 1}{1 - \frac{15}{40}} = 1.40$$

$$PF_{(Campero)} = \frac{(1 - P_i) * f_{PA}}{1 - \left(\frac{g_i}{C}\right)} = \frac{(1 - 0.12) * 1}{1 - \frac{19}{40}} = 1.61$$

Demora incremental

Según la ecuación 2.18.

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

$$d_{2(Ingavi)} = 900 * 0.25 \left((0.82 - 1) + \sqrt{(0.82 - 1)^2 + \frac{8 * 0.5 * 1 * 0.82}{453 * 0.25}} \right) = 8.07 \text{ seg}$$

$$d_{2(Campero)} = 900 * 0.25 * \left((0.87 - 1) + \sqrt{(0.87 - 1)^2 + \frac{8 * 0.5 * 0.81 * 87}{546 * 0.25}} \right)$$

$$d_{2(Campero)} = 7.98 \text{ seg}$$

Demora media

Según la ecuación 2.15.

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

$$d_{(Ingavi)} = 11.26 * (1.40) + 8.07 = 23.86 \text{ seg}$$

$$d_{(Campero)} = 9.41 * (1.61) + 7.98 = 23.09 \text{ seg}$$

Demoras agregadas

De la ecuación 2.20.

$$d_{A(Ingavi)} = \frac{\sum_{i=1}^A (d_i v_i)}{\sum_{i=1}^A v_i} = \frac{23.86 * 370}{370} = 23.86 \text{ seg}$$

$$d_{A(Campero)} = \frac{\sum_{i=1}^A (d_i v_i)}{\sum_{i=1}^A v_i} = \frac{23.09 * 476}{476} = 23.09 \text{ seg}$$

Para determinar la demora en la intersección se utiliza la ecuación 2.21.

$$d_I = \frac{\sum_{i=1}^I (d_A v_A)}{\sum_{i=1}^I v_A} = \frac{23.86 * 370 + 23.09 * 476}{370 + 476} = 23.42 \text{ seg}$$

Paso 8. Obtención del Nivel de servicio

Para obtener el nivel deservicio en los accesos y en la intersección se utiliza la Tabla 2.2.

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

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

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

CAPÍTULO IV
RESULTADOS

CAPÍTULO IV

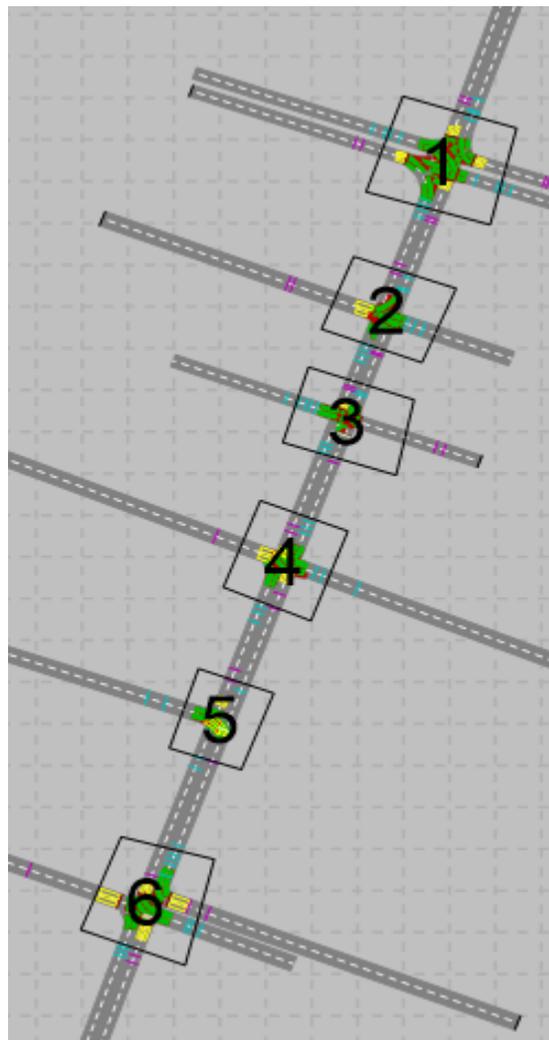
RESULTADOS

4.1. NIVEL DE SERVICIO EN INTERSECCIONES

4.1.1. Resultados del modelo microscópico calibrado y el validado

Con el modelo ya calibrado y validado se obtuvieron los siguientes resultados del nivel de servicio en cada intersección para las dos zonas de estudio.

Figura 4.1. Modelo construido en la zona de Villa Fátima



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.1. Resultados del modelo calibrado en la zona de Villa Fátima

Intersección	Acceso	Total Vehiculos			Demora promedio			Nivel de servicio			Intersección
		GI	GD	FR	GI	GD	FR	GI	GD	FR	
1	Av. La Paz (N-S)	42	72	234	77,0	50,9	51,5	F	E	E	E
	Av. La Paz (S-N)	48	54	198	85,7	45,2	62,3	E	D	D	
	Av. Potosí (E-O)	48	54	180	110,3	82,6	90,1	F	F	F	
	Av. Potosí (O-E)	48	48	180	108,3	93,2	99,2	F	F	F	
2	Av. La Paz (N-S)	24	0	282	14,6	0,0	16,6	D		B	C
	Av. La Paz (S-N)	0	30	330	0,0	11,3	18,8		A	C	
	Calle Oruro	12	120	90	34,9	36,0	25,3	C	E	C	
3	Av. La Paz (N-S)	0	66	306	0,0	27,6	24,5		C	C	C
	Av. La Paz (S-N)	36	0	312	34,6	0,0	24,1	B		C	
	Calle Bolívar	66	96	114	24,2	25,7	27,2	A	C	C	
4	Av. La Paz (N-S)	42	0	264	39,6	0,0	14,0	F		D	C
	Av. La Paz (S-N)	0	24	324	0,0	8,7	13,6		D	B	
	Calle Ingavi	78	60	162	62,9	58,1	63,8	F	F	F	
5	Av. La Paz (N-S)	0	66	234	0,0	2,8	2,5		A	A	B
	Av. La Paz (S-N)	96	0	396	51,7	0,0	32,5	C		B	
	Calle La Madrid	0	0	0	0,0	0,0	0,0				
6	Av. La Paz (N-S)	48	0	168	13,5	0,0	16,0	B		B	E
	Av. La Paz (S-N)	0	72	270	0,0	55,8	71,7		D	D	
	Av. Belgrano (E-O)	108	216	0	60,5	69,7	0,0	D	D		
	Av. Belgrano (O-E)	84	72	114	113,9	93,7	102,5	F	F	F	

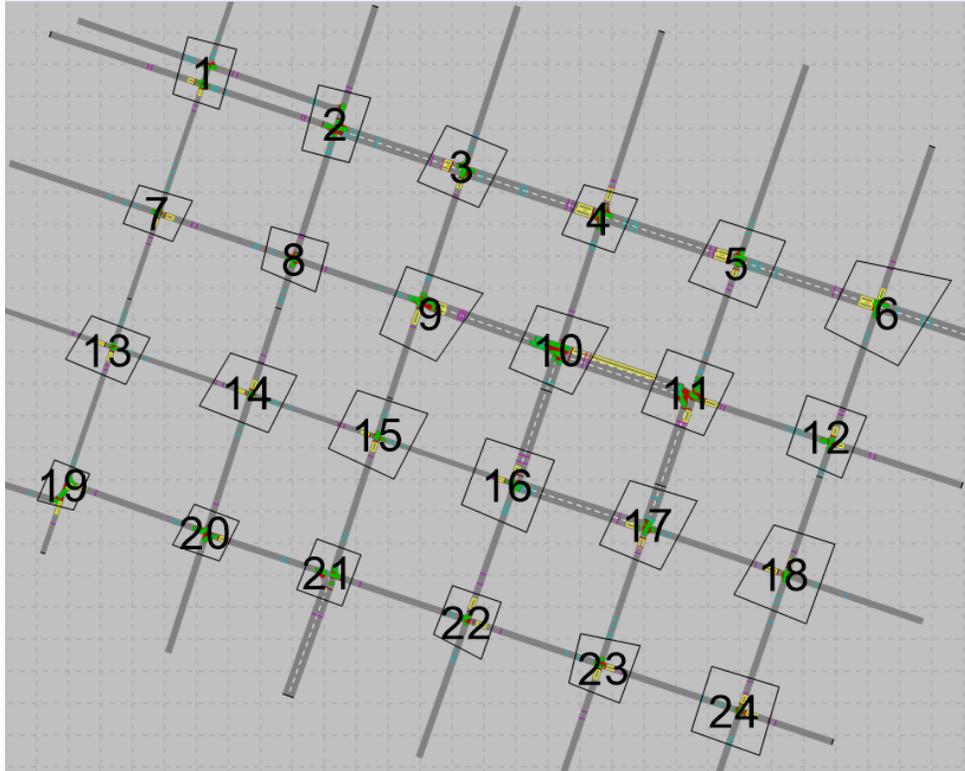
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.2. Resultados del modelo validado en la zona de Villa Fátima

Intersección	Acceso	Total Vehiculos			Demora promedio			Nivel de servicio			Intersección
		GI	GD	FR	GI	GD	FR	GI	GD	FR	
1	Av. La Paz (N-S)	42	126	273	29,8	28,2	30,1	C	C	C	D
	Av. La Paz (S-N)	112	70	308	26,3	28,2	25,6	C	C	C	
	Av. Potosí (E-O)	49	77	343	67,9	69,7	86,6	E	E	F	
	Av. Potosí (O-E)	49	56	245	86,7	85,8	84,4	F	F	F	
2	Av. La Paz (N-S)	49	0	308	18,3		12,8	B		B	C
	Av. La Paz (S-N)	0	91	525		5,7	29,5		A	C	
	Calle Oruro	42	154	112	27,1	24,3	16,0	C	C	B	
3	Av. La Paz (N-S)	0	84	343		24,0	22,1		C	C	C
	Av. La Paz (S-N)	70	0	441	30,8		23,9	C		C	
	Calle Bolívar	133	133	182	12,4	11,3	11,5	B	B	B	
4	Av. La Paz (N-S)	63	0	511	11,4		29,3	B		C	C
	Av. La Paz (S-N)	0	21	462		30,2	32,3		C	C	
	Calle Ingavi	126	105	182	44,6	40,4	52,5	D	D	D	
5	Av. La Paz (N-S)	0	189	399		18,0	19,5		B	B	B
	Av. La Paz (S-N)	161	0	511	14,1		11,2	B		B	
	Calle La Madrid	0	0	0							
6	Av. La Paz (N-S)	91	0	231	60,4		49,6	E		D	E
	Av. La Paz (S-N)	0	77	329		32,1	32,1		C	C	
	Av. Belgrano (E-O)	77	266	0	102,0	87,5		F	F		
	Av. Belgrano (O-E)	98	105	224	87,8	82,3	65,7	F	F	E	

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2. Modelo construido en la zona central



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.3. Resultados del modelo calibrado en la zona central

Intersección	Acceso	Vol. Vehículos			Demora promedio			Nivel de servicio			Intersección
		GI	GD	FR	GI	GD	FR	GI	GD	FR	
1	Calle Domingo Paz	36	0	288	32,8		30,8	C		C	C
	Calle Campero	36	72	144	27,3	24,8	27,1	C	C	C	
2	Calle Domingo Paz	0	72	270		23,4	21,4		C	C	C
	Calle Gral. Trigo	108	96	162	26,1	18,1	26,5	C	B	C	
3	Calle Domingo Paz	96	0	258	13,5		8,0	B		A	B
	Calle Sucre	0	72	180		27,8	27,9		C	C	
4	Calle Domingo Paz	0	48	252		16,9	11,2		B	B	B
	Calle Daniel Campos	84	0	240	21,5		23,2	C		C	
5	Calle Domingo Paz	48	0	246	16,4		12,0	B		B	C
	Calle Colón	0	66	246		28,7	28,8		C	C	
6	Calle Domingo Paz	0	66	204		24,2	13,0		C	B	C
	Calle Suipacha	126	0	240	20,8		21,3	C		C	
7	Calle Bolívar	0	54	90		11,4	13,3		B	B	B
	Calle Campero	96	0	228	21,6		22,7	C		C	
8	Calle Bolívar	36	0	138	13,8		14,0	B		B	B
	Calle Gral. Trigo	0	30	198		11,8	12,9		B	B	
9	Calle Bolívar	0	78	126		9,8	13,0		A	B	C
	Calle Sucre	60	0	204	37,0		35,7	D		D	
10	Calle Bolívar	36	0	150	7,7		8,6	A		A	B
	Calle Daniel Campos	0	78	192		16,6	16,0		B	B	
11	Calle Bolívar	0	90	120		24,2	20,6		C	C	C
	Calle Colón	84	0	270	18,1		25,4	B		C	
12	Calle Bolívar	72	0	186	25,3		24,3	C		C	C
	Calle Suipacha	0	48	228		35,2	34,6		D	C	
13	Calle Ingavi	84	0	198	14,9		14,3	B		B	B
	Calle Campero	0	96	180		10,3	10,0		B	B	
14	Calle Ingavi	0	66	204		15,2	15,5		B	B	B
	Calle Gral. Trigo	90	0	204	14,2		15,3	B		B	
15	Calle Ingavi	78	0	186	25,0		25,6	C		C	B
	Calle Sucre	0	108	180		12,6	11,6		B	B	
16	Calle Ingavi	0	60	192		19,1	19,8		B	B	C
	Calle Daniel Campos	120	0	222	19,2		24,3	B		C	
17	Calle Ingavi	84	0	204	10,1		12,9	B		B	B
	Calle Colón	0	42	282		24,9	22,7		C	C	
18	Calle Ingavi	0	42	168		16,1	16,9		B	B	C
	Calle Suipacha	102	0	306	32,8		33,1	C		C	
19	Calle La Madrid	306	90	0	17,7	14,5		B	B		C
	Calle Campero	0	0	168	0,0		37,0			D	
20	Calle La Madrid	0	0	198	0,0		16,1			B	B
	Calle Gral. Trigo	0	246	0		16,8	0,0		B		
21	Calle La Madrid	0	84	120		9,1	7,7		A	A	A
	Calle Sucre	102	0	222	7,3		8,7	A		A	
22	Calle La Madrid	54	0	174	6,3		5,4	A		A	B
	Calle Daniel Campos	0	48	192		21,4	20,9		C	C	
23	Calle La Madrid	0	108	168		13,0	12,8		B	B	B
	Calle Colón	72	0	258	10,2		11,3	B		B	
24	Calle La Madrid	66	0	246	9,6		9,9	A		A	B
	Calle Suipacha	0	60	288		17,6	17,1		C	B	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.4. Resultados del modelo validado en la zona central

Intersección	Acceso	Vol. Vehiculos			Demora promedio			Nivel de servicio			Intersección
		GI	GD	FR	GI	GD	FR	GI	GD	FR	
1	Calle Domingo Paz	42	0	264	30,4		34,0	C		C	C
	Calle Campero	30	72	138	24,8	22,9	25,5	C	C	C	
2	Calle Domingo Paz	0	72	264		23,6	21,3		C	C	C
	Calle Gral. Trigo	102	96	156	28,8	20,2	28,7	C	C	C	
3	Calle Domingo Paz	96	0	252	12,9		8,5	B		A	B
	Calle Sucre	0	72	174		26,9	27,1		C	C	
4	Calle Domingo Paz	0	48	246		16,7	10,6		B	B	B
	Calle Daniel Campos	78	0	228	23,4		24,6	C		C	
5	Calle Domingo Paz	48	0	234	17,0		12,2	B		B	C
	Calle Colón	0	66	240		28,9	31,1		C	C	
6	Calle Domingo Paz	0	60	198		20,8	11,3		C	B	C
	Calle Suipacha	120	0	216	21,4		21,3	C		C	
7	Calle Bolívar	0	54	84		13,5	13,0		B	B	C
	Calle Campero	90	0	216	23,9		24,4	C		C	
8	Calle Bolívar	36	0	132	12,9		12,4	B		B	B
	Calle Gral. Trigo	0	30	192		13,5	13,7		B	B	
9	Calle Bolívar	0	90	120		10,2	14,6		B	B	C
	Calle Sucre	54	0	192	38,2		37,1	D		C	
10	Calle Bolívar	36	0	144	6,7		8,6	A		A	B
	Calle Daniel Campos	0	72	186		16,3	15,5		B	B	
11	Calle Bolívar	0	90	114		25,8	23,2		C	C	C
	Calle Colón	84	0	264	23,2		31,3	C		C	
12	Calle Bolívar	66	0	174	26,9		27,1	C		C	C
	Calle Suipacha	0	48	216		34,2	35,1		C	C	
13	Calle Ingavi	84	0	204	16,7		17,1	B		B	B
	Calle Campero	0	90	186		11,7	12,4		B	B	
14	Calle Ingavi	0	60	222		21,3	20,9		C	C	B
	Calle Gral. Trigo	90	0	192	19,1		17,9	B		B	
15	Calle Ingavi	72	0	186	27,2		27,3	C		C	B
	Calle Sucre	0	102	168		13,5	11,8		B	B	
16	Calle Ingavi	0	60	186		20,7	19,3		C	B	C
	Calle Daniel Campos	120	0	210	23,0		28,4	C		C	
17	Calle Ingavi	84	0	198	10,1		12,6	B		B	B
	Calle Colón	0	42	276		27,8	24,6		C	C	
18	Calle Ingavi	0	42	156		14,9	16,8		B	B	C
	Calle Suipacha	90	0	282	31,9		33,6	C		C	
19	Calle La Madrid	114	90	0	13,7	12,9		B	B		B
	Calle Campero	42	0	222	16,9		16,8	B		B	
20	Calle La Madrid	84	0	114	13,1		13,9	B		B	B
	Calle Gral. Trigo	0	54	186		11,9	13,5		B	B	
21	Calle La Madrid	0	84	150		9,4	19,4		A	B	B
	Calle Sucre	102	0	210	9,8		16,9	A		B	
22	Calle La Madrid	54	0	192	8,0		6,1	A		A	B
	Calle Daniel Campos	0	42	186		25,4	25,6		C	C	
23	Calle La Madrid	0	108	162		18,7	16,6		B	B	B
	Calle Colón	72	0	252	11,5		12,2	B		B	
24	Calle La Madrid	66	0	240	9,7		10,6	A		B	B
	Calle Suipacha	0	54	270		19,5	20,0		B	B	

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Nivel de servicio obtenido manualmente según el HCM 2010

Para la zona de Villa Fátima se realizó el cálculo manual de 3 intersecciones, como se puede ver en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Niveles de servicio según HCM 2010 (zona Villa Fátima)

Intersección	Acceso	Tiempo de demora (seg)		Nivel de servicio	
		Acceso	Intersección	Acceso	Intersección
1	Av. La Paz (N-S)	29,02	158,65	C	F
	Av. La Paz (S-N)	76,33		E	
	Av. Potosí (E-O)	239,26		F	
	Av. Potosí (O-E)	258,64		F	
3	Av. La Paz (N-S)	67,03	108,66	E	F
	Av. La Paz (S-N)	187,15		F	
	Calle Bolívar	43,88		D	
6	Av. La Paz (N-S)	53,40	111,36	D	F
	Av. La Paz (S-N)	39,35		D	
	Av. Belgrano (E-O)	97,87		F	
	Av. Belgrano (O-E)	231,07		F	

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar las tres intersecciones estarían operando bajo condiciones de saturación (F), y los tiempos de demora excesivamente altos, muy lejanos a la realidad.

Para la zona central se realizó el cálculo manual de 22 intersecciones, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6. Niveles de servicio según el HCM 2010 (zona central)

Intersección	Acceso	Tiempo de demora (seg)		Nivel de servicio	
		Acceso	Intersección	Acceso	Intersección
1	Calle Domingo Paz	20,89	28,06	C	C
	Calle Campero	35,58		D	
2	Calle Domingo Paz	26,96	28,83	B	C
	Calle Gral. Trigo	30,49		C	
3	Calle Domingo Paz	11,29	18,22	B	B
	Calle Sucre	26,32		C	
4	Calle Domingo Paz	20,22	20,76	C	C
	Calle Daniel Campos	21,47		C	
5	Calle Domingo Paz	13,94	45,49	B	D
	Calle Colón	73,20		E	
7	Calle Bolívar	27,54	27,53	C	C
	Calle Campero	27,51		C	
8	Calle Bolívar	23,03	26,90	C	C
	Calle Gral. Trigo	31,19		C	
9	Calle Bolívar	13,31	13,89	B	B
	Calle Sucre	14,40		B	
10	Calle Bolívar	21,78	30,19	C	C
	Calle Daniel Campos	37,84		D	
11	Calle Bolívar	26,32	25,18	C	C
	Calle Colón	24,10		C	
12	Calle Bolívar	37,12	49,33	D	D
	Calle Suipacha	57,08		E	
13	Calle Ingavi	23,86	23,42	C	C
	Calle Campero	23,09		C	
14	Calle Ingavi	25,27	22,39	C	C
	Calle Gral. Trigo	18,90		B	
15	Calle Ingavi	37,31	28,01	D	C
	Calle Sucre	19,43		B	
16	Calle Ingavi	29,73	26,52	C	C
	Calle Daniel Campos	23,11		C	
17	Calle Ingavi	25,93	22,37	C	C
	Calle Colón	17,78		B	
18	Calle Ingavi	37,91	40,55	D	D
	Calle Suipacha	42,63		D	
20	Calle La Madrid	20,72	28,73	C	C
	Calle Gral. Trigo	36,39		D	
21	Calle La Madrid	22,39	22,18	C	C
	Calle Sucre	21,98		C	
22	Calle La Madrid	19,82	27,19	B	C
	Calle Daniel Campos	33,15		C	
23	Calle La Madrid	15,40	23,67	B	C
	Calle Colón	31,87		C	
24	Calle La Madrid	14,89	20,89	B	C
	Calle Suipacha	26,39		C	

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que todas las intersecciones estarían operando con niveles de servicio aceptables, sin sobrepasar el límite de tolerancia (D).

4.2. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

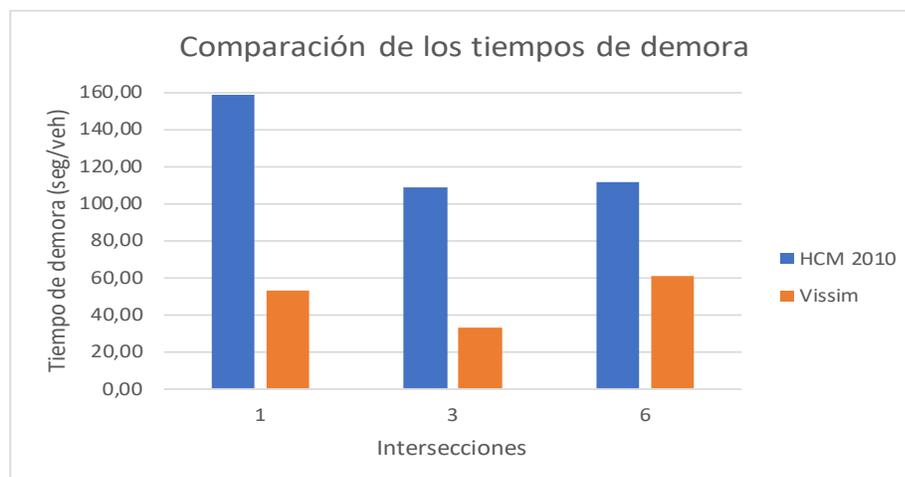
A continuación, se presenta el resumen de los resultados obtenidos anteriormente, para luego explicar el porqué de la diferencia de los resultados. Cabe mencionar que solo se tomara en cuenta los resultados obtenidos del modelo validado de la en cada zona, porque estos son resultados obtenidos con los datos en condiciones normales.

Tabla 4.7. Comparación de resultados (zona Villa Fátima)

Intersección	Acceso	Manual HCM 2010		Vissim	
		Demora (seg/veh)	Nivel de servicio	Demora (seg/veh)	Nivel de servicio
1	Av. La Paz (N-S)	158,65	F	53,17	D
	Av. La Paz (S-N)				
	Av. Potosí (E-O)				
	Av. Potosí (O-E)				
3	Av. La Paz (N-S)	108,66	F	33,25	C
	Av. La Paz (S-N)				
	Calle Bolívar				
6	Av. La Paz (N-S)	111,36	F	60,93	E
	Av. La Paz (S-N)				
	Av. Belgrano (E-O)				
	Av. Belgrano (O-E)				

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3. Comparación de los tiempos de demora (zona Villa Fátima)



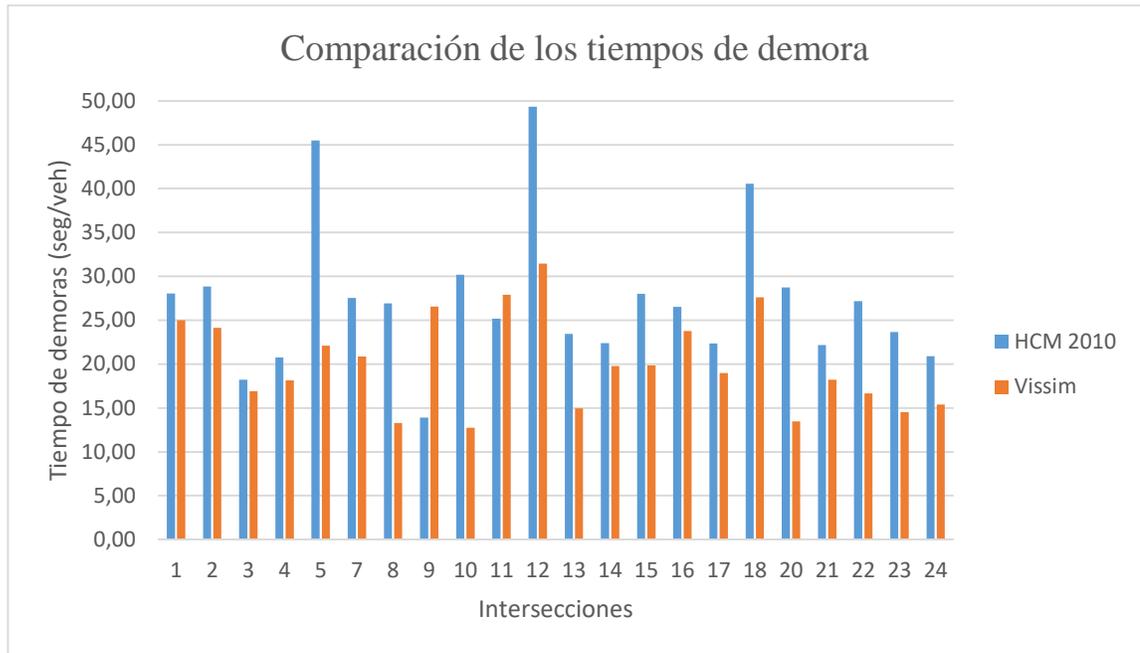
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.8. Comparación de resultados (zona central)

Intersección	Acceso	Manual HCM 2010		Vissim	
		Demora (seg/veh)	Nivel de servicio	Demora (seg/veh)	Nivel de servicio
1	Calle Domingo Paz	28,06	C	25,01	C
	Calle Campero				
2	Calle Domingo Paz	28,83	C	24,11	C
	Calle Gral. Trigo				
3	Calle Domingo Paz	18,22	B	16,91	B
	Calle Sucre				
4	Calle Domingo Paz	20,76	C	18,15	B
	Calle Daniel Campos				
5	Calle Domingo Paz	45,49	D	22,10	C
	Calle Colón				
7	Calle Bolívar	27,53	C	20,87	C
	Calle Campero				
8	Calle Bolívar	26,90	C	13,28	B
	Calle Gral. Trigo				
9	Calle Bolívar	13,89	B	26,56	C
	Calle Sucre				
10	Calle Bolívar	30,19	C	12,74	B
	Calle Daniel Campos				
11	Calle Bolívar	25,18	C	27,92	C
	Calle Colón				
12	Calle Bolívar	49,33	D	31,46	C
	Calle Suipacha				
13	Calle Ingavi	23,42	C	14,96	B
	Calle Campero				
14	Calle Ingavi	22,39	C	19,76	B
	Calle Gral. Trigo				
15	Calle Ingavi	28,01	C	19,86	B
	Calle Sucre				
16	Calle Ingavi	26,52	C	23,76	C
	Calle Daniel Campos				
17	Calle Ingavi	22,37	C	19,00	B
	Calle Colón				
18	Calle Ingavi	40,55	D	27,61	C
	Calle Suipacha				
20	Calle La Madrid	28,73	C	13,45	B
	Calle Gral. Trigo				
21	Calle La Madrid	22,18	C	18,21	B
	Calle Sucre				
22	Calle La Madrid	27,19	C	16,65	B
	Calle Daniel Campos				
23	Calle La Madrid	23,67	C	14,53	B
	Calle Colón				
24	Calle La Madrid	20,89	C	15,38	B
	Calle Suipacha				

Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.4. Comparación de los tiempos de demora (zona central)



Fuente: Elaboración propia

Realizando una evaluación de los métodos y los resultados, se puede observar que, los resultados obtenidos con el manual HCM dieron tiempos de demora muy grandes en algunas intersecciones que no se asemejan a la realidad, dando como resultados niveles de servicio muy desfavorables. Los resultados obtenidos mediante la microsimulación los tiempos de demora y niveles de servicio son más semejantes a la realidad.

4.2.1. Comportamiento de la circulación vehicular

El tiempo de demora exagerado en algunas intersecciones se debe a la geometría que tienen las calles y como es el comportamiento de algunos vehículos, en la Figura 4.5 se ve como las motocicletas aprovechan el ancho de los carriles para poder circular por un costado de los autos, cabe recalcar que las motocicletas no tienen carril exclusivo de circulación.

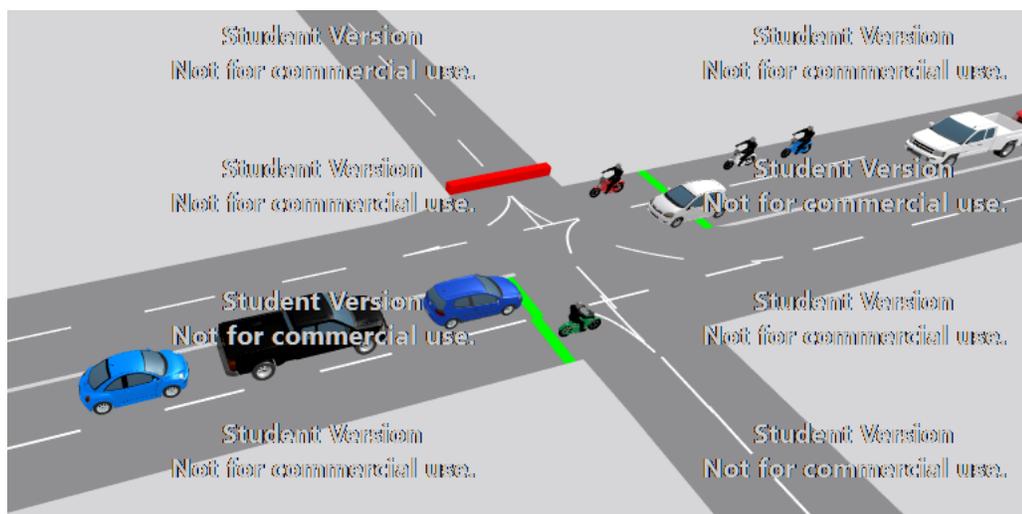
Figura 4.5. Comportamiento de circulación de las motocicletas



Fuente: Elaboración propia

Este comportamiento puede ser asemejado en el modelo microscópico, como se puede ver en la Figura 4.6. El manual HCM hace la suposición que todos los vehículos circulan por un mismo carril en línea recta como se ve en la Figura 4.7, el comportamiento de las motocicletas es el principal motivo en la diferencia de resultados obtenidos por ambos métodos.

Figura 4.6. Comportamiento de las motocicletas en el modelo microscópico



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7. Circulación vehicular según el HCM 2010



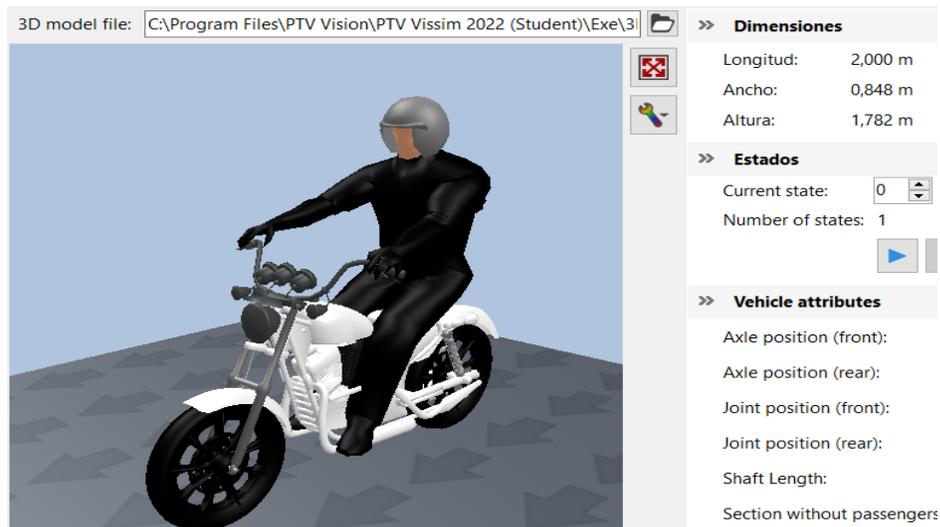
Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Dimensiones de los vehículos

La dimensión que tiene cada tipo de vehículo y la cantidad de circulación en la red, también es una razón importante para la diferencia de resultados obtenidos. La norma HCM, solo toma en consideración un factor de ajuste debido a los vehículos pesados que suelen tener una longitud mayor a la de los autos o camionetas, pero no toma en consideración las dimensiones de motocicletas, autos, camionetas, etc.

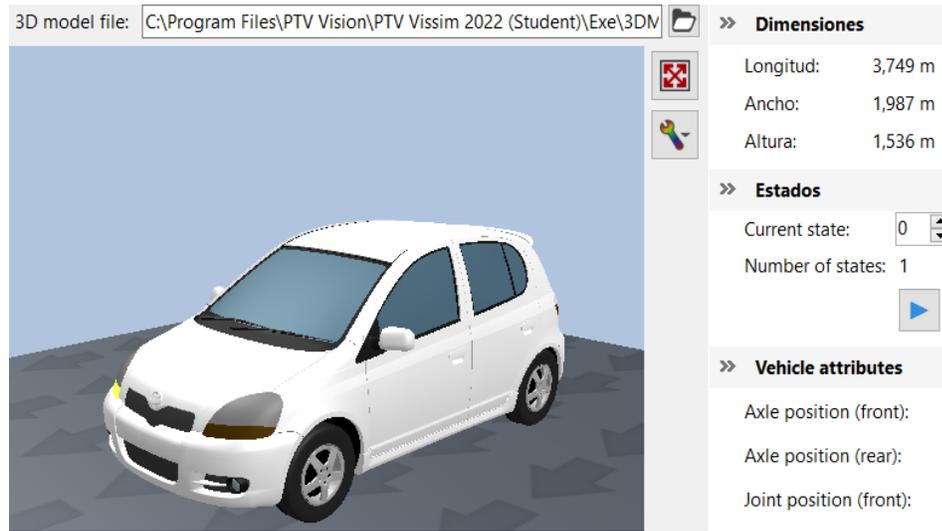
El modelo microscópico toma en consideración las dimensiones de cada grupo de vehículos, como se puede apreciar en las siguientes figuras.

Figura 4.8. Dimensiones de la motocicleta



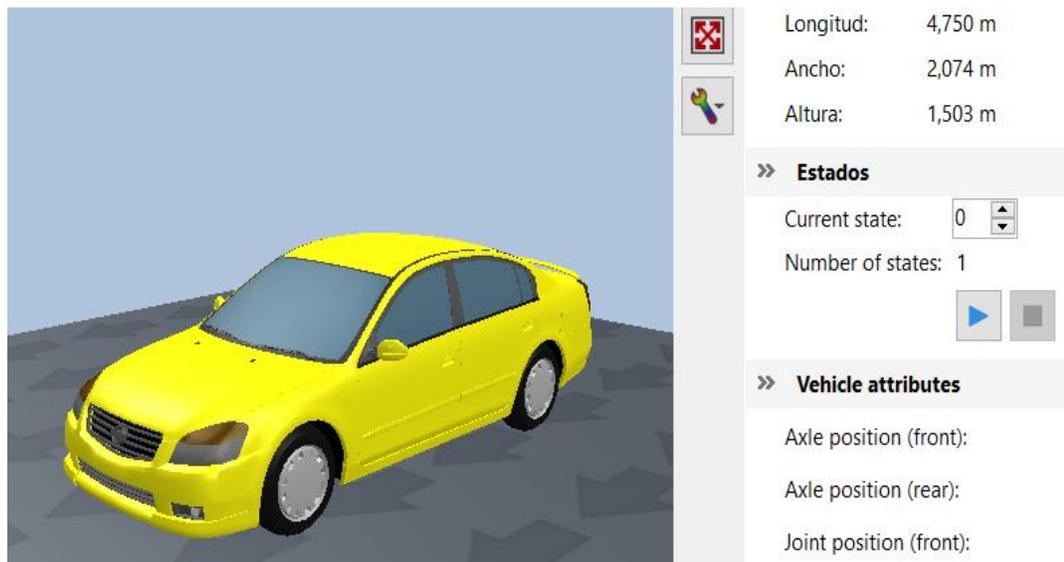
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9. Dimensiones de un auto



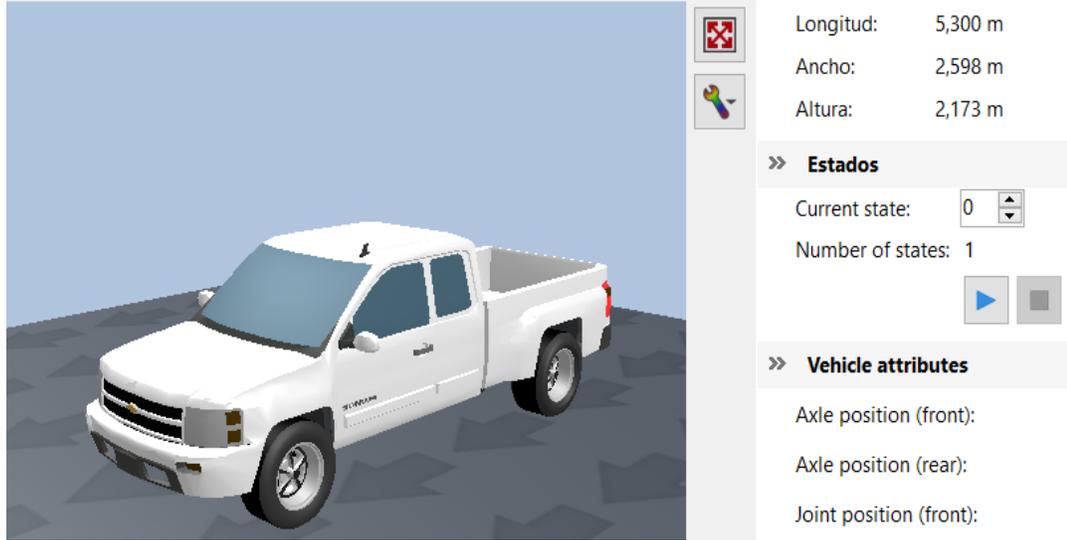
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10. Dimensiones de un taxi



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11. Dimensiones de la camioneta



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12. Dimensiones de un microbús

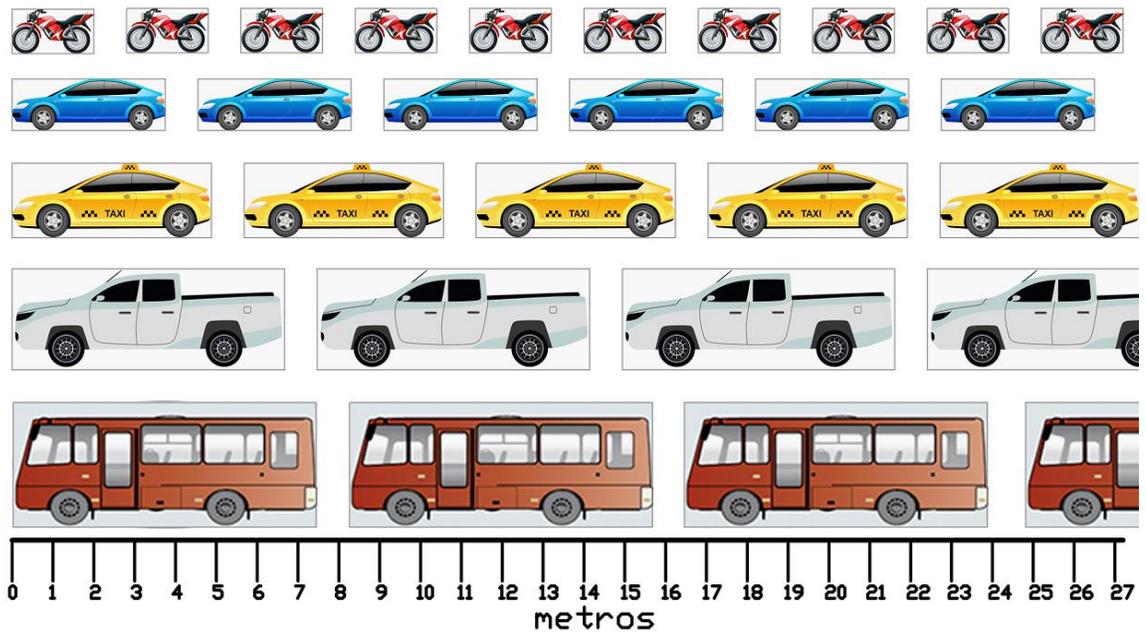


Fuente: Elaboración propia

Si se compara las dimensiones que tiene los diferentes tipos de vehículos se puede apreciar lo importante que es contemplar este parámetro para obtener resultados más precisos.

Al comparar la longitud que tiene una motocicleta con las longitudes de los demás tipos de vehículos, se puede ver una relación importante como la que se muestra en la Figura 4.13; en un mismo espacio pueden entrar un numero distinto de vehículos según su longitud.

Figura 4.13. Relación de las longitudes por tipo de vehículo



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos tanto por el manual HCM 2010, como por el modelo microscópico, se presentan las siguientes conclusiones:

- Para la construcción adecuada del modelo se calibró cada zona con dos tipos de indicadores, primeramente, se calibró el indicador GEH que compara los volúmenes de moviidades obtenidos en campo con los volúmenes obtenidos en el programa Vissim como se puede apreciar en la Tabla 3.18 y Tabla 3.20.

Luego se calibró el tiempo de recorrido en cada zona, para la zona de Villa Fátima se midió el tiempo para una distancia de 250m y la para la zona central en 350m, esta calibración se puede ver en la Tabla 3.21 y Tabla 3.22 respectivamente.

- Para poder validar el modelo construido y calibrado se volvió a recabar información, como los aforos, tiempos de recorrido y los tiempos de fase de los semáforos. Para la zona de Villa Fátima la Tabla 3.24 y Figura 3.27. Tiempo de viaje que valida el modelo (Villa Fátima) y Figura 3.27 comprueban que el modelo construido es válido, para la zona central la Tabla 3.27 y la Figura 3.28 comprueban el modelo construido.

- Se logró obtener el nivel de servicio en cada intersección mediante la microsimulación, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.1 y Tabla 4.3.

En cuanto al nivel de servicio calculado por el manual HCM, se calculó para un total de 25 intersecciones, para la zona de Villa Fátima los resultados se muestran en la Tabla 4.5 y para la zona central en la Tabla 4.6.

- Se observó que existe diferencia de los resultados obtenidos por ambos métodos y esto se debe principalmente a dos factores: el comportamiento de los conductores en motocicletas (Figura 4.5 y Figura 4.6) y las dimensiones de cada tipo de vehículo (Figura 4.8, Figura 4.9, Figura 4.10, Figura 4.11 y Figura 4.12).

El comportamiento que tiene los conductores en motocicletas es que pueden aprovechar el ancho de los carriles para poder circular por un costado de los automóviles, este comportamiento tiene mayor importancia en la zona de Villa Fátima, pero no así en la zona central excepto aquellas calles con 2 carriles, debido a

que en la gran mayoría de las calles en la zona central son angostas impidiendo su circulación por un costado de los automóviles.

Las dimensiones que tiene cada tipo de vehículo tienen que ver mucho con el número de vehículos que pueden ocupar un mismo espacio, como se ve en la Figura 4.13.

- Comparando los niveles de servicio en la zona de Villa Fátima en tiempos pandémicos con los obtenidos en condiciones normales, se puede apreciar que la intersección 1 es la única que cambia, pasando del nivel E al D

Para la zona central, el bloqueo de la intersección 20 afecta el nivel de servicio en tres intersecciones: la intersección 7 pasando del B al C, la intersección 19 pasando del C al B y la intersección 21 pasando del A al B.

- Tomando en consideración solo los resultados obtenidos mediante el modelo microscópico, las intersecciones 1 y 6 de la zona de Villa Fátima tienen el nivel servicio D y E respectivamente, ambas son las más altas de la zona, mientras que para la zona central no superan el nivel de servicio C.
- De acuerdo con los resultados obtenidos mediante el modelo microscópico y el manual HCM 2010, los resultados más precisos y confiables son los obtenidos por el modelo microscópico, esto se debe a que el modelo microscópico con ayuda del software Vissim tienen en consideración otros factores además de los antes ya mencionados como ser: la velocidad del vehículo, interacción entre vehículos, áreas de reducción de velocidad y prioridad en los movimientos de circulación.

5.2. RECOMENDACIONES

Para un mejor trabajo a la hora de construir un modelo microscópico, se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Los pasos realizados para la construcción de la red, puede ser tomado como una guía para la construcción de otras redes viales que requieran estudios de su funcionamiento.
- Al momento de realizar los aforos para la obtención de la hora pico en cada zona, se debe observar los tipos de vehículos más representativos, con el fin de tener una mejor clasificación vehicular al momento de introducir los tipos de vehículo en el programa Vissim.

- Los datos de los volúmenes vehiculares son los más importante a la hora de hacer cualquier tipo de estudio o investigación de tráfico. Como el modelo microscópico clasifica los tipos de vehículos de una manera más representativa, se puede llegar a tener varios de tipos de vehículos, llegando a dificultar los aforos en horas pico. Para facilitar el conteo de los vehículos se puede llegar a utilizar cámaras filmadoras o grabadoras de audio.
- Para poder validar cualquier modelo construido, los datos de entrada al programa deben ser datos en condiciones normales; no deben ser afectados por calles bloqueadas, manifestaciones, días de acontecimientos festivos u otros.
- Tomar en cuenta que el programa Vissim fue desarrollado en Alemania y por tanto las dimensiones de los vehículos no son los reales a los que se tienen en Tarija (Bolivia), por eso se debe configurar las dimensiones de los vehículos en el programa y así tener resultados más precisos.
- Tomar en consideración que las condiciones del tránsito varían a lo largo del tiempo; en el caso de la zona central en la intersección N.º 20 con acceso de la calle La Madrid y calle Gral. Trigo, se encontraba bloqueada la calle Gral. Trigo debido a una huelga de hambre llevada a cabo por trabajadores de la institución S.E.D.E.C.A. (Servicio Departamental de Caminos). También tomar en cuenta que los volúmenes aforados para la zona de Villa Fátima fueron afectados por la situación pandémica que estamos viviendo, donde la asistencia a los colegios, los horarios de atención en banco y oficinas son irregulares.