

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

En estos últimos años, el aumento notorio de los vehículos que circulan por las calles urbanas de Tarija ha generado una mayor cantidad de problemas de circulación de los usuarios involucrados en los diseños viales de la ciudad, tales como congestionamientos vehiculares en distintas zonas de la ciudad (flujo vehicular muy lento), diseños muy pobres de los semáforos en intersecciones así como las de señales de tránsito, entre otros. Por tales razones, es necesario lograr entender la importancia que tiene un correcto estudio de los flujos vehiculares, peatonales, así como también el de semaforización tanto en su coordinación como en la duración de sus ciclos, dentro de los diseños viales. Ya que la buena coordinación de la red de semáforos de la ciudad y la optimización de los ciclos y fases de cada uno de los mismos son herramientas fundamentales para tratar de resolver los problemas de congestión de tránsito y sobresaturación de vehículos. Cuando, además, no existe la posibilidad de construir nuevas vías o accesos, puede ser la única solución para mejorar la situación.

Estas situaciones pueden ser analizadas mediante programas computacionales, estudios in situ, entre otros. Con el paso del tiempo, se han desarrollado investigaciones cuyas herramientas han sido de gran ayuda dentro del área de movilidad y transporte. Una de estas es el software Vissim que realiza un enfoque microscópico. Con él se consideran interacciones entre cada par de vehículos y peatones; asignando características propias de cada uno de ellos.

Vissim fue creado en Alemania durante la década de los noventa. Su uso se expandió por diferentes países europeos y, en la actualidad, ya es utilizada en diferentes países sudamericanos y es empleado para evaluar las condiciones de circulación.

Dada la eficiencia que ha tenido este software en los distintos estudios realizados en distintas partes del mundo, y que además es la herramienta computacional que actualmente se está utilizando en nuestra ciudad, en el presente proyecto se empleará dicho software (Vissim) para el análisis y modelado de una red que comprende distintas

zonas (específicamente tres) del área urbana de la ciudad de Tarija y mostrar que mediante un cambio en los tiempos de los ciclos de los semáforos se puede lograr optimizarlo, mejorando así la circulación del flujo vehicular.

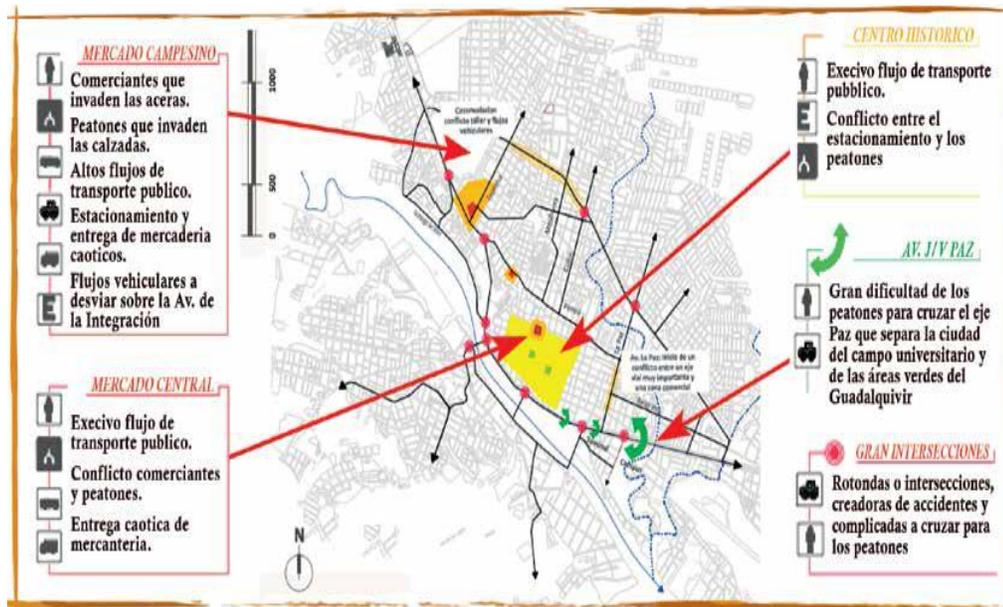
1.2. Justificación

El problema de la congestión vehicular en las zonas urbanas de nuestra ciudad es un tema que viene tratando de solucionarse desde ya hace muchos años atrás, lamentablemente dicho problema día a día empeora más. Esto debido al crecimiento notable de la población e incremento del parque automotor en el área urbana.

Algunas de las áreas más afectadas según el Programa Municipal de Transporte de Tarija (figura 1) son las zonas cercanas al mercado Campesino – La Loma, las rotondas ubicadas a lo largo de las avenidas Jaime Paz – Víctor Paz – Panamericana y la parte céntrica de la ciudad, debido a que comprende zonas de tránsito masivo, donde se encuentran la mayor cantidad de tiendas comerciales, restaurantes, entidades bancarias, hoteles, oficinas, etc., a donde la población requiere llegar haciendo uso de un medio de transporte ya sea público o privado. La concentración de actividades en el centro conlleva a mayúsculos conflictos relacionados al tráfico y la movilidad de las personas. En hora pico, particularmente al medio día, vemos importantes cantidades de peatones, escolares, vehículos, etc. que se concentran en las estrechas calles del centro, generando trancadera, contaminación, bocinas, etc.

Ante esta situación surge la necesidad de proponer soluciones inmediatas y prácticas, dejando de lado las soluciones tradicionales y luego de una extensa revisión bibliográfica, se opta y elige utilizar un software de simulación que permita modelar y analizar el área de conflicto de manera detallada en donde refleje la situación actual del flujo vehicular, para luego plantear y ejecutar la solución que, en este proyecto, se centra específicamente en los tiempos de los ciclos en los semáforos de las intersecciones de tres zonas del área urbana de la ciudad de Tarija (zona La Loma, Zona Céntrica y zona del Barrio Fátima)

Figura 1: Zonas congestionadas de la red urbana de la ciudad de Tarija



Fuente: PROMUT

Dentro de una amplia variedad de microsimuladores existentes, el Software elegido es Vissim, su utilización para el desarrollo de este proyecto se justifica mediante las siguientes razones:

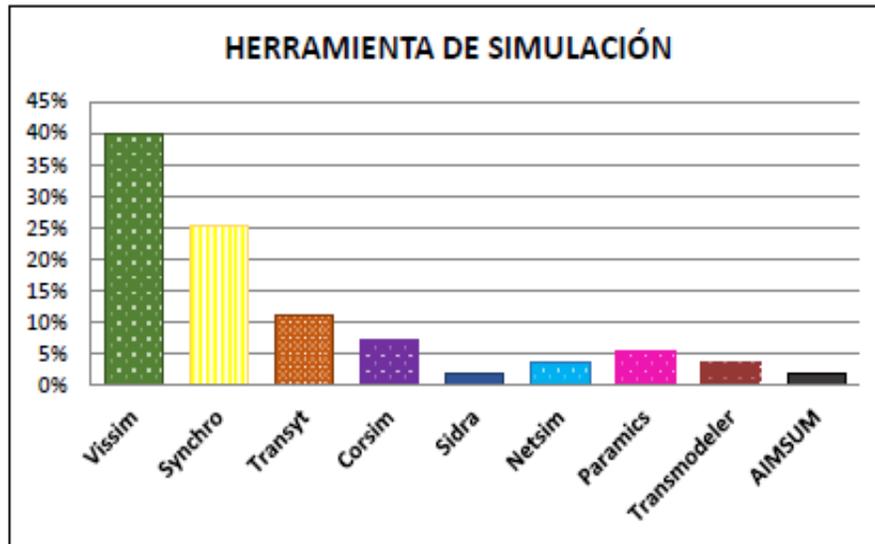
- En la revisión bibliográfica realizada se encontró un trabajo de investigación en el cual se realizó una encuesta a nivel mundial y a diferentes sectores como educación, gobierno y empresas privadas. La encuesta fue un cuestionario, que incluía preguntas cuantitativas y cualitativas acerca de la utilización de herramientas de simulación y métodos en los sistemas de control de señales de tráfico, dicho cuestionario fue enviado por correo a 120 investigadores de prestigiosas instituciones seleccionadas al azar entre académicos, especialistas de centros de transporte y consultores.

Un total de 37 encuestas fueron totalmente diligenciadas (43% de tasa de retorno utilizable) y se constituyeron en la muestra para este estudio. La mayoría de los participantes fueron del sector educativo (59%), el gobierno (27%), y la empresa privada (14%). Los países participantes dentro de la muestra 17 encuestados de las Américas, 10 encuestados de Europa, 3 encuestados de África, 6 de Asia y por último, 1 de Oceanía.

Una de las preguntas, que es de nuestro interés, fue: “*Que herramienta de simulación o programa se utiliza en tu ciudad*”

La respuesta, a esta pregunta en específico, se muestra a continuación mediante una gráfica y un párrafo extraído del trabajo de investigación:

Figura 2: Resultados de encuesta



Fuente: Tesis Doctoral, Santander 2015

“Al analizar las respuestas de la herramienta de simulación o software utilizado (Figura 2), se observó que el software más usado es VISSIM (39%). Como se documenta en Bloomberg y Dale (2000), la interfaz gráfica de VISSIM es más comercial y permite una mayor flexibilidad para la recogida de datos. No obstante, no hay grandes diferencias en cuanto a los resultados y capacidades.”

La fuente de obtención que fundamenta esta parte de la justificación fue obtenida de la ***Tesis Doctoral: Diseño y optimización de un modelo matemático para la transición entre el cambio de planes de los tiempos de reparto de los semáforos de Rita Patricia Peñabaena, Santander 2015.***

Como se observó Vissim es uno de los programas de simulación más utilizados a nivel mundial, por lo cual es uno de los motivos por el que se elige dicho programa.

- A finales del año 2016 se introduce en el departamento de Movilidad Urbana de la ciudad de Tarija el programa Vissim del cual comienza a hacerse uso el 2017 para el análisis de la circulación vehicular en algunas intersecciones de la ciudad. Lo cual también constituye un motivo para la elección de este programa ya que se podrá contar con parámetros de calibración que ya hayan sido ajustados al tráfico de nuestra ciudad.
- Otra causa para la elección del software es la sencillez de su utilización contando con un manual y guía práctica de fácil comprensión.
- Finalmente después de haber realizado una revisión en la biblioteca de nuestra universidad se encontraron escasos trabajos, específicamente en el área de tráfico, que hayan utilizado alguna herramienta o software de simulación, por lo que la utilización de Vissim será un aporte útil y novedoso.

Este trabajo por lo tanto generará una propuesta de cambios en los tiempos de los ciclos semafóricos logrando optimizar los mismos, para mejorar las condiciones actuales que presentan las calles que conforman las diferentes zonas de análisis. Esto de antemano brindará una solución inmediata para mejorar los tiempos de recorrido y reducir los tiempos de demora y longitudes de cola, utilizando los recursos que se tienen actualmente.

Lo que se persigue con la realización de esta investigación, es aportar a la solución del problema del congestionamiento sobre todo en las horas de máxima demanda en los semáforos de las intersecciones a analizar, con la determinación de los tiempos óptimos de espera del tráfico vehicular, a través de la aplicación del software VISSIM. Este trabajo servirá como base para la determinación de situaciones del tráfico a futuro mediante simulación, o para un análisis comparativo si se llegara a realizar trabajos de simulación con otros Software. Teniendo así este proyecto un interés teórico y práctico dentro el campo de la Ingeniería de Tránsito en la ciudad de Tarija.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Situación problemática

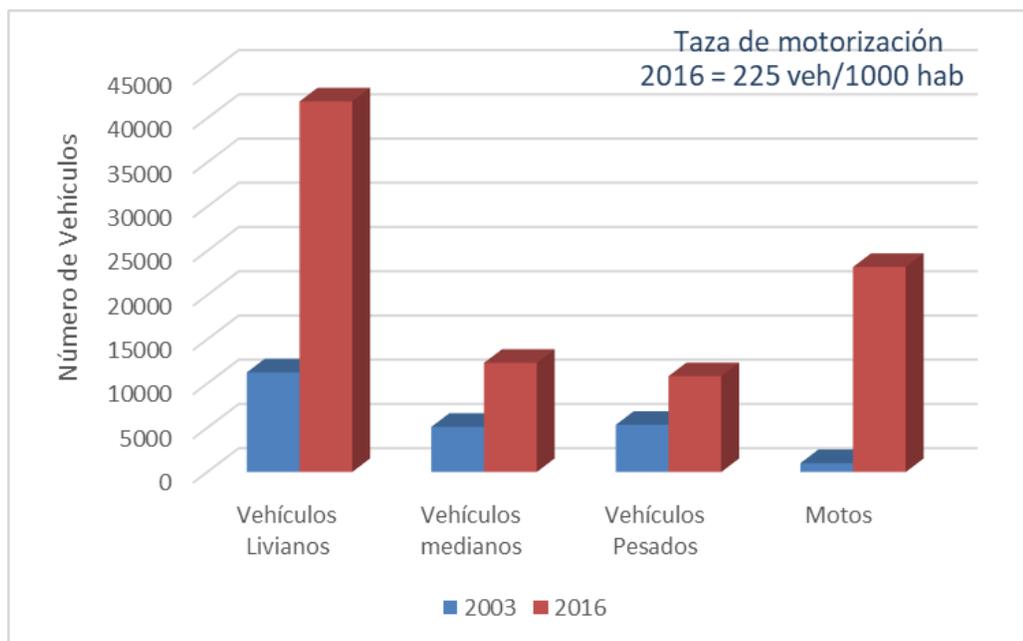
A través de los años el flujo vehicular en nuestra capital se ha incrementado constantemente y el desarrollo de la infraestructura vial ha sido insuficiente. Esto se

refleja en situaciones donde el volumen de tráfico en uno o más puntos de una calle o avenida, excede la capacidad máxima que puede pasar por ellos, provocando largos retrasos, que derivan en problemas económicos como medioambientales.

Algunas de las causas para dicho problema son los siguientes:

- El departamento de Tarija se sitúa en cuarto lugar en número de vehículos a motor circulando por sus calles solo por detrás de los departamentos de Santa Cruz, La Paz y Cochabamba. En una década Tarija casi cuadruplicó su parque automotor pasando de 25.189 vehículos en 2003 a 95.711 en 2016, según el informe ‘Estadísticas del Parque Automotor, 2003 – 2016’ elaborado por el Instituto Nacional de Estadística.
- El aumento del parque automotor en la ciudad de Tarija que en estos últimos años fue del 10.8 %. La tasa de motorización del municipio de Tarija está por encima de la tasa promedio para las zonas urbanas bolivianas (de 170 veh/1000 hab en el año 2011 a 225 veh/1000 hab en el año 2016), un fuerte incremento del número de vehículos, como se muestra en el siguiente gráfico, la evolución del parque automotor de más de una década hasta el año 2016.

Figura 3: Parque automotor ciudad de Tarija



Fuente: INE

- El desordenado y elevado índice de incremento demográfico y catastral de la ciudad , que dio lugar a la creación desordenada de nuevas líneas de transporte público (taxitrufis, nuevas líneas de micros), que al igual q las líneas ya existentes pasan o tienen sus recorridos por los tramos más conflictivos de nuestra ciudad.
- Mala progresión y coordinación en los semáforos a lo largo de las diferentes calles de la ciudad.
- Niveles de servicio bajo, que llega a la sobresaturación de las calles sobre todo en las intersecciones o nudos.
- El centro de la ciudad de Tarija, ocupa apenas el 5% del total del espacio urbano, y concentra a más del 50% de las actividades y empleos (escuelas, administración, servicios, equipamiento de salud, etc.).
- Los Tarijeños hacen cada día un promedio de 3 viajes por persona. La principal zona de “atracción” de desplazamientos es el centro histórico que concentra 40% de los destinos de viaje ya sea en vehículo particular, público, moto o a pie.
- Más del 80% del total de las líneas de micros que corresponden al transporte público circulan por las calles principales del centro de la ciudad, Zona La Loma, Zona del Mercado Campesino entre otras.
- Los ciclos semaforicos de las intersecciones a ser estudiadas se plantearon hace más de 5 años, lo cual no brinda un buen servicio de funcionamiento debido a que se debe ajustar al nuevo volumen de tráfico.
- La concurrencia masiva de la población hacia estas zonas debido a la ubicación de diferentes centros ya sean de trabajo, comerciales, recreativos, etc., que cubren las necesidades de los usuarios, ocasionando una alteración en el flujo vehicular de la zona.
- El aumento de nuevas tiendas comerciales, oficinas, negocios etc.

1.3.2. El problema

¿Se podrá mejorar la problemática de congestión vehicular mediante la optimización del tiempo de ciclo de los semáforos correspondientes a zonas del área urbana de la

ciudad de Tarija, con base en la simulación de la misma a través de un modelo de Microsimulación?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Optimizar el tiempo de los ciclos de los semáforos ubicados en las intersecciones que comprenden zonas congestionadas de la red de tráfico urbano de la ciudad de Tarija, mediante el análisis de la simulación de las mismas a través de un modelo de microsimulación.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar las funciones básicas y aplicaciones del microsimulador (software Vissim).
- Obtener los datos que serán necesarios para la simulación y calibración del modelo.
- Realizar aforos vehiculares y medición de velocidades, con el fin de determinar el tránsito vehicular existente y las horas pico en la red.
- Realizar la medición de las longitudes de colas y tiempos de viaje.
- Calibrar el modelo de acuerdo a las condiciones de comportamiento vehicular que se tiene en la ciudad.
- Realizar la modelación de la red en el software Vissim para evaluar el comportamiento del tráfico actual.
- Realizar el proceso de optimización de los ciclos semaforicos para hallar el tiempo que muestre mejoría en los diferentes parámetros de eficiencia que reflejan las condiciones de circulación.
- Modelar la red en el software después del proceso de optimización para analizar los resultados obtenidos.
- Realizar una comparación entre los resultados de la situación actual y los resultados luego de la optimización.
- Realizar una comparación de las zonas estudiadas para tener conocimiento en cuál de ellas se adecua mejor el software analizado.

1.5. Diseño metodológico

Este proyecto tiene como objetivo principal, optimizar el tiempo de los ciclos de los semáforos, perteneciente a zonas congestionadas de la red de tráfico urbano de la ciudad de Tarija, mediante el análisis de un modelo microscópico. Por lo tanto, para poder lograrlo, este trabajo de ingeniería pasará por distintas etapas, las cuales serán descritas a continuación:

Como primer paso, se procedió con la búsqueda y selección de intersecciones que correspondan a zonas congestionadas, que debía satisfacer con los requisitos necesarios para su análisis, tales como las características geométricas, los aforos vehiculares; así como el tipo de semaforización presente.

Después de la selección de las zonas, se decide por los datos necesarios a recolectar en campo, como la longitud de colas, los aforos vehiculares, tiempo de viajes, entre otros. Para recolectar los datos se emplean herramientas de trabajos como las cámaras filmadoras, cintas métricas, cronómetros y otros elementos necesarios.

Una vez finalizada la decisión del tipo del registro de datos, se procede al procesamiento de datos para construir el modelo microscópico. Con dicho objetivo, la toma de datos para la zona céntrica tuvo inicio la fecha del día lunes 24 de Abril del 2017 hasta el día Domingo 11 de Junio del 2017, para la rotonda de la zona de La Loma desde el día Lunes 9 de Abril del 2018 al Domingo 15 de Abril del 2018 y para la zona Virgen de Fátima del Lunes 14 de Mayo del 2018 al Domingo 20 de Mayo del 2018 por un periodo de una hora (hora pico de cada zona) con la colaboración de 5 personas estudiantes de la carrera.

Al término del registro de datos, se procede a la recopilación y clasificación de datos que servirán como información de entrada para la construcción del modelo a través del software Vissim. El modelo microscópico está conformado por las zonas seleccionadas, los tipos de vehículo dentro de ella, el tiempo del semáforo, los aforos vehiculares, los aforos peatonales, la prioridad entre vehículos, y otros detalles importantes para el correcto funcionamiento de este.

Como siguiente paso, se calibra el modelo teniendo como base resultados obtenidos por el programa Vissim y los datos de campo. Vale mencionar, que para este proceso se consideró un nivel de confiabilidad del 95% para los tiempos de recorrido y un porcentaje de error del 20% de la media para las longitudes de cola. Asimismo, el parámetro seleccionado para la calibración fue el tiempo de recorrido y longitud de cola de los diferentes vehículos en un solo tramo perteneciente a cada zona de análisis.

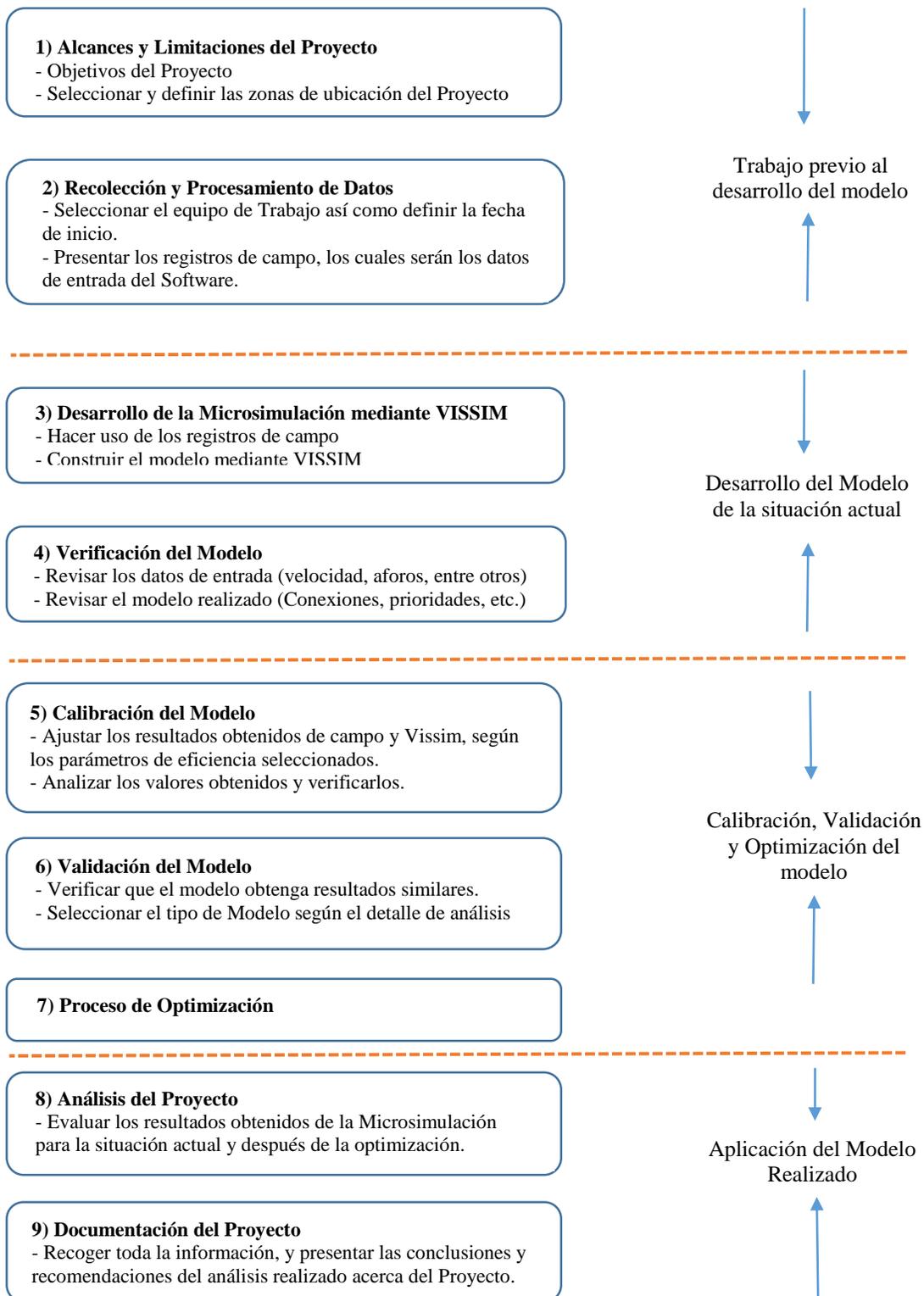
Posterior a la calibración, se realiza la validación del modelo con el fin de verificar el correcto funcionamiento del modelo construido ante una nueva situación. Para ello, se debe de ingresar el registro de datos de campo y poder lograr que los resultados obtenidos (velocidad promedio, tiempo de viaje, longitudes de colas, etc.) sean similares a lo obtenido entre el campo y Vissim de acuerdo a los ajustes realizados en la etapa de calibración.

Al contar con el modelo construido, calibrado y validado, se procede a la evaluación y análisis de los resultados del funcionamiento de la red vial (intersecciones).

Con la información recopilada de la situación actual de la intersección, se realiza la documentación, así como la presentación de los resultados arrojados después de la optimización.

Finalmente, se detallan las conclusiones y recomendaciones basadas en lo obtenido por la Microsimulación realizada a través del software Vissim.

METODOLOGÍA



1.5.1. Población

Tráfico vehicular de las zonas de congestamiento vehicular en la red de tráfico urbano de la ciudad de Tarija.

1.5.2. Muestra

Volumen de tráfico vehicular en horas pico en las intersecciones correspondientes a las zonas de estudio.

1.5.3. Componentes y medios

Para la obtención de datos se tomara en cuenta los siguientes:

- Software de Simulación VISSIM 10.00 – 07 (Versión estudiante), para el modelado y análisis de las zonas de estudio.
- PC AMD A10 RAM 8 GB, en el cual se instalará el software.
- Mapa o croquis de las calles que conforman la red a analizar, se obtendrá de Google Earth.
- Longitud de cuadra y ancho de carril de todas las calles de la red, se realizara la medición con wincha.
- Aforo de todo vehículo que circula por las calles que conforman la red, se registrara en una planilla.
- Velocidades en todas las calles, para ello se utilizará cronómetro y wincha.
- Longitud de cola, se obtendrá mediante cámara fotográfica y medición con wincha.
- Tiempo de demora, medición realizada con cronometro.

1.5.4. Métodos y técnicas

Se empleara los siguientes métodos y/o técnicas:

Para los aforos se utilizara el método manual contando con personal que llevara un registro de los aforos diarios por intersección.

Para las velocidades también se utilizará el método manual.

Todos los datos serán computarizados para su posterior análisis.

Se trabajará con los promedios de todos los datos recolectados.

1.6. Alcance

El estudio a desarrollar se enmarca en la ciudad de Tarija - Bolivia, limitándose a las siguientes zonas: zona central que comprenden específicamente las calles desde la Calle Colón hasta la Calle Campero y la Calle Corrado hasta la Calle 15 de Abril, esta red consta de 20 cuadras y 25 intersecciones; zona de La loma específicamente la rotonda ubicada en la final de la calle Cochabamba y Avenida Panamericana; por último la zona del barrio Virgen de Fátima que comprende La Avenida La paz entre Avenida Belgrano y Calle Bolívar. Estas áreas delimitadas abarcan diferentes zonas de la ciudad de Tarija, las cuales fueron elegidas mediante la revisión y análisis, en la biblioteca de la UAJMS, de proyectos de tráfico realizados en la ciudad así como antecedentes de datos de tráfico obtenido de diferentes fuentes, los mismos que indican que las zonas de análisis presentan congestión.

El alcance técnico de este proyecto, está enmarcado en el análisis de simulación de varias intersecciones, usando como herramienta el software PTV VISSIM (versión 10.00-07), esta simulación se aplica sobre las calles de las zonas ya mencionadas, por donde transita un gran volumen vehicular del sector público y privado.

Esta modelación y análisis del flujo de transporte en estos sectores permitirá determinar su funcionamiento, las características del tráfico que circula en la actualidad y por ultimo dar una posible solución al problema de movilidad que se presentan en la actualidad en estos sectores tan concurridos de la ciudad de Tarija.

Se realizaran aforos vehiculares en todas las calles que conforman la red durante 15 horas: 06:00 – 21:00, un día por calle para la determinación de la hora pico.

Se realizaran los aforos vehiculares en todas las intersecciones que conforman las zonas de análisis durante la hora pico, en los tres horarios previamente definidos, durante una semana en cada intersección.

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

- De acuerdo al sector: público o privado.
- De acuerdo al tamaño: liviano, mediano o pesado.

- De acuerdo al sentido de circulación: giro izquierda, giro derecha o de frente.

Quedando fuera cualquier otro tipo de clasificación vehicular así también se descartara el aforo de motos y bicicletas.

La velocidad que será determinada para cada calle que conforma la red será la velocidad de punto para una distancia de 20 m durante la hora pico.

Los tiempos de demora serán medidos en un tramo específico de cada zona y durante la hora pico.

Las longitudes de cola serán medidas en cada intersección durante la hora pico.

Para la calibración del modelo se utilizará las longitudes de cola y/o tiempos de recorrido.

Los tiempos de demora y niveles de servicio serán calculados mediante el software.

Todos los resultados obtenidos de nivel de servicio, tiempos en los ciclos semafóricos, tiempos de demora, etc., serán mediante el programa, el cual se rige bajo las normas de la HCM 2010.

Por otro lado, quedan fuera del alcance aspectos referentes a la implementación de modelos de peatones, tiempos de recorrido para estudio de OD (Origen - Destino), la implementación en la vía y a los costes de material de señalización de la vía y de su instalación, ya que se trata únicamente de un análisis que verifique que con el reajuste de ciclos semafóricos mediante el uso de un microsimulador es posible mejorar el comportamiento del tráfico respecto a la situación actual.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Estudio de tráfico¹

El estudio de tráfico vehicular tiene por finalidad cuantificar, clasificar y conocer el volumen de los vehículos que se movilizan por la vía, así como estimar el origen – destino de los vehículos, elementos indispensables para la evaluación económica de la vía y la determinación de las características de diseño de cada tramo de la carretera.

El tráfico se define como el desplazamiento de bienes y/o personas en los medios de transporte; mientras que, el tránsito viene a ser el flujo de vehículos que circulan por la carretera, pero usualmente se denomina tráfico vehicular

2.1.1. Estudio de volúmenes de tráfico

Los estudios de volúmenes de tránsito se realizan siempre que se desea conocer el número de vehículos que pasan por un punto dado. Estos estudios varían desde los muy amplios en un sistema de caminos hasta recuentos en lugares específicos tales como túneles, puentes o intersecciones con semáforos. Las razones para efectuar estos recuentos son tan variables como los lugares en donde se realizan.

2.1.1.1. Aforo: método manual

En un sistema vial los aforos nos sirven para determinar el número de vehículos que viaja en cierta zona o a través de ella; para evaluar índices de accidentes; como datos útiles la planeación de rutas; para proyectar sistemas de control de tránsito; para determinar el tránsito futuro y muchas otras aplicaciones.

Para la realización de los aforos se usó el método manual que será explicado a continuación:

El recuento manual es un método para obtener datos de volúmenes de tránsito a través del uso de personal de campo conocidos como aforadores de tránsito. Los aforos manuales son usados cuando la información deseada no puede ser obtenida mediante el

¹ Manual de estudios de ingeniería de tránsito. México. Representaciones y servicios de ingeniería S. A. 3ra ed. Pág. 10

uso de dispositivos mecánicos. El método manual permite la clasificación de vehículos por tamaños, tipo, número de ocupante y otras características, registro de movimientos de vuelta y otros movimientos tanto vehiculares como de peatones. Los recuentos manuales son usados frecuentemente para comprobar la exactitud de los contadores mecánicos. El personal de campo registra los datos en forma de campo para un aforo en particular.

Cuando dos personas lleven a cabo el aforo de volúmenes en una intersección simple, de cuatro ramas con sentido de circulación doble, deberán estar colocados diagonalmente, en esquinas opuestas. Cada observador deberá contar los vehículos que entran desde los accesos. Generalmente una persona puede atender dos accesos cuando el tránsito es de orden mediano. Sin embargo cuando el tránsito es elevado puede necesitarse un observador por cada acceso o, en casos extremos varios observadores por acceso. Entre las ventajas de los recuentos manuales están su mayor exactitud que pueden ser obtenidas mayor observación y que el trabajo de gabinete se simplifica generalmente. Sin embargo, es más caro obtener los datos en esta forma que a través del uso de equipos para recuentos automáticos. Por lo tanto, los recuentos manuales están generalmente limitados para periodos cortos o en lugares donde esta forma es la única para poder realizarlos.

Es conveniente que los aforos manuales en intersecciones, se lleven a cabo por un mínimo de 12 horas, incluyendo en este espacio de tiempo las horas de mayor demanda. Por lo general, para la mayoría de los propósitos de ingeniería de tránsito, los aforos deben ser efectuados durante días representativos de un día de la semana típico (martes, miércoles y jueves) a menos que el objetivo del estudio requiera días de fin de semana.²

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

² GARBER Nicholas, HOEL Lester. Ingeniería de tránsito y de carretera tercera edición año 2004.

Tabla 1: Clasificación vehicular

Clasificación vehicular				
Según el tamaño			Según la función	
Livianos	Medianos	Pesados	Privados	Públicos
Longitud menor a 3.5 m, cuenta con dos ejes. Ej: taxis, vans	Longitud mayor a 3.5 m y menor a 7 m, pueden tener en el eje trasero mas de dos ruedas. Ej: vagonetas de cuatro puertas, camionetas de doble cabina, micros.	Longitud mayor a 7 m y cuenta con mas de dos ejes.	Son los vehículos cuya función está al servicio de una persona particular, es decir, no es usado para el transporte público.	Vehículos dedicados al transporte de pasajeros, son exclusivamente a este rubro. Como taxis, trufis, micros.

Fuente: Método del Manual Colombiano

2.1.2. Estudio de velocidades

La velocidad es de vital valor para realizar cualquier tipo de estudio de tráfico; es una medida importante de la calidad del servicio que se proporciona al usuario de la vía. Se utiliza como una de las medidas de eficacia más importante para definir los “niveles de servicio”, en muchos tipos de vía.

Los estudios de velocidad son realizados con la finalidad de estimar la distribución de la velocidad de los vehículos en un flujo vehicular y en un lugar específico ya sea en una calle o en una carretera.

Las características de velocidad que se determinan pueden usarse para:

- Establecer parámetros para la operación y el control del tránsito, como zonas de velocidad (se usa la velocidad del percentil 85 como el límite de velocidad en un camino), o las restricciones de paso.
- Evaluar la efectividad de los dispositivos de control de tránsito, tales como los señalamientos de mensajes variables en las zonas.
- Evaluar y/o determinar lo adecuado de las características geométricas de la carretera, tales como los radios horizontales de las curvas y las longitudes verticales de las mismas.
- Determinar si son válidas las quejas acerca de incidentes de exceso de velocidad.

2.1.2.1. Velocidades máximas de los vehículos³

Los conductores noveles no superarán los 40 km/h en las vías urbanas y travesías ni los 80 km/h en el resto de las vías. La velocidad máxima que un turismo o una motocicleta pueden alcanzar son:

- 50 km/h en vías urbanas y travesías.
- 100 km/h en autovías y carreteras convencionales con al menos dos carriles en cada sentido o provistas de arcén de más de 1,50 metros de ancho.
- 120 km/h en autopistas.
- 90 km/h en el resto de las carreteras.

2.1.2.2. Velocidades mínimas de los vehículos

Así como, las limitaciones de velocidad más frecuentes son de velocidad máxima, también pueden aparecer señalizaciones de límite de velocidad mínima, que obliga a conducir a una velocidad igual o superior a la que indica la señal desde la propia señal hasta una nueva señal de "fin de velocidad mínima" u otra de "velocidad máxima" con el mismo valor o inferior. Estas señalizaciones son frecuentes en las carreteras que disponen de carril para vehículos lentos a la derecha del carril principal, reservándose el carril principal a los vehículos que circulan por encima de una determinada velocidad, señalizada como velocidad mínima.

2.1.2.3. Velocidad media de viaje

Es la velocidad en un trecho de vía determinada por la razón de la longitud del trecho, por el tiempo medio gastado en recorrerlo, incluyendo los tiempos en que los vehículos están detenidos.

2.1.3. Congestionamiento del tránsito

La congestión surge donde la demanda de tráfico es mayor que la capacidad de la calzada, lo que obliga tiempos de viajes excesivos, dependiendo del tipo de transporte, ubicación geográfica y la hora del día.

³ CARDENAS, James. Diseño Geométrico de Vías segunda edición año 2000.

“Habitualmente se entiende como la condición en que existen muchos vehículos circulando, y cada uno de ellos avanza lenta e irregularmente”

Técnicamente, congestión de tránsito es la situación que se crea cuando el volumen de demanda de tránsito en uno o más puntos de una vía excede el volumen máximo que puede pasar por ellos.

Para que se produzca la congestión, es preciso que haya un aumento del volumen de demanda o una disminución del volumen máximo posible, con respecto a la situación que existía cuando no había congestión. Estos cambios pueden ocurrir a lo largo de la vía o a lo largo del tiempo.

2.1.3.1.Causas de congestión vehicular⁴

De acuerdo a Thomson (2002), las causas de la congestión vehicular son variadas. Sin embargo, entre los factores que la provocan se encuentran factores de corto y de largo plazo, a continuación se hace mención de algunas de ellas:

Causas de corto plazo

- Rápido crecimiento poblacional y de trabajo: El rápido crecimiento en el número de hogares y trabajos en un área inevitablemente incrementa el flujo diario de automóviles a través de dicha área.
- Un uso más intensivo de vehículos automotores: La disminución del precio de los automóviles y el acceso al crédito han hecho más accesible la posesión de autos particulares.
- Deficiente construcción de infraestructura vial: Existen casos en los que hay zonas con alta densidad poblacional pero con baja conectividad.

Causas de largo plazo

- Concentración de los viajes de trabajo en el tiempo: La mayoría de las organizaciones empiezan y terminan sus horas de trabajo a la misma hora, de modo que sus empleados pueden interactuar con empleados de otras organizaciones. Los empleados tienen que viajar al mismo tiempo. Aunque

⁴ La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales • Ian Thomson y Alberto Bull, revista de la Cepal 7 6 • abril 2 0 0 2

muchos otros viajes (no de trabajo) están también concentrados en las horas pico, por ejemplo, cuando se lleva a los hijos a la escuela.

- Deseo de escoger dónde vivir y dónde trabajar: Muchos conductores están dispuestos a viajar largas distancias o a tolerar la pérdida de tiempo por el tráfico con el fin de trabajar y vivir donde ellos escojan.
- Deseo de vivir en zonas con baja densidad de población: Un objetivo para muchos ciudadanos es el de poseer un hogar con espacios abiertos, lo que requiere establecerse en grandes zonas alejadas del centro de las ciudades. De aquí que la mayor parte del nuevo crecimiento ocurre en zonas de baja densidad poblacional, lo que genera un mayor tiempo de viaje por residente que en zonas con mayor densidad de población.
- Deseo de viajar en vehículos privados: La mayoría de los ciudadanos prefiere viajar en vehículos privados, usualmente solos, porque dicha forma de viajar provee conveniencia, confort, privacidad, y, muchas veces, una velocidad superior a la del transporte público. Esta preferencia incrementa el número de vehículos en las vialidades durante las horas pico.

Claramente, para los automovilistas, los beneficios percibidos de conducir su vehículo, tomando en cuenta únicamente los costos privados, siguen excediendo los beneficios netos de viajar en transporte público.

Una política que tenga como fin persuadir a más conductores a cambiar su modo de viaje, tendría que hacer que los beneficios netos de conducir un automóvil fueran menores que los beneficios netos de otros modos de viaje. Eso requeriría aumentar los beneficios netos de los otros modos de viaje o disminuir los de conducir su vehículo.

2.1.3.2. La congestión y su relación con los semáforos

Las congestiones de tránsito en horas pico son un problema cada vez más acuciante en las grandes ciudades. Incluso cuando la sobresaturación de vehículos dura poco y ocurre en una pequeña región o en una esquina en particular, su efecto negativo en el flujo del tráfico puede prolongarse por bastante tiempo. La sobresaturación se define como la situación en la cual los vehículos no pueden moverse libremente debido a la cantidad de

autos que están en una intersección o a las colas que se han armado en las calles por las cuales se puede salir de la intersección.

Por otro lado, cuando no hay congestión queremos también que los vehículos atraviesen distintas zonas de la ciudad, o circulen por las vías principales en el menor tiempo posible. La buena coordinación de la red de semáforos de la ciudad y la optimización de los ciclos y fases de cada uno de los mismos son herramientas fundamentales para tratar de resolver estos problemas. Cuando, como ocurre en muchos casos, no existe la posibilidad de construir nuevas vías rápidas o autopistas, puede ser además, la única solución para mejorar la situación.

Coordinar o planificar un semáforo incluye esencialmente decidir cuál es la duración del ciclo completo del mismo, y cuál es la duración del verde en cada dirección de cada una de las calles que son parte de la intersección. (Hay otros detalles, como por ejemplo el tiempo de entreverde).

2.1.4. Longitudes de cola de los vehículos

La longitud de cola de los vehículos se determina basadas en la teoría de las colas, la cual se basa en procesos estocásticos, las que consiste en utilizar la estadística y ciertas asunciones sobre el proceso de servicio. Permite estimar, a partir de las tasas de llegada de los clientes (ya sean vehículos o personas) y de la velocidad de atención de cada canal de servicio, la longitud de cola y el tiempo promedio de atención.

La tasa de llegada de los clientes debe analizarse para conocer, no solamente su intensidad en número de clientes por hora, sino su distribución en el tiempo⁵.

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

Una cola es una línea de espera y la teoría de colas es una colección de modelos matemáticos que describen sistemas de líneas de espera particulares o de sistemas de

⁵ TIMANA, Jorge. Master en ingeniería de transporte. Introducción a la teoría de colas. Universidad de Perú.

colas. Los modelos sirven para encontrar un buen compromiso entre costes del sistema y los tiempos promedio de la línea de espera para un sistema dado.

El problema es determinar qué capacidad o tasa de servicio proporciona el balance correcto. Esto no es sencillo, ya que un cliente no llega a un horario fijo, es decir, no se sabe con exactitud en que momento llegarán los clientes. También el tiempo de servicio no tiene un horario fijo.

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

La distribución de Poisson describe las llegadas por unidad de tiempo y la distribución exponencial estudia el tiempo entre cada una de estas llegadas. Si las llegadas son de Poisson, el tiempo entre ellas es exponencial. La distribución de Poisson es discreta, mientras que la distribución exponencial es continua, porque el tiempo entre llegadas no tiene por qué ser un número entero. Esta distribución se usa mucho para describir el tiempo entre eventos, específicamente, la variable aleatoria que representa el tiempo necesario para servir a la llegada.

2.1.5. Demoras

La información de las demoras del tránsito se mide en unidades de tiempo, registrando el lugar en que ocurren, la causa y su frecuencia. Las demoras pueden ser determinadas para recorridos a lo largo de un tramo de una vía, durante un día y hora específicos de la semana, así como en lugares seleccionados, donde existan serios problemas de tránsito.

En los estudios de demoras se deben considerar dos situaciones, la primera en la que el conductor encuentra una intersección despejada y puede desplazarse de forma continua, y la segunda en la que el control que los semáforos ejercen sobre la intersección obliga al conductor a disminuir la velocidad y eventualmente a detenerse.

Los estudios de demoras se efectúan en aquellas intersecciones donde existen problemas de congestión. El momento más adecuado para efectuar el estudio es en horas pico que por lo general son las horas de mayor demora. Cuando se efectúa este estudio en horas

de demora relativa, es posible determinar el grado del problema por comparación. Al igual que en todo tipo de estudio, las condiciones climáticas deben ser adecuadas y la situación del flujo vehicular debe ser normal. A continuación se enumeran las aplicaciones de los estudios de demoras en intersecciones:

- Evaluación de la eficiencia de los dispositivos de control del tránsito existentes en intersecciones.
- Determinación de la demora por control como medida principal para evaluar posteriormente el nivel de servicio de las intersecciones en estudio.
- Desarrollo de secuencias apropiadas en los ciclos de semáforos.
- Determinación de la necesidad de instalar un semáforo en una intersección específica.
- Investigación relacionada con el flujo del tránsito en intersecciones.

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

2.1.6. Niveles de servicio

La capacidad y niveles de servicio son herramientas que permiten evaluar el desempeño de una intersección. Cuantitativamente, los Niveles de Servicio se establecen a partir de la Velocidad de Operación que permiten y la densidad (VL/Km/carril), para las condiciones prevalecientes en la carretera. Dicho de otro modo, el límite inferior de un Nivel de Servicio queda definido por el volumen máximo que permite alcanzar la velocidad de operación especificada como propia de ese nivel.

Las características principales de operación que se dan dentro del rango correspondiente a cada nivel son:

Nivel A: Representa la condición de flujo libre, que se da con bajos volúmenes de demanda, permitiendo altas velocidades a elección del conductor. La velocidad está sólo limitada por la velocidad de diseño de la carretera, la que en todo caso debe ser al menos igual a 110 Kph, por definición de condiciones físicas exigidas para el nivel. Debe ser

posible que todo usuario que lo desee pueda desarrollar velocidades de operación iguales o mayores que 96 Kph.

Nivel B: Representa la condición de flujo estable, los conductores aún pueden seleccionar sus velocidades con libertad razonable. Para poder brindar este nivel la carretera debe poseer una velocidad de diseño igual o mayor que 96 Kph. Todo usuario que lo desee podrá desarrollar velocidades de operación iguales o mayores que 80 pero menores que 96 Kph.

Nivel C: Representa aún condición de flujo estable, pero las velocidades y la maniobrabilidad están íntimamente controladas por los altos volúmenes de tránsito. La mayoría de los conductores no puede seleccionar su propia velocidad. En caminos con tránsito bidireccional hay restricción para ejecutar maniobras de adelantamiento. La velocidad de diseño exigida por el nivel debe ser de al menos 80 Kph y la velocidad de operación posible debe ser igual o mayor que 64 pero menor que 80 Kph.

Nivel D: Representa el principio del flujo inestable, con volúmenes del orden, aunque algo menores, que los correspondientes a la capacidad del camino. Las restricciones temporales al flujo pueden causar fuertes disminuciones temporales al flujo pueden causar fuertes disminuciones de la velocidad de operación. Los conductores tienen poca libertad para maniobrar, poca comodidad en el manejo, pero estas condiciones pueden tolerarse por cortos periodos de tiempo. La velocidad de operación fluctúa alrededor de 56 Kph.

Nivel E: Representa la capacidad del camino o carretera y por tanto el volumen máximo absoluto que puede alcanzarse en la vía en estudio. El flujo es inestable, con velocidades de operación del orden de 48 Kph. El nivel E representa una situación de equilibrio límite y no un rango de velocidades y volúmenes como los niveles superiores.

Nivel F: Describe el flujo forzado a bajas velocidades con volúmenes menores que la capacidad de la carretera. Estas condiciones se dan generalmente por la formación de largas filas de vehículos debido a alguna restricción en el camino. Las velocidades y las detenciones pueden ocurrir por cortos o largos períodos debido a la congestión en el camino.

Para evaluar el funcionamiento de las intersecciones afectadas se utilizaron las técnicas del "Highway Capacity Software" (HCS2000), establece que el Nivel de Servicio de una intersección está dado por la demora promedio que sufren los vehículos en ella.

Tabla 2: Nivel de servicio para una intersección por demora

Nivel de Servicio	Demora Promedio (segundos)	Nivel de Servicio	Demora Promedio (segundos)
A	<10	A	<10
B	10.1 - 15	B	10.1 - 20
C	15.1 - 25	C	20.10 - 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 semáforo		Niveles de servicio para una intersección con semáforo	

Fuente: HCM 2000

2.1.7. Dispositivos para el control de tránsito

Se denominan dispositivos para el control de tránsito a las señales, marcas, semáforos y cualquier otro dispositivo, que se coloca sobre o adyacente a las calles y carreteras por la autoridad pública para prevenir, regular, y guiar a los usuarios de las mismas.

Semáforos: El semáforo es un aparato de funcionamiento electromagnético proyectado de modo específico para facilitar el control del tránsito de vehículos y peatones, con indicaciones visuales en el camino. Su finalidad principal es la de permitir el paso, alternadamente, a las corrientes de tránsito que se cruzan, permitiendo el uso ordenado y seguro del espacio disponible. Se recomienda que la cara de todo semáforo debe tener por lo menos tres lentes: Rojo, ámbar, y verde.

Se consideran Intersecciones semaforizadas las que están reguladas permanente o mayoritariamente mediante sistemas de luces que establecen las prioridades de paso por la intersección. La semaforización de intersecciones puede ser un instrumento eficaz para la reducción de la congestión, la mejora de la seguridad o para apoyar diversas estrategias de transporte.

2.1.7.1. Tipos de semáforos⁶

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

A continuación se explicará los 4 tipos de semáforos que se usan en la actualidad, donde se resaltarán principalmente su modo de operación, sus beneficios y problemáticas:

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

Un semáforo de tiempo fijo opera con una unidad de control, que es la encargada de regir el comportamiento de las luces en los semáforos con base a una programación. Los semáforos de tiempo fijo permiten tener un programa de tiempos y fases que se asigna

⁶ Coordinación de Semáforos en la Avenida Miguel Ángel de Quevedo por Ricardo Peña Garibay, Cd Mx 2016

con base a información vial recopilada previamente. Algunas unidades de control permiten tener programas que varíen con respecto a la hora, para que de esta manera se asigne la mejor programación para ciertos periodos específicos, de acuerdo a la demanda del tráfico.

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

Coordinados: Los semáforos coordinados son aquellos que parten de semáforos de tiempo fijo, pero que dada la cercanía de los cruces que tienen semáforos se ha visto necesario coordinar éstos para que se tenga fluidez en la avenida. Las avenidas que presentan varios cruces a lo largo de su longitud y que presentan semáforos, en una distancia de máximo 400 metros será prácticamente obligatorio lograr una coordinación entre los mismos para que no se generen demoras excesivas y los vehículos puedan circular sin detenerse.

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

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

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

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

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

Una intersección compleja o con varias fases (3 o más) se podría solucionar más eficientemente con un control completamente accionado. Para estos casos, los semáforos

además de utilizar las variables descritas en el punto anterior, permiten ajustar un intervalo inicial de tiempo para permitirle arrancar a los vehículos; un intervalo de vehículos, que le permite al vehículo alcanzar la intersección desde el detector; un intervalo máximo, que se define por un tiempo máximo del que se puede disponer una demanda continua en cualquiera de las otras fases; y un intervalo de despeje, que permite darle un tiempo a la intersección de despejarse de vehículos.

Este tipo de semáforos resulta muy útil para la operación de intersecciones complejas o de intersecciones de dos avenidas principales con demandas grandes. En México este tipo de semáforos son los que más escasean y la solución que brindan da muy buenos resultados, sin embargo la implementación de los mismos es la más cara económicamente y es por eso que no se ha invertido mucho en este tipo de herramientas.

2.1.7.2. Repartición de tiempos de un semáforo

Los tiempos que se le asignan a un semáforo pueden definirse por métodos manuales o utilizando software, siendo éste último el que se utiliza en su mayoría. A pesar de que los softwares sean útiles y reduzcan trabajo, los métodos manuales proveen certeza y reducción de redundancia cuando se utilizan, por lo que es siempre importante conocer los métodos manuales primeramente a la utilización de softwares.

Para el cálculo de los tiempos de un semáforo la variable que será más importante tomar en cuenta será la demora, donde se buscará siempre hallar una solución que presente ésta en su mínimo, comparado con otras posibles soluciones. Por lo tanto esto es algo que de antemano deben considerarse y tener siempre en mente, ya que esto definirá la eficacia de los tiempos de un semáforo.

Para asignar los tiempos de un semáforo primeramente tienen que definirse las posibles fases que formen parte del ciclo. Para reducir demoras es conveniente mantener corto el número de fases y agrupar la mayor cantidad de movimientos dentro de una fase. La demanda de cada movimiento es lo que va a restringir el agrupamiento de los movimientos de las fases y posteriormente al tiempo asignado para cada una de ellas. Dicho aquello, parecería lógico que el tiempo que se le asigne a cada fase sea el proporcional al ciclo igual a la proporción de la demanda vehicular de la intersección.

Intervalo de cambio de fase: Este tiempo es aquel que se asigna para informar a los conductores de un cambio en la asignación del derecho de paso en la intersección. Por lo tanto, este intervalo está definido por la suma del tiempo del semáforo en ámbar y el tiempo de todo rojo.

- La duración del ámbar se define por la suma de un tiempo de percepción-reacción del conductor (por lo general 1 segundo) y el cociente de la velocidad de aproximación de los vehículos con el doble de la tasa de deceleración (por lo general 3.05 m/s^2).

La utilización de la luz amarilla entre la verde y la roja se debe a que no es posible detener instantáneamente un vehículo. Su finalidad es avisar al conductor que va a aparecer la luz roja y que, por tanto, debe decidir si tiene tiempo para pasar antes que se encienda o si, por el contrario, no lo tiene y ha de frenar. En muchos tratados de ingeniería de tráfico, se hace el cálculo de la duración del amarillo basándose en los dos supuestos siguientes:

El tiempo de amarillo será igual o superior al requerido para frenar antes de la línea de detención. Si se ha entrado en la intersección, dará tiempo a atravesarla antes de que se encienda la luz roja.

Para que en todo momento se cumplan ambos supuestos habrá de tomar siempre el mayor de los valores que resulte de calcular el tiempo de amarillo con ambos criterios. A pesar de que los criterios antes indicados parecen muy razonables, como con la aplicación de algunas fórmulas se llega generalmente a tiempos de amarillo muy largos, la mayoría de los autores recomiendan reducirlo a 3 o 4 segundos, ya que la práctica indica que los valores teóricos generalmente obtenidos son menos eficaces que los más reducidos aconsejados por la experiencia.

- La duración del tiempo de todo rojo se define como la suma del ancho de la intersección con la longitud del vehículo, esto dividido entre la velocidad de aproximación de los vehículos. Este cálculo debe realizarse para cada fase, ya que podría cambiar el ancho de la intersección correspondiente y por ende el tiempo de todo rojo.

- Asignación de tiempos verdes, antes que nada se tiene un tiempo de verde efectivo total, que es aquel tiempo de verde total de la intersección, considerando todos sus accesos. Este valor equivale a la duración del ciclo menos el tiempo total perdido por ciclo (este valor es igual la suma de los tiempos en ámbar y todo rojo para cada fase). Posterior a eso se asigna un tiempo de verde para cada fase, donde se distribuye proporcionalmente el tiempo verde efectivo total de acuerdo al valor máximo de la relación entre el flujo actual y el flujo de saturación para cada fase del ciclo. De esta manera se llega a asignar teóricamente la mejor programación semafórica para cada cruce en particular.

2.1.7.3. Ventajas y desventajas de los semáforos

Ventajas:

- Hace ordenada la circulación del tránsito y, en ciertos casos, llega a aumentar la capacidad de la calle.
- Reduce la frecuencia de cierto tipo de accidentes.
- Con espaciamientos favorables se pueden sincronizar para mantener la circulación continua, o casi continua, a una velocidad constante en una ruta determinada.
- Permiten interrumpir periódicamente el tránsito intenso de una arteria para permitir el paso de vehículos y peatones de las vías transversales.
- En la mayoría de los casos representan una economía considerable con respecto al control por medio de policías de tránsito.

Cuando el proyecto o la operación de semáforos son deficientes, pueden existir las siguientes desventajas:

- Se incurrirá en gastos no justificados para soluciones que podían haberse resuelto solamente con señales o en otra forma económica.
- Producen demoras injustificadas a cierto número de usuarios, en especial cuando se tratan de volúmenes pequeños de tráfico.
- Producen reacción desfavorable en el público con la consiguiente falta de respeto tanto a las señales, semáforos o hacia las autoridades.

- El excesivo número de accidentes del tipo de alcance, por cambios sorpresivos de color.
- Pérdida innecesaria de tiempo en algunas horas de día en el que el volumen de tráfico es pequeño y no se precisa de semáforos.
- Aumento de la frecuencia o la gravedad de ciertos accidentes cuando la conservación es deficiente, en especial cuando existen focos fundidos.

2.2. Teoría de simulación

Al hablar de simulación, se refiere a modelos que representen la realidad, con el fin de obtener soluciones viables que sean aplicables al sistema real. Cuando se ha logrado obtener el modelo, la estrategia que se utiliza para llegar a diferentes conclusiones es la simulación. Uno de los objetivos de la simulación es realizar cambios en el sistema y probarlos en el modelo, lo cual permitirá elegir la mejor alternativa para hacer frente a una realidad.

2.2.1. Modelo y sistema

Un modelo es la representación matemática de un sistema o una configuración diseñada del conjunto que se desea analizar para cierto propósito (RAE, 2015). En cuanto por sistema, se entiende a un conjunto de elementos que se interrelacionan entre sí para lograr un comportamiento global. Entonces, modelar un sistema consiste en el proceso que se desarrolla para presentar con exactitud lo que se desea estudiar (CCSYA, 2015).

En este proyecto, el sistema está conformado por los siguientes detalles: la geometría de la zona de estudio, así como elementos dinámicos; vehículos, peatones, semáforos.

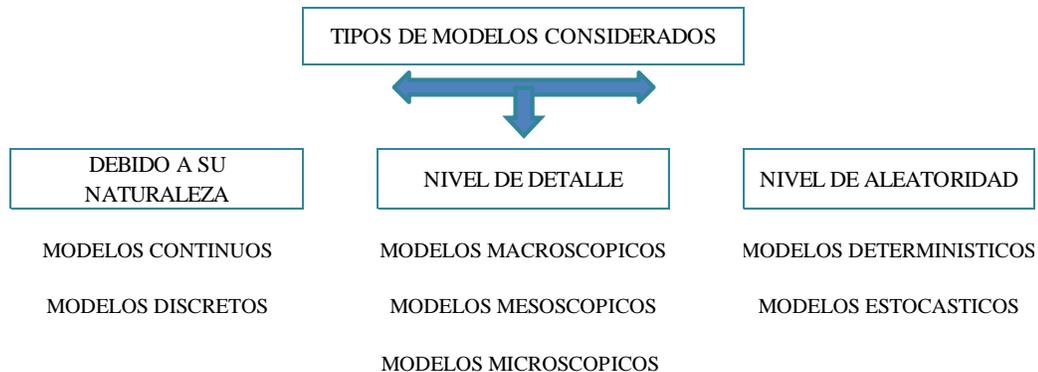
2.2.2. Modelación del tráfico

La modelación permite averiguar qué sucedería en el sistema si se llevan a cabo ciertos cambios, es decir, a través del modelo se puede realizar predicciones a futuro sobre un sistema. La modelación, debe tomar en cuenta todos los parámetros significativos del sistema, de modo que sea un modelo válido, es decir una descripción del sistema y de las reglas que lo gobiernan.

2.2.2.1. Tipos de modelación del tráfico

Los modelos empleados para los estudios de los proyectos se pueden clasificar de diferentes formas dependiendo del nivel de análisis y detalles que se quiera lograr. En este trabajo se abarcarán los principales tipos de modelos que abordan el desarrollo del estudio de la intersección. Estos se pueden apreciar en la figura 4.

Figura 2: Tipos de modelación del tráfico



Fuente: Elaboración Propia

Modelos Continuos: Estos se basan en la variación continua de los parámetros a lo largo del tiempo de estudio. Cambian constantemente en relación al tiempo. Por ejemplo, los vehículos durante su circulación dentro del tráfico cambian de velocidad, posición, etc. (Aguirre, 2015).

Modelos Discretos: Estos modelos se caracterizan por considerar la simulación del proyecto, una variación instantánea de los parámetros de estudio para cada intervalo de tiempo (Carvalho, 2015). Por ejemplo, el número de vehículos en una determinada hora del día. Asimismo, este modelo toma en cuenta el comportamiento de los conductores que sufren cambios en intervalos de tiempo. Ellos deciden qué acción tomar frente a cada situación en que se encuentren (Arrieta, 2013).

Luego de haber presentado los dos primeros modelos, se debe indicar que las simulaciones realizadas podrán tener distinta naturaleza (discreta o continua), en función a lo que se desea estudiar y se complementarán de manera simultánea según el objetivo del proyecto.

Modelos Determinísticos: Están basados en un estudio analítico, el cual se rige bajo ecuaciones matemáticas que no varían en relación al tiempo; es decir, no dependen de la incertidumbre. Por ello, se obtienen los mismos resultados para los mismos datos de entrada dentro del análisis del proyecto (Starfield, 2005). SYCNHRO es el software más común que sigue el análisis determinístico

Modelos Estocásticos: A diferencia del modelo determinístico, el estocástico sí presenta variabilidad en las respuestas obtenidas de acuerdo a los datos de entrada y al tiempo de análisis del proyecto. Vissim es uno de los softwares que cumple con estas condiciones (Howard & Karlin, 1998). Por ello, las simulaciones desarrolladas por los softwares que se basan en configuraciones matemáticas se asocian a los modelos estocásticos. Estos permiten obtener resultados más cercanos a la realidad con un cierto nivel de aleatoriedad según los datos de ingreso, mientras que los modelos determinísticos brindan resultados en base a ecuaciones matemáticas que a veces no se asemejan a la realidad pues desarrollan una única respuesta.

Modelos Macroscópicos: La principal característica de estos modelos es la representación del flujo vehicular en forma genérica. Entre las consideraciones a tener están la velocidad espacial al flujo y la densidad del tráfico. 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.

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).

Modelos Microscópicos: Representar la realidad mediante una interacción vehicular, a través de asignaciones individuales a los vehículos y peatones, es una característica de este modelo (Mathew & Krishna, 2006). Por tal motivo, se pueden obtener resultados con mayor exactitud mediante un correcto estudio de los datos de campo y una adecuada estimación del tiempo invertido. Por lo general se requiere de un mayor tiempo que el empleado en un modelo macroscópico (Suárez, 2007).

2.2.3. Microsimulación de tráfico

Los modelos microscópicos han sido ampliamente utilizados para el análisis del funcionamiento del tráfico. Esto se debe a la seguridad, bajo costo y menor tiempo de análisis en comparación a las pruebas in situ (Byungkyu & Schneeberger, 2007). Uno de los softwares que está basado en el estudio de un modelo microscópico es el programa computacional Vissim. Su análisis permite predecir los potenciales problemas que presenta el proyecto estudiado. Si bien es cierto que en este tipo de modelo existen múltiples parámetros de eficiencia, se deberá trabajar con los más importantes: los adecuados para el proyecto desarrollado.

Finalmente, cabe mencionar que cuando se habla del modelo microscópico, no se refiere a un alcance geográfico del área de estudio, sino a un profundo análisis del funcionamiento del tráfico.

2.2.3.1. Nivel de aleatoriedad en el flujo del tráfico.

El nivel de aleatoriedad dentro de los softwares de Microsimulación se presenta de manera determinista y estocástica. En el primero no se presenta variación en las características de los conductores ni en los vehículos como por ejemplo: el estilo de manejo de los conductores o la misma longitud que cuentan los vehículos. En cambio en un nivel estocástico, se asigna a estos una determinada característica en base a distribuciones estadísticas.

2.2.3.2. Número de semilla

Este genera un número aleatorio, el cual será representado mediante el tipo de vehículo y comportamiento de los conductores con una determinada característica. Su accionar se ve reflejado en la secuencia de decisiones frente a situaciones específicas. Por ejemplo; en el estilo de manejo, pueden observarse conductas agresivas, agradables, entre otros; en el tipo de vehículo, pueden ser camionetas, combis, automóviles. Estas características permiten el orden jerárquico en la red vial (Dowling et al., 2004).

2.2.3.3. Número de corridas

Cada evaluación realizada por el modelo microscópico dependerá del número de semilla asignado. A partir de cada análisis de la Microsimulación, se obtendrán resultados

generalmente cercanos a la media del total de corridas. No obstante, cada evaluación se diferenciará una de otra. Por ello, para hacer válidos los resultados obtenidos, se deberá analizar cuántas corridas serán necesarias (Fellendorf, 2010).

Será necesario hacer un estudio estadístico. Como no se podrá evaluar la totalidad de los elementos (población), se trabajará con una parte de ella (muestra). Esta deberá ser una parte representativa, la más heterogénea posible y debe representar, de la mejor manera, a la población; sin dar preferencias a alguna parte en específico; esto con la finalidad de poder obtener los resultados y extrapolarlos a la población (Fernández, 2015). La distribución de los resultados permitirá un análisis estadístico para poder extrapolar lo obtenido de la muestra a la población, de acuerdo a un nivel de confiabilidad y un margen de error.

Después de haber explicado los conceptos necesarios, será posible determinar la cantidad suficiente de número de corridas del modelo. Su estudio requiere emplear parámetros estadísticos como la media, la desviación estándar y un tipo de distribución. La desviación estándar de la muestra se calcula de la siguiente manera:

$$S^2 = \frac{\sum(x - \bar{X})^2}{N - 1} \quad (1)$$

Donde:

S = Desviación estándar.

X = Resultado del parámetro de eficiencia en una corrida específica.

\bar{x} = Media del parámetro.

N = Número de corridas.

Según lo recomendado por la Federal Highway Administration (FHWA), la distribución empleada para determinar el número mínimo de corridas es la distribución T student, por lo tanto:

$$CI_{(1-\alpha\%)} = 2 * t_{(\alpha/2)*N-1} * \frac{S}{\sqrt{N}} \quad (2)$$

Donde:

C = Intervalo de confianza

$t_{(\alpha/2)}$ = T-student con N-1 grados de libertad

N = Número de corridas

S = Desviación estándar

Tal como se menciona en los estudios realizados por la FHWA (2004), el número mínimo de corridas se evalúa de la siguiente manera:

$$N = \left(t_{\alpha/2} * \frac{S}{e} \right)^2 \text{ Número mínimo de corridas} \quad (3)$$

Donde:

N = Número mínimo de corridas

$t_{(\alpha/2)}$ = T-student con N-1 grados de libertad

S = Desviación estándar.

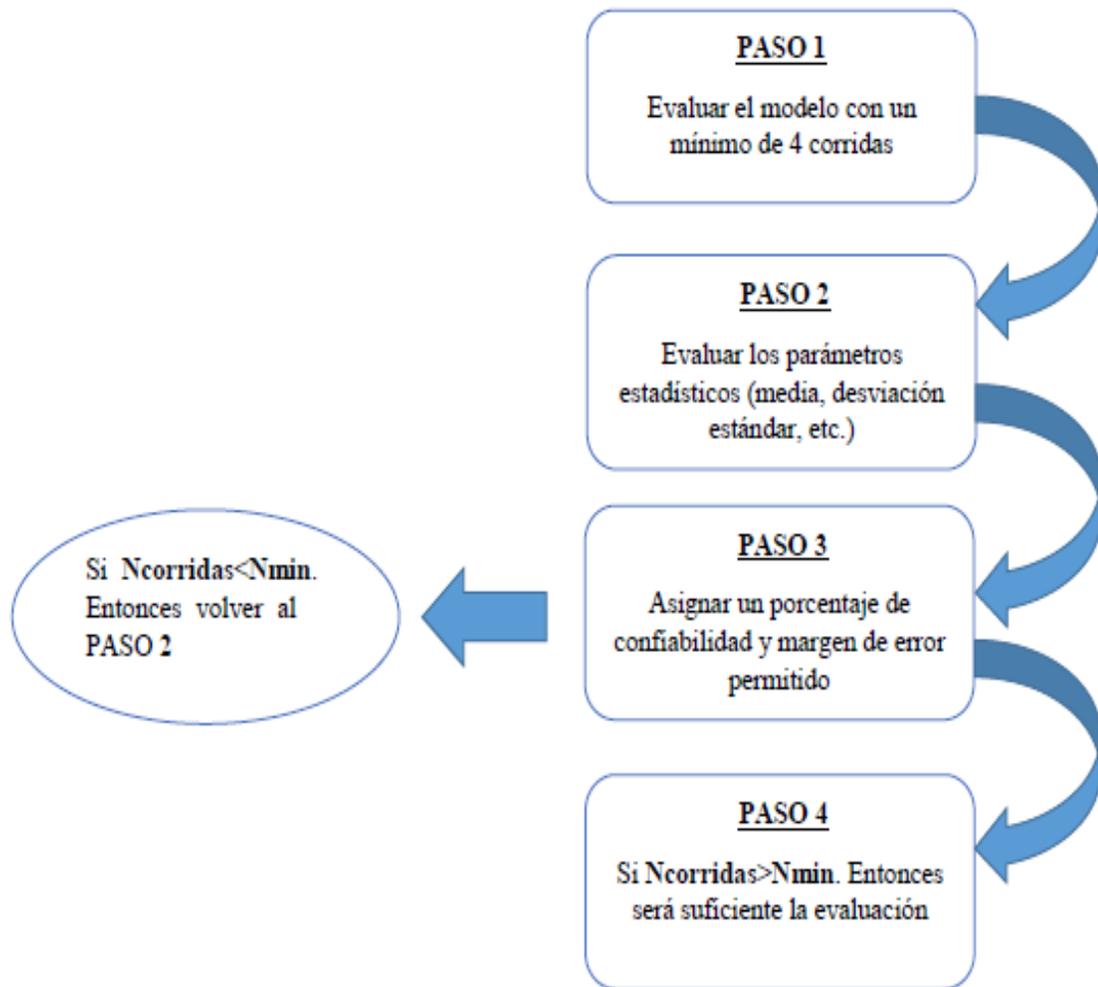
e = Margen de error

The Federal Highway Administration (FHWA) recomienda el siguiente proceso de análisis para determinar el número mínimo de corridas: en primer lugar, se debe evaluar el modelo desarrollado con un mínimo de 4 corridas. Luego se prosigue a obtener los parámetros estadísticos de los resultados como la media, la desviación estándar, etc. Asimismo, se debe asignar un nivel de confiabilidad y el margen de error. Una vez establecidos estos detalles, se obtiene el número mínimo de repeticiones mediante la ecuación 3.

Finalmente, se debe comparar el valor obtenido por la ecuación 3 contra el número de corridas del modelo. Se tendrá dos opciones: si la cantidad de corridas realizadas es mayor al mínimo, será suficiente la evaluación. Caso contrario, se deberá trabajar con otra cantidad de corridas y volver a medir los parámetros estadísticos de la nueva muestra y seguir con el procedimiento que continúa hasta conseguir que el número de corridas sea mayor al mínimo.

Para un mejor entendimiento del proceso mencionado, se presenta en la siguiente figura:

Figura 3: Proceso recomendado por la FHWA (2004)



Fuente: Elaboración Propia

2.2.3.4. Warm up (tiempo de estabilidad)

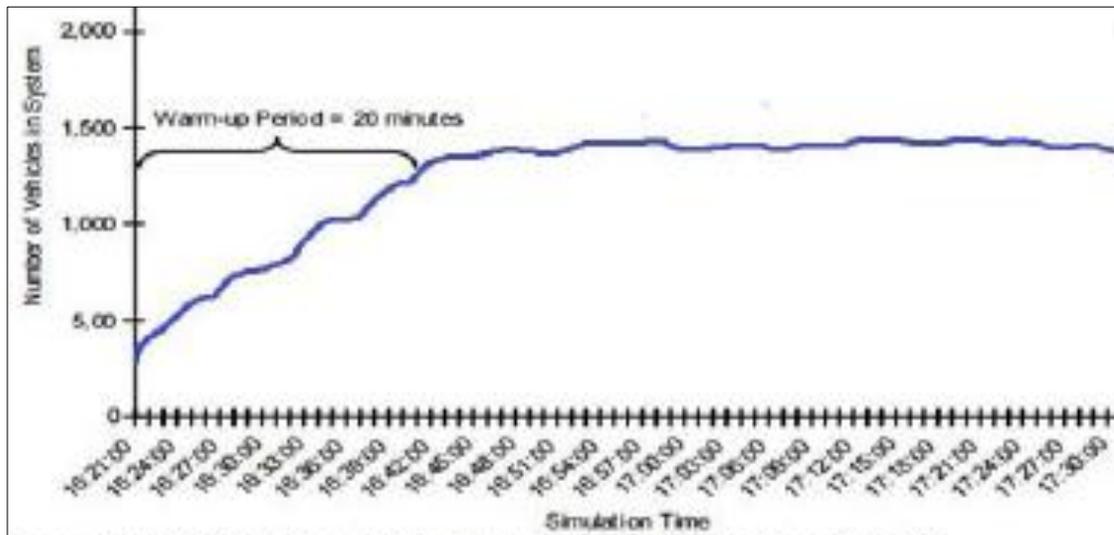
Por lo general, cuando se inicia la ejecución de la simulación, ningún vehículo está presente en el sistema vial ya que durante el transcurso del tiempo, el modelo comenzará a tener una mayor cantidad de vehículos. El periodo necesario para conseguir el equilibrio vehicular se conoce como warm up.

Cuando se logra este equilibrio, será apropiado empezar a recopilar la información estadística. Se analizan los resultados de los parámetros de eficiencia como el volumen vehicular, la longitud de colas, el tiempo de viaje, etc. (Dowling et al., 2004). Estudios

realizados por FHWA obtuvieron el tiempo de estabilización para los modelos realizados (warm up) como mínimo 10 minutos de simulación.

En la figura 6 se presenta el aumento de entrada de vehículos con respecto al tiempo hasta el instante donde la curva tiende a ser constante (horizontal). Ahí se observa el tiempo transcurrido, cuyo valor numérico será el warm up.

Figura 4: Tiempo de warm up



Fuente: Modificado de Dowling al. (2004)

2.2.3.5. Interacción de vehículos

La interacción de los vehículos, en la red de flujo vehicular, es una característica esencial de los modelos microscópicos. La manera de hacerlo es mediante los modelos de seguimiento vehicular y cambio de carril (Fellendorf, 2010).

En la primera; la decisión de los conductores pasa por el análisis de la velocidad, aceleración, desaceleración, distancia segura, entre otros; mientras que en la segunda, se toma en cuenta la necesidad de cambio de carril del vehículo, ya sea por el estilo de manejo del conductor o por el adelanto de un vehículo más rápido a otro más lento (PTV GROUP, 2015)

2.2.4. Calibración del modelo

La obtención de los parámetros necesarios en la correcta modelación, se pueden obtener de cuatro fuentes distintas: mediciones obtenidas en los ensayos de campo, valores

citados de la bibliografía disponible, por “default” (valor propuesto por el modelo) y tomando el valor obtenido de la calibración, producto de correr el modelo hasta que el resultado de la predicción coincida con los valores obtenidos en campo, y corroborando que estos valores estén dentro de valores posibles citados en la bibliografía.

La calibración es un proceso iterativo que tiene por finalidad asegurar que el modelo realizado refleje adecuadamente la situación real (a través de sus condiciones locales). Se lleva a cabo mediante la comparación entre parámetros de eficiencia obtenidos con el software y los datos de campo. Se emplean parámetros como la longitud de colas, velocidad de viaje, tiempo de viaje y otros (Dowling et al., 2004). Estudios realizados por Bloomberg (2003) hacen mención que se podría presentar hasta una diferencia de resultados del 69% a condiciones futuras, si se presenta una diferencia del 13% entre velocidades en la calibración en vías rápidas. Para vías urbanas se toma aceptación hasta el 20 % de margen de error en longitud de cola según el Software utilizado y menor al 10% en tiempos recorridos de un punto a otro.

Tabla 3: Erros admisible en parámetros para la calibración

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

Fuente: Bloomberg (2003)

La simulación se lleva a cabo sobre modelos que contienen parámetros en representación del comportamiento individual de los vehículos, parámetros que describen desde elección de rutas hasta tiempos de reacción o agresividad en adelantamientos. En muchos casos, estos parámetros no son observables y deben ser calibrados antes de utilizar el modelo como herramienta predictiva. Los modelos de tráfico acostumbran a estar formados por submodelos, que intentan reproducir una toma de decisión concreta de un viajero individual, como por ejemplo la decisión de realizar un adelantamiento o de decelerar tras una frenada del coche precedente. Cada uno de estos submodelos contiene varios parámetros, con lo que en conjunto el modelo global consta de, quizás, varias de ellos. Por ello, resulta imposible aislarlos para medirlos

individualmente. Por ello, lo usual es realizar la calibración de varios parámetros simultáneamente. A la hora de calibrar, se ajustan los parámetros para que los resultados del modelo sean similares a los datos reales medidos. Esta diferencia entre valores reales y simulados se calcula usando un agregado de información, que no describe el comportamiento individual de los vehículos. Esta información pueden ser flujos vehiculares, velocidades, tiempos de recorrido, longitudes de cola, etc. Igual que cualquier modelo, los modelos de tráfico no están exentos de simplificación.

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

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

2.2.5. Validación del modelo

Este es el proceso donde se verifica si el modelo realizado cumple con las condiciones necesarias para ser apto a la evaluación de resultados. Como resultado final, se debe obtener valores semejantes entre el software utilizado y los resultados del campo, donde se tiene como base los parámetros modificados dentro del software en el proceso de calibración (Benekohal, 1991).

Con la validación se busca cuantificar la confiabilidad con la que un modelo es capaz de predecir una determinada situación o proceso. En este proceso se tomara en cuenta el tiempo de recorrido y longitud de cola.

2.2.6. Softwares de simulación más utilizadas⁷

Debido a que en problemas con características de complejidad y magnitud como el de control de tráfico urbano no es viable validar las estrategias de control directamente sobre la malla vial, la utilización de plataformas de simulación se encuentra fundamentalmente ligada a las estrategias de control de tráfico urbano. Por esta razón, es importante identificar qué plataformas de simulación se están utilizando en Colombia y en otros países, tanto por la comunidad académica en general como por las autoridades distritales y municipales a través de consultorías por parte del sector privado para llevar a cabo su gestión.

Las plataformas de simulación pueden, entonces, ser clasificadas de acuerdo al modelo de tráfico que utilicen. Estos modelos pueden ser macroscópicos, microscópicos o mesoscópicos.

Modelos macroscópicos: Este tipo de modelos es, en general, apropiado para aplicaciones de gran escala donde las principales variables de interés se encuentran relacionadas con las características del flujo. Entre las plataformas de simulación macroscópica más relevantes se encuentran TRANSYT-7F, VISUM, FREFLO, NETVACI, TransCAD, KRONOS, AUTOS, EMME/2, METANET y METACOR

Modelos mesoscópicos: presentan una aproximación intermedia entre los microscópicos y los macroscópicos en la medida en que mezclan conceptos y herramientas de ambos modelos al analizar el comportamiento de grupos de conductores METROPOLIS, DYNASMART, DYNAMIT e INTEGRATION

Modelos microscópicos: Estos modelos, como su nombre sugiere, presentan la escala más pequeña para el acercamiento al análisis de los sistemas de tráfico urbano. En este sentido, sus variables de interés se relacionan con el comportamiento de vehículos individuales respecto a la infraestructura y a los demás vehículos en ella. Cabe anotar que el hecho de que este tipo de modelos procuren representar comportamientos humanos aumenta en gran medida su complejidad y costos. Entre las plataformas de

⁷ Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte, Bogotá, 2005.

micro simulación más relevantes están INTRAS, FRESIM, MITSIM, NETSIM, CORSIM, VISSIM, THOREAU, FLEXYT-II y AIMSUM

2.3. VISSIM (VERKEHR IN STÄDTEN SIMULATION) Software de Microsimulación⁸

VISSIM es una herramienta de simulación microscópica, la cual modela el tráfico a nivel urbano y la operación del transporte público. El programa puede analizar diferentes condiciones del tráfico en diferentes condiciones de operación y analizar la operación de diferentes dispositivos de regulación del tráfico. Por tanto, es un programa que puede realizar análisis dinámicos.

Es ideal para profesionales del transporte que quieren simular diferentes escenarios de tráfico antes de iniciar la aplicación. Por lo tanto, les permite encontrar una solución que tenga la calidad de tráfico y transporte, seguridad y costo en consideración.

El VISSIM es un paquete de simulación de tránsito que puede interactuar con sistemas de regulación del tránsito semaforizadas, los cuales pueden ser actuados, semiactuados o prefijados. Esto convierte esta herramienta en una de las más poderosas para el análisis dinámico entre la operación del flujo vehicular y la operación de los sistemas de regulación del tráfico. Este programa también simula la operación del tráfico en sistemas de señales de prioridad o sistemas a desnivel. La fortaleza del VISSIM radica en que puede realizar, como ya se mencionó, análisis dinámicos entre la operación vehicular y la operación de sistemas de regulación del tráfico, lo que presenta un componente que permite evaluar y analizar todas y cada una de las intersecciones semaforizadas que puedan presentarse en una red, como la interacción entre el flujo vehicular, los peatones y ciclo usuarios. También es la primera herramienta que realiza la edición de los datos en un ambiente de dos dimensiones, y presenta los resultados en un ambiente gráfico de tres dimensiones. Puede generar estos archivos de tres dimensiones con objetos dinámicos (autos, personas y bicicletas) y con objetos estáticos (edificaciones).

⁸ Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte, Bogotá, 2005

2.3.1. Antecedentes del Vissim

El término proviene de la frase alemana “Verkehr in Städten - Simulation”. Se traduce como simulación del tránsito en las ciudades. Sus inicios datan por la década de los ochenta en la universidad de Karlsruhe de Alemania. Su primera aparición en el mundo comercial fue en el año 1992, con la versión 2.03 dentro del entorno de Windows (PTV GROUP, 2015). Actualmente, la empresa PTV Group dispone de la versión 10.03 y además, se espera que lidere el mercado en cuanto a programas de microsimulaciones para estudios del tránsito.

2.3.2. Funcionamiento del Vissim

Vissim está basado en los parámetros psicofísicos del seguimiento vehicular propuesto por el profesor Wiedemann. Entre sus aplicaciones más destacadas están el de proyectar el tránsito urbano y operaciones del transporte público así como el análisis de la configuración de carriles, composición del tráfico, semaforización, etc. Es así que se convierte en una herramienta útil para la evaluación de las alternativas basadas en el diseño y el planeamiento del tránsito y transporte (Gao, 2008).

Su principal tarea es conseguir la adecuada representación del comportamiento de la conducción vehicular en el tránsito. Para lograrlo, se debe tomar en cuenta la dinámica seguida por los distintos tipos de vehículos en interacción.

Está internamente compuesto por dos funciones: el simulador del tráfico y el generador de estados de señales. El primero de estos permite la animación de la circulación de los vehículos; mientras que el segundo genera internamente archivos de salida con acumulación de datos estadísticos como tiempos de viaje y longitudes de cola.

2.3.3. Modelos con los que opera Vissim

2.3.3.1. Modelo de seguimiento vehicular

El modelo de seguimiento vehicular que utiliza el Vissim el modelo de Wiedemann, el cual se basa en los parámetros psicofísicos. Su modelo considera esencialmente la percepción y reacción humana en las diferentes situaciones del tráfico vehicular⁹. La percepción y reacción humana se ven representadas a través de las influencias de sus

⁹ Macêdo & Mendonça de Castro Neto, 2014

propios movimientos, debido al tipo de manejo, máxima aceleración, etc. Así como la distancia entre vehículos y la diferencia de velocidades entre ellos.

Estos factores mencionados dependen de un conjunto de umbrales humanos y distancias entre vehículos dentro de situaciones de interacción vehicular (líder y seguidor). Como se muestra a continuación en el siguiente gráfico y ecuación la distancia requerida en la interacción entre un par de vehículos.

Figura 5: Modelo de seguimiento vehicular



Fuente: elaboración propia

$$d = ax + (bx_{add} + bx_{mul} * z)x\sqrt{v} \quad (4)$$

Donde:

ax = Distancia promedio deseada entre vehículos detenidos.

bx_{add} = Parte aditiva de la distancia deseada por seguridad.

bx_{mul} = Parte multiplicativa de la distancia deseada por seguridad.

Z = Valor entre 0 y 1, obtenido de una distribución normal ($x=0.5$ y $s=0.15$)

V = Velocidad (m/s)

El concepto básico del modelo es que el conductor de un vehículo más rápido comienza a desacelerar cuando alcanza su umbral de percepción personal e identifica a un vehículo circulando más despacio. Dado que no puede determinar exactamente la velocidad a la que circula el vehículo de adelante, su velocidad descenderá más que la velocidad del vehículo de adelante hasta que, después de alcanzar otro umbral de percepción,

comience nuevamente a acelerar suavemente. Esto resulta en un proceso iterativo de aceleración y desaceleración.

En este modelo se consideran cuatro posibles situaciones (áreas), por las cuales, los conductores atraviesan dentro del tráfico, las cuales se explican a continuación seguida de su grafica correspondiente:

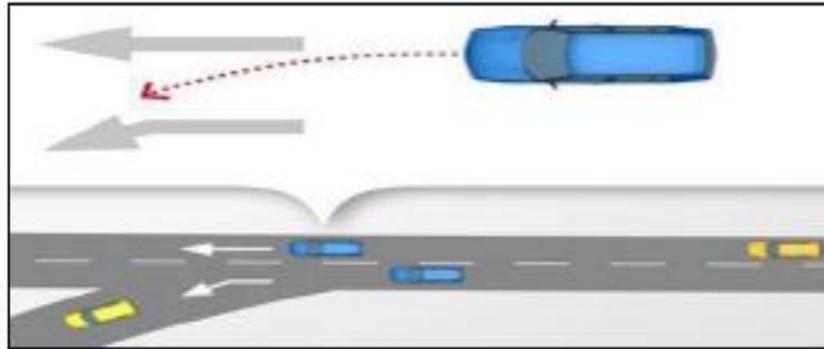
Libre: No presenta afectaciones por algún otro vehículo. En este caso el conductor busca alcanzar una velocidad deseada, sin embargo no es exacto mantener esa velocidad debido a la precisión de los velocímetros y al hecho de que no se está viendo el mismo todo el tiempo. De esta forma el estado libre presenta oscilaciones en un rango bajo y alrededor de la velocidad deseada. Este estado contempla manejo libre sin ningún tipo de control de cruce, donde automáticamente se puede tener una velocidad constante por el auto que se esté manejando.

Acercamiento: Es el proceso en el que el conductor adapta su velocidad de acuerdo al vehículo de enfrente. El conductor conforme se acerca al otro auto desacelera para que no se presenten diferencias de velocidad una vez se llegue a una distancia de seguridad.

Seguimiento: El vehículo sigue al auto de enfrente despreciando la aceleración y desaceleración que se le esté obligando. El conductor inconscientemente acelera y desacelera con el único fin de mantener la distancia de seguridad, por lo tanto el cambio de velocidad que adquiere el vehículo oscila alrededor de cero.

Frenado: El conductor frena, desacelerando de mediana a gran manera cuando ve que al estar detrás de otro vehículo la distancia de seguridad es menor a la deseada. Esto ocurre por lo general cuando el vehículo de enfrente cambia abruptamente su velocidad o cuando un tercer vehículo se cambia de carril en medio de los dos autos.

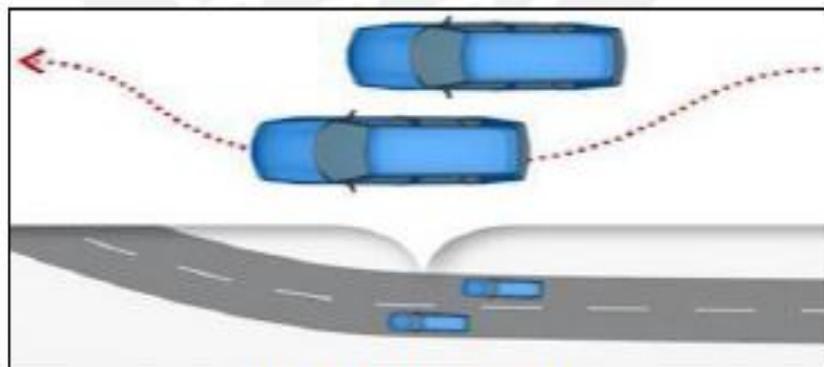
Figura 7: Cambio de carril necesario



Fuente: PTV GROUP (2015)

Cambio de Carril Libre: En este escenario se presenta el adelanto a vehículos con movimiento lento. Por ejemplo, se aprecia en la figura 9 que el vehículo realiza un cambio de carril libre ya que su velocidad deseada es mayor que el de adelante. En estos tipos de modelos se asegura que el vehículo adelantado no se vea considerablemente afectado por esta maniobra (PTV GROUP, 2015).

Figura 8: Cambio de carril libre



Fuente: PTV GROUP (2015)

2.3.3.3. Modelo de comportamiento lateral

En una instancia, los automóviles en VISSIM utilizan todo el ancho del carril en el que están circulando; relativo a esto, en el programa se puede modificar el comportamiento lateral, sobre si el vehículo maneja al centro, derecha o izquierda del carril o sin especificar su posición lateral. De esta manera, si es carril es lo suficientemente amplio

se puede rebasar utilizando parte del espacio libre de ese carril. En este caso, el vehículo que rebasa toma en cuenta su valor máximo de desaceleración; si este no permite que se frene a tiempo entonces se rebasa al auto de enfrente mientras siga siendo posible. En los parámetros laterales se pueden modificar algunas variables que toman en cuenta los giros que harán próximamente los autos y la distancia mínima lateral para conservarse. Si estos valores están fuera de sí entonces se tendrán colisiones.

Dentro de las opciones de ajuste de los parámetros de comportamiento lateral, si se selecciona la opción de mantener la distancia lateral con los vehículos en los otros carriles, entonces los autos consideran su posición para mantener una orientación lateral con los vehículos en los carriles adyacentes y de esta manera mantienen su distancia lateral mínima. Para este objetivo los autos ajustan su posición dentro de su carril y se desvían del camino. En la simulación se toma en cuenta también las posiciones traseras de los vehículos, que desean cambiar de carril o ya lo hicieron, si no se selecciona esta opción a considerar, entonces los vehículos en los carriles adyacentes se ignoran, incluso si son más anchos que sus carriles, excepto cuando realizan un cambio de carril.

Dentro del programa es posible modificar otras opciones relacionadas al comportamiento lateral, como distribución de los vehículos en colas, comportamiento lateral previo a giros próximos, velocidad mínima longitudinal, cambios de dirección laterales, rebasar en el mismo carril, distancia lateral mínima, entre otros. Donde dichos parámetros resultan útiles para modelar vialidades donde se presentan distintos tipos de vehículos, principalmente donde se tienen bicicletas y motocicletas. Sin embargo manipular estos parámetros para vialidades donde se tienen puros automóviles resultará poco útil modificar estas opciones.

2.3.3.4. Procesamiento para optimizar la programación semafórica

Este procedimiento se basa en hacer repetidas veces simulaciones en la red, donde se desactivan todos los controladores excepto los semáforos con el objetivo de ir cambiando los tiempos de verde y buscar tener un mayor flujo vehicular y menor demoras. De manera que al final del proceso se cambian los tiempos de acuerdo al mayor flujo y la menor demora.

Los pasos que lleva a cabo VISSIM de acuerdo al manual para hacer la optimización son los siguientes:

1. Se determina la demora promedio de todos los vehículos que han pasado por los nodos dentro de los carriles que contienen semáforos, utilizando una evaluación de nodo que se creó automáticamente para cada grupo de señales a lo largo de la simulación.
2. El grupo semafórico que presenta mayor demora se determina en cada escenario.
3. El escenario con el mínimo de los máximos promedios de demora se selecciona como el mejor escenario.
4. El escenario con el máximo de los máximos promedios de demora se selecciona como el peor escenario.
5. Se sustrae un segundo del tiempo de verde del mejor escenario.
6. Se añade un segundo del tiempo de verde al peor escenario.
7. Si no se puede sustraer un segundo del mejor escenario se utilizará el segundo mejor escenario. Si éste tampoco puede ser acortado, el siguiente peor escenario se tomará iterativamente. Si ya no se pueden acortar los tiempos en ningún caso entonces la optimización habrá finalizado.
8. Una programación semafórica es mejor que otra si cumple con lo siguiente:
 - El flujo total de vehículos dentro del nodo incrementa por 25 vehículos o por un 10% si son menos.
 - Si el flujo no ha disminuido por 25 vehículos o por un 10%, y la demora promedio en todos los vehículos ha disminuido.
 - Si la programación es mejor que la mejor calificada, ésta sería ahora la nueva mejor. La optimización entonces continuaría con el siguiente paso:
9. La optimización habrá terminado si se cumple alguno de los siguientes criterios:
 - La programación semafórica no mejora después de 10 simulaciones.
 - Cuando el flujo disminuye más de un 25% comparado con el de la mejor programación.
 - La demora promedio incrementa por más de un 25%.

2.3.4. Componentes del Vissim

El Vissim consta de dos componentes básicos: el componente de simulación del flujo vehicular, donde se realiza todo el análisis sobre el flujo vehicular y se definen las características de todos los elementos que intervienen en dicho análisis; y el modelo dinámico de simulación, donde se define la asignación del tráfico y se realiza la interacción entre el componente del flujo vehicular y la componente de análisis de las intersecciones semaforizadas, principalmente.

El programa de simulación se puede basar en análisis realizados con programas como el PRESYNCHRO o el WINTEAPAC, los cuales forman parte del TEAPAC. Éste último es la herramienta en que se basa el modelo de simulación dinámico para analizar los tiempos de los semáforos y la optimización de los mismos.

El Vissim es un sistema integrado, compuesto por los siguientes submodelos de apoyo:

Modelo de simulación del tráfico: Modelo microscópico de simulación del tráfico urbano basado en simulación estocástica.

Modelo dinámico de simulación y asignación del tráfico: Modelo macroscópico de simulación de tráfico urbano, basado en las condiciones que genera el modelo de simulación de tráfico.

TEAPAC: Modelo microscópico de simulación de redes de intersecciones semaforizadas que puede determinar el tiempo óptimo de verde en intersecciones reguladas por semáforo. Este análisis se efectúa de manera coordinada en dichas redes y presenta dos opciones: el manejo del programa propio del TEAPAC, denominado PRESYNCHRO, desde donde se realiza el análisis de todas las intersecciones que alimentan la red de proyecto; y el WINTEAPAC, que permite la alimentación de las redes semaforizadas desde un programa alternativo que realice dicha simulación, como TRANSYT, HCS o SYNCHRO.

2.3.5. Procesamiento de datos en Vissim

Las tareas de campo requieren el procesamiento de los datos en gabinete. Por un lado deben sintetizarse los datos contados en el terreno, y resumirse los mismos en valores horarios. Otro tratamiento es el que debe realizarse con las filmaciones. En este caso

deben contarse los vehículos, con su respectiva clasificación y tipo de movimiento en gabinete, y luego pasar los datos medidos a volúmenes horarios. A partir de filmaciones también se obtendrían los datos para calibrar en una etapa posterior el modelo de micro simulación de tránsito.

Datos necesarios para la simulación: Geometría, fases semafóricas, volumen de tránsito, comportamiento de los conductores.

Datos para la calibración: Tiempo de viaje o recorrido, capacidad y saturación, demoras y colas.

2.3.6. Alcances del Vissim

El ambiente de tránsito que solicita el modelo y que debe ser especificado por el usuario consiste en:

- Topología del sistema de vías, calles y carreteras (en la forma de diagramas de enlace de nodos, red).
- Geometría de cada uno de los componentes de la red.
- Canalización y disposición de los carriles tales como giros a izquierda permitidos, y carriles exclusivos de buses.
- Comportamiento de los conductores de manera que se configure el desempeño de los vehículos en los flujos del sistema, como aceleración, desaceleración y comportamiento en la fase semafórica de amarillo (fase de despeje).
- Dispositivos de control de tráfico, como señal de pare (stop), ceda el paso (yield), fases y tiempos de semáforos y detectores inductivos.
- Volúmenes e intensidades de tráfico que ingresan al sistema vial.
- Datos de origen y destino y trayectorias de los movimientos.
- Flota de automóviles o composición vehicular (buses, camiones y vehículos livianos).
- Especificaciones del sistema de transporte colectivo de pasajeros en buses (rutas, estaciones, paraderos, frecuencias y rotación del servicio).
- Configuración de las características propias de cada vehículo que intervenga en la operación (largo, ancho). De igual manera, se permite introducir las características de las bicicletas y de los peatones.

2.3.7. Beneficios y utilidades del Vissim

El Vissim es un modelo que permite realizar análisis en diferentes categorías, acorde con las características del flujo de tránsito. Los análisis efectuados mediante este software se encuentran relacionados con la red que representa el ambiente del tráfico, que interactúan entre sí. El usuario tiene absoluto control sobre sus componentes para el análisis. Entre las aplicaciones que realiza el VISSIM, se distinguen dos tipos de análisis importantes:

2.3.7.1. Análisis operacional

Los análisis operacionales se encuentran enfocados a altos grados de análisis detallados donde se pueden evaluar cambios en las características de los dispositivos, de los volúmenes de tránsito y de las vías, como ciclos} semafóricos, volúmenes de tránsito, sistemas de control y geometría. Los análisis operacionales realizados en el VISSIM en dicha categoría se resumen a continuación:

- Estudios para determinar el impacto de usos del suelo para estudios de administración del tránsito y accesibilidad.
- Análisis de intersecciones a desnivel y vías urbanas a nivel.
- Programación de fases semafóricas y coordinación de semáforos en redes.
- Análisis para secciones de trenzado del tráfico aumento o disminución de carriles de vías.
- Localización y análisis de estaciones de bus o paraderos, rutas de buses y análisis de vehículos de alta ocupación.
- Rampas de intercambio en intersecciones y carriles exclusivos para alta ocupación.
- Intersecciones de prioridad o sin señalización.
- Detección de incidentes y gestión del tráfico.
- Estudios de colas con y sin retención.
- Teoría de formación de colas en general.
- Presentaciones públicas y demostraciones con animación secuencial en el tiempo a manera de video.

CAPITULO III
MATERIALES Y PROCESO
METODOLÓGICO

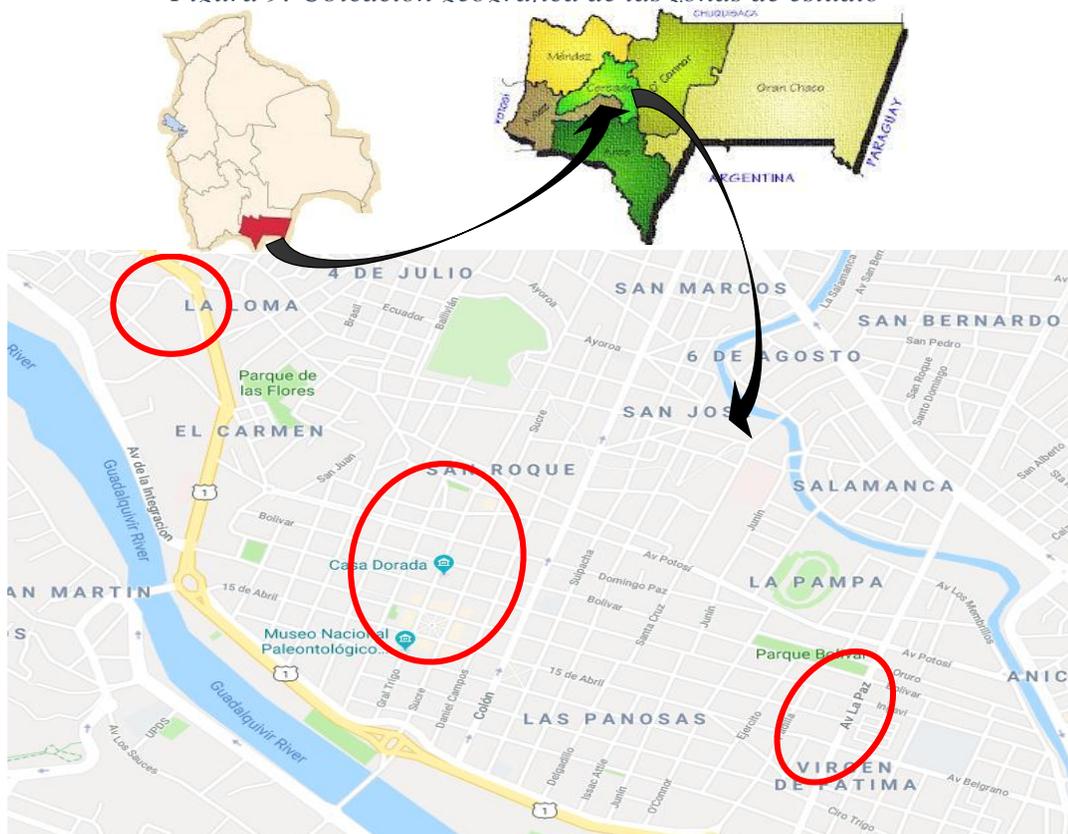
CAPITULO III

MATERIALES Y PROCESO METODOLÓGICO

3.1. Marco geográfico

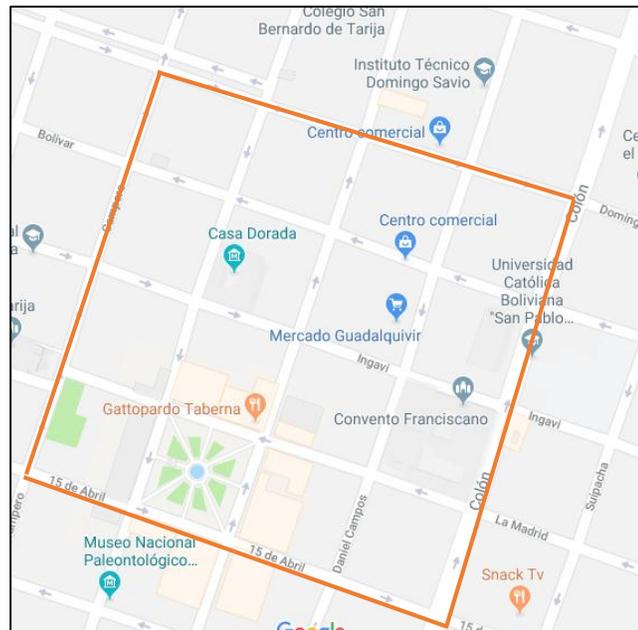
El estudio a desarrollar se enmarca en la ciudad de Tarija - Bolivia, abarcando las siguientes zonas: zona central que comprenden específicamente las calles desde la Calle Colón hasta la Calle Campero y la Calle Corrado hasta la Calle 15 de Abril, esta red consta de 20 cuadras y 25 intersecciones; zona de La loma específicamente la rotonda ubicada en la final de la calle Cochabamba y Avenida Panamericana; por último la zona del barrio Virgen de Fátima en las intersecciones de La Avenida La paz entre Avenida Belgrano y Calle Bolívar.

Figura 9: Ubicación geográfica de las zonas de estudio



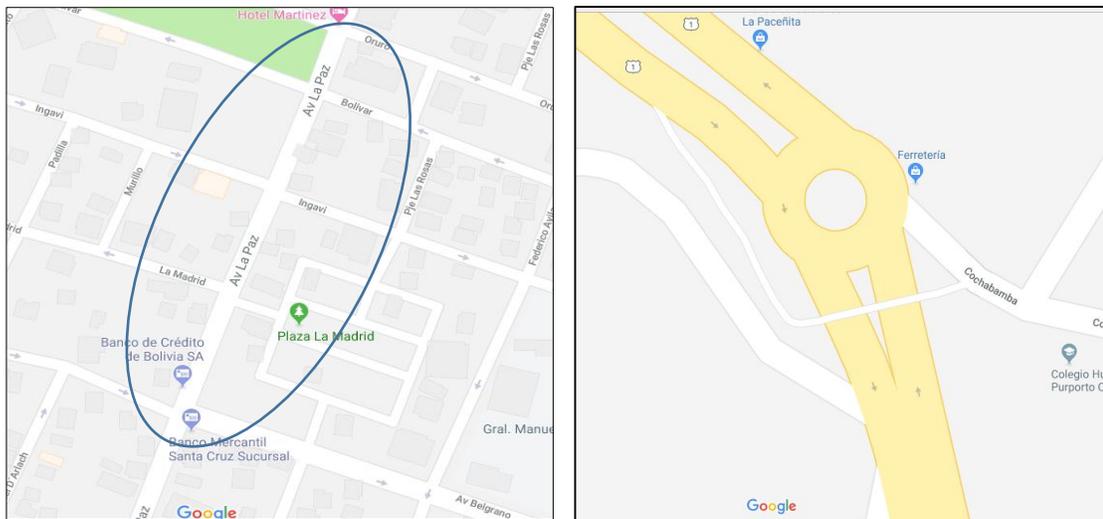
Fuente: Elaboración propia

Figura 10: Zona 1 (Centro)



Fuente: Elaboración propia

Figura 11: Zona 2 y 3 (V. Fátima y Rotonda final C/ Cbba)



Fuente: Elaboración propia

3.2. Tipo de investigación

Debido que en este proyecto se alcanza a mostrar las condiciones actuales presentes en las zonas tratadas, el tipo de estudio manejado en el proyecto es del tipo Descriptivo - Cuantitativo, para lo cual se tomaron los datos necesarios en campo y se analizaron luego en gabinete, en el cual se plantea una hipótesis y con base a información recolectada se realizara la modelación empleando el software PTV VISSIM, lo cual especifica el tipo de investigación de este trabajo de grado.

3.3. Revisión Bibliográfica

Para iniciar la investigación se buscó información bibliográfica en donde se encontraron las siguientes tesis de grados:

- Microsimulación del tráfico de la intersección de las avenidas Bolívar, Córdova y calle Andalucía empleando el software Vissim.
- Modelación del Tránsito vehicular en el sector Bomba el Amparo - Sao la Plazuela, Cartagena por medio del software PTV VISSIM por Allen Mauricio Pájaro Zapardiel y Rafael Antonio Quezada Narváez.
- Coordinación de Semáforos en la Avenida Miguel Ángel de Quevedo por Ricardo Peña Garibay.
- Modelación del Tráfico vehicular con el Software PTV VISSIM tramo Bomba El Gallo- Bomba El Amparo, realizado la estudiante Ketty Fontalvo Arrieta.
- Modelación de los planes de manejo de tránsito, tramos Amparo – Cuatro Vientos realizado por los ingenieros Ligia Sánchez Fernández y Sindry Camargo Martínez.
- Modelación de los planes de manejo de tránsito, tramo Cuatro Vientos – Bazurto, realizado por la ingeniera Angie Quiroz.
- Aplicación De Modelos De Micro Simulación VISSIM Caso Específico Para La Ciudad de Bucaramanga – Intersección Avenida La Rosita Por Carrera 15. Presentada por el Ingeniero Felipe Andrés Gómez Bolívar.

De todas estas tesis de grado se obtuvo fundamentación teórica para este proyecto.

3.4. Selección de las intersecciones a analizar

En principio se evaluaron los posibles escenarios para el análisis dentro del área urbana de la ciudad de Tarija. Como primer punto, la autora de este trabajo contaba con varias opciones previas para el análisis y modelado del tráfico, como las zonas alrededor del mercado Campesino, zona de La Loma, zona central o Casco Viejo, Zona Palmarcito, la diferentes Rotondas ubicadas a lo largo de la Avenida Panamericana – Jaime Paz – Víctor Paz y Avenida Circunvalación, etc., entre otros.

Sin embargo, después de haber revisado varios Proyectos de Grado en la biblioteca de la UAJMS (Vásquez, J. (2014). Alternativas de movilidad sostenible para reducir el congestionamiento vehicular en ciudades urbanas, Martínez, J. (2010). Análisis de congestionamiento en intersecciones semaforizadas, Salles, J. (2016). Análisis de intersecciones semaforizadas mediante la herramienta de simulación) referentes a zonas de congestionamiento vehicular en la ciudad y tras haber obtenido respuesta de la Secretaria de Movilidad Urbana de la ciudad de Tarija a la consulta realizada acerca de las zonas más congestionadas, se observó que las zonas recaen en la ya mencionadas en el párrafo anterior. Lo cual después de un análisis nos permite elegir tres zonas de distintas características, en donde se presentan mayor congestionamiento vehicular.

3.5. Selección del equipo de trabajo

Teniendo definido la zona de análisis, se prosigue con la selección del equipo de trabajo y herramientas (Cinta, filmadora, cronómetro, planillas, etc.) para lograr la microsimulación de las zonas escogidas. Entonces, al contar con los conocimientos suficientes, obtenidos a través de la materia de Tráfico (Civ 611), para la toma datos de campos necesarios y lo importante que resulta su registro, se procedió a indicar y explicar el proceso de registro a las 5 personas que conforman el equipo, según la magnitud de la actividad asignada para la toma de datos en campo. Entre las actividades pertinentes están la videograbación, velocidades, longitudes de colas, aforos vehiculares, tiempo de semáforos y la geometría de la intersección, cuyas definiciones y proceso de cada una de estas tareas serán explicados a continuación.

3.5. Procesamiento de los datos de campo

Se recolectó en campo información para establecer las condiciones actuales de las vías; como velocidades en tramos, anchos y longitudes de carriles, colas y demoras en intersecciones; para cada una de estas mediciones se creó un formato que permite fácilmente organizar y analizar la información.

Se recopilaron datos realizando las respectivas visitas al área de estudio, observando la señalización de semáforo existente, estos datos se recopilaran mediante la realización de aforos, determinación de los tiempos de cambio en los semáforos y todos los estudios previos que estos conlleven.

Los aforos para la zona céntrica se realizaron del 24/04/17 al 11/06/17, en todas las intersecciones que conforman la red durante una semana por intersección (dos días hábiles y un fin de semana), para la rotonda de la zona de La Loma del 09/04/18 al 13/04/18 (5 días hábiles) y para la zona Virgen de Fátima del 14/05/18 al 18/05/18 (5 días hábiles), tomando en cuenta la composición vehicular (liviano, mediano, pesado, público o privado) y la dirección que siguen (giro izquierda, giro derecha o de frente)

Una vez obtenida la información necesaria para el desarrollo del proyecto se procedió a su digitalización, para facilitar la interpretación y la entrada de datos requeridas para la simulación, obteniendo los siguientes datos:

Datos ingresados para la modelación:

- Geometría de la red
- Aforos vehiculares
- Velocidades
- Ciclos semafóricos

Datos para la calibración

- Longitud de cola
- Tiempo de recorrido

3.5.1. Geometría de la red

Los datos requeridos son el ancho de carril y las longitudes de cuadra. Para el ancho de carril se utilizó wincha para su medición, las cuales varían de a una calle a otra. Y las longitudes de cuadras fueron medidas virtualmente utilizando Google Earth. A continuación se muestra una tabla con la recolección de dichos datos:

Tabla 4: Características geométricas de las cuadras

Zona Centro		16 cuadras			Área: Aprox 0.122 Km2	
Acceso	N° carril	Ancho de calzada			Ancho de carril	Sentido
Campero	2	5.40			2.70	Único
Gral. Trigo	2	7.40	3.20	5.40	Variado	Único
Sucre	2	6.70	3.20	5.40	Variado	Único
D. Campos	2	3.20	10.30	5.40	Variado	Único
Colón	2	5.40			2.70	Único
15 de Abril	2	3.20	8.40	5.40	Variado	Único
La Madrid	2	3.20	7.40	4.40	Variado	Único
Ingavi	2	10.50	3.20	5.40	Variado	Único
Bolívar	2	10.40	5.40		Variado	Único
D. Paz	2	5.40			2.70	Único

Avenida	N° carril	Ancho de calzada	Ancho de carril	Sentido
La Paz	4	11.83	2.95	Doble
Belgrano Este	3	10.43	3.47	Único
Belgrano Oeste	2	6.28	3.14	Único
La Madrid	2	5.80	2.90	Único
Ingavi	2	5.20	2.60	Único
Bolívar	2	5.80	2.90	Único

Avenida	N° carril	Ancho de calzada	Ancho de carril	Sentido
Panamericana Norte	3	10.35	3.45	Único
Panamericana Sur	3	10.05	3.35	Único
Cochabamba	2	7.10	3.60	Doble

Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Aforo y composición vehicular

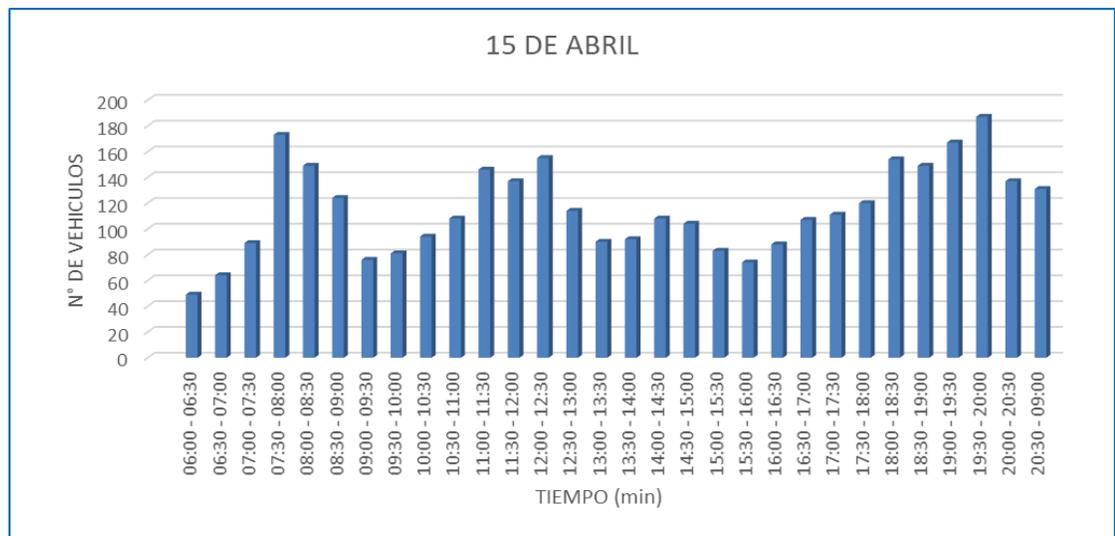
Con el personal listo se procedió al registro de los aforos en una planilla, como primera parte se realizó aforos durante 12 horas en las 11 calles que conforman la red, esto con el fin de analizar las horas de mayor flujo vehicular, datos que se procesaran y explicaran en el siguiente punto. Continuando con los aforos, como se mencionó anteriormente, se

realizaron durante una semana por intersección tomando en cuenta la distribución de los vehículos y su composición.

3.5.3. Aforos en la hora pico

Las horas picos se determinaron mediante el análisis de histogramas para cada una de las calles aforadas durante un día por 12 horas, en dicha grafica se puede observar las horas de mayor flujo vehicular, lo cual nos permitió obtener una hora pico en común para todas las calles, para luego realizar el aforo vehicular durante una semana en dicha hora determinada. A continuación se muestra un ejemplo para una de las calles:

Figura 12: Aforo para hallar la hora pico (Calle 15 de Abril)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5: Aforos vehiculares para determinar la hora pico (Centro)

Aforos para determinar la hora pico					
Centro	Número de vehículos				
Hora	15 de Abril	La Madrid	Ingavi	Bolivar	D. Paz
06:00 - 06:30	49	51	44	48	43
06:30 - 07:00	64	50	54	61	59
07:00 - 07:30	89	73	75	83	120
07:30 - 08:00	173	140	150	164	157
08:00 - 08:30	149	157	146	186	147
08:30 - 09:00	124	111	122	167	153
09:00 - 09:30	76	146	142	135	144
09:30 - 10:00	81	105	120	125	103
10:00 - 10:30	94	88	105	107	118
10:30 - 11:00	108	83	132	118	100
11:00 - 11:30	146	173	175	112	133
11:30 - 12:00	137	197	199	219	166
12:00 - 12:30	155	157	169	178	141
12:30 - 13:00	114	127	144	165	133
13:00 - 13:30	90	115	100	139	123
13:30 - 14:00	92	99	107	118	119
14:00 - 14:30	108	122	119	106	134
14:30 - 15:00	104	106	98	113	100
15:00 - 15:30	83	86	95	107	73
15:30 - 16:00	74	91	76	88	101
16:00 - 16:30	88	119	114	73	89
16:30 - 17:00	107	94	103	120	120
17:00 - 17:30	111	117	127	141	131
17:30 - 18:00	120	147	134	185	152
18:00 - 18:30	154	155	146	188	142
18:30 - 19:00	149	142	145	181	158
19:00 - 19:30	167	155	162	185	162
19:30 - 20:00	187	153	139	161	136
20:00 - 20:30	137	148	137	157	127
20:30 - 09:00	131	108	97	141	95

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: Aforos vehiculares para determinar la hora pico (Centro)

Centro Hora	Número de vehículos				
	Colon	D. Campos	Sucre	G. Trigo	Campero
06:00 - 06:30	74	44	49	31	41
06:30 - 07:00	110	54	54	41	55
07:00 - 07:30	146	80	77	51	74
07:30 - 08:00	192	149	162	123	173
08:00 - 08:30	167	199	183	173	149
08:30 - 09:00	181	133	154	103	124
09:00 - 09:30	170	169	147	127	76
09:30 - 10:00	141	135	126	106	108
10:00 - 10:30	118	111	101	95	89
10:30 - 11:00	132	89	136	76	112
11:00 - 11:30	160	108	177	145	141
11:30 - 12:00	178	106	165	117	125
12:00 - 12:30	159	130	169	108	160
12:30 - 13:00	136	108	131	105	137
13:00 - 13:30	116	117	137	98	119
13:30 - 14:00	122	104	121	109	99
14:00 - 14:30	140	114	111	105	116
14:30 - 15:00	119	106	99	86	103
15:00 - 15:30	99	88	109	95	94
15:30 - 16:00	105	79	86	85	77
16:00 - 16:30	112	105	110	66	101
16:30 - 17:00	127	110	122	112	89
17:00 - 17:30	134	119	138	108	109
17:30 - 18:00	156	120	166	119	105
18:00 - 18:30	166	130	155	109	126
18:30 - 19:00	106	124	159	100	123
19:00 - 19:30	164	147	148	126	134
19:30 - 20:00	180	107	176	127	112
20:00 - 20:30	166	127	144	123	92
20:30 - 09:00	137	111	107	72	70

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7: Aforos vehiculares para determinar la hora pico (V. Fátima)

Aforos paa determinar la hora pico		
V. Fátima	Número de vehículos	
Hora	Avenida La Paz	Avenida Belgrano
06:00 - 06:30	97	141
06:30 - 07:00	119	172
07:00 - 07:30	152	188
07:30 - 08:00	171	200
08:00 - 08:30	181	383
08:30 - 09:00	187	255
09:00 - 09:30	169	222
09:30 - 10:00	155	203
10:00 - 10:30	160	214
10:30 - 11:00	142	210
11:00 - 11:30	166	240
11:30 - 12:00	198	231
12:00 - 12:30	208	315
12:30 - 13:00	186	301
13:00 - 13:30	170	266
13:30 - 14:00	177	235
14:00 - 14:30	151	229
14:30 - 15:00	122	198
15:00 - 15:30	138	181
15:30 - 16:00	133	212
16:00 - 16:30	153	247
16:30 - 17:00	140	234
17:00 - 17:30	145	223
17:30 - 18:00	158	284
18:00 - 18:30	161	302
18:30 - 19:00	176	316
19:00 - 19:30	155	279
19:30 - 20:00	149	238
20:00 - 20:30	136	194
20:30 - 09:00	120	174

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8: Aforos vehiculares para determinar la hora pico (Rotonda)

Aforos para determinar la hora pico			
Rotonda	Número de vehiculos		
Hora	Panamericana Norte	Panamericana Sur	Cochabamba
06:00 - 06:30	413	461	133
06:30 - 07:00	422	497	165
07:00 - 07:30	501	559	192
07:30 - 08:00	599	613	216
08:00 - 08:30	465	537	184
08:30 - 09:00	409	486	166
09:00 - 09:30	360	442	172
09:30 - 10:00	371	403	151
10:00 - 10:30	378	384	135
10:30 - 11:00	386	416	144
11:00 - 11:30	420	397	169
11:30 - 12:00	548	525	193
12:00 - 12:30	607	584	245
12:30 - 13:00	521	500	188
13:00 - 13:30	396	372	167
13:30 - 14:00	365	369	158
14:00 - 14:30	371	386	181
14:30 - 15:00	386	412	168
15:00 - 15:30	395	401	156
15:30 - 16:00	409	426	161
16:00 - 16:30	431	452	143
16:30 - 17:00	420	478	149
17:00 - 17:30	506	497	166
17:30 - 18:00	488	544	188
18:00 - 18:30	527	563	195
18:30 - 19:00	566	582	260
19:00 - 19:30	629	603	242
19:30 - 20:00	533	570	183
20:00 - 20:30	499	526	164
20:30 - 09:00	438	475	141

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Hora pico para cada zona

Resumen de hora pico			
Zona	Turno		
	Mañana	Medio día	Noche
Centro	07:30 - 08:30	11:30 - 12_30	18:30 - 19:30
V. Fátima	08:00 - 09:00	12:00 - 13:00	18:00 - 19:00
Rotonda	07:00 - 08:00	11:30 - 12:30	18:30 - 19:30

Fuente: Elaboración propia

Con base en los aforos vehiculares en la hora pico se determinó la composición vehicular y las distribuciones por acceso en cada una de las intersecciones de la red, como se muestra en la siguiente tabla (ejemplo para una calle):

Tabla 10: Detalle de aforo vehicular

Día:	Lunes	Tráfico liviano						Tráfico mediano					
15 de Abril y:	Hora	Público			Privado			Público			Privado		
		Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd	Fr	Gi	Gd
Campero	08:00 - 09:00	100	26		56	14			46		40	8	
Gral. Trigo		82		32	34		14				42		16
Sucre		90	46		56	22					32	4	
D. Campos		102		10	84		12				60		4
Colón		92	32		51	18		11			54	3	
Campero	12:00 - 13:00	107	27		82	68			46		46	28	
Gral. Trigo		97		18	76		38				51		22
Sucre		86	58		69	55					80	15	
D. Campos		78		27	111		35				79		31
Colón		100	40		81	15		10			60	6	
Campero	18:00 - 19:00	108	32		84	16			24		48	16	
Gral. Trigo		72		32	68		32				40		16
Sucre		60	44		136	44					56	20	
D. Campos		80		8	60		8				52		16
Colón		85	35		60	24		10			66	5	

Fuente: Elaboración propia

Figura 13: Distribución vehicular según la dirección



Fuente: Elaboración propia

El resto de los histogramas y tablas de volúmenes de aforo se encuentran en la sección de anexos.

Los volúmenes vehiculares introducidos al programa son el total de cada acceso en el que ingresa vehículos para alimentar la red, en el caso de la zona céntrica se tiene 10 accesos que alimentan la red, en el caso de la zona V. Fátima se tiene 6 accesos y en el caso de la zona de la Rotonda se tiene 3 accesos. A continuación se muestra dichos volúmenes introducidos:

Tabla 11: Ingreso de volumen vehicular zona centro

Acceso	Vehículos que ingresan
C/ 15 de Abril	358
C/ Campero	266
C/ Sucre	347
C/ Colon	283
C/ Madrid	309
C/ Ingavi	282
C/ Bolívar	326
C/ D. Paz	309
C/ G. Trigo	307
C/ D. Campos	324

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12: Ingreso volumen vehicular zona V. Fátima

Acceso	Vehículos que ingresan
Av. La Paz (subida)	395
Belgrano (este)	681
Belgrano (oeste)	364
C/ Ingavi	322
C/ Bolívar	295
Av. La Paz (bajada)	493

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13: Ingreso de volumen vehicular zona Rotonda

Acceso	Vehículos que ingresan
Panamericana norte	1105
Panamericana sur	1160
Cochabamba	457

Fuente: Elaboración propia

3.5.4. Velocidades

Para la medición de las velocidades se utilizó un tramo en cada calle que corresponde a cada zona, la distancia es de 20 m y se utilizó un cronómetro para medir el tiempo que tarda un vehículo en recorrer dicha distancia.

Tabla 14: Velocidades (Centro)

Zona Centro					
Acceso	Distancia (m)	Tiempos (s)			Velocidad media (Km/h)
		1	2	3	
Campero	20	5.56	6.85	6.41	11.48
Gral. Trigo	20	7.96	5.88	6.87	10.43
Sucre	20	6.55	6.74	5.10	11.75
D. Campos	20	6.32	7.84	6.05	10.69
Colón	20	6.98	5.98	5.64	11.61
15 de Abril	20	4.89	5.67	5.99	13.05
La Madrid	20	6.54	5.82	6.03	11.75
Ingavi	20	5.56	7.08	6.49	11.29
Bolivar	20	7.46	5.98	6.33	10.93
D. Paz	20	6.64	5.59	7.85	10.76

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Velocidades (V. Fátima)

Zona Villa Fátima					
Acceso	Distancia (m)	Tiempos (s)			Velocidad media (Km/h)
		1	2	3	
La Paz Norte	20	6.52	7.14	6.12	10.92
La Paz Sur	20	6.33	6.11	7.06	11.08
Belgrano Este	20	7.32	5.99	6.95	10.66
Belgrano Oeste	20	8.69	5.12	5.03	11.46
La Madrid	20	6.59	7.23	5.12	11.40
Ingavi	20	5.69	6.67	5.53	12.07
Bolivar	20	7.96	8.64	7.85	8.83

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16: Velocidades (Rotonda)

Zona Rotonda					
Avenida	Distancia (m)	Tiempos (s)			Velocidad media (Km/h)
		1	2	3	
Panamericana Norte	20	6.5	5.2	5.6	12.5
Panamericana Sur	20	5.3	6.8	6.2	11.8
Cochabamba	20	5.6	7.5	6.3	11.1

Fuente: Elaboración propia

3.5.5. Longitud de cola

Para la medición de este parámetro se utilizó flexómetro, tiza para marcar y una planilla. Se realizaron tres mediciones en tres diferentes días, durante la hora pico. En la mayoría de las cuadras la longitud de cola coincide con la longitud de la cuadra.

ZONA CENTRO

Figura 14: Longitud de cola zona centro



Fuente: Elaboración propia

Tabla 17: Longitud de cola (Centro)

Nodo	Acceso	Longitud de cola en campo (m)			
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba	Promedio
1	15 de Abril	50.2	55.23	61.5	55.6
	Colon	80.21	78.52	75.9	78.2
2	15 de Abril	55.8	59.55	50.8	55.4
	D. Campos	40.54	41.6	43.12	41.7
3	15 de Abril	75.61	68.97	75.89	73.5
	Sucre	73.7	79.55	75.68	76.3
4	15 de Abril	65.98	65.21	63.52	64.9
	G. Trigo	60.33	52.87	54.78	56.0
5	15 de Abril	78.65	77.65	75.89	77.4
	Campero	78.98	71.65	75.64	75.4
6	La Madrid	88.65	71.69	76.84	79.1
	Colon	82.9	80.1	82.5	81.8
7	La Madrid	52.33	60.58	58.63	57.2
	D. Campos	60.38	51.24	53.12	54.9
8	La Madrid	63.57	60.58	63.12	62.4
	Sucre	70.93	80.11	78.45	76.5
9	La Madrid	42.74	46.45	40.52	43.2
	G. Trigo	55.24	50.99	50.54	52.3
10	La Madrid	49.87	55.21	51.28	52.1
	Campero	76.85	77.68	63.21	72.6
11	Ingavi	42.59	50.73	43.18	45.5
	Colon	45.89	42.15	48.96	45.7
12	Ingavi	63.44	61.85	60.39	61.9
	D. Campos	58.23	59.66	61.59	59.8
13	Ingavi	78.56	82.24	79.52	80.1
	Sucre	69.33	70.21	65.23	68.3
14	Ingavi	83.5	79.64	85.69	82.9
	G. Trigo	65.84	69.25	60.34	65.1
15	Ingavi	73.64	67.94	69.39	70.3
	Campero	55.23	60.25	56.29	57.3
16	Bolivar	67.82	75.44	70.26	71.2
	Colon	59.68	60.36	64.17	61.4
17	Bolivar	88.52	80.22	85.64	84.8
	D. Campos	89.21	79.6	76.33	81.7
18	Bolivar	60.25	54.26	57.12	57.2
	Sucre	55.23	58.96	50.23	54.8

19	Bolivar	69.38	56.55	61.45	62.5
	G. Trigo	74.81	82.23	75.68	77.6
20	Bolivar	53.37	60.47	62.52	58.8
	Campero	58.63	55.42	56.97	57.0
21	D. Paz	65.32	62.39	55.21	61.0
	Colon	70.59	66.54	72.38	69.8
22	D. Paz	55.27	60.36	64.89	60.2
	D. Campos	78.69	60.37	75.36	71.5
23	D. Paz	55.64	55.62	50.92	54.1
	Sucre	54.68	50.32	48.26	51.1
24	D. Paz	79.29	67.98	68.49	71.9
	G. Trigo	70.22	76.94	65.38	70.8
25	D. Paz	70.21	62.38	60.33	64.3
	Campero	60.23	55.49	50.27	55.3

Fuente: Elaboración propia

ZONA V. FÁTIMA

Tabla 18: Longitud de cola (V. Fátima)

Nodo	Acceso	Longitud de cola en campo (m)			
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
1	La Paz Norte	88.5	95.6	90.5	91.5
	La Paz Sur	84.5	88.9	92.6	88.7
	Belgrano Este	73.3	69.5	67.8	70.2
	Belgrano Oeste	45.6	55.2	60.2	53.7
2	La Paz Norte	62.3	64.3	70.1	65.6
	La Paz Sur	76.3	66.1	62.5	68.3
3	La Paz Norte	63.5	59.8	65.7	63.0
	La Paz Sur	68.9	70.2	66.5	68.5
	Ingavi	51.3	42.6	50.2	48.0
4	La Paz Norte	70.2	75.8	72.6	72.9
	La Paz Sur	54.9	60.5	55.8	57.1
	Bolivar	42.9	50.2	44.8	46.0

Fuente: Elaboración propia

ZONA ROTONDA

Figura 15: Longitud de cola zona Rotonda



Fuente: Elaboración propia

Tabla 19: Longitud de cola (Rotonda)

Avenida	Longitud de cola en campo (m)			
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Panamericana Norte	68.96	75.98	72.12	72.4
Panamericana Sur	80.66	85.42	88.32	84.8
Cochabamba	89.25	82.87	86.47	86.2

Fuente: Elaboración propia

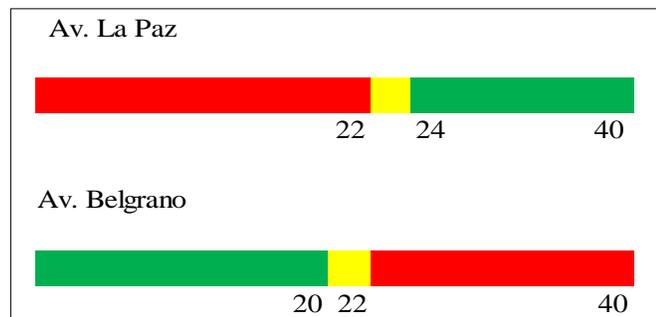
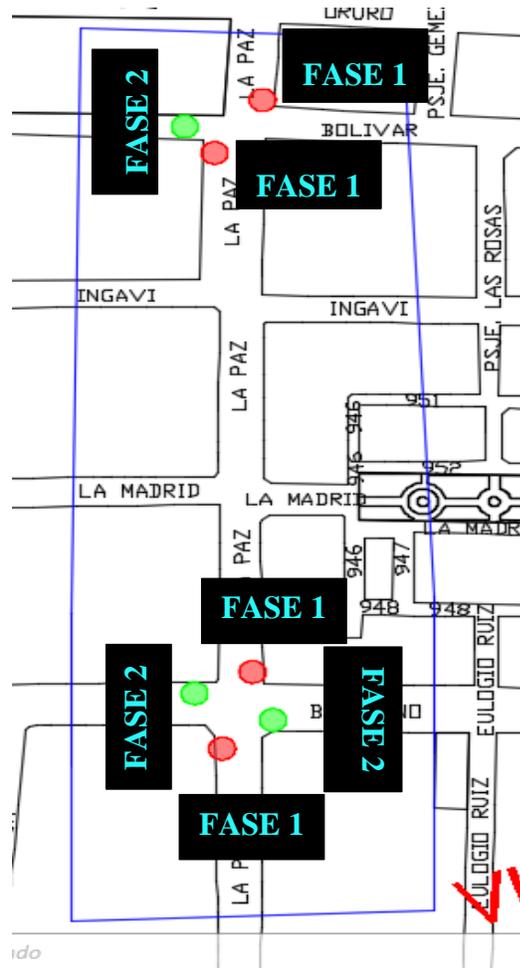
3.5.6. Tiempos, programación y coordinación de los semáforos

La programación de los semáforos de la zona céntrica y Villa Fátima es de tiempo fijo, es decir se mantiene constante dependiente de la hora del día, en la zona de la Rotonda es de tiempo Variable cercano a la hora pico del medio día.

En la zona Céntrica se analizarán 19 semáforos todos de tiempo fijo, en la zona de Villa Fátima se analizarán 2 semáforos de tiempo fijo y por último en la Zona de la Rotonda se analizó 2 semáforos de tiempo variable.

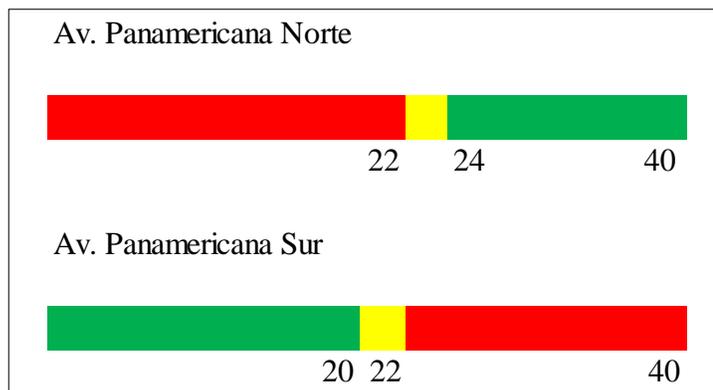
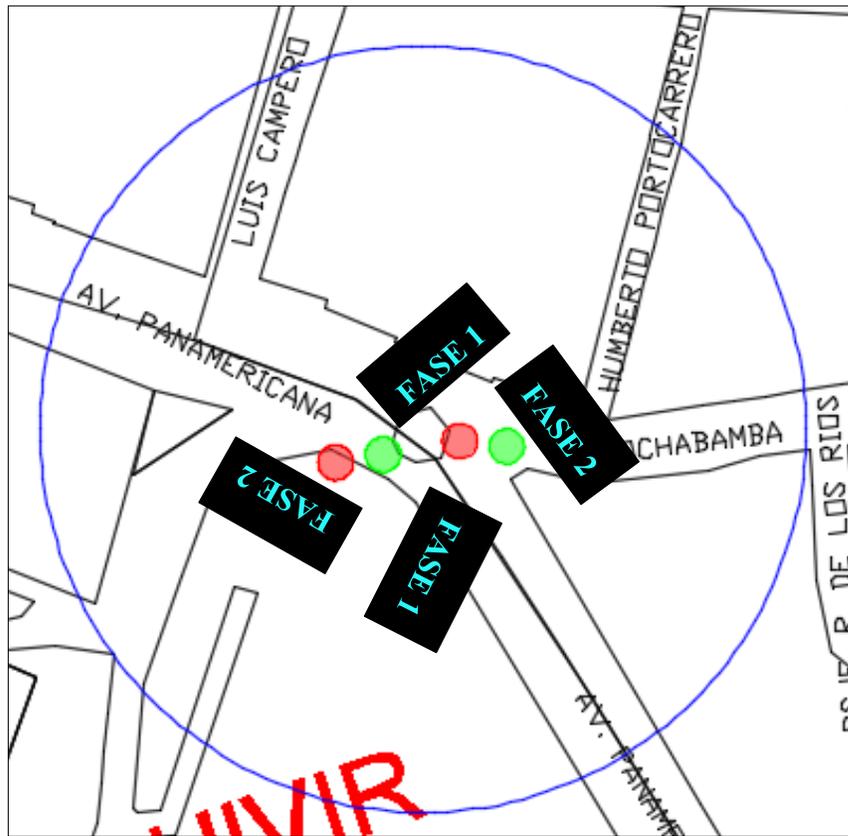
Con la ayuda de un cronómetro y filmadora se tomó el registro de la hora a la que empezaba cada ciclo semafórico mientras se tomaba el tiempo de verde, ámbar y rojo para cada fase. Los tiempos de intervalo para cada intersección son los siguientes:

Figura 17: Ubicación semáforos zona V. Fátima



Fuente: Elaboración propia

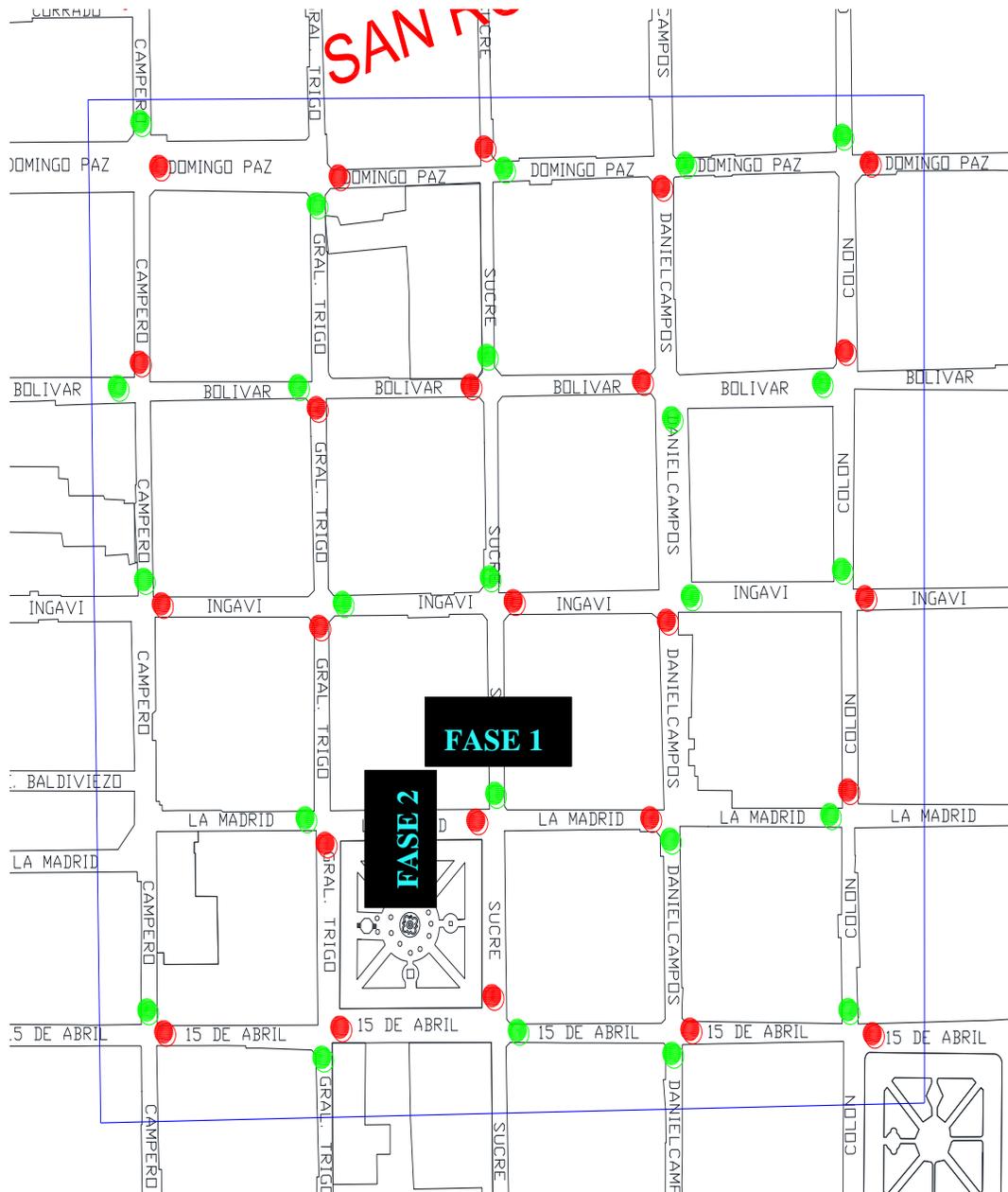
Figura 18: Ubicación semáforos zona Rotonda



Fuente: Elaboración propia

La programación de los semáforos en la zona céntrica, en todas las intersecciones tiene una coordinación alterna, que para un mismo instante se puede apreciar de la siguiente forma:

Figura 19: Coordinación semafórica en la zona céntrica



Fuente: Elaboración propia

3.5.7. Tiempos de recorrido de los tramos seleccionados para la calibración.

Los tiempos de recorrido se tomaron tres días, durante la hora pico, en la calle Domingo Paz para la Zona Céntrica, Avenida Panamericana dirección Norte para la Zona de la Rotonda y La calle La Paz para la zona de Villa Fátima. La toma de tiempos se realizó en un vehículo particular, siendo asistido por un cronómetro para el registro de los

tiempos y la hora. Para procurar tener resultados cercanos a la media, se buscó tener un modo de manejar similar al de la mayoría de los conductores.

Tabla 21: Tiempos de recorrido para cada zona

Tiempo de recorrido			
Viaje	Zona		
	Centro	V. Fátima	Rotonda
	d=200 m	d=300m	d=50m
1	425.6	330.8	115.6
2	405.8	326.1	113.5
3	402.5	328.7	99.8
4	422.3	324.5	108.7
5	415.6	320.6	120.5
6	400.1	338.6	111.3
7	412.7	325.4	113.5
8	405.8	340.2	116.8
9	420.6	345.4	111.3
10	413.5	335.9	120.5
Promedio	412.5	331.6	113.2
D. Estandar	8.74	8.03	6.08

Fuente: Elaboración propia

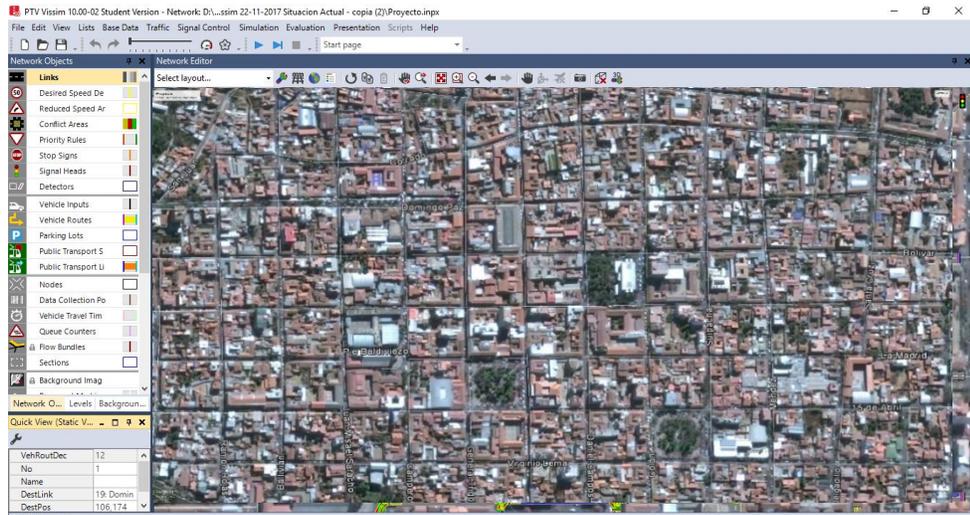
3.6. Construcción y modelación del área de estudio con Vissim

Como parte de la metodología, se continúa con la etapa de la construcción del modelo, pues ya contamos con el registro de los datos de campo que servirán como información de entrada para la Microsimulación que se desarrollará mediante el software Vissim. Entonces, se pasará a presentar los pasos más relevantes para la creación del modelo:

3.6.1. Cargar imagen de fondo

Se puede utilizar el plano Google Earth en vista satelital, Google Maps o el Mapa que el programa nos brinda en su configuración, seleccionamos la zona a analizar donde se encuentran las intersecciones, el cual nos sirve de referencia para la creación de la red vial, el cual debe ser ajustado a la escala con la que se va trabajar y se puede apreciar en la siguiente figura:

Figura 20: Vista satelital zona céntrica



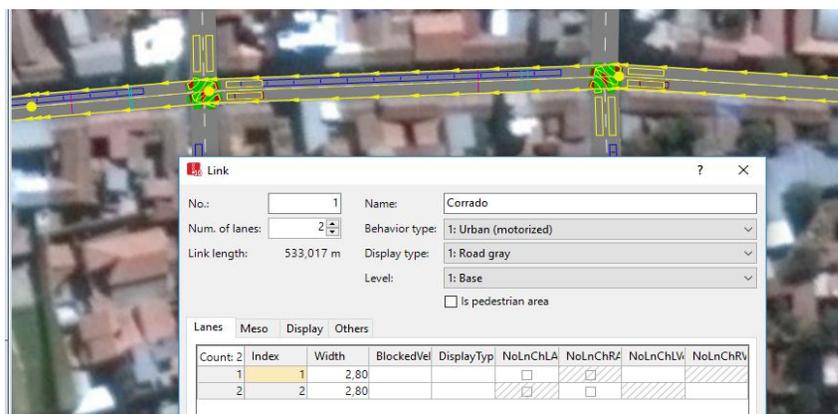
Fuente: Elaboración propia

3.6.2. Creación de enlaces y conectores para la red vial

Enlaces y conectores son la espina dorsal de la red de carreteras Vissim, esto permite prácticamente cualquier tipo de unión y trazado de la carretera.

Esta herramienta del software representan las vías diseñadas dentro del sistema, los cuales serán definidos por los números de carriles, distancia entre carriles, la dirección de viaje permitido, entre otros y los conectores, sirven para poder unir par de enlaces. En la figura siguiente se puede observar la creación del enlace:

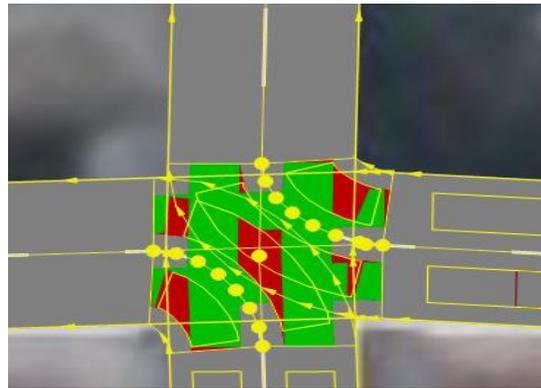
Figura 21: Creación de accesos



Fuente: Elaboración Propia

Una vez creados los enlaces, los conectores son necesarios para unirse a ellos juntos. Sólo una superposición geométrica de dos enlaces no permite que los vehículos viajen de un eslabón a otro. Aquí se necesitan conectores. De ahí que una trayectoria de recorrido típico de Vissim consta de enlace - conector - link - conector y así sucesivamente. Los conectores sólo se pueden colocar en los enlaces, no en otros conectores.

Figura 22: Creación de conectores



Fuente: Elaboración propia

3.6.3. Ingreso de volúmenes de tráfico vehicular

A continuación se debe definir el tráfico que debe viajar a través de la red. Están ubicados en el inicio de cada link que entra en la red y definen el volumen de vehículos.

Figura 23: Asignación de volúmenes vehiculares

Proyecto.inpx - PTV Vissim (64 bit) 11.00-02 Versión de estudiante

Archivo Edición Ver Listados Base Data Traffic Signal Control Simulación Evaluation Presentation Scripts

Objetos de red Vehicle Inputs / Vehicle Volumes By Time Interval

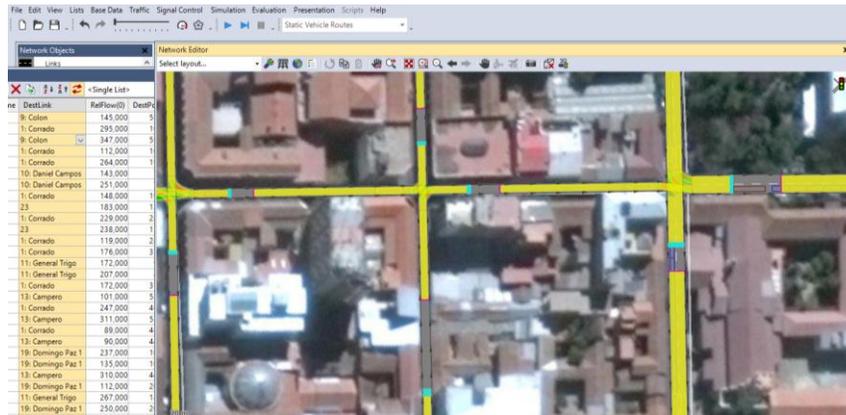
Canti	No.	Nom.	Tramo	Volume(0)	VehComp(0)
1	3		2: CALLE BOLIVAR	326,0	4: BOLIVAR
2	6		4: 15 de abril 1	358,0	7: 15 DE ABRIL
3	7		13: CALLE CAMPERO	266,0	8: CAMPERO
4	9		7: Sucre	347,0	10: SUCRE
5	11		9: CALLE COLON	283,0	2: COLON
6	12		20: CALLE D. PAZ	309,0	3: D. PAZ
7	13		1: CALLE INGAVI 1	282,0	5: INGAVI
8	14		5: CALLE MADRID 1	309,0	6: LA MADRID
9	16		11: CALLE G. TRIGO 1	307,0	9: G. TRIGO
10	17		10: CALLE D. CAMPOS 1	324,0	1: DANIEL CAMPOS

Fuente: Elaboración propia

3.6.4. Movimientos de giro y decisión de ruta

En esta parte, se distribuye el flujo vehicular o peatonal de una vía entre las posibles rutas que puede seguir los vehículos.

Figura 24: Asignación de movimientos de giro

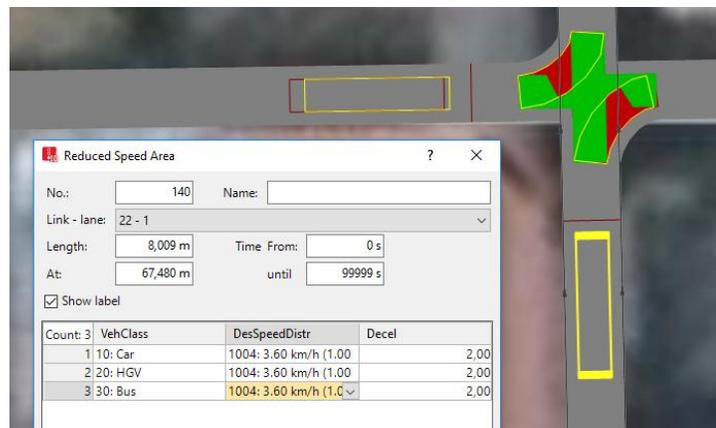


Fuente: Elaboración propia

3.6.5. Asignación de áreas de reducción de velocidad

Se define las áreas donde se presentan velocidades más bajas colocando reductores de velocidad.

Figura 25: Asignación de reducción de áreas

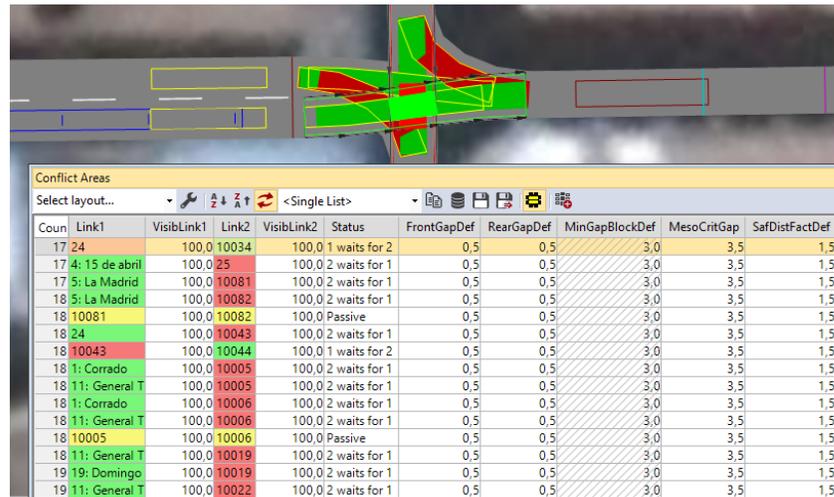


Fuente: Elaboración propia

3.6.6. Reglas de prioridad y zonas de conflicto

Se establecen reglas de prioridad en las zonas de conflicto que presenta cada intersección:

Figura 26: Reglas de prioridad y zonas de conflicto



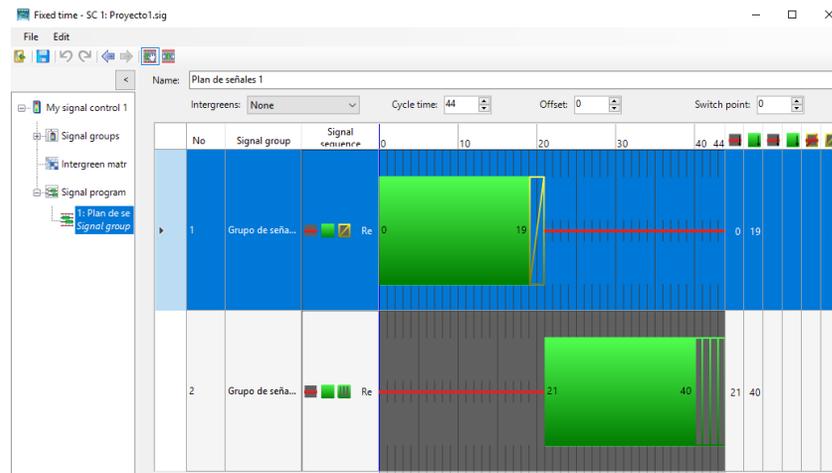
Fuente: Elaboración propia

3.6.7. Señales de control

En Vissim los semáforos funcionan como líneas de alto, por lo que éstos se colocaron en donde los vehículos debían detenerse. Éstos se colocan habiendo previamente definido los controladores con la aplicación que se encuentra dentro del programa. El registro de los tiempos semafóricos fue la base para definir los controladores. Para este caso fue preciso observar con cuidado el comportamiento de los grupos de señales, también fue prescindible usar el tiempo de desfase de los semáforos para poder programar a lo largo del tiempo los ciclos semafóricos.

De manera que el resultado consistió en primeramente tener asignados los controladores con los tiempos semafóricos por cada grupo de señal, y posteriormente colocar las “cabezas semafóricas” en donde se necesitara, tomando en cuenta las decisiones de rutas presentes y sus respectivos conectores.

Figura 27: Asignación de plan de señales



Fuente: Elaboración propia

3.7. Verificación del modelo

Este proceso consiste en verificar si los datos de entrada fueron los correctos, así como comprobar que los registros de campos son lógicos tales como el aforo vehicular, velocidades, longitudes de colas, etc.

Dadas las pautas, se debe mencionar que en el presente proyecto se pudo detectar que los valores numéricos de las longitudes de colas, recolectados en campo, de todas las calles no fueron exactos, por ello se decidió considerar también otro parámetro de eficiencia para poder realizar la calibración del modelo. En este caso fue el tiempo de recorrido de un tramo de cada zona: Avenida La paz (300 m), Avenida Panamericana hacia el norte (50 m) y Calle Domingo Paz (200 m).

3.8 Calibración del modelo

Como actividad siguiente a la verificación, se realiza la calibración del modelo, cuyo objetivo es replicar las condiciones locales de estudio. Esto se logrará mediante la modificación de los parámetros del seguimiento vehicular de Wiedemann, del modelo de cambio de carril y del modelo de comportamiento lateral, que son los modelos de calibración con los que opera Vissim, hasta conseguir que los resultados obtenidos mediante el software representen a los de campo, con un cierto nivel de confiabilidad y

margen de error permitido de acuerdo al caso de cada parámetro que se explicarán a continuación.

Vissim tiene parámetros asignados por defecto para poder realizar la simulación los cuales fueron modificados de acuerdo al ajuste y comparación de resultados que se iba obteniendo. Si bien es cierto que a partir de estos valores el modelo podría resultar ser calibrado, no es admisible aceptar estos parámetros, pues se considera una distancia vehicular de 2m, cuyo valor entre vehículos detenidos no resulta lógico para el estilo de manejo en la Ciudad de Tarija.

Para el primer intento, los parámetros de ax, bx add y bx mult fueron 2, 3 y 3 respectivamente (valores por defecto), con los cuales se obtuvo los resultados de longitud de cola muy diferentes a los obtenidos en campo con margen de error de más del 50% en la mayoría de las intersecciones de la zona del centro, lo cual realizando varias modificaciones de los parámetros de Wiedemann como se ve en la tabla 20, no se llegaba a la similitud entre el dato de campo y el dato obtenido por el programa.

Tabla 22: Comparación de longitud de cola zona centro

Nodo	Acceso	Longitud de cola en campo (m)	Longitud de cola simulada (m)	% de error	Observación
1	15 de Abril	55.6	45.54	18.2	Aceptable
	Colon	78.2	88.36	13.0	Aceptable
2	15 de Abril	55.4	22.43	59.5	No cumple
	D. Campos	41.7	35.13	15.8	Aceptable
3	15 de Abril	73.5	87.65	19.3	Aceptable
	Sucre	76.3	84.70	11.0	Aceptable
4	15 de Abril	64.9	59.73	8.0	Aceptable
	G. Trigo	56.0	46.73	16.5	Aceptable
5	15 de Abril	77.4	89.04	15.0	Aceptable
	Campero	75.4	83.55	10.8	Aceptable
6	La Madrid	79.1	79.49	0.5	Aceptable
	Colon	81.8	91.09	11.3	Aceptable
7	La Madrid	57.2	46.64	18.4	Aceptable
	D. Campos	54.9	27.56	49.8	No cumple
8	La Madrid	62.4	32.75	47.5	No cumple
	Sucre	76.5	90.24	18.0	Aceptable

11	Ingavi	45.5	32.34	28.9	No cumple
	Colon	45.7	37.53	17.8	Aceptable
12	Ingavi	61.9	49.79	19.6	Aceptable
	D. Campos	59.8	47.9	19.9	Aceptable
13	Ingavi	80.1	92.24	15.1	Aceptable
	Sucre	68.3	22.31	67.3	No cumple
14	Ingavi	82.9	98.95	19.3	Aceptable
	G. Trigo	65.1	25.33	61.1	No cumple
15	Ingavi	70.3	78.75	12.0	Aceptable
	Campero	57.3	46.4	19.0	Aceptable
16	Bolivar	71.2	80.14	12.6	Aceptable
	Colon	61.4	20.41	66.8	No cumple
17	Bolivar	84.8	99.85	17.8	Aceptable
	D. Campos	81.7	97.8	19.7	Aceptable
18	Bolivar	57.2	29.25	48.9	No cumple
	Sucre	54.8	13.87	74.7	No cumple
19	Bolivar	62.5	20.81	66.7	No cumple
	G. Trigo	77.6	91.8	18.3	Aceptable
20	Bolivar	58.8	29.66	49.5	No cumple
	Campero	57.0	33.86	40.6	No cumple
21	D. Paz	61.0	34.77	43.0	Aceptable
	Colon	69.8	17.86	74.4	No cumple
22	D. Paz	60.2	54.84	8.9	Aceptable
	D. Campos	71.5	82.17	15.0	Aceptable
23	D. Paz	54.1	45.62	15.6	Aceptable
	Sucre	51.1	12.91	74.7	No cumple
24	D. Paz	71.9	97.75	35.9	No cumple
	G. Trigo	70.8	82.96	17.1	Aceptable
25	D. Paz	64.3	75.74	17.8	Aceptable
	Campero	55.3	18.64	66.3	No cumple

Fuente: Elaboración propia

Entonces a partir de aquí se opta por considerar otro parámetro de calibración, que se asemeje a la realidad, este nuevo parámetro analizado es el tiempo de recorrido, del cual se trabaja con la media de varias mediciones y su desviación estándar, como se muestra a continuación:

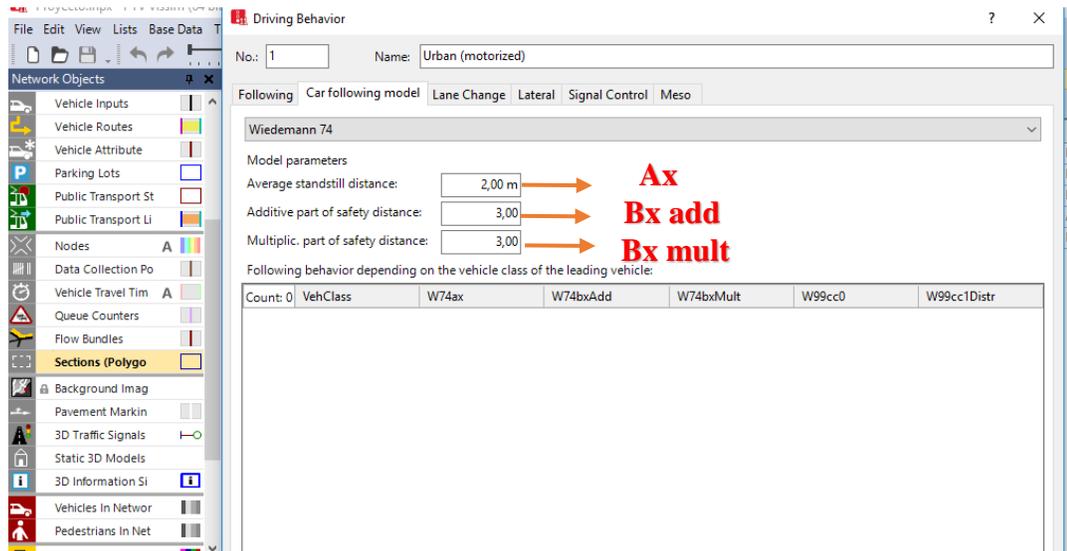
Tabla 23: Tiempos de recorrido (Resumen)

Tiempo de recorrido			
Viaje	Zona		
	Centro	V. Fátima	Rotonda
Promedio	412.45	331.62	113.15
D. Estandar	8.74	8.03	6.08

Fuente: Elaboración propia

Teniendo el valor promedio de tiempo de recorrido, se modifica los parámetros de Wiedemann tantas veces sea posible hasta lograr que el valor arrojado por el programa se asemeje al valor obtenido en campo, o su margen de error sea menor al 5%.

Figura 28: Calibración modelo de seguimiento vehicular



Fuente: Elaboración propia

Tabla 24: Selección de parámetros de calibración

Zona centro							
Intento	Valores Wiedemann			Vissim		Campo	
	ax	b (ad)	b (mult)	Media	D. Estándar	Media	D. Estándar
1	2	3	3	395.5	0.96	412.45	8.74
2	1	3	3	425.7	0.72	412.45	8.74
3	1.5	3	3	425.8	0.71	412.45	8.74
4	1	2.5	3.5	430.9	1.1	412.45	8.74
5	1	2	2	402.3	0.91	412.45	8.74
6	1.5	2.5	2.5	399.5	0.54	412.45	8.74
7	1	3	4	410.5	0.68	412.45	8.74
8	1	4	5	428.6	0.77	412.45	8.74
9	2	3.5	4.5	419.9	0.85	412.45	8.74
10	1	2	3	422.8	0.84	412.45	8.74

Fuente: Elaboración propia

El número de corridas de la microsimulación, por intento, fue de 15 veces el cual cumple con el número de corridas mínimo recomendados por FHWA (2004).

Entonces, a partir de los resultados de los intentos que se muestran en la tabla 22, se seleccionaron los intentos (5, 7 y 9) con una media muestral más cercana a la obtenida en campo. Sin embargo, se les debe de verificar mediante un análisis estadístico (prueba de hipótesis) que cuenta con un nivel de confiabilidad (95%).

A continuación se presenta las consideraciones para esta hipótesis, con el cual se podrá rechazar o aceptar los valores obtenidos:

HIPÓTESIS NULA

Condición: Si $U_1 = U_2$

Entonces se tiene el siguiente intervalo de confianza:

$$(X_1 - X_2) - t_{\alpha/2} * \sqrt{\left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}\right) * Sp^2} < (U_1 - U_2) < (X_1 - X_2) + t_{\alpha/2} * \sqrt{\left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}\right) * Sp^2}$$

$$Sp^2 = \frac{(N_1 - 1) * S_1^2 + (N_2 - 1) * S_2^2}{N_1 + N_2 - 2}$$

Nivel de Confianza: 95%

GDL: $N_1 + N_2$

Donde:

X_1 = Media muestral de campo

X2 = Media muestral de Vissim

N1 = Cantidad de datos considerados para la muestra de campo

N2 = Cantidad de datos considerados para la muestra de Vissim

S1 = Desviación estándar muestral de campo

S2 = Desviación estándar muestral de Vissim

Gdl = Grados de libertad

$t(\alpha/2)$ = Valor obtenido mediante la distribución t-student, grados de libertad y nivel de confianza. Tabla que se muestra en la sección de anexos.

DATOS:

X1= 412.45

X2= 410.5

S1= 8.74

S2= 0.68

N1= 10

N2= 10

$t_{\alpha/2}$ 2.086

GDL= 20

Nivel Conf= 95%

Margen Error= 0.25

$$\text{Número mínimo de corridas} = \left(\frac{t_{\alpha/2} * S_2}{\text{Margen error}} \right)^2$$

$$\rightarrow 8.048342042$$

Por lo tanto 15 corridas son suficientes. Los resultados para este análisis se presentan en la siguiente Tabla:

Tabla 25: Datos para la expresión de la hipótesis nula

Paso	Expresión	Valor
1	$X1 - X2$	1.95
2	$N1 - 1$	9
3	$N2 - 1$	9
4	$N1 + N2$	20
5	$S1^2$	76.3876
6	$S2^2$	0.4624
7	$1/N1$	0.1
8	$1/N2$	0.1
9	$\frac{1}{N1} + \frac{1}{N2}$	0.2
10	$(N1 - 1) * S1^2 + (N2 - 1) * S2^2$	691.65
11	Sp^2	38.425
12	$\sqrt{\left(\frac{1}{N1} + \frac{1}{N2}\right) * Sp^2}$	2.7721833
13	Expresión 12* $t_{\alpha/2}$	2.8913871
14	Extremo negativo: 1-13	-1.891387
15	Extremo positivo: 1+13	3.8913871

Fuente: Elaboración propia

Una vez calculado el intervalo de confianza, se tiene que (u1-u2) varía entre los valores de -1.73 y 3.73. Por lo tanto, la hipótesis nula se acepta, debido a que el intervalo de confianza contiene el valor numérico CERO.

Se realizó el mismo procedimiento para los demás intentos 5 y 9 pero no cumple con el número mínimo de corridas, ya que 15 corridas no son suficientes según los valores obtenidos.

Intento n° 5

Datos:

X1= 412.45	X2= 402.3
S1= 8.74	S2= 0.97
N1= 10	N2= 10

$t_{\alpha/2}$ 2.086	GDL= 20
Nivel Conf= 95%	Margen Error= 0.25

$$\text{Número mínimo de corridas} = \left(\frac{t_{\alpha/2} * S_2}{\text{Margen error}} \right)^2$$

$$\rightarrow 16.37691399$$

Por lo que 15 corridas no son suficientes

Intento n° 9

Datos:

X1= 412.45	X2= 419.9
S1= 8.74	S2= 0.99
N1= 10	N2= 10

$t_{\alpha/2}$ 2.086	GDL= 20
Nivel Conf= 95%	Margen Error= 0.25

$$\text{Número mínimo de corridas} = \left(\frac{t_{\alpha/2} * S_2}{\text{Margen error}} \right)^2$$

$$\rightarrow 17.05921288$$

Por lo que 15 corridas no son suficientes

Estos parámetros calibrados se introducen también para las otras dos zonas estudio, los cuales muestran, tomando en cuenta el otro parámetro de análisis que es la longitud de cola, resultados similares de comparación entre simulación y realidad, teniendo porcentajes de error en longitud de cola menor al 20% y en tiempo de recorrido menor al 5%. Como se muestra a continuación:

Tabla 26: Comparación de longitud de cola en zona V. Fátima

Nodo	Acceso	Longitud de cola en campo (m)	Longitud de cola simulada (m)	% de error	Observación
1	La Paz Norte	91.5	106.66	16.53	Cumple
	La Paz Sur	88.7	97.24	9.67	Cumple
	Belgrano Este	70.2	66.86	4.76	Cumple
	Belgrano Oeste	53.7	37.73	29.70	No cumple
2	La Paz Norte	65.6	70.44	7.43	Cumple
	La Paz Sur	68.3	59.90	12.30	Cumple
3	La Paz Norte	63.0	44.49	29.38	No cumple
	La Paz Sur	68.5	74.96	9.38	Cumple
	Ingavi	48.0	38.78	19.26	Cumple
4	La Paz Norte	72.9	75.05	3.00	Cumple
	La Paz Sur	57.1	62.53	9.57	Cumple
	Bolívar	46.0	45.87	0.21	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que en dos accesos la longitud de cola no coincide que correspondería a un 17% de los accesos en esta zona, pero estos datos son los más cercanos que pudieron obtenerse ya que cambiando valores para ajustar solo se lograba alejar más la realidad de la simulación. En el caso de la zona de la Rotonda los parámetros se ajustaron bastante bien.

Tabla 27: Comparación de longitud de cola en zona Rotonda

Avenida	Longitud de cola (m)		Observación
	Antes de la optimización	Después de la optimización	
Panamericana Norte	76.85	76.6	Cumple
Panamericana Sur	87.15	81.5	Cumple
Cochabamba	103.00	94.9	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de tiempos de recorrido también presentaron porcentajes de error mínimos con los parámetros calibrados utilizados:

Tabla 28: Comparación de tiempos de recorrido en zona V. Fátima

Dato	Campo	Simulado
		331.62
Error	3.48 %	

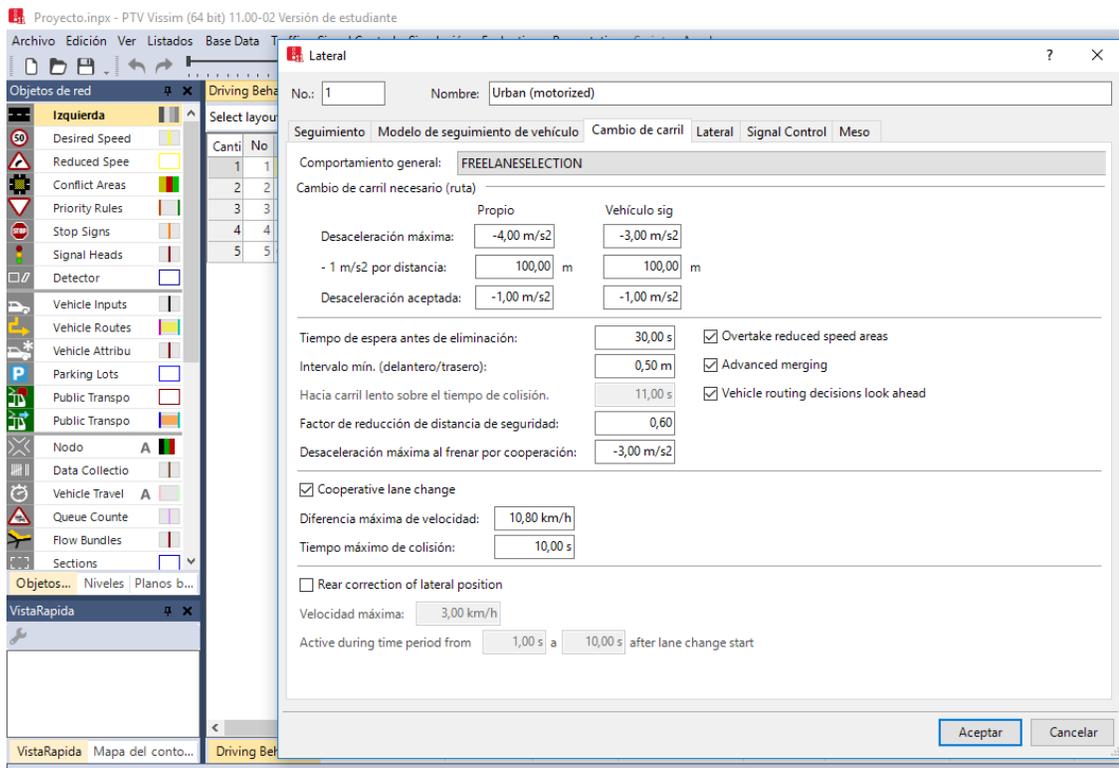
Fuente: Elaboración propia

Tabla 29: Comparación de tiempos de recorrido en zona Rotonda

Dato	Campo	Simulado
		113.15
Error	0.21 %	

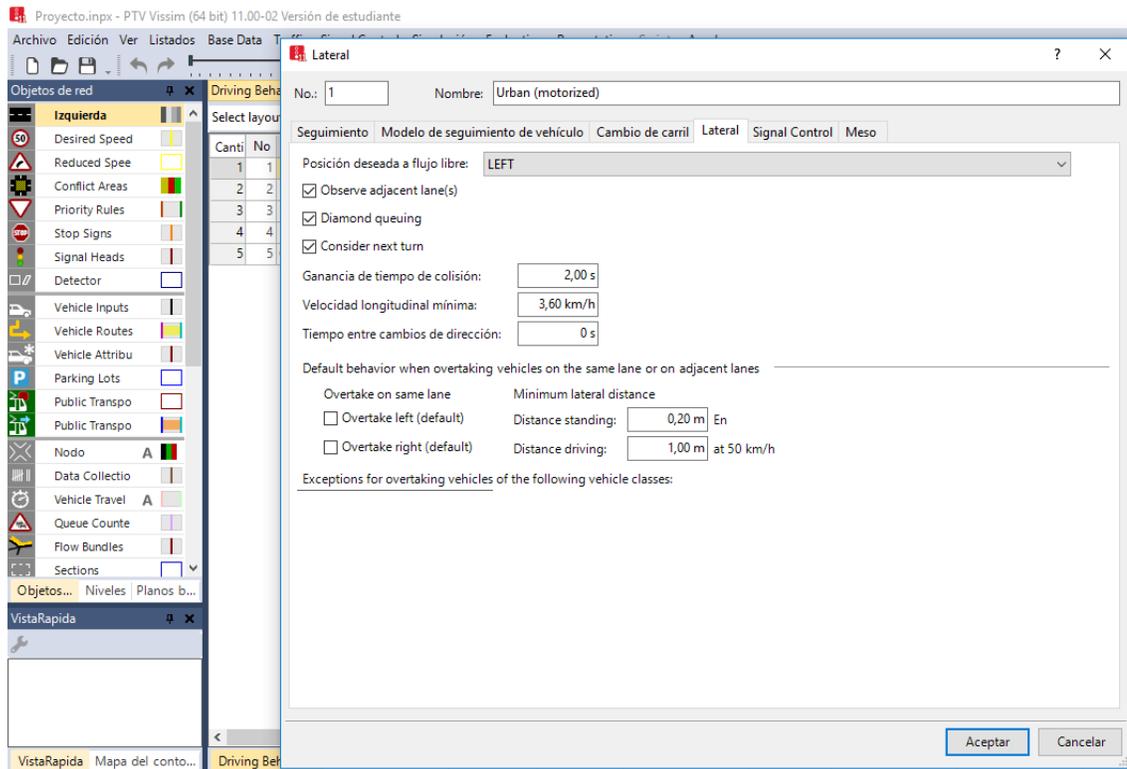
Fuente: Elaboración propia

Figura 29: Calibración modelo de cambio de carril



Fuente: Elaboración propia

Figura 30: Calibración de comportamiento lateral



Fuente: Elaboración propia

Una vez realizada la calibración se procede al proceso de optimización el cual nos proporciona los mejores tiempos en el ciclo semafórico adecuados a los datos ingresados, con los cuales se obtendría una mejoría en los parámetros de análisis como son los tiempos de demora, longitud de cola y tiempos de recorrido. Dado que se está trabajando con la versión estudiante de este Software antes de realizar este proceso se debe estar seguro que los datos de campo se hayan ingresado de manera correcta y que la calibración sea la adecuada, ya que trabajando con esta versión este proceso se nos permite realizarlo solo una vez. Posterior a este proceso ya se cuenta con los resultados de una situación optimizada los cuales serán analizados en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO IV
CÁLCULOS Y RESULTADOS

CAPÍTULO IV

CÁLCULOS Y RESULTADOS

En este capítulo se mostrarán resultados de la situación actual en base a la simulación de las tres zonas de estudio y de una situación con ciclos semafóricos Optimizados.

Para evaluar los resultados de la simulación, el software PTV VISIM nos arroja unas series de parámetros, los cuales se toman los valores máximos de cada intersección para hacer el análisis de nivel de servicio de cada acceso. En la siguiente tabla se definen los parámetros utilizados para evaluar los resultados de la simulación:

Tabla 30: Parámetros obtenidos del resultado de la simulación

Parámetro	Significado
Simulation Run	Número de corrida de Simulación
Time Interval	Intervalo de Tiempo
Movement	Movimiento (teniendo desde - hasta)
Queue Length	Longitud de cola (m)
Vehicles (All)	Número de vehículos
LOS (All)	Nivel de Servicio
LOS Value (All)	Nivel de Servicio Evaluación Numérica
Vehicle Delay	Demora media por vehículo (s)
Stop Delay	Demora media por vehículo que se detuvo (s)
Stops (All)	Número de promedio de parada por vehículo
Emission CO	Emissiones de CO (g)
Emission Nox	Emissiones de Nox (g)
Emission VOC	Emissiones de COV (g)
Fuel Consumption	Consumo de combustible (g)

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis de los resultados se tomará en cuenta las longitudes de cola, demora media por vehículo, tiempo de recorrido de los tramos elegidos y el nivel de servicio.

4.1. Volúmenes vehiculares

Con base en los aforos vehiculares, se determinó la hora pico, la composición vehicular y las distribuciones por acceso en cada uno de los sentidos de cada una de las Zonas de Estudio como se muestra en las siguientes tablas:

ZONA CENTRO

Tabla 31: Resultados de aforos vehiculares (Centro)

Resultados						
15 de Abril y:	Fr	Gi	Gd	Total	%Fr	%Gi
Campero	240	118	0	358	33	0
Gral. Trigo	191	0	98	289	0	34
Sucre	228	104	0	332	31	0
D. Campos	238	0	76	314	0	24
Colon	228	82	0	310	26	0

Resultados						
La Madrid y:	Fr	Gi	Gd	Total	%Fr	%Gi
Campero	128	0	99	227	0	44
Gral. Trigo	153	152	0	305	50	0
Sucre	190	0	104	294	0	35
D. Campos	201	84	0	285	29	0
Colon	211	0	98	309	0	32

Resultados						
Ingavi y:	Fr	Gi	Gd	Total	%Fr	%Gi
Campero	224	58	0	282	21	0
Gral. Trigo	248	0	70	318	0	22
Sucre	258	62	0	320	19	0
D. Campos	271	0	81	352	0	23
Colon	253	95	0	348	30	0

Resultados						
Bolívar y:	Fr	Gi	Gd	Total	%Fr	%Gi
Campero	187	0	120	307	0	39
Gral. Trigo	228	75	0	303	25	0
Sucre	211	0	77	288	0	27
D. Campos	208	155	0	363	43	0
Colon	223	0	103	326	0	32

Resultados						
D. Paz y:	Fr	Gi	Gd	Total	%Fr	%Gi
Campero	262	48	0	309	18	0
Gral. Trigo	255		72	327	0	29
Sucre	251	64	0	316	22	0
D. Campos	283		56	339	0	20
Colon	268	104	0	372	28	0

Resultados						
Colon y:	Fr	Gi	Gd	Total	%Fr	%Gi
15 de Abril	198	0	85	283	0	30
La Madrid	239	56	0	295	19	0
Ingavi	281	0	77	358	0	22
Bolívar	263	101	0	365	28	0
D. Paz	266	0	97	363	0	27

Resultados						
D. Campos y:	Fr	Gi	Gd	Total	%Fr	%Gi
15 de Abril	219	64	0	283	23	0
La Madrid	226	0	75	301	0	25
Ingavi	234	131	0	365	36	0
Bolívar	244	0	74	318	0	23
D. Paz	228	96	0	324	30	0

Resultados						
Sucre y:	Fr	Gi	Gd	Total	%Fr	%Gi
15 de Abril	265	0	82	347	0	24
La Madrid	244	133	0	377	35	0
Ingavi	258	0	104	362	0	29
Bolívar	253	62	0	315	20	0
D. Paz	207	0	87	294	0	30

Resultados						
G. Trigo	Fr	Gi	Gd	Total	%Fr	%Gi
15 de Abril	174	133	0	307	0	24
La Madrid	182	0	39	221	19	0
Ingavi	147	68	0	215	0	29
Bolívar	200	0	95	295	28	0
D. Paz	216	86	0	302	0	44

Resultados						
Campero y:	Fr	Gi	Gd	Total	%Fr	%Gi
15 de Abril	207	0	59	266	0	22
La Madrid	193	58	0	251	23	0
Ingavi	207	0	90	297	0	30
Bolívar	168	109	0	277	39	0
D. Paz	206	0	85	291	0	29

Fuente: Elaboración propia

ZONA VILLA FATIMA

Tabla 32: Resultados de aforos vehiculares (V. Fátima)

RESULTADOS						
NODO 1	FR	GI	GD	TOTAL	% GI	% GD
LA PAZ NORTE	297	0	99	395	0	25
LA PAZ SUR	307	102	0	410	25	0
BELGRANO OESTE	0	121	243	364	33	67
BELGRANO ESTE	363	163	155	681	24	23

NODO 2	FR	GI	GD	TOTAL	% GI	% GD
LA PAZ NORTE	430	273	0	703	39	0
LA PAZ SUR	410	0	78	488	0	16

NODO 3	FR	GI	GD	TOTAL	% GI	% GD
LA PAZ NORTE	324	0	106	430	0	25
LA PAZ SUR	410	78	0	488	16	0
INGAVI	100	124	98	322	39	31

NODO 4	FR	GI	GD	TOTAL	% GI	% GD
LA PAZ NORTE	332	116	0	448	26	0
LA PAZ SUR	388	0	105	493	0	21
BOLIVAR	112	104	79	295	35	27

Fuente: Elaboración propia

ZONA ROTONDA

Tabla 33: Resultados de aforos vehiculares (Rotonda)

RESULTADOS						
AVENIDA	FR	GI	GD	TOTAL	% GI	% GD
PANAMERINA NORTE	812	175	119	1105	16	11
PANAMERICANA SUR	643	517		1160	45	
COCHABAMBA	389	67		457	15	

Fuente: Elaboración propia

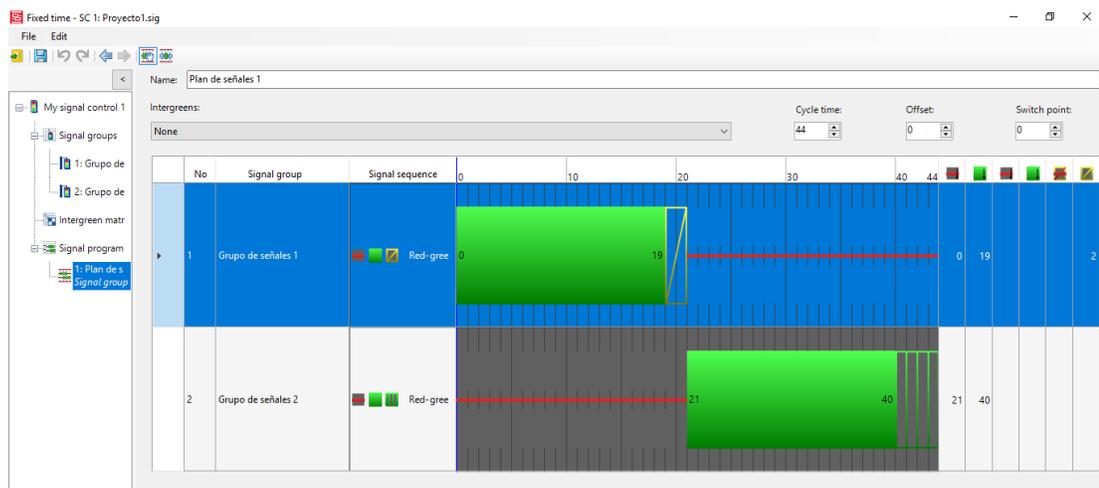
4.2. Resultados de la simulación para los ciclos semafóricos actuales y optimizados

Con los datos de campo obtenidos para este parámetro se pudo cargar al modelo de simulación el cual junto con los otros parámetros de entrada nos arrojaron los resultados que se mostrarán a continuación:

ZONA CENTRO

Como se explicó en el capítulo anterior para esta zona se trabajó con un plan de señales el cual consta de dos grupos de Señales:

Figura 31: Plan de señales zona centro antes de la optimización



Fuente: Elaboración propia

Esta imagen representa los ciclos semafóricos actuales para esta zona, mostrando los siguientes resultados:

Figura 32: Resultados antes de la optimización zona centro N1 a N5

Canti	SimRun	Timelnt	Movement	QLen	Vehs(todos)	LOS(todos)	LOSVal(tod)	VehDelay(t)	StopDela	Paradas
1	277	0-400	1: NODO 1 - 9: CALLE COLON@67.9 - 9: CALLE COLON	88,36	21	LOS_F	6	103,12	71,11	5,67
2	277	0-400	1: NODO 1 - 9: CALLE COLON@67.9 - 16: 15 de abril 3@	88,36	5	LOS_E	5	66,14	39,08	3,80
3	277	0-400	1: NODO 1 - 15: 15 de abril 2@152.4 - 9: CALLE COLON	45,54	0	LOS_A				
4	277	0-400	1: NODO 1 - 15: 15 de abril 2@152.4 - 16: 15 de abril 3	45,54	5	LOS_B	2	19,07	15,02	1,20
5	277	0-400	1: NODO 1	88,36	31	LOS_F	6	83,60	56,89	4,65
6	277	0-400	2: NODO 2 - 15: 15 de abril 2@58.5 - 15: 15 de abril 2@	22,43	6	LOS_A	1	9,20	5,47	1,00
7	277	0-400	2: NODO 2 - 15: 15 de abril 2@58.5 - 18: CALLE D. CAM	22,43	1	LOS_A	1	9,28	5,52	1,00
8	277	0-400	2: NODO 2 - 18: CALLE D. CAMPOS 2@151.8 - 15: 15 de	35,13	4	LOS_A	1	7,84	5,24	0,75
9	277	0-400	2: NODO 2 - 18: CALLE D. CAMPOS 2@151.8 - 18: CALL	35,13	6	LOS_B	2	16,77	7,51	1,33
10	277	0-400	2: NODO 2	35,13	17	LOS_B	2	11,55	6,14	1,06
11	277	0-400	3: NODO 3 - 4: 15 de abril 1@240.3 - 15: 15 de abril 2@	87,65	9	LOS_C	3	26,92	18,37	1,89
12	277	0-400	3: NODO 3 - 4: 15 de abril 1@240.3 - 21@11.2	87,65	6	LOS_C	3	23,14	14,17	1,67
13	277	0-400	3: NODO 3 - 7: Sucre@61.2 - 15: 15 de abril 2@17.1	84,70	2	LOS_F	6	107,14	74,43	7,00
14	277	0-400	3: NODO 3 - 7: Sucre@61.2 - 21@11.2	84,70	30	LOS_E	5	68,35	48,17	4,37
15	277	0-400	3: NODO 3	87,65	47	LOS_E	5	56,29	39,24	3,66
16	277	0-400	4: NODO 4 - 4: 15 de abril 1@154.0 - 4: 15 de abril 1@2	59,73	30	LOS_E	5	61,66	45,59	3,00
17	277	0-400	4: NODO 4 - 4: 15 de abril 1@154.0 - 23: CALLE G. TRIG	59,73	3	LOS_D	4	36,73	27,72	1,67
18	277	0-400	4: NODO 4 - 23: CALLE G. TRIGO 3@56.4 - 4: 15 de abril	46,73	4	LOS_C	3	20,33	8,93	2,25
19	277	0-400	4: NODO 4 - 23: CALLE G. TRIGO 3@56.4 - 23: CALLE G.	46,73	10	LOS_A	1	7,22	3,72	0,70
20	277	0-400	4: NODO 4	59,73	47	LOS_D	4	44,97	32,42	2,36
21	277	0-400	5: NODO 5 - 4: 15 de abril 1@67.0 - 4: 15 de abril 1@11	89,04	36	LOS_E	5	59,70	40,80	3,94
22	277	0-400	5: NODO 5 - 4: 15 de abril 1@67.0 - 13: CALLE CAMPER	89,04	10	LOS_D	4	37,75	23,96	2,70
23	277	0-400	5: NODO 5 - 13: CALLE CAMPERO@59.6 - 4: 15 de abril	83,55	3	LOS_F	6	88,97	54,21	6,67
24	277	0-400	5: NODO 5 - 13: CALLE CAMPERO@59.6 - 13: CALLE CA	83,55	52	LOS_E	5	64,53	38,55	5,40
25	277	0-400	5: NODO 5	89,04	101	LOS_E	5	60,88	38,37	4,65

Fuente: Elaboración propia

Figura 33: Resultados antes de la optimización zona centro N7 a N11

Canti	SimRun	Timelnt	Movement	QLen	Vehs(todos)	LOS(todos)	LOSVal(tod)	VehDelay(t)	StopDela	Paradas
26	277	0-400	7: NODO 7 - 12: CALLE MADRID 2@66.4 - 12: CALLE MA	46,64	25	LOS_B	2	15,73	8,82	0,96
27	277	0-400	7: NODO 7 - 12: CALLE MADRID 2@66.4 - 18: CALLE D.	46,64	3	LOS_A	1	9,67	4,72	1,33
28	277	0-400	7: NODO 7 - 18: CALLE D. CAMPOS 2@61.8 - 12: CALLE	27,56	2	LOS_A	1	8,74	6,89	0,50
29	277	0-400	7: NODO 7 - 18: CALLE D. CAMPOS 2@61.8 - 18: CALLE	27,56	9	LOS_A	1	6,94	4,06	0,67
30	277	0-400	7: NODO 7	46,64	39	LOS_B	2	12,88	7,31	0,90
31	277	0-400	8: NODO 8 - 12: CALLE MADRID 2@158.3 - 14: CALLE M	32,75	18	LOS_B	2	18,47	11,94	1,78
32	277	0-400	8: NODO 8 - 12: CALLE MADRID 2@158.3 - 22: CALLE S	32,75	2	LOS_D	4	38,85	25,65	16,00
33	277	0-400	8: NODO 8 - 21@56.4 - 14: CALLE MADRID 3@16.0	90,24	13	LOS_B	2	14,20	8,72	1,00
34	277	0-400	8: NODO 8 - 21@56.4 - 22: CALLE SUCRE@10.8	90,24	10	LOS_E	5	57,49	40,69	7,00
35	277	0-400	8: NODO 8	90,24	43	LOS_C	3	27,20	18,29	3,42
36	277	0-400	9: NODO 9 - 14: CALLE MADRID 3@61.7 - 17: CALLE MA	35,39	20	LOS_B	2	11,46	6,83	0,65
37	277	0-400	9: NODO 9 - 14: CALLE MADRID 3@61.7 - 23: CALLE G.	35,39	7	LOS_A	1	9,54	5,54	0,86
38	277	0-400	9: NODO 9 - 19: CALLE G. TRIGO 2@149.4 - 17: CALLE	26,63	0	LOS_A				
39	277	0-400	9: NODO 9 - 19: CALLE G. TRIGO 2@149.4 - 23: CALLE G	26,63	14	LOS_B	2	13,62	9,63	0,64
40	277	0-400	9: NODO 9	35,39	41	LOS_B	2	11,87	7,56	0,68
41	277	0-400	10: NODO 10 - 13: CALLE CAMPERO@141.9 - 6@9.2	80,61	12	LOS_D	4	26,42	15,90	1,25
42	277	0-400	10: NODO 10 - 13: CALLE CAMPERO@141.9 - 13: CALLE	74,08	41	LOS_D	4	33,91	21,38	1,98
43	277	0-400	10: NODO 10 - 17: CALLE MADRID 4@66.9 - 6@9.2	38,52	11	LOS_B	2	10,89	4,22	1,09
44	277	0-400	10: NODO 10 - 17: CALLE MADRID 4@66.9 - 13: CALLE	39,18	1	LOS_A	1	1,11	0,00	0,00
45	277	0-400	10: NODO 10	80,61	65	LOS_D	4	28,13	17,14	1,66
46	277	0-400	11: NODO 11 - 8: CALLE INGAVI 3@71.7 - 8: CALLE ING	32,34	8	LOS_A	1	9,47	5,85	0,88
47	277	0-400	11: NODO 11 - 8: CALLE INGAVI 3@71.7 - 9: CALLE COL	32,34	5	LOS_B	2	19,92	13,09	1,60
48	277	0-400	11: NODO 11 - 9: CALLE COLON@244.0 - 8: CALLE INGA	37,53	2	LOS_B	2	12,49	9,49	0,50
49	277	0-400	11: NODO 11 - 9: CALLE COLON@244.0 - 9: CALLE COL	37,53	14	LOS_B	2	13,86	6,93	1,21
50	277	0-400	11: NODO 11	37,53	29	LOS_B	2	13,60	7,87	1,14

Fuente: Elaboración propia

Figura 34: Resultados antes de la optimización zona centro N14 a N16

Canti	SimRun	TimeInt	Movement	QLen	Vehs(todos)	LOS(todos)	LOSVal(tod)	VehDelay(t)	StopDela	Paradas
51	277	0-400	12: NODO 14 - 1: CALLE INGAVI 1@146.7 - 3: CALLE ING	98,95	22	LOS_E	5	57,46	38,03	3,77
52	277	0-400	12: NODO 14 - 1: CALLE INGAVI 1@146.7 - 19: CALLE G.	98,95	4	LOS_C	3	27,30	22,48	1,25
53	277	0-400	12: NODO 14 - 19: CALLE G. TRIGO 2@62.9 - 3: CALLE I	25,33	7	LOS_A	1	6,20	2,08	0,71
54	277	0-400	12: NODO 14 - 19: CALLE G. TRIGO 2@62.9 - 19: CALLE	25,33	14	LOS_B	2	10,71	5,87	1,21
55	277	0-400	12: NODO 14	98,95	47	LOS_C	3	33,33	21,77	2,34
56	277	0-400	13: NODO 12 - 3: CALLE INGAVI 2@154.8 - 8: CALLE ING	49,79	15	LOS_C	3	33,76	19,79	2,40
57	277	0-400	13: NODO 12 - 3: CALLE INGAVI 2@154.8 - 18: CALLE D.	49,79	2	LOS_C	3	23,56	13,43	1,00
58	277	0-400	13: NODO 12 - 10: CALLE D. CAMPOS 1@234.2 - 8: CAL	47,90	7	LOS_B	2	15,50	9,58	0,86
59	277	0-400	13: NODO 12 - 10: CALLE D. CAMPOS 1@234.2 - 18: CA	47,90	11	LOS_B	2	10,47	6,05	0,91
60	277	0-400	13: NODO 12	49,79	35	LOS_C	3	22,21	13,06	1,54
61	277	0-400	14: NODO 13 - 3: CALLE INGAVI 2@64.7 - 3: CALLE ING	92,24	18	LOS_C	3	29,75	20,27	2,28
62	277	0-400	14: NODO 13 - 3: CALLE INGAVI 2@64.7 - 22: CALLE SU	92,24	2	LOS_D	4	54,27	34,05	4,50
63	277	0-400	14: NODO 13 - 22: CALLE SUCRE@64.0 - 3: CALLE INGA	22,31	6	LOS_B	2	13,57	9,01	1,00
64	277	0-400	14: NODO 13 - 22: CALLE SUCRE@64.0 - 22: CALLE SUC	22,31	2	LOS_A	1	9,48	6,61	0,50
65	277	0-400	14: NODO 13	92,24	28	LOS_C	3	26,59	17,87	2,04
66	277	0-400	15: NODO 15 - 1: CALLE INGAVI 1@60.0 - 1: CALLE ING	78,75	38	LOS_D	4	50,55	33,83	3,53
67	277	0-400	15: NODO 15 - 1: CALLE INGAVI 1@60.0 - 13: CALLE CA	78,75	8	LOS_E	5	70,99	50,75	3,75
68	277	0-400	15: NODO 15 - 13: CALLE CAMPERO@235.0 - 1: CALLE I	46,40	6	LOS_A	1	8,33	4,02	0,67
69	277	0-400	15: NODO 15 - 13: CALLE CAMPERO@235.0 - 13: CALLE	46,40	26	LOS_B	2	10,16	5,94	0,81
70	277	0-400	15: NODO 15	78,75	78	LOS_D	4	35,93	23,98	2,42
71	277	0-400	16: NODO 16 - 2: CALLE BOLIVAR@60.0 - 2: CALLE BOLI	80,14	36	LOS_F	6	83,98	56,29	5,28
72	277	0-400	16: NODO 16 - 2: CALLE BOLIVAR@60.0 - 9: CALLE COL	80,14	7	LOS_F	6	120,81	85,95	7,00
73	277	0-400	16: NODO 16 - 9: CALLE COLON@327.5 - 2: CALLE BOLI	20,41	5	LOS_D	4	39,13	31,82	1,60
74	277	0-400	16: NODO 16 - 9: CALLE COLON@327.5 - 9: CALLE COL	20,41	11	LOS_B	2	18,92	14,42	1,27
75	277	0-400	16: NODO 16	80,14	59	LOS_E	5	72,42	49,93	4,42

Fuente: Elaboración propia

Figura 35: Resultados antes de la optimización zona centro N17 a N21

Canti	SimRun	TimeInt	Movement	QLen	Vehs(todos)	LOS(todos)	LOSVal(tod)	VehDelay(t)	StopDela	Paradas
76	277	0-400	17: NODO 17 - 2: CALLE BOLIVAR@151.7 - 2: CALLE BOL	99,85	20	LOS_F	6	88,88	70,61	3,00
77	277	0-400	17: NODO 17 - 2: CALLE BOLIVAR@151.7 - 10: CALLE D.	99,85	7	LOS_E	5	56,61	41,10	3,00
78	277	0-400	17: NODO 17 - 10: CALLE D. CAMPOS 1@141.6 - 2: CAL	97,80	3	LOS_E	5	60,30	36,44	4,00
79	277	0-400	17: NODO 17 - 10: CALLE D. CAMPOS 1@141.6 - 10: CA	97,80	24	LOS_D	4	48,67	29,42	3,38
80	277	0-400	17: NODO 17	99,85	54	LOS_E	5	65,24	46,58	3,22
81	277	0-400	18: NODO 18 - 2: CALLE BOLIVAR@241.0 - 2: CALLE BOL	29,25	15	LOS_B	2	13,41	7,44	1,00
82	277	0-400	18: NODO 18 - 2: CALLE BOLIVAR@241.0 - 22: CALLE SU	29,25	4	LOS_B	2	10,33	6,01	1,00
83	277	0-400	18: NODO 18 - 22: CALLE SUCRE@149.4 - 2: CALLE BOLI	13,87	1	LOS_A	1	3,07	0,44	1,00
84	277	0-400	18: NODO 18 - 22: CALLE SUCRE@149.4 - 22: CALLE SU	13,87	2	LOS_A	1	6,85	4,95	0,50
85	277	0-400	18: NODO 18	29,25	22	LOS_B	2	11,78	6,64	0,95
86	277	0-400	19: NODO 19 - 2: CALLE BOLIVAR@324.5 - 2: CALLE BOL	20,81	6	LOS_A	1	8,42	6,64	0,33
87	277	0-400	19: NODO 19 - 2: CALLE BOLIVAR@324.5 - 19: CALLE G.	20,81	2	LOS_A	1	3,41	1,32	1,00
88	277	0-400	19: NODO 19 - 11: CALLE G. TRIGO 1@146.4 - 2: CALLE	91,80	5	LOS_B	2	12,78	7,96	1,20
89	277	0-400	19: NODO 19 - 11: CALLE G. TRIGO 1@146.4 - 19: CALLE	91,80	23	LOS_D	4	48,55	27,38	4,91
90	277	0-400	19: NODO 19	91,80	36	LOS_C	3	34,39	19,78	3,42
91	277	0-400	20: NODO 20 - 2: CALLE BOLIVAR@412.3 - 2: CALLE BOL	29,66	5	LOS_A	1	8,37	5,97	0,40
92	277	0-400	20: NODO 20 - 2: CALLE BOLIVAR@412.3 - 13: CALLE CA	29,66	5	LOS_A	1	7,60	5,00	0,60
93	277	0-400	20: NODO 20 - 13: CALLE CAMPERO@329.1 - 2: CALLE B	33,86	13	LOS_B	2	16,11	9,90	1,15
94	277	0-400	20: NODO 20 - 13: CALLE CAMPERO@329.1 - 13: CALLE	33,86	13	LOS_C	3	28,75	20,84	1,38
95	277	0-400	20: NODO 20	33,86	36	LOS_B	2	18,42	12,63	1,06
96	277	0-400	21: NODO 21 - 9: CALLE COLON@417.9 - 9: CALLE COL	17,86	8	LOS_B	2	13,45	11,29	0,75
97	277	0-400	21: NODO 21 - 9: CALLE COLON@417.9 - 20: CALLE D. P	17,86	5	LOS_A	1	8,86	6,32	0,80
98	277	0-400	21: NODO 21 - 20: CALLE D. PAZ@413.5 - 9: CALLE COL	34,77	10	LOS_B	2	15,63	10,66	1,20
99	277	0-400	21: NODO 21 - 20: CALLE D. PAZ@413.5 - 20: CALLE D. P	34,77	20	LOS_B	2	11,00	7,42	0,75
100	277	0-400	21: NODO 21	34,77	43	LOS_B	2	12,28	8,76	0,86

Fuente: Elaboración propia

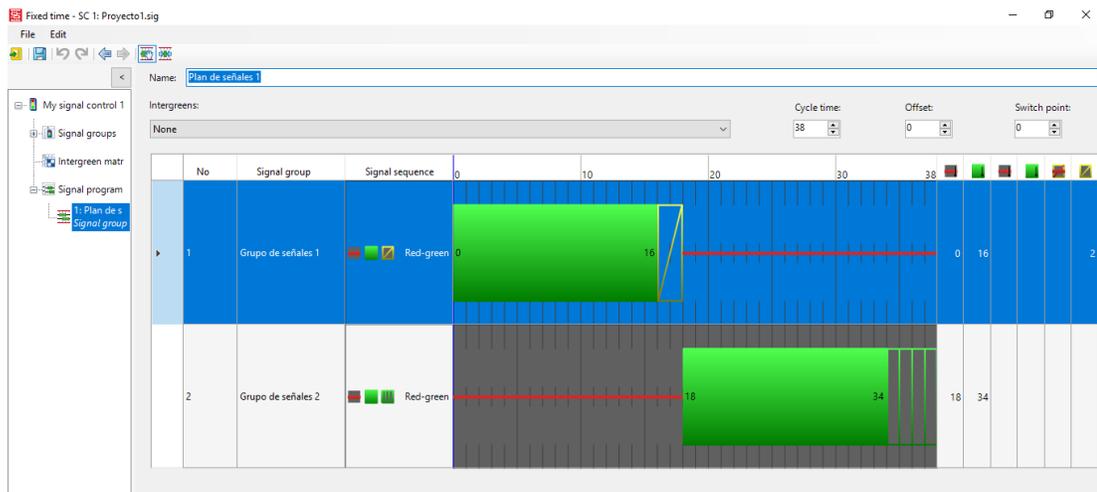
Figura 36: Resultados antes de la optimización zona centro N21 a N25

Canti	SimRun	TimeInt	Movement	QLen	Vehs(todos)	LOS(todos)	LOSVal(tod)	VehDelay(t)	StopDela	Paradas
10	277	0-400	21: NODO 21	34,77	43	LOS_B	2	12,28	8,76	0,86
10	277	0-400	22: NODO 22 - 10: CALLE D. CAMPOS 1@57.1 - 10: CAL	82,17	33	LOS_E	5	63,44	41,49	4,24
10	277	0-400	22: NODO 22 - 10: CALLE D. CAMPOS 1@57.1 - 20: CAL	82,17	9	LOS_E	5	71,54	45,35	6,22
10	277	0-400	22: NODO 22 - 20: CALLE D. PAZ@318.4 - 10: CALLE D.	54,84	2	LOS_C	3	23,95	14,29	1,50
10	277	0-400	22: NODO 22 - 20: CALLE D. PAZ@318.4 - 20: CALLE D. P	54,84	22	LOS_C	3	25,28	17,30	1,50
10	277	0-400	22: NODO 22	82,17	66	LOS_D	4	50,62	33,13	3,52
10	277	0-400	23: NODO 23 - 20: CALLE D. PAZ@232.3 - 20: CALLE D. P	45,62	28	LOS_B	2	12,60	6,62	0,82
10	277	0-400	23: NODO 23 - 20: CALLE D. PAZ@232.3 - 22: CALLE SU	45,62	6	LOS_B	2	14,38	8,44	0,83
10	277	0-400	23: NODO 23 - 22: CALLE SUCRE@232.6 - 20: CALLE D. P	12,91	2	LOS_B	2	11,92	10,27	0,50
10	277	0-400	23: NODO 23 - 22: CALLE SUCRE@232.6 - 22: CALLE SU	12,91	2	LOS_B	2	11,66	9,46	0,50
11	277	0-400	23: NODO 23	45,62	38	LOS_B	2	12,80	7,25	0,79
11	277	0-400	24: NODO 24 - 11: CALLE G. TRIGO 1@65.2 - 11: CALLE	82,96	30	LOS_F	6	87,02	51,27	6,30
11	277	0-400	24: NODO 24 - 11: CALLE G. TRIGO 1@65.2 - 20: CALLE	82,96	18	LOS_E	5	75,17	45,60	5,67
11	277	0-400	24: NODO 24 - 20: CALLE D. PAZ@150.1 - 11: CALLE G. T	97,75	11	LOS_E	5	67,92	49,71	2,91
11	277	0-400	24: NODO 24 - 20: CALLE D. PAZ@150.1 - 20: CALLE D. P	97,75	17	LOS_D	4	45,51	31,89	1,88
11	277	0-400	24: NODO 24	97,75	76	LOS_E	5	72,16	45,37	4,67
11	277	0-400	25: NODO 25 - 13: CALLE CAMPERO@405.7 - 13: CALLE	18,64	11	LOS_A	1	9,74	6,70	0,64
11	277	0-400	25: NODO 25 - 13: CALLE CAMPERO@405.7 - 20: CALLE	18,64	3	LOS_B	2	11,71	4,95	1,33
11	277	0-400	25: NODO 25 - 20: CALLE D. PAZ@59.7 - 13: CALLE CAM	75,74	0	LOS_A				
11	277	0-400	25: NODO 25 - 20: CALLE D. PAZ@59.7 - 20: CALLE D. P	75,74	31	LOS_E	5	57,75	40,13	3,00
12	277	0-400	25: NODO 25	75,74	45	LOS_D	4	42,95	29,61	2,31
12	277	0-400	27: NODO 6 - 5: CALLE MADRID 1@57.2 - 9: CALLE COL	79,49	11	LOS_F	6	93,90	55,68	6,45
12	277	0-400	27: NODO 6 - 5: CALLE MADRID 1@57.2 - 12: CALLE MA	79,49	26	LOS_F	6	109,81	68,08	8,19
12	277	0-400	27: NODO 6 - 9: CALLE COLON@154.4 - 9: CALLE COLO	91,09	9	LOS_B	2	12,23	7,85	1,22
12	277	0-400	27: NODO 6 - 9: CALLE COLON@154.4 - 12: CALLE MAD	91,09	2	LOS_A	1	2,25	1,15	0,00
12	277	0-400	27: NODO 6	91,09	48	LOS_F	6	83,38	51,16	6,15

Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestra los nuevos ciclos semafóricos, mediante el software se consiguió obtener el tiempo más óptimo para mejorar la situación de congestión, sobre todo en los parámetros de longitud de cola, tiempo de demora y recorrido y nivel de servicio.

Figura 37: Plan de señales zona centro después de la optimización



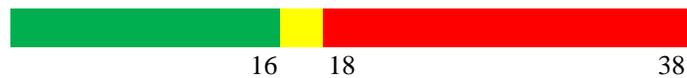
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, se mantiene los grupos de señales, lo que cambió son los tiempos en cada fase:

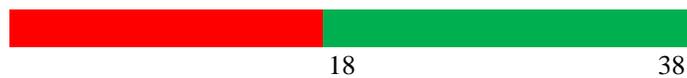
Tabla 34: Ciclo semafórico optimizado (Centro)

Zona	Face	Verde	Ámbar	Rojo	Ciclo
Centro	1	16	2	20	38
	2	20	0	18	38

Calle Sucre



Calle La Madrid



Fuente: Elaboración propia

Una reducción de tiempo del ciclo de 6 segundos, de 44 segundos a 38 segundos, con estos tiempos se obtuvo los siguientes resultados:

Figura 38: Resultados después de la optimización zona Centro N1 a N 5

Canti	SimRun	TimeInt	Movement	QLen	Vehs(todos)	LOS(todos)	LOSVal(tod)	VehDelay(t)	StopDela	Paradas
1	281	0-400	1: NODO 1 - 9: CALLE COLON@67.9 - 9: CALLE COLON	88,36	32	LOS_E	5	77,36	47,95	5,06
2	281	0-400	1: NODO 1 - 9: CALLE COLON@67.9 - 16: 15 de abril 3@	88,36	4	LOS_E	5	67,96	44,73	4,75
3	281	0-400	1: NODO 1 - 15: 15 de abril 2@152.4 - 9: CALLE COLON	24,40	1	LOS_A	1	4,14	2,03	1,00
4	281	0-400	1: NODO 1 - 15: 15 de abril 2@152.4 - 16: 15 de abril 3@	24,40	7	LOS_B	2	11,43	6,12	1,57
5	281	0-400	1: NODO 1	88,36	44	LOS_E	5	64,35	39,96	4,39
6	281	0-400	2: NODO 2 - 15: 15 de abril 2@58.5 - 15: 15 de abril 2@	21,69	6	LOS_A	1	8,54	5,20	1,17
7	281	0-400	2: NODO 2 - 15: 15 de abril 2@58.5 - 18: CALLE D. CAM	21,69	1	LOS_C	3	25,04	17,12	1,00
8	281	0-400	2: NODO 2 - 18: CALLE D. CAMPOS 2@151.8 - 15: 15 de	21,80	4	LOS_A	1	1,40	0,25	0,25
9	281	0-400	2: NODO 2 - 18: CALLE D. CAMPOS 2@151.8 - 18: CALL	21,80	6	LOS_A	1	4,96	2,27	0,33
10	281	0-400	2: NODO 2	21,80	17	LOS_A	1	6,57	3,70	0,65
11	281	0-400	3: NODO 3 - 4: 15 de abril 1@240.3 - 15: 15 de abril 2@	35,18	6	LOS_B	2	14,53	7,84	1,17
12	281	0-400	3: NODO 3 - 4: 15 de abril 1@240.3 - 21@11.2	35,18	6	LOS_B	2	19,35	9,74	2,83
13	281	0-400	3: NODO 3 - 7: Sucre@61.2 - 15: 15 de abril 2@17.1	84,70	2	LOS_F	6	122,64	84,87	8,50
14	281	0-400	3: NODO 3 - 7: Sucre@61.2 - 21@11.2	84,70	28	LOS_E	5	61,58	42,28	4,39
15	281	0-400	3: NODO 3	84,70	42	LOS_D	4	51,73	34,74	3,90
16	281	0-400	4: NODO 4 - 4: 15 de abril 1@154.0 - 4: 15 de abril 1@2	97,76	17	LOS_E	5	64,08	53,53	2,59
17	281	0-400	4: NODO 4 - 4: 15 de abril 1@154.0 - 23: CALLE G. TRIG	97,76	2	LOS_B	2	12,84	9,08	1,50
18	281	0-400	4: NODO 4 - 23: CALLE G. TRIGO 3@56.4 - 4: 15 de abril	35,86	4	LOS_B	2	15,09	7,57	53,534617
19	281	0-400	4: NODO 4 - 23: CALLE G. TRIGO 3@56.4 - 23: CALLE G.	35,86	8	LOS_A	1	9,33	6,10	1,00
20	281	0-400	4: NODO 4	97,76	31	LOS_D	4	40,32	32,49	1,97
21	281	0-400	5: NODO 5 - 4: 15 de abril 1@67.0 - 4: 15 de abril 1@11	89,04	31	LOS_E	5	59,45	35,21	4,13
22	281	0-400	5: NODO 5 - 4: 15 de abril 1@67.0 - 13: CALLE CAMPER	89,04	9	LOS_D	4	36,77	19,86	2,33
23	281	0-400	5: NODO 5 - 13: CALLE CAMPERO@59.6 - 4: 15 de abril	86,68	1	LOS_C	3	26,58	11,94	2,00
24	281	0-400	5: NODO 5 - 13: CALLE CAMPERO@59.6 - 13: CALLE CA	86,68	44	LOS_E	5	58,60	30,58	5,34
25	281	0-400	5: NODO 5	89,04	85	LOS_E	5	56,22	30,92	4,54

Fuente: Elaboración propia

Figura 39: Resultados después de la optimización zona Centro N7 a N11

Proyecto.inpx - PTV Vissim (64 bit) 11.00-02 Versión de estudiante

Archivo Edición Ver Listados Base Data Traffic Signal Control Simulación Evaluation Presentation Scripts Ayuda

Objetos de red Node Results

Canti	SimRun	TimeInt	Movement	QLen	Vehs(todos)	LOS(todos)	LOSVal(tod)	VehDelay(t)	StopDela	Paradas
26	281	0-400	7: NODO 7 - 12: CALLE MADRID 2@66.4 - 12: CALLE MA	32,59	21	LOS_B	2	13,76	8,81	0,76
27	281	0-400	7: NODO 7 - 12: CALLE MADRID 2@66.4 - 18: CALLE D.	32,59	3	LOS_A	1	2,59	0,91	0,33
28	281	0-400	7: NODO 7 - 18: CALLE D. CAMPOS 2@61.8 - 12: CALLE	27,14	2	LOS_A	1	8,48	3,72	1,50
29	281	0-400	7: NODO 7 - 18: CALLE D. CAMPOS 2@61.8 - 18: CALLE	27,14	8	LOS_B	2	13,37	9,17	1,13
30	281	0-400	7: NODO 7	32,59	34	LOS_B	2	12,37	7,90	0,85
31	281	0-400	8: NODO 8 - 12: CALLE MADRID 2@158.3 - 14: CALLE M	30,85	18	LOS_B	2	11,13	6,35	1,00
32	281	0-400	8: NODO 8 - 12: CALLE MADRID 2@158.3 - 22: CALLE S	30,85	2	LOS_A	1	7,83	5,58	1,00
33	281	0-400	8: NODO 8 - 21@56.4 - 14: CALLE MADRID 3@16.0	30,93	14	LOS_A	1	6,11	2,14	0,64
34	281	0-400	8: NODO 8 - 21@56.4 - 22: CALLE SUCRE@10.8	30,93	13	LOS_B	2	10,99	4,68	0,62
35	281	0-400	8: NODO 8	30,93	47	LOS_A	1	9,45	4,60	0,79
36	281	0-400	9: NODO 9 - 14: CALLE MADRID 3@61.7 - 17: CALLE MA	40,45	18	LOS_B	2	14,88	7,68	1,06
37	281	0-400	9: NODO 9 - 14: CALLE MADRID 3@61.7 - 23: CALLE G.	40,45	8	LOS_B	2	10,28	5,32	0,88
38	281	0-400	9: NODO 9 - 19: CALLE G. TRIGO 2@149.4 - 17: CALLE	37,61	0	LOS_A				
39	281	0-400	9: NODO 9 - 19: CALLE G. TRIGO 2@149.4 - 23: CALLE G	37,61	13	LOS_C	3	20,24	13,24	1,46
40	281	0-400	9: NODO 9	40,45	39	LOS_B	2	15,73	9,05	1,15
41	281	0-400	10: NODO 10 - 13: CALLE CAMPERO@141.9 - 6@9.2	81,99	11	LOS_C	3	17,84	5,81	1,82
42	281	0-400	10: NODO 10 - 13: CALLE CAMPERO@141.9 - 13: CALLE	75,46	32	LOS_C	3	19,92	7,40	1,63
43	281	0-400	10: NODO 10 - 17: CALLE MADRID 4@66.9 - 6@9.2	25,03	12	LOS_A	1	9,07	2,05	0,67
44	281	0-400	10: NODO 10 - 17: CALLE MADRID 4@66.9 - 13: CALLE	25,70	3	LOS_A	1	8,89	3,56	1,00
45	281	0-400	10: NODO 10	81,99	58	LOS_C	3	16,71	5,79	1,43
46	281	0-400	11: NODO 11 - 8: CALLE INGAVI 3@71.7 - 8: CALLE ING	88,22	6	LOS_A	1	3,84	2,29	0,33
47	281	0-400	11: NODO 11 - 8: CALLE INGAVI 3@71.7 - 9: CALLE COL	88,22	3	LOS_A	1	4,70	2,77	0,67
48	281	0-400	11: NODO 11 - 9: CALLE COLON@244.0 - 8: CALLE INGA	62,47	3	LOS_C	3	28,16	20,45	1,67
49	281	0-400	11: NODO 11 - 9: CALLE COLON@244.0 - 9: CALLE COL	62,47	17	LOS_B	2	12,69	8,13	0,94
50	281	0-400	11: NODO 11	88,22	29	LOS_B	2	11,63	7,64	0,86

Fuente: Elaboración propia

Figura 40: Resultados después de la optimización zona Centro N12 a N16

Proyecto.inpx - PTV Vissim (64 bit) 11.00-02 Versión de estudiante

Archivo Edición Ver Listados Base Data Traffic Signal Control Simulación Evaluation Presentation Scripts Ayuda

Objetos de red Node Results

Canti	SimRun	TimeInt	Movement	QLen	Vehs(todos)	LOS(todos)	LOSVal(tod)	VehDelay(t)	StopDela	Paradas
51	281	0-400	12: NODO 14 - 1: CALLE INGAVI 1@146.7 - 3: CALLE ING	98,81	21	LOS_E	5	60,74	39,28	5,33
52	281	0-400	12: NODO 14 - 1: CALLE INGAVI 1@146.7 - 19: CALLE G.	98,81	4	LOS_C	3	21,19	14,23	1,50
53	281	0-400	12: NODO 14 - 19: CALLE G. TRIGO 2@62.9 - 3: CALLE I	42,23	7	LOS_A	1	8,69	3,75	0,71
54	281	0-400	12: NODO 14 - 19: CALLE G. TRIGO 2@62.9 - 19: CALLE	42,23	14	LOS_A	1	9,29	3,83	1,07
55	281	0-400	12: NODO 14	98,81	46	LOS_C	3	33,72	20,91	3,00
56	281	0-400	13: NODO 12 - 3: CALLE INGAVI 2@154.8 - 8: CALLE ING	91,82	15	LOS_C	3	26,86	13,41	2,93
57	281	0-400	13: NODO 12 - 3: CALLE INGAVI 2@154.8 - 18: CALLE D.	91,82	2	LOS_B	2	12,08	2,33	1,00
58	281	0-400	13: NODO 12 - 10: CALLE D. CAMPOS 1@234.2 - 8: CAL	37,92	6	LOS_B	2	19,33	11,93	1,67
59	281	0-400	13: NODO 12 - 10: CALLE D. CAMPOS 1@234.2 - 18: CA	37,92	9	LOS_B	2	11,18	6,63	0,89
60	281	0-400	13: NODO 12	91,82	32	LOS_C	3	20,11	10,53	2,00
61	281	0-400	14: NODO 13 - 3: CALLE INGAVI 2@64.7 - 3: CALLE ING	91,40	18	LOS_C	3	34,17	20,38	2,56
62	281	0-400	14: NODO 13 - 3: CALLE INGAVI 2@64.7 - 22: CALLE SU	91,40	2	LOS_E	5	59,32	35,77	4,50
63	281	0-400	14: NODO 13 - 22: CALLE SUCRE@64.0 - 3: CALLE INGA	25,58	8	LOS_C	3	21,28	14,42	1,63
64	281	0-400	14: NODO 13 - 22: CALLE SUCRE@64.0 - 22: CALLE SUC	25,58	5	LOS_A	1	7,85	4,15	0,80
65	281	0-400	14: NODO 13	91,40	33	LOS_C	3	28,58	17,41	2,18
66	281	0-400	15: NODO 15 - 1: CALLE INGAVI 1@60.0 - 1: CALLE ING	78,75	32	LOS_E	5	55,67	36,37	3,69
67	281	0-400	15: NODO 15 - 1: CALLE INGAVI 1@60.0 - 13: CALLE CA	78,75	8	LOS_E	5	62,80	44,27	4,25
68	281	0-400	15: NODO 15 - 13: CALLE CAMPERO@235.0 - 1: CALLE I	37,67	6	LOS_A	1	8,24	2,70	1,00
69	281	0-400	15: NODO 15 - 13: CALLE CAMPERO@235.0 - 13: CALLE	37,67	22	LOS_A	1	8,97	5,26	0,68
70	281	0-400	15: NODO 15	78,75	68	LOS_D	4	37,21	24,26	2,54
71	281	0-400	16: NODO 16 - 2: CALLE BOLIVAR@60.0 - 2: CALLE BOLI	80,14	34	LOS_D	4	53,49	32,41	3,59
72	281	0-400	16: NODO 16 - 2: CALLE BOLIVAR@60.0 - 9: CALLE COL	80,14	6	LOS_F	6	86,51	58,51	5,67
73	281	0-400	16: NODO 16 - 9: CALLE COLON@327.5 - 2: CALLE BOLI	18,74	6	LOS_B	2	17,55	7,98	1,50
74	281	0-400	16: NODO 16 - 9: CALLE COLON@327.5 - 9: CALLE COL	18,74	13	LOS_B	2	11,66	7,64	1,23
75	281	0-400	16: NODO 16	80,14	59	LOS_D	4	43,98	27,12	3,07

Fuente: Elaboración propia

Figura 41: Resultados después de la optimización zona Centro N17 a N 21

Proyecto.inpx - PTV Vissim (64 bit) 11.00-02 Versión de estudiante

Archivo Edición Ver Listados Base Data Traffic Signal Control Simulación Evaluation Presentation Scripts Ayuda

Objetos de red

Canti	SimRun	TimeInt	Movement	QLen	Vehs(todos)	LOS(todos)	LOSVal(tod)	VehDelay(t)	StopDela	Paradas
76	281	0-400	17: NODO 17 - 2: CALLE BOLIVAR@151.7 - 2: CALLE BOL	99,84	26	LOS_E	5	56,07	32,98	3,73
77	281	0-400	17: NODO 17 - 2: CALLE BOLIVAR@151.7 - 10: CALLE D.	99,84	6	LOS_D	4	42,46	27,18	3,17
78	281	0-400	17: NODO 17 - 10: CALLE D. CAMPOS 1@141.6 - 2: CAL	97,81	4	LOS_F	6	126,93	99,58	4,50
79	281	0-400	17: NODO 17 - 10: CALLE D. CAMPOS 1@141.6 - 10: CA	97,81	16	LOS_F	6	95,19	78,39	3,94
80	281	0-400	17: NODO 17	99,84	52	LOS_E	5	71,99	51,41	3,79
81	281	0-400	18: NODO 18 - 2: CALLE BOLIVAR@241.0 - 2: CALLE BOL	59,46	18	LOS_A	1	6,70	2,97	0,72
82	281	0-400	18: NODO 18 - 2: CALLE BOLIVAR@241.0 - 22: CALLE SU	59,46	2	LOS_B	2	14,34	11,74	1,00
83	281	0-400	18: NODO 18 - 22: CALLE SUCRE@149.4 - 2: CALLE BOLI	13,94	2	LOS_A	1	9,33	6,91	0,50
84	281	0-400	18: NODO 18 - 22: CALLE SUCRE@149.4 - 22: CALLE SU	13,94	3	LOS_A	1	7,15	5,47	0,33
85	281	0-400	18: NODO 18	59,46	25	LOS_A	1	7,58	4,29	0,68
86	281	0-400	19: NODO 19 - 2: CALLE BOLIVAR@325.6 - 2: CALLE BOL	34,09	12	LOS_B	2	16,44	11,07	1,08
87	281	0-400	19: NODO 19 - 2: CALLE BOLIVAR@325.6 - 19: CALLE G.	34,09	4	LOS_B	2	12,86	5,79	1,00
88	281	0-400	19: NODO 19 - 11: CALLE G. TRIGO 1@144.2 - 2: CALLE	88,77	5	LOS_B	2	10,31	6,88	0,60
89	281	0-400	19: NODO 19 - 11: CALLE G. TRIGO 1@144.2 - 19: CALLE	88,77	23	LOS_C	3	34,89	19,44	2,83
90	281	0-400	19: NODO 19	88,77	44	LOS_C	3	25,06	14,49	1,93
91	281	0-400	20: NODO 20 - 2: CALLE BOLIVAR@412.3 - 2: CALLE BOL	37,42	5	LOS_A	1	5,24	1,93	0,60
92	281	0-400	20: NODO 20 - 2: CALLE BOLIVAR@412.3 - 13: CALLE CA	37,42	5	LOS_A	1	6,19	4,01	0,60
93	281	0-400	20: NODO 20 - 13: CALLE CAMPERO@329.1 - 2: CALLE B	32,91	11	LOS_C	3	24,74	18,34	1,09
94	281	0-400	20: NODO 20 - 13: CALLE CAMPERO@329.1 - 13: CALLE	32,91	13	LOS_B	2	14,78	9,17	0,92
95	281	0-400	20: NODO 20	37,42	34	LOS_B	2	15,34	10,31	0,88
96	281	0-400	21: NODO 21 - 9: CALLE COLON@417.9 - 9: CALLE COL	19,25	10	LOS_B	2	11,65	7,38	0,90
97	281	0-400	21: NODO 21 - 9: CALLE COLON@417.9 - 20: CALLE D. P	19,25	5	LOS_B	2	11,58	7,90	1,60
98	281	0-400	21: NODO 21 - 20: CALLE D. PAZ@413.5 - 9: CALLE COL	39,31	6	LOS_B	2	15,59	9,05	1,00
99	281	0-400	21: NODO 21 - 20: CALLE D. PAZ@413.5 - 20: CALLE D. P	39,31	16	LOS_B	2	12,83	7,80	1,19
10	281	0-400	21: NODO 21	39,31	37	LOS_B	2	12,79	7,90	1,14

Fuente: Elaboración propia

Figura 42: Resultados después de la optimización zona Centro N21 a N 25

Proyecto.inpx - PTV Vissim (64 bit) 11.00-02 Versión de estudiante

Archivo Edición Ver Listados Base Data Traffic Signal Control Simulación Evaluation Presentation Scripts Ayuda

Objetos de red

Canti	SimRun	TimeInt	Movement	QLen	Vehs(todos)	LOS(todos)	LOSVal(tod)	VehDelay(t)	StopDela	Paradas
10	281	0-400	21: NODO 21	39,31	37	LOS_B	2	12,79	7,90	1,14
10	281	0-400	22: NODO 22 - 10: CALLE D. CAMPOS 1@57.1 - 10: CAL	82,12	32	LOS_E	5	73,61	48,14	5,50
10	281	0-400	22: NODO 22 - 10: CALLE D. CAMPOS 1@57.1 - 20: CAL	82,12	10	LOS_E	5	77,39	49,75	5,70
10	281	0-400	22: NODO 22 - 20: CALLE D. PAZ@318.4 - 10: CALLE D.	31,90	2	LOS_C	3	33,12	23,05	3,00
10	281	0-400	22: NODO 22 - 20: CALLE D. PAZ@318.4 - 20: CALLE D. P	31,90	18	LOS_B	2	17,63	12,38	1,17
10	281	0-400	22: NODO 22	82,12	62	LOS_E	5	56,66	37,21	4,19
10	281	0-400	23: NODO 23 - 20: CALLE D. PAZ@232.3 - 20: CALLE D. P	89,80	21	LOS_C	3	20,29	13,69	0,95
10	281	0-400	23: NODO 23 - 20: CALLE D. PAZ@232.3 - 22: CALLE SU	89,80	3	LOS_E	5	65,67	52,05	2,00
10	281	0-400	23: NODO 23 - 22: CALLE SUCRE@232.6 - 20: CALLE D. P	12,64	2	LOS_A	1	0,88	0,00	0,00
10	281	0-400	23: NODO 23 - 22: CALLE SUCRE@232.6 - 22: CALLE SU	12,64	2	LOS_A	1	8,34	6,97	0,50
11	281	0-400	23: NODO 23	89,80	28	LOS_C	3	22,91	16,34	0,96
11	281	0-400	24: NODO 24 - 11: CALLE G. TRIGO 1@65.2 - 11: CALLE	83,00	27	LOS_F	6	84,81	51,75	6,48
11	281	0-400	24: NODO 24 - 11: CALLE G. TRIGO 1@65.2 - 20: CALLE	83,00	19	LOS_E	5	68,84	42,57	4,95
11	281	0-400	24: NODO 24 - 20: CALLE D. PAZ@150.1 - 11: CALLE G. T	97,75	14	LOS_E	5	74,74	47,38	4,79
11	281	0-400	24: NODO 24 - 20: CALLE D. PAZ@150.1 - 20: CALLE D. P	97,75	21	LOS_E	5	63,86	38,95	4,48
11	281	0-400	24: NODO 24	97,75	81	LOS_E	5	73,89	45,52	5,31
11	281	0-400	25: NODO 25 - 13: CALLE CAMPERO@405.7 - 13: CALLE	22,22	11	LOS_A	1	8,69	5,22	0,91
11	281	0-400	25: NODO 25 - 13: CALLE CAMPERO@405.7 - 20: CALLE	22,22	4	LOS_A	1	8,00	4,94	1,25
11	281	0-400	25: NODO 25 - 20: CALLE D. PAZ@59.7 - 13: CALLE CAM	75,74	0	LOS_A				
11	281	0-400	25: NODO 25 - 20: CALLE D. PAZ@59.7 - 20: CALLE D. P	75,74	44	LOS_D	4	43,37	23,82	3,82
12	281	0-400	25: NODO 25	75,74	59	LOS_C	3	34,51	19,07	3,10
12	281	0-400	27: NODO 6 - 5: CALLE MADRID 1@57.2 - 9: CALLE COL	79,47	10	LOS_F	6	81,71	49,06	5,40
12	281	0-400	27: NODO 6 - 5: CALLE MADRID 1@57.2 - 12: CALLE MA	79,47	24	LOS_F	6	113,36	75,04	8,17
12	281	0-400	27: NODO 6 - 9: CALLE COLON@154.4 - 9: CALLE COLO	97,72	20	LOS_E	5	78,19	58,98	3,20
12	281	0-400	27: NODO 6 - 9: CALLE COLON@154.4 - 12: CALLE MAD	97,72	2	LOS_A	1	7,07	4,36	0,50
12	281	0-400	27: NODO 6	97,72	56	LOS_F	6	91,35	62,14	5,62

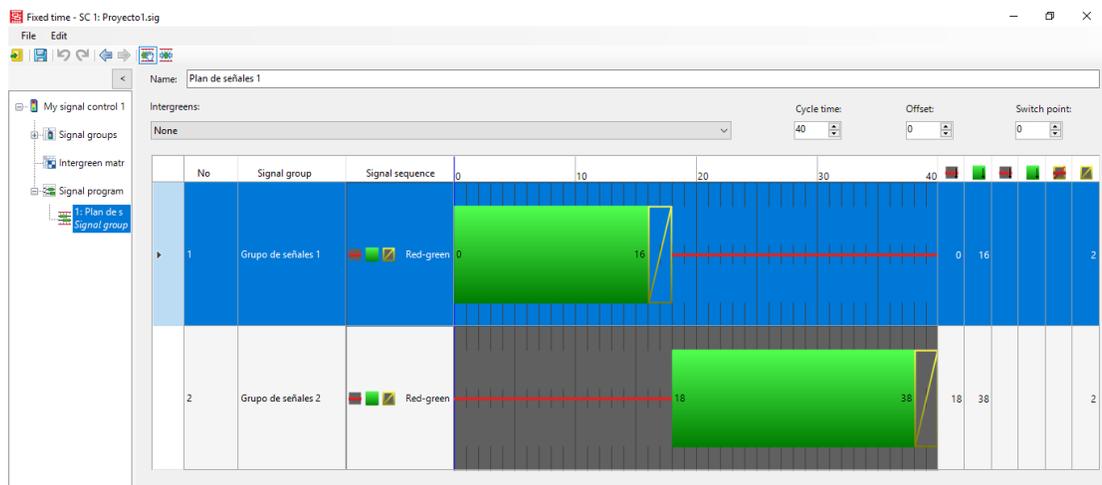
Fuente: Elaboración propia

En los siguientes subtítulos se mostraran los resultados por separado de cada parámetro a analizar para realizar una comparación de la situación actual con la situación optimizada y sus respectivas gráficas.

Con los nuevos ciclos semafóricos, se consigue aumentar el número de ciclos durante la hora pico, con el ciclo de 44 segundos se obtenía aproximadamente 82 ciclos, con la reducción del ciclo a 38 segundos se obtiene 95 ciclos lo cual indica un incremento 13 ciclos más en una hora.

ZONA VILLA FÁTIMA

Figura 43: Plan de señales zona V. Fátima antes de la optimización



Fuente: Elaboración propia

El ciclo de la situación actual es de 40 segundos, cuenta con dos grupos de señales en la simulación. Dichos ciclos nos muestran los siguientes resultados para la situación actual:

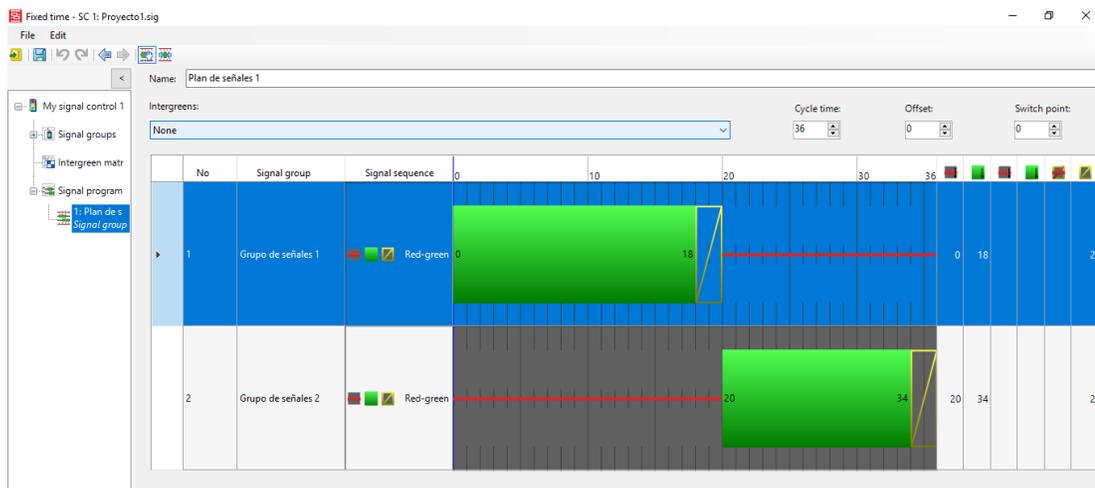
Figura 44: Resultados antes de la optimización zona V. Fátima

Cant	TimeInt	Movement	QLen	Vehs(todos)	LOS(todos)	LOSVal(todos)	VehDelay(todos)	StopDelay(todos)	Paradas(todos)
1	0-400	1: N1 - 1: LA PAZ SUR@324.4 - 1: LA PAZ SUR@382.2	51,60	16	LOS_A	1	9,05	5,90	0,69
2	0-400	1: N1 - 1: LA PAZ SUR@324.4 - 4: BELGRANO ESTE 2@22.2	51,60	4	LOS_B	2	14,37	8,74	2,75
3	0-400	1: N1 - 2: LA PAZ NORTE@115.2 - 2: LA PAZ NORTE@172.9	23,15	35	LOS_C	3	31,65	14,02	3,03
4	0-400	1: N1 - 2: LA PAZ NORTE@115.2 - 4: BELGRANO ESTE 2@22.2	23,15	8	LOS_C	3	20,30	10,12	1,63
5	0-400	1: N1 - 3: BELGRANO ESTE@96.3 - 1: LA PAZ SUR@382.2	47,07	13	LOS_E	5	57,12	34,60	3,92
6	0-400	1: N1 - 3: BELGRANO ESTE@96.3 - 2: LA PAZ NORTE@172.9	47,07	13	LOS_D	4	47,91	36,66	2,31
7	0-400	1: N1 - 3: BELGRANO ESTE@96.3 - 4: BELGRANO ESTE 2@22.2	47,07	33	LOS_E	5	65,87	43,99	4,15
8	0-400	1: N1 - 5: BELGRANO OESTE @101.7 - 1: LA PAZ SUR@382.2	16,46	4	LOS_D	4	44,64	40,60	3,00
9	0-400	1: N1 - 5: BELGRANO OESTE @101.7 - 2: LA PAZ NORTE@172.9	16,46	23	LOS_C	3	24,11	17,74	1,78
10	0-400	1: N1	34,57	149	LOS_D	4	38,55	24,49	2,77
11	0-400	2: N2 - 1: LA PAZ SUR@227.5 - 1: LA PAZ SUR@275.3	53,12	27	LOS_A	1	3,78	0,94	0,41
12	0-400	2: N2 - 1: LA PAZ SUR@227.5 - 6: LA MADRID@24.6	66,76	9	LOS_A	1	4,76	0,10	0,11
13	0-400	2: N2 - 2: LA PAZ NORTE@221.9 - 2: LA PAZ NORTE@269.9	7,40	48	LOS_A	1	9,57	2,10	0,42
14	0-400	2: N2 - 2: LA PAZ NORTE@221.9 - 6: LA MADRID@24.6	22,42	19	LOS_B	2	13,07	4,30	0,95
15	0-400	2: N2	37,43	103	LOS_A	1	8,28	2,03	0,49
16	0-400	3: N3 - 1: LA PAZ SUR@146.4 - 1: LA PAZ SUR@200.7	43,66	35	LOS_A	1	4,59	1,22	0,49
17	0-400	3: N3 - 1: LA PAZ SUR@146.4 - 7: INGAVI@187.1	53,51	4	LOS_B	2	13,67	9,20	1,25
18	0-400	3: N3 - 2: LA PAZ NORTE@296.6 - 2: LA PAZ NORTE@350.9	11,97	27	LOS_A	1	7,07	1,24	0,63
19	0-400	3: N3 - 2: LA PAZ NORTE@296.6 - 7: INGAVI@187.1	23,99	11	LOS_A	1	7,38	0,66	0,55
20	0-400	3: N3 - 7: INGAVI@127.7 - 1: LA PAZ SUR@200.7	21,30	7	LOS_D	4	29,88	18,66	2,71
21	0-400	3: N3 - 7: INGAVI@127.7 - 2: LA PAZ NORTE@350.9	20,71	4	LOS_F	6	53,19	45,03	2,50
22	0-400	3: N3 - 7: INGAVI@127.7 - 7: INGAVI@187.1	23,32	10	LOS_D	4	34,28	28,89	2,90
23	0-400	3: N3	28,35	98	LOS_B	2	12,78	7,34	1,05
24	0-400	4: N4 - 1: LA PAZ SUR@66.8 - 1: LA PAZ SUR@115.4	29,42	37	LOS_D	4	39,70	19,72	4,11
25	0-400	4: N4 - 1: LA PAZ SUR@66.8 - 8: BOLIVAR@161.4	29,42	7	LOS_D	4	50,04	27,49	6,00
26	0-400	4: N4 - 2: LA PAZ NORTE@382.0 - 2: LA PAZ NORTE@430.5	63,95	7	LOS_B	2	19,71	14,96	1,14
27	0-400	4: N4 - 2: LA PAZ NORTE@382.0 - 8: BOLIVAR@161.4	63,95	8	LOS_C	3	28,58	19,80	4,50
28	0-400	4: N4 - 8: BOLIVAR@110.5 - 1: LA PAZ SUR@115.4	9,62	0	LOS_B	2	16,23	8,51	1,11

Fuente: Elaboración propia

El nuevo ciclo semafórico para optimizar la situación actual de tráfico es de 36 segundos, teniendo una reducción de 4 segundos como se muestra a continuación:

Figura 45: Plan de señales después de la optimización zona V. Fátima



Fuente: Elaboración propia

Tabla 35: Ciclo semafórico optimizado (V. Fátima)

Zona	Face	Verde	Ámbar	Rojo	Ciclo
V. Fátima	1	18	2	16	36
	2	14	2	20	36

Av. La Paz



Av. Belgrano



Fuente: Elaboración propia

Para este nuevo ciclo se muestran los siguientes resultados:

Figura 46: Resultados después de la optimización zona V. Fátima

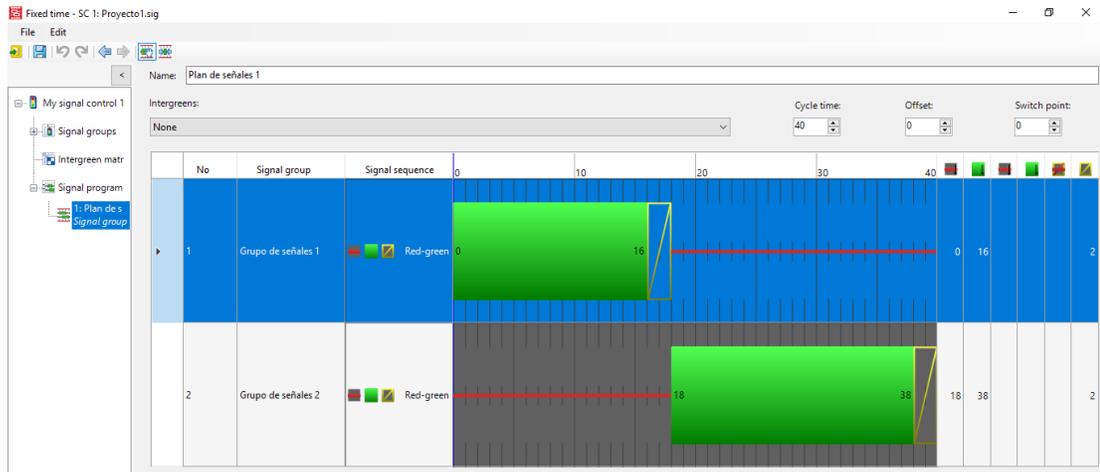
Canti	SimRun	TimeInt	Movement	QLen	Vehs(todos)	LOS(todos)	LOSVal(todos)	VehDelay(todos)	StopDelay(todos)	Paradas(todos)
1	237	0-400	1: N1 - 1: LA PAZ SUR@325.6 - 1: LA PAZ SUR@383.3	27,27	16	LOS_A	1	9,72	6,39	0,94
2	237	0-400	1: N1 - 1: LA PAZ SUR@325.6 - 4: BELGRANO ESTE 2@19.8	27,27	4	LOS_B	2	10,08	6,04	0,50
3	237	0-400	1: N1 - 2: LA PAZ NORTE@114.1 - 2: LA PAZ NORTE@171.6	43,92	30	LOS_F	6	84,97	41,84	6,47
4	237	0-400	1: N1 - 2: LA PAZ NORTE@114.1 - 4: BELGRANO ESTE 2@19.8	43,92	5	LOS_F	6	93,24	46,87	6,00
5	237	0-400	1: N1 - 3: BELGRANO ESTE@93.9 - 1: LA PAZ SUR@383.3	33,07	13	LOS_D	4	37,63	20,30	3,62
6	237	0-400	1: N1 - 3: BELGRANO ESTE@93.9 - 2: LA PAZ NORTE@171.6	33,07	13	LOS_B	2	18,95	9,67	1,77
7	237	0-400	1: N1 - 3: BELGRANO ESTE@93.9 - 2: LA PAZ NORTE@171.6	33,07	40	LOS_C	3	32,93	16,34	2,77
8	237	0-400	1: N1 - 5: BELGRANO OESTE@104.2 - 1: LA PAZ SUR@383.3	12,44	6	LOS_D	4	48,97	41,18	4,17
9	237	0-400	1: N1 - 5: BELGRANO OESTE@104.2 - 2: LA PAZ NORTE@171.6	12,44	26	LOS_B	2	19,66	14,09	1,27
10	237	0-400	1: N1	29,18	153	LOS_D	4	39,66	21,39	3,14
11	237	0-400	2: N2 - 1: LA PAZ SUR@227.5 - 1: LA PAZ SUR@275.3	55,14	22	LOS_A	1	2,92	0,38	0,27
12	237	0-400	2: N2 - 1: LA PAZ SUR@227.5 - 6: LA MADRID@24.6	23,32	8	LOS_A	1	5,26	1,06	0,38
13	237	0-400	2: N2 - 2: LA PAZ NORTE@221.9 - 2: LA PAZ NORTE@269.9	9,41	43	LOS_B	2	13,81	2,96	1,26
14	237	0-400	2: N2 - 2: LA PAZ NORTE@221.9 - 6: LA MADRID@24.6	22,15	18	LOS_C	3	16,96	5,09	1,44
15	237	0-400	2: N2	27,51	91	LOS_B	2	11,05	2,59	0,98
16	237	0-400	3: N3 - 1: LA PAZ SUR@146.4 - 1: LA PAZ SUR@200.7	7,26	33	LOS_A	1	2,87	0,32	0,48
17	237	0-400	3: N3 - 1: LA PAZ SUR@146.4 - 7: INGAVI@187.1	9,31	3	LOS_A	1	5,80	0,44	0,33
18	237	0-400	3: N3 - 2: LA PAZ NORTE@296.6 - 2: LA PAZ NORTE@350.9	1,16	24	LOS_A	1	7,21	1,32	0,75
19	237	0-400	3: N3 - 2: LA PAZ NORTE@296.6 - 7: INGAVI@187.1	10,42	10	LOS_A	1	8,25	2,09	0,80
20	237	0-400	3: N3 - 7: INGAVI@127.7 - 1: LA PAZ SUR@200.7	25,69	4	LOS_F	6	64,12	52,08	3,50
21	237	0-400	3: N3 - 7: INGAVI@127.7 - 2: LA PAZ NORTE@350.9	25,32	2	LOS_D	4	32,99	29,80	1,50
22	237	0-400	3: N3 - 7: INGAVI@127.7 - 7: INGAVI@187.1	27,43	10	LOS_D	4	31,29	26,77	2,00
23	237	0-400	3: N3	15,23	86	LOS_B	2	11,66	6,98	0,93
24	237	0-400	4: N4 - 1: LA PAZ SUR@64.1 - 1: LA PAZ SUR@112.6	39,61	33	LOS_E	5	59,01	35,50	4,82
25	237	0-400	4: N4 - 1: LA PAZ SUR@64.1 - 8: BOLIVAR@162.9	39,61	7	LOS_E	5	55,44	32,69	4,14
26	237	0-400	4: N4 - 2: LA PAZ NORTE@384.7 - 2: LA PAZ NORTE@433.2	38,41	5	LOS_C	3	25,89	19,92	2,40
27	237	0-400	4: N4 - 2: LA PAZ NORTE@384.7 - 8: BOLIVAR@162.9	38,41	6	LOS_D	4	42,08	32,99	3,17
28	237	0-400	4: N4 - 8: BOLIVAR@111.8 - 1: LA PAZ SUR@112.6	8,60	0	LOS_A	1	8,56	3,17	1,56

Fuente: Elaboración propia

Con el nuevo ciclo semafórico se incrementa el número de ciclos en la hora pico, de 90 ciclos a 100 ciclos.

ZONA ROTONDA

Figura 47: Plan de señales antes de la optimización zona Rotonda



Fuente: Elaboración propia

Los ciclos actuales en esta zona muestran los siguientes resultados de simulación:

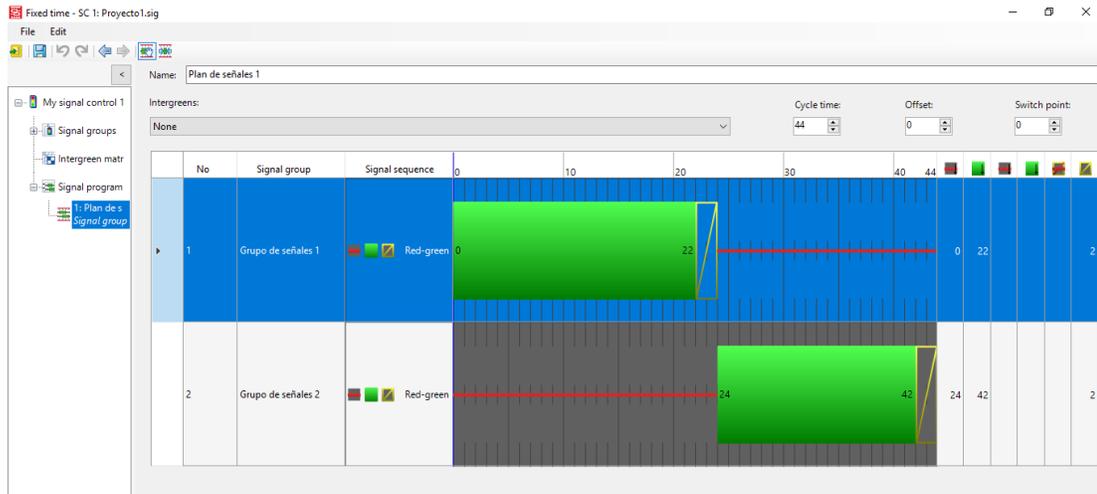
Figura 48: Resultados antes de la optimización zona Rotonda

Canti	SimRun	TimeInt	Movement	QLen	Vehs(todos)	LOS(todos)	LOSVal(todos)	VehDelay(todos)	StopDelay(todos)	Paradas(todos)
1	216	0-400	1 - 4: PANAMERICANA NORTE@79.6 - 1: PANAMERICANA NORTE@11.4	76,85	32	LOS_F	6	118,69	70,96	8,50
2	216	0-400	1 - 4: PANAMERICANA NORTE@79.6 - 2: PANAMERICANA SUR@4.9	76,85	8	LOS_F	6	168,94	105,22	13,13
3	216	0-400	1 - 4: PANAMERICANA NORTE@79.6 - 7: CALLE COCHABAMBA SUR@13.5	76,85	6	LOS_F	6	138,16	80,23	10,50
4	216	0-400	1 - 5: PANAMERICANA SUR@85.5 - 1: PANAMERICANA NORTE@11.4	87,15	0	LOS_A				
5	216	0-400	1 - 5: PANAMERICANA SUR@85.5 - 2: PANAMERICANA SUR@4.9	87,15	22	LOS_F	6	136,97	86,86	7,59
6	216	0-400	1 - 5: PANAMERICANA SUR@85.5 - 7: CALLE COCHABAMBA SUR@13.5	87,15	12	LOS_F	6	133,71	90,37	8,67
7	216	0-400	1 - 6: CALLE COCHABAMBA NORTE@86.4 - 1: PANAMERICANA NORTE@11.4	103,00	22	LOS_F	6	82,16	33,61	7,18
8	216	0-400	1 - 6: CALLE COCHABAMBA NORTE@86.4 - 2: PANAMERICANA SUR@4.9	103,00	0	LOS_A				
9	216	0-400	1 - 6: CALLE COCHABAMBA NORTE@86.4 - 7: CALLE COCHABAMBA SUR@13.5	103,00	0	LOS_A				
10	216	0-400	1	89,00	102	LOS_F	6	121,61	71,85	8,52

Fuente: Elaboración propia

Luego del proceso de Optimización se consiguió obtener estos nuevos ciclos semafóricos:

Figura 49: Plan de señales después de la optimización zona Rotonda



Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver se obtuvo un incremento de 4 segundos, de un ciclo de 40 segundos paso a un ciclo de 44 segundos.

Tabla 36: Ciclo semafórico optimizado (Rotonda)

Zona	Face	Verde	Ámbar	Rojo	Ciclo
Rotonda	1	20	2	22	44
	2	24	2	18	44

Av. Panamericana Norte



Av. Panamericana Sur



Fuente: Elaboración propia

Con estos nuevos ciclos obtenidos se tiene los siguientes los siguientes resultados:

Figura 50: Resultados después de la optimización zona Rotonda

Canti	SimRun	TimeInt	Movement	QLen	Vehs(todos)	LOS(todos)	LOSVal(todos)	VehDelay(todos)	StopDelay(todos)	Paradas(todos)
1	226	0-400	1 - 4: PANAMERICANA NORTE@78.7 - 1: PANAMERICANA NORTE@10.1	76.64	19	LOS_E	5	68.39	44.42	5.05
2	226	0-400	1 - 4: PANAMERICANA NORTE@78.7 - 2: PANAMERICANA SUR@5.9	76.64	6	LOS_F	6	120.37	68.44	10.83
3	226	0-400	1 - 4: PANAMERICANA NORTE@78.7 - 7: CALLE COCHABAMBA SUR@12.7	76.64	1	LOS_D	4	48.83	32.63	5.00
4	226	0-400	1 - 5: PANAMERICANA SUR@84.7 - 1: PANAMERICANA NORTE@10.1	81.45	2	LOS_F	6	113.86	83.90	5.50
5	226	0-400	1 - 5: PANAMERICANA SUR@84.7 - 2: PANAMERICANA SUR@5.9	81.45	8	LOS_F	6	94.76	56.99	4.88
6	226	0-400	1 - 5: PANAMERICANA SUR@84.7 - 7: CALLE COCHABAMBA SUR@12.7	81.45	2	LOS_C	3	21.70	15.57	3.50
7	226	0-400	1 - 6: CALLE COCHABAMBA NORTE@87.2 - 1: PANAMERICANA NORTE@10.1	94.85	20	LOS_D	4	51.44	15.59	4.85
8	226	0-400	1 - 6: CALLE COCHABAMBA NORTE@87.2 - 2: PANAMERICANA SUR@5.9	94.85	0	LOS_A				
9	226	0-400	1 - 6: CALLE COCHABAMBA NORTE@87.2 - 7: CALLE COCHABAMBA SUR	94.85	0	LOS_A				
10	226	0-400	1	84.32	58	LOS_E	5	71.18	38.86	5.52

Fuente: Elaboración propia

En este caso el proceso de optimización nos arroja un nuevo ciclo semafórico que es 4 segundos más que el ciclo actual, dando preferencia de fase verde a la Avenida Panamericana dirigida hacia el Sur, lo cual es conveniente ya que hacia esa dirección se encuentra la ruta de la gran parte de buses y micros públicos que realizan un giro sobre la rotonda para dirigirse hacia la calle Cochabamba. Lo cual no reduce las longitudes de cola pero si mejora el nivel de servicio de la Rotonda ya que el tiempo de demora se logra reducir.

De 90 ciclos en una hora se reduce a 82 ciclos con el nuevo ciclo semafórico de 44 segundos.

4.3. Longitud de cola

Para las mediciones de las longitudes colas se tuvo en cuenta las fases de los semáforos. Se midieron estos parámetros en cada uno de las intersecciones de las 3 zonas de estudio y se tomaron los valores promedios en cada uno de ellos. A continuación se muestran los resultados obtenidos de la situación actual con los ciclos semafóricos actuales y la situación optimizada con los ciclos semafóricos cambiados para cada una de las zonas:

ZONA CENTRO

Tabla 37: Comparación de longitud de cola (Centro)

Nodo	Avenida	Longitud de cola (m)	
		Antes de la optimización	Después de la optimización
1	15 de Abril	45.54	24.40
	Colon	88.36	88.36
2	15 de Abril	22.43	21.69
	D. Campos	35.13	21.80
3	15 de Abril	87.65	35.18
	Sucre	84.70	84.7
4	15 de Abril	59.73	97.76
	G. Trigo	46.73	35.86
5	15 de Abril	89.04	89.04
	Campero	83.55	86.68
6	La Madrid	79.49	79.47
	Colon	91.09	97.72
7	La Madrid	46.64	32.59
	D. Campos	27.56	27.14
8	La Madrid	32.75	30.85
	Sucre	90.24	30.93
9	La Madrid	35.39	40.45
	G. Trigo	26.63	37.61
10	La Madrid	38.52	25.70
	Campero	74.08	75.46
11	Ingavi	32.34	88.22
	Colon	37.53	62.47
12	Ingavi	49.79	91.82
	D. Campos	47.90	37.92
13	Ingavi	92.24	91.4
	Sucre	22.31	25.58
14	Ingavi	98.95	98.81
	G. Trigo	25.33	42.23
15	Ingavi	78.75	78.75
	Campero	46.40	37.67

16	Bolivar	80.14	80.14
	Colon	20.41	18.74
17	Bolivar	99.85	99.84
	D. Campos	97.80	97.81
18	Bolivar	29.25	59.46
	Sucre	13.87	13.94
19	Bolivar	20.81	34.09
	G. Trigo	91.80	88.77
20	Bolivar	29.66	37.42
	Campero	33.86	32.91
21	D. Paz	34.77	39.31
	Colon	17.86	19.25
22	D. Paz	54.84	31.9
	D. Campos	82.17	82.12
23	D. Paz	45.62	89.8
	Sucre	12.91	31.9
24	D. Paz	97.75	97.75
	G. Trigo	82.96	83
25	D. Paz	75.74	75.74
	Campero	18.64	22.22

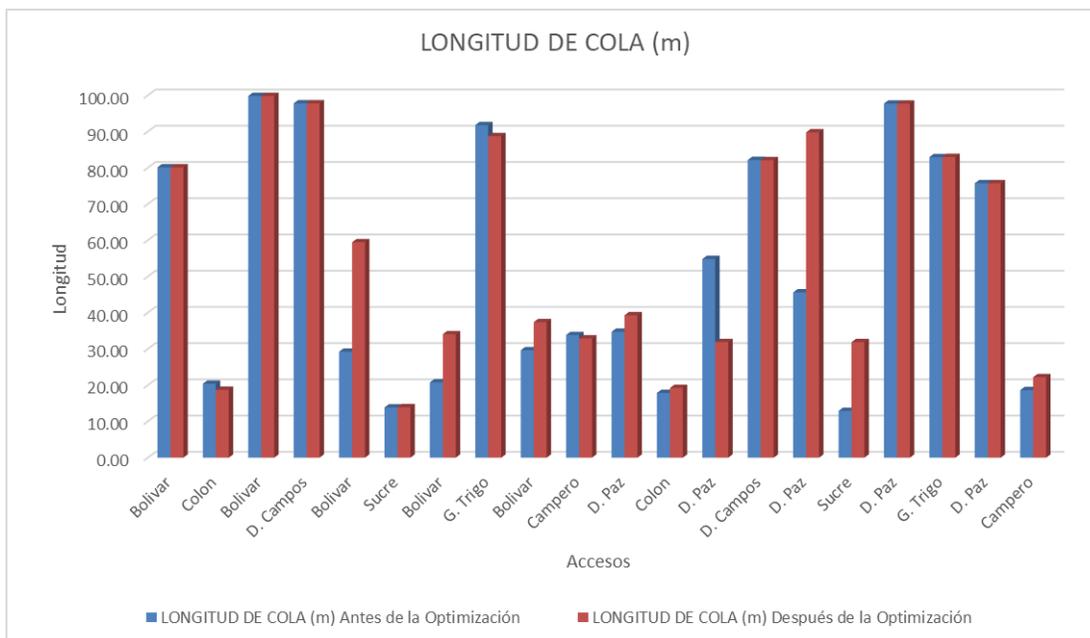
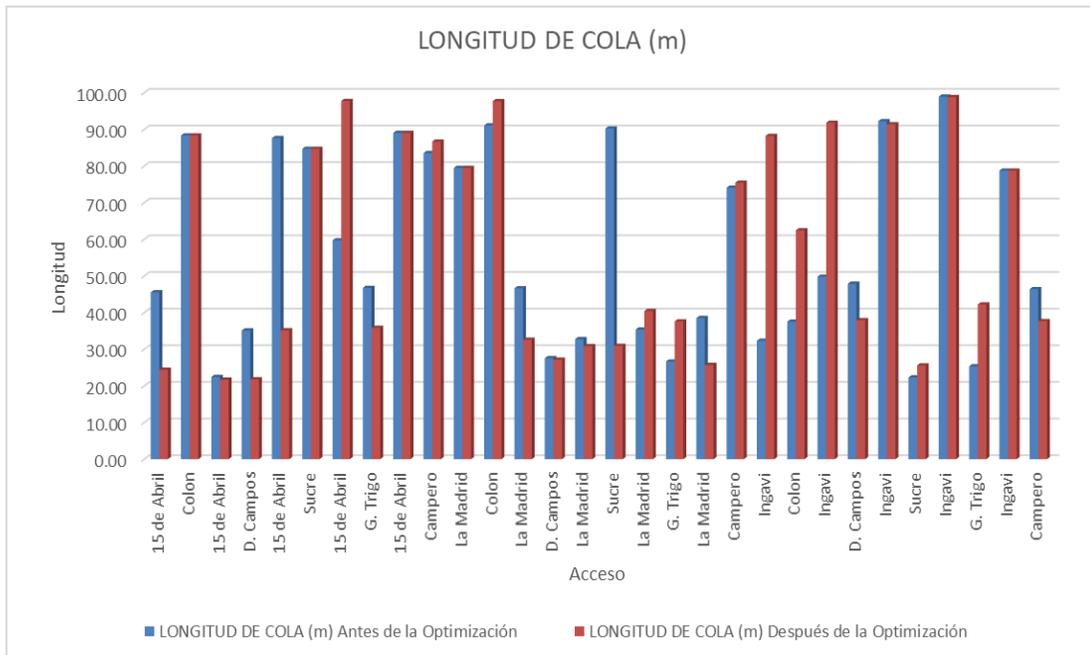
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar de los resultados obtenidos que comparando las longitudes de cola simulada para la situación actual y para la situación optimizada hay una reducción de longitud de cola en 15 intersecciones, en las demás intersecciones estas se mantienen y en otras incrementa su valor, como analizamos en el capítulo anterior las longitudes de cola para esta zona no se ajustaba a la realidad es por eso que se optó por tomar en cuenta otro parámetro como es el del tiempo de recorrido para un tramo.

Se puede decir que para una red de este tamaño, las longitudes de cola pueden observarse solo en las entradas vehiculares de cada acceso, no llegando a mostrar los resultados reales que esperábamos obtener.

En la siguiente grafica se muestra las longitudes de cola antes y después de la optimización:

Figura 51: Longitud de cola zona centro



Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos de longitud de cola para la situación actual si bien no reflejan la situación real en comparación con los datos de campo, nos muestra que en diferentes intersecciones si se ajusta bastante bien, en las cuales las colas llegan a superar la longitud de la cuadra, teniendo colas hasta de más de 90 metros equivalente a unos 28 vehículos. Como se aprecia en la imagen las intersecciones con mayor longitud de cola son las que se encuentran en la entrada de los vehículos a la red.

Modificando los tiempos de los semáforos llegamos a reducir en ciertas intersecciones las longitudes de cola.

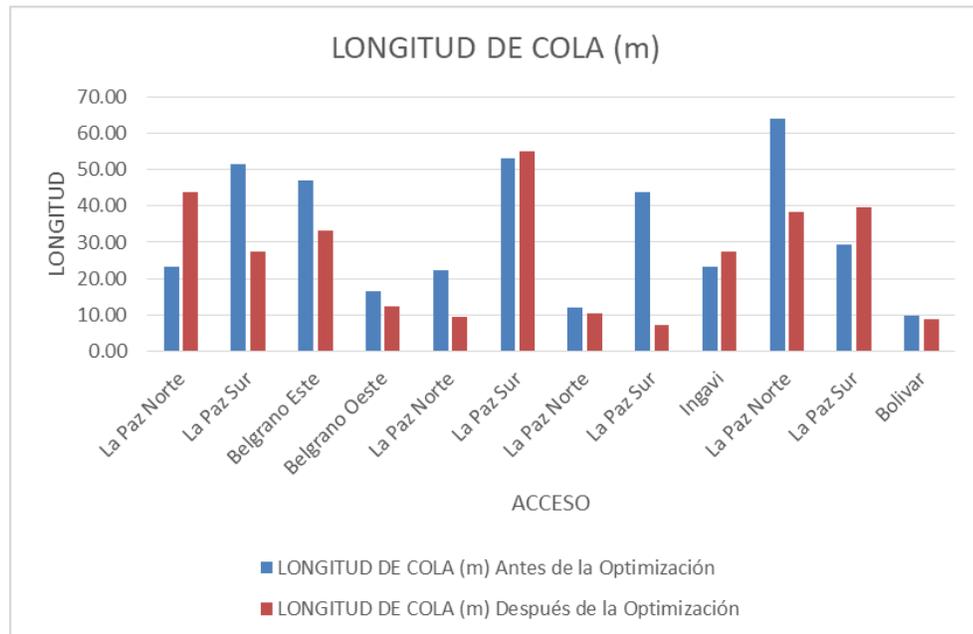
ZONA VILLA FÁTIMA

Tabla 38: Comparación de longitud de cola (V. Fátima)

Nodo	Avenida	Longitud de cola (m)	
		Antes de la optimización	Después de la optimización
1	La Paz Norte	23.15	43.92
	La Paz Sur	51.60	27.27
	Belgrano Este	47.07	33.07
	Belgrano Oeste	16.46	12.33
2	La Paz Norte	22.42	9.41
	La Paz Sur	53.12	55.14
3	La Paz Norte	11.97	10.42
	La Paz Sur	43.66	7.26
	Ingavi	23.32	27.43
4	La Paz Norte	63.95	38.41
	La Paz Sur	29.42	39.61
	Bolívar	9.62	8.69

Fuente: Elaboración propia

Figura 52: Longitud de cola zona V. Fátima



Fuente: Elaboración propia

En esta zona las longitudes de cola simulada para la situación actual se ajustan mejor a los datos obtenidos en campo, como se pudo observar en la parte de la calibración. La intersección con mayor longitud de cola es la que se encuentra en la Avenida La Paz con la Avenida Belgrano y Bolívar llegando a longitudes de más de 60m. En cuanto a la optimización de los ciclos en esta zona, se nota una disminución notable de la longitud de cola en la mayoría de las intersecciones a excepción de las intersecciones más saturadas, mencionadas.

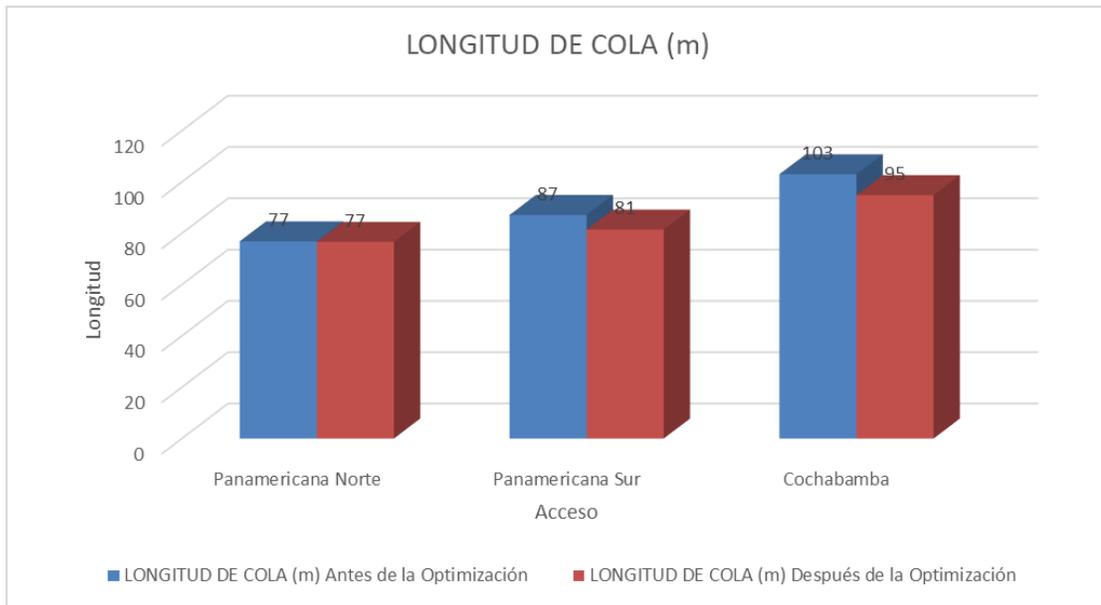
ZONA ROTONDA

Tabla 39: Comparación de longitud de cola (Rotonda)

Avenida	Longitud de cola (m)	
	Antes de la optimización	Después de la optimización
Panamericana Norte	76.85	76.6
Panamericana Sur	87.15	81.5
Cochabamba	103.00	94.9

Fuente: Elaboración Propia

Figura 53: Longitud de cola zona Rotonda



Fuente: Elaboración propia

En esta zona en el proceso de calibración las longitudes de cola se ajustaron bastante bien, la simulación reflejó la situación actual. Con los nuevos ciclos obtenidos del proceso de optimización se puede disminuir en un pequeño porcentaje las longitudes de cola, aproximadamente 10 metros es lo máximo que pudo reducirse en el acceso de la Avenida Panamericana hacia el norte, lo cual equivale a unos 3 vehículos, lo cual no parece de mucha ayuda para reducir el problema de congestión vehicular.

4.4. Tiempos de recorrido

Se utiliza este parámetro de eficiencia, pues es uno de los más utilizados, debido a su relevancia para el funcionamiento de la intersección, pues aquí se considera el tiempo perdido en un viaje que un vehículo realiza de un punto a otro debido a la concentración del tráfico con el fin de poder obtener el funcionamiento de la red vial. En las tres zonas se eligió un tramo para realizar la medición del tiempo de recorrido durante la hora pico, los cuales pudieron reflejarse en la simulación realizada. Este parámetro es el que más se ajusta a la realidad en las tres zonas. A continuación se muestra la comparación de los resultados de campo y simulación, así como la mejoría de dichos tiempos con la optimización realizada.

ZONA CENTRO

Figura 54: Tiempos de recorrido antes y después de optimización zona centro

Canti	SimRun	TimeInt	VehicleTravelTimeMeasurement	Vehs(todos)	TravTm(todos)
1	277	0-3600	5: TIEMPO DE RECORRIDO SUCRE	2	404,49

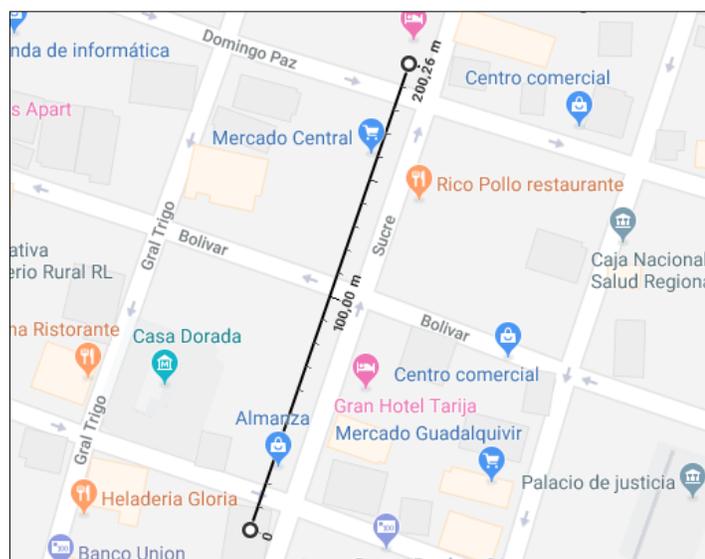
Canti	SimRun	TimeInt	VehicleTravelTimeMeasurement	Vehs(todos)	TravTm(todos)
1	281	0-3600	5: TIEMPO DE RECORRIDO SUCRE	5	213,38

Tabla 40: Comparación de tiempo de recorrido (Centro)

Acceso	Dato campo	Microsimulación	
		Antes de la Optimización	Después de la Optimización
Calle Sucre 200m	412.45 s (6'52")	404.49 s (6'44")	213.38 s (3'33")

Fuente: Elaboración propia

Figura 55: Ubicación del tramo para el tiempo de recorrido zona Centro



Fuente: Elaboración propia

Como puede verse los valores antes de la optimización (situación actual) y los de campo son prácticamente iguales teniendo un margen de error del 1.9% de la comparación de ambos resultados, lo que indica que la microsimulación se asemeja bastante a la realidad. Sin embargo el modelo aun así presenta esa pequeña diferencia con la realidad, producto de causas que no pueden modelarse tal cual en una simulación, como lo son principalmente obstrucciones en la vialidad por comportamientos agresivos al manejar de los conductores.

Comparando los resultados obtenido antes de la optimización y después puede verse una reducción en los tiempos de recorrido de 6'52" a 3'33", mejorando en un 47.2%.

Estos resultados comprueban que por el simple hecho de cambiar el ciclo de los tiempos semafóricos se logra mejorar las condiciones del flujo vehicular.

ZONA VILLA FÁTIMA

Figura 56: Tiempos de recorrido antes y después de optimización zona V. Fátima

Canti	SimRun	TimeInt	VehicleTravelTimeMeasurement	Vehs(todos)	TravTm(todos)
1	237	0-3600	1: Tiempo de Recorrido LA PAZ	5	320,08
1	232	0-3600	1: Tiempo de Recorrido LA PAZ	12	268,91

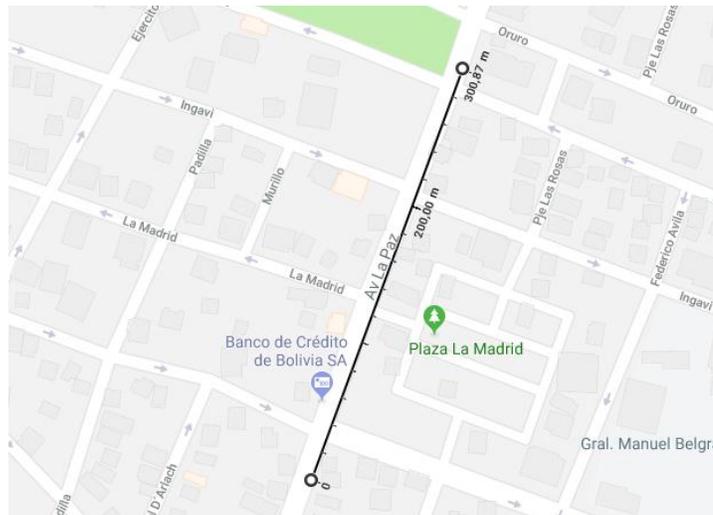
Fuente: Elaboración propia

Tabla 41: Comparación de tiempo de recorrido (V. Fátima)

Acceso	Dato campo	Microsimulación	
		Antes de la Optimización	Después de la Optimización
Av. La Paz 300m	331.62 s (5'31")	320.08 s (5'20")	268.91 s (4'28")

Fuente: Elaboración propia

Figura 57: Ubicación del tramo para el tiempo de recorrido zona V. Fátima



Fuente: Elaboración propia

El tramo analizado en esta zona muestra un tiempo de recorrido en campo igual a 331.62 segundos el cual comparando con la simulación realizada que se obtuvo 320.08 segundo puede decirse que aproxima a la realidad, mostrando un error de 3.48%. En cuanto a la optimización se muestra una disminución en el tiempo de recorrido a 268.91 segundos, mejorando 15.98%.

ZONA ROTONDA

Figura 58: Tiempos de recorrido antes y después de optimización zona Rotonda

Proyecto.inpx - PTV Vissim (64 bit) 11.00-02 Versión de estudiante

Archivo Edición Ver Listados Base Data Traffic Signal Control Simulación Evaluation Presentation Scripts Ayuda

Objetos de red Vehicle Travel Time Results

Canti	SimRun	TimeInt	VehicleTravelTimeMeasurement	Vehs(todos)	TravTm(todos)	DistTrav(todos)
1	216	0-3600	1: RECORRIDO P. NORTE	77	112,91	50,00

Proyecto.inpx - PTV Vissim (64 bit) 11.00-02 Versión de estudiante

Archivo Edición Ver Listados Base Data Traffic Signal Control Simulación Evaluation Presentation Scripts Ayuda

Objetos de red Vehicle Travel Time Results

Canti	SimRun	TimeInt	VehicleTravelTimeMeasurement	Vehs(todos)	TravTm(todos)	DistTrav(todos)
1	226	0-3600	1: RECORRIDO P. NORTE	36	63,59	50,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42: Comparación de tiempo de recorrido (Rotonda)

Acceso	Dato campo	Microsimulación	
		Antes de la Optimización	Despues de la Optimización
Av. Panamericana 50m	113.15 s (1'53")	112.91 s (1'52")	63.59 s (1'09")

Fuente: Elaboración propia

Figura 59: Ubicación del tramo para el tiempo de recorrido zona Rotonda



Fuente: Elaboración propia

En esta zona el margen de error que se tiene entre el resultados del tiempo de recorrido en campo 113.15 segundos y el simulado para la situación actual 112.91 segundos, es del 0.21% lo que nos indica casi una similitud muy cercana entre ambos resultados, lo simulado refleja la realidad del tráfico vehicular. En cuanto a la optimización se tiene una mejora del 43.6%.

4.5. Tiempos de demora en las intersecciones

El cálculo de este parámetro fue de mucha importancia ya que mediante este tiempo se pudo determinar el Nivel de servicio en cada intersección de cada zona analizada. Dicho Nivel de Servicio se define en términos de demora promedio por vehículo en cada carril de cada intersección. La demora no es una medida simple: varía con la calidad de la progresión de señales, ciclo, tiempo verde, relación v/c. Demoras excesivas no necesariamente significan deficiencias de capacidad (y viceversa).

Recordar que todos los cálculos y procedimientos para la obtención de los resultados son en base al HCM 2000.

Tabla 43: Niveles de servicio para una intersección por demora

Nivel de Servicio	Demora Promedio (segundos)	Nivel de Servicio	Demora Promedio (segundos)
A	<10	A	<10
B	10.1 - 15	B	10.1 - 20
C	15.1 - 25	C	20.10 - 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 semáforo		Niveles de servicio para una intersección con semáforo	

Fuente: HCM 2000

A continuación se muestra los resultados tabulados de los tiempos de demora para cada intersección de cada zona, antes y después de la optimización:

ZONA CENTRO

Tabla 44: Resultados de tiempos de demora antes de optimización (Centro)

NODO	ACCESO	Enlace		N° total de paradas de vehiculos	N° de vehiculos en demora	Promedio demora por vehiculo (s)
		de	hacia			
1	15 DE ABRIL	15:15A2	9:CO	11	0	0
		15:15A2	15:15A3	54	5	19.07
		total		65	5	19.07
	COLON	9:CO	9:CO	233	21	103.12
		9:CO	15:15A3	26	5	66.14
		total		259	26	169.26
2	15 DE ABRIL	15:15A2	15:15A2	19	6	9.2
		15:15A2	18:DC	7	1	9.28
		total		26	7	18.48
	D. CAMPOS	18:DC	15:15A2	6	4	7.84
		18:DC	18:DC	11	6	16.77
		total		17	10	24.61
3	15 DE ABRIL	4:15A1	15:15A2	57	9	26.92
		4:15A1	21SUC	40	6	23.14
		total		97	15	50.06
	SUCRE	7:SUC	15:15A2	40	2	107.14
		7:SUC	21SUC	204	30	68.35
		total		244	32	175.49
4	15 DE ABRIL	4:15A1	4:15A1	124	30	61.66
		4:15A1	23:GT	9	3	36.73
		total		133	33	98.39
	G. TRIGO	23:GT	4:15A1	13	4	20.33
		23:GT	23:GT	36	10	7.22
		total		49	14	27.55
5	15 DE ABRIL	4:15A1	4:15A1	230	36	59.7
		4:15A1	13:CAM	61	10	37.75
		total		291	46	97.45
	CAMPERO	13:CAM	4:15A1	26	3	88.97
		13:CAM	13:CAM	36	52	64.53
		total		62	55	153.5
6	MADRID	5:MAD	9:CO	108	11	93.9
		5:MAD	12:MAD	368	26	109.81
		total		476	37	203.71
	COLON	9:CO	9:CO	60	9	12.23
		9:CO	12:MAD	0	2	2.25
		total		60	11	14.48

7	MADRID	12:MAD	12:MAD	31	25	15.73
		12:MAD	18:DC	5	3	9.67
		total		36	28	25.4
	D. CAMPOS	18:DC	12:MAD	2	2	8.74
		18:DC	18:DC	23	9	6.94
total		25	11	15.68		
8	MADRID	12:MAD	14:MA2	56	18	18.47
		12:MAD	22:SU	33	2	38.85
		total		89	20	57.32
	SUCRE	21:SUC	14:MA2	34	13	14.2
		21:SUC	22:SU	147	10	57.49
total		181	23	71.69		
9	MADRID	14:MA2	17:MA3	24	20	11.46
		14:MA2	23:GT	19	7	9.54
		total		43	27	21
	G. TRIGO	19:GT	17:MA3	0	0	0
		19:GT	23:GT	29	14	13.62
total		29	14	13.62		
10	MADRID	13:CAM	6:MAU	21	11	10.89
		13:CAM	13:CAM	124	1	1.11
		total		145	53	12.00
	CAMPERO	17:MA3	6:MAU	41	12	26.42
		17:MA3	13:CAM	16	41	33.91
total		57	12	60.33		
11	INGAVI	8:ING	8:ING	64	8	9.47
		8:ING	9:CO	19	5	19.92
		total		83	13	29.39
	COLON	9:CO	8:ING	7	2	12.49
		9:CO	9:CO	46	14	13.86
total		53	16	26.35		
12	INGAVI	3:ING	3:ING	183	15	33.76
		3:ING	18:DC	5	2	23.56
		total		188	17	57.32
	D. CAMPOS	10:DC	8:ING	14	7	15.5
		10:DC	18:DC	35	11	10.47
total		49	18	25.97		
13	INGAVI	3:ING	3:ING	85	18	29.75
		3:ING	22:SUC	13	2	54.27
		total		98	20	84.02
	SUCRE	22:SUC	3:ING	35	6	13.57
		22:SUC	22:SUC	45	2	9.48
total		80	8	23.05		

14	INGAVI	1:ING	3:ING	103	22	57.46
		1:ING	19:GT	32	4	27.3
		total		135	26	84.76
	G. TRIGO	19:GT	3:ING	21	7	6.2
		19:GT	19:GT	15	14	10.71
total		36	21	16.91		
15	INGAVI	1:ING	1:ING	199	38	50.55
		1:ING	13:CAM	33	8	70.99
		total		232	46	121.54
	CAMPERO	13:CAM	1:ING	27	6	8.33
		13:CAM	13:CAM	44	26	10.16
total		71	32	18.49		
16	BOLIVAR	2:BOL	2:BOL	333	36	83.98
		2:BOL	9:CO	74	7	120.81
		total		407	43	204.79
	COLON	9:CO	2:BOL	11	5	39.13
		9:CO	9:CO	21	11	18.92
total		32	16	58.05		
17	BOLIVAR	2:BOL	2:BOL	159	20	88.88
		2:LPN	10:D.C.	43	7	56.61
		total		202	27	145.49
	D. CAMPOS	10:D.C.	2:BOL	27	3	60.3
		10:D.C.	10:D.C.	158	24	48.67
total		185	27	108.97		
18	BOLIVAR	2:BOL	2:BOL	45	15	13.41
		2:BOL	22:SU	6	4	10.33
		total		51	19	23.74
	SUCRE	22:SU	2:BOL	4	1	3.07
		22:SU	22:SU	24	2	6.85
total		28	3	9.92		
19	BOLIVAR	2:BOL	2:BOL	29	6	8.42
		2:BOL	19:GT	7	2	3.41
		total		36	8	11.83
	G. TRIGO	11:GT	2:BOL	52	5	12.78
		11:GT	19:GT	261	23	48.55
total		313	28	61.33		
20	BOLIVAR	2:BOL	2:BOL	3	5	8.37
		2:BOL	13:CAM	6	5	7.6
		total		9	10	15.97
	CAMPERO	13:CAM	2:BOL	23	13	16.11
		13:CAM	13:CAM	23	13	28.75
total		46	26	44.86		

21	D. PAZ	9:CO	9:CO	12	8	13.45
		9:CO	20:DP	6	5	8.86
		total		18	13	22.31
	COLON	20:DP	9:CO	13	10	15.63
		20:DP	20:DP	26	20	11
total		39	30	26.63		
22	D. PAZ	10:D.C.	10:D.C.	219	33	63.44
		10:D.C.	20:D.P	80	9	71.54
		total		299	42	134.98
	D. CAMPOS	20:D.P	10:D.C.	8	2	23.95
		20:D.P	20:D.P	50	22	25.28
total		58	24	49.23		
23	D. PAZ	20:D.P	20:D.P	29	28	12.6
		20:D.P	22:SU	6	6	14.38
		total		35	34	26.98
	SUCRE	22:SU	20:D.P	2	2	11.92
		22:SU	22:SU	5	2	11.66
total		7	4	23.58		
24	D. PAZ	11:GT	11:GT	324	30	87.02
		11:GT	20:D.P	144	18	75.17
		total		468	48	162.19
	G. TRIGO	20:D.P	11:GT	61	11	67.92
		20:D.P	20:D.P	86	17	45.51
total		147	28	113.43		
25	D. PAZ	13:CAM	13:CAM	18	11	9.74
		13:CAM	20:D.P	10	3	11.71
		total		28	14	21.45
	CAMPERO	20:D.P	13:CAM	0	0	0
		20:D.P	20:D.P	249	31	57.75
total		249	31	57.75		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45: Resultados de tiempos de demora después de optimización (Centro)

NODO	ACCESO	Enlace		N° total de paradas de	N° de vehiculos en demora	Promedio demora por vehiculo (s)
		de	hacia			
1	15 DE ABRIL	15:15A2	9:CO	219	32	77.36
		15:15A2	15:15A3	40	4	67.96
		total		259	36	145.32
	COLON	9:CO	9:CO	4	1	4.14
		9:CO	15:15A3	17	7	11.43
		total		21	8	15.57

2	15 DE ABRIL	15:15A2	15:15A2	12	6	8.54
		15:15A2	18:DC	2	1	25.04
		total		14	7	33.58
	D. CAMPOS	18:DC	15:15A2	9	4	1.4
		18:DC	18:DC	4	6	4.96
total		13	10	6.36		
3	15 DE ABRIL	4:15A1	15:15A2	25	6	14.53
		4:15A1	21SUC	36	6	19.35
		total		61	12	33.88
	SUCRE	7:SUC	15:15A2	25	2	122.64
		7:SUC	21SUC	220	28	61.58
total		245	30	184.22		
4	15 DE ABRIL	4:15A1	4:15A1	142	17	64.08
		4:15A1	23:GT	15	2	12.84
		total		157	19	76.92
	G. TRIGO	23:GT	4:15A1	13	4	15.09
		23:GT	23:GT	23	8	9.33
total		36	12	24.42		
5	15 DE ABRIL	4:15A1	4:15A1	234	31	59.45
		4:15A1	13:CAM	21	9	36.77
		total		255	40	96.22
	CAMPERO	13:CAM	4:15A1	41	1	26.58
		13:CAM	13:CAM	350	44	58.6
total		391	45	85.18		
6	MADRID	5:MAD	9:CO	108	11	81.71
		5:MAD	12:MAD	368	26	113.36
		total		476	37	195.07
	COLON	9:CO	9:CO	60	9	78.19
		9:CO	12:MAD	0	2	7.07
total		60	11	85.26		
7	MADRID	12:MAD	12:MAD	23	21	13.76
		12:MAD	18:DC	2	3	2.59
		total		25	24	16.35
	D. CAMPOS	18:DC	12:MAD	3	2	8.48
		18:DC	18:DC	31	8	13.37
total		34	10	21.85		
8	MADRID	12:MAD	14:MA2	33	18	11.13
		12:MAD	22:SU	4	2	7.83
		total		37	20	18.96
	SUCRE	21SUC	14:MA2	13	14	6.11
		21SUC	22:SU	38	13	10.99
total		51	27	17.1		

9	MADRID	14:MA2	17:MA3	33	18	14.88
		14:MA2	23:GT	10	8	10.28
		total		43	26	25.16
	G. TRIGO	19:GT	17:MA3	5	0	0
		19:GT	23:GT	51	13	20.24
total		56	13	20.24		
10	MADRID	13:CAM	6:MAU	23	11	17.84
		13:CAM	13:CAM	101	32	19.92
		total		124	15	37.76
	CAMPERO	17:MA3	6:MAU	23	12	9.07
		17:MA3	13:CAM	4	3	8.89
total		27	43	17.96		
11	INGAVI	8:ING	8:ING	61	6	3.84
		8:ING	9:CO	25	3	40.7
		total		86	9	44.54
	COLON	9:CO	8:ING	17	3	28.16
		9:CO	9:CO	98	17	12.69
total		115	20	40.85		
12	INGAVI	3:ING	3:ING	218	15	26.86
		3:ING	18:DC	6	2	12.08
		total		224	17	38.94
	D. CAMPOS	10:DC	8:ING	29	6	19.33
		10:DC	18:DC	63	9	11.18
total		92	15	30.51		
13	INGAVI	3:ING	3:ING	128	18	34.17
		3:ING	22:SUC	29	2	59.32
		total		157	20	93.49
	SUCRE	22:SUC	3:ING	25	8	21.28
		22:SUC	22:SUC	42	5	7.85
total		67	13	29.13		
14	INGAVI	1:ING	3:ING	106	21	60.74
		1:ING	19:GT	39	4	21.19
		total		145	25	81.93
	G. TRIGO	19:GT	3:ING	33	7	8.69
		19:GT	19:GT	25	14	9.29
total		58	21	17.98		
15	INGAVI	1:ING	1:ING	161	32	55.67
		1:ING	13:CAM	39	8	62.8
		total		200	40	118.47
	CAMPERO	13:CAM	1:ING	11	6	8.24
		13:CAM	13:CAM	37	22	8.97
total		48	28	17.21		

16	BOLIVAR	2:BOL	2:BOL	265	34	53.49
		2:BOL	9:CO	40	6	86.51
		total		305	40	140
	COLON	9:CO	2:BOL	15	6	17.55
		9:CO	9:CO	24	13	11.66
total		39	19	29.21		
17	BOLIVAR	2:BOL	2:BOL	182	26	56.07
		2:LPN	10:D.C.	23	6	42.46
		total		205	32	98.53
	D. CAMPOS	10:D.C.	2:BOL	18	4	126.93
		10:D.C.	10:D.C.	274	16	95.19
total		292	20	222.12		
18	BOLIVAR	2:BOL	2:BOL	63	18	6.7
		2:BOL	22:SU	19	2	14.34
		total		82	20	21.04
	SUCRE	22:SU	2:BOL	1	2	9.33
		22:SU	22:SU	9	3	7.15
total		10	5	16.48		
19	BOLIVAR	2:BOL	2:BOL	30	12	16.44
		2:BOL	19:GT	4	4	12.86
		total		34	16	29.3
	G. TRIGO	11:GT	2:BOL	59	5	10.31
		11:GT	19:GT	210	23	34.89
total		269	28	45.2		
20	BOLIVAR	2:BOL	2:BOL	7	5	5.26
		2:BOL	13:CAM	36	5	6.19
		total		43	10	11.45
	CAMPERO	13:CAM	2:BOL	27	11	24.74
		13:CAM	13:CAM	26	13	14.78
total		53	24	39.52		
21	D. PAZ	9:CO	9:CO	16	10	11.65
		9:CO	20:DP	11	5	11.58
		total		27	15	23.23
	COLON	20:DP	9:CO	12	6	15.59
		20:DP	20:DP	33	16	12.83
total		45	22	28.42		
22	D. PAZ	10:D.C.	10:D.C.	255	32	73.61
		10:D.C.	20:D.P	63	10	77.39
		total		318	42	151
	D. CAMPOS	20:D.P	10:D.C.	9	2	33.12
		20:D.P	20:D.P	32	18	17.63
total		41	20	50.75		

23	D. PAZ	20:D.P	20:D.P	69	21	20.29
		20:D.P	22:SU	28	3	65.67
		total		97	24	85.96
	SUCRE	22:SU	20:D.P	0	2	0.88
		22:SU	22:SU	10	2	8.34
total		10	4	9.22		
24	D. PAZ	11:GT	11:GT	343	27	84.81
		11:GT	20:D.P	111	19	68.84
		total		454	46	153.65
	G. TRIGO	20:D.P	11:GT	88	14	74.74
		20:D.P	20:D.P	206	21	63.86
total		294	35	138.6		
25	D. PAZ	13:CAM	13:CAM	23	11	8.69
		13:CAM	20:D.P	7	4	8
		total		30	15	16.69
	CAMPERO	20:D.P	13:CAM	0	0	0
		20:D.P	20:D.P	215	44	43.37
total		215	44	43.37		

Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó, mediante la determinación de este parámetro podemos obtener los niveles de servicio respectivos de cada intersección. Los tiempos de demora después de la optimización del ciclo semafórico, disminuyeron en 16 intersecciones es decir en el 64% de las intersecciones de la red, resultado óptimo que ayudará a aliviar el congestionamiento vehicular.

También podemos observar en las tablas que se tiene resultados del número de veces que los vehículos realizan paradas o detenciones, el cual disminuye también con la optimización semafórica.

ZONA V. FÁTIMA

Tabla 46: Resultados de tiempos de demora antes de optimización (V. Fátima)

NODO	ACCESO	Enlace		N° total de paradas de vehiculos	N° de vehiculos en demora	Promedio demora por vehiculo (s)
		de	hacia			
1	La Paz Norte	2:LPN	2:LPN	132	35	31.65
		2:LPN	4:BE	18	8	20.3
		total		150	43	51.95
	La Paz Sur	1:LPS	1:LPS	28	16	9.05
		1:LPS	4:BE	18	4	14.37
		total		46	20	23.42
	Belgrano Este	3:BE	1:LPS	104	13	57.12
		3:BE	2:LPN	47	13	47.91
		3:BE	4:BE	280	33	65.87
		total		431	59	170.9
	Belgrano Oeste	5:BO	1:LPS	37	4	44.64
		5:BO	2:LPN	68	23	21.11
total		105	27	65.75		
2	La Paz Norte	2:LPN	2:LPN	24	48	9.57
		2:LPN	6:LM	1	19	13.07
		total		25	67	22.64
	La Paz Sur	1:LPS	1:LPS	31	27	3.78
		1:LPS	6:LM	30	9	4.76
total		61	36	8.54		
3	La Paz Norte	2:LPN	2:LPN	43	27	7.07
		2:LPN	7:I	12	11	7.38
		total		55	38	14.45
	La Paz Sur	1:LPS	1:LPS	43	35	4.59
		1:LPS	7:I	7	4	13.67
	total		50	39	18.26	
	Ingavi	7:I	1:LPS	29	7	29.88
7:I		2:LPN	28	4	53.19	
7:I		7:I	52	10	34.28	
total		109	21	117.35		
4	La Paz Norte	2:LPN	2:LPN	284	7	19.71
		2:LPN	8:B	86	8	28.58
		total		370	15	48.29
	La Paz Sur	1:LPS	1:LPS	83	37	39.7
		1:LPS	8:B	116	7	50.04
		total		199	44	89.74
	Bolívar	8:B	1:LPS	31	9	16.23
		8:B	2:LPN	13	7	16.67
		8:B	8:B	35	6	14.33
total		79	22	47.23		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47: Resultados de tiempos de demora después de optimización (V. Fátima)

NODO	ACCESO	Enlace		N° total de paradas de vehículos	N° de vehículos en demora	Promedio demora por vehículo (s)
		de	hacia			
1	La Paz Norte	2:LPN	2:LPN	317	30	84.97
		2:LPN	4:BE	73	5	93.24
		total		390	35	178.21
	La Paz Sur	1:LPS	1:LPS	31	16	9.72
		1:LPS	4:BE	17	4	10.08
		total		48	20	19.8
	Belgrano Este	3:BE	1:LPS	78	13	37.63
		3:BE	2:LPN	30	13	18.95
		3:BE	4:BE	180	40	32.93
		total		288	66	89.51
	Belgrano Oeste	5:BO	1:LPS	40	6	48.97
		5:BO	2:LPN	58	16	19.66
total		98	22	68.63		
2	La Paz Norte	2:LPN	2:LPN	20	43	13.81
		2:LPN	6:LM	4	18	16.96
		total		24	61	30.77
	La Paz Sur	1:LPS	1:LPS	61	22	2.92
		1:LPS	6:LM	36	8	5.26
		total		97	30	8.18
3	La Paz Norte	2:LPN	2:LPN	41	24	7.21
		2:LPN	7:I	18	10	8.25
		total		59	34	15.46
	La Paz Sur	1:LPS	1:LPS	43	33	2.87
		1:LPS	7:I	5	3	5.8
		total		48	36	8.67
	Ingavi	7:I	1:LPS	59	4	64.12
		7:I	2:LPN	37	2	32.99
		7:I	7:I	45	10	31.29
total		141	16	128.4		
4	La Paz Norte	2:LPN	2:LPN	47	5	25.89
		2:LPN	8:B	49	6	42.08
		total		96	11	67.97
	La Paz Sur	1:LPS	1:LPS	294	33	59.01
		1:LPS	8:B	75	7	55.44
		total		369	40	114.45
	Bolívar	8:B	1:LPS	18	9	8.56
		8:B	2:LPN	5	7	6.27
		8:B	8:B	20	6	8.41
		total		43	22	23.24

Fuente: Elaboración propia

Con los nuevos ciclos semafóricos se tiene que los tiempos de demora reducen en tres de las intersecciones de esta zona, lo cual significa una mejora del 75% en cuanto a tiempos de demora, la intersección del Nodo 3 que es la Calle Ingavi y avenida La Paz, es la que se ve un incremento de 11.7 a 12.8 segundos, incremento menor al 10%.

ZONA ROTONDA

Tabla 48: Resultados de tiempos de demora antes de optimización (Rotonda)

AVENIDA	Enlace		N° total de paradas de vehiculos	N° de vehiculos en demora	Promedio demora por vehiculo (s)
	de	hacia			
Panamericana Norte	4:PN	1:PN	534	32	118.69
	4:PN	2:PS	208	8	168.94
	4:PN	7:CS	83	6	138.16
	total		825	46	425.79
Panamericana Sur	5:PS	1:PN	19	0	0
	5:PS	2:PS	205	22	136.97
	5:PS	7:CS	133	12	133.71
	total		357	34	270.68
Cochabamba	6:CN	1:PN	158	22	82.16
	6:CN	2:PS	0	0	0
	total		158	22	82.16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49: Resultados de tiempos de demora después de optimización (Rotonda)

AVENIDA	Enlace		N° total de paradas de vehiculos	N° de vehiculos en demora	Promedio demora por vehiculo (s)
	de	hacia			
Panamericana Norte	4:PN	1:PN	96	19	68.39
	4:PN	2:PS	65	6	120.37
	4:PN	7:CS	5	1	48.83
	total		166	26	237.59
Panamericana Sur	5:PS	1:PN	11	2	113.86
	5:PS	2:PS	61	8	94.76
	5:PS	7:CS	7	2	21.7
	total		79	12	230.32
Cochabamba	6:CN	1:PN	97	20	51.44
	6:CN	2:PS	0	0	0
	total		97	20	51.44

En esta zona es en la que más puede apreciarse la mejoría del resultado de optimización, ya que en toda la rotonda se logra disminuir en un 42% del tiempo equivalente 50.4 segundos menos.

A continuación se muestran los Tiempos de Demora Promedio de cada Intersección correspondiente a cada zona analizada obtenidos del programa para antes y después de la optimización:

ZONA CENTRO

Tabla 50: Resumen tiempos demora antes y después de la optimización (Centro)

Tiempo de Demora	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11
Antes de Optimizar	83.6	11.5	56.3	38.5	60.8	83.4	12.8	27.2	11.8	28.1	38.5
Después de Optimizar	64.3	6.6	51.7	40.3	56.2	91.3	12.4	9.5	15.7	16.7	11.6

N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19	N20	N21	N22	N23	N24	N25
22.2	38.5	33.3	35.9	72.4	65.2	11.8	34.4	18.4	12.3	50.6	12.8	72.1	42.9
20.1	28.6	33.7	37.2	43.9	71.9	7.6	25.1	15.3	12.8	56.6	22.9	73.9	34.5

Fuente: Elaboración propia

ZONA V. FÁTIMA

Tabla 51: Resumen tiempos demora antes y después de la optimización (V. Fátima)

Tiempo de Demora	N1	N2	N3	N4
Antes de Optimizar	39.7	11.1	11.7	39.6
Después de Optimizar	38.5	8.3	12.8	31.3

Fuente: Elaboración propia

ZONA ROTONDA

Tabla 52: Resumen tiempos demora antes y después de la optimización (Rotonda)

Tiempo de Demora	N1
Antes de Optimizar	121.6
Después de Optimizar	71.2

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados de tiempos de demora son los que nos van a dar los resultados de los niveles de servicio aplicando la tabla de niveles de servicio por demora para una intersección con semáforo, según la HCM.

4.6. Niveles de servicio

A cada intersección de cada zona le corresponde un nivel de servicio de acuerdo al tiempo de demora que se obtuvo, tanto como para la situación actual como para la situación optimizada.

Para el resultado visual de los niveles de servicios, Vissim muestra en el esquema a los valores representados mediante la asignación de colores, letras y números como se muestra en la siguiente tabla:

Figura 60: Asignación de colores y valores a los niveles de servicio según Vissim

Cantidad:	LowerBound	UpperBound	Color
1	MIN	1,000	(100, 0, 0, 255)
2	1,000	2,000	(100, 0, 255, 255)
3	2,000	3,000	(100, 0, 255, 0)
4	3,000	4,000	(100, 255, 255, 0)
5	4,000	5,000	(100, 255, 128, 0)
6	5,000	MAX	(100, 255, 0, 0)

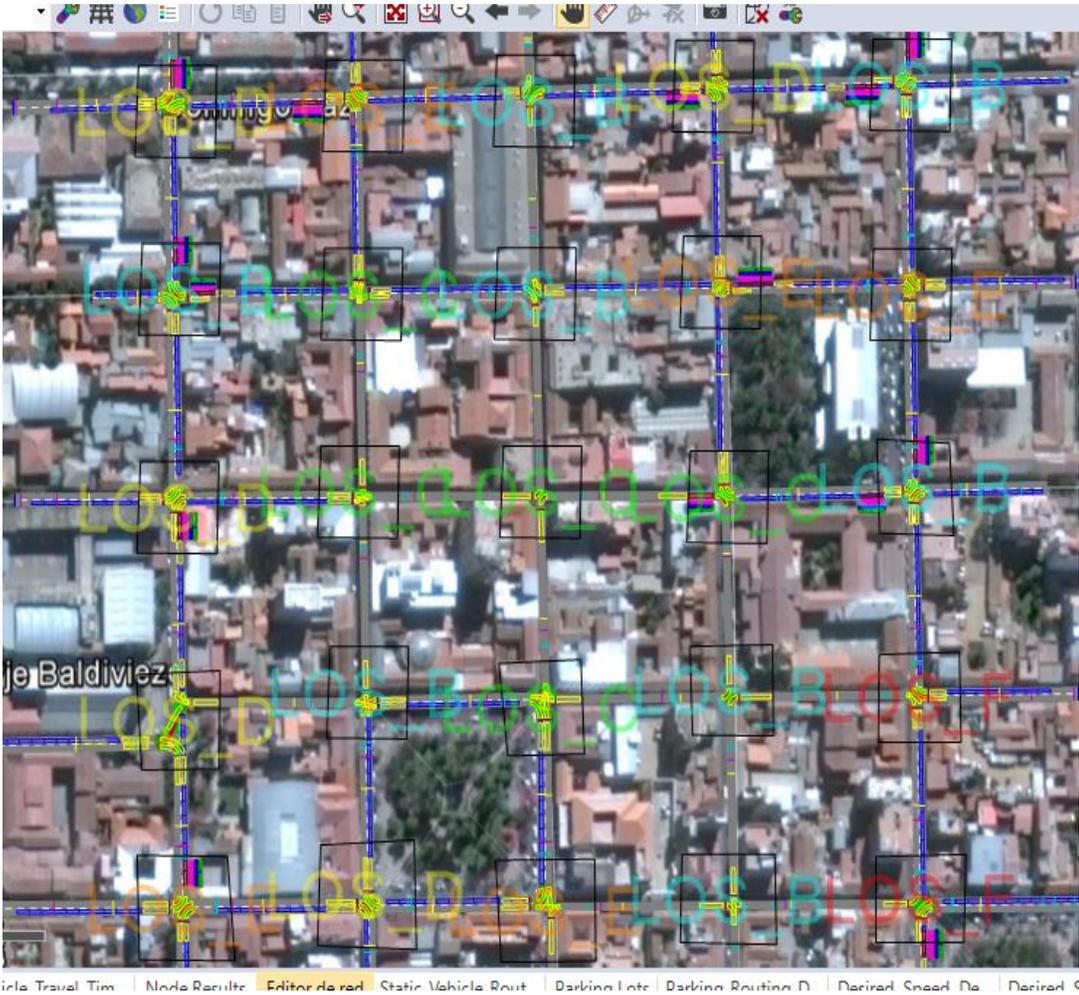
Fuente: Elaboración propia

Así de esta forma interpretamos visualmente al nivel de servicio A con el color AZUL, nivel de servicio B color CELESTE, nivel de servicio C color VERDE, nivel de servicio D color AMARILLO, nivel de servicio E color NARANJA y por último nivel de servicio F con el color ROJO.

A continuación se muestra los resultados esquemáticos de cada zona antes y después de la optimización.

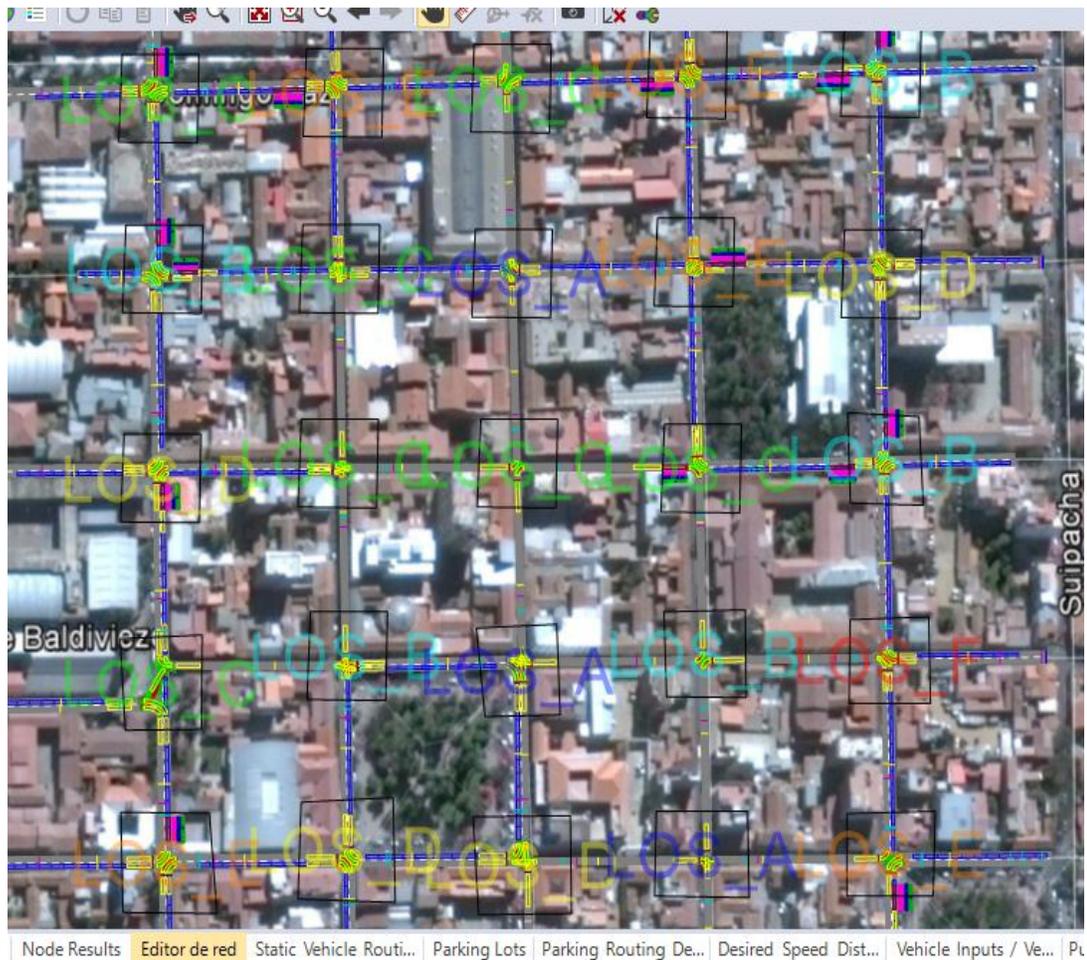
ZONA CENTRO

Figura 61: Niveles de servicio antes de la optimización zona centro



Fuente: Elaboración propia

Figura 62: Niveles de servicio después de la optimización zona centro



Fuente: Elaboración propia

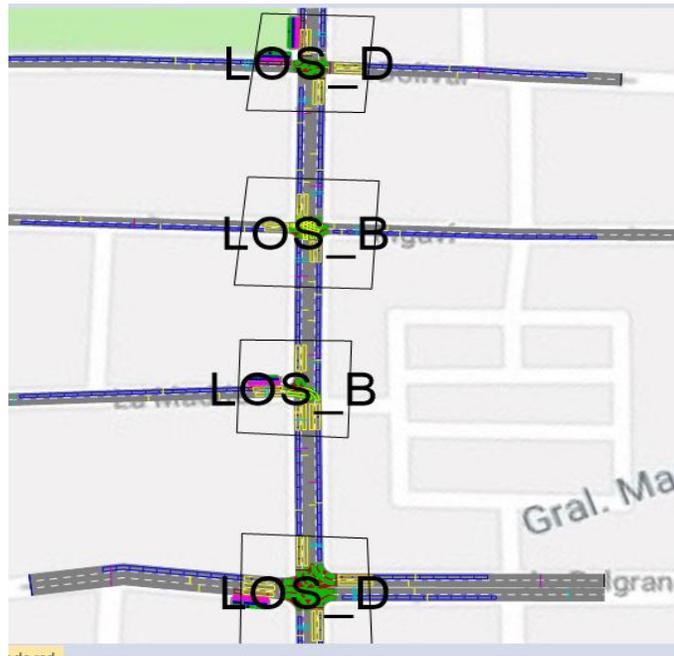
Como se puede observar en las imágenes, los niveles de servicio mejoraron en varias intersecciones de la red, disminuyendo los niveles de servicio D, E y F.

ZONA V. FÁTIMA

En esta zona se podrá visualizar otra forma de presentación del programa, el cual muestra los niveles de servicio simplemente mediante la asignación de una letra sin su color característico.

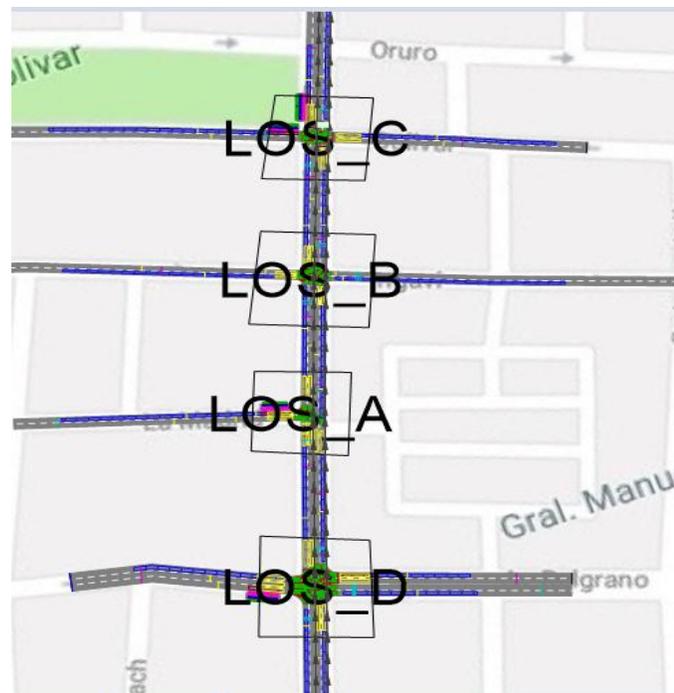
Puede observarse también que el nivel de servicio mejora en dos intersecciones, gracias al ajuste de tiempos optimizados.

Figura 63: Niveles de servicio antes de la optimización zona V. Fátima



Fuente: Elaboración propia

Figura 64: Niveles de servicio después de la optimización zona V. Fátima



Fuente: Elaboración propia

ZONA ROTONDA

Figura 65: Niveles de servicio antes de la optimización zona Rotonda



Fuente: Elaboración propia

Figura 66: Niveles de servicio después de la optimización zona Rotonda



Fuente: Elaboración propia

En esta zona de un nivel de servicio F pasa a un nivel de servicio E después de la optimización, como puede observarse esta es otra forma de presentación, mostrando el valor numérico con el color característico a cada nivel de servicio.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En base a los resultados obtenidos tanto para la situación actual, así como la propuesta de optimización del ciclo de los semáforos de las zonas estudiadas, se presentan las siguientes conclusiones:

Se han logrado los objetivos de este proyecto de manera satisfactoria, en cuanto al objetivo principal, se logró mediante el software Vissim, optimizar el ciclo de los semáforos y lograr las mejores condiciones de servicio en las zonas analizadas.

El resultado de los ciclos semafóricos optimizados: para la zona céntrica, se consigue aumentar el número de ciclos durante la hora pico, con el ciclo de 44 segundos se obtenía aproximadamente 82 ciclos, con la reducción del ciclo a 38 segundos se obtiene 95 ciclos lo cual indica un incremento 13 ciclos más en una hora. Para la zona V. Fátima con el nuevo ciclo semafórico se incrementa el número de ciclos en la hora pico, de 90 ciclos a 100 ciclos. Y para la zona de la Rotonda, de 90 ciclos en una hora se reduce a 82 ciclos para el nuevo ciclo semafórico de 44 segundos.

En adición al análisis de los parámetros de eficiencias, para la zona céntrica y V. Fátima la demora promedio de vehículos tiende a ser menor cuando se presenta un menor ciclo del semáforo, en el caso de la rotonda con el incremento de 4 segundos en el ciclo se logrará mejorar el nivel de servicio de la intersección.

Se logró conocer las funciones básicas del software Vissim de manera satisfactoria, ya que se pudo identificar los parámetros y datos necesarios que se requieren para realizar una simulación.

Se realizó actividades en campo: aforos, mediciones y filmaciones para obtener y recopilar los datos necesarios para la simulación y calibración del software.

Se logró realizar los aforos vehiculares en las distintas calles que conforman las zonas de análisis, los cuales fueron realizados durante la hora pico de cada zona, y clasificados de acuerdo a la dirección, peso y sector.

Acceso	Aforo total	Acceso	Aforo total
Zona centro		Zona rotonda	
C/ 15 de Abril	358	Panamericana norte	1105
C/ Campero	266	Panamericana sur	1160
C/ Sucre	347	Cochabamba	457
C/ Colon	283	Zona V. Fátima	
C/ Madrid	309	Av. La Paz (subida)	395
C/ Ingavi	282	Belgrano (este)	681
C/ Bolívar	326	Belgrano (oeste)	364
C/ D. Paz	309	C/ Ingavi	322
C/ G. Trigo	307	C/ Bolívar	295
C/ D. Campos	324	Av. La Paz (bajada)	493

Fuente: Elaboración propia

Se realizó las mediciones de longitud de cola y tiempos de recorrido de las tres zonas analizadas. Los cuales nos sirven para realizar la calibración del modelo de simulación.

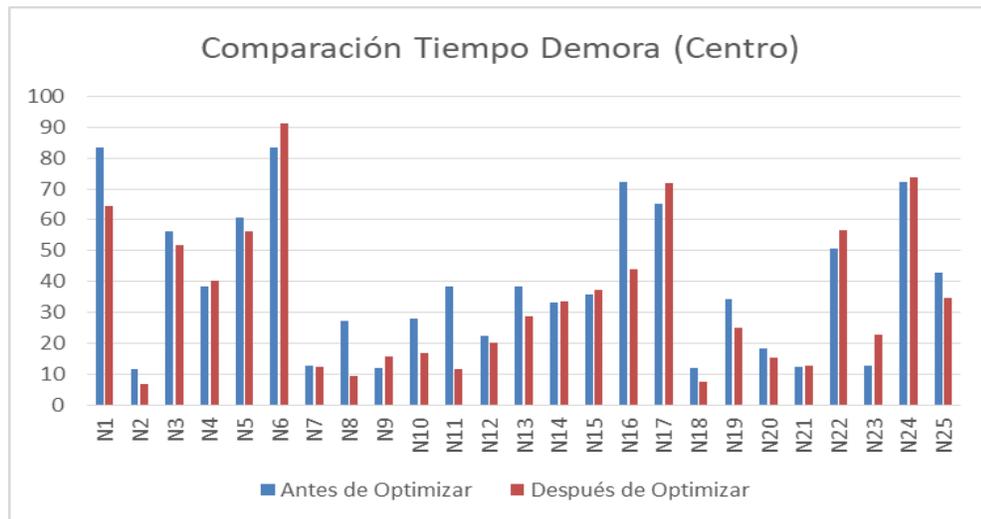
Se calibró el modelo de acuerdo con las condiciones de comportamiento vehicular que existe en la ciudad de Tarija, para que el programa de modelación VISSIM arrojará resultados que coincidieran lo mejor posible con la situación presente en las zonas, ya que el software maneja el comportamiento de conductores y condiciones vehiculares similares a las ciudades alemanas, y así poder realizar un análisis válido para esta investigación.

La calibración se la realizó ajustando los parámetros del modelo de seguimiento vehicular de Wiedemann, modelo de cambio de carril y modelo de comportamiento vehicular que son con los que opera el programa, dichos parámetros se hicieron variar en función del que se asemejara más la promedio de los datos de verificación utilizados como lo son la longitud de cola y tiempo de recorrido. En el caso de la longitud de cola para una simulación se tiene que no debe exceder al 20% del error entre el dato real y el dato obtenido, puesto que este parámetro de longitud de cola en todos los intentos siempre se presentaba errores de más del 20% se optó por tomar en cuenta otro parámetro de verificación para la calibración. Este otro dato es el tiempo de recorrido, el cual fue verificado mediante la teoría de la hipótesis nula, con un nivel de confiabilidad del 95%.

Se logró realizar la modelación de las zonas de estudio, pudiendo observarse el comportamiento de tráfico vehicular que se presenta en cada zona para la situación actual que se tiene en las calles de nuestra ciudad, como son los tiempos de demora en cada intersección, tiempos de recorrido tardíos y niveles de servicio bajos como se reflejan en las gráficas que a continuación se muestran.

Se logró optimizar el tiempo de los ciclos semafóricos en las intersecciones de las zonas, mediante el software Vissim, obteniendo una nueva modelación con nuevos resultados, los cuales muestran mejorías en la mayoría de las intersecciones que conforman las zonas, de los cuales se realiza una comparación de una situación antes de la optimización y después de la optimización:

Figura 67: Tiempo de demora antes y después de la optimización zona centro



Fuente: Elaboración propia

Tabla 53: Tiempo de demora antes y después de la optimización (Centro)

Tiempo de Demora	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11
Antes de Optimizar	83.6	11.5	56.3	38.5	60.8	83.4	12.8	27.2	11.8	28.1	38.5
Después de Optimizar	64.3	6.6	51.7	40.3	56.2	91.3	12.4	9.5	15.7	16.7	11.6

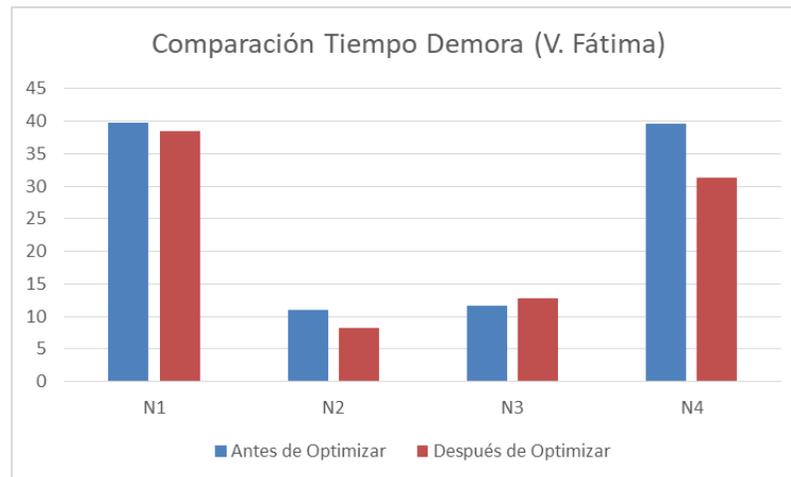
N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19	N20	N21	N22	N23	N24	N25
22.2	38.5	33.3	35.9	72.4	65.2	11.8	34.4	18.4	12.3	50.6	12.8	72.1	42.9
20.1	28.6	33.7	37.2	43.9	71.9	7.6	25.1	15.3	12.8	56.6	22.9	73.9	34.5

Fuente: Elaboración propia

Con el nuevo tiempo de ciclo para la zona céntrica se logra reducir y mejorar los tiempos de demora en 16 intersecciones de las 25 que corresponden a la red. Las 9 intersecciones restantes, presentan un leve aumento en los tiempos de demora, desde 0.5 segundos en el nodo 21 hasta 10.21 segundo en el nodo 23.

Los nodos no mejorados corresponden a las siguientes intersecciones: 15 de Abril y General Trigo (N4), La Madrid y Colón (N6), La Madrid y General Trigo (N9), Ingavi y Campero (N15), Bolívar y D. Campos (N17), D. Paz y Colon (N21), D. Paz y D. Campos (N22), D. Paz y Sucre (N23) y por último la intersección de D. Paz y G. Trigo, estas intersecciones corresponden al 36% del total de intersecciones analizadas en esta zona.

Figura 68: Tiempo de demora antes y después de la optimización zona V. Fátima



Fuente: Elaboración propia

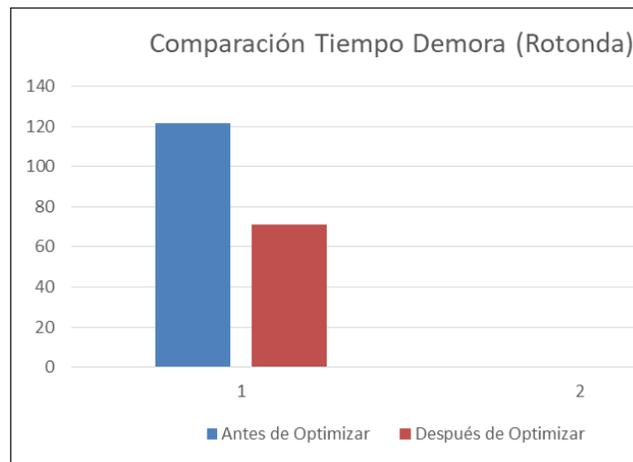
Tabla 54: Tiempo de demora antes y después de la optimización (V. Fátima)

Tiempo de Demora	N1	N2	N3	N4
Antes de Optimizar	39.7	11.1	11.7	39.6
Después de Optimizar	38.5	8.3	12.8	31.3

Fuente: Elaboración propia

En esta zona la única intersección que aumenta el tiempo promedio de demora por vehículo es la nodo 3 correspondiente a la intersección Ingavi y La Paz.

Figura 69: Tiempo de demora antes y después de la optimización zona Rotonda



Fuente: Elaboración propia

Tabla 55: Tiempo de Demora antes y después de la optimización (Rotonda)

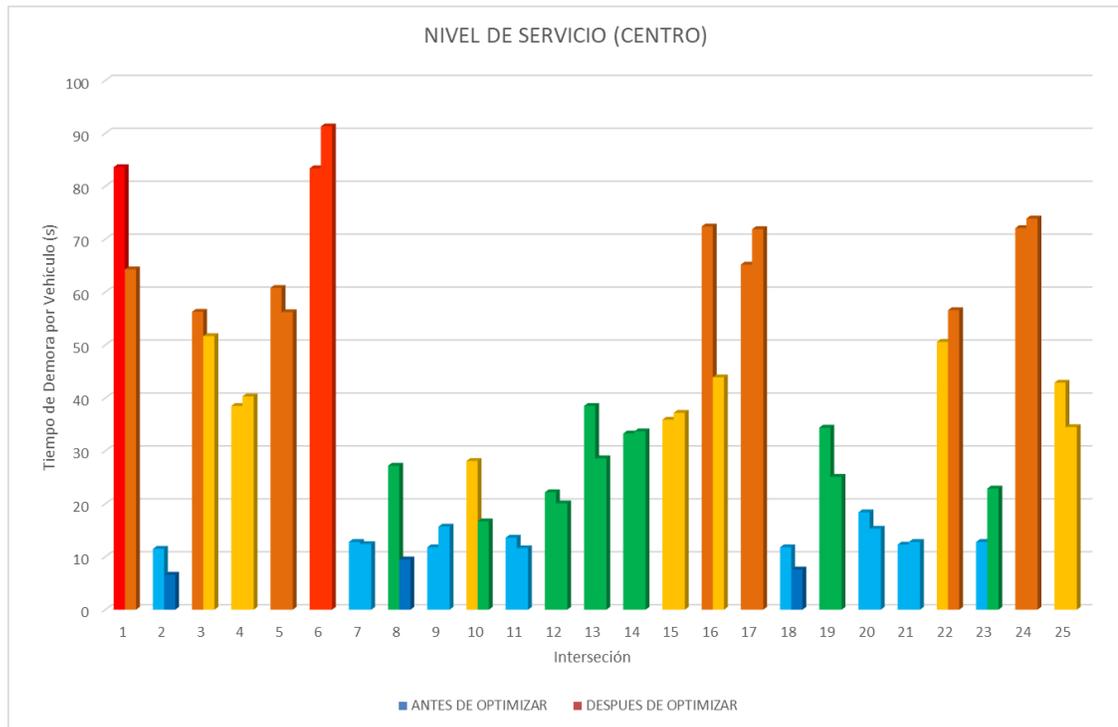
Tiempo de Demora	N1
Antes de Optimizar	121.6
Después de Optimizar	71.2

Fuente: Elaboración Propia

Al realizar el proceso de optimización en esta zona se logra mejorar el tiempo de demora promedio en toda la Rotonda, disminuyendo de 121.6 segundos a 71.2 segundos lo cual significa una mejoría del 41.4%. Una mejora en segundos muy satisfactoria.

Al mejorar los tiempos de demora en cada intersección, se tiene por consecuencia una mejoría en los niveles de servicio:

Figura 70: Nivele de servicio antes y después de la optimización zona Centro



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 56: Niveles de servicio antes y después de la optimización (Centro)

Nodo	Antes de optimizar		Después de optimizar		13	38.5	C	28.6	C
	Value	Level	Value	Level					
1	83.6	F	64.3	E	14	33.3	C	33.7	C
2	11.5	B	6.6	A	15	35.9	D	37.2	D
3	56.29	E	51.7	D	16	72.4	E	43.9	D
4	38.5	D	40.3	D	17	65.2	E	71.9	E
5	60.8	E	56.2	E	18	11.8	B	7.6	A
6	83.4	F	91.3	F	19	34.4	C	25.1	C
7	12.8	B	12.4	B	20	18.4	B	15.3	B
8	27.2	C	9.5	A	21	12.3	B	12.8	B
9	11.8	B	15.7	B	22	50.6	D	56.6	E
10	28.1	D	16.7	C	23	12.8	B	22.9	C
11	13.6	B	11.6	B	24	72.1	E	73.9	E
12	22.2	C	20.1	C	25	42.9	D	34.5	D

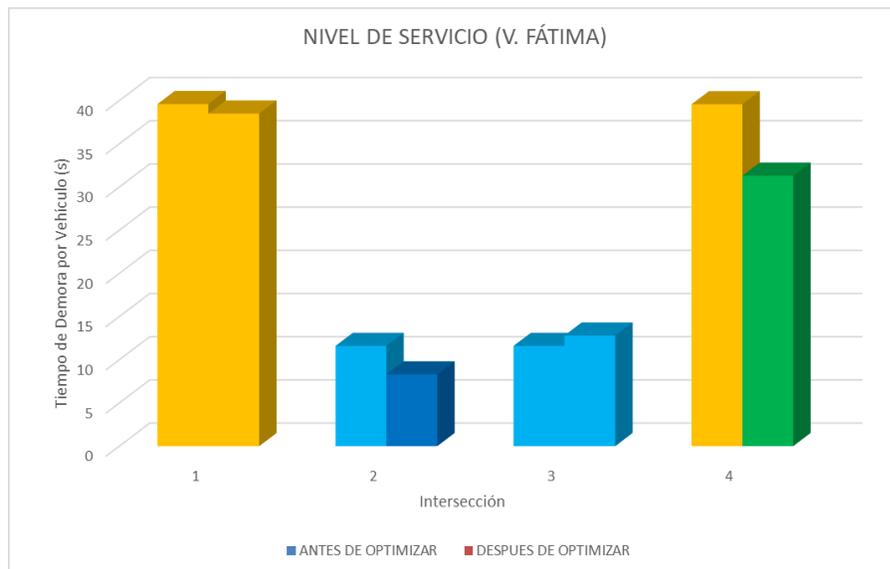
Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de nivel de servicio obtenidos para esta zona en base a los tiempos de demora promedio por vehículo mejoran en 7 intersecciones: Nodo 1 (15 de Abril y Colón), Nodo 2 (15 de Abril y D. Campos), Nodo 3 (15 de Abril y Sucre), Nodo 8 (La Madrid y Sucre), Nodo 10 (La Madrid y Campero), Nodo 16 (Bolívar y Colon) y Nodo 18 (Bolívar y Sucre).

Son 15 las intersecciones que mantienen el mismo nivel de servicio, correspondiente a más del 60% del total de intersecciones y son las siguientes: Nodo 4 (15 de Abril y G. Trigo), Nodo 5 (15 de Abril y Campero), Nodo 6 (La Madrid y Colon), Nodo 7 (La Madrid y D. Campos), Nodo 9 (La Madrid y G. Trigo), Nodo 11 (Ingavi y Colon), Nodo 12 (Ingavi y D. Campos), Nodo 13 (Ingavi y Sucre), Nodo 14 (Ingavi y G. Trigo), Nodo 15 (Ingavi y Campero), Nodo 17 (Bolívar y D. Campos), Nodo 19 (Bolívar y G. Trigo), Nodo 20 (Bolívar y Campero), Nodo 21 (D. Paz y Colon), Nodo 24 (D. Paz y G. Trigo) y Nodo 25 (D. Paz y Campero).

En dos intersecciones se tiene que el nivel de servicio baja, de un nivel D a un nivel F en el Nodo 22 (D. Paz y D. Campos) y de un nivel B a un nivel C en el nodo 23 (D. Paz y Sucre).

Figura 71: Nivele de servicio antes y después de la optimización zona V. Fátima



Fuente: Elaboración Propia

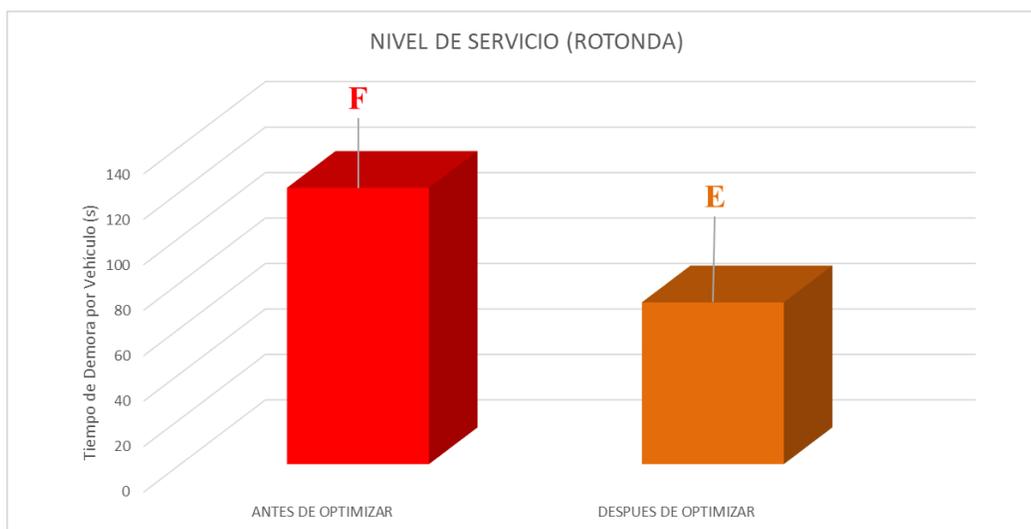
Tabla 57: Niveles de servicio antes y después de la optimización (V. Fátima)

Nodo	Antes de optimizar		Después de optimizar	
1	39.6	D	38.5	D
2	11.6	B	8.3	A
3	11.6	B	12.8	B
4	39.57	D	31.3	C

Fuente: Elaboración Propia

En esta zona puede observarse que el nivel de servicio se mantiene en 2 intersecciones los cuales son: Nodo 1 (Belgrano y La Paz) y Nodo 3 (Ingavi y La Paz). Y se presenta una mejoría en el Nodo 2 (La Madrid y La Paz) que pasa de un nivel de servicio B a un nivel de servicio A y el Nodo 4 (Bolívar y La Paz) de un nivel de servicio D a un nivel de servicio C.

Figura 72: Nivele de servicio antes y después de la optimización zona Rotonda



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 58: Niveles de servicio antes y después de la optimización (Rotonda)

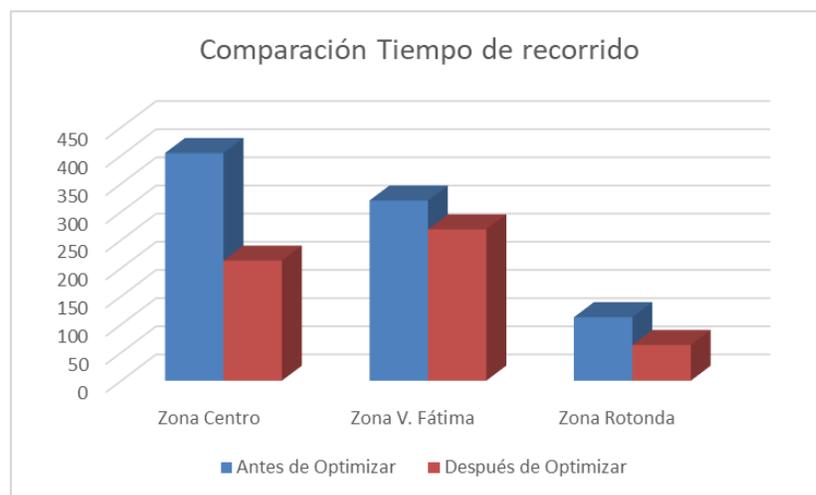
Avenida	Antes de optimizar		Después de optimizar	
N.S. toda la rotonda	121.6	F	71.2	E

Fuente: Elaboración Propia

Para esta zona se tiene una mejora notable del nivel de servicio de un nivel F a un nivel E. Pudiendo concluir que la modelación se ajusta bastante bien en rotondas, como se lo viene realizando actualmente en las rotondas de la ciudad de Tarija para mejorar las condiciones de tráfico vehicular.

Con el nuevo ciclo en los semáforos de las zonas también se logró reducir los tiempos de recorrido que fue el parámetro de mayor importancia sobre todo para el proceso de calibración.

Figura 73: Tiempos de recorrido en las zonas de estudio



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 59: Tiempo de Recorrido antes y después de la optimización en las tres zonas

Tiempo de Recorrido	Zona Centro	Zona V. Fátima	Zona Rotonda
Antes de Optimizar	404.49	320.08	112.91
Después de Optimizar	213.38	268.91	63.59

Para la zona del centro se tiene una reducción de 191.1 segundos mejorando un 47.2%, para la zona V. Fátima una reducción en tiempo de 51.2 segundos mejorando un 15.5% y en la zona de la rotonda se reduce 49.3 segundos mejorando en un 43.6% este parámetro, con la optimización del ciclo semafórico se colabora a reducir en cierto modo el problema de congestión de tráfico vehicular.

Finalmente, de las tres zonas analizadas, la zona céntrica fue la que menos se asemejó a la realidad, es decir los datos obtenidos de la modelación actual no se asemejan a la

realidad en cuanto a la longitud de cola se refiere, ya que visualmente y numéricamente no coinciden con los datos de campo obtenidos, el 60% de las intersecciones no cumple con la condición del porcentaje de error menor al 20% , puesto que presenta porcentajes de error de más del 50%, es por eso que este parámetro de análisis se descartó para la calibración, como se pudo observar en el capítulo III y IV.

La simulación se ajustó mucho mejor en las otras dos zonas, V. Fátima y Rotonda con longitudes de cola muy similares entre los datos de campo y los de Vissim, así mismo los tiempos de recorrido en estas zonas presentan porcentajes de error menores al 5%, resultados muy aceptable:

Tabla 60: Porcentaje de error de tiempos de recorrido

V. Fátima			Rotonda		
Dato	Campo	Simulado	Dato	Campo	Simulado
	331.62	320.08		113.15	112.91
Error	3.48 %		Error	0.21 %	

Concluyendo de esta manera que el software se recomienda utilizarlo para rotondas y redes de una sola línea, y no así para redes de varias intersecciones, ya que las colas se forman las entradas de los accesos a la red y no llegan a visualizarse en el centro de la red, es decir que en la simulación no llegan a ingresar todo el volumen de vehículos que deberían verse.

Asimismo, se concluye que un tiempo mayor en el ciclo de un semáforo, no asegura siempre un mejor funcionamiento en una intersección semaforizada, este aumento en algunas zonas solo ocasiona un mayor problema en la red. No es el caso de la zona de la rotonda en el cual se obtuvo un incremento de 4 segundos en el ciclo semafórico, dando prioridad a la Avenida Panamericana con dirección hacia el sur.

Como parte de los resultados obtenidos puede concluirse también que se puede llegar a mejorías en el tránsito, modificando únicamente las condiciones de operación de los semáforos, como son los ciclos. Para ello la solución implica no necesariamente la inversión en infraestructura de transporte, como aumentando el número de carriles o construyendo nuevas vías. Estas soluciones son mucho más costosas y durante su construcción generan un gran impacto vial. El uso de tecnologías para el control

semafórico muchas veces puede proponer un muy buen cambio en el servicio de las avenidas. La gran ventaja que se tiene en este caso es que siempre se tendrán las mejores condiciones de operación con los recursos disponibles. Cuando estos resultados sean rebasados podrá pensarse más en otro tipo de alternativas.

5.2. Recomendaciones

Algunas recomendaciones que deben tomarse en cuenta al realizar una microsimulación son las siguientes:

La metodología seguida para el análisis del funcionamiento de la red de la intersección seleccionada puede ser usada como guía para estudios de otros tipos de redes viales que se requiera saber el nivel de funcionamiento controlado por semáforos o con prioridades de pasos.

En cuanto al análisis de diseño de una intersección semaforizada se debe tomar en cuenta los aforos presentes en cada acceso con el fin determinar un ciclo óptimo del semáforo, sobre todo en el tiempo de verde efectivo, este no debe ser muy alto en ninguna de las fases, pues lo único que conseguirá será perjudicar las condiciones de circulación.

Al realizar el diseño vial se debe de contar con los aforos vehiculares, peatonales, y de todos los usuarios pertinente, así como el estudio de la geometría, además de analizar el tipo de zona de ubicación, dado que partir del lugar de ubicación se conocerá el tipo de comportamiento de los usuarios. De esta manera conseguir un trabajo en conjunto de estos componentes con el fin de poder realizar un adecuado funcionamiento.

Por lo general es recomendable analizar las condiciones del tráfico mínimo 2 veces al año, para ajustar siempre los tiempos semafóricos a su mejor estado posible.

Las condiciones del tránsito varían a lo largo del tiempo; por ejemplo, en el caso de la zona céntrica en la Avenida Domingo Paz los aforos de esta calle se hicieron en junio del 2017, cuando uno de sus accesos estaba bloqueado por motivo de la construcción del nuevo mercado; ahora que ésta empieza a operar, las condiciones serán distintas y los aforos efectuados quedarán obsoletos. Es necesario mantener siempre la información vial actualizada, para así poder vigilar siempre las condiciones del tránsito.

Es importante para el desarrollo del proyecto, el adecuado registro de los datos de campo, ya que esta información resulta clave para el objetivo de estudio del funcionamiento de la red vial, Por lo tanto, para este proceso se debe de contar con el apoyo de personas capacitadas en el tema.

En ciudades densas, debe de tenerse disponible siempre la más alta tecnología en la operación del tránsito. Hoy en día esta tecnología puede encontrarse en los semáforos adaptativos, ya que brindarán siempre las mejores condiciones de operación. Cuando este método sea rebasado se propondría el pensar en otras soluciones, que pueden ir desde la infraestructura, hasta la logística urbana.

Cabe decir también que la microsimulación es considerada la herramienta más precisa en la actualidad para abordar a los temas de la Ingeniería de Tránsito. Ésta arroja resultados muy precisos y prácticos para aplicar en el campo. Los programas de microsimulación se desarrollan en diferentes partes del mundo y se utilizan criterios locales para el desarrollo de estos softwares, Vissim es un programa desarrollado en Alemania, es de los más reconocidos mundialmente y ha servido ampliamente para los ingenieros de tránsito y urbanistas de varios países, sin embargo es importante hacer conciencia sobre esto último que se ha mencionado, las condiciones en Alemania pueden ser muy diferentes a las de nuestro país. Si en Bolivia se desarrollara un programa de microsimulación seguramente se tendrían facilidades para asemejar el comportamiento de los vehículos más a lo que ocurre día a día, logrando cosas que cotidianamente pasan sólo en Bolivia.

Finalmente, con el fin de poder representar de la mejor manera la red vial en el software Vissim o en otro programa computacional, se debe de analizar los resultados que se obtienen en el transcurso de la construcción del modelo microscópico, es decir, verificar si los valores obtenidos son acorde con lo del campo para poder evitar una posterior acumulación de errores , los cuales podrían ser notorios en el análisis de los resultados y finalizar en conclusiones erróneas para el proyecto estudiado.