

1. INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

La gran necesidad de calles y carreteras en muchos países ha requerido de la atención preferente en el aspecto estructural de las mismas, con el fin de construir el mayor kilometraje en el menor tiempo, así como la duración de la infraestructura. Sin embargo en los últimos años se ha acrecentado el grave problema del tránsito, motivo por el cual se empezó a estudiar otro aspecto: *el operacional*.

Entre más sombrío se presente el problema del tránsito, con su saldo de *accidentes* y de *congestionamientos*, más pronto se tratará de atender el problema. Por lo tanto, tarde o temprano todo país, ciudad, habrá de considerarlo, estudiarlo y tratar de contrarrestarlo.

En el año 2012 por primera vez se realizan en Latinoamérica (Colombia) proyectos apoyados por el Fondo para la Prosperidad de la Embajada Británica que destinó un elevado monto económico, buscando como resultado un programa de prosperidad que implemente políticas que promuevan un crecimiento verde y una mejora en el ambiente de negocios e inversión. Asimismo, se pretende lograr un progreso significativo en el cumplimiento de los requisitos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en materia de transparencia, el medio ambiente, la competitividad, la inversión y la innovación. Por último, se espera adquirir la experiencia necesaria para implementar con éxito programas de asociación público-privada, se pretende desarrollar investigaciones científicas sólidas y soportar la política de innovación para mejorar la competitividad de Colombia.

El proyecto "Apoyo institucional y regulatorio para el transporte urbano de bajo carbono en Colombia" hace parte del programa de prosperidad de la embajada Británica en Colombia y es desarrollado en conjunto por el grupo de estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional (SUR) de la Universidad de los Andes y University College London del Reino Unido. Soportado por la experiencia del Reino Unido, el principal objetivo del proyecto es fortalecer el marco de política nacional para

transporte bajo en carbono en Colombia, aumentar la capacidad institucional para su implementación y apoyar la formulación de políticas nacionales para los cobros por congestión y contaminación.

La congestión vehicular en nuestra ciudad (Tarija), así como en otras importantes capitales de Latinoamérica es una característica de la circulación vial, donde la condición del flujo vehicular se satura por diferentes motivos (exceso de demanda de vías, aumento del parque automotor, entre otros), los que llevan a un atascamiento perjudicando la libre transitabilidad del usuario de la vía en la urbe.

Este hecho nos muestra claramente algunas causas para los congestionamientos: el crecimiento del parque automotor que aún es preocupante hoy en día, ya que se habla de muchísimos vehículos más que ingresan a las calles de las ciudades más importantes de Bolivia (o en nuestro caso Tarija), y debido a esto no se tomaron las previsiones en cuanto al crecimiento anual de la población, ni qué decir de la falta de previsiones en cuanto a alcantarillado, agua potable, energía eléctrica, áreas verdes, áreas de equipamiento y otras.

Otro factor que se define como causa para los congestionamientos es el uso de vehículos particulares que son más cómodos y seguros, y así evitar el uso del transporte público por los malos o deficitarios servicios que ofrece. Muchos de los conductores de vehículos que transitan por la ciudad no cumplen las normas de tránsito y las normas de conducta de respeto a sus semejantes, también afecta el comportamiento por el estrés que se acumula en las personas, lo que contribuye a la congestión vehicular.

El crecimiento urbano del país de Bolivia y del departamento de Tarija, hace que en los próximos años el tema de la congestión generado por el tráfico automotor sea cada vez más relevante.

Este documento es una guía que pretende dar fundamentos teóricos sobre los cobros por congestión y hacer, a manera de ejemplo, una primera aproximación a lo que podrían ser dichos cobros en la ciudad de Tarija. La guía inicia con un marco teórico sobre la congestión y los conceptos detrás de los peajes, los esquemas y tecnologías

más comunes y los posibles impactos de estas medidas.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE APLICACIÓN

Lo que se pretende implantar es una idea para la región, aunque con problemas en términos de eficiencia económica y con limitaciones en el mediano plazo; esta idea es la restricción vehicular con el cobro por congestión, especialmente utilizada en la ciudad de Tarija, ya que en algunos países de América Latina (Colombia) se explora esta iniciativa probada a nivel internacional, en búsqueda de tener un uso más eficiente y racional del automóvil.

Esta medida tiene como uno de sus objetivos mitigar las externalidades negativas del exceso de tráfico y de esta manera, desmotivar el uso innecesario del usuario del vehículo privado a través de una tarifa que perciban por el costo por congestión vehicular que ocasionan.

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

En el proyecto que realizó la Universidad de los Andes y University College London del Reino Unido, en apoyo institucional al transporte urbano de Colombia, tomó como zona de análisis una sección comprendida entre la avenida Circunvalar, la avenida Caracas, la calle 26 y la calle 72, con un área total de 7.73 km² y se realizan un total de 1'566,000 viajes en un día hábil típico. Es importante tener en cuenta que en esta área se concentran los principales centros financieros de la ciudad, lo que hace que sea un destino muy atractivo por parte del sector económico de la ciudad. En esta zona se realizó el estudio de la implementación del cobro por congestión vehicular, con resultados positivos (Tabla 1.1).

Tabla 1.1 Esquema de cobro por congestión

	Peaje (pesos)	Costo por congestión (pesos/día)	Pérdida de eficiencia (bs/día)	Beneficio neto (costo por congestión) (bs/día)	Reducción vehicular (ΔQ) (%)	Velocidad promedio (km/hr)	Recaudo diario (bs/día)*1000	Recaudo anual (bs/día)*1000
Situación actual	-	24000	-	-	-	16	-	-
Óptimo social	2600	-	-	24000	-19	20	101	30400
Maximización de ingresos	4400	-	17000	24000	-47	25	124	37200

Fuente: University College London – Universidad de los Andes. Cobros por congestión en ciudades Colombianas (abril 2013)

Debido a la situación descrita anteriormente, resulta conveniente evaluar la implementación de un esquema de cobro por congestión en la ciudad, que involucre únicamente los periodos de tiempo y zonas donde se presenta congestión. Para el caso de la ciudad de Tarija, esta zona corresponde al centro expandido donde se concentra uno de los centros de actividades económicas de la ciudad.

El cobro por congestión es una herramienta encaminada a actuar sobre la demanda de transporte, siendo una alternativa que mitigue la congestión, por lo que es indispensable tener un rigor técnico y económico en la evaluación de la viabilidad de este tipo de medida. Previo a su aplicación es clave verificar que los beneficios para la sociedad superan los costos y así evitar que el costo de implementación de un peaje pueda ser mayor al ahorro en disminución de la congestión, en especial si esta congestión no es alta.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

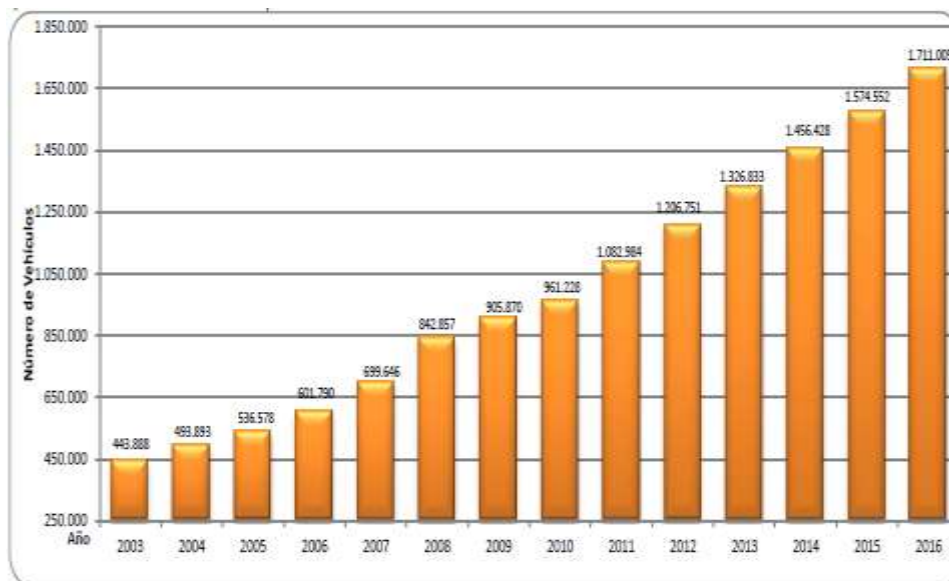
1.3.1. Situación problemática

Las causas de la congestión no son exclusivas de un exceso de vehículos frente a la disponibilidad de vías. La mala gestión del tráfico, el estado de las vías, la ausencia de cultura ciudadana pueden ser variables aún mayores de congestión.

El Programa Municipal de Transporte (PROMUT), como instrumento principal de

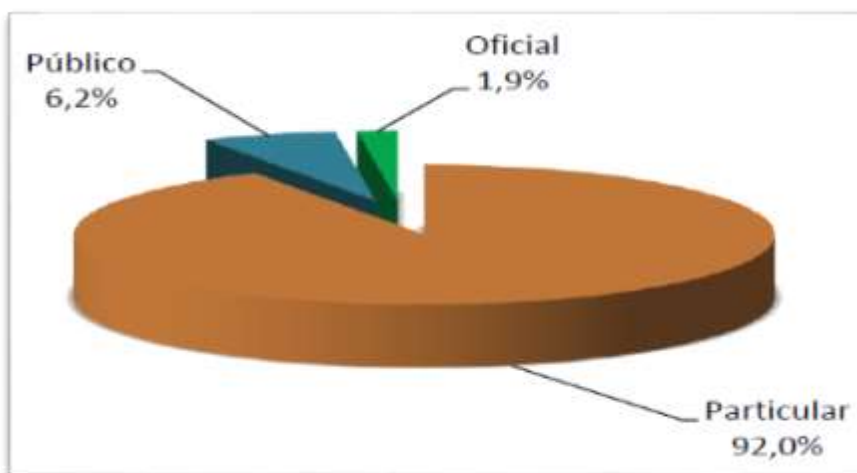
los municipios para la planificación y el desarrollo de los sectores de transporte y vialidad, menciona que la congestión vehicular, la contaminación y número de accidentes son cada vez mayores en nuestro país. Esta tendencia aumenta ya que el parque automotor crece cada año, pasando de cerca de 100.000 motorizados a principios de siglo, a más de 1 millón en 2013.

Figura 1.1 BOLIVIA: Parque Automotor 2003 - 2016



Fuente: I.N.E. en base al Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT)

Figura 1.2 BOLIVIA: Participación del Tipo de Servicio en el Parque Automotor 2016



Fuente: I.N.E. en base al Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT)

Tabla 1.2 BOLIVIA: Parque Automotor, según el Departamento, 2015 - 2016

Departamento	2015		2016	
	Número de vehículos	Participación porcentual	Número de vehículos	Participación porcentual
Total	1'574.552	100,0	1'711.005	100,0
Chuquisaca	62.202	4,0	67.022	3,9
La Paz	380.862	24,2	407.621	23,8
Cochabamba	340.544	21,6	363.603	21,3
Oruro	86.626	5,5	93.766	5,5
Potosí	57.204	3,6	61.056	3,6
Tarija	87.301	5,5	95.711	5,6
Santa Cruz	519.811	33,0	577.553	33,8
Beni	36.759	2,3	41.051	2,4
Pando	3.243	0,2	3.622	0,2

Fuente: I.N.E. en base al Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT)

En el momento en que ingresa un vehículo adicional en la vía estorba el desplazamiento de los demás y comienza la congestión. Esta se intensifica a medida que la cantidad de vehículos en la vía aumenta y esto lo experimentan los usuarios de las vías mediante mayores incrementos en su tiempo de viaje.

Es de mencionar que aunque el volumen vehicular es una de las causas más importantes de la congestión, no es la única. La congestión es el resultado de un conjunto de falencias en los diferentes elementos que componen el sistema de transporte, como ser: inadecuado diseño de la infraestructura vial, señalización vial inapropiada o ausente, comportamiento inapropiado de los conductores o peatones, desconocimiento de las condiciones de tránsito, mal estado de los vehículos, sistema semafórico obsoleto y/o desligado de las condiciones del tránsito vehicular y/o con ambigüedad en la prioridad del paso; y por consiguiente su solución no depende únicamente de sacar vehículos de las vías, sino que se hace necesaria la inclusión de medidas complementarias para mitigar los efectos de la congestión en las ciudades.

Si hacemos una comparación entre los elementos que convergen en el problema de tráfico que son camino o trazo urbano, vehículo, usuario (conductor - peatón) se puede notar que el problema actual radica en que vehículos cuya tecnología avanzada en forma sorprendente estén circulando por caminos o trazos urbanos cuyas características físicas y geométricas ya no están acordes a la necesidad actual,

cuyo aumento de usuarios en los centros poblados también ha tenido un índice importante, creando mayores necesidades por lo que se debe encontrar soluciones que traten de equilibrar estos tres elementos, de tal manera que un vehículo moderno pueda transitar por los caminos y trazos urbanos actuales en condiciones aceptables y cuyos usuarios estén satisfechos en sus necesidades.

1.3.2. Problema

De acuerdo a todos los problemas que implica un congestionamiento vehicular, ¿Se podrá implementar una alternativa que mitigue la congestión vehicular, a través del cobro de una tarifa por congestión?

1.3.3. Hipótesis

Se puede implementar esta alternativa, ya que es una de las estrategias de gestión de la demanda del vehículo que se ha implementado en diversas ciudades del mundo (Londres, Edimburgo, Estocolmo, Bogotá y Cali). El *cobro por congestión*, es una medida que consiste en el cobro de una tarifa a los usuarios del automóvil privado para poder ingresar a ciertas zonas (ya sean áreas o corredores) de la ciudad en ciertos horarios del día. Por medio de esta medida se puede lograr la internalización de costos para los usuarios del vehículo privado, de tal manera que por medio de la tarifa los conductores de automóvil perciban el costo individual de cada viaje igual al costo social que generan. Con este nuevo costo se esperaría reducir el nivel de congestión en la zona o corredor, considerando que se disminuye la demanda para utilizar la vía, teniendo en cuenta que la disponibilidad a pagar de algunos usuarios que actualmente utilizan la infraestructura (situación sin cobro). Es así como por medio del cobro por congestión es posible maximizar la eficiencia de la utilización del sistema de transporte urbano al desmotivar el uso innecesario del vehículo privado y promover modos de transporte alternativos, como son el transporte público y el transporte no motorizado (bicicleta, caminata).

1.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO DE APLICACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Plantear una alternativa de solución, para internalizar los costos que genera la congestión vehicular (cobro por congestión) en la ciudad de Tarija, con el fin de mitigar la confluencia vehicular.

1.4.2. Objetivos específicos

- Acopiar bibliografía, documentación e información, sobre aspectos generales de la ingeniería de tráfico, el congestionamiento vehicular e información técnica sobre la aplicación del cobro por congestión en ciudades más desarrolladas.
- Obtener datos sobre las características físicas y geométricas de las vías del área de estudio.
- Realizar el aforo de volúmenes y velocidades de tráfico recabados del sector de estudio, para determinar los diferentes indicadores de tráfico (velocidad media vehicular, intensidad, densidad, demora y capacidad vehicular).
- Analizar la circulación vehicular para evaluar y saber a qué tipo de nivel de servicio se encuentran las vías del área de estudio de acuerdo a los indicadores de tráfico y las propiedades del área de estudio.
- Realizar un análisis de la situación de congestión actual vehicular en el área de estudio (viajes que entran y viajes salen).
- Estimar la función de costo individual.
- Estimar la función de costo social marginal.
- Estimar la función de demanda.
- Realizar un análisis de resultados del caso de cobro por congestión vehicular en el área de estudio.
- Dar conclusiones y recomendaciones sobre el uso y la aplicabilidad del cobro por congestión vehicular en la ciudad de Tarija.

1.5. DISEÑO METODOLÓGICO

1.5.1. Componentes

1.5.1.1. Unidades de estudio y decisión muestral

1.5.1.1.1. Unidades de estudio

El elemento a ser estudiado es un elemento básico que compone el tráfico: *El Vehículo*, el cual se va a medir y estudiar su comportamiento en vías o rotondas, donde el flujo vehicular en horas pico no es estable.

1.5.1.1.2. Población

Se consideran los límites de la población a todos los vehículos motorizados que circulan por las vías de tránsito de la ciudad de Tarija, en particular el ente urbano, donde el nivel de servicio está cerca del límite de su capacidad vehicular.

1.5.1.1.3. Muestra

Se considera a todos los vehículos motorizados que circulan por la zona central, que está representada por el “sector de estudio”, delimitada por las siguientes avenidas:

- Avenida Domingo Paz
- Avenida Colón
- Avenida 15 de Abril
- Avenida Campero

1.5.1.1.4. Muestreo

Respecto a la unidad de muestreo, se consideran el elemento *vehículo privado*, cuyo peso, dimensiones y características de operación son utilizados para establecer los lineamientos que guiaran el proyecto. Los vehículos se clasifican en 3:

- Vehículos ligeros o livianos.
- Vehículos Medianos (camiones y microbuses).
- Vehículos Pesados (autobuses y camión de carga).

1.5.2. Métodos y técnicas empleadas

Método teórico - empírico: Es teórico por que se realizará un análisis y una síntesis de la investigación basada en toda la bibliografía encontrada y en los datos de campo obtenidos, que serán analizados para luego ser depurados y así llegar a un resultado.

Es empírico ya que se realizarán observaciones y mediciones dentro del trabajo de campo, mediante el cual se encontrarán datos necesarios para realizar el proyecto.

De acuerdo a lo descrito, para la obtención, medición, cálculo y análisis de los datos obtenidos en campo, se requeriría de los siguientes instrumentos:

- Ordenador o computadora
- Planillas de aforos
- Cronómetro
- Cinta métrica

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

Proceso por el cual se ordena, se clasifica y se presenta, tanto datos como resultados del estudio, en cuadros estadísticos, gráficas elaboradas y sistematizadas a base de técnicas estadísticas con el propósito de hacerlos comprensibles.

Para el tratamiento de los datos se realiza el estudio *tipo descriptivo*, por lo que dicho tratamiento de datos se aplicara de acuerdo al siguiente esquema para el área de estudio:

- Características de la zona o área de estudio.
- Obtención de datos.
- Obtención de indicadores de tráfico.
- Análisis de la circulación vehicular.
- Metodología del análisis de cobro.
- Análisis de resultados del estudio.

1.5.4. Alcance del estudio

En el primer capítulo se plantea el problema sobre la congestión vehicular y lo que implica, por lo que se busca una posible alternativa de solución a la problemática, además se justificaran las razones sobre el uso de la medida a implantar, estableciendo puntualmente el objetivo general de este estudio.

Luego en el segundo capítulo se definen y describen todos los conceptos y aspectos generales de la ingeniería del tráfico, donde se utiliza como información base los libros de: Ingeniería de tránsito (Rafael Cal y James Cárdenas), Elementos de ingeniería de tráfico (Carlos Kraemer) y otros; de donde se puntualiza información sobre la función de la ingeniería del tráfico y sus elementos fundamentales. También se abordan puntos fundamentales como características de vehículos y usuarios, capacidad vial y nivel de servicio entre otros.

Además, en el tercer capítulo se explican conceptos generales de la congestión de tráfico, las causas y sus efectos negativos, los factores que intervienen en el flujo interrumpido (Ingeniería de tránsito: Rafael Cal y James Cárdenas, Compendio de Información de la materia de Ingeniería de tráfico: Ing. Jhonny Orgaz) y se explicará una posible solución al problema de congestión a través de información técnica sobre aplicabilidad del cobro por congestión vehicular (Cobros de congestión en ciudades Colombianas: University College London – Universidad de los Andes), donde se puntualiza como una alternativa de solución para el congestionamiento vehicular en la ciudad de Tarija, explicando los pasos del proceso de aplicación y el impacto que podría provocar el mismo.

Respecto a la aplicación práctica se abarcan puntos como la ubicación estratégica del área de estudio que sería la zona central de la ciudad de Tarija, delimitada por las avenidas: Domingo Paz, Colón, 15 de Abril y Campero. Se indica el proceso de estudio puntualizando información como características del área de estudio, obtención de datos, propiedades físicas y geométricas del área de estudio (anchos de calle, señales de control, sentido de flujo e intersecciones). Respecto a los aforos vehiculares, se realizaron de forma manual, durante un mes, de lunes a viernes, en

horarios pico de: 7:00 a 8:00, 12:00 a 13:00 y 18:00 a 19:00; para los aforos y procesamiento de información para obtener la velocidad libre vehicular, se realizó aforos y toma de datos en días hábiles, de intersección a intersección, en horarios de 10:00 y 16:00. También se incluye todo respecto a la fase de gabinete que abarca recopilación de datos, el procesamiento y el análisis de la información de tráfico en el área de estudio y las diferentes estimaciones que implica el cobro por congestión vehicular con sus resultados.

Por último se determinan conclusiones y recomendaciones de todo el estudio, respaldando la aplicabilidad del cobro por congestión y que dicho cobro por congestión va más allá de mejorar la movilidad del vehículo.

2. ASPECTOS GENERALES DE LA INGENIERÍA DEL TRÁFICO

2.1. DEFINICIÓN

Se define como la rama de la ingeniería que trata del planeamiento, el proyecto geométrico y explotación de las redes viarias, instalaciones auxiliares (aparcamientos,

terminales, etc.) y zonas de influencia así como su relación con otros modos de transporte.

2.2. FUNCIÓN DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO

2.2.1. Definición y competencia

El objetivo principal de la ingeniería de tráfico es conseguir que la circulación de personas y vehicular sea segura, rápida y económica. Por esta razón sus actividades están relacionadas con la ordenación del territorio, por lo que es preciso estudiar en conjunto todo el problema del transporte (vehículos y usuarios) en función a los aspectos de la planificación territorial. La ingeniería de tráfico analiza lo siguiente:

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

El señalamiento y dispositivos de control tienen la función de establecer proyectos, construcción, conservación y uso de las señales.

La administración se utiliza para obtener buenos resultados y se debe considerar aspectos como: económicos, políticos, fiscales, de relaciones públicas, etc.

2.2.2. Planeamiento

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

2.2.3. Organización de la ingeniería de tráfico

2.2.3.1. Planificación de tráfico y transporte

Son un conjunto de medidas y acciones concretas y específicas para cada caso que, sin modificar principalmente una infraestructura vial, tienden a mejorar su explotación. Sus objetivos básicos se pueden agrupar en:

- Aumento de la seguridad vial.
- Mejora del nivel de servicio.

Estas medidas que se adoptan son diversas, pero algunas se emplea con frecuencia. Entre las medidas más utilizadas tenemos:

- Limitaciones de velocidad.
- Facilidades de circulación en determinadas vías.
- Control de accesos.
- Acondicionamiento de intersecciones.
- Prohibiciones de giros.
- Prioridad en intersección.

2.2.3.2. Señalización y regulación semafórica

Son señales, marcas, semáforos o cualquier otro dispositivo, que se coloca sobre o adyacente a las calles o carreteras por una autoridad pública. Su finalidad de la señalización es la de suministrar a los conductores información necesaria o útil, en el momento y lugar en que la precisan. La información que ha de comunicarse puede clasificarse en tres grupos, según la finalidad específica de la misma:

- Advertir de la existencia de posibles peligros que de otra forma podrían pasar desapercibidos.
- Comunicar la existencia de ciertas reglamentaciones que rigen en un determinado tramo de vía.
- Suministrar indicaciones que permitan al conductor orientarse, seguir la ruta más adecuada para sus fines o encontrar determinados lugares o instalaciones auxiliares.

2.2.3.3. Evaluación y asesoramiento del impacto de tráfico

Los efectos que produce el impacto de tráfico son debido a la circulación de vehículos. Los vehículos al circular a velocidades relativamente altas, producen sensibles alteraciones en el medio, debidas por una parte al ruido producido por su avance, a los productos de desecho que contaminan el aire, suelo y el agua en zonas vecinas, y a las consecuencias de los accidentes que se producen.

La importancia de estos efectos va en función de la intensidad de tráfico soportado por la vía, por lo que son notables en zonas urbanas o suburbanas donde la circulación es mucho más intensa en comparación con las zonas rurales.

Dado que muchos de los efectos sobre el medio ambiente no son cuantificables, para evaluar esos impactos hay que recurrir a medidas del tipo específico, que a veces tiene un carácter relativo. Para evaluar los diferentes impactos hay que tener en cuenta distintos aspectos de los impactos tales como su magnitud, su signo (puede aumentar o disminuir ciertas características existentes), la extensión de la zona afectada por el impacto, la duración del efecto (puede ser temporal o permanente), el momento en que se produce, el grado de incertidumbre sobre el efecto previsto, la recuperabilidad del impacto, la posibilidad de introducir medidas correctoras, etc.

El conjunto de las evaluaciones de los diferentes impactos se resumen en las denominaciones matrices de evaluación, en las que se clasifican los impactos según la actividad del proyecto que produce el impacto y según la característica del medio ambiente que resulta afectada.

2.2.3.4. Transporte público

La importancia del servicio de un transporte adecuado, rápido y cómodo para trasladar al público debe ser enfatizada. La ventaja económica del transporte público sugiere que a través del desarrollo de estos últimos sistemas, una comunidad puede, eficiente y económicamente, obtener mejoría en las condiciones de tránsito.

El criterio fundamental que se debe adoptar en una gran ciudad es el de transportar personas, no mover vehículos, con un máximo de pasajeros por unidad de tiempo, dentro de las posibilidades económicas.

2.2.3.5. Análisis financiero y económico de transporte

Con este análisis se comparan los costes necesarios para llevar a cabo el proyecto con los beneficios a los que dará lugar. La comparación entre el coste y beneficio del proyecto permite decidir si el proyecto merece la pena, o comparar entre distintos proyectos para escoger el mejor.

2.3. ELEMENTOS FUNDAMENTALES DE TRÁFICO

2.3.1. Características de los vehículos

En ciertos países, la incorporación de mayor cantidad de vehículos no sólo 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.

Las normas que rigen el proyecto de las vías se fundamentan en gran parte en las dimensiones y características de operación de los vehículos que por ella circulan.

Vehículo de proyecto es aquel tipo de vehículo hipotético, cuyo peso, dimensiones y características de operación son utilizados para establecer los lineamientos que guían el proyecto geométrico de las carreteras, calles e intersecciones, de manera tal que éstas puedan acomodar vehículos de este tipo. Los vehículos se clasifican en 3 tipos:

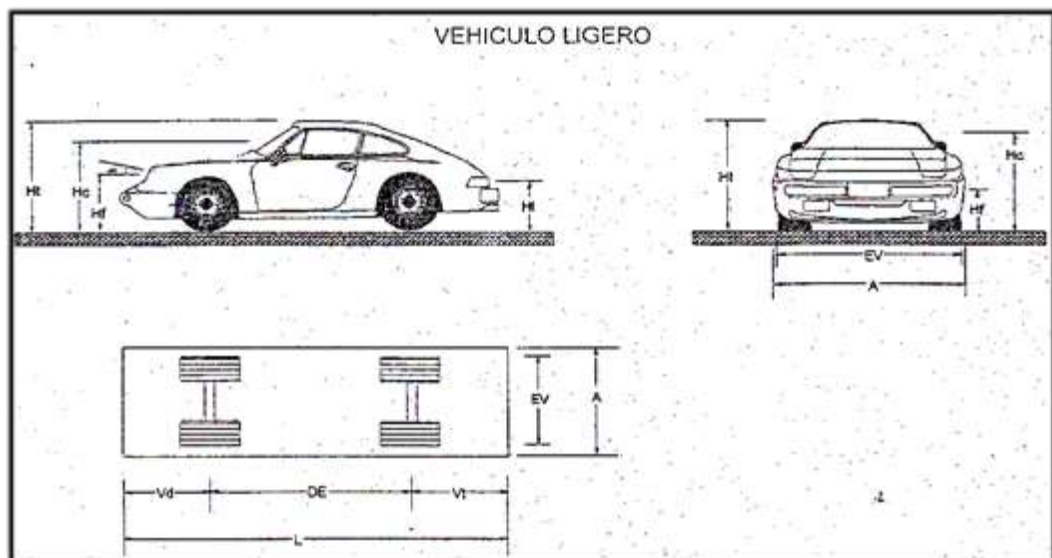
- Vehículos ligeros o livianos.
- Vehículos medianos (camiones y microbuses).
- Vehículos pesados (autobuses y camiones de carga).

2.3.1.1. Vehículos ligeros

Los *vehículos ligeros* de proyecto pueden ser utilizados en:

- Intersecciones menores en zonas residenciales, donde el número de vehículos que realizan vueltas no es significativo.
- Intersecciones mayores que dispongan de carriles de estacionamiento y cruces peatonales demarcados, que obliguen el uso de radios pequeños en las esquinas aún aceptables.
- Áreas urbanas con intersecciones a nivel sobre calles arteriales, siempre que se disponga de carriles de cambio de velocidad y que las vueltas de camiones sean ocasionales.

Figura 2.1 Vehículo ligero o liviano



Fuente: INGENIERÍA DE TRÁNSITO. Rafael Cal y Mayor R., 7 ma. Edición

2.3.1.2. Vehículos medianos

Los *vehículos medianos* de proyecto pueden ser utilizados en:

- Zonas públicas, donde no se disponga de espacios disponibles para parqueos vehiculares.
- Destinos a lugares con alta confluencia de gente (mercados, zonas centrales, etc.).

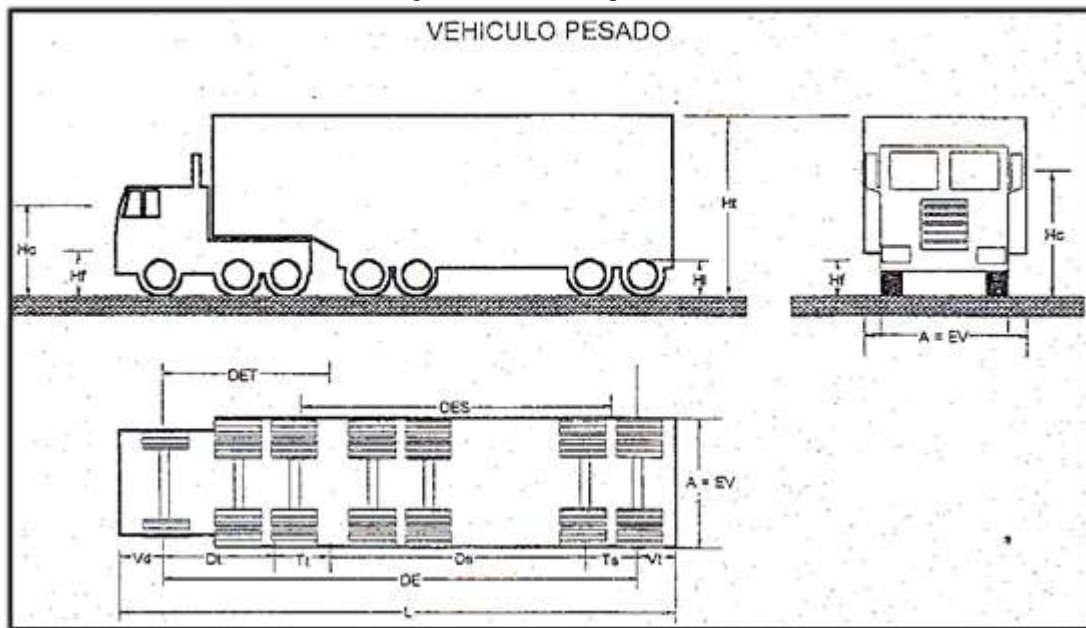
- Utilizados como transporte público (microbús) para transportar hasta 30 pasajeros. Por su tamaño mediano facilita la circulación en calles estrechas.

2.3.1.3. Vehículos pesados

Los *vehículos pesados* de proyecto pueden ser utilizados en:

- Terminales de pasajeros y de cargas.
- Autopistas y arterias rápidas, siempre y cuando sea grande el número de movimientos de vueltas.

Figura 2.2 Vehículo pesado



Fuente: INGENIERÍA DE TRÁNSITO. Rafael Cal y Mayor R., 7 ma. Edición

Tabla 2.1 Características de los vehículos de proyecto

Características de los vehículos		Vehículos de proyecto				
		DE-335	DE-450	DE-610	DE-1220	DE-1525
Longitud total del vehículo (m)	L	5.80	7.30	9.15	15.25	16.78
Distancia entre ejes extremos del vehículo (m)	DE	3.35	4.50	6.10	12.20	15.25

Distancia entre ejes extremos del tractor (m)	DET	-	-	-	3.97	9.15	
Distancia entre ejes del semirremolque (m)	DES	-	-	-	7.62	6.10	
Vuelo delantero (m)	Vd	0.92	1.00	1.22	1.22	0.92	
Vuelo trasero (m)	Vt	1.53	1.80	1.83	1.83	0.61	
Distancia entre ejes tándem tractor (m)	Tt	-	-	-	-	1.22	
Distancia entre ejes tándem semirremolque (m)	Ts	-	-	-	1.22	1.22	
Distancia entre ejes interiores tractor (m)	Dt	-	-	-	3.97	4.88	
Distancia entre ejes interiores semirremolque (m)	Ds	-	-	-	7.01	7.93	
Ancho total del vehículo (m)	A	2.14	2.44	2.59	2.59	2.59	
Entrevía del vehículo (m)	EV	1.83	2.44	2.59	2.59	2.59	
Altura total del vehículo (m)	Ht	1.67	2.14-4.12	2.14-4.12	2.14-4.12	2.14-4.12	
Altura de los ojos del conductor (m)	Hc	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	
Altura de los faros delanteros (m)	Hf	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	
Altura de los faros traseros (m)	Hl	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	
Ángulo de desviación del haz de luz de los faros	α	1°	1°	1°	1°	1°	
Radio de giro mínimo (m)	Rg	7.32	10.40	12.81	12.20	13.72	
Peso total (kg)	Vehículo vacío	Wv	2500	4000	7 000	11 000	14 000
	Vehículo cargado	Wc	5 000	10 000	17 000	25 000	30 000
Relación peso/potencia (kg/HP)	Wc/P	45	90	120	180	180	

Fuente: INGENIERÍA DE TRÁNSITO. Rafael Cal y Mayor R., 7 ma. Edición

2.3.2. Características de los usuarios

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.

2.3.2.1. Usuario conductor

El conductor constituye el elemento de tránsito más importante, ya que el movimiento y calidad de circulación de los vehículos dependerá fundamentalmente de ellos, para adaptarse a las características de la carretera y de la circulación. La forma de conducir de cada uno depende de muchas variables, por lo que 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.

Cuando un conductor pretende viajar con seguridad, comodidad y rapidez, tiene que estar atento al trazado y otras características de la carretera y al estado de circulación, con objeto de tomar las mejores decisiones en los momentos precisos. Así se desarrolla un proceso continuo de recepción de datos sobre la circulación y la carretera, análisis de los mismos y toma de decisiones, cuyas principales etapas son:

- *Recepción de información sobre la circulación y la carretera.* La mayor parte de esta información es visual, pero también se puede percibir a través de otros sentidos.
- *Percepción de la situación existente.* Las sensaciones recibidas tienen que ser interpretadas para poder identificar la situación existente.
- *Análisis de la situación y la toma de decisiones.* Percibida la situación el conductor debe comprender y adoptar la decisión más adecuada.
- *Puesta en práctica de las decisiones adoptadas.*

En todo este proceso, desde que el conductor recibe las sensaciones hasta que el vehículo inicia la respuesta a los mandos, necesita un cierto tiempo, y si se excediera este tiempo se produciría un error en el proceso lo que resultaría incluso hasta causar un accidente.

2.3.2.2. Usuario 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 el tráfico de los peatones es prohibido.

Los accidentes sufridos por peatones se deben a que no respetan las zonas destinadas a ellos (aceras o paseos), 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.

2.4. PARÁMETROS FUNDAMENTALES DE TRÁFICO

2.4.1. Volumen

Los estudios sobre volumen de tráfico son realizados con el propósito de obtener información relacionada con el movimiento de vehículos y/o personas sobre puntos o secciones específicas dentro de un sistema vial.

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

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

Donde:

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

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

T = Periodo determinado (unidad de tiempo).

Dependiendo de la duración del lapso de tiempo determinado, se tiene los siguientes volúmenes:

- *Tráfico anual (TA)*: Número total de vehículos que pasan durante un año.
- *Tráfico mensual (TM)*: Número total de vehículos que pasan durante un mes.
- *Tráfico semanal (TS)*: Número total de vehículos que pasan durante una semana.
- *Tráfico diario (TD)*: Número total de vehículos que pasan durante un día.
- *Tráfico horario (TH)*: Número total de vehículos que pasan durante una hora.
- *Tasa de flujo o Flujo (q)*: Número total de vehículos que pasan durante un periodo inferior a una hora.

El tráfico anual (TA) y el tráfico diario (TD) están relacionados a la factibilidad y la estadística técnico-económica.

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

Cuando el número total de vehículos que pasan durante un periodo dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día, dividido entre el número de días del periodo, se define como *tráfico promedio diario (TPD)*. De acuerdo al número de días de los periodos, se tiene los siguientes números de volúmenes de tráfico promedio diario (TPD):

- Tráfico promedio diario anual (TPDA): $TPDA = \frac{TA}{365}$
- Tráfico promedio diario mensual (TPDM): $TPDM = \frac{TM}{30}$
- Tráfico promedio diario semanal (TPDS): $TPDS = \frac{TS}{7}$

El tráfico promedio diario (TPDA) y (TPD), sirve para justificar el diseño, clasificar la categoría de camino y hacer estudios de justificación técnico-económica.

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

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

En general los volúmenes en el campo de la ingeniería de tráfico se usa en:

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

2.4.1.1. Aforo de volúmenes de tráfico

El estudio sobre volúmenes de tráfico se realizó con el propósito de obtener datos reales relacionados con el movimiento de vehículos, sobre puntos o secciones específicas dentro de un sistema vial de carreteras o calle. Dichos datos se expresan con relación al tiempo, y de su conocimiento se hace posible el desarrollo de metodologías que permiten estimar de manera razonable, la calidad del servicio que el sistema presta a los usuarios. Los aforos a vehículos se realizaron para obtener estimaciones de: volumen, tasas de flujo (intensidades), cantidad demanda (densidad) y capacidad vial.

2.4.1.1.1. Depuración de los aforos de tráfico

Es el proceso a base de técnicas estadísticas por el cual tiene por objeto mejorar la productividad de la información recabada y corregir errores de dicha información.

2.4.1.1.1.1. Media aritmética

Es una medida de tendencia central. Es el conjunto de datos de tamaño n , de una variable o característica X , se denota por \bar{X} y se define como la suma de todos los valores observados en la *muestra*, dividida entre el número total de datos n .

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

2.4.1.1.1.2. Desviación estándar

Es la raíz cuadrada de una medida de dispersión más precisa y de mayor uso en la práctica. La medida de dispersión indica cuán separados están los datos, es decir, cuán diferentes son entre sí.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

2.4.1.1.1.3. Rango

El rango de un conjunto de datos es la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo. Este indica el límite superior e inferior de los datos más comunes o menos dispersos de una muestra.

$$X = \bar{X} \pm s$$

2.4.2. Intensidad de circulación

Se llama intensidad de tráfico al número de vehículos que pasan a través de una sección fija de una carretera por unidad de tiempo. Las unidades más usadas son vehículos/hora y vehículos/día. Cuando se emplea como unidad los vehículos/hora se habla de intensidad horaria, y cuando se utilizan los vehículos/día se habla de la intensidad diaria.

Es el dato básico para la realización de cualquier estudio de planeamiento y explotación de redes viarias. Para conocerla es necesaria contar o aforar el número de vehículos que pasan por determinadas secciones de la red. Esta operación puede realizarse manualmente o por medio de aparatos especiales y puede hacerse clasificando más o menos detalladamente los tipos de vehículos que circulan.

La intensidad es la característica más importante de la circulación vial, ya que las demás pueden relacionarse con ella más o menos fácilmente. Para medirla se realizan aforos en determinadas secciones de la carretera, bien manualmente o

automáticamente utilizando aparatos contadores. Estos aforos se realizan durante periodos más o menos largos, y se obtiene así un registro de los valores de la intensidad durante dichos periodos.

La intensidad se calcula tomando el número de vehículos observados en un período de tiempo inferior a la hora y dividiéndolo entre el tiempo (en horas) en el que fueron observados.

La relación entre el volumen registrado en la hora de máxima demanda y el valor máximo de la circulación durante el periodo de tiempo dado dentro de dicha hora, multiplicado por el número de veces que este periodo cabe en una hora (se considera 15 min) es el factor horario de máxima demanda (FHMD).

$$FHMD = \frac{V}{(4 * V_{15})}$$

Donde:

V = Volumen horario (veh/hora)

V₁₅ = Volumen en un periodo de 15 min. en la hora de máxima demanda (veh/15 min).

El FHMD en autopistas varía usualmente entre 0,70 y 0,95; **en intersecciones varia alrededor de 0,85**. Se hace notar que cuando el FHMD se acerca a la unidad (valor máximo), el flujo de tránsito tiende a ser uniforme.

2.4.3. Velocidad

La velocidad se ha convertido en uno de los principales indicadores utilizado para medir la calidad de operación a través de un sistema de transporte. A su vez, los conductores, considerados de una manera individual, miden parcialmente la calidad de su viaje por su habilidad y libertad en conservar uniforme la velocidad deseada. Se sabe, además, por experiencia que el factor más simple a considerar en la selección de una ruta específica para ir de un origen a un destino, consiste en la minimización de las demoras, lo cual obviamente se logrará con una velocidad buena, sostenida y que ofrezca seguridad.

La velocidad, como elemento básico para el proyecto de un sistema vial, queda establecida por ser un parámetro de cálculo de la mayoría de los demás elementos del proyecto.

El término de velocidad se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo, que se expresa generalmente en (km/h).

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

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

Donde:

V = Velocidad constante (km/h).

d = Distancia recorrida (kilómetros).

t = Tiempo de recorrido (horas).

En *zonas urbanas*, las velocidades son mucho menores que en carreteras debido al mayor grado de congestión y al mayor número de obstáculos (semáforos, peatones, paradas de otros vehículos). Frecuentemente en el centro de las ciudades las velocidades de recorrido de los vehículos son inferiores a 20 km/h.

2.4.3.1. Aforo de velocidades vehiculares

La importancia de la velocidad, como elemento básico para el estudio del sistema vial, queda demostrada por el parámetro de cálculo de la mayoría de los demás elementos del estudio. Un factor que hace a la velocidad muy importante en el tránsito, es que la velocidad de los vehículos de hoy en día sobrepasa los límites para los que fueron diseñadas las vías y las calles actuales, por lo que la mayor parte de los reglamentos resultan obsoletos, es por esta razón y con fines de determinar el nivel de servicio es que se realiza el estudio de velocidad.

Uno de los indicadores que más se utiliza para medir la eficiencia de un sistema vial es la velocidad de los vehículos. Desde un punto de vista, para medir la

calidad del movimiento del tráfico se utilizan la *velocidad de punto*, la *velocidad de recorrido* y la *velocidad de marcha*.

2.4.3.1.1. Velocidad de punto

Es la velocidad de un vehículo a su paso por un determinado punto de una carretera o calle. Como dicha velocidad se toma en el preciso instante del paso del vehículo por el punto, también se la denomina *velocidad instantánea*.

2.4.3.1.2. Velocidad de recorrido

Es el resultado de dividir la distancia recorrida, desde principio a fin del viaje, entre el tiempo total que se empleó en recorrerla. En el tiempo total de recorrido están incluidas todas las demoras operacionales dentro de la vía como ser: reducciones de velocidad y paradas provocadas por la vía, el tránsito y los dispositivos de control, ajenos a la voluntad del conductor.

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

2.4.3.1.3. Velocidad de marcha

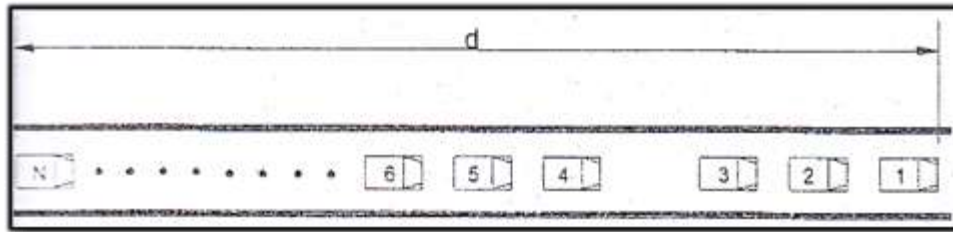
La velocidad de marcha o velocidad de cruce, es el resultado de dividir la distancia recorrida entre el tiempo durante el cual el vehículo estuvo en movimiento. Para obtener la velocidad de marcha en un viaje normal, se descontará del tiempo total de recorrido, todo aquel tiempo que el vehículo se hubiese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

Así, por todas las razones anteriores, la velocidad debe ser estudiada, regulada y controlada con el fin de que origine un perfecto equilibrio entre el usuario, el vehículo y la vía, garantizando siempre la seguridad.

2.4.4. Densidad

Se denomina densidad de tráfico (D) al número de vehículos (N) que ocupan una longitud específica (d) de una carretera en un momento dado. Generalmente se expresa en vehículos por kilómetro (veh/km), ya sea referido a un carril o a todos los carriles de una calzada. Según la figura se calcula como:

Figura 2.3 Densidad o concentración



Fuente: INGENIERÍA DE TRÁNSITO. Rafael Cal y Mayor R., 7 ma. Edición

$$D = \frac{N}{d}$$

Donde:

D = Densidad o concentración (veh/km).

N = Número de vehículos (vehículos).

d = Longitud específica (km).

La densidad de tráfico rara vez se mide, ya que es posible calcularla fácilmente a partir de la relación entre velocidad e intensidad.

$$D = \frac{I}{V_p}$$

Donde:

D = Densidad o concentración (veh/km)

I = Intensidad circulante total (veh/hora)

V_p = Velocidad promedio vehicular (km/hora)

2.4.5. Modelo básico de flujo vehicular

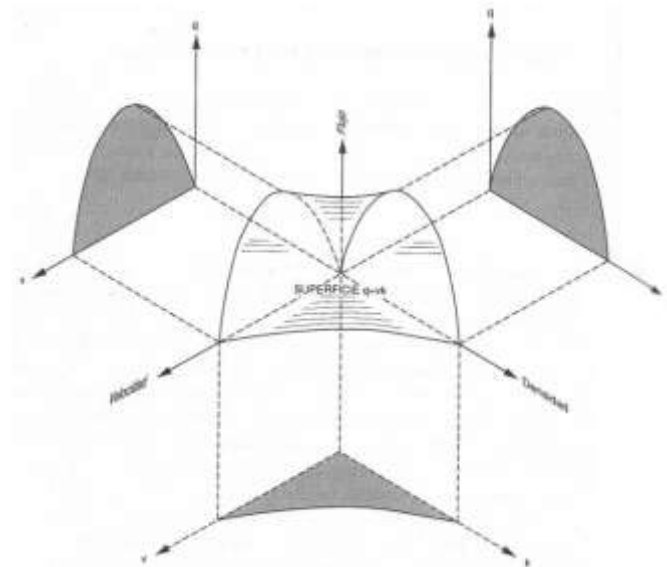
Uno de los objetivos finales que busca el ingeniero de tránsito es el de optimizar la operación de los sistemas de tránsito existentes y el de intervenir en el proyecto de sistemas viales futuros bastante eficientes.

Los anteriores conceptos, constituyen el punto de partida para analizar aún más las características del flujo vehicular a través de sus tres variables principales: flujo (q), velocidad (v) y densidad (k), relacionadas mediante la ecuación fundamental del flujo vehicular, que como se demostró, su forma general es:

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

La variable más fácil de medir es el flujo q , siguiéndole en su orden la velocidad v y la densidad k . Por esta razón, usualmente se considera la densidad k como la variable dependiente.

Figura 2.4 Relación fundamental del flujo vehicular



Fuente: INGENIERÍA DE TRÁNSITO. Fundamentos y aplicaciones (Reyes Espíndola; 2007)

B.D. Greenshields llevó a cabo una de las primeras investigaciones sobre el comportamiento del flujo vehicular (**modelo lineal**), en la cual estudio la relación existente entre la velocidad y la densidad. Utilizando el conjunto de datos (k, v) , para diferentes condiciones del tránsito, propuso una relación lineal entre la *velocidad* v

y la *densidad* k , que mediante el ajuste por el método de mínimos cuadrados, según la figura 2.5, se llega al *modelo lineal* siguiente:

$$\bar{v}_e = v_l - \left(\frac{v_l}{k_c}\right)k$$

Donde:

v_e = Velocidad media espacial (km/hr)

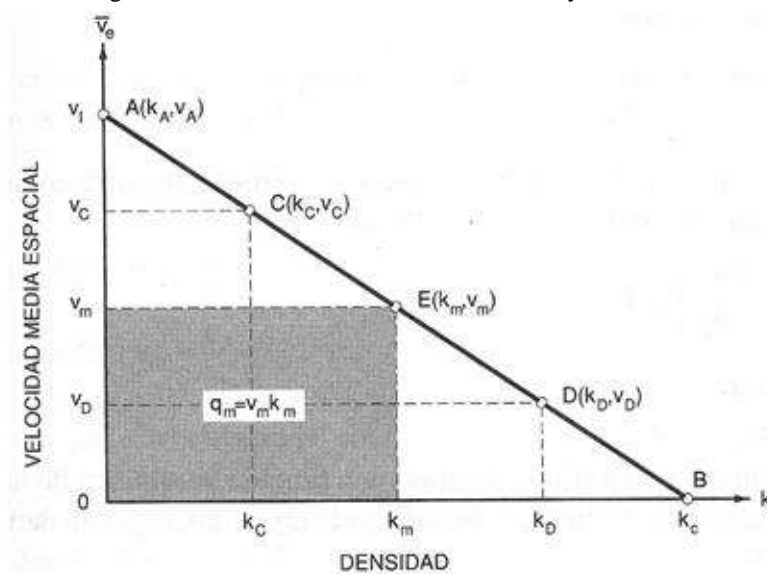
k = Densidad (veh/km)

v_l = Velocidad media espacial a flujo Libre (km/hr)

k_c = Densidad de congestión (veh/km)

En general la velocidad disminuye a medida que aumenta la densidad, desde un valor máximo o velocidad a flujo libre v_l (punto A), hasta un valor mínimo $v_e = 0$ (punto B) donde la densidad alcanza su máximo valor o de congestión k_c .

Figura 2.5 Relación lineal entre la velocidad y la densidad



Fuente: INGENIERÍA DE TRÁNSITO. Fundamentos y Aplicaciones (Reyes Espíndola; 2007)

En la práctica, la densidad nunca toma el valor de cero, lo cual quiere decir que para que exista velocidad a flujo libre, debe presentarse al menos un vehículo sobre la calle o carretera circulando a esa velocidad. Bajo esta condición, la densidad es muy baja, tal que el vehículo o los pocos vehículos circulan libremente a la velocidad

máxima o límite establecido por la vialidad. En el otro extremo, al presentarse congestión, los vehículos están detenidos uno tras de otro.

El flujo, q , se puede representar en el diagrama velocidad-densidad, a través de la ecuación fundamental $q=vk$, donde para cualquier punto sobre la recta de coordenadas (k, v) , el producto vk es el área de un rectángulo cuyo lado horizontal es la densidad k y cuyo lado vertical es la velocidad v . Por ejemplo, para los puntos C y D, los flujos asociados a las densidades y velocidades correspondientes son:

$$q_c = v_c * k_c \quad ; \quad q_D = v_D * k_D$$

El rectángulo de área máxima corresponde al punto E , que está ubicado exactamente en la mitad de la recta. Su área, sombreada en la figura 2.5, representa el *flujo máximo*, q_m , el cual se obtiene para los valores siguientes de v_m y k_m :

$$v_m = \frac{v_l}{2} \quad ; \quad k_m = \frac{k_c}{2}$$

Por lo tanto, el **flujo máximo** es:

$$q_m = v_m * k_m$$

O lo que es lo mismo:

$$q_m = \frac{v_l * k_c}{4}$$

2.5. CONCEPTOS GENERALES DE CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO

2.5.1. Capacidad vial

Se define como capacidad a una sección de carretera como el máximo número de vehículos que tienen una probabilidad razonable de atravesar dicha sección durante un determinado período de tiempo (normalmente de unos quince minutos) para unas condiciones particulares de la vía y del tráfico. Dicho de otra forma, es la máxima intensidad de tráfico capaz de albergar una vía sin colapsarse.

Para determinar la capacidad de un sistema vial, no sólo es necesario conocer sus características físicas o geométricas, sino también las características de los flujos vehiculares, bajo una variedad de condiciones físicas y de operación.

Por lo tanto, un estudio de capacidad de un sistema vial es al mismo tiempo un estudio cuantitativo y cualitativo, el cual permite evaluar la suficiencia y la calidad del servicio ofrecido por el sistema (oferta) a los usuarios (demanda).

La capacidad en intersecciones es controlada por semáforos que van sucesivamente dando o cortando el paso a los vehículos que llegan a los accesos. Así, lo que ocurre en un acceso es independiente lo que ocurre en los demás por lo que puede estudiarse separadamente cada uno de ellos. Por ello, los procedimientos de cálculo de la capacidad determinan la capacidad de cada acceso, y no de la intersección en conjunto.

$$C_R = C_P * f_{VP} * f_{GI} * f_{GD} * f_P$$

Donde:

C_R = Capacidad real del acceso (veh/hora).

C_P = Capacidad práctica (veh/hora).

f_{VP} = Factor de corrección por efecto de vehículos pesados (adim)

f_{GI} = Factor de giros a la izquierda (adim)

f_{GD} = Factor de giros a la derecha (adim).

f_P = Factor por paradas en intersecciones (adim).

La capacidad práctica es el número máximo de vehículos que podría pasar por un punto dado de una calzada durante una hora y dependiendo de la situación actual del lugar, tendría un factor de ajuste de 0,90 que es para centros urbanos.

$$C_P = C_{Ideal} * 0.90$$

2.5.2. Nivel de servicio

Se define como una medida de la calidad que la vía ofrece al usuario. 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 y son varios los factores que influyen la hora de definir un concepto tan poco considerable como es la calidad de una vía:

- Velocidad a la que se puede circular por ella.
- Tiempo de recorrido, o de otra forma, ausencia de detenciones y esperas.
- Comodidad que experimenta el usuario: ausencia de ruidos, trazados suaves y otros.
- Seguridad que ofrece la vía, tanto activa como pasiva.
- Costes de funcionamiento.

Se definen seis niveles de servicio; estos niveles se hallan de la A, B, C, D, E y F en un orden decreciente de calidad.

2.5.2.1. Nivel de servicio A

Es aquel que por sus condiciones de circulación son de flujo libre, bajos volúmenes y altas velocidades hay poco o nada de limitación de maniobras por la presencia de otro vehículo, existiendo pocos o nulos retardos.

2.5.2.2. Nivel de servicio B

Es aquel cuyas condiciones de circulación tiene un flujo estable en las que las velocidades empiezan a ser restringidas pero con cierta libertad para definir su velocidad y su carril. Al existir un mayor volumen se hace algo más restringidas las maniobras de los vehículos.

2.5.2.3. Nivel de servicio C

Corresponde a las condiciones de circulación aún en un flujo estable pero con velocidades en maniobras que resultan más controladas por los mayores volúmenes, ya no existe libertad para elegir la velocidad, cambiar carriles o

realizar acciones de rebase. Sin embargo se considera todavía en condiciones apropiadas de circulación y por ello se ha establecido que este nivel de servicio es el más adecuado y equilibrado para fines de diseño.

2.5.2.4. Nivel de servicio D

Las condiciones de circulación se acercan a un flujo inestable, con velocidades de circulación bajas, las fluctuaciones de volúmenes son mayores y por tanto las restricciones de maniobras muy frecuentes.

2.5.2.5. Nivel de servicio E

Las condiciones de tráfico prácticamente son inestables las velocidades de operación son bajas, los volúmenes ya están cerca de la capacidad de la carretera o calle y pueden existir demoras o paradas de duración pequeña.

2.5.2.6. Nivel de servicio F

En este nivel las condiciones de circulación son de flujo forzado, velocidades bajas, detenciones frecuentes y mayores lapsos de tiempo considerándose a este nivel prácticamente de tráfico congestionado.

Tabla 2.2 Descripción de niveles de servicio en función de la demora

Niveles de servicio	Demora media
Nivel A	$d \leq 5$
Nivel B	$5 < d \leq 15$
Nivel C	$15 < d \leq 25$
Nivel D	$25 < d \leq 40$
Nivel E	$40 < d \leq 60$
Nivel F	$d > 60$

Fuente: ELEMENTOS DE INGENIERÍA DE TRÁFICO. (Carlos Kraemer y otros); 1995

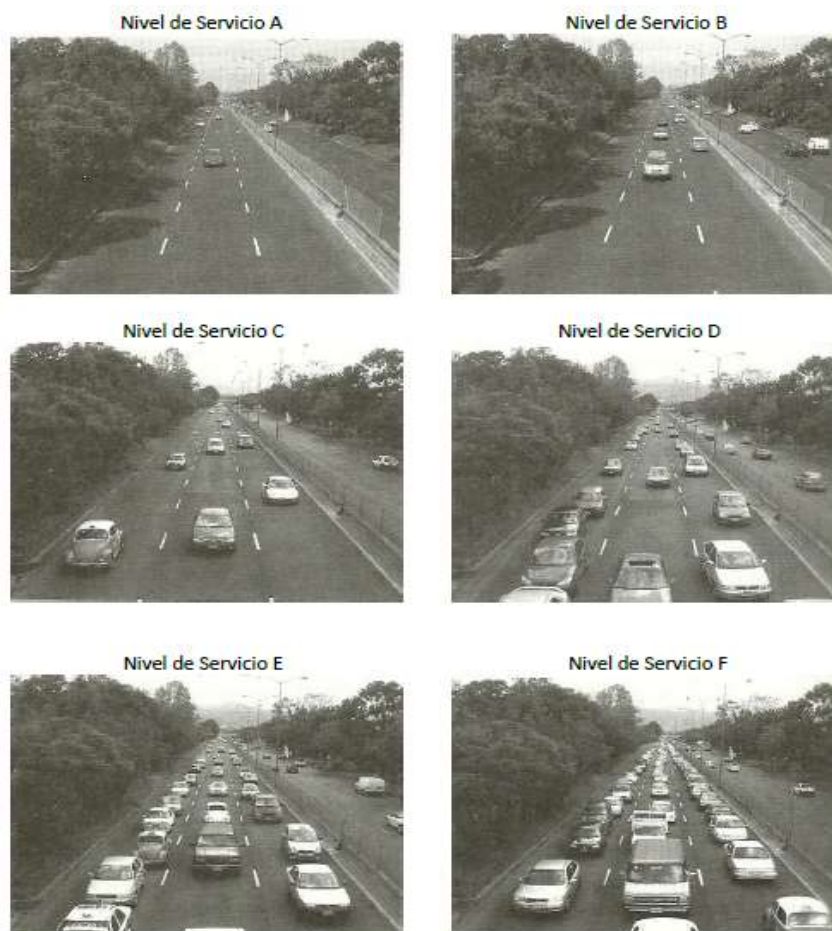
Tabla 2.3 Descripción de niveles de servicio en función del factor de carga

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
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: Capacidad de caminos. V. Castellana del Highway Capacity Manual 1^{ra} Edición (1950)

Figura 2.6 Vías con distintos niveles de servicio



Fuente: Manual de capacidad de carreteras HCM 2000. Cap.: capacidad y nivel de servicio

3. PARÁMETROS DE CONGESTIÓN DE TRÁFICO, SUS CARACTERÍSTICAS Y EL COBRO POR CONGESTIÓN

3.1. CONGESTIÓN VEHICULAR

3.1.1. Definición

La congestión vehicular o embotellamiento, se refiere tanto urbana como interurbanamente, a la condición de un flujo vehicular que se ve saturado debido al exceso de demanda de las vías, produciendo incrementos en los tiempos de viaje y atascamientos. Este fenómeno se produce comúnmente en las horas punta u horas pico, y resultan frustrantes para los automovilistas, ya que resultan en pérdidas de tiempo y consumo excesivo de combustible.

La congestión del tráfico se produce cuando el volumen de tráfico o de la distribución normal del transporte genera una demanda de espacio mayor que el disponible en las carreteras. Hay una serie de circunstancias específicas que causan o agravan la congestión, la mayoría de ellos reducen la capacidad de una carretera en un punto determinado o durante un determinado período, o aumentar el número de vehículos necesarios para un determinado caudal de personas o mercancías. En muchas ciudades altamente pobladas la congestión vehicular es recurrente, y se atribuye a la gran demanda del tráfico, la mayoría del resto se atribuye a incidentes de tránsito, obras viales y eventos climáticos.

3.1.2. Causas

Es difícil predecir en qué condiciones un "atasco" sucede, pues puede ocurrir de repente. Se ha constatado que los incidentes (tales como accidentes o incluso un solo coche frenado en gran medida en un buen flujo anteriormente) pueden causar repercusiones (un fallo en cascada), que luego se difunde y crear un atasco de tráfico sostenido, cuando, de otro modo, el flujo normal puede o ha continuado durante algún tiempo más.

El congestionamiento vehicular está ligado a muchos factores como ser:

- El aumento de la población.

- El crecimiento demográfico de la ciudad.
- La poca planificación en el trazado de rutas y el dimensionamiento de las mismas en las ciudades.
- El incremento del parque automotor en las ciudades.

3.1.3. Efectos negativos

La congestión del tráfico tiene una serie de efectos negativos:

- Pérdida del tiempo de los automovilistas y pasajeros (coste de oportunidad). Como una actividad no productiva para la mayoría de la gente, reduce la salud económica regional.
- Retrasos, lo cual puede resultar en la hora atrasada de llegada para el empleo, las reuniones, y la educación, lo que al final resulta en pérdida de negocio, medidas disciplinarias u otras pérdidas personales.
- Incapacidad para predecir con exactitud el tiempo de viaje, lo que lleva a los conductores la asignación de más tiempo para viajar "por si acaso", y menos tiempo en actividades productivas.
- Desperdicio de combustible, aumenta la contaminación en el aire y las emisiones de dióxido de carbono (que puede contribuir al calentamiento global), debido al aumento de ralentización (disminución de la velocidad), aceleración y frenado. Aumento del uso de combustibles, en teoría, también puede causar un aumento de los costes de combustible.
- El desgaste de los vehículos como consecuencia de la ralentización en el tráfico y la frecuencia de aceleración y frenado, lo que hace más frecuentes que se produzca reparaciones y reemplazos.
- Automovilistas frustrados, el fomento de la ira de carretera y la reducción de la salud de los automovilistas.

- Emergencias, si se bloquea el tráfico, esto podría interferir con el paso de los vehículos de emergencia para viajar a sus destinos en los que se necesitan con urgencia.

3.2. FACTORES QUE SE REFIEREN AL TRÁFICO

3.2.1. Camiones

Los camiones influyen en forma desfavorable a la capacidad, cada camión debido a sus características físicas (largo y ancho) desplaza un cierto número de vehículos ligeros de la circulación, conocidos como vehículos ligeros equivalentes.

En terreno llano, los camiones suelen mantener una velocidad parecida a la de los vehículos ligeros, y el factor de equivalencia es de aproximadamente de 2 en calzadas de sentido único, y entre 2-3 en carreteras de dos carriles con circulación en ambos sentidos, dependiendo del nivel de servicio que se pretenda; 3 para nivel A, 2.5 para los niveles B y C y 2 para los niveles D y E.

En pendientes el factor de equivalencia está en función del porcentaje de inclinación y de la longitud de la rampa, así como el número de carriles.

3.2.2. Autobuses y microbuses

Los autobuses, al igual que los camiones, afectan a la capacidad pero en menor grado; sin embargo, es necesario considerarlo cuando el volumen de éstos es considerable en función al total, o se encuentran en fuertes pendientes.

Los procedimientos para considerar la influencia de los autobuses son similares a la de los camiones, pero teniendo en cuenta que las velocidad de los mismos son mayores.

3.3. FACTORES QUE AFECTAN A LA CAPACIDAD EN VÍAS DE FLUJO INTERRUMPIDO

La capacidad de una determinada sección de una calle o carretera depende de varios factores que pueden ser prácticamente fijos como el trazado, el tipo de regulación y otros variables, pues reflejan el uso momentáneo que se hace en la intersección, tanto

por vehículos como por peatones. Y en cuanto al tipo de regulación, se presenta una regulación por medio de semáforos y por medio de señales fijas de acuerdo a normas establecidas.

En el caso que no hubiesen semáforos, el número de combinaciones que pueden darse, considerando el volumen de tráfico y las características geométricas de las vías o calles que forman la intersección, es muy elevado, por lo que no es posible un estudio sistemático del problema; sin embargo, se puede tomar como punto de referencia la capacidad que existiría si en los semáforos el reparto de los tiempos verdes fuera directamente proporcional a los volúmenes de tráfico en cada acceso en inversamente proporcional al ancho de los mismos; la capacidad que obtendríamos en estas condiciones representaría la máxima solo alcanzable en condiciones ideales.

3.4. FACTORES QUE AFECTAN A LA CAPACIDAD EN INTERSECCIONES

3.4.1. Ancho de calle

La experiencia ha demostrado que el ancho de calle es el factor más significativo que afecta la capacidad de una intersección, el ancho del acceso no varía solamente con la de la calle, si no que viene dado por la disposición de marcas viales, la ubicación de las isletas y la de otros obstáculos.

Con frecuencia la delimitación de carriles marcados en el pavimento no son respetados especialmente en las horas pico, la experiencia demuestra dentro de ciertos límites que la capacidad y el nivel de servicio de un acceso a una intersección varían directamente con el ancho del mismo, por lo tanto, es mejor considerar el ancho total del acceso lo que no quiere decir que el número de carriles no afecte a la capacidad.

3.4.2. Circulación en sentido único o doble sentido

A simple vista parecería que el ancho de un acceso a una calle de sentido único debería tener la misma capacidad que otro situado en una calle de doble sentido; sin embargo, en el primer caso hay una serie de ventajas que se reflejan no sólo en la capacidad, si no en los volúmenes. Así por ejemplo, en una calle de un solo sentido

se pueden realizar los giros a la izquierda con mayor facilidad debido a la falta de tráfico en el sentido opuesto.

En general para vías de un mismo ancho de acceso, existe una capacidad algo mayor si la calle funciona en un solo sentido que la de doble sentido, pero no siempre es así y por lo tanto no se aconseja generalizar.

3.4.3. Demora en intersecciones

La demora es una medida de la calidad del servicio de la vía al usuario, siendo un indicador relevante para medir el nivel de servicio de una intersección.

De acuerdo con HCM (Transportation Research Board, 2000), la demora total que experimenta un vehículo en una intersección puede ser descrita por un conjunto de demoras que la componen, como las siguientes:

- Demora por control: es obtenida de la comparación con las condiciones en que la intersección opera sin control.
- Demora por tráfico: es resultado de la interacción entre vehículos, produciendo que la velocidad se reduzca por debajo de la velocidad de flujo libre.
- Demora geométrica: es causada por la geometría de la intersección, la cual hace que los vehículos disminuyan su velocidad, al negociar por un espacio en la intersección.
- Demora por incidentes: es el tiempo perdido producto de un incidente, comparado con condiciones sin incidentes.

La demora total de un vehículo es obtenida como la diferencia entre el tiempo de viaje experimentado y un tiempo de viaje referencial, el cual se extrae de la operación en condiciones base, de ausencia de control, tráfico, geometría e incidentes.

Entonces, según el manual de capacidad en carreteras HCM (Transportation Research Board, 2000), ésta se determina a partir de:

$$d = 0,38 * C * \frac{(1 - f_v)^2}{\left(1 - \frac{I}{c}\right)} + 173 * \left(\frac{I}{c}\right)^2 * \sqrt{\left(\frac{I}{c} - 1\right)^2 + 16 * \left(\frac{I}{c^2}\right)}$$

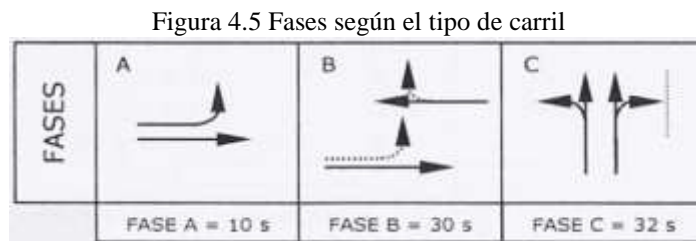
Donde:

C = Ciclo semafórico (seg).

I = Intensidad circulante total del grupo de carriles (veh/hr).

c = Capacidad real del grupo de carriles (veh/hr).

f_v = Factor de verde del grupo de carriles (seg) (en función al ciclo semafórico y fase de carril).



Fuente: Luis Bañón Blázquez. Tráfico en vías urbanas

3.5. ESTACIONAMIENTO

La determinación de estacionamiento en las proximidades de una intersección debe tomarse como una medida de control de tráfico, ya que la existencia o no del estacionamiento tiene más importancia antes que otros factores.

Debido a que al final de un recorrido el conductor necesita disponer de un espacio para detenerse por cualquier motivo o circunstancia, es que el estacionamiento es una necesidad inevitable del tránsito de vehículos, de lo que se trata es de poder dejar el vehículo dentro de la vía o fuera de ella sin causar molestias a los otros vehículos que circulan por las calles o carreteras. En zonas rurales el problema de estacionamiento no presenta dificultades, pero en ciudades densamente pobladas el poder acceder a un espacio para el estacionamiento de un vehículo se torna a veces en un serio problema.

Por otro lado, es sabido que la restricción de estacionamiento siempre produce un aumento significativo en la capacidad, por lo que siempre que se está estudiando la

posibilidad de eliminar o restablecer el estacionamiento se deberá considerar el efecto que producirá en la calle.

La restricción del ancho en un vehículo parado es mucho mayor que el ancho del propio vehículo, porque se necesita espacio para abrir las puertas sin que esto signifique realizar una maniobra para los vehículos que circulan por su lado. Así mismo, cuando se habla de inexistencia de estacionamiento, se entiende lo que materialmente es el acceso a la intersección, lo cual no significa que tenga que estar prohibido el estacionar desde el cruce anterior.

Existen dos modalidades de estacionamiento: en vía pública y en inmuebles, los cuales se dividen en cuatro tipos de estacionamiento que absorben las necesidades de los conductores, las mismas son:

3.5.1. Estacionamiento libre en vía pública

Es la forma ideal para aquellos que acceden a una plaza libre; sin embargo, en zonas de mayor demanda es el sistema menos adecuado, puesto que no hay una distribución de los espacios disponibles, dando prioridad a aquellos que más lo necesiten.

3.5.2. Estacionamiento controlado en vía pública

Este comprende desde la prohibición de la detención para carga o descarga de personas hasta una ordenanza en una determinada zona acerca de cuáles vehículos pueden estacionar durante qué tiempo y cuál es el costo de estacionamiento.

3.5.3. Estacionamiento público en inmuebles

Estos pueden ser públicos o privados que no son tan cómodos, pero constituyen una solución muy acertada cuando están correctamente proyectados y bien situados.

3.5.4. Estacionamientos privados o garajes en inmuebles

Prestan servicios a determinados usuarios, sirven para estancias de larga duración y son los más adecuados para zonas residenciales. De acuerdo a las normas

establecidas en desarrollo urbano de la ciudad de Tarija debería existir un área de estacionamiento cada tres viviendas y uno cada 100 m² construidos de otros usos.

3.6. OTROS FACTORES

3.6.1. Factor de hora pico

El factor de hora pico es una medida de la uniformidad del tráfico en la hora donde fluctúa el máximo volumen, que viene dado por el cociente del número de vehículos contados en una hora pico entre cuatro veces el número de vehículos contados durante los quince minutos más cargados.

3.6.2. La población

Es otro de los factores que afecta a la capacidad en una intersección. Ésto se definió de acuerdo a estudios realizados en intersecciones de distintas ciudades, de iguales condiciones de trazado y regulación, en donde la intersección ubicada en la ciudad más importante posee mayor capacidad, debido a la mayor experiencia del conductor para maniobrar.

3.6.3. La situación de la intersección

En el conjunto de una ciudad existen diferentes zonas, la población presenta distintos comportamientos de los conductores, lo cual influye en la capacidad.

3.6.3.1. Zona intermedia

Zona continua al centro de una ciudad, donde se realiza una actividad mercantil, de negocios y servicios con uso del suelo residencial de alta densidad. La mayor parte del tráfico no tiene ni su origen ni destino dentro de la zona, que se caracteriza por la presencia de calles de un número moderado de peatones y porque la renovación del estacionamiento es algo más baja que en el centro.

3.6.3.2. Centros satélites

Son zonas con características similares a las del centro, con la diferencia de que se observa una mezcla de tráfico de paseo con el que tiene su origen o destino dentro de la zona.

3.6.3.3. Zonas residenciales

Son aquellas en las que predomina el uso del suelo residencial, sus características típicas son las de tener pocos peatones y una renovación del estacionamiento muy bajo.

3.6.4. Detención o parada corta

Es cuando el vehículo interrumpe su recorrido con el motor encendido y el conductor en el volante.

3.6.5. Detención o parada larga

Es una detención de mayor duración porque el conductor apaga el motor pero no se aleja del volante para poderlo poner en marcha en cualquier momento.

3.7. TRAMOS Y ZONAS CONFLICTIVAS

Son aquellas que por sus vías circula un gran volumen de flujo vehicular y peatonal en horas y días pico. Además de estar congestionada por flujo vehicular y peatonal, se adiciona de sobremanera los servicios de vehículos de transporte público lo cual aumenta la congestión vehicular en mayor proporción. A esto se adiciona el comercio informal y la poca o ninguna educación vial de la población en general y en especial de conductores. Los tramos y zonas congestionadas serán aquellas por las cuales haya bastante flujo vehicular y peatonal debido, ya sea al gran número de oficinas públicas y privadas, o establecimientos de educación básica o superior, o la gran presencia del comercio formal e informal, y su respectiva aglomeración, que no se conforman con ubicarse sobre la aceras, sino también en las diferentes calzadas de las diferentes vías congestionadas. No olvidando la gran cantidad de paradas de transporte público, las mismas que en la mayoría actúan como terminales por parte del servicio público, obstruyendo la circulación del flujo vehicular y peatonal en general.

3.8. SENTIDOS DEL FLUJO VEHICULAR

Existe relación directa entre los sentidos de flujo del transporte público y el de pasajeros, lo cual prioritariamente se debe tomar en cuenta para dar solución al

conflicto de congestamiento y dar mayores alternativas de origen y destino a la población en general. Los flujos direccionales del transporte público están en función del origen y destino de la población en general, donde los principales punto de destino son los centros de trabajo, abasto, educación, comercio y otros.

Las principales características de los flujos direccionales del transporte público en la ciudad, están en función de las necesidades de comunicación de la población.

3.8.1. Dirección de flujo este – oeste

En este sentido, se tiene la mayor cantidad de volúmenes de tráfico general y de transporte público, porque obedecen a las características del trazado geométrico de la ciudad. Las direcciones de flujo este – oeste y viceversa son intercalados, vale decir una vía en un sentido y la siguiente vía paralela en sentido contrario. A partir de la calle Cochabamba (fuera del sector de estudio) hacia el norte, esta situación se torna irregular ya que el trazo urbano no obedece al trazado básico en cuadrícula, ya que en muchos de los sectores de la zona indicada, no existen calles paralelas continuas; lo cual es uno de los factores por los que el flujo se torna caótico, no habiendo fluidez natural del parque automotor en general.

3.8.2. Dirección de flujo norte – sur

Las direcciones de norte – sur y viceversa también son intercaladas, vale decir una vía en un sentido y la siguiente vía paralela en un sentido contrario, salvo algunas vía que están ubicadas en algunos sectores donde el trazo urbano no es regular; ésto está dado sobre todo en la zona oeste de la ciudad, donde el trazo no obedece a las normas básicas de diseño.

3.9. TIPOS DE SOLUCIÓN A LOS PROBLEMAS DE CONGESTIONAMIENTO

A partir del problema planteado, sea este de carácter puntual o general, se establece dentro de la ingeniería del tráfico 3 tipos de soluciones que son:

3.9.1. Solución de bajo costo

Es el tipo de solución que está basada en alguna acción correctiva o normativa que no implique una inversión económica considerable. Existen problemas de tráfico que pueden resolverse bajo esta condición que sería lo más adecuado en nuestro país, donde las inversiones económicas son menores en el área de tráfico.

En este tipo de soluciones, la participación de los profesionales especialistas en ingeniería de tráfico es fundamental y decisiva, para ello es recomendable el permanente análisis de parte de las instituciones encargadas de tráfico y transporte en ciudades y carreteras.

Lamentablemente, no siempre los problemas de tráfico pueden tener soluciones de bajo costo, sin embargo debe ser la primera opción ante la presencia de algún problema.

3.9.2. Solución de alto costo

Cuando los problemas de tráfico no han encontrado solución de bajo costo, necesariamente debe recurrirse a una solución que implique construcciones físicas que requieren una inversión económica como la ampliación de vías, la generación de pasos a desnivel, la instalación de sistemas semafóricos, la creación de sistemas de metro, etc.

Para nuestro país, y nuestra ciudad en particular, realizar inversiones importantes en el ámbito de tráfico y transporte no está considerado como una necesidad primaria, sin embargo si se deja avanzar el problema y que adquiera condiciones graves, no queda otra alternativa que pensar en las soluciones de alto costo.

3.9.3. Solución integral

Una solución integral para un problema de tráfico implica resolver la situación para hoy y para el futuro, de forma definitiva y con una visión proyectada hacia el futuro, son muy pocos los casos a nivel mundial que se hayan realizado soluciones integrales, como solución total del sistema vial urbano realizado en la ciudad de la Plata en Argentina, o la creación de una ciudad arquitectónicamente nueva como la

ciudad de Brasilia en Brasil, o la modificación estructural de las vías urbanas o pistas de acceso como Barcelona, ejemplos que además de que han sido inversiones económicas muy grandes se han convertido en soluciones integrales de manera que exista coherencia entre los elementos de tráfico, usuario, vía y automóvil.

El presente trabajo busca posibles alternativas de solución al problema de congestión vehicular.

Una alternativa de solución es la restricción vehicular mediante el cobro por congestión en la zona donde existe mucha confluencia vehicular, en especial en horas pico. Ésto no sólo solucionaría el problema de congestión, también generaría ingresos mediante la internalización del costo que genera esta congestión, motivando a otros modos de transporte más sostenibles, e incluso el recaudo se podría utilizar en el mejoramiento y mantenimiento de la infraestructura.

La alternativa planteada pretende evitar la masificación de unidades pequeñas, debido a que el incremento de las mismas es uno de los principales factores de congestión en la ciudad de Tarija.

3.10. COBRO POR CONGESTIÓN

3.10.1. Resumen

El fuerte crecimiento urbano de los países latinoamericanos acompañado de un creciente poder adquisitivo hace que en los próximos años el tema de la congestión y la contaminación generadas por el tráfico automotor sea cada vez más relevante.

Una idea original para la región es el cobro por congestión. El presente estudio tiene por objetivo presentar de manera teórica y sus aplicaciones prácticas algunos de los elementos esenciales de esta política.

Los principales mensajes del estudio son:

El cobro por congestión es apenas una de las herramientas encaminadas a actuar sobre la demanda de transporte, siendo una alternativa que mitigue la congestión. Es deseable considerar otras como las políticas de estacionamiento, restricciones

zonales, carro compartido, incremento en el valor de insumos y disminución de espacio para el vehículo privado, etc. Todas las anteriores podrían ser medidas complementarias al cobro.

Las causas de la congestión no son exclusivas de un exceso de vehículos frente a la disponibilidad de vías. La mala gestión del tráfico, el estado de las vías, la ausencia de cultura ciudadana pueden ser variables aún mayores de congestión. Es necesario entender bien la congestión en cada ciudad y generar las medidas más efectivas.

Es indispensable tener un rigor técnico y económico en la evaluación de la viabilidad de este tipo de medidas. Previo a su aplicación es clave verificar que los beneficios para la sociedad superan los costos.

Una vez que se ha decidido aplicar un cobro por congestión, al planearlo y diseñarlo, es esencial definir por parte del gobierno municipal su objetivo. Este puede no ser únicamente llegar a un punto óptimo de congestión, sino promover un cambio modal, generar recursos que permitan inversiones en otros modos más sostenibles, promover un sistema más fiable y seguro. Dependiendo de las prioridades, este cobro tendrá un diseño diferente.

La implementación de un cobro por congestión implica un monitoreo constante. Dicho monitoreo comienza desde el primer día de operación y se mantiene durante la vida útil del cobro.

Institucionalmente, es fundamental asignar un responsable del proyecto que coordine exitosa y colaborativamente las diferentes instituciones relacionadas, directa o indirectamente, con el proyecto.

La tecnología para el cobro y fiscalización de los cobros por congestión es costosa. Adicionalmente, es conveniente que se integre con otros usos que contribuyan a futuro a una mejor gestión de tráfico. Así por ejemplo, si se proponen sistemas de identificación vehicular es importante plantear que puedan ser compatibles con los sistemas de cobro por congestión.

El proyecto de cobro por congestión para que sea viable requiere de intervenciones

en otros modos de transporte, revisión del espacio público, mejoramiento de facilidades para ciclistas, peatones y especialmente mejoramiento de la capacidad y calidad del transporte público.

Los problemas de aceptabilidad son complejos, el usuario podrá considerar que en sus impuestos está pagando por el uso de las vías y que tiene derecho a ello. Es importante que la inversión de los excedentes sea visible y que el mensaje que se transmita sea el cobro por congestionar y contaminar, y no por usar vías. Por lo tanto, es importante desarrollar campañas de sensibilización y participación de la comunidad para que entiendan el proyecto antes de que sea implementado. Asimismo, se requieren programas claros de información y señalización para facilitar su entendimiento una vez implementado.

3.10.2. Ideas para resolver las principales preguntas de implementación de un cobro por congestión

Tabla 3.1 Ideas para resolver las principales preguntas de implementación de un cobro por congestión

<p>¿Qué es lo primero a la hora de pensar, planear y diseñar un cobro por congestión?</p>	<p>Lo primero es definir claramente los objetivos que persigue el cobro.</p>
<p>¿Qué objetivos deben explorarse?</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Objetivos de movilidad: Reducción de congestión, reducción de volumen de vehículos en hora pico, aumento de velocidad, aumento de la confiabilidad, promoción de usos alternativos más sostenibles (transporte público y no motorizado). - Objetivos ambientales: Reducción de emisiones de gases efecto invernadero debidas al transporte, reducción de ruido. - Objetivos financieros: Obtención de recursos para la ciudad.

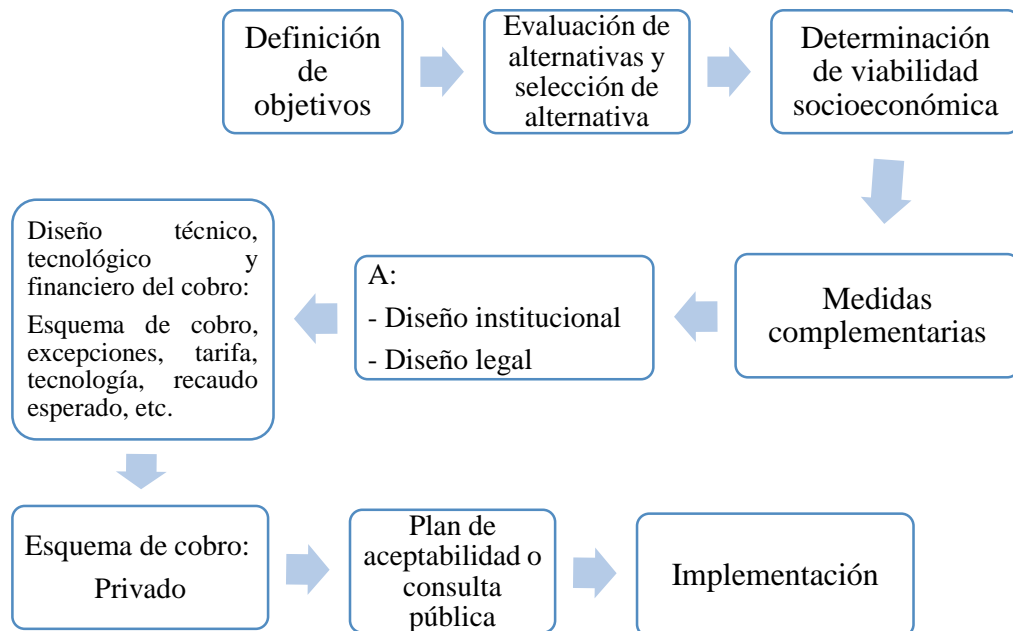
	<ul style="list-style-type: none"> - Objetivos sociales: Aumento en la equidad mediante el invertir los recursos obtenidos en modos alternativos como el transporte.
¿Cómo se define la viabilidad del cobro por congestión?	<p>Un cobro por congestión viable es aquel:</p> <ul style="list-style-type: none"> - En el que los beneficios generados a la sociedad superan el conjunto de costos asociados al esquema. - Es de fácil entendimiento para la población y es aceptada por ésta. - Que goza de apoyo político. - Es funcional dentro del contexto interinstitucional de la ciudad. - Que transfiere los recursos obtenidos reinvirtiéndolos en la ciudad, principalmente en modos no motorizados y transporte público. - Es aquel para el que medidas de fortalecimiento del transporte público y no motorizado se han implementado previamente y durante la instalación y operación del cobro.
¿Cómo se define la zona de cobro?	<p>La zona de cobro debe ser aquella que:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Presente problemas de congestión. - Presente bajas velocidades de circulación. - Presente alta densidad de empleos y comercio. - Sus usuarios tengan capacidad de pago media-alta en relación a la media de la población.
¿Qué se debe considerar para definir la tarifa al usuario?	<ul style="list-style-type: none"> - La cantidad de vehículos afectados. - La capacidad de pago de los usuarios de la zona. - El grado de congestión presente en la zona. - La elasticidad de la demanda de transporte ante el precio. - Las expectativas de recaudo. - Los costos de implementación, operación y mantenimiento.
¿Quiénes deberían tener	<ul style="list-style-type: none"> - La población que reside dentro de la zona de cobro. - Vehículos de atención médica y emergencias.

<p>tarifas especiales?</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Vehículos de fuerzas policiales y armadas. - Vehículos de tecnologías más limpias (eléctricos, híbridos, etc.). - Vehículos de otros entes importantes, con previo acuerdo.
<p>¿Cómo se define la tecnología a usar?</p>	<ul style="list-style-type: none"> - A partir del esquema de cobro a implementar (por área, por distancia recorrida, por cordón, etc.). - La extensión del área a ser cobrada (puntos de control necesarios). - La aceptabilidad (por ejemplo preocupación por invasión a la privacidad en el caso de sistemas satelitales). - Los procedimientos de fiscalización (base de datos confiables y actualizados, cuentas bancarias, etc.). - Contexto institucional (¿qué lo opera y maneja el recaudo?, etc.). - El contexto cultural (cultura de evasión, modificación ilegal de placas, vandalismo, etc.). - Las restricciones presupuestales existentes. - Visión a largo plazo de la región (¿se expandirá el cobro?, ¿se implantarían cobros en zonas cercanas que requerirían interoperabilidad y afinidad?, ¿se usará la tecnología del cobro en otros propósitos como seguridad, cobros ambientales, etc.?).
<p>¿Qué inversiones adicionales se requieren?</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Inversiones previas para aumentar la atractividad y capacidad del transporte público, la bicicleta y la caminata. - Inversiones en procesos de participación y consulta pública. - Inversiones en divulgación de información a la población. - Inversiones en tecnologías complementarias al cobro (tecnologías de información y gestión de tráfico en tiempo real, tecnologías para el control de infractores y de la fiscalización). - Inversiones en mejoramiento de la gestión de tráfico.
<p>¿Quién debe estar a cargo?</p>	<p>Una única autoridad integrada de transporte con capacidad ejecutora sobre los distintos componentes del sistema de</p>

	transporte de la ciudad (Infraestructura vial, manejo de tráfico, administración de la demanda, buses, taxis, etc.).
¿Cómo mejorar la aceptabilidad?	<ul style="list-style-type: none"> - Reinvirtiendo los recursos obtenidos en la ciudad y en el transporte público y no motorizado. - Haciendo visible la transferencia de beneficios. - Comunicando con claridad que el motivo del cobro es la congestión generada y no el uso de las vías. - Presentado (y pensando) el cobro como parte de una estrategia más amplia, compuesta por conjunto de medidas complementarias de fortalecimiento de modos alternativos al automóvil (transporte público, bicicleta y caminata), gestión de la demanda de transporte, control de tráfico, sistema de información de tráfico, etc. Asimismo, como parte de una estrategia direccionada por objetivos generales de reducción de emisiones, aumento de equidad, reducción de ruido, etc.
¿Por qué hacer seguimiento y evaluación?	<p>La obtención de información para seguimiento y evaluación idealmente debe ser recogida en tiempo real. Esto permite:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conocer y cuantificar los beneficios de la implementación del cobro. - Priorizar la inversión de capital en mejoras y mantenimiento. - Obtener información que potencie el desempeño del esquema en el futuro y aplicar procedimientos de mejora continua. - Adaptar el sistema ante cambios estructurales, económicos y políticos de la ciudad. - Brindar información en tiempo real al usuario para influenciar sus procesos de decisión y mejorar la confiabilidad del viaje. - Mantener la confianza pública en el esquema de cobro por congestión. - Administrar imprevistos para mitigar sus impactos en la movilidad de la ciudad.

Fuente: Cobros de congestión en ciudades Colombianas. University College London – Universidad de los Andes

3.10.3. Pasos del proceso de aplicación de un cobro por congestión

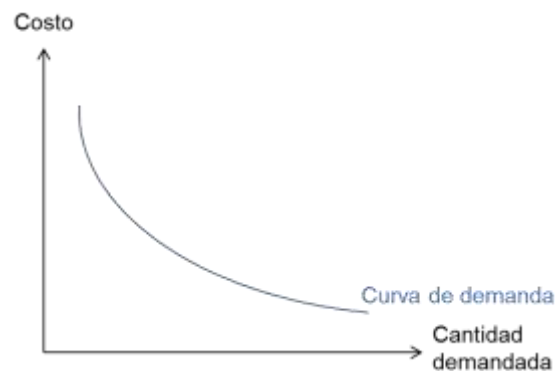


3.10.4. Peaje de congestión Pigouviano

3.10.4.1. Demanda

La cantidad de individuos que desean utilizar determinada infraestructura constituyen la demanda. Para el caso de una vía, los individuos deciden utilizarla o no dependiendo de las características de ésta y su relación con el resto de la red de transporte. La teoría económica dice que la cantidad de individuos que demandan el uso de la vía depende del costo de utilizarla.

Figura 3.1 Curva típica de demanda



Fuente: Cobros de congestión en ciudades Colombianas. University College London – Universidad de los Andes

En la figura 3.1 se observa la curva típica de demanda (en este caso, de una vía) en la cual se ve representado que a mayor costo menor cantidad demandada y viceversa.

3.10.4.2. Costo generalizado de transporte

Para los usuarios de la red de transporte existen diferentes componentes del costo en el que incurre un individuo al transportarse. Los principales son: el costo monetario del viaje (tarifas, costo de combustible, mantenimiento del vehículo, etc.) y el costo del tiempo de viaje. Cada uno de estos elementos hace parte del costo generalizado de transporte para el usuario, el cual determina la conveniencia que representa utilizar una alternativa de transporte u otra.

3.10.4.3. Valor del tiempo

El valor del tiempo es el elemento que permite monetizar el tiempo empleado por los usuarios en transportarse. Este es propio de cada uno de los usuarios y se asocia a sus características socioeconómicas. Desde una perspectiva económica el valor del tiempo es el costo de oportunidad de que los individuos inviertan tiempo en transportarse y no en otras actividades productivas. Por lo tanto representa lo que un individuo está dispuesto a pagar por ahorrar tiempo de viaje y es igual a la tasa marginal de sustitución entre el tiempo de viaje y su costo monetario. Esta disponibilidad a pagar se determina en función de las características socioeconómicas de los individuos, de tal manera que aquellos con mayores ingresos tienen mayor capacidad de pago, respecto a los individuos de menores ingresos, y por lo tanto, están dispuestos a pagar más por ahorrarse un minuto de viaje. Durante años, esta línea de pensamiento favoreció proyectos de transporte que beneficiaban a los grupos socioeconómicos de mayores ingresos, ya que los justificaba por altos beneficios cuantificados de ahorro de tiempo.

Es por lo tanto, que **el valor del tiempo de los usuarios** resulta ser una de las principales variables en el análisis de la congestión y sus costos. La formulación

de políticas y medidas pueden ser determinadas por esta variable ya que, en el caso de proyectos de transporte, el tiempo de viaje y sus costos son el principal insumo de análisis de beneficios. Considerando la importancia del *valor del tiempo* en la evaluación de proyectos de transporte, es fundamental que esta variable obtenga la atención necesaria, desde su estimación hasta su aplicación y utilización.

3.10.4.4. Costo individual

La función de costo individual permite estimar el costo en que incurre un individuo al transportarse, incluyendo los efectos de agentes externos a su actividad como ser: congestión, ruido, etc. Para el caso de los usuarios del vehículo privado, la función de costo individual $CI(q)$ se estima en función del uso de las vías q (veh/km), se expresa en pesos (bolivianos) por cada vehículo/kilómetro y tiene dos componentes: uno **constante** y uno **variable**.

$$CI(q) = \text{parte constante} + \text{parte variable} \left[\frac{\text{Bs}}{\text{km}} \right]$$

En la ecuación de $CI(q)$ se incluyó una parte **constante** que considera los costos de operación del vehículo en general (público), y una la parte **variable** que es el producto del tiempo de viaje por el valor del tiempo. Sin embargo, vale la pena resaltar que esta función puede incluir otros componentes que no se consideran en este ejercicio ilustrativo (cuadro 3.1).

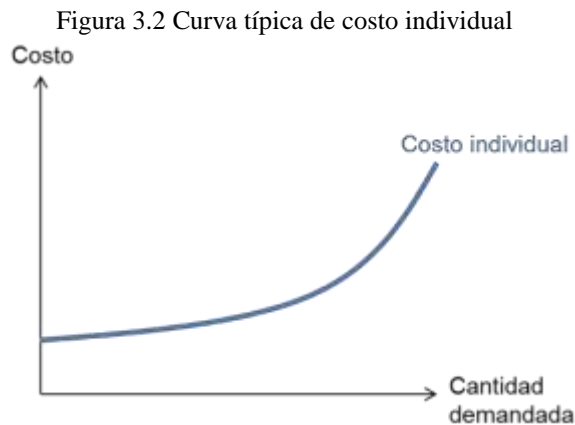
Cuadro
cobro

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Influir viajeros en ruta (letreros y señales de tráfico). - Influir comportamiento |
|---|

3.1 Tecnologías complementarias al

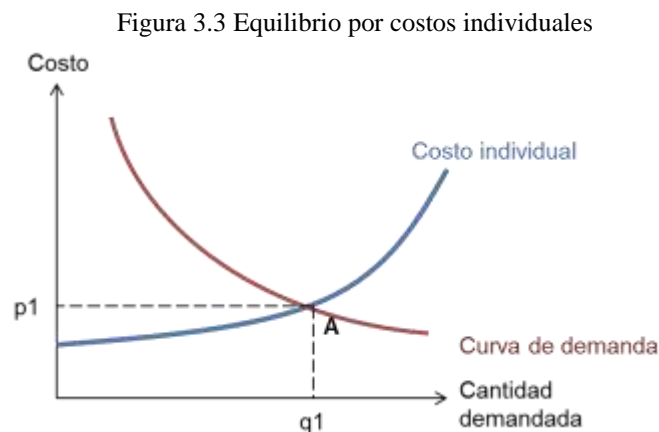
Fuente: Cobros de congestión en ciudades Colombianas. University College London – Universidad de los Andes

El costo en el que cada usuario incurre para transportarse, incluyendo los efectos de agentes externos a su actividad (ej.: congestión), es el costo individual. Éste representa lo que cada miembro de la sociedad pierde por movilizarse por medio de la red de transporte (ver figura 3.2).



Fuente: Cobros de congestión en ciudades Colombianas. University College London – Universidad de los Andes

En el caso de una vía, la cantidad de vehículos que la utilizan está determinada por el equilibrio del costo individual de los usuarios y la demanda. En la figura 3.3 se muestra el punto de equilibrio por costos individuales (punto A).



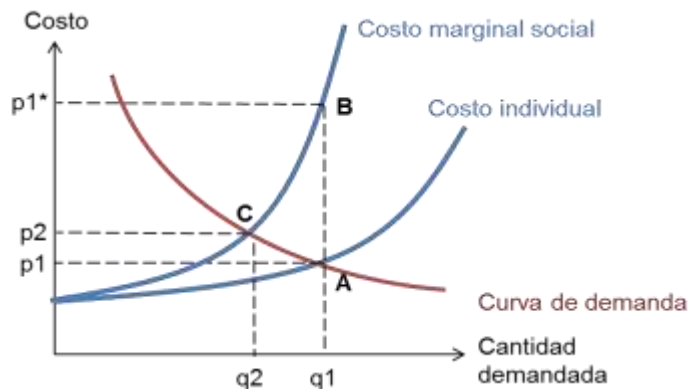
Fuente: Cobros de congestión en ciudades Colombianas. University College London – Universidad de los Andes

3.10.4.5. Costo social marginal

La curva de costo marginal social, refleja tanto los costos que enfrenta un usuario de la vía como el costo que éste impone a los demás usuarios por transitar en la vía. La función de costo marginal se deduce de la curva de costo individual $CI_{(q)}$ y es igual a la suma de la función de costo individual y su derivada multiplicada por el uso de la vía q .

Para la evaluación económica de medidas y políticas, el costo social es un principal componente del análisis para la toma de decisión. El costo social hace referencia a la inconveniencia para la totalidad de los usuarios, en conjunto, de determinada situación o escenario. Para la sociedad, cada usuario que quiere utilizar la vía trae un costo que es equivalente a su costo interno (el del usuario) y el que él le genera a los demás.

Figura 3.4 Diagrama típico de oferta y costo incluyendo costo social marginal



Fuente: Cobros de congestión en ciudades Colombianas. University College London – Universidad de los Andes

La Figura 3.4 presenta las curvas de demanda costo individual (CI) y costo social marginal (CSM). En ésta se puede observar que CSM es mayor que CI, esto se debe a que CSM está compuesto por el costo individual (Costo interno) más un componente que representa el costo adicional que cada individuo que utiliza el sistema les trae a los demás (Costo externo). En términos matemáticos CSM se define de la siguiente forma:

$$CSM_{(q)} = \text{costo interno} + \text{costo externo}$$

$$CSM_{(q)} = CI + \frac{d}{dq}(f_{(q)} * q) * Q$$

Donde:

q = Cantidad demandada

Q = Valor del tiempo

La diferencia entre p1 y p1* es el costo que cada individuo genera a los demás por la utilización simultánea de la vía, en la situación en que el equilibrio se diera en A.

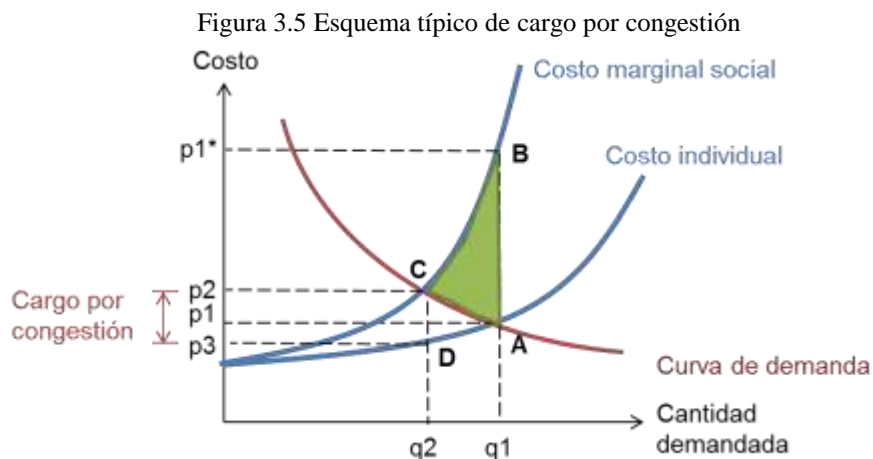
El punto de equilibrio C es el óptimo social, puesto que en este punto todos los usuarios internalizan el costo generado a los demás, reduciendo las pérdidas en tiempo debidas al excesivo volumen vehicular y haciendo más eficiente la utilización de la vía.

3.10.4.6. Cobro por congestión

Con el fin de lograr un óptimo social, para el cual los conductores perciban un costo individual de cada viaje igual al costo social que generan, es necesario implementar un mecanismo mediante el cual cada usuario internalice los costos generados al resto de la sociedad. El cargo por congestión es una herramienta económica que permiten alcanzar este objetivo, imponiendo una tarifa a todo aquel que utilice la infraestructura que se pretende intervenir, logrando así un nivel óptimo de congestión.

Como se mencionó anteriormente, al presentarse equilibrio por costos individuales los usuarios del sistema perciben únicamente los costos que les representa a sí mismos la realización del viaje; sin embargo, no incluye los costos que les generan a los demás usuarios derivando en una sobre utilización de la infraestructura. Es por esto, que, en los períodos congestionados, resulta conveniente que los individuos internalicen los costos que les generan a los demás, y que la respuesta a ésta internalización de costos sea una reasignación de recursos que permitan optimizar la utilización del sistema.

En la figura 3.5 el punto C representa la situación en la cual los usuarios del sistema internalizan los costos por congestión, y lo hacen percibiendo p_2 que es mayor que lo que percibían en el equilibrio por costos individuales (p_1). La diferencia entre p_2 y p_3 sería el cargo por congestión necesario para optimizar la asignación de recursos y así maximizar los beneficios que la sociedad tiene por la utilización de la infraestructura.



Fuente: Cobros de congestión en ciudades Colombianas. University College London – Universidad de los Andes

El nuevo punto de equilibrio trae beneficios sociales (ahorros en pérdidas de tiempo) equivalentes al área sombreada en la Figura. Cabe notar que éstos son los beneficios del cobro por congestión asociados únicamente a los efectos en el tráfico que tiene este tipo de medidas, existen otros efectos y co-beneficios que no son incluidos en éste análisis. Por otro lado, el recaudo que el sistema traería es el monto del cobro ($p_2 - p_3$) por la cantidad de usuarios en el punto de equilibrio C (q_2).

Por último, cabe resaltar que el cobro por congestión es sólo una de las herramientas económicas que permiten gestionar la demanda de los vehículos privados y por consiguiente las externalidades asociadas a su uso.

3.10.5. Esquemas y tecnologías disponibles para el cobro

La teoría del cobro plantea que los costos de congestión varían dependiendo de la vía y hora; en síntesis del tráfico presente y que para eliminar la congestión, el cobro debería ser diferenciado. Es por esto que, si se implementa, es necesario acudir a esquemas simplificados que, aunque puede que no logren llevar la utilización de la infraestructura al óptimo teórico, permiten reducir significativamente los costos sociales de la congestión.

En la tabla 3.2 se presentan las diferentes opciones de esquema junto con sus características. Cualquiera de estos esquemas puede tener un grado de refinamiento adicional si el cobro es diferencial dependiendo de la hora del día a la cual el usuario está siendo cargado, puesto que el nivel de congestión está relacionado con el periodo del día.

Tabla 3.2 Características de los diferentes esquemas de cobro (basado en: Steer Davies Gleave, 2009)

Tipo de esquema	Aproximación al óptimo	Costo de fiscalización	Legibilidad
Zona única	Pobre	Medio alto (control al interior de la zona)	Muy buena
Zona múltiples	Mejor que una sola zona	Alto (control al interior de la zona)	Buena
Cordón único	Pobre	Bajo (sólo en puntos de cobro)	Muy buena
Cordones múltiples	Mejor que un solo cordón	Bajo (sólo en puntos de cobro)	Buena
Corredores	Buena	Bajo (sólo en puntos de cobro)	Buena
Sistemas mixtos de cordón y corredor	Muy buena	Bajo (sólo en puntos de cobro)	Menor

Fuente: Cobros de congestión en ciudades Colombianas. University College London – Univ. de los Andes

La implementación de un esquema de cargo por congestión trae consigo desafíos tecnológicos, sociales y operacionales. Actualmente existen diversas tecnologías que permiten la identificación de vehículos que pasan por un punto determinado. Para escoger de tecnología de cobro es necesario tener en cuenta las características del esquema y de la infraestructura que se va a intervenir para su puesta en marcha. Así mismo, la tecnología que se escoja depende de los objetivos perseguidos e, idealmente, debe involucrar la visión a largo plazo que se tenga de la ciudad o región en que se implemente (tabla 3.3).

Tabla 3.3 Clasificación de tecnologías

Familia	Clase	Tecnologías	Elementos o sub tecnologías
Sistemas de cobro no electrónico	Manual	Sistemas de papel	Licencia/permiso/calcomanía
			Regulación a infractores en puntos de control
		Cobro manual en plazas (tipo peaje)	Efectivo/tarjetas electrónicas o inteligentes
			Plaza o caseta
Valla pivoteable			
Sistemas de cobro electrónico	Basados en infraestructura de pórticos o postes	Reconocimiento por video /reconocimiento automático de placas (ALPR o ANPR)	Cámaras
			Dispositivos de iluminación
			Pórticos/postes
			Dispositivos de clasificación de vehículos
		Centro de control	
		DSRC (Infrarrojo/microondas/Rf ID) cobro a flujo ininterrumpido usando transpondedores y pórticos	Antenas
			Pórticos o postes
			Tags/transpondedores/(OBU) Unidad intra vehicular
	Radio frecuencia/microondas/infrarrojo		
	Puntos de venta o distribución (para OBU)		
	Centro de control		
	Basados en equipos intra vehiculares	Tecnologías de localización vehicular (VPS) GNSS: GPS/GLONASS/GALILEO	OBU/odómetro/tacógrafo
			Tarjeta inteligente
			Repetidores de señal
		OBU	

		Sistemas de redes de telefonía celular	Tarjeta inteligente
			Odómetro/tacógrafo

Fuente: (FHWA (Federal Highway Administration), 2008); (Palma & Lindsey, 2011); (Steer Davies Gleave, 2009); (The World Bank Group, 2008)

Tabla 3.4 Descripción de las tecnologías disponibles para el cobro por congestión

Tecnologías	Descripción
Sistema de papel	El usuario compra en puntos de distribución licencias de papel o calcomanías adheribles al parabrisas del vehículo que le permiten ingresar a un área determinada de la ciudad, a un corredor o atravesar un cordón. El control de infractores se realiza con personal en puntos de control al interior de la zona/corredor.
Cobro manual en plazas (tipo peaje)	El cobro se realiza en casetas fijas localizadas en los accesos a corredores o sobre cordones de acceso a una zona. La fiscalización se puede realizar utilizando operarios o sistemas automáticos de reconocimiento de tarjetas electrónicas o inteligentes, entre otras.
Reconocimiento por video /reconocimiento automático de placas (ALPR o ANPR)	Un conjunto de cámaras instaladas en pórticos sobre la vía, o postes al lado de la vía, junto con dispositivos de iluminación infrarroja o flash intermitente, graba y reconoce, a partir de software especializado, las placas de los vehículos. Los números de placa obtenidos se cruzan con las bases de registro para reconocer el propietario y cargar a éste el cobro. Si las bases están unidas a una cuenta bancaria, la transacción se realiza automáticamente. La fiscalización descrita se puede realizar en un centro de control remoto (back office) o en equipos instalados junto con las cámaras. La información se puede transmitir al centro de control por señal de radio o por fibra óptica. La fiscalizar con equipos en la vía tiene la ventaja de disminuir el volumen de información que debe ser transmitida al centro de control. Requiere de operarios que verifican el correcto reconocimiento de las placas vehiculares.

Fuente: (FHWA (Federal Highway Administration), 2008); (Palma & Lindsey, 2011); (Steer Davies Gleave, 2009); (The World Bank Group, 2008)

3.10.6. Impactos del peaje de congestión

Un sistema de cobro por congestión tiene impactos tanto positivos como negativos en la calidad de vida de los individuos, en la zona intervenida y en la ciudad en general. Estos impactos están ligados directamente con la inclusión o no de medidas complementarias, que mitiguen los impactos negativos de los peajes por congestión e intensifiquen los impactos positivos que los mismos pueden generar a la sociedad. En la tabla 3.5 se presentan los posibles impactos de un peaje de congestión, en el caso que sólo se imponga el sistema de cobro, sin considerar ni tomar medidas sobre los efectos que el mismo puede generar en la ciudad y sus individuos.

Tabla 3.5 Impactos positivos y negativos de un peaje de congestión implementado sin medidas complementarias

	Impactos Positivos	Impactos Negativos
Bienestar	Incremento de la salud física y mental por el uso de modos no motorizados.	Reducción de la comodidad de los usuarios regulares del transporte público.
	Mejora de la salud mental de usuarios del automóvil por reducción de la congestión.	Incomodidad generada a usuarios del vehículo privado que evitan atravesar la zona de cobro lo que resulta en distancias de viaje más largas.
	Disfrute del espacio público.	
Equidad	Los usuarios del vehículo privado en la zona de cobro internalizan el costo que generan a la sociedad.	Los usuarios de vehículo privado que no tienen la capacidad económica de pagar el peaje de congestión se ven obligados a cambiar sus hábitos de viaje, mientras aquellos con más poder adquisitivo tienen la opción de no hacerlo.
	Los usuarios de buses regulares se ven beneficiados por el alcance de una velocidad más constante en las vías de la zona.	
Ambiente	Reducción de niveles de ruido en la zona de cobro.	Incremento de niveles de ruido en el borde de la zona de cobro y en otras zonas de la ciudad.
	Reducción en emisiones de CO ₂ en la zona de cobro.	Incremento de emisiones al borde de la zona de cobro y en otras zonas.

Confiabilidad	Aumento de la confiabilidad de los tiempos de viaje en vehículos del transporte público debido a la reducción de la congestión en la zona de cobro.	Presión en la capacidad del transporte público por la cantidad de pasajeros nuevos generados por el cobro. Esto generaría aumento en los tiempos de ingreso, espera y egreso a los sistemas de transporte público haciéndolos menos confiable.
		La confiabilidad en los tiempos de viaje de usuarios del vehículo privado se vería afectada en el borde de la zona de cobro y otras zonas de la ciudad a donde se desplazasen los vehículos.
Accidentalidad	Al reducir el volumen vehicular en la zona se reduce la probabilidad de accidentes.	Al aumentar la velocidad de los vehículos particulares, se incrementa la accidentalidad.
Infraestructura	El uso más eficiente de la infraestructura destinada al mayor uso del vehículo público trae reducciones en costos de mantenimiento.	Se va a generar presión sobre la infraestructura existente para modos no motorizados y transporte público.
Patrones de viaje	Cambio de modo del transporte privado hacia transporte público y modos no motorizados.	El costo del ingreso a la zona puede hacerla menos atractiva reduciendo la necesidad de visitarla y generando un cambio de destino de los viajes realizados por usuarios de vehículo privado. Esto se puede reflejar en un impacto en la actividad económica de la zona.
	Reducción de viajes en horas pico generada por un cambio de horario de viajes realizados en vehículo privado para pagar un costo menor por entrar a la zona (Solo se aplica si hay tarifas diferenciadas por hora).	
	Cumplir varios propósitos en un solo viaje para evitar realizar múltiples viajes a la zona.	El cobro en la zona puede inducir un cambio de ruta de los usuarios del vehículo privado agravando los problemas de borde.

Fuente: Cobros de congestión en ciudades Colombianas. University College London – Universidad de los Andes

4. APLICACIÓN PRÁCTICA SOBRE EL COBRO DE CONGESTIÓN EN LA CIUDAD DE TARIJA

4.1. UBICACIÓN Y GENERALIDADES DEL SECTOR DE ESTUDIO

El proyecto de determinación de cobro por congestión fue realizado en el departamento de Tarija, provincia de Cercado, municipio de Tarija.

Limita al noroeste con la provincia de Méndez, al sur con la provincia Arce, al suroeste con la provincia de Avilés y al este con la provincia de O'Connor.

Figura 4.1 Departamento de Tarija



Fuente: www.mapsofworld.com

Ubicado geográficamente entre las coordenadas geográficas 21°32'08" de latitud sur y 64°43'46" de longitud oeste y a una altitud de 1.870 m.s.n.m.

Respecto al parque automotor, entre 2003 y 2013, creció en 185,2 %. La cantidad de vehículos en el año 2003 alcanzó a 25.189 y en 2013 llegó a 71.835. Del total del parque automotor circulando el año 2013, 67.243 correspondió a servicio particular, 2.243 a servicio público y 2.157 a oficiales.

Entonces, el parque automotor aumenta cerca de 5.000 vehículos por año.

Según la dirección de ingresos del Gobierno Municipal, se informó que el congestionamiento vehicular que se tiene en la ciudad de Tarija, se debe al incremento considerable de motorizados que hace difícil el tránsito sobre todo por el centro de la ciudad.

Debido a este incremento ha generado que se tengan que construir más estacionamientos por parte del gobierno municipal, y ello obliga a seguir planificando para que se construyan más vías, más puentes o pasos de desnivel que ayudarán a descongestionar el centro de la ciudad en especial.

Figura 4.2 Provincia Cercado - Tarija



Fuente: www.mapsofworld.com

4.2. PROCESO DE ESTUDIO

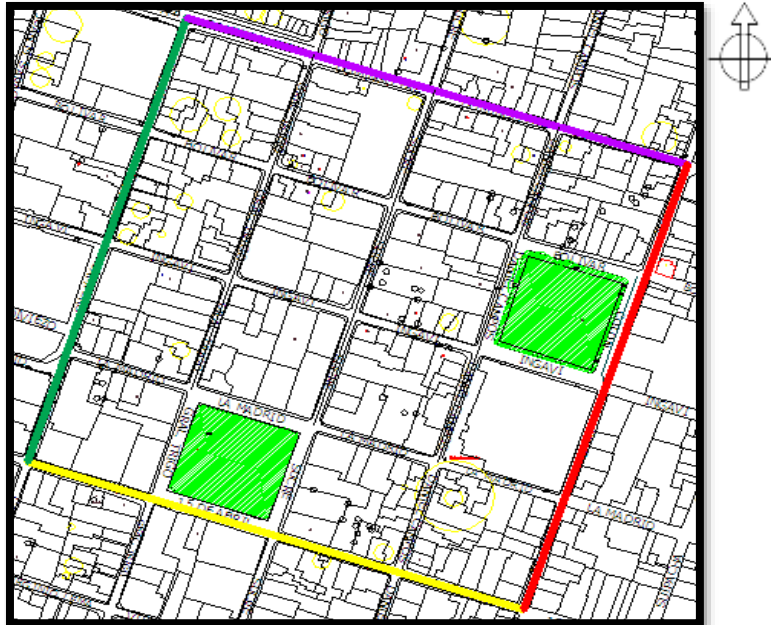
4.2.1. Características del sector de estudio

El sector que será objeto del presente estudio, se encuentra ubicada en la zona central de la ciudad de Tarija, delimitado por las avenidas:

- Av. Campero —
- Av. Domingo Paz —

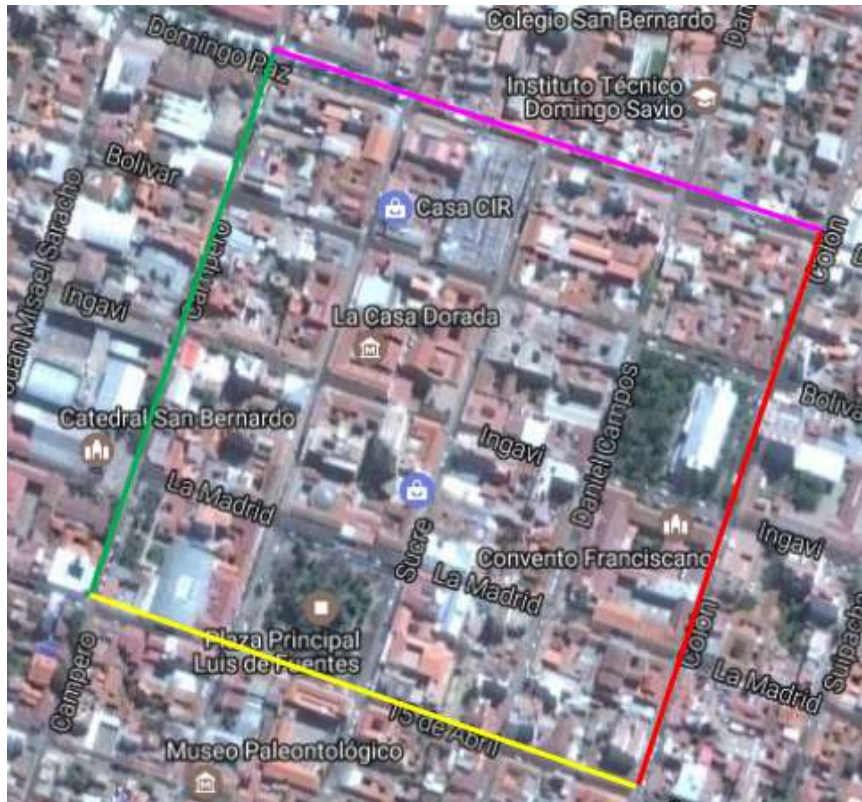
- Av. Colón —
- Av. 15 de Abril —

Figura 4.3 Ubicación del sector de estudio



Fuente: Instituto geográfico militar (IGM)

Figura 4.4 Fotografía de la ubicación del sector de estudio (Google Earth)



Fuente: Elaboración propia

El sector de estudio se encuentra en una zona urbana (casco viejo) de la ciudad de Tarija. La zona de estudio respecto a las cuatro avenidas por las cuales está delimitada, comprende avenidas de uno hasta cuatro carriles del mismo sentido.

- Av. Campero, va en sentido vehicular noreste respecto a la ciudad de Tarija.
- Av. 15 de Abril, va en sentido vehicular sudeste respecto a la ciudad de Tarija.
- Av. Colón, va en sentido vehicular noreste respecto a la ciudad de Tarija.
- Av. Domingo Paz, va en sentido vehicular sudeste respecto a la ciudad de Tarija.

4.2.2. Determinación de las propiedades físicas y geométricas del sector de estudio

La determinación de las propiedades del sector de estudio se determinó en campo, corroborando mediante planos obtenidos de la alcaldía de Tarija y coincidiendo con la medición satelital mediante el programa de software “Google Earth” se obtiene las siguientes características geométricas de cada vía del sector:

Tabla 4.1 Propiedades geométricas del sector de estudio

Avenida	Nº de carriles	Ancho de calzada (m)	Longitud del tramo (m)	Sentido respecto a la ciudad de Tarija
Campero	2	5.30	353.54	Nor – este
Gral. Trigo	2 / 1 / 3	5.30 / 3.00 / 6.5	353.89	Sud – oeste
Sucre	1 / 3 / 2	3.0 / 6.5 / 3.0 / 5.3	354.28	Nor – este
Daniel Campos	2 / 4 / 1	5.30 / 10.30 / 3.00	354.65	Sud – oeste
Colón	4 / 2	10.30 / 5.30	355.03	Nor - este
15 de abril	2 / 3 / 1	5.30 / 6.50 / 3.00	354.72	Sud – este
Madrid	1 / 3	3.00 / 6.50	355.15	Nor – oeste
Ingavi	2 / 1 / 4	5.30 / 3.00 / 10.30	355.56	Sud – este

Bolívar	4 / 2	10.30 / 5.30	355.96	Nor – oeste
Domingo Paz	2	5.30	356.38	Sud – este

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.2 Propiedades físicas del sector de estudio

Avenida	Nº de semáforos	Av. / intersección	Avenida	Nº de semáforos	Av. / intersección
Campero	4	Domingo Paz	15 de Abril	5	Campero
		Bolívar			Gral. Trigo
		Ingavi			Sucre
		-			Daniel Campos
		15 de Abril			Colón
Gral. Trigo	5	Domingo Paz	La Madrid	4	-
		Bolívar			Gral. Trigo
		Ingavi			Sucre
		La Madrid			Daniel Campos
		15 de Abril			Colón
Sucre	5	Domingo Paz	Ingavi	5	Campero
		Bolívar			Gral. Trigo
		Ingavi			Sucre
		La Madrid			Daniel Campos
		15 de Abril			Colón
Daniel Campos	5	Domingo Paz	Bolívar	5	Campero
		Bolívar			Gral. Trigo
		Ingavi			Sucre
		La Madrid			Daniel Campos
		15 de Abril			Colón
Colón	5	Domingo Paz	Domingo Paz	5	Campero
		Bolívar			Gral. Trigo
		Ingavi			Sucre
		La Madrid			Daniel Campos
		15 de Abril			Colón

Fuente: Elaboración propia

4.3. AFORO DE VOLÚMENES DE TRÁFICO

Los aforos volumétricos fueron determinados de forma manual debido a que en nuestro medio no se cuenta con equipos automáticos. El aforo volumétrico se realizó con el llenado de una respectiva planilla, en la cual se tiene los datos de la fecha y hora del aforo, del tipo de vehículo, de la cantidad y del sentido.

La ventaja en la realización de los aforos manuales estuvo en que se pudo establecer una mejor información, es decir que además del número de vehículos, se puede obtener información sobre el tipo de vehículos, características, sentido de circulación y otros. La desventaja de utilizar este método estuvo en la cantidad de personas que se requiere para realizar un buen trabajo y la garantía de que se realice una medición a la perfección.

La metodología a utilizar en el plan de aforos es por muestreo y consiste en deducir de algunos aforos con observaciones horarias (horas pico del día) mediante aforos manuales. Los puntos de aforo vehicular fueron en todas las intersecciones de las avenidas que se encuentran dentro del área de estudio delimitada.

El tiempo de realización de estos aforos manuales fue de tres veces al día, durante más de un mes (20 días hábiles), los mismos que se realizaron en las horas: 7:00 a 8:00, 12:00 a 13:00 y 18:00 a 19:00. Los aforos vehiculares se realizaron de la clasificación que normalmente se usa:

- Vehículos livianos: privados y públicos
- Vehículos medianos: privados y públicos

Todo el detalle respecto al aforo vehicular se muestra en el anexo I.

4.4. AFORO DE VELOCIDADES HORARIAS

La medición de las velocidades de tráfico, fue realizada en base al control del tiempo de recorrido entre dos puntos. Los puntos de control se ubicaron dentro del sector de estudio, es que está delimitada por las avenidas ya mencionadas. Son diferentes velocidades de recorrido las que deben calcularse, por lo que se debe aforar tiempos de viaje para 10 diferentes calles. El aforo de velocidades se realizó 2 veces al día (10:00

a.m. y 16:00 p.m.), 1 día para cada calle y 2 tramos por calle. El aforo se realizó en las horas no pico del día, para determinar la velocidad libre de los tramos en estudio.

El detalle del recabado de información para determinar la velocidad vehicular en el sector de estudio se detalla en el anexo IV.

4.5. FASE DE GABINETE

4.5.1. Procesamiento de la información de tráfico en el sector de estudio

Una vez obtenidos los datos de campo se procedió a su tabulado, de los cuales se asumió los valores más racionales dentro de la muestra, tanto de los aforos volumétricos como de los tiempos para la determinación de la velocidad, y se determinó también el porcentaje de los diferentes tipos de vehículos que circulan en el área de estudio.

4.5.1.1. Depuración de los aforos de tráfico

Toda la información analizada de la información recabada de aforos vehiculares de las avenidas en estudio, se detalla en cuadros estadísticos con los resultados depurados a los que se llegó (anexo II).

4.5.1.1.1. Porcentaje de giros de volúmenes medios de tráfico

Con la información depurada, se determinó también el porcentaje de giros de los volúmenes medios de tráfico del sector del estudio, ya que es un parámetro importante a la hora de analizar y determinar las capacidades vehiculares de las avenidas en estudio. Los resultados se detallan en cuadros estadísticos presentados en el anexo III.

4.5.1.2. Determinación de la velocidad vehicular

De acuerdo al procesamiento que se realizó, se determinó las velocidades medias para las diferentes avenidas que componen el sector de estudio (anexo IV), de las cuales se obtuvo la velocidad media vehicular del sector:

Velocidad media del flujo vehicular en el sector estudio:	$V_{media} = 21,44$ [km/hr]
--	-----------------------------

4.5.2. Determinación de otros indicadores de tráfico

Tradicionalmente se ha considerado la *velocidad* el principal indicador para identificar el nivel de servicio. Sin embargo, los métodos modernos introducen, además de la velocidad, otros indicadores, como por ejemplo, la *densidad* y la *demora* para casos de circulación discontinua.

4.5.2.1. Intensidad (tasa de flujo)

De acuerdo a los volúmenes medios corregidos y el FHMD, se determinó las Intensidades Circulantes de cada avenida que compone el sector de estudio (anexo V), de las cuales se obtuvo la intensidad media del sector:

Intensidad media del sector de estudio:	$I_{media} = 435,00$ [veh/hr]
--	-------------------------------

4.5.2.2. Densidad

Es difícil medir directamente la densidad en el campo, pues es necesario contar con un punto elevado desde el que se puedan fotografiar, filmar, o divisar tramos de vía de longitud significativa. Sin embargo, se puede calcular de acuerdo al modelo básico de flujo vehicular, que relaciona la velocidad (v) con la densidad (k) a través de un modelo lineal, del cual se deduce el flujo o intensidad máxima q_m mediante el diagrama de velocidad – densidad (figura 2.5).

Entonces, de acuerdo a la relación de estos factores se determinaron las densidades de congestionamiento de las avenidas que componen el sector de estudio (anexo VI), de las cuales se obtuvo la densidad media del sector:

Densidad media del sector de estudio:	$D_{media} = 85,00$ [veh/km]
--	------------------------------

4.5.2.3. Capacidad vial

Por lo general, no se realizan estudios de *capacidad* para determinar la cantidad máxima de vehículos que puede alojar cierta parte de una autopista o calle; lo que se hace es tratar de determinar el *nivel de servicio* al que funciona cierto tramo, o bien la tasa de flujo admisible dentro de cierto nivel de servicio. En determinadas circunstancias se hace el análisis para predecir con que flujos, y a qué plazo se llegará a la capacidad de esa parte del sistema vial (anexo VII).

Tabla 4.3 Resultados del análisis de capacidad vial

Avenida: 15 de Abril					
Intersección: 15 de Abril - Colón					
Característica del acceso: 15 de Abril Zona Central con estacionamiento prohibido			Característica del acceso: Colón Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	3,00	(m)	Ancho de calzada:	7,80	(m)
Ancho de carril:	3,00	(m)	Ancho de carril:	2,60	(m)
Reducción por estacionamiento:	-	(m)	Reducción por estacionamiento:	6	(m)
Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	700,00	(veh/h)
Capacidad real:	522,00	(veh/h)	Capacidad real:	503,00	(veh/h)
Intersección: 15 de Abril - D. Campos					
Característica del acceso: 15 de Abril Zona Central con estacionamiento prohibido			Característica del acceso: D. Campos Zona Central con estacionamiento prohibido		
Ancho de calzada:	3,00	(m)	Ancho de calzada:	3,00	(m)
Ancho de carril:	3,00	(m)	Ancho de carril:	3,00	(m)
Reducción por estacionamiento:	-	(m)	Reducción por estacionamiento:	-	(m)
Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)
Capacidad real:	517,00	(veh/h)	Capacidad real:	540,00	(veh/h)
Intersección: 15 de Abril - Sucre					
Característica del acceso: 15 de Abril Zona Central con estacionamiento prohibido			Característica del acceso: Sucre Zona Central con estacionamiento prohibido		
Ancho de Calzada:	6,50	(m)	Ancho de calzada:	3,00	(m)
Ancho de Carril:	2,17	(m)	Ancho de carril:	3,00	(m)
Reducción por Estacionamiento:	4,70	(m)	Reducción por estacionamiento:	-	(m)
Capacidad Ideal:	1200,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)
Capacidad Real:	890,00	(veh/h)	Capacidad real:	487,00	(veh/h)
Intersección: 15 de Abril - Gral. Trigo					
Característica del acceso: 15 de Abril Zona Central con estacionamiento a la derecha			Característica del acceso: Gral. Trigo Zona Central con estacionamiento prohibido		
Ancho de calzada:	5,30	(m)	Ancho de calzada:	6,50	(m)
Ancho de carril:	2,65	(m)	Ancho de carril:	2,17	(m)
Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por estacionamiento:	4,70	(m)
Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	1200,00	(veh/h)
Capacidad real:	328,00	(veh/h)	Capacidad real:	871,00	(veh/h)
Intersección: 15 de Abril - Campero					
Característica del acceso: 15 de Abril Zona Central con estacionamiento a la derecha			Característica del acceso: Campero Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de Calzada:	5,30	(m)	Ancho de Calzada:	5,30	(m)
Ancho de Carril:	2,65	(m)	Ancho de Carril:	2,65	(m)
Reducción por Estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por Estacionamiento:	3,50	(m)
Capacidad Ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad Ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad Real:	348,00	(veh/h)	Capacidad Real:	345,00	(veh/h)

Avenida: La Madrid					
Intersección: La Madrid - Colón					
Característica del acceso: La Madrid Zona Central con estacionamiento a la derecha			Característica del acceso: Colón Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	5,30	(m)	Ancho de calzada:	5,30	(m)
Ancho de carril:	2,65	(m)	Ancho de carril:	2,65	(m)
Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)
Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad real:	360,00	(veh/h)	Capacidad real:	308,00	(veh/h)
Intersección: La Madrid - D. Campos					
Característica del acceso: La Madrid Zona Central con estacionamiento prohibido			Característica del acceso: D. Campos Zona Central con estacionamiento prohibido		
Ancho de calzada:	3,00	(m)	Ancho de calzada:	3,00	(m)
Ancho de carril:	3,00	(m)	Ancho de carril:	3,00	(m)
Reducción por estacionamiento:	-	(m)	Reducción por estacionamiento:	-	(m)
Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)
Capacidad real:	454,00	(veh/h)	Capacidad real:	550,00	(veh/h)
Intersección: La Madrid - Sucre					
Característica del acceso: La Madrid Zona Central con estacionamiento prohibido			Característica del acceso: Sucre Zona Central con estacionamiento prohibido		
Ancho de calzada:	3,00	(m)	Ancho de calzada:	6,50	(m)
Ancho de carril:	3,00	(m)	Ancho de carril:	2,17	(m)
Reducción por estacionamiento:	-	(m)	Reducción por estacionamiento:	4,70	(m)
Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	1200,00	(veh/h)
Capacidad real:	507,00	(veh/h)	Capacidad real:	889,00	(veh/h)
Intersección: La Madrid - Gral. Trigo					
Característica del acceso: La Madrid Zona Central con estacionamiento prohibido			Característica del acceso: Gral. Trigo Zona Central con estacionamiento prohibido		
Ancho de calzada:	6,50	(m)	Ancho de calzada:	3,00	(m)
Ancho de carril:	2,17	(m)	Ancho de carril:	3,00	(m)
Reducción por estacionamiento:	4,70	(m)	Reducción por estacionamiento:	-	(m)
Capacidad ideal:	1200,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)
Capacidad real:	877,00	(veh/h)	Capacidad real:	519,00	(veh/h)
Intersección: La Madrid - Campero					
Característica del acceso: La Madrid Zona Central con estacionamiento prohibido			Característica del acceso: Campero Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	3,00	(m)	Ancho de calzada:	5,30	(m)
Ancho de carril:	3,00	(m)	Ancho de carril:	2,65	(m)
Reducción por estacionamiento:	-	(m)	Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)
Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad real:	533,00	(veh/h)	Capacidad real:	347,00	(veh/h)

Avenida: Ingavi					
Intersección: Ingavi - Colón					
Característica del acceso: Ingavi Alrededores Zona Central con estac. a ambos lados			Característica del acceso: Colón Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	10,30	(m)	Ancho de calzada:	5,30	(m)
Ancho de carril:	2,58	(m)	Ancho de carril:	2,65	(m)
Reducción por estacionamiento:	6,70	(m)	Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)
Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad real:	553,00	(veh/h)	Capacidad real:	361,00	(veh/h)
Intersección: Ingavi - D. Campos					
Característica del acceso: Ingavi Zona Central con estacionamiento prohibido			Característica del acceso: D. Campos Alrededores Zona Central con estac. a ambos lados		
Ancho de calzada:	3,00	(m)	Ancho de calzada:	10,30	(m)
Ancho de carril:	3,00	(m)	Ancho de carril:	2,58	(m)
Reducción por estacionamiento:	-	(m)	Reducción por estacionamiento:	6,70	(m)
Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)
Capacidad real:	528,00	(veh/h)	Capacidad real:	564,00	(veh/h)
Intersección: Ingavi - Sucre					
Característica del acceso: Ingavi Zona Central con estacionamiento prohibido			Característica del acceso: Sucre Zona Central con Estacionamiento Prohibido		
Ancho de calzada:	3,00	(m)	Ancho de calzada:	3,00	(m)
Ancho de carril:	3,00	(m)	Ancho de carril:	3,00	(m)
Reducción por estacionamiento:	-	(m)	Reducción por estacionamiento:	-	(m)
Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)
Capacidad real:	535,00	(veh/h)	Capacidad real:	539,00	(veh/h)
Intersección: Ingavi - Gral. Trigo					
Característica del acceso: Ingavi Zona Central con estacionamiento a la derecha			Característica del acceso: Gral. Trigo Zona Central con estacionamiento prohibido		
Ancho de calzada:	5,30	(m)	Ancho de calzada:	3,00	(m)
Ancho de carril:	2,65	(m)	Ancho de carril:	3,00	(m)
Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por estacionamiento:	-	(m)
Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)
Capacidad real:	355,00	(veh/h)	Capacidad real:	533,00	(veh/h)
Intersección: Ingavi - Campero					
Característica del acceso: Ingavi Zona Central con estacionamiento a la derecha			Característica del acceso: Campero Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	5,30	(m)	Ancho de calzada:	5,30	(m)
Ancho de carril:	2,65	(m)	Ancho de carril:	2,65	(m)
Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por estacionamiento:	3,5	(m)
Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad real:	312,00	(veh/h)	Capacidad real:	363,00	(veh/h)

Avenida: Bolívar					
Intersección: Bolívar - Colón					
Característica del acceso: Bolívar Zona Central con estacionamiento a la derecha			Característica del acceso: Colón Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	5,30	(m)	Ancho de calzada:	10,30	(m)
Ancho de carril:	2,65	(m)	Ancho de carril:	2,58	(m)
Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por estacionamiento:	6,70	(m)
Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)
Capacidad real:	329,00	(veh/h)	Capacidad real:	527,00	(veh/h)
Intersección: Bolívar - D. Campos					
Característica del acceso: Bolívar Zona Central con estacionamiento prohibido			Característica del acceso: D. Campos Zona Central con estacionamiento prohibido		
Ancho de calzada:	10,30	(m)	Ancho de calzada:	5,30	(m)
Ancho de carril:	2,58	(m)	Ancho de carril:	2,65	(m)
Reducción por estacionamiento:	6,70	(m)	Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)
Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad real:	564,00	(veh/h)	Capacidad real:	331,00	(veh/h)
Intersección: Bolívar - Sucre					
Característica del acceso: Bolívar Zona Central con estacionamiento prohibido			Característica del acceso: Sucre Zona Central con estacionamiento prohibido		
Ancho de calzada:	5,30	(m)	Ancho de calzada:	3,00	(m)
Ancho de carril:	2,65	(m)	Ancho de carril:	3,00	(m)
Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por estacionamiento:	-	(m)
Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)
Capacidad real:	348,00	(veh/h)	Capacidad real:	542,00	(veh/h)
Intersección: Bolívar - Gral. Trigo					
Característica del acceso: Bolívar Zona Central con estacionamiento prohibido			Característica del acceso: Gral. Trigo Zona Central con estacionamiento prohibido		
Ancho de calzada:	5,30	(m)	Ancho de calzada:	5,30	(m)
Ancho de carril:	2,65	(m)	Ancho de carril:	2,65	(m)
Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)
Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad real:	360,00	(veh/h)	Capacidad real:	361,00	(veh/h)
Intersección: Bolívar - Campero					
Característica del acceso: Bolívar Zona Central con estacionamiento prohibido			Característica del acceso: Campero Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	5,30	(m)	Ancho de calzada:	5,30	(m)
Ancho de carril:	2,65	(m)	Ancho de carril:	2,65	(m)
Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)
Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad real:	346,00	(veh/h)	Capacidad real:	311,00	(veh/h)

Avenida: Domingo Paz					
Intersección: Domingo Paz - Colón					
Característica del acceso: Domingo Paz Zona Central con estacionamiento a la derecha			Característica del acceso: Colón Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	5,30	(m)	Ancho de calzada:	5,30	(m)
Ancho de carril:	2,65	(m)	Ancho de carril:	2,65	(m)
Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)
Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad real:	360,00	(veh/h)	Capacidad real:	367,00	(veh/h)
Intersección: Domingo Paz - D. Campos					
Característica del acceso: Domingo Paz Zona Central con estacionamiento a la derecha			Característica del acceso: D. Campos Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	5,30	(m)	Ancho de calzada:	5,30	(m)
Ancho de carril:	2,65	(m)	Ancho de carril:	2,65	(m)
Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)
Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad real:	363,00	(veh/h)	Capacidad real:	366,00	(veh/h)
Intersección: Domingo Paz - Sucre					
Característica del acceso: Domingo Paz Zona Central con estacionamiento a la derecha			Característica del acceso: Sucre Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	5,30	(m)	Ancho de calzada:	5,30	(m)
Ancho de carril:	2,65	(m)	Ancho de carril:	2,65	(m)
Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)
Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad real:	367,00	(veh/h)	Capacidad real:	359,00	(veh/h)
Intersección: Domingo Paz - Gral. Trigo					
Característica del acceso: Domingo Paz Zona Central con estacionamiento a la derecha			Característica del acceso: Gral. Trigo Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	5,30	(m)	Ancho de calzada:	5,30	(m)
Ancho de carril:	2,65	(m)	Ancho de carril:	2,65	(m)
Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)
Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad real:	362,00	(veh/h)	Capacidad real:	359,00	(veh/h)
Intersección: Domingo Paz - Campero					
Característica del acceso: Domingo Paz Zona Central con estacionamiento a la derecha			Característica del acceso: Campero Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	3,00	(m)	Ancho de calzada:	5,30	(m)
Ancho de carril:	3,00	(m)	Ancho de carril:	2,65	(m)
Reducción por estacionamiento:	-	(m)	Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)
Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad real:	484,00	(veh/h)	Capacidad real:	360,00	(veh/h)

Avenida: Campero					
Intersección: Campero - 15 de Abril					
Característica del acceso: Campero Zona Central con estacionamiento a la derecha			Característica del acceso: 15 de Abril Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	5,30	(m)	Ancho de calzada:	5,30	(m)
Ancho de carril:	2,65	(m)	Ancho de carril:	2,65	(m)
Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)
Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad real:	344,00	(veh/h)	Capacidad real:	355,00	(veh/h)
Intersección: Campero - La Madrid					
Característica del acceso: Campero Zona Central con estacionamiento a la derecha			Característica del acceso: La Madrid Zona Central con estacionamiento prohibido		
Ancho de calzada:	5,30	(m)	Ancho de calzada:	3,00	(m)
Ancho de carril:	2,65	(m)	Ancho de carril:	3,00	(m)
Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por estacionamiento:	-	(m)
Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)
Capacidad real:	346,00	(veh/h)	Capacidad real:	533,00	(veh/h)
Intersección: Campero - Ingavi					
Característica del acceso: Campero Zona Central con estacionamiento a la derecha			Característica del acceso: Ingavi Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	5,30	(m)	Ancho de calzada:	5,30	(m)
Ancho de carril:	2,65	(m)	Ancho de carril:	2,65	(m)
Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)
Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad real:	361,00	(veh/h)	Capacidad real:	319,00	(veh/h)
Intersección: Campero - Bolívar					
Característica del acceso: Campero Zona Central con estacionamiento a la derecha			Característica del acceso: Bolívar Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	5,30	(m)	Ancho de calzada:	5,30	(m)
Ancho de carril:	2,65	(m)	Ancho de carril:	2,65	(m)
Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)
Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad real:	306,00	(veh/h)	Capacidad real:	349,00	(veh/h)
Intersección: Campero - Domingo Paz					
Característica del acceso: Campero Zona Central con estacionamiento a la derecha			Característica del acceso: Domingo Paz Zona Central con estacionamiento prohibido		
Ancho de calzada:	5,30	(m)	Ancho de calzada:	3,00	(m)
Ancho de carril:	2,65	(m)	Ancho de carril:	3,00	(m)
Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por estacionamiento:	-	(m)
Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)
Capacidad real:	360,00	(veh/h)	Capacidad real:	484,00	(veh/h)

Avenida: Gral. Trigo					
Intersección: Gral. Trigo - 15 de Abril					
Característica del acceso: Gral. Trigo Zona Central con estacionamiento prohibido			Característica del acceso: 15 de Abril Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	6,50	(m)	Ancho de calzada:	5,30	(m)
Ancho de carril:	2,17	(m)	Ancho de carril:	2,65	(m)
Reducción por estacionamiento:	4,70	(m)	Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)
Capacidad ideal:	1200,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad real:	871,00	(veh/h)	Capacidad real:	328,00	(veh/h)
Intersección: Gral. Trigo - La Madrid					
Característica del acceso: Gral. Trigo Zona Central con estacionamiento prohibido			Característica del acceso: La Madrid Zona Central con estacionamiento prohibido		
Ancho de calzada:	3,00	(m)	Ancho de calzada:	6,50	(m)
Ancho de carril:	3,00	(m)	Ancho de carril:	2,17	(m)
Reducción por estacionamiento:	-	(m)	Reducción por estacionamiento:	4,70	(m)
Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	1200,00	(veh/h)
Capacidad real:	519,00	(veh/h)	Capacidad real:	878,00	(veh/h)
Intersección: Gral. Trigo - Ingavi					
Característica del acceso: Gral. Trigo Zona Central con estacionamiento prohibido			Característica del acceso: Ingavi Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	3,00	(m)	Ancho de calzada:	5,30	(m)
Ancho de carril:	3,00	(m)	Ancho de carril:	2,65	(m)
Reducción por estacionamiento:	-	(m)	Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)
Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad real:	541,00	(veh/h)	Capacidad real:	355,00	(veh/h)
Intersección: Gral. Trigo - Bolívar					
Característica del acceso: Gral. Trigo Zona Central con estacionamiento a la derecha			Característica del acceso: Bolívar Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	5,30	(m)	Ancho de calzada:	5,30	(m)
Ancho de carril:	2,65	(m)	Ancho de carril:	2,65	(m)
Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)
Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad real:	361,00	(veh/h)	Capacidad real:	363,00	(veh/h)
Intersección: Gral. Trigo - Domingo Paz					
Característica del acceso: Gral. Trigo Zona Central con estacionamiento a la derecha			Característica del acceso: Domingo Paz Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	5,30	(m)	Ancho de calzada:	5,30	(m)
Ancho de carril:	2,65	(m)	Ancho de carril:	2,65	(m)
Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)
Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad real:	359,00	(veh/h)	Capacidad real:	363,00	(veh/h)

Avenida: Sucre					
Intersección: Sucre - 15 de Abril					
Característica del acceso: Sucre Zona Central con estacionamiento prohibido			Característica del acceso: 15 de Abril Zona Central con estacionamiento prohibido		
Ancho de calzada:	3,00	(m)	Ancho de calzada:	6,50	(m)
Ancho de carril:	3,00	(m)	Ancho de carril:	2,17	(m)
Reducción por estacionamiento:	-	(m)	Reducción por estacionamiento:	4,70	(m)
Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	1200,00	(veh/h)
Capacidad real:	487,00	(veh/h)	Capacidad real:	890,00	(veh/h)
Intersección: Sucre - La Madrid					
Característica del acceso: Sucre Zona Central con estacionamiento prohibido			Característica del acceso: La Madrid Zona Central con estacionamiento prohibido		
Ancho de calzada:	6,50	(m)	Ancho de calzada:	3,00	(m)
Ancho de carril:	2,17	(m)	Ancho de carril:	3,00	(m)
Reducción por estacionamiento:	4,70	(m)	Reducción por estacionamiento:	-	(m)
Capacidad ideal:	1200,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)
Capacidad real:	889,00	(veh/h)	Capacidad real:	507,00	(veh/h)
Intersección: Sucre - Ingavi					
Característica del acceso: Sucre Zona Central con estacionamiento prohibido			Característica del acceso: Ingavi Zona Central con estacionamiento prohibido		
Ancho de calzada:	3,00	(m)	Ancho de calzada:	3,00	(m)
Ancho de carril:	3,00	(m)	Ancho de carril:	3,00	(m)
Reducción por estacionamiento:	-	(m)	Reducción por estacionamiento:	-	(m)
Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)
Capacidad real:	539,00	(veh/h)	Capacidad real:	535,00	(veh/h)
Intersección: Sucre - Bolívar					
Característica del acceso: Sucre Zona Central con estacionamiento prohibido			Característica del acceso: Bolívar Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	3,00	(m)	Ancho de calzada:	5,30	(m)
Ancho de carril:	3,00	(m)	Ancho de carril:	2,65	(m)
Reducción por estacionamiento:	-	(m)	Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)
Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad real:	517,00	(veh/h)	Capacidad real:	358,00	(veh/h)
Intersección: Sucre - Domingo Paz					
Característica del acceso: Sucre Zona Central con estacionamiento a la derecha			Característica del acceso: Domingo Paz Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	5,30	(m)	Ancho de calzada:	5,30	(m)
Ancho de carril:	2,65	(m)	Ancho de carril:	2,65	(m)
Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)
Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad real:	355,00	(veh/h)	Capacidad real:	363,00	(veh/h)

Avenida: Daniel Campos					
Intersección: Daniel Campos - 15 de Abril					
Característica del acceso: Daniel Campos Zona Central con estacionamiento prohibido			Característica del acceso: 15 de Abril Zona Central con estacionamiento prohibido		
Ancho de calzada:	3,00	(m)	Ancho de calzada:	3,00	(m)
Ancho de carril:	3,00	(m)	Ancho de carril:	3,00	(m)
Reducción por estacionamiento:	-	(m)	Reducción por estacionamiento:	-	(m)
Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)
Capacidad real:	540,00	(veh/h)	Capacidad real:	517,00	(veh/h)
Intersección: Daniel Campos - La Madrid					
Característica del acceso: Daniel Campos Zona Central con estacionamiento prohibido			Característica del acceso: La Madrid Zona Central con estacionamiento prohibido		
Ancho de calzada:	3,00	(m)	Ancho de calzada:	3,00	(m)
Ancho de carril:	3,00	(m)	Ancho de carril:	3,00	(m)
Reducción por estacionamiento:	-	(m)	Reducción por estacionamiento:	-	(m)
Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)
Capacidad real:	549,00	(veh/h)	Capacidad real:	462,00	(veh/h)
Intersección: Daniel Campos - Ingavi					
Característica del acceso: Daniel Campos Zona Central con estacionamiento a ambos lados			Característica del acceso: Ingavi Zona Central con estacionamiento a ambos lados		
Ancho de calzada:	10,30	(m)	Ancho de calzada:	3,00	(m)
Ancho de carril:	2,58	(m)	Ancho de carril:	3,00	(m)
Reducción por estacionamiento:	6,70	(m)	Reducción por estacionamiento:	-	(m)
Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)
Capacidad real:	564,00	(veh/h)	Capacidad real:	528,00	(veh/h)
Intersección: Daniel Campos - Bolívar					
Característica del acceso: Daniel Campos Zona Central con estacionamiento a la derecha			Característica del acceso: Bolívar Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	5,30	(m)	Ancho de calzada:	10,30	(m)
Ancho de carril:	2,65	(m)	Ancho de carril:	2,58	(m)
Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por estacionamiento:	6,70	(m)
Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)
Capacidad real:	338,00	(veh/h)	Capacidad real:	563,00	(veh/h)
Intersección: Daniel Campos - Domingo Paz					
Característica del acceso: Daniel Campos Zona Central con estacionamiento a la derecha			Característica del acceso: Domingo Paz Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	5,30	(m)	Ancho de calzada:	5,30	(m)
Ancho de carril:	2,65	(m)	Ancho de carril:	2,65	(m)
Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)
Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad real:	370,00	(veh/h)	Capacidad real:	363,00	(veh/h)

Avenida: Colón					
Intersección: Colón - 15 de Abril					
Característica del acceso: Colón Zona Central con estacionamiento a la derecha			Característica del acceso: 15 de Abril Zona Central con estacionamiento prohibido		
Ancho de calzada:	7,80	(m)	Ancho de calzada:	3,00	(m)
Ancho de carril:	2,60	(m)	Ancho de carril:	3,00	(m)
Reducción por estacionamiento:	6,00	(m)	Reducción por estacionamiento:	-	(m)
Capacidad ideal:	700,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)
Capacidad real:	503,00	(veh/h)	Capacidad real:	522,00	(veh/h)
Intersección: Colón - La Madrid					
Característica del acceso: Colón Zona Central con estacionamiento a la derecha			Característica del acceso: La Madrid Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	5,30	(m)	Ancho de calzada:	5,30	(m)
Ancho de carril:	2,65	(m)	Ancho de carril:	2,65	(m)
Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)
Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad real:	306,00	(veh/h)	Capacidad real:	360,00	(veh/h)
Intersección: Colón - Ingavi					
Característica del acceso: Colón Zona Central con estacionamiento a la derecha			Característica del acceso: Ingavi Alrededores Zona Central con estac. a ambos lados		
Ancho de calzada:	5,30	(m)	Ancho de calzada:	10,30	(m)
Ancho de carril:	2,65	(m)	Ancho de carril:	2,58	(m)
Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por estacionamiento:	6,70	(m)
Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)
Capacidad real:	360,00	(veh/h)	Capacidad real:	553,00	(veh/h)
Intersección: Colón - Bolívar					
Característica del acceso: Colón Alrededores Zona Central con estac. a ambos lados			Característica del acceso: Bolívar Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	10,30	(m)	Ancho de calzada:	5,30	(m)
Ancho de carril:	2,58	(m)	Ancho de carril:	2,65	(m)
Reducción por estacionamiento:	6,70	(m)	Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)
Capacidad ideal:	750,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad real:	544,00	(veh/h)	Capacidad real:	325,00	(veh/h)
Intersección: Colón - Domingo Paz					
Característica del acceso: Colón Zona Central con estacionamiento a la derecha			Característica del acceso: Domingo Paz Zona Central con estacionamiento a la derecha		
Ancho de calzada:	5,30	(m)	Ancho de calzada:	5,30	(m)
Ancho de carril:	2,65	(m)	Ancho de carril:	2,65	(m)
Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)	Reducción por estacionamiento:	3,50	(m)
Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)	Capacidad ideal:	500,00	(veh/h)
Capacidad real:	367,00	(veh/h)	Capacidad real:	360,00	(veh/h)

Fuente: Elaboración

4.5.2.4. Demora en intersecciones

De acuerdo a los accesos que componen la intersección y calculada las capacidades e intensidades de circulación de las diferentes avenidas del sector de estudio, se puede calcular la demora media para cada avenida (anexo VIII):

Tabla 4.4 Resultado de las demoras en intersecciones

Avenidas	Demora media (seg)
15 de Abril	32,58
La Madrid	38,16
Ingavi	30,37
Bolívar	39,08
Domingo Paz	46,45
Campero	31,69
Gral. Trigo	26,43
Sucre	27,01
Daniel Campos	29,80
Colón	28,74

Fuente: Elaboración propia

4.5.3. Análisis de las condiciones reales para la capacidad y el nivel de servicio del sector de estudio

En función del nivel de servicio estará el número de vehículos por unidad de tiempo que puede admitir la autopista o calle (*flujo de Servicio*). Este flujo va aumentando a medida que el nivel de servicio es de menor calidad, hasta llega al nivel *E*, o capacidad del tramo de autopista o calle. Más allá de este nivel se registrarán condiciones más desfavorables (nivel *F*), pero no aumenta el flujo de servicio, sino que disminuye.

Tabla 4.5 Resultados del estudio de nivel de servicio

Avenida: 15 de Abril					
Intersección: 15 de Abril - Colón					
Acceso: 15 de Abril			Acceso: Colón		
Volumen :	386,00	(veh/h)	Volumen :	394,00	(veh/h)
Capacidad real:	522,00	(veh/h)	Capacidad real:	503,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,74	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,78	(adim)
Nivel de servicio:	E		Nivel de Servicio:	E	
Condición:	Flujo inestable		Condición:	Flujo inestable	
Intersección: 15 de Abril - Daniel Campos					
Acceso: 15 de Abril			Acceso: Daniel Campos		
Volumen :	350,00	(veh/h)	Volumen :	331,00	(veh/h)
Capacidad real:	517,00	(veh/h)	Capacidad real:	540,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,68	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,61	(adim)
Nivel de servicio:	D		Nivel de servicio:	D	
Condición:	Próximo al flujo inestable		Condición:	Próximo al flujo inestable	
Intersección: 15 de Abril - Sucre					
Acceso: 15 de Abril			Acceso: Sucre		
Volumen :	375,00	(veh/h)	Volumen :	385,00	(veh/h)
Capacidad real:	890,00	(veh/h)	Capacidad real:	487,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,42	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,79	(adim)
Nivel de servicio:	D		Nivel de servicio:	E	
Condición:	Próximo al flujo inestable		Condición:	Flujo inestable	
Intersección: 15 de Abril - Gral. Trigo					
Acceso: 15 de Abril			Acceso: Gral. Trigo		
Volumen :	303,00	(veh/h)	Volumen :	422,00	(veh/h)
Capacidad real:	328,00	(veh/h)	Capacidad real:	871,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,92	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,48	(adim)
Nivel de servicio:	E		Nivel de servicio:	D	
Condición:	Flujo inestable		Condición:	Próximo al flujo inestable	
Intersección: 15 de Abril - Campero					
Acceso: 15 de Abril			Acceso: Campero		
Volumen :	395,00	(veh/h)	Volumen :	348,00	(veh/h)
Capacidad real:	348,00	(veh/h)	Capacidad real:	345,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	1,13	(adim)	Factor de carga (V/C) :	1,01	(adim)
Nivel de servicio:	F		Nivel de servicio:	F	
Condición:	Flujo forzado		Condición:	Flujo forzado	

Avenida: La Madrid					
Intersección: La Madrid - Colón					
Acceso: La Madrid			Acceso: Colón		
Volumen :	353,00	(veh/h)	Volumen :	421,00	(veh/h)
Capacidad real:	360,00	(veh/h)	Capacidad real:	308,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,98	(adim)	Factor de carga (V/C) :	1,37	(adim)
Nivel de servicio:	E		Nivel de servicio:	F	
Condición:	Flujo inestable		Condición:	Flujo forzado	
Intersección: La Madrid - Daniel Campos					
Acceso: La Madrid			Acceso: Daniel Campos		
Volumen :	335,00	(veh/h)	Volumen :	383,00	(veh/h)
Capacidad real:	454,00	(veh/h)	Capacidad real:	550,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,74	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,70	(adim)
Nivel de servicio:	E		Nivel de servicio:	D	
Condición:	Flujo inestable		Condición:	Próximo al flujo inestable	
Intersección: La Madrid - Sucre					
Acceso: La Madrid			Acceso: Sucre		
Volumen :	382,00	(veh/h)	Volumen :	295,00	(veh/h)
Capacidad real:	507,00	(veh/h)	Capacidad real:	889,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,75	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,33	(adim)
Nivel de servicio:	E		Nivel de servicio:	D	
Condición:	Flujo inestable		Condición:	Próximo al flujo inestable	
Intersección: La Madrid - Gral. Trigo					
Acceso: La Madrid			Acceso: Gral. Trigo		
Volumen :	363,00	(veh/h)	Volumen :	421,00	(veh/h)
Capacidad real:	877,00	(veh/h)	Capacidad real:	519,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,41	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,81	(adim)
Nivel de servicio:	D		Nivel de servicio:	E	
Condición:	Próximo al flujo inestable		Condición:	Flujo inestable	
Intersección: La Madrid - Campero					
Acceso: La Madrid			Acceso: Campero		
Volumen :	356,00	(veh/h)	Volumen :	345,00	(veh/h)
Capacidad real:	533,00	(veh/h)	Capacidad real:	347,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,67	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,99	(adim)
Nivel de servicio:	D		Nivel de servicio:	E	
Condición:	Próximo al flujo inestable		Condición:	Flujo inestable	

Avenida: Ingavi					
Intersección: Ingavi - Colón					
Acceso: Ingavi			Acceso: Colón		
Volumen :	349,00	(veh/h)	Volumen :	401,00	(veh/h)
Capacidad real:	553,00	(veh/h)	Capacidad real:	361,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,63	(adim)	Factor de carga (V/C) :	1,11	(adim)
Nivel de servicio:	D		Nivel de servicio:	F	
Condición:	Próximo al flujo inestable		Condición:	Flujo forzado	
Intersección: Ingavi - Daniel Campos					
Acceso: Ingavi			Acceso: Daniel Campos		
Volumen :	363,00	(veh/h)	Volumen :	418,00	(veh/h)
Capacidad real:	528,00	(veh/h)	Capacidad real:	564,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,69	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,74	(adim)
Nivel de servicio:	D		Nivel de servicio:	E	
Condición:	Próximo al flujo inestable		Condición:	Flujo inestable	
Intersección: Ingavi - Sucre					
Acceso: Ingavi			Acceso: Sucre		
Volumen :	331,00	(veh/h)	Volumen :	295,00	(veh/h)
Capacidad real:	535,00	(veh/h)	Capacidad real:	539,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,62	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,55	(adim)
Nivel de servicio:	D		Nivel de servicio:	D	
Condición:	Próximo al flujo inestable		Condición:	Próximo al flujo inestable	
Intersección: Ingavi - Gral. Trigo					
Acceso: Ingavi			Acceso: Gral. Trigo		
Volumen :	363,00	(veh/h)	Volumen :	421,00	(veh/h)
Capacidad real:	355,00	(veh/h)	Capacidad real:	533,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	1,02	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,79	(adim)
Nivel de servicio:	F		Nivel de servicio:	E	
Condición:	Flujo forzado		Condición:	Flujo inestable	
Intersección: Ingavi - Campero					
Acceso: Ingavi			Acceso: Campero		
Volumen :	349,00	(veh/h)	Volumen :	384,00	(veh/h)
Capacidad real:	312,00	(veh/h)	Capacidad real:	363,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	1,12	(adim)	Factor de carga (V/C) :	1,06	(adim)
Nivel de servicio:	F		Nivel de servicio:	F	
Condición:	Flujo forzado		Condición:	Flujo forzado	

Avenida: Bolívar					
Intersección: Bolívar - Colón					
Acceso: Bolívar			Acceso: Colón		
Volumen :	335,00	(veh/h)	Volumen :	477,00	(veh/h)
Capacidad real:	329,00	(veh/h)	Capacidad real:	527,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	1,02	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,91	(adim)
Nivel de servicio:	F		Nivel de servicio:	E	
Condición:	Flujo forzado		Condición:	Flujo inestable	
Intersección: Bolívar - Daniel Campos					
Acceso: Bolívar			Acceso: Daniel Campos		
Volumen :	380,00	(veh/h)	Volumen :	382,00	(veh/h)
Capacidad real:	564,00	(veh/h)	Capacidad real:	331,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,67	(adim)	Factor de carga (V/C) :	1,15	(adim)
Nivel de servicio:	D		Nivel de servicio:	F	
Condición:	Próximo al flujo inestable		Condición:	Flujo forzado	
Intersección: Bolívar - Sucre					
Acceso: Bolívar			Acceso: Sucre		
Volumen :	326,00	(veh/h)	Volumen :	308,00	(veh/h)
Capacidad real:	348,00	(veh/h)	Capacidad real:	542,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,94	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,57	(adim)
Nivel de servicio:	E		Nivel de servicio:	D	
Condición:	Flujo inestable		Condición:	Próximo al flujo inestable	
Intersección: Bolívar - Gral. Trigo					
Acceso: Bolívar			Acceso: Gral. Trigo		
Volumen :	339,00	(veh/h)	Volumen :	433,00	(veh/h)
Capacidad real:	360,00	(veh/h)	Capacidad real:	361,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,94	(adim)	Factor de carga (V/C) :	1,20	(adim)
Nivel de servicio:	E		Nivel de servicio:	F	
Condición:	Flujo inestable		Condición:	Flujo forzado	
Intersección: Bolívar - Campero					
Acceso: Bolívar			Acceso: Campero		
Volumen :	356,00	(veh/h)	Volumen :	386,00	(veh/h)
Capacidad real:	346,00	(veh/h)	Capacidad real:	311,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	1,03	(adim)	Factor de carga (V/C) :	1,24	(adim)
Nivel de servicio:	F		Nivel de servicio:	F	
Condición:	Flujo forzado		Condición:	Flujo forzado	

Avenida: Domingo Paz					
Intersección: Domingo Paz - Colón					
Acceso: Domingo Paz			Acceso: Colón		
Volumen :	318,00	(veh/h)	Volumen :	422,00	(veh/h)
Capacidad real:	360,00	(veh/h)	Capacidad real:	367,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,88	(adim)	Factor de carga (V/C) :	1,15	(adim)
Nivel de servicio:	E		Nivel de servicio:	F	
Condición:	Flujo inestable		Condición:	Flujo forzado	
Intersección: Domingo Paz - Daniel Campos					
Acceso: Domingo Paz			Acceso: Daniel Campos		
Volumen :	298,00	(veh/h)	Volumen :	365,00	(veh/h)
Capacidad real:	363,00	(veh/h)	Capacidad real:	366,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,82	(adim)	Factor de carga (V/C) :	1,00	(adim)
Nivel de servicio:	E		Nivel de servicio:	E	
Condición:	Flujo inestable		Condición:	Flujo inestable	
Intersección: Domingo Paz - Sucre					
Acceso: Domingo Paz			Acceso: Sucre		
Volumen :	308,00	(veh/h)	Volumen :	282,00	(veh/h)
Capacidad real:	367,00	(veh/h)	Capacidad real:	359,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,84	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,79	(adim)
Nivel de servicio:	E		Nivel de servicio:	E	
Condición:	Flujo inestable		Condición:	Flujo inestable	
Intersección: Domingo Paz - Gral. Trigo					
Acceso: Domingo Paz			Acceso: Gral. Trigo		
Volumen :	330,00	(veh/h)	Volumen :	403,00	(veh/h)
Capacidad real:	362,00	(veh/h)	Capacidad real:	359,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,91	(adim)	Factor de carga (V/C) :	1,12	(adim)
Nivel de servicio:	E		Nivel de servicio:	F	
Condición:	Flujo inestable		Condición:	Flujo forzado	
Intersección: Domingo Paz - Campero					
Acceso: Domingo Paz			Acceso: Campero		
Volumen :	342,00	(veh/h)	Volumen :	359,00	(veh/h)
Capacidad real:	484,00	(veh/h)	Capacidad real:	360,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,71	(adim)	Factor de carga (V/C) :	1,00	(adim)
Nivel de servicio:	E		Nivel de servicio:	E	
Condición:	Flujo inestable		Condición:	Flujo inestable	

Avenida: Campero					
Intersección: Campero - 15 de Abril					
Acceso: Campero			Acceso: 15 de Abril		
Volumen :	311,00	(veh/h)	Volumen :	319,00	(veh/h)
Capacidad real:	344,00	(veh/h)	Capacidad real:	355,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,90	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,90	(adim)
Nivel de servicio:	E		Nivel de servicio:	E	
Condición:	Flujo inestable		Condición:	Flujo inestable	
Intersección: Campero - La Madrid					
Acceso: Campero			Acceso: La Madrid		
Volumen :	346,00	(veh/h)	Volumen :	361,00	(veh/h)
Capacidad real:	346,00	(veh/h)	Capacidad real:	533,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	1,00	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,68	(adim)
Nivel de servicio:	E		Nivel de servicio:	D	
Condición:	Flujo inestable		Condición:	Próximo al flujo inestable	
Intersección: Campero - Ingavi					
Acceso: Campero			Acceso: Ingavi		
Volumen :	365,00	(veh/h)	Volumen :	367,00	(veh/h)
Capacidad real:	361,00	(veh/h)	Capacidad real:	319,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	1,01	(adim)	Factor de carga (V/C) :	1,15	(adim)
Nivel de servicio:	F		Nivel de servicio:	F	
Condición:	Flujo forzado		Condición:	Flujo forzado	
Intersección: Campero - Bolívar					
Acceso: Campero			Acceso: Bolívar		
Volumen :	399,00	(veh/h)	Volumen :	425,00	(veh/h)
Capacidad real:	306,00	(veh/h)	Capacidad real:	349,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	1,31	(adim)	Factor de carga (V/C) :	1,22	(adim)
Nivel de servicio:	F		Nivel de servicio:	F	
Condición:	Flujo forzado		Condición:	Flujo forzado	
Intersección: Campero - Domingo Paz					
Acceso: Campero			Acceso: Domingo Paz		
Volumen :	359,00	(veh/h)	Volumen :	342,00	(veh/h)
Capacidad real:	360,00	(veh/h)	Capacidad real:	484,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	1,00	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,71	(adim)
Nivel de servicio:	E		Nivel de servicio:	E	
Condición:	Flujo inestable		Condición:	Flujo inestable	

Avenida: Gral. Trigo					
Intersección: Gral. Trigo - 15 de Abril					
Acceso: Gral. Trigo			Acceso: 15 de Abril		
Volumen :	422,00	(veh/h)	Volumen :	303,00	(veh/h)
Capacidad real:	871,00	(veh/h)	Capacidad real:	328,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,48	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,92	(adim)
Nivel de servicio:	D		Nivel de servicio:	E	
Condición:	Próximo al flujo inestable		Condición:	Flujo inestable	
Intersección: Gral. Trigo - La Madrid					
Acceso: Gral. Trigo			Acceso: La Madrid		
Volumen :	421,00	(veh/h)	Volumen :	427,00	(veh/h)
Capacidad real:	519,00	(veh/h)	Capacidad real:	878,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,81	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,49	(adim)
Nivel de servicio:	E		Nivel de servicio:	D	
Condición:	Flujo inestable		Condición:	Próximo al flujo inestable	
Intersección: Gral. Trigo - Ingavi					
Acceso: Gral. Trigo			Acceso: Ingavi		
Volumen :	406,00	(veh/h)	Volumen :	356,00	(veh/h)
Capacidad real:	541,00	(veh/h)	Capacidad real:	355,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,75	(adim)	Factor de carga (V/C) :	1,00	(adim)
Nivel de servicio:	E		Nivel de servicio:	E	
Condición:	Flujo inestable		Condición:	Flujo inestable	
Intersección: Gral. Trigo - Bolívar					
Acceso: Gral. Trigo			Acceso: Bolívar		
Volumen :	415,00	(veh/h)	Volumen :	386,00	(veh/h)
Capacidad real:	361,00	(veh/h)	Capacidad real:	363,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	1,15	(adim)	Factor de carga (V/C) :	1,06	(adim)
Nivel de servicio:	F		Nivel de servicio:	F	
Condición:	Flujo forzado		Condición:	Flujo forzado	
Intersección: Gral. Trigo - Domingo Paz					
Acceso: Gral. Trigo			Acceso: Domingo Paz		
Volumen :	415,00	(veh/h)	Volumen :	338,00	(veh/h)
Capacidad real:	359,00	(veh/h)	Capacidad real:	363,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	1,15	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,93	(adim)
Nivel de servicio:	F		Nivel de servicio:	E	
Condición:	Flujo forzado		Condición:	Flujo inestable	

Avenida: Sucre					
Intersección: Sucre - 15 de Abril					
Acceso: Sucre			Acceso: 15 de Abril		
Volumen :	385,00	(veh/h)	Volumen :	375,00	(veh/h)
Capacidad real:	487,00	(veh/h)	Capacidad real:	890,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,79	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,42	(adim)
Nivel de servicio:	E		Nivel de servicio:	D	
Condición:	Flujo inestable		Condición:	Próximo al flujo inestable	
Intersección: Sucre - La Madrid					
Acceso: Sucre			Acceso: La Madrid		
Volumen :	377,00	(veh/h)	Volumen :	422,00	(veh/h)
Capacidad real:	889,00	(veh/h)	Capacidad real:	507,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,42	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,83	(adim)
Nivel de servicio:	D		Nivel de servicio:	E	
Condición:	Próximo al flujo inestable		Condición:	Flujo inestable	
Intersección: Sucre - Ingavi					
Acceso: Sucre			Acceso: Ingavi		
Volumen :	295,00	(veh/h)	Volumen :	332,00	(veh/h)
Capacidad real:	539,00	(veh/h)	Capacidad real:	535,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,55	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,62	(adim)
Nivel de servicio:	D		Nivel de servicio:	D	
Condición:	Próximo al flujo inestable		Condición:	Próximo al flujo inestable	
Intersección: Sucre - Bolívar					
Acceso: Sucre			Acceso: Bolívar		
Volumen :	409,00	(veh/h)	Volumen :	375,00	(veh/h)
Capacidad real:	517,00	(veh/h)	Capacidad real:	358,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,79	(adim)	Factor de carga (V/C) :	1,05	(adim)
Nivel de servicio:	E		Nivel de servicio:	F	
Condición:	Flujo inestable		Condición:	Flujo forzado	
Intersección: Sucre - Domingo Paz					
Acceso: Sucre			Acceso: Domingo Paz		
Volumen :	415,00	(veh/h)	Volumen :	310,00	(veh/h)
Capacidad real:	355,00	(veh/h)	Capacidad real:	363,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	1,17	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,85	(adim)
Nivel de servicio:	F		Nivel de servicio:	E	
Condición:	Flujo forzado		Condición:	Flujo inestable	

Avenida: Daniel Campos				
Intersección: Daniel Campos - 15 de Abril				
Acceso: Daniel Campos			Acceso: 15 de Abril	
Volumen :	331,00	(veh/h)	Volumen :	350,00 (veh/h)
Capacidad real:	540,00	(veh/h)	Capacidad real:	517,00 (veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,61	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,68 (adim)
Nivel de servicio:	D		Nivel de servicio:	D
Condición:	Próximo al flujo inestable		Condición:	Próximo al flujo inestable
Intersección: Daniel Campos - La Madrid				
Acceso: Daniel Campos			Acceso: La Madrid	
Volumen :	355,00	(veh/h)	Volumen :	344,00 (veh/h)
Capacidad real:	549,00	(veh/h)	Capacidad real:	462,00 (veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,65	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,74 (adim)
Nivel de servicio:	D		Nivel de servicio:	E
Condición:	Próximo al flujo inestable		Condición:	Flujo inestable
Intersección: Daniel Campos - Ingavi				
Acceso: Daniel Campos			Acceso: Ingavi	
Volumen :	418,00	(veh/h)	Volumen :	363,00 (veh/h)
Capacidad real:	564,00	(veh/h)	Capacidad real:	528,00 (veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,74	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,69 (adim)
Nivel de servicio:	E		Nivel de servicio:	D
Condición:	Flujo inestable		Condición:	Próximo al flujo inestable
Intersección: Daniel Campos - Bolívar				
Acceso: Daniel Campos			Acceso: Bolívar	
Volumen :	425,00	(veh/h)	Volumen :	365,00 (veh/h)
Capacidad real:	338,00	(veh/h)	Capacidad real:	563,00 (veh/h)
Factor de carga (V/C) :	1,26	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,65 (adim)
Nivel de servicio:	F		Nivel de servicio:	D
Condición:	Flujo forzado		Condición:	Próximo al flujo inestable
Intersección: Daniel Campos - Domingo Paz				
Acceso: Daniel Campos			Acceso: Domingo Paz	
Volumen :	416,00	(veh/h)	Volumen :	306,00 (veh/h)
Capacidad real:	370,00	(veh/h)	Capacidad real:	363,00 (veh/h)
Factor de carga (V/C) :	1,13	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,84 (adim)
Nivel de servicio:	F		Nivel de servicio:	E
Condición:	Flujo forzado		Condición:	Flujo inestable

Avenida: Colón					
Intersección: Colón - 15 de Abril					
Acceso: Colón			Acceso: 15 de Abril		
Volumen :	394,00	(veh/h)	Volumen :	386,00	(veh/h)
Capacidad real:	503,00	(veh/h)	Capacidad real:	522,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,78	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,74	(adim)
Nivel de servicio:	E		Nivel de servicio:	E	
Condición:	Flujo inestable		Condición:	Flujo inestable	
Intersección: Colón - La Madrid					
Acceso: Colón			Acceso: La Madrid		
Volumen :	411,00	(veh/h)	Volumen :	337,00	(veh/h)
Capacidad real:	306,00	(veh/h)	Capacidad real:	360,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	1,34	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,94	(adim)
Nivel de servicio:	F		Nivel de servicio:	E	
Condición:	Flujo forzado		Condición:	Flujo inestable	
Intersección: Colón - Ingavi					
Acceso: Colón			Acceso: Ingavi		
Volumen :	396,00	(veh/h)	Volumen :	352,00	(veh/h)
Capacidad real:	360,00	(veh/h)	Capacidad real:	553,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	1,10	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,64	(adim)
Nivel de servicio:	F		Nivel de servicio:	D	
Condición:	Flujo forzado		Condición:	Próximo al flujo inestable	
Intersección: Colón - Bolívar					
Acceso: Colón			Acceso: Bolívar		
Volumen :	464,00	(veh/h)	Volumen :	390,00	(veh/h)
Capacidad real:	544,00	(veh/h)	Capacidad real:	325,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	0,85	(adim)	Factor de carga (V/C) :	1,20	(adim)
Nivel de servicio:	E		Nivel de servicio:	F	
Condición:	Flujo inestable		Condición:	Flujo forzado	
Intersección: Colón - Domingo Paz					
Acceso: Colón			Acceso: Domingo Paz		
Volumen :	412,00	(veh/h)	Volumen :	323,00	(veh/h)
Capacidad real:	367,00	(veh/h)	Capacidad real:	360,00	(veh/h)
Factor de carga (V/C) :	1,12	(adim)	Factor de carga (V/C) :	0,90	(adim)
Nivel de servicio:	F		Nivel de servicio:	E	
Condición:	Flujo forzado		Condición:	Flujo inestable	

Fuente: Elaboración propia

La capacidad de una infraestructura vial es tan variable como pueden serlo las variables físicas del mismo, o las condiciones del tránsito. Por esta razón los análisis de capacidad se realizan aislando las diversas partes del sistema vial, 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. Se trata pues, de buscar en cada una de estas partes, condiciones uniformes, por lo tanto, segmentos con condiciones prevalecientes diferentes, tendrán capacidades diferentes.

4.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El sistema vial analizado es de circulación discontinua, es decir, que tiene elementos externos al flujo de tránsito (señales de alto, semáforos) que producen interrupciones.

Las estimaciones de densidad y velocidades de recorrido representan las condiciones medias de nuestro medio (zona central). Las velocidades medias de recorrido son basadas en una circulación compuesta por vehículos ligeros mayormente.

El estudio de la capacidad en el sector de estudio (zona central) permitió evaluar la suficiencia y la calidad de servicio ofrecido por el sistema a los usuarios. Con el estudio de la capacidad se estimó el máximo número de vehículos que la vía puede acomodar con razonable seguridad mientras se mantenga el nivel de servicio determinado.

De acuerdo al nivel de servicio que ofrecen las avenidas de todo el sector en estudio, podemos mencionar que en su mayoría llegan a un nivel de servicio tipo “E” (flujo inestable), donde el factor de carga varía de 0.70 a 1.00; lo que significa que el volumen de tráfico por hora aproximadamente alcanza la capacidad real por hora de las vías.

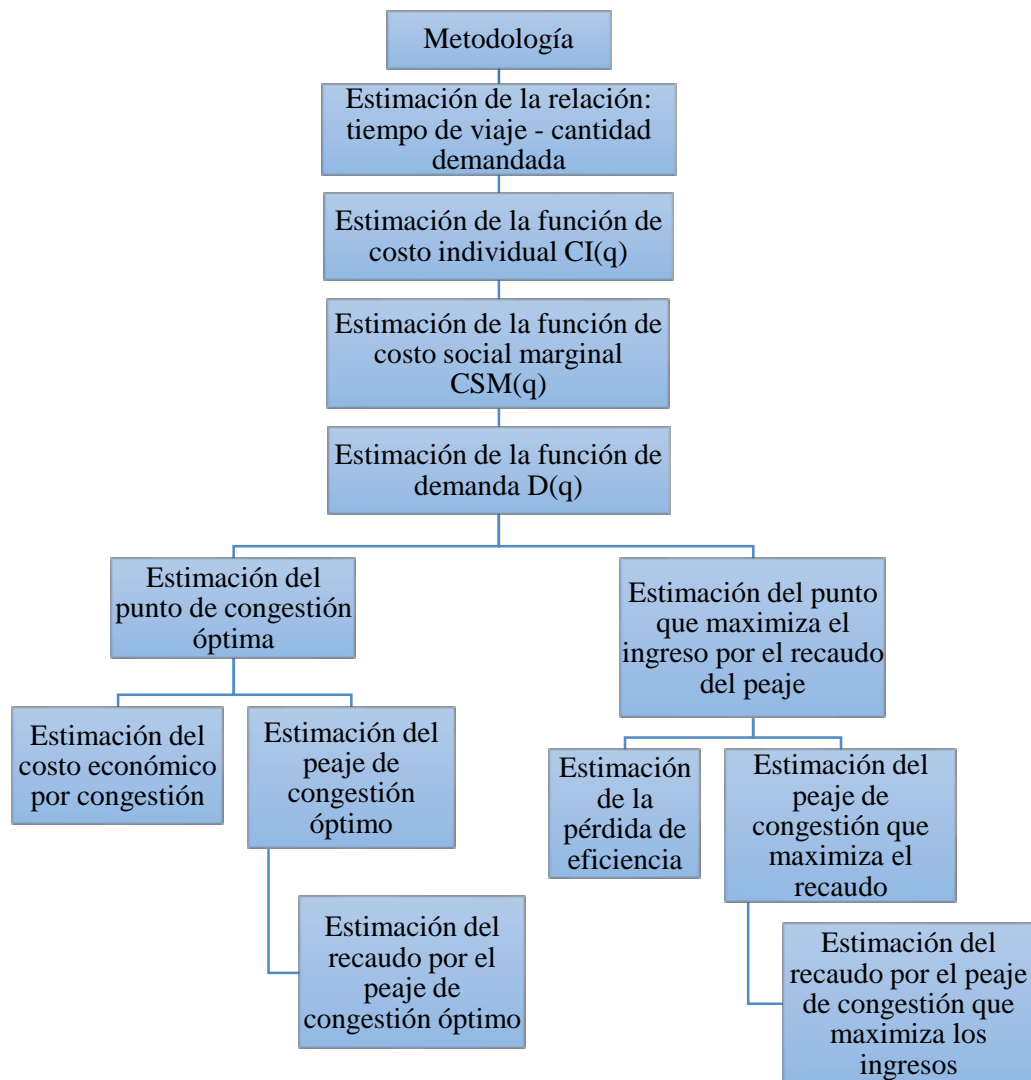
Según el nivel de servicio de toda el área en estudio, la maniobrabilidad para el conductor dentro de la corriente circulatoria en horas pico no es buena, ya que el flujo es inestable, donde el conductor tiene que operar a bajas velocidades y adaptarse a las características de la vía y de circulación por lo que su comportamiento, sus condiciones físicas, psíquicas, su conocimiento y estado de ánimo tiene que ser óptimo para que el conductor llegue a tomar las mejores decisiones en los momentos precisos.

En algunas intersecciones de la zona de estudio (Campero – Bolívar, Colón – Bolívar) y algunas avenidas como Bolívar y Colón tienen mucha confluencia vehicular en horas pico, ya que tanto vehículos particulares y en su mayor caso vehículos públicos (microbuses y taxis) tienden a circular mucho por estas avenidas.

4.7. TRANSFERENCIA DE BENEFICIOS A TRANSPORTE PÚBLICO Y MODOS NO MOTORIZADOS

4.7.1. Metodología

Figura 4.5 Metodología del análisis del cobro por congestión



Fuente: Cobro de congestión en ciudades Colombianas (Univ. College London – Univ. De los Andes)

4.7.2. Zona de análisis (parte variable)

Para el caso de la ciudad de Tarija se realizará el análisis de la situación de congestión actual, en la red de transporte público y privado de la zona urbana Central de la ciudad. La zona de estudio está comprendida entre la Av. Domingo Paz, Av. Campero, Av. 15 de Abril y la Av. Colón (figura 4.4), con un área total de 0.126 km². En esta área se concentran los principales centros y entidades financieras y públicas de la ciudad, lo que hace que sea un destino muy atractivo por parte del sector económico de la ciudad.

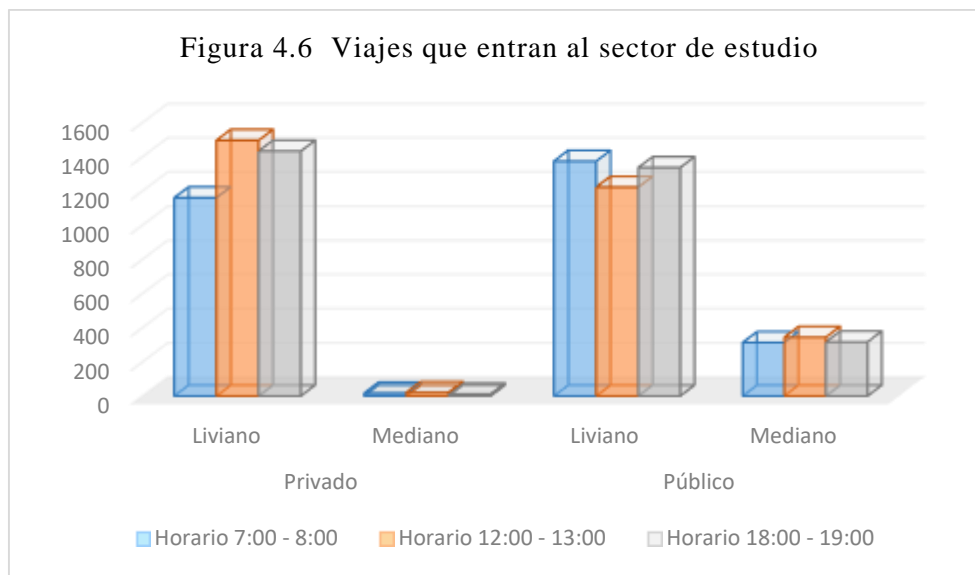
Como se mencionó anteriormente, el análisis de congestión presentado en este documento se realiza para la situación actual, es decir, con la restricción vehicular considerando la implementación de un peaje por Congestión en horarios pico.

A partir de los datos obtenidos del aforo de volúmenes, se puede determinar el comportamiento de los viajes que llegan y salen de la zona de estudio. En la tabla 4.6 y figura 4.6 se puede observar el comportamiento de los viajes que ingresan a la zona en modo motorizado (taxi, automóvil y microbús), observando que en horas del mediodía y la tarde el volumen vehicular se intensifica (vehículo privado), coincidiendo con la hora pico de la ciudad, lo cual indica que esta zona es el destino de una gran proporción de viajes en Tarija a la hora de culminar las actividades diarias. Para esta zona se registra el ingreso de aproximadamente 9 045 viajes en horas picos.

Tabla 4.6 Viajes que entran al sector de estudio

Vehículo		Horario		
		7:00 - 8:00	12:00 - 13:00	18:00 - 19:00
Privado	Liviano	1160	1496	1433
	Mediano	17	21	12
Público	Liviano	1374	1222	1337
	Mediano	313	324	316

Fuente: Elaboración propia



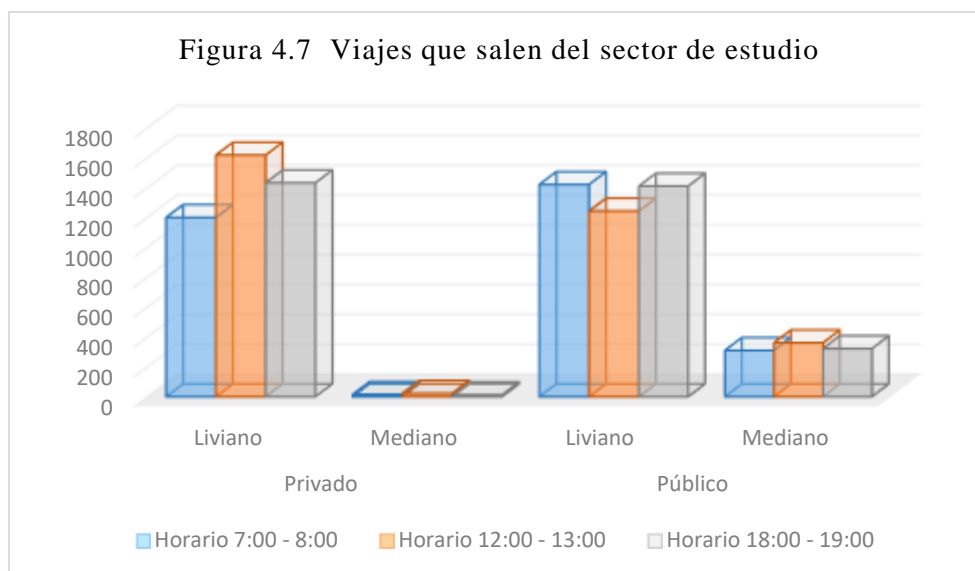
Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.7, se observa el comportamiento de los viajes que salen de la zona (taxi, vehículo privado tipo automóvil, microbús) en donde hay un pico evidente hacia las horas del mediodía y de la tarde, donde probablemente coincide con la finalización de la jornada laboral de los usuarios. Cabe resaltar que la zona de estudio concentra población de alto estrato socioeconómico lo que indica que hay una alta tasa de motorización por lo tanto traduce el gran número de viajes que salen de la zona (9367 viajes).

Tabla 4.7 Viajes que salen del sector de estudio

Vehículo		Horario		
		7:00 - 8:00	12:00 - 13:00	18:00 - 19:00
Privado	Liviano	1200	1618	1432
	Mediano	15	23	12
Público	Liviano	1421	1243	1410
	Mediano	310	361	322

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Tablas 4.8 Comportamiento detallado de las avenidas del sector de estudio

AVENIDAS	Público						Privado						Total de viajes
	Liviano			Mediano			Liviano			Mediano			
	Horarios (viajes que entran al sector de estudio)												
	07:00 - 08:00	12:00 - 13:00	18:00 - 19:00	07:00 - 08:00	12:00 - 13:00	18:00 - 19:00	07:00 - 08:00	12:00 - 13:00	18:00 - 19:00	07:00 - 08:00	12:00 - 13:00	18:00 - 19:00	
15 de Abril	130	155	122	30	23	31	172	175	159	2	1	1	1001
La Madrid	166	133	140	43	36	66	83	130	137	2	0	0	936
Ingavi	149	104	100	12	27	12	122	155	139	1	2	2	825
Bolívar	92	96	94	55	80	51	76	87	114	1	3	0	749
D. Paz	92	89	88	72	89	70	95	107	102	2	1	2	809
Campero	211	81	102	33	16	18	181	113	132	1	3	1	892
Gral. Trigo	197	133	186	0	0	0	180	185	148	0	2	1	1032
Sucre	133	150	167	0	0	0	84	173	88	2	7	3	807
D. Campos	120	178	197	36	45	33	88	163	166	3	0	0	1029
Colón	84	103	141	32	28	35	79	208	248	3	2	2	965

AVENIDAS	Público						Privado						Total de viajes
	Liviano		Mediano		Liviano		Mediano		Liviano		Mediano		
	Horarios (viajes que salen del sector de estudio)												
	07:00 - 08:00	12:00 - 13:00	18:00 - 19:00	07:00 - 08:00	12:00 - 13:00	18:00 - 19:00	07:00 - 08:00	12:00 - 13:00	18:00 - 19:00	07:00 - 08:00	12:00 - 13:00	18:00 - 19:00	
15 de Abril	132	108	128	22	23	18	139	217	182	2	1	0	972
La Madrid	173	147	158	0	0	0	159	219	200	2	3	1	1062
Ingavi	193	137	150	35	41	39	163	202	168	2	3	1	1134
Bolívar	120	108	134	113	130	109	111	112	133	3	2	3	1078
D. Paz	121	124	109	79	99	85	113	106	107	1	2	1	947
Campero	117	121	111	85	97	93	83	139	110	1	2	2	961
Gral. Trigo	263	180	188	0	0	0	248	248	232	1	4	1	1365
Sucre	233	211	213	0	0	0	178	197	201	0	2	0	1235
D. Campos	119	139	177	32	46	37	81	114	134	3	1	3	886
Colón	187	139	225	22	15	20	94	203	159	1	3	1	1069

Fuente: Elaboración propia

Estos cuadros estadísticos muestran los resultados de la situación actual de la ciudad (sector de estudio), donde actuará la medida con la restricción vehicular y se pretende demostrar con el ejercicio las implicaciones y resultados del objetivo general del estudio (**internalización de costos que genera la congestión**).

4.7.3. Síntesis de los resultados para el óptimo social y la maximización de ingresos del cobro por congestión

Se realizó el cálculo específico para el sector y cada objetivo, es decir, se determinó el recaudo que se obtendría en el sector para el caso que un esquema de cobro se implemente para lograr un óptimo social y para el caso en el que se busque maximizar los ingresos (anexo XIV).

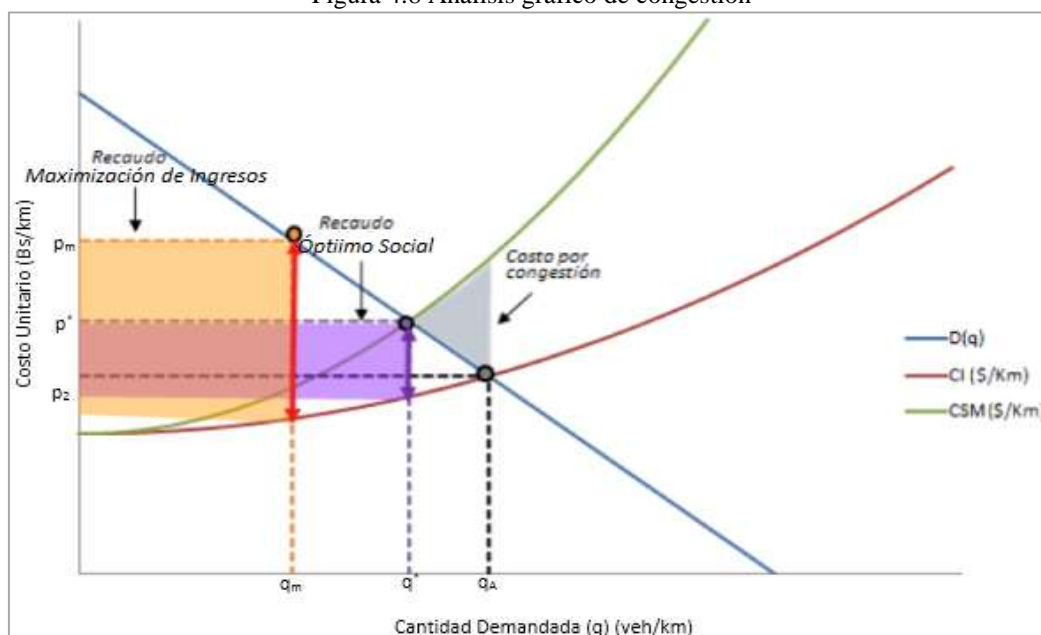
En lo que respecta al objetivo general (**óptimo social y maximización de ingresos**), la búsqueda de un óptimo social resulta en un menor recaudo que la búsqueda de una maximización de ingresos, sin embargo, vale la pena recordar que este último incurre en una pérdida de eficiencia que paga la sociedad.

Es de mencionar que se debe tener cuidado con la estimación de la curva de demanda a la hora de estimar el recaudo de un esquema de cobro por congestión, pues un error en la estimación de la curva de demanda puede verse reflejado en un recaudo sobreestimado o subestimado, que podría afectar el estudio de la viabilidad financiera del proyecto.

En la figura 4.8 se presenta un análisis gráfico de la congestión representado por las curvas $D_{(q)}$, $CI_{(q)}$ y $CSM_{(q)}$. En la misma, se puede observar el costo que genera la situación actual de congestión a la sociedad, ilustrada por el área gris demarcada. Así mismo, se representan gráficamente los requerimientos y resultados para lograr una situación de congestión óptima para la cual los usuarios de las vías internalicen el costo que generan a la sociedad, es decir, para lograr el **óptimo social**. El peaje que debe cobrarse para alcanzar el óptimo Social se muestra por medio de la flecha morada, y así mismo se ilustra el recaudo que generaría este cobro el cual se representa por el área morada. Por último, en el caso de buscar una **maximización de los ingresos** por el cobro de congestión, se ilustra en el gráfico el peaje que se debería cobrar por medio de la flecha roja y el recaudo que se lograría con este objetivo representado por el área amarilla.

Considerando el análisis gráfico de congestión y el análisis de la curva de demanda mostrada en capítulos previos, se puede observar que la variación en la curva de demanda afecta todos los resultados del esquema de cobro por congestión evaluado. Teniendo ésto en consideración, se presenta a continuación en la tabla 4.9 la síntesis de los resultados para el sector de estudio

Figura 4.8 Análisis gráfico de congestión



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.9 Esquema de cobro por congestión

		Peaje (bs)	Costo por congestión (bs/día)	Pérdida de eficiencia (bs/día)	Beneficio neto (costo por congestión) (bs/día)	Reducción vehicular (ΔQ) (%)	Velocidad promedio (km/hr)	Recaudo diario (bs/día)	Recaudo anual (bs/día)
Sector de estudio	Situación actual	-	65,53	-	-	-	21,44	-	-
	Óptimo social	2,50	-	-	65,53	-24,40	26,68	69,54	16690,5
	Maximización de ingresos	6,00	-	146,54	65,53	-58,57	34,00	162,44	38986,6

Fuente: Elaboración propia

4.8. RESULTADOS PARA LA TRANSFERENCIA DE BENEFICIOS A TRANSPORTE PÚBLICO Y MODOS NO MOTORIZADOS

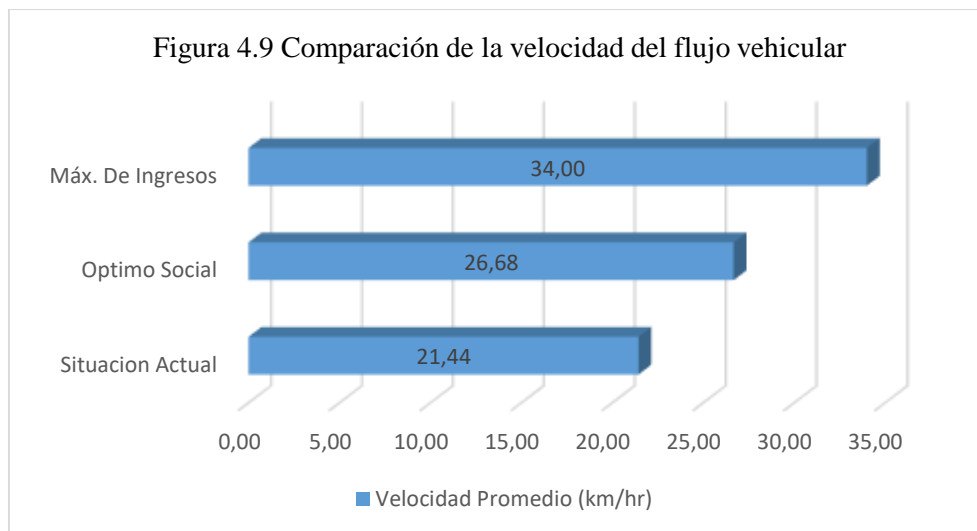
Para la **internalización de costos** en el caso de la demanda óptima q^* , es posible plantear una serie de intervenciones a la infraestructura de la zona que permitan hacer

que la velocidad de flujo se mantenga aproximadamente igual a la de la situación sin cobro, con el objetivo de quitarle el espacio ganado a los vehículos particulares y otorgárselo a los modos no motorizados o al transporte público (microbuses). Estas intervenciones deben ser las que generen un beneficio a los usuarios de modos alternativos, igual o mayor al que traería la implementación del cobro óptimo por congestión a los usuarios del vehículo privado.

Estas medidas promueven el cambio modal y mejoran el espacio público. Asimismo, permitiría mejorar las condiciones de red para reducir el riesgo de accidente en la zona intervenida, considerando la reducción del volumen vehicular y manteniendo la velocidad del flujo.

4.9. Análisis de resultados del estudio en Tarija

Según el objetivo que busca un esquema de cobro por congestión, las implicaciones en la ciudad, su movilidad y la sociedad varían considerablemente. Para el caso en el que se quiera **maximizar el recaudo por el peaje**, se reduciría la demanda de manera importante en la zona de análisis y por consiguiente se lograría un aumento considerable en la velocidad promedio de la zona (figura 4.9).



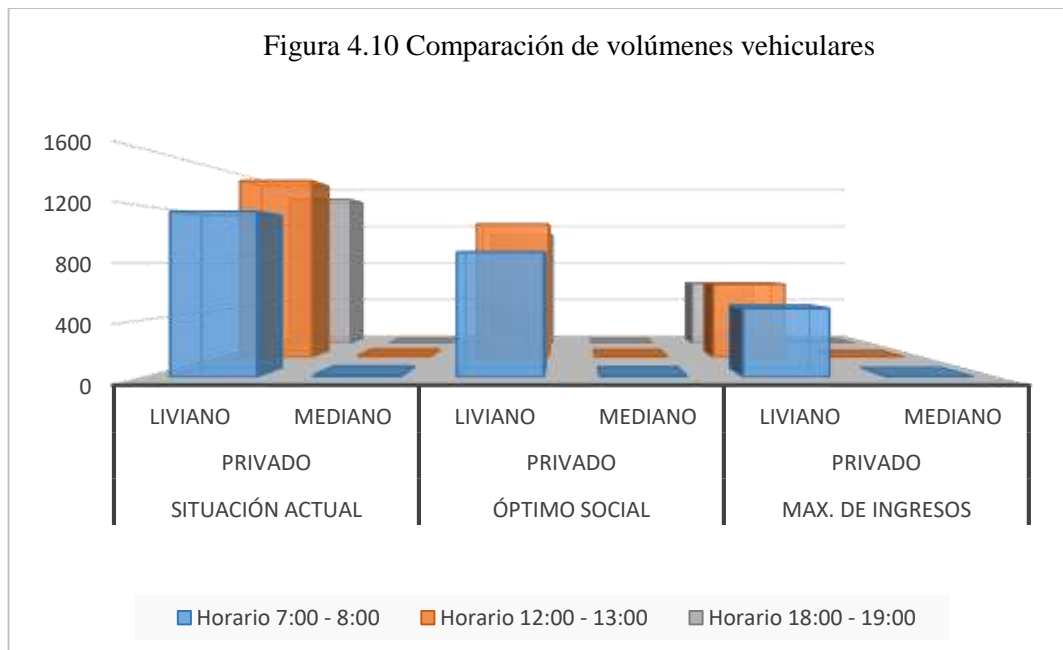
Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar que en la zona se obtendría más dinero del cobro por congestión respecto al recaudo logrado en la búsqueda de la congestión óptima. Sin embargo se estaría

incurriendo en una pérdida de eficiencia. Esta pérdida de eficiencia siempre conlleva a un uso ineficiente de la vía, entendido también como una pérdida para la sociedad.

Por el contrario, al perseguir el objetivo que permita un uso de la vía al **óptimo social**, se lograría una asignación de recursos más eficiente que minimiza los costos asociados a la congestión. Los esquemas formulados bajo este objetivo generarían beneficios, en términos de reducción de tiempo de viaje, únicamente a los usuarios de la infraestructura vial, que continúan utilizando este modo de transporte después del cobro, beneficiándolos por una menor congestión. Como era de esperarse, los resultados de este ejercicio evidenciaron que el beneficio neto que obtendría la sociedad con la implementación del cobro, es que reduce en mayor el costo de la congestión para la sociedad. Sin embargo, los usuarios del vehículo privado internalizan los costos que generan a la sociedad por el uso del automóvil y en ningún caso ocurre una pérdida de eficiencia como pasaba en la búsqueda de maximización de ingresos.

La figura 4.10 compara los volúmenes vehiculares actuales que ingresan al sector de estudio con los volúmenes que ingresarían con la implementación de la medida para sus diferentes situaciones de cobro.



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en la búsqueda de una movilidad más sostenible para la ciudad de Tarija es de considerar que estos beneficios obtenidos por la implementación del cobro por congestión puedan utilizarse para incentivar modos de transporte más sostenibles, mientras que el costo individual del vehículo privado se mantiene constante (en vez de reducirse por el aumento de la velocidad de la red). En este sentido, el espacio que dejan de ocupar los vehículos en las vías, generado por el cobro podría, utilizarse para implementar infraestructuras que promuevan en mayor medida el uso de modos de transporte alternativos como son el transporte público (microbuses), la bicicleta y la caminata. En el mismo sentido, el recaudo por el cobro podría destinarse al mejoramiento de la infraestructura, operación y mantenimiento de aquellos modos de transporte que se desean incentivar, generando de esta manera unas opciones de transporte más sostenibles y atractivas para la sociedad.

De acuerdo al histograma de flujo vehicular (entrada y salida de vehículos) que se obtuvieron para el Sector, al tener un flujo más concentrado en las horas pico (mañana, mediodía y tarde), se podría considerar una situación tarifaria diferenciada temporalmente, lo cual podría traer resultados diferentes a los ilustrados en este ejercicio y más cercanos al óptimo social.

En el presente documento, se presentaron un caso de estudio concreto de tarificación zonal por congestión en la ciudad de Tarija, al contrastar y al formular una solución a la problemática de la congestión es necesario evaluar la mayor cantidad de efectos posibles que éste tendría sobre la sociedad para así tomar decisiones bien informadas. Por último, es fundamental considerar que en la ciudad de Tarija la congestión no es un problema exclusivo del número de vehículos, sino que existen otros factores del sistema de transporte que contribuyen a agravar la situación actual. Por consiguiente, la solución a la situación actual de congestión en Tarija no depende únicamente de sacar vehículos de las vías, sino que se hace necesaria la inclusión de medidas complementarias para lograr mitigar los efectos negativos de la congestión en la ciudad.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Fue importante el recabado de la información bibliográfica, del cual se extrajo información y sirvió como guía para elaborar la parte teórica y práctica de este proyecto, información que abarca desde conceptos teóricos sobre ingeniería de tráfico, congestión vehicular, hasta información técnica sobre la aplicabilidad del cobro por congestión.
- Se ubicó el área de estudio, la cual corresponde a la “zona central” de la ciudad, delimitada por las calles: Domingo Paz, Campero, 15 de Abril y Colón. Dicha área, como centro de actividades de trabajo, económicas, comerciales, etc. Esta zona presenta problemas de congestionamiento en horarios pico, por lo que la medida a implantar tiene como objetivo mitigar estos efectos.
- Con el aforo y procesamiento de datos obtuvimos una velocidad media vehicular del sector de estudio de 21,44 km/hr, lo que indica que no se diferencia mucho con velocidades medias vehiculares de otras ciudades más importantes como ser de: México, Madrid (España), Bogotá (Colombia), con velocidades entre 15-20 km/hr, donde existe mayor densidad vehicular en comparación con el sector de estudio. Respecto al aforo y determinación de volúmenes vehiculares, se realizó dicho aforo con su respectiva depuración de datos, de acuerdo a la clasificación de los tipos de vehículos motorizados privados.
- Con la ecuación de relación de factores fundamentales se obtuvo una densidad media vehicular en el sector de estudio de 85 veh/km, valor importante que representa la cantidad demandada del usuario vehículo y es un parámetro importante para determinar las funciones de costos generados por congestión y la función de demanda para la internalización de dichos costos.

- Las demoras en las calles que componen el sector de estudio, varían de 23.95 seg (c./ Sucre, esq./ 15 de Abril) hasta 59.81 seg (c./ Domingo Paz, esq./ Campero), ésto se debe a las diferentes intensidades de circulación y capacidad vehicular de cada calle, ya que algunas calles por características geométricas e intensidad de flujo concentran mayor cantidad de vehículos.
- A través del estudio de tráfico que se realizó, se logró determinar la capacidad y nivel de servicio que presentan las calles (en su mayoría niveles de servicio “E”) que componen el ente urbano de la ciudad (sector de estudio), de los cuales los resultados obtenidos servirían como guía y referencia para ampliar conocimientos de futuros estudios que se realicen en función al incremento demográfico y del parque automotor.
- Respecto a los aforos vehiculares, se obtuvo como resultado un total de 9045 vehículos que entran a la zona de estudio, 9367 vehículos que salen de la zona, de los cuales 4139 son vehículos privados que circulan dentro de la zona. Estos datos son importantes ya que ayudan a definir nuestro análisis de resultados finales, para saber cómo afecta o actúa la implementación de la medida, ya sea en el aumento de la velocidad del flujo vehicular o en la disminución de los volúmenes vehiculares.
- Con la relación entre la densidad de congestionamiento (cantidad demandada) y las demoras que ocasiona la congestión, se obtuvo, a través de la obtención de una línea de tendencia polinómica y por el producto del valor del tiempo por vehículo, la función de costo individual:

$$CI_{(q)} = 0.0007 q^2 - 0.0331 q + 0.4612$$

- De acuerdo al resultado que se obtuvo al determinar la función de costo individual, se obtuvo también la función de costo social marginal, que vendría a ser también una función polinómica:

$$CSM_{(q)} = 0.0018 q^2 - 0.0662 q + 0.4612$$

- Relacionando la cantidad demandada con la función de costo individual, se obtuvo la pendiente de demanda y por ende la función de demanda:

$$D_{(q)} = - 0.24 q + 28.8$$

Las tres funciones; costo Individual, costo social marginal y la función de demanda, son importantes, para determinar de acuerdo a la metodología el precio de la tarifa a cobrar.

- Con el estudio de tráfico que se realizó, se determinó que la congestión vehicular está más relacionada con los diferentes periodos del día; ya que el estudio realizado muestra el comportamiento vehicular en horarios pico, la implementación del cobro y la tarifa de cobro del peaje a través de un óptimo social de 2.50 bs o de una maximización de ingresos de 6 bs tendría que ser aplicada para esos horarios con mayor confluencia.
- Se determinó con el objetivo del estudio que es buscar que el beneficio neto sea mayor al costo por congestión, entonces, el recaudo diario del óptimo social que es 69,54 bs/día, tendría que ser mucho mayor al costo por congestión que es 65,53 bs/día para cubrir los gastos de las tecnologías disponibles para el modo del cobro, por lo que la tarifa del peaje tendría que ser de maximización de ingresos que es 162,44 bs/día.
- También se determinó un recaudo anual para las diferentes situaciones que presenta la implementación de un cobro por congestión. Para la situación de un óptimo social tenemos un recaudo de 16690,5 bs/año y para la situación de una maximización de ingresos tenemos 38986,6 bs/año.
- Con la implementación de la medida del cobro por congestión, el ingreso y la confluencia vehicular reduce en los horarios pico en la ciudad de 9045 vehículos a 6933 vehículos para un óptimo social y 5041 vehículos para una maximización de ingresos, mejorando así la circulación vehicular.
- La implementación de la medida de cobro por congestión mejorará la situación actual del sector de estudio a través de la circulación vehicular

en velocidad de 21,44 km/hr a 26,68 km/hr para una situación de óptimo social y de 34,00 km/hr para una situación de maximización de ingresos.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se debe considerar un plan estratégico para la inversión de los fondos recaudados, buscando el bienestar común de todos los usuarios, ya sea en infraestructura para el sistema de transporte o para modos no motorizados, para lograr una óptima aceptabilidad ciudadana frente a la medida de cobros por congestión.
- Con las experiencias de la medida implantada “restricción por placa” en otras ciudades del país, como ser La Paz, podría realizarse un mismo estudio por restricción en la ciudad, para saber de acuerdo a los resultados, qué medida actuaría mejor en nuestra ciudad comparando los resultados finales y beneficios.
- Se debe considerar que el éxito y aceptación de la medida de cobro por congestión depende, en gran medida, de la existencia de alternativas de transporte de calidad. En este sentido, la inversión en transporte público, modos no motorizados y espacio público es de suma importancia.
- En el estudio de investigación se obtendría mejores resultados si se trabajaría con aforos más completos que se realicen en diferentes periodos del año y si es aún mejor todo el año, por los diferentes cambios de volumen de tráfico que puede haber en un mes normal, en comparación con periodos de fin de año.
- Se podría considerar que el modo de cobro de la medida se realice mediante un Sistema de cobro electrónico (reconocimiento automático de placas por video), donde un centro de control mediante un software podría gravar y reconocer las placas de los vehículos que ingresan al sector de estudio en horas pico, y éste derive el cargo de cobro por congestión al propietario del vehículo, (por ejemplo: sumado al impuesto anual vehicular, etc.). Esta

tecnología podría trabajar conjuntamente con la implantación del proyecto de cámaras inteligentes para la seguridad ciudadana en la ciudad de Tarija.

- Es importante que la medida a implantar se actualice cada año, debido al índice de crecimiento del parque automotor y demográfico, ya que los resultados y tarifas que se obtengan podrían variar.