

CAPITULO I
INTRODUCCION

1.1. INTRODUCCION

En los últimos años se ha puesto en evidencia el crecimiento poblacional de la ciudad de Tarija, el cual se demuestra en el crecimiento del parque automotor y sus consecuencias en arterias principales de tráfico vehicular, para ello se observa la necesidad de hacer nuevos estudios para la implementación de vías o estructuras que ayuden con el descongestionamiento vehicular.

Con la necesidad de mejorar la circulación de vehículos y evitar el congestionamiento de tráfico vehicular, se vio la importancia de la construcción de dos nuevos puentes, el puente 4 de Julio y el puente Isaac Attie, para la redistribución del tráfico vehicular en la zona del puente San Martín, ya que el mismo se ha excedido en su capacidad por el gran flujo de tráfico vehicular existente.

Este estudio de aplicación consiste en una modelación virtual con los dos nuevos puentes a construir, mostrando una nueva distribución de tráfico vehicular, que busca mejorar la circulación de vehículos y minimizar el congestionamiento vehicular.

Este estudio se realizará utilizando métodos de aforo para determinar el volumen de circulación de vehículos, el cual nos ayudará a conocer la factibilidad de estos nuevos puentes, tomando en cuenta que la construcción de los mismos tiene la finalidad de contribuir a la sociedad con nuevas alternativas de circulación vehicular y peatonal de manera que estas sean más rápidas y seguras.

1.2. JUSTIFICACION

La construcción de dos nuevos puentes busca solucionar de raíz el problema de tráfico vehicular entre los distritos 7 y 13 de la ciudad de Tarija.

Los puentes 4 de Julio e Isaac Attie, responden a las necesidades de tráfico vehicular y peatonal, dotando de mejores condiciones de infraestructura vial a la ciudad de Tarija.

En los últimos 15 años, Tarija ha crecido de manera desproporcional y desordenada, registrando un crecimiento poblacional acelerado, hoy ese crecimiento se traduce en un movimiento vehicular y peatonal, bastante significativo, lo que hace que se presenten conflictos para los distritos que se encuentran en el margen derecho del río Guadalquivir.

La realización de este estudio, implica conocer la nueva distribución de tráfico vehicular en esta zona y la factibilidad de estos puentes, mediante los métodos de aforos aprendidos con enseñanzas académicas y es de gran aporte a la población ya que con este estudio se mostrará la nueva distribución y circulación del tráfico vehicular, la cual busca solucionar el problema de tráfico vehicular que se presenta en esta zona en la actualidad.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. Situación problemática

En la zona del Puente San Martín se presenta un gran problema de congestionamiento vehicular, debido a una serie de factores que en la actualidad se observan con gran incidencia en el problema del tráfico vehicular. Uno de ellos es el incremento considerable de volumen de tráfico vehicular que circula por la zona, el cual viene por consiguiente al crecimiento poblacional existente en la ciudad de Tarija.

Al incrementarse el volumen de tráfico vehicular, este factor interviene directamente en la capacidad vial, tanto en las vías de circulación próximas al puente San Martín, como en los carriles de circulación de dicho puente.

La falta de semaforización en distintos puntos de importancia en las rotondas que se conectan con el puente, influye en el comportamiento del tráfico vehicular, tomando en cuenta la falta de zonas de espera que ocasionan las colas prolongadas de vehículos en las intersecciones.

También se debe considerar, la existencia de paradas de vehículos de transporte público y la circulación de camiones o vehículos pesados, los cuales ocasionan demoras en el recorrido y reducen los anchos de carril que disminuyen la fluidez del movimiento del tráfico vehicular en la zona.

1.3.2. Problema

El puente San Martín ya cumplió con su periodo de vida o de diseño y debido al gran crecimiento poblacional, se evidencia la circulación de altos volúmenes de tráfico vehicular que circulan por la zona, ocasionan una fluidez de circulación del tráfico vehicular inestable o forzada en horas pico principalmente, debido a los diferentes volúmenes que desembocan en una sola vía o acceso pertenecientes a las rotondas que se

conectan al puente San Martín. Los accesos a dicho puente y vías circundantes se ven rebasadas de manera considerable en su capacidad vial y así mismo se observan niveles de servicios que nos muestran el problema de tráfico vehicular importante en la zona.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

- Analizar mediante una modelación virtual la redistribución del tráfico vehicular en la zona del barrio San Martín tomando en cuenta la inclusión del puente 4 de Julio e Isaac Attie.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar el problema de tráfico vehicular en la zona del Puente San Martín.
- Realizar aforos de volúmenes de tráfico vehicular con el método manual para obtener los volúmenes de tráfico vehicular promedio horario en cada intersección.
- Realizar aforos de tiempo por el método del cronómetro para determinar la velocidad en cada uno de los accesos y tramos que tienen confluencia con el puente San Martín.
- Aportar con nuevas técnicas de estudio de circulación tráfico vehicular mediante una modelación virtual haciendo uso del programa informático PTV Vissim Versión 8.
- Realizar la modelación virtual de la nueva distribución de tráfico vehicular en la zona del puente San Martín, con el programa PTV Vissim versión 8 incluyendo los puentes 4 de Julio e Isaac Attie incluidos.
- Evaluar los resultados de volúmenes, velocidades, capacidad y nivel de servicio través de un análisis de cada una de las intersecciones estudiadas.
- Demostrar mediante la modelación virtual, la situación actual en esta zona partiendo de datos reales obtenidos de aforos manuales realizados en varios días y tomando como datos representativos las horas pico donde se evidencia el congestionamiento vehicular en esta zona.
- Plantear posibles alternativas de solución tomando en cuenta los factores que intervienen en el problema de congestionamiento de tráfico vehicular existente en la zona a partir del análisis realizado de los datos aforados y de los resultados obtenidos al hacer el procesamiento de nuestros datos.

1.5. DISEÑO METODOLOGICO

1.5.1. Unidades de estudio y decisión muestral

Unidades de estudio. - La unidad de estudio comprende todos los estudios sobre los volúmenes y velocidades de tráfico vehicular a partir de aforos manuales, determinación de capacidad vial y nivel de servicio.

Población. - En la población se tomará en cuenta la zona del puente San Martín que conecta al distrito 7 y 13 de la ciudad de Tarija.

Muestra. - La muestra para realizar el estudio de tráfico vehicular son las vías y accesos que se conectan con el puente San Martín.

Muestreo. - Los puntos de muestreo están identificados en 33 puntos de aforo distribuidos en toda la zona de estudio con mayor importancia para la obtención de datos.

1.5.2. Métodos y técnicas empleadas para la obtención de datos

Para los aforos de volúmenes y velocidades se emplearán técnicas y métodos recomendados por el manual HCM versión 1985, normas para el Diseño de Calles y Avenidas del Manual de diseño geométrico de la ABC 2007 y las de AASHTO 1994 (A'94).

Para los aforos de volúmenes se realizó con el método manual tomando en cuenta las diferentes variables como el tipo de vehículo (vehículos particulares, micros y camiones).

Para el aforo de velocidades, se utilizó el método del cronómetro haciéndose una medición por lo menos a 15 vehículos durante el periodo de 1 hora. Esta medición se hizo en una distancia de recorrido de 25 metros.

1.5.3. Descripción de los instrumentos para la obtención de datos

Los instrumentos que se utilizará, para la obtención de datos serán los siguientes:

Plano. - Para determinar las ubicaciones de los puntos de aforo.

Cámara fotográfica. – Instrumento que permitirá tomar fotografías de la zona de estudio.

Planilla de aforos. - Es donde se suministra toda la información general que se requiere.

Cronómetro. - Instrumento para controlar los intervalos de tiempo que recorre el vehículo en una distancia de 25 metros.

Cinta métrica. - Material que nos permite medir la longitud de un punto a otro punto.

Calculadora. - Instrumento que nos ayuda a realizar cálculos necesarios en los puntos de aforo.

Computadora. - Instrumento donde se realizará el contenido de este estudio además de procesar los datos obtenidos en campo y así hacer un análisis para obtener resultados más precisos.

1.5.4. Procedimiento para la toma de muestras

Los métodos utilizados para la toma de muestras de volúmenes y tiempos, se presentan a continuación.

Método manual para el aforo de volúmenes. - Este método considera que el conteo de vehículos es realizado de forma manual, por uno o varios observadores quienes en base a una planilla preestablecida realizan el conteo de vehículos en un punto de aforo definido y en tiempos determinados.

La ventaja de este método está en que el aforo se puede hacer más completo, tomando en cuenta distintas variables como ser el tipo de vehículo, su clasificación y las diferentes direcciones que tomen los mismos.

Método del cronómetro para aforos de tiempos para cálculo de velocidades. - Para este método se utiliza generalmente dos operadores, el primero en la entrada al tramo de estudio provisto de algún dispositivo para dar una señal al otro operador en el momento que el vehículo ingrese. En ese momento el segundo operador accionará el cronómetro y tomará el tiempo en que el vehículo transite desde el punto de inicio al punto final del tramo.

1.5.5. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información

Tratamiento de los datos (empleo de la estadística). - Para el tratamiento de datos para el cálculo del TPH y la velocidad se utilizará según la norma AASHTO, el indicador estadístico como la media aritmética, la desviación estándar y los rangos de depuración,

nos servirá para para obtener datos precisos y con mayor representatividad a la hora de realizar cálculos e interpretación de resultados.

Las ecuaciones de los indicadores estadísticos son las siguientes:

Media aritmética

$$x = \frac{\sum Xi}{N}$$

Donde:

X= Media aritmética

Xi= Valores de la variable X

N= Número de valores observados

Desviación estándar

$$S = \sqrt{\frac{\sum (Xj - X)^2}{N - 1}}$$

Donde:

S= Desviación estándar

X= Media aritmética

Xj= Valores de la variable X

N= Número de valores observados

Rango de depuración optima

$$X \pm \sigma$$

Donde:

X= Media aritmética

σ = Desviación estándar

1.6. ALCANCE

El tráfico vehicular en la zona estudiada ha ido aumentando con el paso del tiempo por la necesidad de los usuarios para poder transportarse, es así que el tráfico vehicular puede causar problemas e interrupciones dentro de la zona estudiada por la gran acumulación de

vehículos y también se debe a que no existen vías o accesos alternativos para la circulación vehicular.

El estudio del tráfico vehicular en la zona se apreciará por el comportamiento de los vehículos por medio de una modelación virtual, en la cual se mostrará los problemas que se pueden presentar en las vías de la zona en las horas picos de tráfico vehicular del día en donde los usuarios se dirigen a sus distintas actividades.

Se estudiará sobre el conocimiento general de los elementos del tráfico vehicular: usuario, vía y vehículo, más sus características y tipos de cada elemento; los parámetros esenciales del tráfico vehicular, que para este estudio de aplicación son la velocidad y el volumen de tráfico vehicular; la capacidad y el nivel de servicio. En la capacidad se verá la capacidad en vías interrumpidas, el método de cálculo de capacidades como ser el método según el manual del HCM versión 1985 tomando en cuenta las consultas necesarias a otros métodos que indica la bibliografía consultada e identificada; y en el nivel de servicio los diferentes tipos de niveles de servicio de las vías en estudio.

Se hará la medición de los parámetros del tráfico vehicular, la velocidad será medida en campo la cual representa la velocidad de punto y para el volumen tomará los datos de aforos que nos servirán para poder realizar el cálculo de la capacidad y el nivel de servicio en cada una de las vías estudiadas.

La medición de velocidades y aforo de volúmenes se realizará en puntos estratégicos o de mayor relevancia ubicados en los alrededores del Puente San Martín, los cuales nos servirán como información básica para el cálculo de la capacidad vial y el nivel de servicio tanto en los carriles de dicho puente como en sus accesos.

Los datos proporcionados en el estudio de campo, son la información básica que nos mostrará la situación actual y real de la congestión, por lo que, mediante la modelación virtual, se mostrará una nueva distribución del tráfico vehicular buscando exponer una redistribución que se asemeje a lo que se verá en la realidad incluyendo los dos nuevos puentes a construir (Puente 4 de Julio y Puente Isaac Attie).

También se hará un análisis teniendo ya incluidos estos puentes, análisis que nos servirá para ver el nuevo comportamiento del tráfico vehicular y asimismo se hará el análisis a otras vías circundantes, las cuales llevan a conectarse con estos nuevos puentes ya que es

muy importante hacer un análisis más a profundidad teniendo en cuenta tanto la situación actual como la situación futura, con los puentes construidos y con sus respectivos accesos.

Concluido este estudio de aplicación, se obtendrán resultados de cada parámetro de tráfico vehicular en estudio como también la capacidad y nivel de servicio de cada carril del puente San Martín y sus respectivos accesos. Estos resultados nos ayudarán a analizar los parámetros de la toma de decisiones para elegir las posibles alternativas de solución, las cuales están relacionadas a la ingeniería de tráfico aplicable en la zona, en función a los niveles de servicio obtenidos y buscar posibles soluciones recomendadas en cuanto a los elementos como ser: ancho de carril, posición de los puentes, geometría de las vías, etc.

Las alternativas de solución están previstas tomando en cuenta que el problema de tráfico vehicular en esta zona es evidente, los cuales serán demostrados con resultados obtenidos de datos reales. Estas alternativas de solución pueden ser: modificaciones físicas a los accesos en la rotonda ubicada sobre la avenida las Américas, que en este caso viene a ser ampliación de ancho de calzada y aplicación de la educación vial direccionando el tráfico por carriles obligatorios.

CAPITULO II
INGENIERIA DE TRAFICO

2.1 DEFINICION DE INGENIERIA DE TRAFICO

La ingeniería de tráfico vehicular es la ciencia que se encarga de estudiar, analizar y buscar soluciones para que la interrelación entre usuarios, peatones y conductores, vehículos privados y públicos y vías carreteras y calles, puedan permitir una circulación adecuada y que de seguridad a los usuarios.

2.2. PROBLEMA DEL TRAFICO

El flujo de tráfico vehicular ha ido en aumento de manera considerable con el paso del tiempo y todo indica que seguirá agravándose, constituyendo un peligro sobre la calidad de vida urbana. Su principal manifestación es la progresiva reducción de las velocidades de circulación, que se traduce en incrementos de tiempos de viaje, de consumo de combustibles, de otros costos de operación y de contaminación atmosférica, con respecto a un flujo vehicular libre. La congestión es causada principalmente por el uso intensivo del automóvil. El automóvil posee ventajas en términos de facilitar la movilidad personal, y otorgar sensación de seguridad y aún de estatus especialmente en países en vías de desarrollo. Sin embargo, es poco eficiente para el traslado de personas, al punto que cada ocupante produce en las horas punta unas 11 veces la congestión atribuible a cada pasajero de bus. La situación se ve agravada en la región debido a problemas de diseño y conservación en la vialidad, estilo de conducción que no respeta a los demás, defectuosa información sobre las condiciones del tráfico vehicular y gestión inapropiada de las autoridades competentes, muchas veces fragmentadas en una multiplicidad de entes.

Los efectos perjudiciales de la congestión recaen directamente sobre los vehículos que circulan. Pero además de los automovilistas, sufren su efecto los pasajeros del transporte colectivo, generalmente personas de ingresos menores, que no sólo se ven atrasados en sus desplazamientos, sino que a causa de la congestión ven incrementados los valores de las tarifas que pagan. Además, reciben perjuicios todos los habitantes de las urbes, en términos de deterioro de su calidad de vida en aspectos tales como mayor contaminación acústica y atmosférica, impacto negativo sobre la salud y sostenibilidad de las ciudades a largo plazo, todo lo cual hace necesario mantener la congestión bajo control.

2.3. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL ANALISIS DEL PROBLEMA DEL TRAFICO

Se identifican los siguientes factores al momento de buscar cualquier intento o alternativa de solución:

Diferentes tipos de vehículos en el mismo camino

- a) Automóviles.
- b) Camiones y autobuses de alta velocidad.
- c) Camiones pesados de baja velocidad, algunos incluyen remolques.

Superposición del tráfico vehicular motorizado en caminos inadecuados

- a) Relativamente pocos cambios en el trazo urbano.
- b) Calles angostas, torcidas y fuertes pendientes.
- c) Aceras insuficientes.
- d) Caminos que no han evolucionado.

Falta de planificación de tránsito

- a) Calles, caminos y puentes que se sigue construyendo con especificaciones anticuadas.
- b) Intersecciones proyectadas sin bases técnicas.
- c) Prevención casi nula para estacionamientos.
- d) Falta de obras complementarias del camino.

El automóvil no considerado como necesidad pública

- a) Falta de apreciación de las autoridades sobre la necesidad del vehículo dentro de la economía del transporte.
- b) Falta de apreciación del público en general a la importancia del vehículo automotor.

Falta de asimilación por parte del gobierno y el usuario

- a) Legislación y reglamentos de tránsito anacrónicos y que tienden a forzar más al usuario a los mismos, que adaptarse a las necesidades del usuario.
- b) Falta de educación del público en general a la importancia del vehículo automotor.

2.4. TIPOS DE SOLUCION

Si el problema del tráfico vehicular nos causa pérdidas de vidas y bienes, o sea que equivale a una situación de falta de seguridad para las personas y de ineficiencia económica del transporte, la solución, la obtendremos haciendo el tráfico vehicular más seguro y eficiente.

Hay tres tipos de solución que podemos dar al problema del tráfico vehicular:

Solución integral. - Identificando el problema de tráfico vehicular, ya sea en áreas urbanas o en carreteras, la primera idea de la ingeniería de tráfico vehicular es conseguir una solución definitiva al problema y para ello se tendría que buscar una solución integral que, por su puesto sería de muy alto costo, pero en contra posición sería la solución definitiva.

Si nuestro problema es causado por un vehículo moderno sobre caminos antiguos, la solución integral consistirá en crear nuevos tipos de caminos que sirvan a este vehículo, dentro de la previsión posible. Necesitaremos crear ciudades con trazo nuevo, revolucionario; calles destinadas a alojar al vehículo de motor, con todas las características inherentes al mismo.

Solución parcial de alto costo. - Esta solución equivale a sacar el mejor partido posible de lo que actualmente tenemos, con ciertos cambios necesarios que requieren fuertes inversiones. Los casos críticos, como calles angostas, cruces peligrosos, obstrucciones naturales, capacidad restringida, falta de control en la circulación, etc., pueden atacarse mediante la inversión necesaria que es, siempre muy elevada. Entre las medidas que pueden tomarse están: el ensanchamiento de calles, modificar intersecciones rotatorias, creación de intersecciones canalizadas, sistemas de control automático con semáforos, estacionamientos públicos y privados, etc.

Solución parcial de bajo costo. - Una solución de bajo costo podemos considerarla de punto parcial, es decir no soluciona definitivamente el problema de tráfico vehicular, pero conjuntamente es una solución que está basada en el aprovechamiento máximo de las condiciones físicas existentes, con el mínimo de obra material y el máximo en cuanto a regulación funcional del tráfico vehicular, a través de técnica depurada, así como disciplina y educación por parte del usuario. Incluye, entre otras, la legislación y

reglamentación adaptadas a las necesidades del tráfico vehicular, las medidas necesarias de educación vial, el sistema de calles con circulaciones en un sentido, el estacionamiento de tiempo limitado, el proyecto específico y apropiado de señales de tráfico vehicular y semáforos y la canalización del tráfico vehicular a bajo costo.

2.5. BASES PARA UNA SOLUCION

De cualquier manera, la experiencia muestra que en cualquier tipo de solución deberán existir distintas bases de solución en las cuales apoyarse, como ser:

2.5.1. Ingeniería de tráfico vehicular

Es el punto más importante dentro de la base de soluciones, es la que está obligada a realizar los estudios técnicos necesarios y a partir del análisis de estos se plantea soluciones reales y adecuadas al problema existente. Es aquí donde participa en forma decidida el Ingeniero de Tráfico quien debe recabar la mayor información posible de las condiciones de circulación actual.

Se deben plantear soluciones según la situación actual haciendo una proyección futura dependiendo de la problemática y de las condicionantes que causen el congestionamiento vehicular. Para ello se puede plantear la construcción de puentes, pasos a desnivel, mejoramiento o construcción de accesos y vías alternativas, cambios de sentidos en algunas vías y restricción de circulación en vías con su capacidad rebasada.

2.5.2. Educación vial

Es un pilar importante porque el conjunto de usuarios, ya sean estos peatones o conductores, deben tener un mínimo de educación vial que les permita un mejor accionar dentro de los flujos vehiculares y peatonales ya que es frecuente que los usuarios cometan errores e infracciones que son causas de accidentes y por lo general perjudican la norma de circulación vehicular y peatonal en calles y carreteras.

2.5.3. Reglamentación y normativa

La circulación vehicular y peatonal requiere de normas y reglamentos que son adecuadas a las condiciones de las vías y a las características de los vehículos que circulan además de las necesidades del usuario.

Estos reglamentos y normas deben ser puestos en vigencia y revisados periódicamente de acuerdo a la evolución que vaya teniendo el tráfico vehicular para tratar en lo posible que estén acordes a las condiciones actuales y reales.

2.5.4. Vigilancia y dispositivos de control de tráfico vehicular

En este punto hace referencia a que es muy importante el uso de dispositivos de control de tráfico vehicular en lugares conflictivos donde el tráfico vehicular sea un caos, así también es necesaria la presencia de efectivos policiales, los cuales estén capacitados para resolver el tema de la pobre circulación de vehículos en zonas de gran congestionamiento vehicular.

2.6. METODOLOGIA DE ESTUDIO

Para buscar la solución más lógica y práctica debemos seguir estos 4 pasos necesarios para el estudio:

2.6.1. Recopilación de información

En esta recopilación de datos son precisamente las estadísticas, los informes oficiales, aforos, mediciones y encuestas de relevamiento. Los periodos de recolección de información pueden ser variables, sin embargo, la recomendación es la siguiente: Si las condiciones operativas y presupuestarias nos dan la posibilidad, esta recolección de información debe tener un tiempo de un año considerando todos los días del año, esto permitirá tener datos históricos en todas las temporadas del año y en todas las horas del día. En la mayoría de los casos no siempre es posible esta resolución porque demanda de muchos recursos económicos y humanos, lo más frecuente desde la recolección de la información se realiza periodos menores que pueden ser de un mes hasta de una semana tomando en cuenta días hábiles y no hábiles.

Es también posible reducir las horas de recolección de información dentro de cada día tomando el criterio de las horas picos existentes en el día, las cuales sean las más representativas.

2.6.2. Procesamiento de la información

Una vez que se termine con la recolección de la información para los diferentes estudios que van a englobar el estudio de tráfico vehicular, se debe realizar el correspondiente

procesamiento de información, dependiendo del tipo de información; si son aforos, mediciones, encuestas, etc., estas tendrán que ser procesadas totalmente y apoyado en la herramienta de la estadística, se hará la depuración correspondiente.

Las ecuaciones de los indicadores estadísticos son las siguientes:

Media Aritmética

$$x = \frac{\sum Xi}{N}$$

Donde:

X= Media Aritmética

Xi= Valores de la variable X

N= Número de valores observado

Desviación Estándar

$$S = \sqrt{\frac{\sum(Xj - X)}{N - 1}}$$

Donde:

S= Desviación Estándar

X= Media Aritmética

Xj= Valores de la variable X

N= Número de valores observados

Rango de depuración óptima

$$X \pm \sigma$$

Donde:

X= Media Aritmética

σ = Desviación estándar

2.6.3. Análisis de la información procesada

En esta etapa se establecen las causas técnicas que originan el problema de manera que identificadas las causas se pueda establecer claramente qué solución se debe adoptar y a qué variable se debe analizar a profundidad.

En este análisis se observa tanto la situación actual como la situación que se tendría al tener los dos puentes obtenidos, tomando en cuenta herramientas necesarias que ayuden con los cálculos y herramientas que nos muestre de manera virtual los datos procesados, como ser el programa PTV Vissim versión 8.

2.6.4. Planteamiento de soluciones

Una vez concluido con el análisis, el siguiente paso es el planteamiento de la solución o las posibles soluciones que en realidad constituyen el logro del objetivo del estudio, para ello debemos basarnos en el análisis y estudio realizado para llegar a este punto.

2.7. ELEMENTOS DEL TRAFICO

Existen 3 elementos básicos que componen la Ingeniería de tráfico vehicular que son:

2.7.1. El usuario

Es muy importante tener en cuenta el comportamiento del usuario para la planeación, estudio, proyecto y operación de un sistema de transporte automotor.

El usuario está relacionado con los peatones y conductores, que son los elementos principales a ser estudiados para mantener el orden y seguridad de las calles y carreteras.

2.7.1.1. El peatón

Peatón es considerado a toda la población en general, son todas aquellas personas desde un año hasta cien años de edad.

En la mayoría de los casos las calles y carreteras son compartidos por los peatones y vehículos, excepto en las Autopistas, donde el tráfico vehicular de los peatones es prohibido. Los accidentes sufridos por peatones se deben a que no respetan las zonas destinadas a ellos, ya sea por falta de conocimiento u otro factor. Por lo tanto, se deberá estudiar al peatón no solamente por ser víctima, sino porque también es una de las causas, para la cual es necesario conocer las características del movimiento de los peatones y la influencia que tienen ciertas características como ser la edad, sexo, motivo de recorrido, etc.

2.7.1.2. El conductor

El conductor constituye el elemento de tráfico vehicular más importante, ya que el movimiento y calidad de circulación de los vehículos dependerá fundamentalmente de ellos para adaptarse a las características de la carretera y de la circulación.

Para el estudio de los conductores es necesario conocer el comportamiento o factores que influyen en sus condiciones físicas y psíquicas, sus conocimientos, su estado de ánimo, etc.

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

- a) Para un vehículo sin movimiento un tiempo promedio de 0.25 seg., por ejemplo, el tiempo de reacción para arrancar el vehículo cuando el semáforo cambia de rojo a verde.
- b) Para un vehículo sin movimiento en semáforos aislados un tiempo de 0.25 seg.
- c) Para un vehículo en movimiento en semáforos aislados un tiempo de 0.83 seg.

2.7.2. El vehículo

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

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

Según el Manual de diseño de Calles para las ciudades bolivianas, se clasifican a los vehículos, para objeto de estudio, de la siguiente manera:

Vehículo privado y taxi

Camión

Minibús y micro

Motocicletas

Bicicletas

2.7.3. La vía o viabilidad

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

La vía es una infraestructura de transporte especialmente acondicionada dentro de toda una faja de terreno, con el propósito de permitir la circulación de vehículos de manera

continua en el espacio y en el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y comodidad. El elevado nivel de vida de un país se relaciona con un excelente sistema vial o viceversa.

2.7.3.1. Clasificación de las vías

2.7.3.1.1. Según su competencia

Carreteras nacionales. - Son aquellas a cargo de la ABC.

Carreteras departamentales. - Son aquellas de propiedad de los departamentos y forman la red secundaria de carreteras.

Carreteras veredales o vecinales. - Son aquellas vías a cargo del Servicio de Caminos Vecinales y forman la red terciaria de carreteras.

Carreteras distritales y municipales. - Son aquellas vías urbanas y/o suburbanas y rurales a cargo del distrito o municipio.

2.7.3.1.2. Según sus características

Autopistas. - Es una vía de calzadas separadas cada una con dos o más carriles, con control total de accesos. Las entradas y salidas de las autopistas se realizan únicamente a través de intersecciones a desnivel comúnmente llamados distribuidores.

Carreteras multicarriles. - Son carreteras divididas o no, con dos o más carriles por sentido, con control parcial de accesos. Las entradas y salidas se realizan a través de intersecciones a desnivel y a nivel.

Carreteras de dos carriles. - Constan de una sola calzada de dos carriles, uno por cada sentido de circulación, con intersecciones a nivel y acceso directo desde sus márgenes.

2.7.3.1.3. Según el tipo de terreno

Carreteras en terreno plano. - Es la combinación de alineamientos horizontal y vertical, que permite a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad que la de los vehículos livianos.

Carreteras en terreno ondulado. - Es la combinación de alineamientos horizontal y vertical, que obliga a los vehículos pesados a reducir sus velocidades significativamente

por debajo de la de los vehículos livianos, sin ocasionar que aquellos operen a velocidades sostenidas en pendiente por un intervalo de tiempo largo.

Carreteras en terreno montañoso. - Es la combinación de alineamientos horizontal y vertical, que obliga a los vehículos pesados a circular a velocidad sostenida en pendiente a lo largo de distancias considerables o durante intervalos frecuentes.

Carreteras en terreno escarpado. - Es la combinación de alineamientos horizontal y vertical, que obliga a los vehículos pesados a operar a menores velocidades sostenidas en pendiente que aquellas a la que operan en terreno montañoso, para distancias significativas o a intervalos muy frecuentes.

2.7.3.1.4. Según su función

Carreteras principales o de primer orden. - Son aquellas vías troncales, transversales y de accesos a capitales de departamento, que cumplen la función básica de integrar las principales zonas de producción y de consumo del país y de este con los demás países.

Carreteras secundarias o de segundo orden. - Son aquellas vías que unen cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una principal.

Carreteras terciarias o de tercer orden. - Son aquellas vías de acceso que unen cabeceras municipales con sus veredas entre sí.

2.7.3.1.5. Según la velocidad de diseño

La velocidad de diseño o velocidad de proyecto se define como la máxima velocidad segura y cómoda que puede ser mantenida en un tramo determinado de una vía, cuando las condiciones son tan favorables y que las características geométricas de la vía gobiernan la circulación. La velocidad de diseño define las características geométricas mínimas de todos los elementos del trazado, en condiciones de control y seguridad.

En la siguiente tabla se establecen los rangos de las velocidades de diseño que se debe utilizar en función del tipo de carretera según la definición legal y el tipo de terreno.

Tabla 1: Clasificación por velocidades

Tipo de carretera	Tipo de terreno	Velocidades de diseño (km/h)												
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120			
Carretera Principal de dos calzadas	Plano													
	Ondulado													
	Montañoso													
	Escarpado													
Carretera Principal de una calzada	Plano													
	Ondulado													
	Montañoso													
	Escarpado													
Carretera Secundaria	Plano													
	Ondulado													
	Montañoso													
	Escarpado													
Carretera Terciaria	Plano													
	Ondulado													
	Montañoso													
	Escarpado													

Fuente: Diseño geométrico de carreteras de James Cárdenas Grisales

2.8. INGENIERIA DE TRAFICO

Existen varios parámetros, características y conceptos que debemos tomar en cuenta para un estudio minucioso del tráfico vehicular en la zona estudiada, las cuales presentamos a continuación:

2.8.1. Velocidad

En general, el término velocidad se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo. Es decir, para un vehículo representa su relación de movimiento, generalmente expresada en kilómetros por hora.

Los métodos de aforo y procedimiento de recolección de datos, se analizan según recomendaciones del manual HCM versión 1985, Norma Boliviana de Carreteras de la ABC y la norma AASHTO.

2.8.1.1. Métodos de aforo

Para medir la velocidad de punto se pueden utilizar varios métodos, pero para este estudio de aplicación se usó el más común que sugieren la bibliografía referenciada, en la que se tiene:

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

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

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

En gabinete, se define principalmente el diseño de la planilla para los aforos que realizan los observadores en el campo. Se tendrá bien identificados las casillas de la longitud del tramo, composición vehicular, fecha, hora, clima y observaciones del tiempo en segundos.

En el campo o en el sitio de estudio: la longitud del tramo debe ser definida con precisión, puede usarse un tramo de 25 m, por la conveniencia de convertir metros por segundo a kilómetros por hora; la que deberá ser marcado, en la calzada, si es preciso con pintura.

La ubicación de los estudios de control o aforos será en zonas necesarias para el estudio; por ejemplo, si se lo realiza en una vía urbana, deberá estar en:

Rectas prolongadas

Principio de curvas

Zonas con pendiente elevada.

Ingreso a puentes o zonas de riesgo (como caminos angostos, etc.).

Zonas de poca visibilidad.

Intersecciones de carreteras.

Ingreso a poblaciones.

Los dos observadores se ubican en cada extremo del tramo medido para el estudio, uno de ellos sólo se encarga de dar la señal de paso del vehículo por el punto de control (cuando el aforo es realizado en un sentido); el otro ante esta señal del compañero, acciona el cronómetro y lo detiene cuando pasa por el punto de control donde se encuentra ubicado, es también el quien registra el tiempo que tarda y tipo de vehículo que pasa en las hojas de campo.

La característica principal en este tipo de velocidad, es que la distancia definida se toma al vehículo que va a recorrerla en flujo libre, sin interferencia ni demoras. La determinación de la velocidad de punto, dentro del estudio de la ingeniería de tráfico vehicular, nos permite definir las velocidades medias de circulación en zonas urbanas.

Aforos y procesamiento. - Primeramente, se diseña las planillas para los aforos según las necesidades en la que principalmente se detalla los tipos de vehículos: camiones, micros y vehículos particulares. Además de ubicación y longitud del tramo, como muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2: Planilla de velocidad

Operador.....

Fecha.....Clima.....Hora.....

25m- 0.05km	Tiempo seg.	Velocidad km/h	Tiempo seg.	Velocidad km/h	Tiempo seg.	Velocidad km/h	promedio
1							
2							
3							

Observaciones.....

Fuente: Elaboración propia

2.8.2. Volumen de tráfico vehicular

Se define como volumen de tráfico vehicular a la cantidad de vehículos que circulan en una vía en un periodo de tiempo determinado que normalmente se toma 1hr, 1 día dando origen a un nuevo concepto de tráfico vehicular promedio diario y tráfico vehicular promedio horario respectivamente.

Los métodos de aforo y procedimiento de recolección de datos, se analizan según recomendaciones del manual HCM versión 1985, Norma Boliviana de Carreteras de la ABC y la norma AASHTO.

2.8.2.1. Métodos de aforo de volumen

2.8.2.1.1. Método manual

Este método de aforo consiste en el llenado de planillas elaboradas de acuerdo al tipo de datos a recabar en la vía, a cargo de una o varias personas. Los tipos de datos pueden ser:

- a) Composición vehicular
- b) Flujo direccional y por carriles
- c) Volúmenes totales

El tiempo de aforo pueden ser periodos de una hora o menos, un día, un mes o un año.

2.8.2.1.2. Método mecánico

Se realiza mediante dispositivos mecánicos instalados en la vía, estos dispositivos son:

Detectores neumáticos. - Consiste en un tubo neumático colocado en forma transversal sobre la calzada que registra mediante impulsos causados por las ruedas de los vehículos el conteo de los ejes del mismo.

Contacto eléctrico. - Consiste en una placa de acero recubierta por una capa de hule que contiene una tira de acero flexible, que al accionar de las ruedas del vehículo cierra circuito y procede al conteo respectivo, con este dispositivo se pueden realizar conteos por carril y sentido.

Fotoeléctrico. - Consiste en una fuente emisora de luz colocada a un lado de la vía, realiza el conteo de vehículos cuando estos interfieren con la luz del dispositivo.

2.8.2.1.3. Encuestas de origen y destino

Se utilizan para recopilar datos sobre números y tipos de viajes incluyendo movimiento de vehículos y pasajeros, desde varias zonas de origen hacia zonas de destino. Se utiliza este tipo de encuestas para propósitos de planeación de mejoras o aperturas de vías. Se puede realizar este trabajo de distintas maneras:

Encuestas a conductores de vehículos. - Se consulta a los conductores el origen y destino de su trayectoria

Tarjetas postales a los conductores en movimientos. - Se entrega tarjetas a los conductores para que estos llenen los datos requeridos en la misma y la envíen a una casilla en particular.

Placas de vehículos. - Se registra los números de placas entre dos a más puntos del área de estudio.

Encuestas domiciliarias

Encuestas a pasajeros de transporte público.

2.8.2.2. Procedimiento de aforo

Como indica este método manual, primeramente, se hizo el diseño de planillas, identificando los tipos de vehículos que transitan por esta zona, como parte principal para nuestro estudio. Para identificar los puntos de control o de aforos se hizo un recorrido por todo el tramo en estudio como indica el plano, con la finalidad de encontrar intersecciones con otras vías; se registró los datos del operador, fecha, clima, observaciones.

Para realizar este estudio de volúmenes se tendrán que seguir tres etapas:

Equipamiento de los aforadores. - las personas que realicen este trabajo en el campo o zona de estudio de forma correcta y con la mayor precisión posible, tendrán como equipo:

Un tablero

Planillas de control

Lápiz y borrador

Un reloj cronómetro

Precisamente de acuerdo a las necesidades del estudio, ya que éstas servirán de base para el análisis. Los datos más importantes a registrar son: tipo de vehículos (camiones, buses, minibuses, automóviles, etc.) punto de control hora clima operador y observaciones, de ahí que el diseño de las planillas de control es muy importante. Luego se realiza un plan de trabajo, es decir, en un plano de planta se identifica los puntos donde se realizan los

aforos, el tiempo en que se lo realizará y la cantidad de personal que se trasladará a la zona de estudio.

Identificación de puntos de control o de aforo en la zona de estudio. - Una vez conocidos en el plano los puntos de control, la brigada o personal encargado de realizar este trabajo se traslada al campo para replantear el o los puntos exactamente como se indica en el plano, luego dependiendo de la calidad de puntos de control, el personal o las brigadas se instalan precisamente ahí a la hora y durante el tiempo necesario para el registro de los datos. Dependiendo del tipo de estudio, estos pueden ser realizados de forma diaria, día por medio, fines de semana, etc. las 24 horas y en turnos.

Tabulación de los datos registrados. - Una vez concluido el trabajo de campo, se hace una depuración de las planillas de control presentadas por el personal con la finalidad de verificar si han sido correctamente llenadas, luego se procede a la tabulación de los datos registrados, es decir estos serán transformados a datos “Diarios” y “Horarios” para su respectivo análisis de tráfico vehicular en el estudio que se está efectuando.

Tabla 3: Planilla de volúmenes

Operador.....Fecha.....Clima
Zona.....Observaciones.....

Hora	7a.m.-9:30 a.m.			17:30pm-20:00pm.		
	Rec	GI	GD	Rec	GI	GD
Camiones						
Micros						
Particulares						
TOTAL						

Fuente:

Elaboración propia

2.8.3. Capacidad

Concepto de capacidad vial. - En las fases de planeación, estudio, proyecto y operación de carreteras y calles, la demanda de tráfico vehicular, presente o futura, se considera como una cantidad desconocida. Una medida de la eficiencia con la que un sistema vial presta servicio a esta demanda es su capacidad u oferta.

La capacidad (q_{max}) se define como la tasa máxima de flujo que puede soportar una carretera o calle. De manera particular, la capacidad de una infraestructura vial es el máximo número de vehículos que pueden pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un intervalo de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del tráfico vehicular y de los dispositivos de control.

El intervalo de tiempo utilizado en la mayoría de los análisis de capacidad es de 15 minutos, debido a que se considera que éste es el intervalo más corto durante el cual puede presentarse un flujo estable.

La infraestructura vial, sea ésta una carretera o vía, puede ser de circulación continua o discontinua. Los sistemas viales de circulación continua no tienen elementos fijos externos al flujo de tráfico vehicular, tales como los semáforos, que produzcan interrupciones en el mismo. Los sistemas viales de circulación discontinua tienen elementos fijos que producen interrupciones periódicas del flujo de tráfico vehicular, tales como los semáforos, las señales de alto y otros tipos de regulación. Dependiendo del tipo de infraestructura vial a analizar, se debe establecer un procedimiento para el cálculo de su capacidad.

Para el análisis de este parámetro de tráfico vehicular, se ha establecido que las entidades investigadoras han realizado una subdivisión a partir del tipo de vías teniendo los siguientes tipos:

a) Vías ininterrumpidas

Se considera vías ininterrumpidas aquellas que dentro de su trazo por el cual circula el flujo vehicular no tienen interrupciones y si los hay son en escasa continuidad con relación a la longitud de recorrido en este tipo de vías están consideradas las autopistas, las carreteras multicarril y las carreteras de dos carriles.

De estas estudiaremos la capacidad vehicular de dos carriles tomando en cuenta que la red de carreteras en nuestro país, tienen un 98 % de este tipo.

b) Vías interrumpidas

Las vías interrumpidas son aquellos que, por la presencia de flujos transversales al flujo principal, son interrumpidas en forma periódica, en este caso están todas las vías urbanas,

porque normalmente el trazo urbano en las ciudades es de tipo cuadrado, con cuadras cada 100 metros teniendo al final de cada una de ellas, una intersección en la que permite un flujo transversal al flujo principal.

2.8.3.1. Determinación de la capacidad en vías interrumpidas con el método HCM de los EEUU versión 1985

Para la determinación de la capacidad en calles se ha establecido a partir de innumerables estudios que los lugares más críticos son los accesos de las intersecciones y es ahí donde se debe determinar la capacidad que se presentará a la capacidad de las calles.

Al igual que para la capacidad de carreteras el manual de capacidad HCM de la administración federal de los EEUU versión 1985 han determinado las bases para obtener los valores de capacidad y vías interrumpidas para ello se establece la siguiente metodología.

El procedimiento que se persigue para determinar la capacidad en las intersecciones tiene 3 etapas:

a) Determinación de la capacidad teórica o ideal

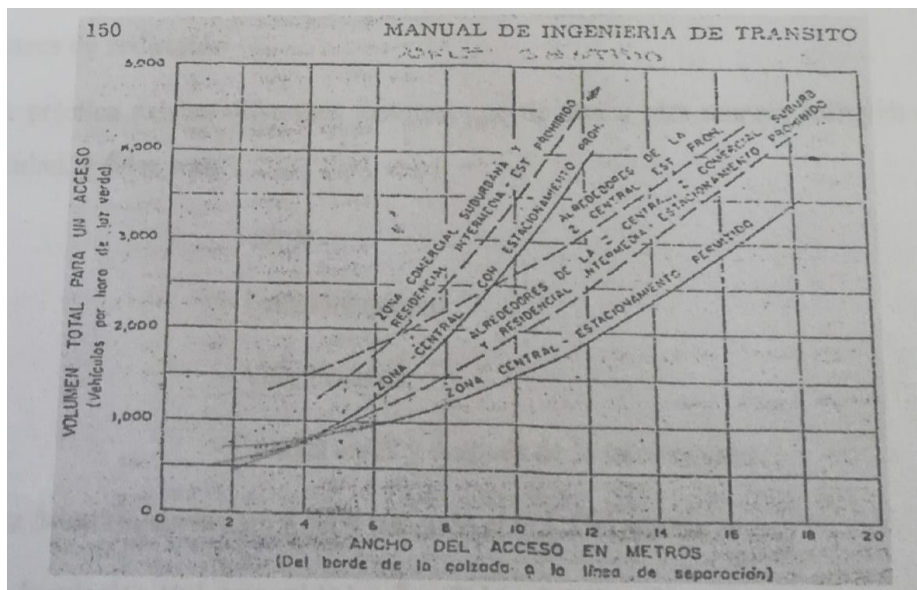
Se ha establecido a partir de varios estudios que se han desarrollado en varios tipos de intersecciones tomando en cuenta dos factores esenciales: el ancho del acceso y las características.

El ancho del acceso. - Es un elemento fundamental para determinar cuánto de capacidad puede tener el acceso. Cuanto mayor es el acceso mayor es la capacidad teórica.

Características funcionales. - Están básicamente en función a la disponibilidad de estacionamiento en los accesos y la ubicación de la intersección en el entorno del trozo urbano.

Es decir, si está en zona central, intermedia o periférica. Tomando estos dos factores se hace uso de ábacos ya establecidos tanto para calles de un sentido como de doble sentido con la cual se determina la capacidad teórica.

Figura 1: Anchos de acceso vs volumen



Fuente: Manual de Ingeniería de Tránsito de Raúl Palma Álvarez

b) Determinación de la capacidad práctica o posible

Se ha visto que la capacidad teórica puede tener variabilidad en el tiempo debido a otros factores o variables como las variaciones de flujo o volúmenes, variaciones de la condición de los accesos a los días, meses o épocas del año, motivo por el cual por seguridad, se ha establecido que hay una capacidad práctica o posible que es igual a 10% menos de la capacidad teórica, es decir, para tener la capacidad práctica se debe multiplicar un factor de 0.9 a la capacidad teórica.

$$Cap_{prac} = Cap_{teo} * 0.9$$

c) Determinación de la capacidad real

Las condiciones particulares de cada vía y en la de cada acceso hace que se establezca una capacidad real que es el producto de la capacidad práctica por una serie de factores de reducción que está dada por una metodología ya establecida.

Los factores de reducción más incidentes son los giros izquierda, giros derecha, paradas antes o después de la intersección, estacionamiento, etc.

En la práctica existen diferentes factores, que de una u otra manera influyen en la capacidad, y estos son:

Giros
 Estacionamientos
 Vehículos pesados
 Paradas antes y después de la intersección

Estas condiciones hacen que la capacidad en las calles sea diferente a la capacidad en carreteras.

La metodología que se sigue para determinar los factores de reducción es el siguiente:

Por giros. - Sustraer 0.5% por cada 1% en el que el tráfico vehicular gira a la derecha, pasa del 10% del tráfico vehicular total.

Sustraer 1% por cada 1% en el que el tráfico vehicular en gira a la izquierda pasa del 10% del tráfico vehicular total. La máxima reducción por ambos giros debe hacerse al 20% del tráfico vehicular total.

Por paradas. - Paradas de ómnibus antes de la intersección restar el 10% por paradas después de la intersección, restar 5% en zonas centrales y 10% en zonas intermedias.

Por estacionamiento. - Permitidos restar 1.80 al ancho de acceso y utilizar el ancho restante para hacer un recálculo de la Cap. Teórica.

Por vehículos pesados. - Sustraer un 1% por cada 1% de los ómnibus y camiones pasen 10% del número total.

Por lo tanto, la capacidad real será el producto de la capacidad práctica multiplicada por el factor de paradas, por el factor de estacionamientos y por el factor de vehículos pesados.

$$\mathbf{Cap\ Real = C_{app\ practica} * F_{vp} * f_{ai} * f_{di} * f_{gi} * f_{gd}}$$

Donde:

Fvp= Factor de vehículos pesados

Fai= Factor por paradas antes de la intersección

Fdi= Factor por paradas después de la intersección

Fgi= Factor por giro izquierdo

Fgd= Factor por giro derecho

2.8.4. Nivel de servicio

Concepto de nivel de servicio. - Para medir la calidad del flujo vehicular se usa el concepto de nivel de servicio. Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción por los motoristas y/ o pasajeros.

Estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial. De los factores que afectan el nivel de servicio, se distinguen los internos y los externos. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones en la velocidad en el volumen, en la composición del tráfico vehicular en el porcentaje de movimientos de entrecruzamientos o direccionales, etc. Entre los externos están las características físicas, tales como la anchura de los carriles, la distancia libre lateral, la anchura de acotamientos, las pendientes, etc.

Para determinar el nivel de servicio de una vía, se calcula la relación Vol./Capacidad, tomando el volumen horario y la capacidad de la vía calculada, y con ese valor analizar el nivel de servicio existente en la siguiente tabla:

Figura 2: Niveles de servicio

TABLA 1		
NIVELES DE SERVICIO Y VOLUMENES DE SERVICIO MAXIMOS PARA ENTRADAS DE INTERSECCIONES AISLADAS INDEPENDIENTES		
Nivel de Servicio	Descripción del Flujo de Tránsito	Factor de Carga V/C
A	Flujo Libre	0,0
B	Flujo Estable	$\leq 0,10$
C	Flujo Estable	$\leq 0,30$
D	Próximo al flujo inestable	$\leq 0,70$
E	Flujo Inestable	$\leq 1,0$
F	Flujo Forzado	--b

a. Capacidad
b. No aplicable

Fuente: Manual de ingeniería de tránsito de Raúl Iván Palma Álvarez

Los estudios realizados por la Junta de Investigación Vial de los Estados Unidos fijan seis niveles, los cuales son aplicados por la administradora boliviana de caminos y por el Manual del HCM versión 1985, dichos niveles son:

Nivel de servicio A

Condiciones de flujo libre, con bajos volúmenes y altas velocidades. Hay poca o nula limitación de maniobras por la presencia de otros vehículos y puede conservarse la velocidad deseada con pocos o nulos retardos.

Figura 3: Nivel de servicio A



Fuente: Texto del alumno ingeniería de tráfico vehicular universidad mayor de San Simón

Nivel de servicio B

Condiciones de flujo estable en las que las velocidades empiezan a ser algo restringidas por las condiciones del tráfico vehicular. Los conductores tienen una razonable libertad para seleccionar su velocidad y su carril. El límite menor de velocidad con mayor volumen en este nivel de servicio se relaciona con los volúmenes de servicio usados en el proyecto de carreteras.

Figura 4: Nivel de servicio B

Fuente: Texto del alumno ingeniería de tráfico vehicular universidad mayor de San Simón

Nivel de servicio C

Corresponde a un flujo estable, pero las velocidades y las maniobras resultan más controladas por los mayores volúmenes. La mayor parte de los conductores ven restringidas su libertad de elegir la velocidad, cambiar de carriles o rebasar. Aun se obtiene una relativamente satisfactoria velocidad de operación, con volúmenes de servicio quizás apropiados para el proyecto de arterias urbanas.

Figura 5: Nivel de servicio C

Fuente: Texto del alumno ingeniería de tráfico vehicular universidad mayor de San Simón

Nivel de servicio D

Se acerca al flujo inestable, con velocidades de operación tolerables, pero que pueden ser considerablemente afectadas por los cambios en las condiciones del tráfico vehicular. Las fluctuaciones en el volumen y las restricciones temporales en el flujo pueden causar considerables reducciones en la velocidad de operación. Los conductores tienen poca libertad de maniobras, pero las condiciones son tolerables por periodos cortos.

Figura 6: Nivel de servicio D



Fuente: Texto del alumno ingeniería de tráfico vehicular universidad mayor de San Simón

Nivel de servicio E

Representa una operación a menores velocidades que en el nivel de servicio D, con volúmenes que se acercan, a la capacidad del tramo. Al llegar a esta, las velocidades, normalmente pero no siempre, son de cerca de 50 Km./h. El flujo es inestable y pueden ocurrir paradas de duración momentánea.

Figura 7: Nivel de servicio E

Fuente: Texto del alumno ingeniería de tráfico vehicular universidad mayor de San Simón

Nivel de servicio F

Se refiere a un flujo que opera forzado, a bajas velocidades, donde los volúmenes son menores que los correspondientes a la capacidad. Estas condiciones resultan de las colas de vehículos producidas por alguna obstrucción en la corriente. Las velocidades se reducen considerablemente y pueden ocurrir paradas, cortas o largas, debido al congestionamiento. En casos extremos, la velocidad y el volumen pueden tener valor cero.

Figura 8: Nivel de servicio F

Fuente: Texto del alumno ingeniería de tráfico vehicular universidad mayor de San Simón

2.8.5. Análisis de la capacidad y el nivel de servicio

Por lo general no se hacen estudios de capacidad para determinar la cantidad máxima de vehículos que puede alojar cierta parte de un camino. Mas bien se trata de determinar el nivel de servicio al que funciona cierto tramo, o bien el volumen admisible dentro de cierto nivel de servicio. En determinadas circunstancias se hace el análisis para predecir con qué volúmenes y a qué plazo se llegará a la capacidad de esa parte del camino.

En función del nivel de servicio estará el número de vehículos por unidad de tiempo que puede admitir un camino y se le conoce como el Volumen de Servicio. Este volumen va aumentando a medida que el nivel de servicio va siendo de menor calidad, hasta llegar al nivel "E", o Capacidad del camino. Más allá de este nivel se registran condiciones más desfavorables, por ejemplo, con nivel "F", pero no aumenta el volumen de servicio, sino que disminuye.

La velocidad es considerada el principal factor usado para identificar el Nivel de Servicio. Hay un segundo factor principal que es una relación, ya sea entre el volumen de demanda y la capacidad, o bien la relación entre el volumen de servicio y la capacidad, según el problema específico. Aunque la escala de medición de los niveles de servicio puede incluir todos los factores considerados deseables, el uso de los dos factores principales mencionados se considera necesario para un análisis práctico.

En la práctica el segundo factor es representado como la relación V/C . En problemas donde se conoce la demanda y la capacidad y se desea determinar el nivel de servicio, la V representa el volumen de demanda. En el caso en que se conoce la capacidad y se especifica un determinado nivel de servicio, V representa el volumen de servicio posible con dicho nivel.

La capacidad vial tiene un intervalo de valores que va desde los 2000 vehículos/hora/carril, para una autopista de condiciones ideales, hasta unos 300 vehículos/hora/carril, en una zona urbana de calles viejas y angostas, con gran porcentaje de vehículos pesados y fuerte volumen de vueltas. Para carreteras ideales de dos carriles, la capacidad es de 2000 vehículos/hora para ambos sentidos. El volumen de servicio será siempre una fracción de la capacidad en condiciones ideales.

El análisis que comúnmente es realizado sirve para determinar el efecto de los factores externos e internos en la capacidad ideal de cierto tramo de camino, y el volumen de servicio que corresponde a un nivel de servicio dado. Los estudios de capacidad sirven para aislar y medir esos factores. En general se ha hecho una clasificación de factores y se han determinado ciertas relaciones que permiten valorizarlos. Se han fijado factores numéricos, determinados empíricamente las más de las veces, que pueden usarse para afectar matemáticamente la capacidad que se tendría, de no existir estos factores. La determinación de estos factores y el procedimiento de análisis están contenidos en el “Manual de Capacidad Vial” editado por la Junta de Investigación Vial, de los Estados Unidos. Constituye el más extenso trabajo realizado hasta la fecha sobre capacidad de calles y caminos y aunque muchos de los factores pueden corresponder a condiciones específicas de la vialidad de los Estados Unidos, se le ha utilizado en otros países con resultados muy positivos.

La capacidad de un camino es tan variable como pueden serlo las variables físicas del mismo o las condiciones del tráfico vehicular. Por esa razón los análisis de capacidad se realizan aislando diversas partes de un camino, como un tramo recto, un tramo con curvas, un tramo con pendientes, el acceso a una intersección, un tramo de entrecruzamiento, una rampa de enlace, etc.

Para fines de interpretación uniforme y metodológica ordenada, se han establecido los siguientes criterios:

- a) El volumen y la capacidad son expresados en automóviles por hora para cada tramo del camino o calle.
- b) El nivel de servicio se aplica a un tramo significativo del camino. Dicho tramo puede variar en sus condiciones de operación, en diferentes puntos, debido a variaciones en el volumen de vehículos o en su capacidad. Las variaciones en capacidad provienen de cambios en anchura, por pendientes, por restricciones laterales, por intersecciones, etc. Las variaciones de volumen se originan por ciertas cantidades de vehículos que entran o salen del tramo en ciertos puntos a lo largo del tramo. El nivel de servicio del tramo debe tomar en cuenta, por lo tanto, el efecto general de estas limitaciones.

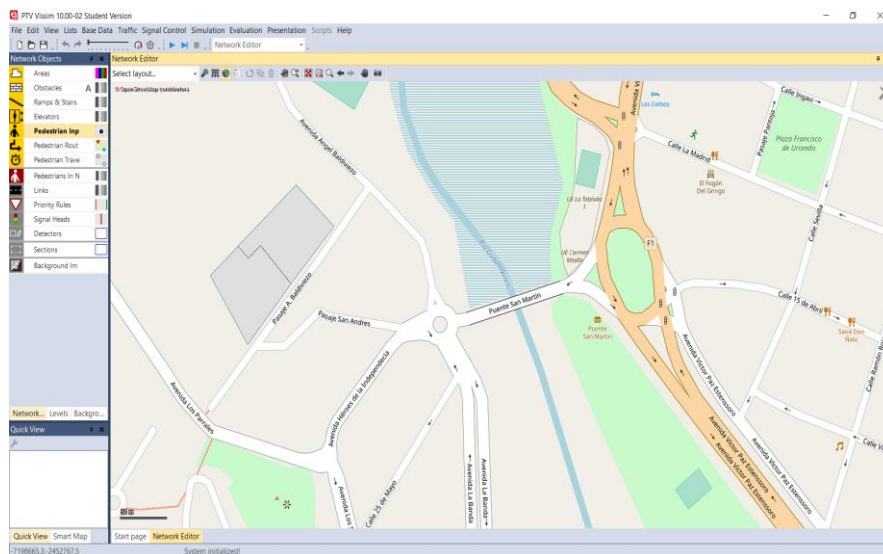
- c) Los elementos usados para medir la capacidad y los niveles de servicio son variables cuyos valores se obtienen fácilmente de los datos disponibles. Por lo que corresponde a la capacidad, se requieren el tipo de camino, sus características geométricas, el promedio de velocidad, la composición del tráfico vehicular y las variaciones del volumen. Por lo que toca al nivel de servicio, los factores adicionales que se requieren incluyen la velocidad y la relación de volumen a capacidad.
- d) Por razones prácticas se han fijado valores de velocidades y relaciones de volumen a capacidad, que definen los niveles de servicio para autopistas, con y sin control de acceso, carreteras de dos y tres carriles, avenidas urbanas y calles del centro de una ciudad.

2.8.6. Manejo del software PTV Vissim versión 8 para la modelación virtual

Los pasos a seguir para la realización de la modelación virtual se indicarán brevemente a continuación:

Identificación del área de estudio

Figura 9: Área de estudio



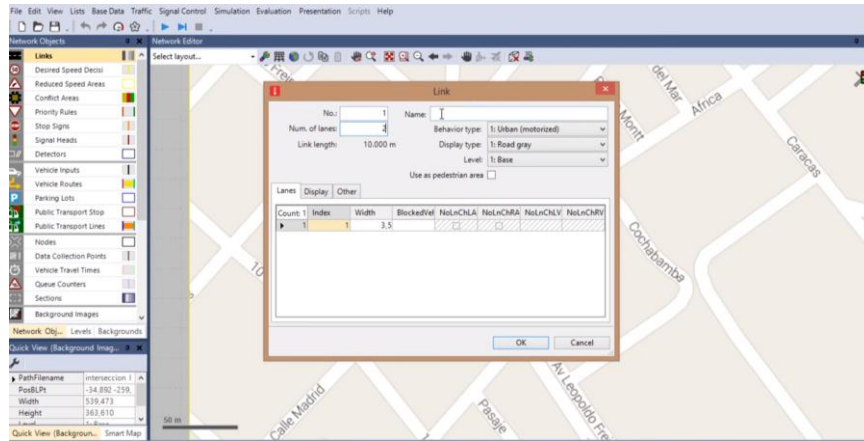
Fuente: Imagen satelital PTV Vissim versión 8

Se puede identificar el área de estudio utilizando la vista satelital en planta que muestra el programa o también se puede importar una imagen extraída del Google Earth.

Se debe tomar en cuenta que la simulación en esta versión del programa es restringida hasta un rango de un 1 km de área de estudio, ya que esta versión es para estudiantes.

Dibujo de las vías en estudio

Figura 10: Dibujo de vías

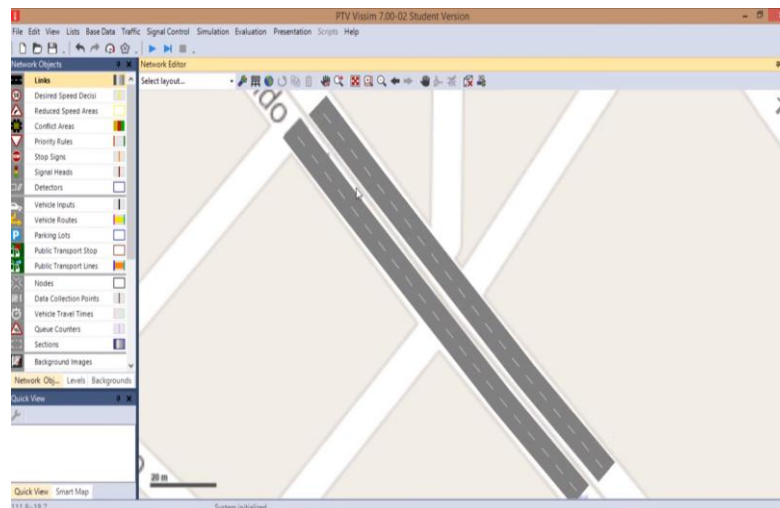


Fuente: Imagen satelital PTV Vissim versión 8

Al dibujar una vía, podemos introducir como datos en el recuadro el número de carriles, el ancho de cada carril y darle el nombre a la calle o vía que estamos dibujando.

Teniendo esos datos introducidos, dibujamos la vía y se visualiza como se muestra a continuación.

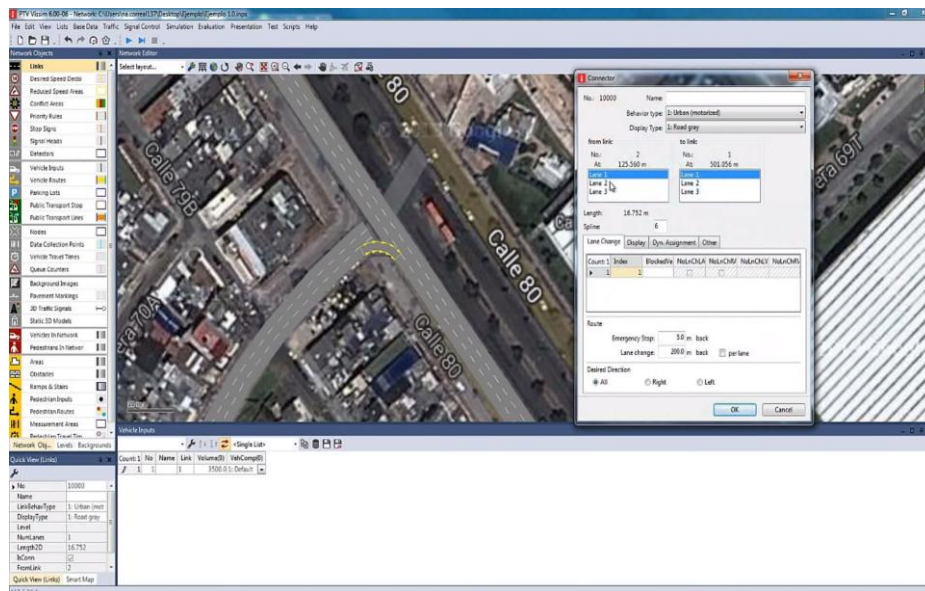
Figura 11: Trazo de vías



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim versión 8

Unión de intersecciones

Figura 12: Intersecciones

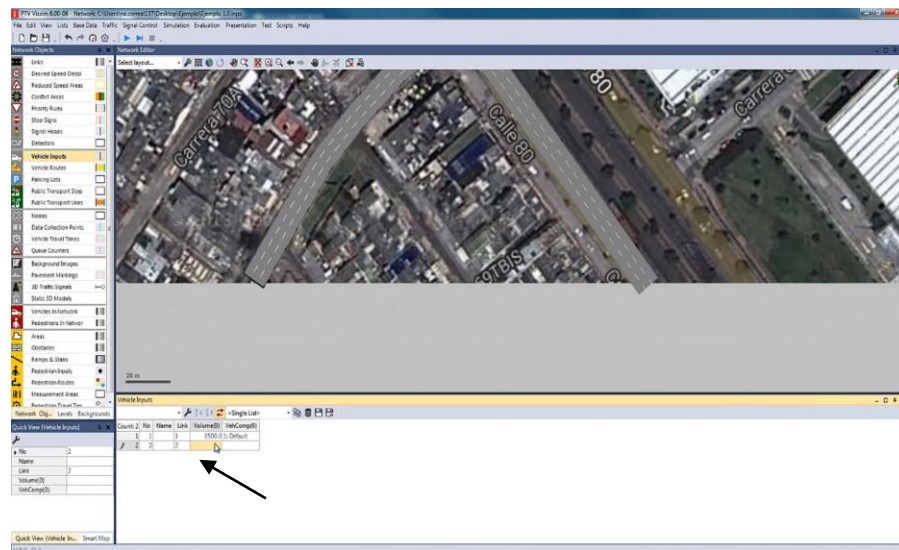


Fuente: Imagen satelital PTV Vissim versión 8

Se deben unir las intersecciones correspondientes tomando en cuenta los carriles de giro.

Introducción de datos de volúmenes

Figura 13: Introducción de volúmenes



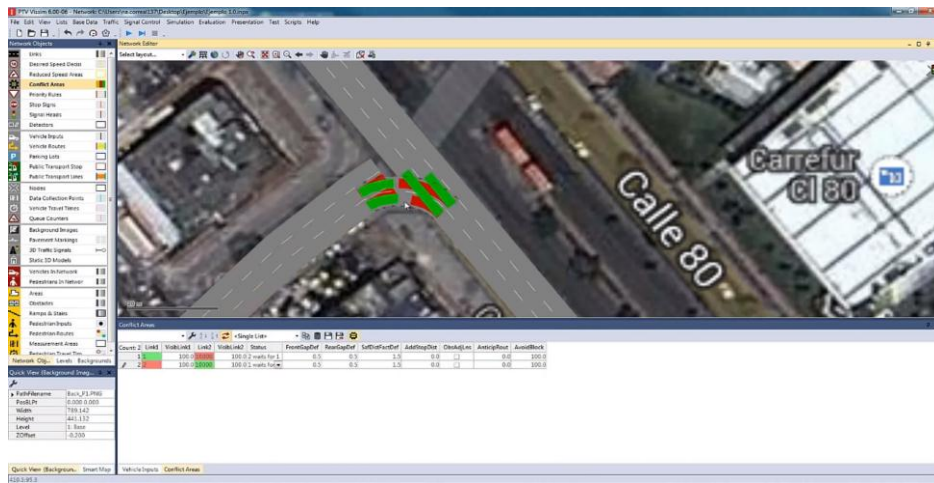
Fuente: Imagen satelital PTV Vissim versión 8

Identificando los puntos de partida de las vías dibujadas, se introduce los datos de volúmenes procesados obtenidos de los aforos.

En los volúmenes también se identifican los porcentajes de cada tipo de vehículos existentes (vehículos particulares, micros y camiones).

Identificación de las áreas de conflicto

Figura 14: Áreas de conflicto

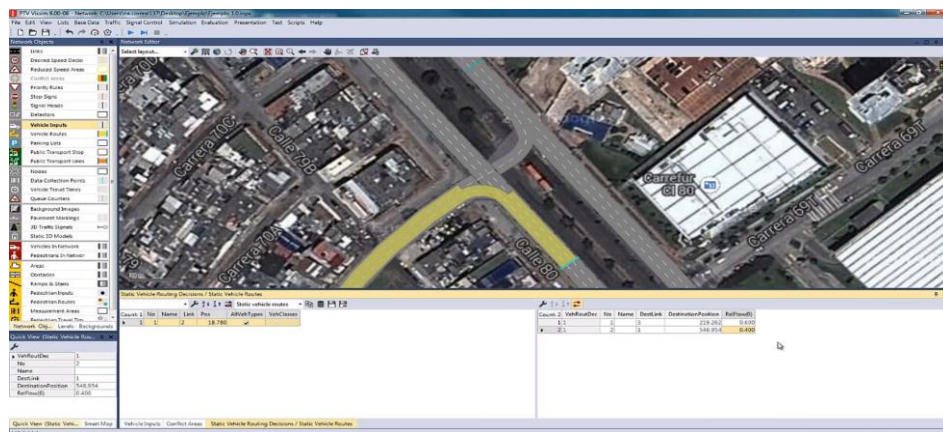


Fuente: Imagen satelital PTV Vissim versión 8

Se identifican las posibles áreas de conflicto tomando en cuenta las áreas de espera existentes en las intersecciones de vías.

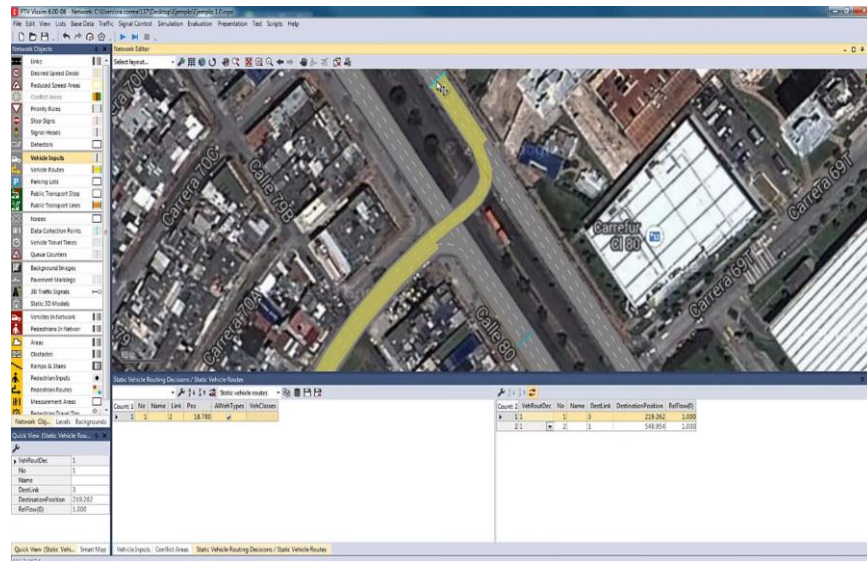
Rutas de circulación

Figura 15: Rutas de circulación



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim versión 8

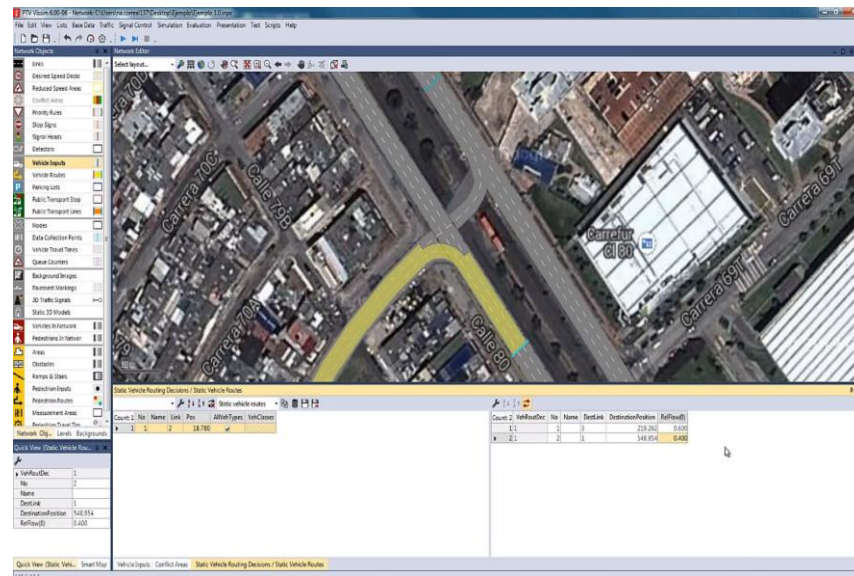
Figura 16: Rutas de circulación



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim versión 8

Se identifican las rutas de decisión o de circulación las cuales tomarán los vehículos en circulación.

Figura 17: Rutas de circulación

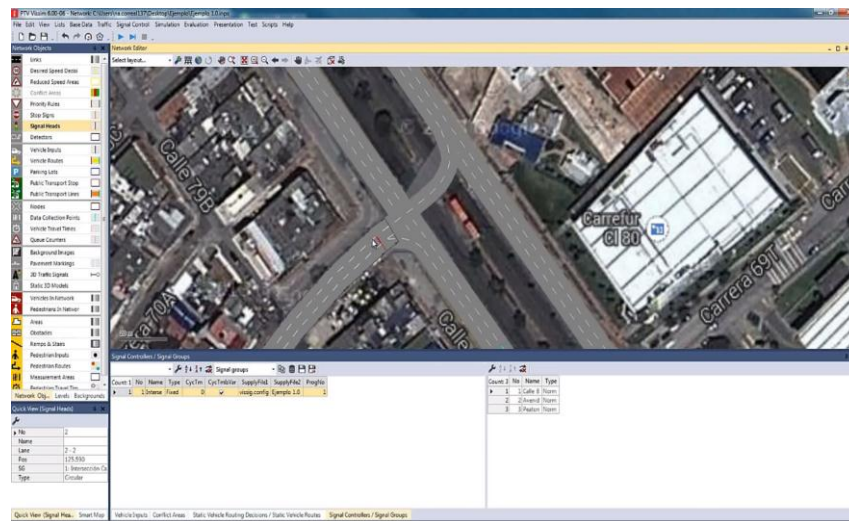


Fuente: Imagen satelital PTV Vissim versión 8

También se toman en cuenta los porcentajes de giro y como se distribuyen según las rutas de decisión identificadas.

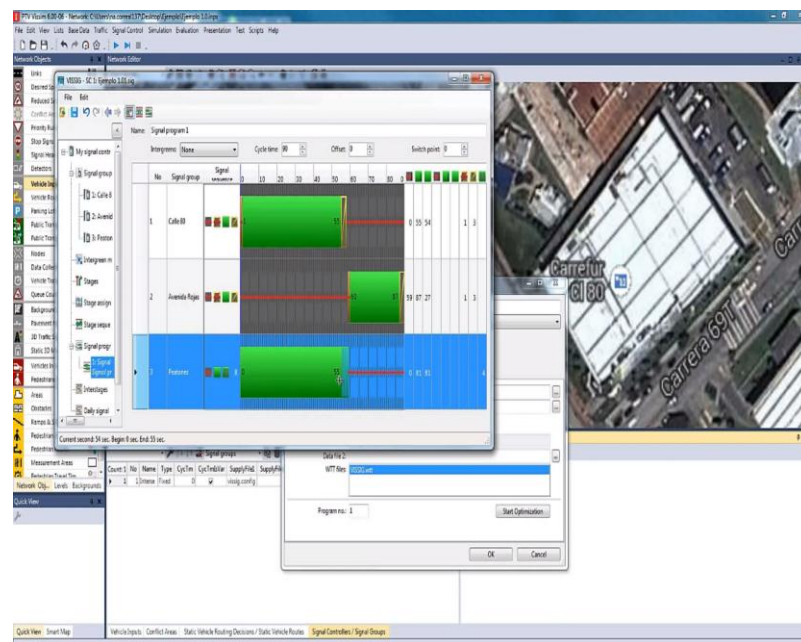
Semaforización

Figura 18: Ubicación de semáforos



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim versión 8

Figura 19: Tiempos de ciclo

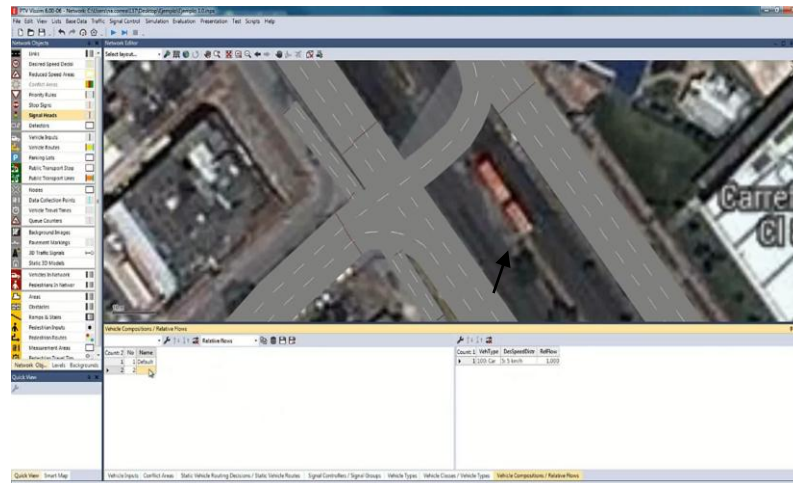


Fuente: Imagen satelital PTV Vissim versión 8

En caso de que en la intersección exista semáforo, se ubican en la vía dibujada y se acomodan las barras como se muestra en la figura según los tiempos de cada color de los semáforos existentes.

Introducción de la velocidad de los vehículos

Figura 20: Introducción de velocidades



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim versión 8

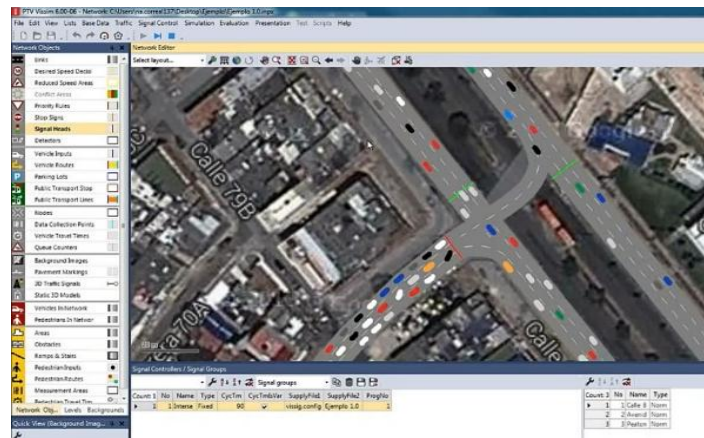
Se introducen tomando en cuenta al igual que los volúmenes, los puntos de inicio de cada vía, las velocidades obtenidas de los datos de aforo.

Modelación virtual

Con todos los datos ingresados, se procede a hacer la modelación haciendo las calibraciones correspondientes si es que así fuera necesario.

Esta modelación muestra como resultado la distribución del tráfico vehicular a partir de la introducción de datos reales obtenido de la aplicación práctica en campo.

Figura 21: Modelación



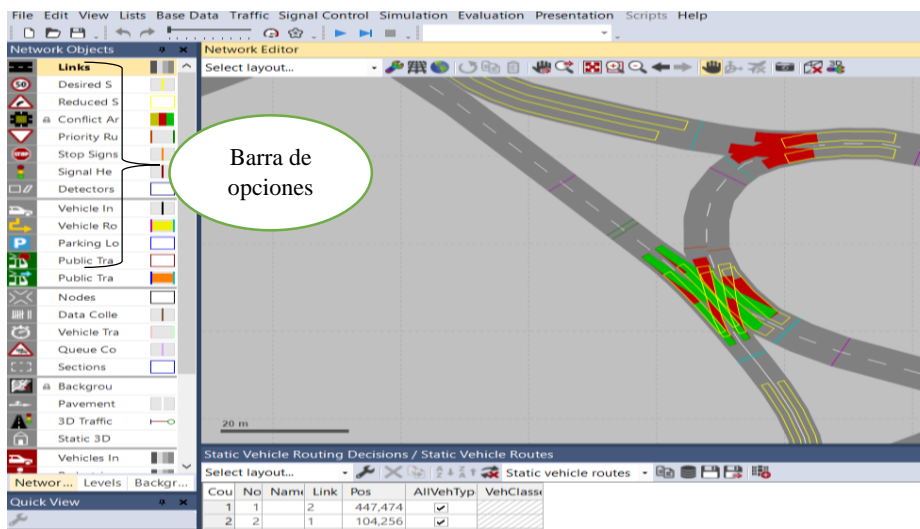
Fuente: Imagen satelital PTV Vissim versión 8

Proceso de calibración

El proceso de calibración es muy importante y necesaria para poder demostrar de manera virtual la situación actual de la zona de estudio como también buscar un comportamiento del tráfico vehicular que se aproxime a lo que sucederá en el futuro.

Las herramientas utilizadas se muestran a continuación:

Figura 22: Calibración



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim versión 8

- Primeramente, se deben identificar las rutas de decisión y añadir a los mismos los porcentajes de volúmenes de vehículos distribuidos en cada ruta.
- Luego se debe buscar el color de conflicto en cada intersección, verde para preferencia, amarillo de precaución y rojo de indeterminado. Estas modificaciones se hacen buscando un comportamiento adecuado en las intersecciones.
- También se añaden las velocidades en cada tramo, velocidades medidas y mostradas en nuestras tablas de aforo.
- Es importante buscar intersecciones de conflicto en las cuales no haya semáforo y señalar prioridades y paradas.
- En caso de que en algún punto de una vía haya un reductor de velocidad, colocar reducción de velocidad.

CAPITULO III
APLICACIÓN PRACTICA

3.1. UBICACIÓN

El estudio de tráfico vehicular fue realizado en la zona del puente San Martín tomando en cuenta los accesos que se vinculan al puente para conectar los distritos 7 y 13 de la ciudad de Tarija.

También se hizo el análisis de otras vías, distribuyendo los puntos de aforo tomando en cuenta un área de estudio más amplio para hacer un análisis con mayor precisión y eficacia.

Figura 23: Ubicación



Fuente: Imagen satelital del Google Earth

En esta zona se puede evidenciar el gran problema de congestión vehicular ya que no se cuenta con varias alternativas de circulación, además, que el puente San Martín y sus respectivos accesos se ven rebasados en su capacidad ya que cumplió con su periodo de vida.

Para ello se busca solucionar el problema de la congestión vehicular construyendo dos nuevos puentes en esta zona que redistribuyan el tráfico vehicular para que el mismo tenga mayor fluidez y evitar las demoras, ya que el crecimiento poblacional en la ciudad crece en gran magnitud.

3.2. CARACTERISTICAS DEL AREA DE ESTUDIO

La zona del puente San Martín es una zona con gran circulación de tráfico vehicular ya que es el único acceso que conecta los distritos 7 y 13 de la ciudad de Tarija y es por eso que la circulación de los vehículos, se ven obligados a usar estas vías para transitar y por este motivo se ve una gran congestión vehicular en esta zona.

De acuerdo a las características del puente, se analizará las vías y accesos de las 2 rotondas que están unidas por el puente San Martín: la primera ubicada al lado derecho del Puente San Martín sobre la avenida las Américas y la segunda a la izquierda del Puente San Martín ubicada al inicio del barrio San Martín.

Figura 24: Rotonda 1



Fuente: Imagen satelital del Google Earth

Figura 25: Rotonda 2



Fuente: Imagen satelital del Google Earth

En esta zona se analizará principalmente al conductor como el principal usuario, tomando en cuenta las características de la zona de estudio. Se debe hacer referencia a los usuarios, ya que los mismos deben brindar seguridad y comodidad para transitar y darle fluidez al tráfico vehicular como a la circulación de peatones sobre las aceras.

Se identifican 3 tipos de vehículos en el análisis del tráfico vehicular en la zona de estudio, los cuales son: vehículos particulares (incluyendo taxis), micros y camiones.

Las características de las vías que conforman la zona de estudio, se establecen de la siguiente manera:

Según su competencia. - Se identifican vías municipales, las cuales están dentro de la zona urbana de la ciudad a cargo del municipio.

Según sus características. - Según su característica se identifican vías de dos carriles repartidas en toda la zona, siendo en algunos tramos o secciones, vías multicarril, las cuales no son necesariamente de dos carriles, pero permiten la conformación de 3 filas de vehículos.

Según el tipo de terreno. - Según el tipo de terreno, se observa que es una zona en terreno plano, en la cual pueden existir ciertas secciones con pendientes, las cuales llegan a ser mínimas que no influyen de manera considerable en la circulación de los vehículos.

También se tomará en cuenta en el estudio, los dos carriles que componen la estructura del Puente San Martín.

También se tomará en cuenta los dispositivos de control de tráfico vehicular y señalización existente, las cuales son mínimas, teniendo como dispositivos de control de tráfico vehicular, semáforos ubicados en dos puntos o intersecciones dentro de la zona de estudio, identificados en la intersección tomando como referencia el hotel los ceibos, que se encarga de controlar el tránsito tanto de entrada y salida a la avenida Integración como de entrada y salida a la rotonda 1 ubicada sobre la avenida Las Américas.

En cuanto a la señalización, se observa que es escasa en señalización horizontal, donde no se tiene vías pintadas o con instrumentos necesarios para la señalización horizontal de las vías. En la señalización vertical se observa que existen señales de pare y de ayuda a los movimientos que puede realizar el vehículo, pero también son escasos.

Vale mencionar, la existencia de reductores de velocidad (rompe muelles), los cuales están ubicados sobre la avenida panamericana a la altura del hotel Los Ceibos y también la existencia de divisores de carril al pasar la rotonda sobre la avenida Las Américas en dirección a la zona Norte de la ciudad, dichos divisores dividen el tráfico vehicular tomando rutas de decisión los cuales pueden tener movimientos de recto, izquierda o derecha y así tomar distintas rutas de circulación, como la avenida Integración, la avenida Panamericana o la calle La Madrid de ingreso al centro de la ciudad.

Las características mencionadas, son aspectos fundamentales al momento de hacer un análisis para la aplicación práctica como el análisis de las alternativas de solución planteadas.

3.3. PARAMETROS DE TRAFICO

Los parámetros de tráfico vehicular que fueron objeto de estudio son: volúmenes de tráfico vehicular, velocidad, capacidad vial y nivel de servicio, cuyo desarrollo y proceso de estudio se indica a continuación:

3.3.1. Aforo de volúmenes

La toma de datos se muestra de manera detallada en las planillas de datos de aforo de volúmenes que se encuentran en **anexos**, para ello se utilizó el método manual y la norma AASTHO para el cálculo de los volúmenes.

a) Determinación de horas pico

Se realizó el aforo durante el periodo continuo cada hora desde las 7:00 am hasta las 21:00 pm para determinar los picos correspondientes al mayor flujo de tráfico vehicular que circulan por las distintas estaciones de aforo, las cuales se muestran ubicadas a continuación:

Figura 26: Estaciones de aforo rotonda 1



Fuente: Imagen satelital del Google Earth

Figura 27: Estaciones de aforo rotonda 2

Fuente: Imagen satelital del Google Earth

Tablas de volúmenes de tráfico vehicular en horas pico por estación (veh/hr):

Rotonda en el puente San Martín sobre la avenida Las Américas

Tabla 2: Horas pico rotonda 1

	Estaciones de aforo								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7:00 a 8:00	1062	957	915	717	803	1076	432	1723	1045
12:00 a 13:00	925	895	872	665	777	872	670	1686	1006
18:00 a 19:00	1078	932	925	698	830	987	465	1701	1023

Fuente: Elaboración Propia

Rotonda en el puente San Martín de ingreso al barrio San Martín

Tabla 3: Horas pico rotonda 2

	Estaciones de aforo		
	1'	2'	3'
7:00 a 8:00	405	622	67
12:00 a 13:00	336	604	58
18:00 a 19:00	402	618	60

Fuente: Elaboración Propia

b) Volúmenes calculados

Para el cálculo de los volúmenes, se tomó en cuenta los volúmenes necesarios de ingreso para el programa PTV Vissim versión 8, ya que es la herramienta principal para la modelación y así demostrar de forma virtual el comportamiento del tráfico vehicular en la zona del puente San Martín.

El aforo de los volúmenes se realizó en 33 puntos distribuidos por la zona de estudio, tomando en cuenta todas las vías posibles que son de influencia con el puente San Martín.

Figura 28: Puntos de aforo

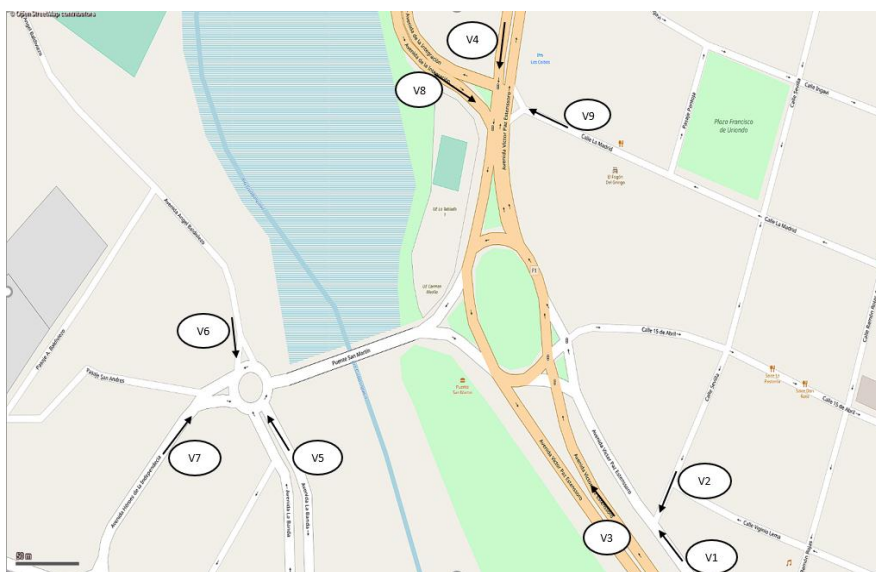


Fuente: Imagen satelital del Google Earth

Se tomó como referencia los aforos en horas pico para la realización de los aforos de los volúmenes en cada punto, dando como periodos de aforo los más representativos. Se hizo los aforos durante 6 días de la semana, teniendo 5 días hábiles y 1 inhábil, en un periodo de 7:00 hrs a 9:30 hrs y de 17:30 hrs a 20:00 hrs para tener una mayor precisión y contar con valores más representativos. (anexo 2)

Los volúmenes obtenidos y que son de mayor representatividad son los siguientes:

Figura 29: Volúmenes de entrada



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim versión 8

Tabla 4: Volúmenes de entrada obtenidos (veh/hr)

	Volumen 1	Volumen 2	Volumen 3	Volumen 4	Volumen 5	Volumen 6	Volumen 7	Volumen 8	Volumen 9
Lunes	326	304	631	866	399	133	477	829	87
Martes	298	370	697	897	418	166	462	859	100
Miércoles	247	325	674	893	415	141	465	856	91
Jueves	325	356	708	956	439	168	455	892	124
Viernes	289	352	699	955	427	173	460	891	124
Sábado	225	280	647	825	285	117	324	791	106
Domingo	137	240	312	517	190	56	176	616	47
Promedio	264	318	624	844	368	136	403	819	97
Desviacion	67,43	46,68	140,49	151,57	93,78	41,00	112,93	96,24	26,41
Des+med	331	365	764	996	461	177	516	915	123
Des-med	196	271	484	693	274	95	290	723	71

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5: Volúmenes finales (veh/hr)

	Volumen 1	Volumen 2	Volumen 3	Volumen 4	Volumen 5	Volumen 6	Volumen 7	Volumen 8	Volumen 9
Lunes	326	304	631	866	399	133	477	829	87
Martes	298	370	697	897	418	166	462	859	100
Miércoles	247	325	674	893	415	141	465	856	91
Jueves	325	356	708	956	439	168	455	892	124
Viernes	289	352	699	955	427	173	460	891	124
Sábado	225	280	647	825	285	117	324	791	106
Domingo	137	240	312	517	190	56	176	616	47
Media final	285	323	676	899	397	150	441	853	96

Fuente: Elaboración Propia

Nota. – Casillas en amarillo valores de volúmenes depurados.

Porcentaje según el tipo de vehículo**Tabla 6: Porcentaje de camiones obtenidos**

	Volumen 1	Volumen 2	Volumen 3	Volumen 4	Volumen 5	Volumen 6	Volumen 7	Volumen 8	Volumen 9
Lunes	0,83	0,59	2,72	4,94	4,54	7,62	5,47	5,97	0,00
Martes	1,21	1,19	4,53	6,28	0,12	5,46	4,57	5,68	3,50
Miércoles	1,01	0,33	4,36	4,51	0,03	3,94	3,88	5,75	0,00
Jueves	1,01	0,51	4,42	3,87	3,32	7,02	6,75	7,06	0,59
Viernes	1,19	1,43	4,48	2,92	8,35	9,49	7,57	6,82	1,42
Sábado	1,16	1,36	2,48	3,48	7,63	13,71	6,93	4,80	0,48
Domingo	0,76	0,59	4,14	4,51	5,47	9,37	7,05	4,22	1,06
Promedio	1,02	0,86	3,88	4,36	4,21	8,09	6,03	5,76	1,01
Desviacion	0,18	0,45	0,88	1,09	3,30	3,18	1,40	1,01	1,22
Des+med	1,20	1,31	4,76	5,45	7,51	11,27	7,43	6,77	2,22
Des-med	0,85	0,40	2,99	3,27	0,90	4,91	4,63	4,74	0,00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7: Porcentaje de camiones finales

	Volumen 1	Volumen 2	Volumen 3	Volumen 4	Volumen 5	Volumen 6	Volumen 7	Volumen 8	Volumen 9
Lunes	0,83	0,59	2,72	4,94	4,54	7,62	5,47	5,97	0,00
Martes	1,21	1,19	4,53	6,28	0,12	5,46	4,57	5,68	3,50
Miércoles	1,01	0,33	4,36	4,51	0,03	3,94	3,88	5,75	0,00
Jueves	1,01	0,51	4,42	3,87	3,32	7,02	6,75	7,06	0,59
Viernes	1,19	1,43	4,48	2,92	8,35	9,49	7,57	6,82	1,42
Sábado	1,16	1,36	2,48	3,48	7,63	13,71	6,93	4,80	0,48
Domingo	0,76	0,59	4,14	4,51	5,47	9,37	7,05	4,22	1,06
Media final	1,09	0,72	4,39	4,26	4,44	7,79	6,55	5,55	0,59

Fuente: Elaboración Propia

Nota. - Casillas en amarillo valores depurados.

Tabla 8: Porcentaje de micros obtenido

	Volumen 1	Volumen 2	Volumen 3	Volumen 4	Volumen 5	Volumen 6	Volumen 7	Volumen 8	Volumen 9
Lunes	5,69	1,21	0,94	2,215	5,78	0,65	7,6	0,74	0,00
Martes	5,16	2,07	0,99	4,475	3,99	0,89	8,01	0,81	2,68
Miércoles	6,89	0,96	1,01	2,75	6,9	0,31	7,21	0,73	0,00
Jueves	5,45	0,83	1,31	3,295	10,91	0,46	7,59	0,68	0,00
Viernes	5,92	1,28	1,03	3,44	10,14	0,85	8,51	0,77	0,00
Sábado	4,15	0,81	0,79	3,21	2,19	1,6	7,63	0,83	0,00
Domingo	4,2	0,37	1,72	4,72	2,73	1,98	8,95	0,71	0,00
Promedio	5,35	1,07	1,11	3,44	6,09	0,96	7,93	0,75	0,38
Desviacion	0,97	0,53	0,31	0,89	3,45	0,61	0,61	0,05	1,01
Des+med	6,32	1,60	1,42	4,33	9,54	1,57	8,54	0,81	1,40
Des-med	4,38	0,54	0,80	2,55	2,64	0,35	7,32	0,70	0,00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9: Porcentaje de micros finales

	Volumen 1	Volumen 2	Volumen 3	Volumen 4	Volumen 5	Volumen 6	Volumen 7	Volumen 8	Volumen 9
Lunes	5,69	1,21	0,94	2,22	5,78	0,65	7,60	0,74	0,00
Martes	5,16	2,07	0,99	4,48	3,99	0,89	8,01	0,81	2,68
Miércoles	6,89	0,96	1,01	2,75	6,90	0,31	7,21	0,73	0,00
Jueves	5,45	0,83	1,31	3,30	10,91	0,46	7,59	0,68	0,00
Viernes	5,92	1,28	1,03	3,44	10,14	0,85	8,51	0,77	0,00
Sábado	4,15	0,81	0,79	3,21	2,19	1,60	7,63	0,83	0,00
Domingo	4,20	0,37	1,72	4,72	2,73	1,98	8,95	0,71	0,00
Media final	5,55	1,02	1,06	3,17	4,85	0,71	7,71	0,75	0,00

Fuente: Elaboración Propia

Nota. - Casillas en amarillo valores depurados.

Tabla 10: Porcentajes de vehículos particulares obtenidos

	Volumen 1	Volumen 2	Volumen 3	Volumen 4	Volumen 5	Volumen 6	Volumen 7	Volumen 8	Volumen 9
Lunes	93,48	98,21	94,84	92,84	89,68	91,73	86,93	93,29	100,00
Martes	93,63	96,75	94,48	89,25	85,45	93,64	87,42	93,52	93,82
Miércoles	92,10	98,71	94,62	92,74	93,08	95,74	88,91	93,53	100,00
Jueves	93,54	98,66	94,28	93,43	85,78	92,51	87,23	92,26	99,41
Viernes	92,91	97,30	94,20	93,64	81,51	89,66	83,92	92,41	98,58
Sábado	94,70	97,85	96,73	93,32	90,17	84,69	85,44	94,37	99,52
Domingo	95,04	99,05	94,14	90,77	91,81	88,65	84,00	95,07	98,94
Promedio	93,63	98,07	94,76	92,28	88,21	90,95	86,26	93,49	98,61
Desviacion	1,10	0,91	0,99	1,80	4,50	3,98	2,05	1,09	2,38
Des+med	94,73	98,98	95,75	94,08	92,71	94,93	88,31	94,59	100,99
Des-med	92,53	97,16	93,76	90,48	83,71	86,96	84,21	92,40	96,23

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11: Porcentajes de vehículos particulares finales

	Volumen 1	Volumen 2	Volumen 3	Volumen 4	Volumen 5	Volumen 6	Volumen 7	Volumen 8	Volumen 9
Lunes	93,48	98,21	94,84	92,84	89,68	91,73	86,93	93,29	100,00
Martes	93,63	96,75	94,48	89,25	85,45	93,64	87,42	93,52	93,82
Miércoles	92,10	98,71	94,62	92,74	93,08	95,74	88,91	93,53	100,00
Jueves	93,54	98,66	94,28	93,43	85,78	92,51	87,23	92,26	99,41
Viernes	92,91	97,30	94,20	93,64	81,51	89,66	83,92	92,41	98,58
Sábado	94,70	97,85	96,73	93,32	90,17	84,69	85,44	94,37	99,52
Domingo	95,04	99,05	94,14	90,77	91,81	88,65	84,00	95,07	98,94
Media final	93,65	98,14	94,43	92,79	88,58	91,24	86,76	93,42	99,41

Fuente: Elaboración Propia

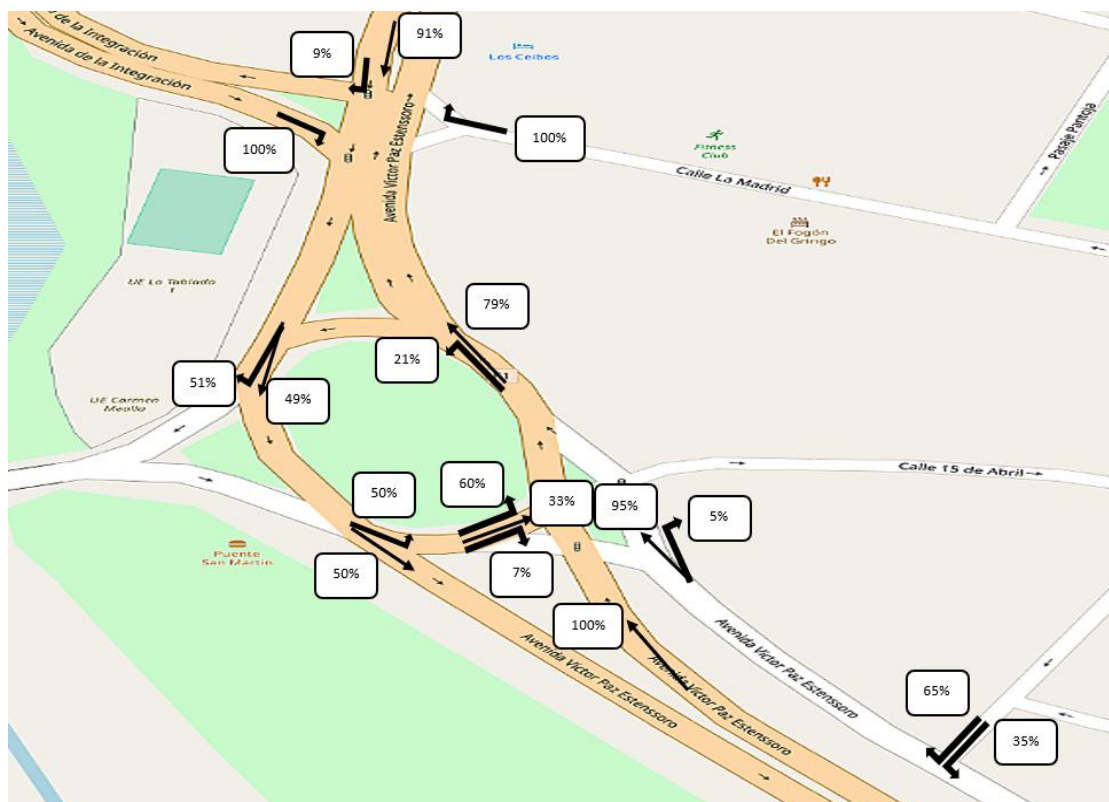
Nota. - Casillas en amarillo valores depurados.

Porcentajes de giro

Los porcentajes de giro están en función a las rutas de decisión que se muestra en el programa, para las cuales se tomó los puntos en las intersecciones donde existen giros.

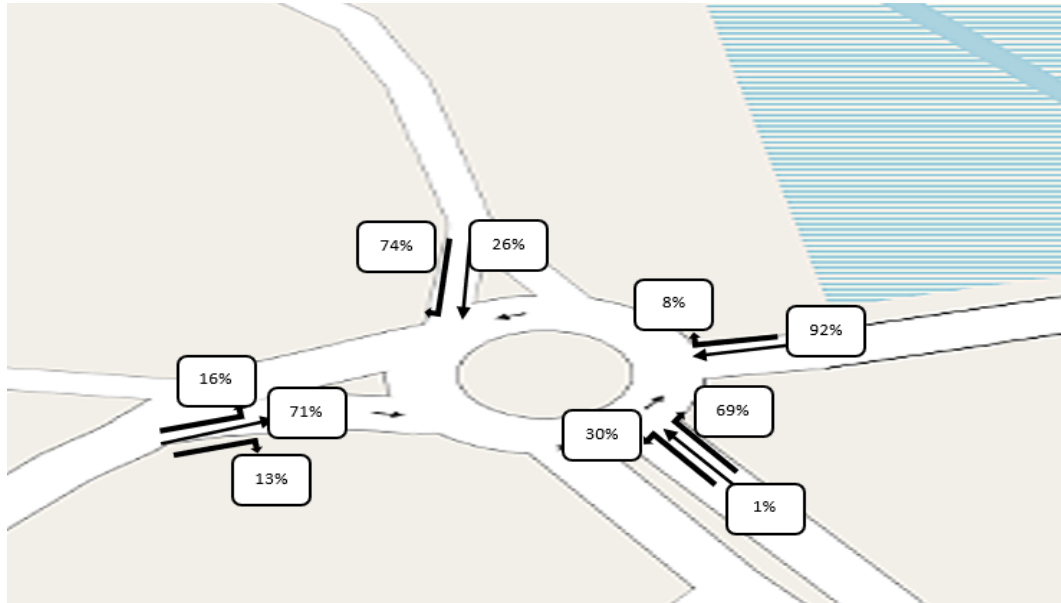
Los porcentajes de giro se muestran en los siguientes gráficos:

Figura 30: Porcentajes de giro rotonda 1



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim versión 8

Figura 31: Porcentajes de giro rotonda 2



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim versión 8

3.3.2. Velocidades de punto

Se realizó la toma de tiempos para el cálculo de las velocidades en los tramos que tiene conectividad con el puente San Martín. También se hizo la toma de datos durante 3 días de la semana (lunes, miércoles y sábado) en un periodo de una hora de 7:00 hrs a 8:00 hrs y de 18:00 hrs a 19:00 hrs. Se tomó considerando la variación de volúmenes.

La toma de tiempos se hizo a un número de 15 vehículos, los cuales transitaron una distancia de 25 m.

Los tiempos aforados (**anexo**), fueron utilizados para el cálculo de la velocidad de punto (km/hr) según la norma AASHTO:

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

Donde:

VP= Velocidad de punto

d= Distancia de recorrido

t= Tiempo de recorrido

Una vez calculadas las velocidades para cada tramo, se hizo la estadística correspondiente tomando en cuenta la media aritmética, la desviación estándar y el rango de depuración correspondiente.

Luego de realizar la estadística (**anexo**) obtenemos las velocidades finales de punto para poder introducir al programa, las misma se muestran en el siguiente gráfico:

Figura 32: Tramos de velocidades



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim versión 8

Tabla 12: Velocidades obtenidas (Km/Hr)

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Carril 1	Carril 2
Lunes	21,74	20,89	13,50	20,47	21,31	25,52	21,20
Martes	20,96	20,32	12,40	18,70	19,97	23,64	21,27
Miercoles	20,20	19,70	13,24	20,16	20,68	24,39	20,37
Jueves	19,12	20,30	11,94	17,97	17,48	22,75	19,78
Viernes	22,34	20,59	15,37	21,27	21,89	25,45	21,30
Sabado	29,24	33,19	23,67	25,47	26,09	27,45	25,39
Domingo	36,37	41,29	25,15	33,16	34,47	35,52	28,30
Media	24,28	25,18	16,47	22,46	23,13	26,39	22,52
Desviacion	4,71	7,1	5,39	3,07	3,2	1,84	2,47
Med + desv	28,99	32,28	21,86	25,53	26,33	28,23	24,99
Med - desv	19,57	18,08	11,08	19,39	19,93	24,55	20,05

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 13: Velocidades finales (Km/Hr)

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Carril 1	Carril 2
Lunes	21,74	20,89	13,50	20,47	21,31	25,52	21,20
Martes	20,96	20,32	12,40	18,70	19,97	23,64	21,27
Miercoles	20,20	19,70	13,24	20,16	20,68	24,39	20,37
Jueves	19,12	20,30	11,94	17,97	17,48	22,75	19,78
Viernes	22,34	20,59	15,37	21,27	21,89	25,45	21,30
Sabado	29,24	33,19	23,67	25,47	26,09	27,45	25,39
Domingo	36,37	41,29	25,15	33,16	34,47	35,52	28,30
Media final	21,31	20,36	13,29	21,84	22,49	26,14	21,03

Fuente: Elaboración Propia

Nota. - Casillas en amarillo valores depurados.

3.3.3. Capacidad y nivel de servicio

Para el cálculo de la Capacidad y Nivel de Servicio se utilizó el método del manual HCM versión 1985 para cada tramo o sección.

Se tomó en cuenta % de vehículos pesados, % de giro izquierda, % de giro derecha, factores por paradas antes y después de la intersección y anchos de acceso para el cálculo de la capacidad.

El procedimiento de cálculo de la capacidad para cada acceso se encuentra de forma detallada en **anexos**.

Para el nivel de servicio se hizo la relación Volumen/ Capacidad y con el valor encontrado se analiza el nivel de servicio en la tabla del método del HCM de los EEUU versión 1985.

Se tomó en cuenta para el cálculo de la capacidad y nivel de servicio, un análisis de calle por calle o vía por vía que son las rutas primarias y secundarias que comprenden las rotondas con conectividad al puente San Martín.

Figura 33: Rutas y accesos rotonda 1



Fuente: Imagen satelital del Google Earth

Figura 34: Rutas y accesos rotonda 2

Fuente: Imagen satelital del Google Earth

Tabla 14: Resultados de capacidad y nivel de servicio rotonda 1

Accesos	Volumen (veh/hr)	Capacidad (veh/hr)	v/c	Nivel de servicio	Descripción del flujo
Acceso 1	1006	810	1,2	F	Flujo forzado
Acceso 2	853	855	1,0	E	Flujo inestable
Acceso 3	893	918	1,0	E	Flujo inestable
Acceso 4	676	918	0,7	D	Próximo flujo inestable
Acceso 5	484	630	0,8	E	Flujo inestable
Acceso 6	1695	1446	1,2	F	Flujo forzado
Acceso 7	393	2340	0,2	C	Flujo estable
Acceso 8	1665	1710	1,0	E	Flujo inestable
Acceso 9	995	994	1,0	E	Flujo inestable
Acceso 10	903	1656	0,5	D	Próximo flujo inestable

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15: Resultados de capacidad y nivel de servicio rotonda 2

Accesos	Volumen (veh/hr)	Capacidad (veh/hr)	v/c	Nivel de servicio	Descripción del flujo
Acceso 1'	397	1476	0,3	C	Flujo estable
Acceso 2'	441	500	0,9	E	Flujo inestable
Acceso 3'	150	882	0,2	B	Flujo estable

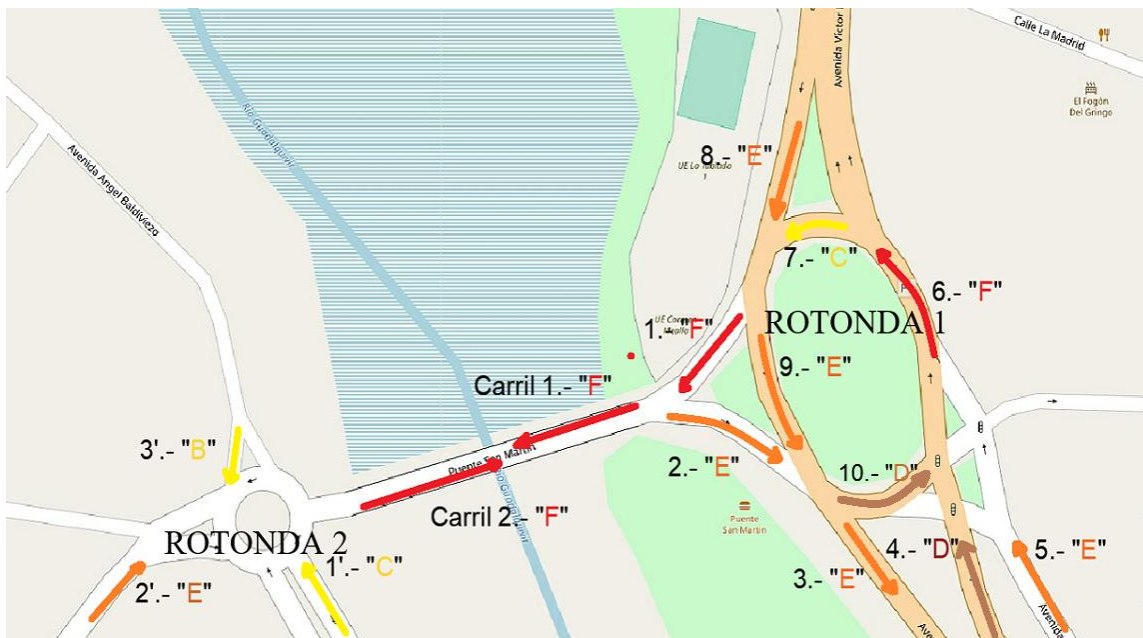
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16: Resultados capacidad y nivel de servicio carriles del puente San Martín

Accesos	Volumen (veh/hr)	Capacidad (veh/hr)	v/c	Nivel de servicio	Descripción del flujo
Carril 1	1006	630	1,6	F	Flujo forzado
Carril 2	853	630	1,4	F	Flujo forzado

Fuente: Elaboración Propia

Para un mejor análisis de los resultados obtenidos se identifican los niveles de servicio, tomando en cuenta la siguiente colorimetría e identificados en la siguiente imagen:

Figura 35: Niveles de servicio

Fuente: Elaboración Propia

Nivel de Servicio "A" (VERDE)= FLUJO LIBRE

Nivel de Servicio "B" (AMARILLO)= FLUJO ESTABLE

Nivel de Servicio "C" (AMARILLO)= FLUJO ESTABLE

Nivel de Servicio "D" (CAFE)=PROXIMO A FLUJO INESTABLE

Nivel de Servicio "E" (NARANJA)= FLUJO INESTABLE

Nivel de Servicio "F" (ROJO)=FLUJO FORZADO

3.4. ANALISIS DE LA INFORMACION

Para el análisis de la información, se procede con la modelación virtual de los datos obtenidos e introducidos al programa y así conocer el comportamiento de la situación actual, tomando en cuenta los puentes 4 de Julio e Isaac Attie incluidos y las alternativas de solución planteadas en la zona del puente San Martín.

Las modelaciones se encuentran en los **anexos** digitales. A continuación, se analizará en base a imágenes el comportamiento obtenido.

3.4.1. Análisis de la situación actual

Tomando en cuenta los parámetros de tráfico vehicular calculado, se verifica mediante la modelación, los niveles de servicio calculados y el comportamiento del tráfico vehicular que describen los mismo:

Figura 36: Situación actual



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim versión 8

En esta modelación se puede evidenciar las colas de vehículos, el comportamiento del tráfico vehicular en horas pico de manera real y la verificación de los niveles de servicio.

3.4.2. Análisis con el puente 4 de Julio

Figura 37: Puente 4 de Julio



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim versión 8

Se observa que mejora el flujo de tráfico vehicular sobre la rotonda que conecta al puente San Martín, pero en los accesos y zonas de espera en el Puente 4 de Julio, el flujo es forzado y se generan colas de vehículos considerables, debido a la preferencia que tienen los carriles de circulación de la Avenida las Américas.

3.4.3. Análisis con el puente Isaac Attie

Figura 38: Puente Isaac Attie



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim versión 8

Con la inclusión de este puente, se ve mejoras en el nivel de servicio en los accesos de ingreso al puente San Martín por la rotonda N°2 y en la circulación sobre el puente San Martín, ya que la circulación hacia el norte de la ciudad se ve repartida en un porcentaje considerable sobre el puente Isaac Attie.

Todavía se observan colas prolongadas en accesos sobre la rotonda N° 1.

3.5. ANALISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCION

Se analizaron 2 alternativas de solución con las cuales se busca mejorar el problema del tráfico vehicular en esta zona, sin considerar la construcción de estos 2 puentes, ya que se pueden observar que la construcción de dichos puentes no son una solución definitiva al problema en estudio.

Las alternativas de solución planteadas son las siguientes:

a) Ampliación de ancho de calzada a la rotonda numero 1

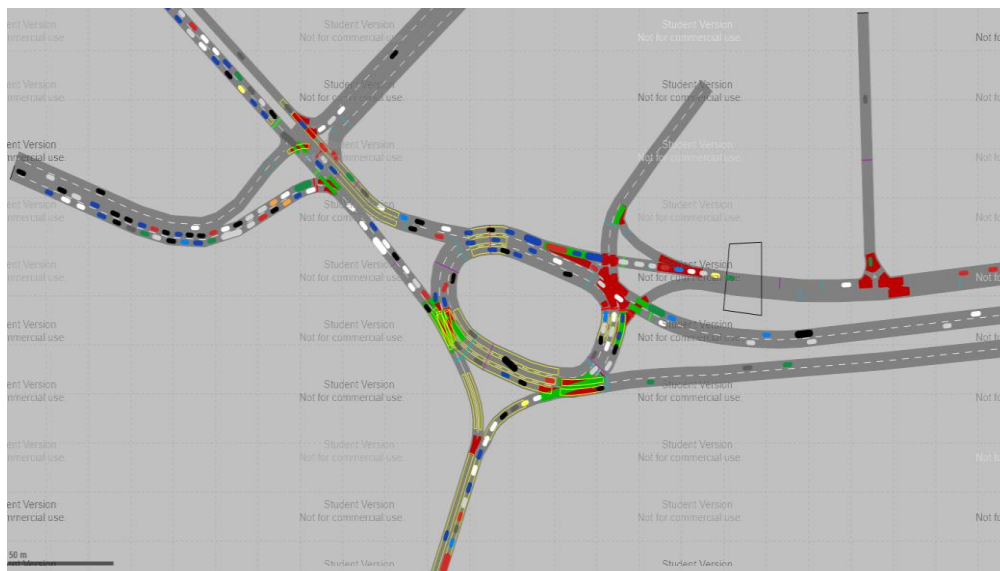
Esta alternativa es planteada al observar que los niveles de servicio mejoran tomando en cuenta las dimensiones de los anchos de cada acceso o vías que componen la rotonda, es por eso que, al ampliar el ancho de calzada de los accesos de toda la rotonda, la distribución y circulación de los vehículos se ve mejorada al tener menos puntos de congestión los cuales se ven afectados por los anchos de carril que no son suficientes para una distribución de vehículos adecuada que permita una fluidez constante en el recorrido de los vehículos en todas las vías que componen la rotonda número 1.

Actualmente se tiene que los anchos de calzadas de los accesos que componen esta rotonda varían entre 6 a 9 metros. La ampliación será de 12 metros de manera uniforme en toda la rotonda.

En esta alternativa de solución, no se hacen modificaciones en otros puntos o accesos al puente San Martín, ya que es una zona en la que se presenta cierta dificultad para realizar modificaciones de consideración o a gran escala.

En la siguiente ilustración se muestra las modificaciones únicamente a los accesos que componen la rotonda número 1, la cual permite obtener mejoras disminuyendo la cola de vehículos que circulan la avenida las Américas de sur a norte:

Figura 39: Ampliación anchos de calzada en rotonda 1



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim versión 8

b) Aplicación de la educación vial con tráfico direccionado

Esta alternativa de solución está enfocada en la educación vial por parte de los conductores, los cuales deben tomar ciertos carriles de circulación obligatoria para poder circular de un punto a otro, tomando en cuenta que la principal causa de congestión vehicular se presenta en los puntos en los cuales los vehículos se ven forzados a hacer un cambio de carril.

Al restringir ciertos movimientos o maniobras en puntos de conflicto en la rotonda número 1, se facilita el recorrido y el ordenamiento de la cola de vehículos, los cuales deben tomar un carril obligatoriamente para la circulación. Esto evitará el cruce de carril por parte de los vehículos en los puntos donde se interceptan varios volúmenes de tráfico, los cuales, en la situación actual, se ven forzados a realizar maniobras inadecuadas que ocasionan congestionamiento y accidentes de tránsito por ser maniobras peligrosas por falta de dispositivos de control de tránsito y de conciencia por parte de los mismos conductores.

Esta división de carriles de circulación obligatoria se realizará en puntos de la avenida las Américas que se unen con la rotonda número 1, tanto de circulación de sur a norte y en sentido contrario.

Figura 40: Tráfico direccionado



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim versión 8



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim versión 8

3.6. ANALISIS DE RESULTADOS

La construcción de 2 puentes en la zona en estudio no son una solución definitiva al problema del tráfico vehicular, puesto que, los problemas se originan a raíz de los grandes volúmenes que se interceptan en los accesos, dichos accesos se ven obsoletos y rebasados en su capacidad.

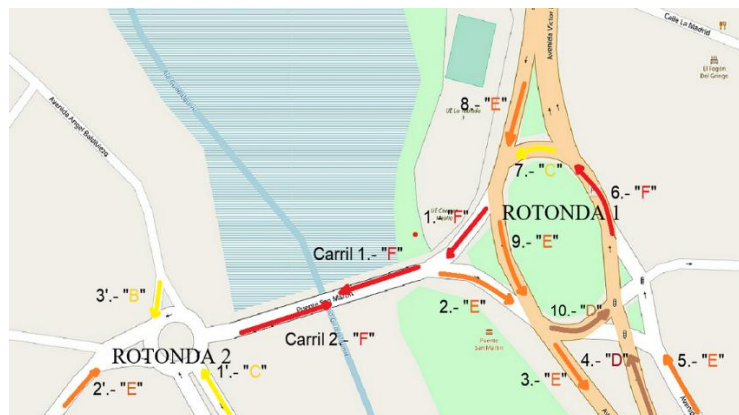
Para el análisis de los resultados correspondientes al planteo de las soluciones, se demuestra, luego de contrastar la situación actual y ambas alternativas de solución, que estas alternativas son viables tomando en cuenta las mejoras previsible mostradas en las modelaciones virtuales, así también son viables en distintos puntos de vista y aspectos.

Los siguientes resultados muestran que al hacer ciertas modificaciones físicas a la rotonda número 1 o al tomar en cuenta la educación vial, el flujo vehicular mejora considerablemente, así mismo se demuestra que con poca inversión económica se logra tener alternativas de solución que sean viables al problema de tráfico vehicular en la zona, soluciones que no son definitivas, pero las mismas pueden dar una solución a corto plazo hasta hacer un estudio minucioso y una inversión que nos dé como resultado grandes estructuras y accesos por los cuales el tráfico vehicular en esta zona tenga más alternativas de circulación.

Los resultados de acuerdo a la modelación y al cálculo numérico del nivel de servicio, haciendo una comparación con la situación actual, se muestran a continuación:

Para la situación actual se tienen los siguientes niveles de servicio

Figura 41: Resultados niveles de servicio situación actual



Fuente: Elaboración propia e imagen PTV Vissim versión 8

Tabla 17: Resultados de niveles de servicio situación actual rotonda 1

Accesos	Volumen (veh/hr)	Capacidad (veh/hr)	v/c	Nivel de servicio	Descripción del flujo
Acceso 1	1006	810	1,2	F	Flujo forzado
Acceso 2	853	855	1,0	E	Flujo inestable
Acceso 3	893	918	1,0	E	Flujo inestable
Acceso 4	676	918	0,7	D	Próximo flujo inestable
Acceso 5	484	630	0,8	E	Flujo inestable
Acceso 6	1695	1446	1,2	F	Flujo forzado
Acceso 7	393	2340	0,2	C	Flujo estable
Acceso 8	1665	1710	1,0	E	Flujo inestable
Acceso 9	995	1080	1,0	E	Flujo inestable
Acceso 10	903	1656	0,5	D	Próximo flujo inestable

Fuente: Elaboración Propia

En la rotonda número 1 tenemos dos accesos con niveles de servicio críticos, esto debido a la gran cantidad de volumen vehicular que circulan por los accesos, además de que estos accesos tienen un ancho de carril inadecuado que no cubre con las necesidades óptimas para la circulación. El acceso 1 tienen un volumen de 1006 vehículos/hora que circulan en un ancho de calzada de 6 metros y el acceso número 6 tienen un volumen de 1695 vehículos/hora que circulan sobre un ancho de calzada de 8 metros.

Los accesos 2,3,5,8 y 9 tienen un nivel de servicio E, los cuales se aproximan a tener un nivel de servicio crítico, debido a que los anchos de calzada de cada acceso no son adecuados para la circulación fluida del tráfico vehicular que recorren estos accesos.

Los accesos 4 y 10 muestran niveles de servicio D próximos al flujo inestable, los cuales presentan un flujo vehicular interrumpido y de consideración, debido a las colas de vehículos que se presentan en los accesos en los cuales se interceptan.

El acceso número 7 en teoría es el único que no presenta problemas en cuanto al flujo vehicular, debido a su bajo volumen de vehículos de 393 vehículos/hora y a su ancho de calzada adecuado de 9,4 metros.

Tabla 18: Resultados de niveles de servicio situación actual rotonda 2

Accesos	Volumen (veh/hr)	Capacidad (veh/hr)	v/c	Nivel de servicio	Descripción del flujo
Acceso 1'	397	1476	0,3	C	Flujo estable
Acceso 2'	441	500	0,9	E	Flujo inestable
Acceso 3'	150	882	0,2	B	Flujo estable

Fuente: Elaboración Propia

En la rotonda número 2, el acceso 2' tiene números de conflicto siendo el volumen de vehículos de 441 vehículos/hora en un ancho de acceso de 4 metros. Además, que se presenta una cola de vehículos larga y conflictiva debido a la situación que se presenta en la rotonda número 1.

El acceso 1' presenta un volumen de 397 vehículos/hora que circula en un ancho de acceso de 8,5 metros. En este acceso se presenta una cola de vehículos prolongada debido a que este acceso se conecta directamente con el puente San Martín, así mismo se intercepta con la rotonda a la cual desemboca un gran volumen de vehículos.

El acceso 3' presenta un volumen bajo de vehículos de 150 vehículos/hora y tiene un ancho de acceso de 6 metros. El acceso se conecta con la rotonda número 2, el mismo cuenta con un flujo vehicular estable, pero se ve interrumpido por los volúmenes que se interceptan a la rotonda.

Tabla 19: Resultados de niveles de servicio situación actual carriles del puente San Martín

Accesos	Volumen (veh/hr)	Capacidad (veh/hr)	v/c	Nivel de servicio	Descripción del flujo
Carril 1	1006	630	1,6	F	Flujo forzado
Carril 2	853	630	1,4	F	Flujo forzado

Fuente: Elaboración Propia

Los carriles del puente San Martín tienen niveles de servicio conflictivos (F) debido a los grandes volúmenes que circulan por ambos carriles que cuentan con anchos de carril de 3,75 metros cada uno. El puente es una estructura que tiene la función de ser la única alternativa de circulación que conecta el distrito 7 y 13 de la ciudad.

Para la alternativa de solución 1 se tienen los siguientes niveles de servicio:

Figura 42: Nivel de servicio para alternativa de solución 1



Fuente: Elaboración propia e imagen PTV Vissim versión 8

Tabla 20: Nivel de servicio alternativa de solución 1 rotonda 1

Accesos	Volumen (veh/hr)	Capacidad (veh/hr)	v/c	Nivel de servicio	Descripción del flujo
Acceso 1	1006	810	1,2	F	Flujo forzado
Acceso 2	853	855	1,0	E	Flujo inestable
Acceso 3	893	918	1,0	E	Flujo inestable
Acceso 4	676	918	0,7	D	Próximo flujo inestable
Acceso 5	484	630	0,8	E	Flujo inestable
Acceso 6	1695	3112	0,5	D	Próximo flujo inestable
Acceso 7	393	3420	0,1	B	Flujo estable
Acceso 8	1665	1710	1,0	E	Flujo inestable
Acceso 9	995	3420	0,3	C	Flujo estable
Acceso 10	903	2736	0,3	C	Flujo estable

Fuente: Elaboración Propia

Habiendo hecho las modificaciones físicas en toda la rotonda número 1, se tienen por consecuencia las siguientes mejoras en los niveles de servicio:

- Se observa la existencia de solo un nivel de servicio en conflicto (F) presente en el acceso número 1, con un volumen de 1006 vehículos/hora y con un ancho de acceso de 6 metros. Se mantiene el conflicto debido a que no se realizó ninguna modificación física al acceso.

- Los accesos 2,3,5 y 8 al igual que el acceso número 1, no tienen ninguna modificación física realizada y se mantienen los parámetros de capacidad y nivel de servicio mostrados en la situación actual (Nivel de servicio E). El acceso número 4 también mantiene su nivel de servicio calculado en la situación actual (Nivel de servicio D).
- Al realizar las modificaciones físicas a los accesos o vías que componen la rotonda número 1, ampliando el ancho de carril en 12 metros a todos los accesos de manera uniforme, se observan las siguientes mejoras en la capacidad vial y los niveles de servicio en los siguientes accesos: el acceso número 6 tiene una capacidad de 1446 vehículos/hora en la situación actual y con la ampliación de la calzada tiene una capacidad de 3112 vehículos/hora, pasando de un nivel de servicio F a un nivel de servicio D.

El acceso 7 en la situación actual tiene una capacidad de 2340 vehículos/hora y con las mejoras tiene una capacidad de 3420 vehículos/hora, pasando de tener un nivel de servicio C a un nivel de servicio B.

El acceso 9 en la situación actual tiene una capacidad de 1080 vehículos/hora y con las mejoras tiene una capacidad de 3420 vehículos/hora, pasando de tener un nivel de servicio E a un nivel de servicio C.

El acceso número 10 en la situación actual tienen una capacidad de 1656 vehículos/hora y con las mejoras tiene una capacidad de 2736 vehículos/hora, pasando de tener un nivel de servicio D a un nivel de servicio C.

- Las modificaciones realizadas no presentan una solución definitiva en la rotonda número 1, pero mejoran las condiciones en cuanto al orden y distribución de los vehículos y así mejora la fluidez del tráfico vehicular en cada vía que compone la rotonda, tomando en cuenta que existen puntos donde se interceptan varios volúmenes de vehículos.

Tabla 21: Nivel de servicio alternativa de solución 1 rotonda 2

Accesos	Volumen (veh/hr)	Capacidad (veh/hr)	v/c	Nivel de servicio	Descripción del flujo
Acceso 1'	397	1476	0,3	C	Flujo estable
Acceso 2'	441	500	0,9	E	Flujo inestable
Acceso 3'	150	882	0,2	B	Flujo estable

Fuente: Elaboración Propia

En la rotonda número 2 se mantienen las condiciones mostradas en la situación actual, debido a que no se realiza ningún tipo de modificaciones a los accesos o vías en análisis en esta rotonda.

Tabla 22: Nivel de servicio alternativa de solución 1 carriles del puente San Martín

Accesos	Volumen (veh/hr)	Capacidad (veh/hr)	v/c	Nivel de servicio	Descripción del flujo
Carril 1	1006	630	1,6	F	Flujo forzado
Carril 2	853	630	1,4	F	Flujo forzado

Fuente: Elaboración Propia

Al igual que en la rotonda número 2, la estructura misma del puente no tiene ningún tipo de modificación, se mantienen el número de carriles y sus condiciones físicas. Al igual que en la situación actual, el volumen de vehículos que circula por el puente sigue siendo el mismo y en consecuencia los parámetros de capacidad vial y nivel de servicio se mantienen.

Haciendo un análisis de la alternativa de solución mostrada, se identifican mejoras en el flujo vehicular en la rotonda número 1 debido que, al hacer la ampliación del ancho de calzada de los accesos que componen toda la rotonda, se dividiría en 3 carriles posibles los cuales ayudan a que los vehículos se distribuyan de mejor manera en todo el ancho del acceso, así mismo, los puntos donde existe el problema de embotellamiento se verían desafectados al tener mayor área de circulación y una distribución de filas de vehículos mejorada.

A continuación se muestran las siguientes tablas sobre una comparación de los niveles de servicio entre la situación actual y la alternativa de solución número 1, en la cual se

muestran mejoras en los niveles de servicio en las vías que componen la rotonda número 1, mejoras que, tomando en cuenta los datos obtenidos de volumen de vehículos en la actualidad, son suficientes para mejorar la fluidez del tráfico en esta zona, recalcando que esta no es una solución definitiva ya que el crecimiento poblacional en la ciudad de Tarija es considerable al correr de los años.

Comparación entre niveles de servicio de la situación actual y la alternativa de solución 1

Accesos	Situación actual		Alternativa de solución	
	Nivel de servicio	Descripción del flujo	Nivel de servicio	Descripción del flujo
Acceso 1	F	Flujo forzado	F	Flujo forzado
Acceso 2	E	Flujo inestable	E	Flujo inestable
Acceso 3	E	Flujo inestable	E	Flujo inestable
Acceso 4	D	Próximo flujo inestable	D	Próximo flujo inestable
Acceso 5	E	Flujo inestable	E	Flujo inestable
Acceso 6	F	Flujo forzado	D	Próximo flujo inestable
Acceso 7	C	Flujo estable	B	Flujo estable
Acceso 8	E	Flujo inestable	E	Flujo inestable
Acceso 9	E	Flujo inestable	C	Flujo estable
Acceso 10	D	Próximo flujo estable	C	Flujo estable

Tabla 23: Comparación de niveles de servicio rotonda 1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 24: Comparación rotonda 2

Accesos	Situación actual		Alternativa de solución	
	Nivel de servicio	Descripción del flujo	Nivel de servicio	Descripción del flujo
Acceso 1'	C	Flujo estable	C	Flujo estable
Acceso 2'	E	Flujo inestable	E	Flujo inestable
Acceso 3'	B	Flujo estable	B	Flujo estable

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 25: Comparación carriles del puente San Martín

Accesos	Situación actual		Alternativa de solución	
	Nivel de servicio	Descripción del flujo	Nivel de servicio	Descripción del flujo
Carril 1	F	Flujo forzado	F	Flujo forzado
Carril 2	F	Flujo forzado	F	Flujo forzado

Fuente: Elaboración Propia

Para la alternativa de solución 2

En la alternativa de solución número 2, se mantienen los niveles de servicio representados en la situación actual, tomando en cuenta que los volúmenes distribuidos en cada carril obligatorio, se asemejan a los volúmenes que se muestran en las modelaciones donde los vehículos deben cruzar de carril de manera forzada para circular por la vía que necesitan transitar.

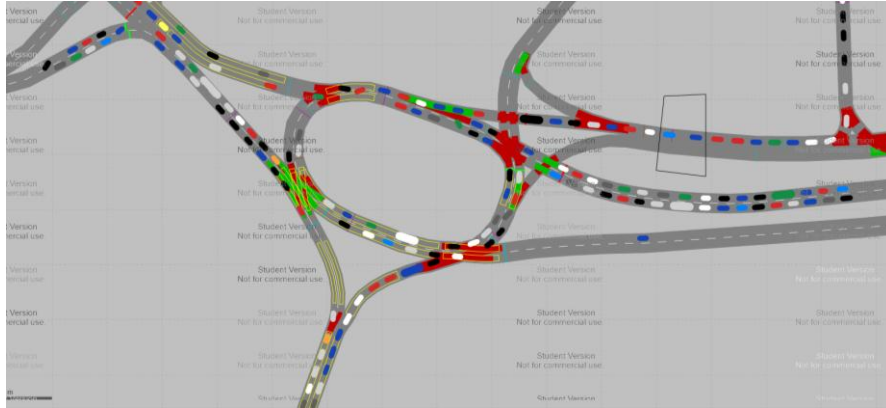
En algunos casos, la calzada de los accesos se verá dividida en 3 carriles en los cuales circularán un determinado número de vehículos, pero se mantienen los niveles de servicio ya que son calculados tomando en cuenta el total de los volúmenes que circulan por el acceso, además de tomar en cuenta también el total del ancho de calzada.

La aplicación de la educación vial implica tomar rutas de manera obligatoria las cuales, en algunos casos, alargan el tiempo de recorrido para llegar de un punto a otro, pero al tener un orden y una ruta obligatoria de circulación, las colas de vehículos bajan considerablemente además se previenen embotellamientos por cruce de carriles y accidentes ocasionados por este problema.

Esta solución planteada, considera la educación vial de los conductores, además de aplicar normas de tránsito que se asemejen a las normas aplicadas en países en los cuales el flujo de tráfico vehicular es considerablemente grande, pero se solucionan haciendo que los vehículos transiten por rutas obligatorias o restringiendo movimientos o maniobras que ocasionen que el congestionamiento vehicular se vuelva un caos.

En las siguientes ilustraciones, se muestran las diferencias entre la circulación de vehículos en la situación actual y la circulación de vehículos aplicando la circulación de vehículos por carriles obligatorios:

Figura 43: Circulación de tráfico en rotonda 1 situación actual



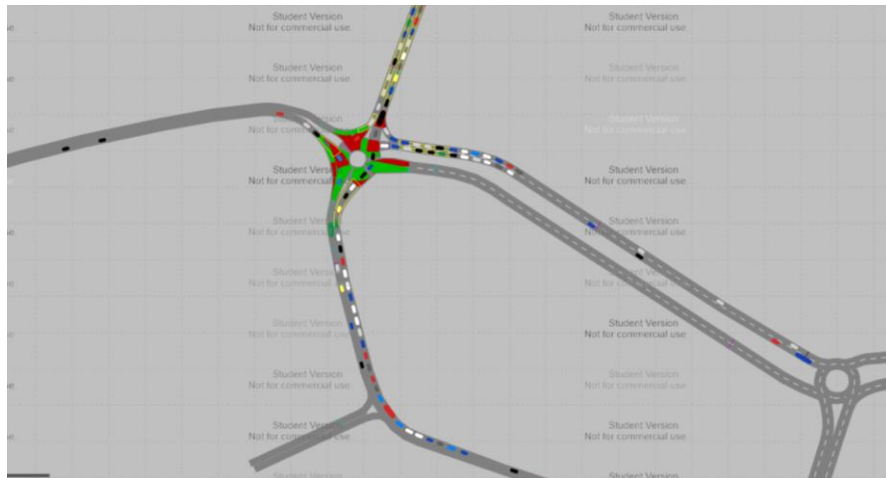
Fuente: Imagen PTV Vissim versión 8

Figura 44: Circulación de tráfico en carriles del puente situación actual



Fuente: Imagen PTV Vissim versión 8

Figura 45: Circulación de tráfico en rotonda 2 situación actual



Fuente: Imagen PTV Vissim versión 8

Figura 46: Circulación de tráfico en rotonda 1 alternativa 2



Fuente: Imagen PTV Vissim versión 8

En esta ilustración se muestran los carriles de circulación que virtualmente ayudan al ordenamiento del tráfico vehicular en la rotonda número 1, los cuales distribuyen los volúmenes mostrados en la situación actual.

El carril número 1 está direccionado como vía de circulación la cual conecta la avenida las Américas con la avenida Panamericana en el recorrido de sur a norte, tomando como referencia la circulación hacia el ex zoológico con dirección al barrio Guadalquivir o al mercado Campesino. Este carril también une la mencionada avenida con el ingreso al centro de la ciudad por la calle 15 de abril.

El carril número 2, parte de una división en la vía del medio de la avenida las Américas, el cual une dicha avenida únicamente con la avenida Integración.

El carril número 3 que también es parte de la división de la vía del medio de la avenida las Américas, une esta avenida con el acceso sobre la rotonda número 1 que se conecta con el puente San Martín, también se puede hacer una maniobra de giro total de la rotonda.

El carril número 4, parte sobre el tramo final de la avenida Integración y este carril se conecta directamente con el puente San Martín.

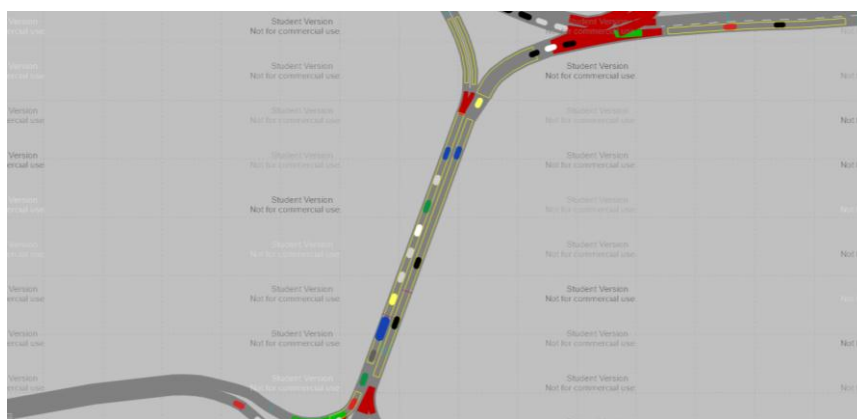
El carril número 5 también parte sobre el tramo final de la avenida Integración, pero este carril conecta esta avenida con la rotonda y permite los distintos movimientos como ser, tomar la vía de la avenida las Américas de circulación de norte a sur, tomar el acceso

número 10 de la rotonda número 1 que conecta a la rotonda con la calle 15 de Abril o la doble vía de la avenida y realizar un giro en toda la rotonda.

El carril número 6 conecta al carril de circulación de oeste a este del puente San Martín con la vía de circulación de norte a sur de la avenida las Américas y con el acceso número 10 de la rotonda para tomar el carril 1,2 o 3 de la avenida ya referenciados anteriormente y también tomar la calle 15 de abril de ingreso al centro de la ciudad de Tarija.

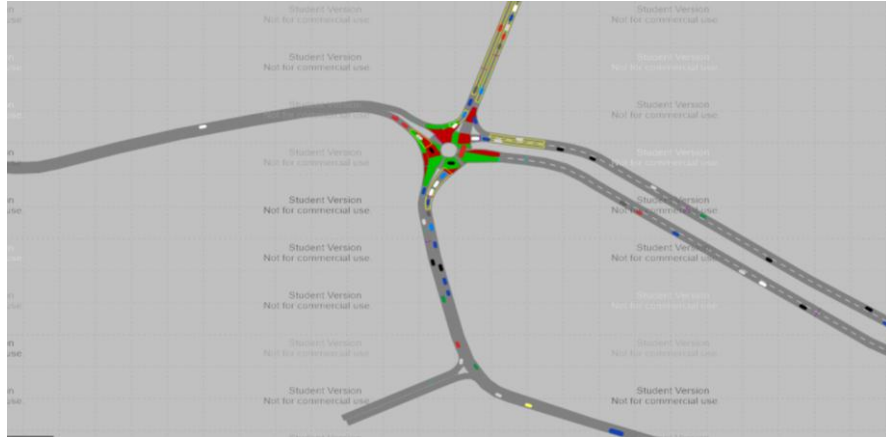
El acceso número 10 ubicado en la rotonda número 1, tiene como entrada una gran cantidad de volumen vehicular de 903 vehículos/hora en un ancho de acceso de 9,4 metros, el cual deberá ser dividido en 3 carriles para realizar 3 distintos movimientos; el carril de la izquierda conecta al acceso con el puente San Martín haciendo un giro a la rotonda, el carril del medio conecta al carril número 1 de circulación obligatoria, también al ingreso a la calle 15 de Abril y el carril de la derecha conecta al acceso con el carril de circulación de norte a sur de la doble vía de la avenida las Américas.

Figura 47: Circulación de tráfico en carriles del puente alternativa 2



Fuente: Imagen PTV Vissim versión 8

La circulación sobre los carriles del puente, según la modelación virtual, se observa más fluida debido a que los puntos en conflicto existentes en la rotonda número 1 mostrados en la situación actual, se ven desafectados por la circulación obligatoria de los vehículos por los carriles direccionados referenciados anteriormente.

Figura 48: Circulación de tráfico en rotonda 2 alternativa 2

Fuente: Imagen PTV Vissim versión 8

De la misma manera que en la situación que se presenta en los carriles del puente San Martín a consecuencia de las modificaciones de circulación en la rotonda número 1, en la rotonda número 2 también se observa una circulación del tráfico vehicular más fluida, debido a la cola de vehículos reducida.

CAPITULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- Al analizar las modelaciones realizadas, tanto en la situación actual como con los puentes a construir, se observa que el problema del tráfico vehicular continua y que la construcción de los puentes no son una solución factible y definitiva al problema.
- Se demuestra mediante las modelaciones realizadas, el nuevo comportamiento y la nueva distribución del tráfico vehicular en la zona del puente San Martín, tomando en cuenta los datos de aforos realizados en la zona.
- La rotonda número 1 es el punto de mayor conflicto en toda la zona estudiada, es por eso que las modificaciones o las soluciones están centradas en dicho punto.
- Las velocidades obtenidas en los accesos que se conectan con el puente San Martín, son velocidades muy bajas, las cuales nos demuestra que la circulación del tráfico vehicular en esta zona es muy interrumpida ocasionando cola de vehículos prolongada. En la siguiente ilustración se muestran las velocidades obtenidas:

FIGURA 49: Velocidades



Fuente: Elaboración propia e imagen de PTV Vissim versión 8

- Con la alternativa de solución 1 se obtienen mejoras en la capacidad vehicular de cada acceso que componen la rotonda número 1, así mismo se obtienen mejoras en la fluidez del recorrido del tráfico vehicular:

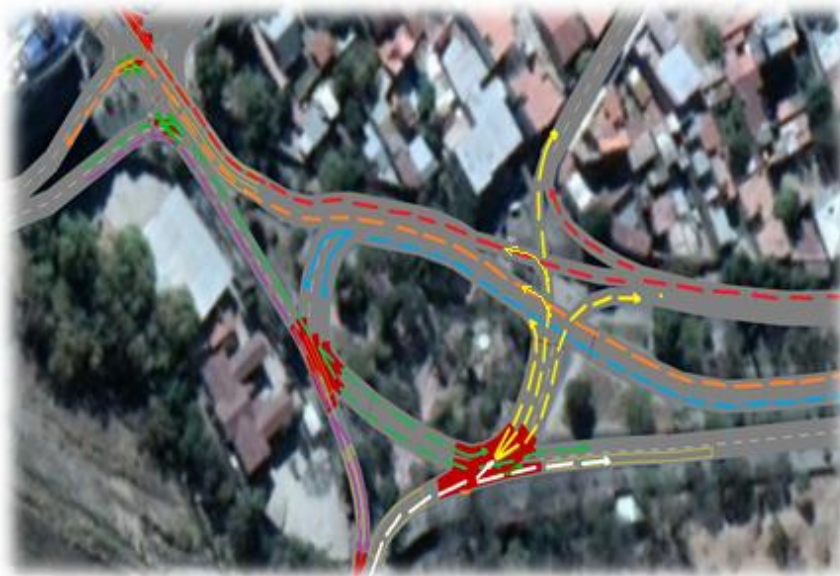
Tabla 26: Resultados

Acceso	Capacidad antes (veh/hr)	Capacidad después (veh/hr)	Nivel de servicio antes	Nivel de servicio después
6	1446	3112	F	D
7	2340	3420	C	B
9	1080	3420	E	C
10	1656	2736	D	C

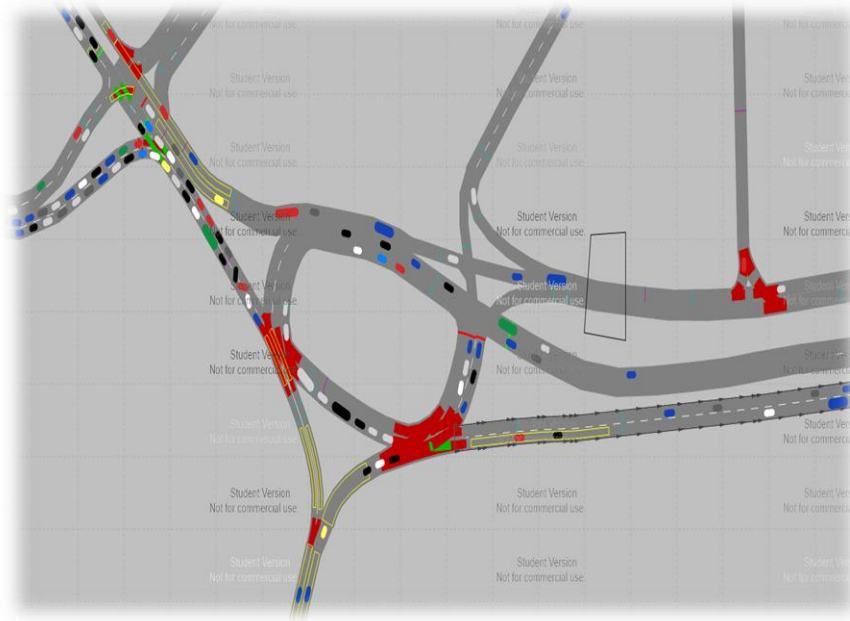
Fuente: Elaboración propia

- Con la alternativa de solución 2, los accesos de la rotonda número 1, al tener los carriles direccionados obligatorios, tendrán los mismos niveles de servicio que la situación actual tomando en cuenta q no se realizan modificaciones físicas a la rotonda y que los volúmenes son virtualmente los mismos.

En la siguiente ilustración se muestran la dirección de circulación de los vehículos sobre los carriles direccionados, esto también enfocado directamente en la rotonda número 1 siendo el punto de más conflicto en toda la zona:

FIGURA 50: Dirección de circulación en carriles obligatorios

Fuente: Elaboración propia e imagen satelital PTV Vissim version 8



Fuente: Imagen satelital PTV Vissim version 8

- Las soluciones planteadas no son soluciones definitivas, pero son soluciones a corto plazo y de bajo costo que sirven para mejorar el problema del tráfico vehicular hasta tener un estudio de gran magnitud y así la ejecución de proyectos sea la solución definitiva.
- La toma de muestras de volumen, velocidad y anchos de carril, fueron los datos necesarios para la realización de las modelaciones, demostrando de manera virtual, tanto la situación actual real, como la posible distribución de tráfico vehicular, teniendo ambos puentes construidos.
- Se debe mencionar, que el manejo del programa PTV Vissim Versión 8 se ve limitado en la realización de las modelaciones en un área de estudio de 1 km² y en un tiempo de modelación de 10 minutos.

7.2. RECOMENDACIONES

- La importancia del manejo de programas informáticos es esencial para este tipo de estudios de aplicación, en los cuales se puede demostrar de manera virtual, la situación real en una zona de estudios en base a datos obtenidos de aforos realizados.
- Se recomienda consultar distintas fuentes, tanto bibliográficas como en páginas web, para tener un más amplio conocimiento de los parámetros, métodos de cálculo y procedimientos a realizar.

- Para un procedimiento más preciso en la toma de datos, se sugiere tener un amplio número de aforadores, tomando en cuenta las características del área de estudio, en este caso, tomando en cuenta la gran cantidad de vehículos que circulan por la zona del puente San Martín.
- Para estudios de aplicación futuros basados en soluciones al tráfico vehicular, se deben considerar soluciones que mejoren de manera definitiva el problema, tomando en cuenta aspectos técnicos adecuados y que estén acordes a minimizar económicamente la implementación de las alternativas de solución planteadas.