

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El sistema de transporte público ha sido por muchos años de suma importancia para los países desarrollados y para los que se encuentran en vía de desarrollo, puesto que gran parte de la evolución que han tenido ha sido gracias a la posibilidad que tienen los habitantes para poder desplazarse de un lado a otro en la realización de sus actividades cotidianas sin la necesidad de gastar demasiado tiempo y dinero como se hacía en tiempos anteriores cuando se trasladaban en carretas y que hoy en día éstas pasaron a la historia para dar paso a los vehículos de mayor velocidad.

La falta de alternativas de transporte público en ciertas horas del día de mayor demanda ha hecho que los usuarios recurran a otro tipo de servicio como es el transporte público informal.

Se entiende por transporte público informal al transporte público que no es sindicalizado, es decir, automóviles registrados como particulares que ofrecen un servicio de transporte público sin cumplir las normas de movilización de pasajeros como estar afiliados a empresas legalmente constituidas o portar una de tarjeta de operación.

La prestación de este servicio de transporte ofrece ventajas y desventajas para los usuarios y la población en general pues proporcionan servicios de alta frecuencia, fácil accesibilidad y rapidez. Sin embargo, por no estar regidos bajo ningún sistema de control y seguridad, muchas veces exceden los precios tarifarios y velocidades no permitidas brindando una condición de servicio insegura.

El sistema de transporte público no sindicalizado que predomina en el área urbana de la ciudad de Tarija son los denominados taxis piratas que operan de manera individual y con letreros removibles.

Por lo tanto, en este proyecto se plantea realizar un análisis desde el punto de vista ingenieril de la influencia que tiene este tipo de transporte dentro de la circulación vehicular de nuestra ciudad inmerso en el transporte público sindicalizado, mediante el

estudio de los parámetros de la ingeniería de tráfico como la velocidad, volumen, capacidad y el nivel de servicio en las rutas más críticas de Tarija donde más afectan estos vehículos.

Los resultados que se obtengan de este proyecto servirán para poder plantear posibles soluciones a los problemas generados por este tipo de transporte.

Y así también poder brindar información para posteriores estudios relacionados al tema.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Tras alcanzar un enorme crecimiento poblacional y urbanístico en la ciudad de Tarija, trae consigo un crecimiento en el volumen de la oferta y demanda del transporte público en los últimos años con lo que se convierte en un factor importante para el congestionamiento vehicular.

Sin embargo, el transporte público es una de las áreas de trabajo más importantes de la ciudad y una necesidad primordial para la gran mayoría de la población por lo que resulta difícil tomar medidas determinantes para el control de su circulación.

No obstante, dentro del sistema de transporte público hay una modalidad de transporte que trabaja de manera ilegal, es decir fuera de la formalidad establecida para todo tipo de transporte con prestación pública, tal es el caso de los taxis informales.

Por lo que la aplicación de una medida drástica como la restricción total o simplemente una restricción parcial para estos vehículos no generaría malestar justificado, ya que simplemente se estaría prevaleciendo las normas, generando únicamente un déficit en la atención de la demanda que antes cubrían estos vehículos informales.

Para considerar estas alternativas entre otras, como posibles soluciones a los problemas generados por el transporte público es necesario realizar un estudio que nos permita determinar el grado de influencia que tienen estos taxis tanto en el transporte público sindicalizado como en el comportamiento del tráfico vehicular en general, midiendo el efecto que causa la presencia de estos vehículos en la circulación vehicular a través de estudios a parámetros de la ingeniería de tráfico en velocidad, volumen, capacidad y el nivel de servicio en las rutas estudiadas.

A partir de estos resultados se podrá determinar si la aplicación de ciertas medidas para la circulación del transporte público no sindicalizado aportaría de manera positiva y significativa a la disminución de los problemas de tráfico vehicular de la ciudad de Tarija.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. Situación problemática

Actualmente el tema del transporte público urbano en la Ciudad de Tarija es algo que causa mucha controversia, tanto por su calidad, eficiencia y regularidad, como por sus efectos ambientales y el caos vehicular que genera.

En nuestro medio existen diferentes alternativas para transportarse como microbuses, taxis trufis, taxis, entre otros. La mayoría de los casos estos medios de transporte son deficientes; por un lado, la falta de unidades para el traslado de la población y, por otra parte, el incumplimiento de las normas y reglamentos establecidos por La Secretaría de Movilidad Urbana y Transporte del Gobierno Municipal de Tarija que cada vehículo debe cumplir para poder circular, han hecho que su uso se convierta en un problema para los ciudadanos. No todos cumplen con la normatividad correspondiente y esto los convierte en irregulares. Esta problemática se presenta con mayor frecuencia en los automóviles taxis, que circulan de manera ilegal.

Los usuarios muchas veces no se percatan que están abordando taxis irregulares, mejor conocidos como taxis piratas, convirtiéndose en un riesgo para ellos, pues no se cuenta con un registro de identidad del conductor e incluso se desconoce la procedencia del vehículo. Este sector, como se ha mencionado, es un problema que tiene presencia dentro de toda la ciudad. No obstante, existen sitios en particular donde hay una gran concentración de estos automóviles, lo cual nos lleva al estudio de caso de este trabajo.

Esta situación representa un problema muy grave, ya que se ha generado una sobrepoblación de vehículos de este tipo, lo cual desfavorece la circulación sobre todo en las arterias urbanas más conflictivas de la ciudad generando condiciones críticas en el flujo vehicular.

El presente proyecto toma como zona de estudio a las rutas más críticas de la ciudad de Tarija para poder analizar la influencia que tiene la presencia del transporte público no sindicalizado (transporte público informal) en la circulación vehicular y de esta manera buscar alternativas que permitan mejorar los problemas de tránsito debido al incremento exponencial del parque automotor.

1.3.2. Problema

¿Se podrá encontrar soluciones para mejorar la condición del flujo vehicular a través de estudios de tráfico que permitan establecer la influencia del transporte público no sindicalizado en la circulación vehicular?

1.4. OBJETIVOS DE PROYECTO DE APLICACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Analizar la incidencia que tiene el transporte público no sindicalizado en las rutas más críticas del área urbana de la ciudad de Tarija a partir de estudios de la ingeniería de tráfico con el fin de proponer soluciones para mejorar la circulación vehicular.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar los componentes de la ingeniería de tráfico.
- Determinar rutas críticas específicas de la ciudad de Tarija donde más afecta el servicio del transporte público informal.
- Estudiar el comportamiento del transporte público no sindicalizado a partir de estudios de tráfico vehicular en velocidad, volumen y nivel de servicio.
- Cuantificar el grado de influencia del transporte público no sindicalizado a partir de los parámetros estudiados.
- Plantear soluciones al problema que ocasiona el transporte público en la circulación vehicular a partir de los resultados obtenidos para mejorar las condiciones críticas en las arterias urbanas.
- Establecer conclusiones y recomendaciones de acuerdo a los resultados obtenidos.

1.5. HIPÓTESIS

Sí se realiza los estudios de circulación vehicular con incidencia del transporte público no sindicalizado, entonces podremos obtener el comportamiento de tráfico vehicular para establecer soluciones y proponer acciones para mejorar la condición crítica del flujo vehicular, tomando medidas para el control de circulación de este transporte.

1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES

1.6.1. Variables independientes

Análisis de la circulación vehicular por parámetros de velocidad, volumen, capacidad y nivel de servicio afectados por el transporte público no sindicalizado.

1.6.2. Variables dependientes

Incidencia del transporte público no sindicalizado en la circulación vehicular del área de estudio.

1.6.3. Operacionalización de variables

Tabla 1: Operacionalización de variables

Variable	Indicadores	Concepto	Medición	Unidad
Independientes				
Análisis de la circulación vehicular, por parámetros de velocidad, volumen y nivel de servicio afectados por el transporte público no sindicalizado.	Tiempo de recorrido	Cantidad de tiempo requerida para desplazarse entre dos puntos fijos.	Tiempo	Km
	Flujo vehicular	Cantidad de vehículos que circulan en una carretera o calle en un período de tiempo determinado	Cantidad vehicular	Veh/hr
			Tiempo	
Nivel de servicio	Medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular y de su percepción por los motoristas y/o pasajeros	-	-	
Dependientes				
Incidencia del transporte público no sindicalizado en la circulación vehicular del área de estudio.	Velocidad	El servicio de transporte público informal constituye entonces aquella prestación de servicio de transporte público prestado por vehículos particulares que no están afiliados a empresas legalmente constituidas. La presencia de este transporte genera una sobrepoblación de vehículos de este tipo, lo cual desfavorece la circulación vehicular.	Distancia	Km/hr
			Tiempo	
	Volumen		Cantidad vehicular	Veh/hr
			Tiempo	

Fuente: Elaboración propia

1.7. PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS Y LA INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

- Aplicación de estadística descriptiva

La estadística descriptiva es una disciplina que se encarga de recoger, almacenar, ordenar, realizar tablas o gráficos y calcular parámetros básicos sobre el conjunto de datos. Adicionalmente, nos ofrecen medidas que resumen la información de una gran cantidad de datos.

Medidas de tendencia central:

Media

En matemáticas y estadística, una media o promedio es una medida de tendencia central. Resulta al efectuar una serie determinada de operaciones con un conjunto de números y que, en determinadas condiciones, puede representar por si solo a todo el conjunto. Existen distintos tipos de medias, tales como la media geométrica, la media ponderada y la media armónica aunque en el lenguaje común, tanto en estadística como en matemáticas la elemental de todas ellas es el término que se refiere generalmente a la media aritmética.

Media aritmética: La media aritmética de un conjunto de números, en algunas ocasiones simplemente llamada el promedio, es la suma de los datos dividida entre el número total de datos.

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

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{N}$$

Donde:

\bar{X} = Valor de la media aritmética

X_1, X_2, X_3, X_n = Valores de datos obtenidos

N = Número de datos

Mediana

La mediana ($Me(X)$), o mediana estadística, es el elemento de un conjunto de datos ordenados (X_1, X_2, \dots, X_N) que deja a izquierda y derecha la mitad de valores.

Sea (X_1, X_2, \dots, X_N) un conjunto de datos ordenado. El cálculo de la mediana depende de si el número de elementos N es par o impar.

- Si N es impar, la mediana es el valor que está al medio, es decir:

$$\text{Mediana}(X) = \frac{X_{N+1}}{2}$$

- Si N es par, la mediana es la media de los dos valores del centro, $N/2$ y $N/2+1$:

$$\text{Mediana}(X) = \text{Media} \left(X_{\frac{N}{2}}, X_{\frac{N}{2}+1} \right) = \frac{X_{\frac{N}{2}} + X_{\frac{N}{2}+1}}{2}$$

Desviación estándar

Es una medida de dispersión usada en estadística que nos dicen cuánto tienen que alejarse los valores concretos del promedio de una distribución. De hecho, específicamente el cuadrado de la desviación estándar es “el promedio del cuadrado de la distancia de cada punto respecto del promedio”.

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

Donde:

\bar{x} = Valor de la media aritmética

x_i = Valor de cada muestra de observación

N = Número de observaciones

Varianza

La varianza es una medida de dispersión que representa la variabilidad de una serie de datos respecto a su media. Formalmente se calcula como la suma de los residuos al cuadrado divididos entre el total de observaciones.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}{N}$$

Donde:

X = Variable sobre la que se pretende calcular la varianza.

x_i = Observación de número i de la variable X. i puede tomar valores entre 1 y n.

N = Número de observaciones

\bar{x} = Valor de la media de la variable X.

Coefficiente de variación de Pearson

El coeficiente de variación de Pearson (C.V.) mide la variación de los datos respecto a la media, sin tener en cuenta las unidades en la que están.

El coeficiente de variación toma valores entre 0 y 1. Si el coeficiente es próximo a 0, significa que existe poca variabilidad entre los datos y es una muestra muy compacta. En cambio, si tienden a 1 es una muestra muy dispersa.

$$C. V. = \frac{S_x}{|\bar{x}|}$$

Donde:

S_x = Desviación estándar

\bar{x} = Valor de la media aritmética

1.8. ALCANCE DEL ESTUDIO DE APLICACIÓN

El presente trabajo está dirigido a realizar un análisis con cuantificación real de la influencia del transporte público no sindicalizado (taxis informales) en la circulación vehicular de las rutas más críticas de la ciudad de Tarija, que es donde más opera el transporte público y por tanto este tipo de taxis también; a partir de parámetros de la ingeniería de tráfico como la velocidad, volumen, capacidad y nivel de servicio, recabando los datos necesarios para determinar estos indicadores como ser la cantidad de vehículos que atraviesan la intersección de estudio, el porcentaje de automóviles que giran tanto a la izquierda como a la derecha, el porcentaje de vehículos pesados, las paradas designadas al transporte público, el estacionamiento permitido o prohibido y anchos de accesos; con el fin de buscar alternativas de solución a los problemas de tráfico vehicular ocasionados por el transporte público analizando ciertas medidas para el control de la libre circulación de esta modalidad de transporte estudiado.

En esta primera etapa se desarrolla una explicación teórica del porqué se decidió realizar este análisis y estudio al transporte público no sindicalizado respecto a la influencia que tiene en la circulación vehicular de nuestra ciudad. Comenzando con una introducción que engloba las características del estudio a ejecutar, posteriormente dar a conocer la justificación que se asume ante el proyecto identificando el problema principal que nos lleva a considerar importante este estudio de aplicación para mejorar en cierta medida los problemas del tráfico vehicular. Teniendo el problema identificado se establecen los objetivos y una hipótesis que nos permiten tener una idea más clara del tema a estudiar. Con los objetivos propuestos se determinan los factores influyentes, dependientes e independientes para finalmente describir puntualmente el proceso metodológico y elaborar un flujograma de aplicación.

Para poder encarar la parte práctica del proyecto es preciso conocer teóricamente los aspectos generales de la ingeniería de tráfico como ser las definiciones, problemas, soluciones y factores que afectan al tránsito vehicular sobre todo de cada uno de sus parámetros que intervendrán en el estudio a realizar, los cuales cuentan con sus propias metodologías y fórmulas para realizar su proceso de cálculo. De igual manera, se trata el tema del transporte público y sus diferentes modalidades. Con todos estos conceptos claros y bien definidos se podrá realizar una adecuada interpretación de resultados.

Esta parte del proyecto de aplicación es considerada una de las más importantes, es en esta etapa donde se desglosa de manera práctica y puntual cada uno de los pasos a seguir establecidos anteriormente en el flujograma de aplicación. Primeramente, se realiza la selección del área de estudio estableciendo sus características generales y realizando un análisis del comportamiento del flujo vehicular; posteriormente determinamos los días y horas de máxima demanda para proceder a ejecutar los respectivos aforos y mediciones necesarios para realizar el procesamiento de los cálculos y determinar la incidencia del transporte público no sindicalizado en el volumen, capacidad, nivel de servicio y velocidad de la circulación vehicular de las intersecciones analizadas para finalmente concluir con un análisis de resultados.

El análisis de resultados nos permitirá determinar las respectivas conclusiones respecto al estudio de aplicación efectuado, donde se dará a conocer expresamente si se pudo cumplir en su totalidad los objetivos trazados y si la hipótesis planteada resultó verídica o no. Y, por último, establecer las debidas recomendaciones para posteriores prácticas de campo.

CAPÍTULO II
ASPECTOS GENERALES DE LA
INGENIERÍA DE TRÁFICO

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO

A continuación, se exponen los fundamentos teóricos necesarios para la investigación a realizar.

2.1. DEFINICIÓN

Ingeniería de tráfico.- 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 medios de transporte.¹

2.2. ALCANCES DE LA INGENIERÍA DE TRÁNSITO

Definido de esta manera el marco de referencia de la Ingeniería de Tránsito, en esta importante rama se analiza en forma pormenorizada lo siguiente:

a. Características del tránsito

Se analizan los diversos factores y las limitaciones de los vehículos y los usuarios como elementos de la corriente de tránsito. Se investigan la velocidad, el volumen y la densidad; el origen y destino del movimiento; la capacidad de las calles y carreteras; el funcionamiento de pasos a desnivel, terminales, intersecciones canalizadas; se analizan los accidentes, etc.

Así se pone en evidencia la influencia de la capacidad y las limitaciones del usuario en el tránsito; se estudia al usuario particularmente desde el punto de vista psíquico-físico, indicándose la rapidez de las reacciones para frenar, para acelerar, para maniobrar, su resistencia al cansancio, etc., empleando en todo esto, métodos modernos e instrumentos psicotécnicos, así como la metodología estadística.¹

b. Reglamentación del tránsito

La técnica debe establecer las bases para los reglamentos del tránsito; debe señalar sus objeciones, legitimidad y eficacia, así como sanciones y procedimientos para modificarlos

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). *Ingeniería De Tránsito*.

y mejorarlos. Así, por ejemplo, deben ser estudiadas las reglas en materia de licencias; responsabilidad de los conductores; peso y dimensiones de los vehículos; accesorios obligatorios y equipo de iluminación, acústicos y de señalamiento; revista periódica; comportamiento en la circulación, etc.

Igual atención se da a otros aspectos, tales como: prioridad del paso; tránsito en un sentido; zonificación de la velocidad; limitaciones en el tiempo de estacionamiento; control policiaco en las intersecciones; procedimiento legal y sanciones relacionadas con accidentes; peatones y transporte público.¹

c. Señalamiento y dispositivos de control

Este aspecto tiene por objeto determinar los proyectos, construcción, conservación y uso de las señales, iluminación, dispositivos de control, etc. Los estudios deben complementarse con investigaciones de laboratorio.

Aunque el técnico en tránsito no es responsable de la fabricación de estas señales y semáforos, a él incumbe señalar su alcance, promover su empleo y juzgar su eficiencia.¹

d. Planificación vial

Es indispensable, en la Ingeniería de Tránsito, realizar investigaciones y analizar los diferentes métodos, para planificar la vialidad en un país, en una municipalidad o en una pequeña área, para poder adaptar el desarrollo de las calles y carreteras a las necesidades del tránsito.

Parte de esta investigación está dedicada exclusivamente a la planificación de la vialidad urbana, que permite conocer los problemas que se presentan al analizar el crecimiento demográfico, las tendencias al aumento en el número de vehículos y la demanda de movimiento de una zona a otra.

Es reconocido que el tránsito es uno de los factores más importantes en el crecimiento y transformación de un centro urbano y de una región, y es por esto que el punto de vista el ingeniero de Tránsito debe ser considerado en toda programación urbanística y en toda planificación de política económica.¹

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). *Ingeniería De Tránsito*.

e. Administración

Es necesario examinar las relaciones entre las distintas dependencias públicas que tienen competencia en materia vial y su actividad administrativa al respecto.

Deben considerarse los distintos aspectos tales como: económico, político, fiscal, de relaciones públicas, de sanciones, etc.

A su vez, la Ingeniería de Tránsito del futuro, deberá ir muy de la mano con temas tales como:

- 1) Los sistemas intermodales, donde el transporte masivo juega un papel importante.
- 2) El progreso en los sistemas de transporte inteligentes, a través del uso de las comunicaciones satelitales y la tecnología de las computadoras.
- 3) La preservación de la función y jerarquía del sistema vial, mediante el diseño o rediseño de buenas prácticas, que permitan el acceso a la tierra.
- 4) El manejo de la congestión, debido a que la expansión potencial para nuevas vialidades es muy limitada y a menudo no factible.
- 5) El aseguramiento de la movilidad.
- 6) El impacto ambiental, relacionado con el ruido, la calidad del aire, humedales, zonas históricas, alamedas, fuentes naturales, especies animales y vegetales, energía, impactos sociales e impactos económicos.

Finalmente, debe hacerse énfasis en lo siguiente: el *Ingeniero de Tránsito* debe estar capacitado para encontrar la mejor solución al menor costo posible.

Naturalmente, puede pensarse en infinidad de soluciones por demás costosas, pero el técnico preparado en la materia además de estar capacitado para encontrar esta mejor solución, debe desarrollar eficientemente acciones a largo plazo, que tiendan a mejorar las condiciones del tránsito sin poner restricciones innecesarias al mismo.¹

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). *Ingeniería De Tránsito*.

2.3. PROBLEMAS DE TRÁNSITO Y SU SOLUCIÓN

2.3.1. Factores que intervienen en el problema de tránsito

Las ciudades dependen grandemente de sus sistemas de calles, ofreciendo servicios de transporte. Muchas veces, estos sistemas tienen que operar por arriba de su capacidad, con el fin de satisfacer los incrementos de demanda por servicios de transporte, ya sea para tránsito de vehículos livianos, tránsito comercial, transporte público, acceso a las distintas propiedades o estacionamientos, etc., originando obviamente problemas de tránsito, cuya severidad por lo general se puede medir en términos de accidentes y congestión.¹

A pesar de que, en los últimos tiempos con los avances tecnológicos, se han logrado proyectar y construir sistemas viales más acordes con los vehículos que los utilizan, al igual que diseños urbanos modernistas, los problemas de tránsito en muchos lugares aún persisten.

A continuación, se enuncian cinco factores que podrían incrementar estos problemas y que deben ser tomados en cuenta en cualquier intento de solucionarlos:

a. Diferentes tipos de vehículos en la misma vialidad

- Diferentes dimensiones, velocidades y características de aceleración.
- Automóviles diversos.
- Camiones y autobuses, de alta velocidad.
- Camiones pesados, de baja velocidad, incluyendo remolques.
- Vehículos tirados por animales, que aún subsisten en algunos países.
- Motocicletas, bicicletas, vehículos de mano, etc.

b. Superposición del tránsito motorizado en vialidades inadecuadas

- Relativamente pocos cambios en el trazo urbano.
- Calles angostas, torcidas y pronunciadas pendientes.
- Aceras insuficientes. Carreteras que no han evolucionado.

c. Falta de planificación en el tránsito

- Calles, carreteras y puentes que se siguen construyendo con especificaciones anticuadas.

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). *Ingeniería De Tránsito*.

- Intersecciones proyectadas sin base técnica.
- Previsión casi nula para estacionamiento.
- Localización inapropiada de zonas residenciales en relación con zonas industriales o comerciales.

d. El automóvil no considerado como una necesidad pública

- Falta de apreciación de las autoridades sobre la necesidad del vehículo dentro de la economía del transporte.
- Falta de apreciación del público en general a la importancia del vehículo automotor.¹

2.3.2. Tipos de solución

Si el problema del tránsito causa pérdida de vidas y bienes, o sea que equivale a una situación de falta de seguridad para las personas y de eficiencia económica del transporte, la solución, lógicamente, se obtendrá haciendo el tránsito seguro y eficiente.¹

Hay tres tipos de solución que se pueden dar al problema de tránsito:

a. Solución integral

Si el problema es causado por un vehículo moderno sobre carreteras y calles antiguas, la solución integral consistirá en construir nuevos tipos de vialidades que sirvan a este vehículo, dentro de la previsión posible. Se necesitará crear ciudades con trazo nuevo, revolucionario, con calles destinadas a alojar al vehículo moderno, con todas las características inherentes al mismo.

Se debe diseñar el trazo propuesto para nuevas ciudades, el cual se inspira en los sistemas circulatorios de la naturaleza, como el de la sangre en el hombre, de los ríos y de las plantas. En este proyecto se busca el equilibrio de la oferta y la demanda con el trazo de arterias troncales con control de accesos para facilitar el viaje al centroide, con calles secundarias que drenan las zonas de habitación y trabajo hacia el lógico desfogue que las lleve a las zonas centroidales.

Esta solución es casi imposible de aplicar en las ciudades actuales, ya que se necesitaría empezar por barrer con todo lo existente. Las carreteras y calles actuales tendrían que ser

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). *Ingeniería De Tránsito*.

sustituidas por otras cuya velocidad de proyecto fuese, por ejemplo, de 130 kilómetros por hora o más.

b. Solución parcial de alto costo

Esta solución equivale a sacar el mejor partido posible de lo que actualmente se tiene con ciertos cambios necesarios que requieren fuertes inversiones. Los casos críticos, como calles angostas, cruces peligrosos, obstrucciones naturales, capacidad restringida, falta de control en la circulación, etc., pueden atacarse mediante la inversión necesaria que es, siempre, muy elevada. Entre las medidas que pueden tomarse están: el ensanchamiento de calles, modificación de intersecciones rotatorias, creación de intersecciones canalizadas, sistemas de control automático con semáforos, estacionamientos públicos y privados, etc.¹

Figura 1: Tipos de soluciones parciales de alto costo



Fuente: Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. Ingeniería De Tránsito

c. Solución parcial de bajo costo

Consiste en el aprovechamiento máximo de las condiciones existentes, con el mínimo de obra material y el máximo en cuanto a regulación funcional del tránsito, a través de técnica depurada, así como disciplina y educación por parte del usuario. Incluye, entre otras cosas, la legislación y reglamentación adaptadas a las necesidades del tránsito; las medidas necesarias de educación vial, el sistema de calles con circulación en un sentido, el

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). Ingeniería De Tránsito.

estacionamiento de tiempo limitado, el proyecto específico y apropiado de señales de tránsito y semáforos, la canalización del tránsito a bajo costo, las facilidades para la construcción de terminales y estacionamientos, etc.¹

Figura 2: Solución parcial de bajo costo



Fuente: Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. Ingeniería De Tránsito

La fotografía muestra una solución parcial de bajo costo, consistente en una intersección a nivel, donde se observa la vuelta de la izquierda canalizada y la calle arterial con circulación en un solo sentido aumentando de manera importante la capacidad al disponer de mayor número de carriles.

2.3.3. Bases para la solución

Para poder encontrar una solución y que esta sea la más adecuada de menor costo económico se tienen pilares importantes que son las bases de esta solución como ser:

La ingeniería de tráfico

La educación vial

La normalización o reglamentación adecuada

Vigencia o control policial

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). Ingeniería De Tránsito.

2.3.3.1. La ingeniería de tráfico

Es la parte que está obligada a realizar los estudios técnicos necesarios y a partir de los análisis de estos se plantean soluciones reales y adecuados. Es aquí donde participa en forma decidida el ingeniero de tráfico quien deberá recabar la mayor información posible de las condiciones de circulación actual.

2.3.3.2. Educación vial

Es un pilar importante porque el conjunto de los usuarios ya sean estos peatones o conductores particulares o públicos deben tener un mínimo de educación vial que les permita un mejor accionar de cada uno en sus actividades; la falta de educación vial ha hecho que los usuarios frecuentemente cometan errores o infracciones a reglamentos que en algunos casos causan accidentes y por lo general perjudican la normal circulación vehicular y peatonal en las calles y carreteras.

En realidad, la educación vial es una obligación de todos, por lo tanto, los medios de comunicación, organismos relacionados con el transporte, instituciones referidas al ámbito vial, empresas, organismos policiales de tránsito, deben aunar criterios y esfuerzos y establecer una planificación sobre la educación vial regional y nacional; como ingenieros de tránsito también será importante la participación en ayudar a diagramar la metodología adecuada de los aspectos más relevantes del tráfico.

2.3.3.3. Normas y reglamentos adecuados

La circulación vehicular y peatonal requiere de normas y reglamentos que sean adecuados a las condiciones físicas actuales, a las condiciones de los vehículos que circulan y a las condiciones de necesidad del usuario. Estas normas deben ser revisadas periódicamente de acuerdo a la evolución que vaya teniendo el tráfico en una ciudad o una carretera para tratar en lo posible de que obedezca a condiciones reales y actualizadas.

2.3.3.4. Vigencia y control policial

Para hacer cumplir las normas y reglamentos vigentes y hacer que la planificación cumpla sus objetivos se hace necesario un control policial cuya labor es recomendada a los organismos operativos de tránsito dependientes de la policía nacional.

2.3.4. Metodología

Para atacar este problema se deben seguir cuatro pasos sucesivos que permitirán el planteamiento del mismo, de tal manera que la solución sea lógica y práctica. Los cuatro pasos necesarios son los siguientes:

1. Recopilación de los datos
2. Análisis de los datos
3. Proposición concreta y detallada
4. Estudio de los resultados obtenidos ¹

Como primer paso es indispensable reunir toda la información necesaria. En esta recopilación de datos, lo que se necesitan son precisamente las estadísticas, los informes oficiales y los hechos veraces.

No es suficientemente útil conocer la opinión del amigo o del comerciante de la esquina; se necesitan datos estadísticos obtenidos oficialmente, en el lugar de los accidentes u obtenidos de fuentes de información dignas de crédito.

Segundo, para el análisis de estos datos se necesita una mente entrenada que pueda dar una interpretación real a los mismos. De estos análisis se desprende una parte muy importante de la solución y solo un especialista en la materia deberá llevarlo a cabo.

Después del análisis, el encargado de resolver el problema deberá presentar un proyecto de solución, cubriendo los tres elementos básicos, incluyendo el aspecto físico, adaptado a las características del vehículo y del usuario, conteniendo las modalidades necesarias en cuanto a educación vial, así como las reformas y sistemas legislativos y policíacos, que permitan impartir la solución.

Finalmente, es conveniente observar, durante cierto periodo posterior, el resultado que tuvo la solución aplicada. Este resultado se observará directamente a través de las estadísticas levantadas en cuanto a la eficiencia del movimiento vehicular y de peatones, así como en cuanto a la disminución o aumento de accidentes. Es posible que muchas soluciones requieran una revisión y perfeccionamiento, por lo que este último paso, es de gran importancia.¹

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). *Ingeniería De Tránsito*.

2.4. ELEMENTOS DEL TRÁNSITO

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

- El usuario.
- El vehículo.
- La vía o vialidad.

2.4.1. El usuario

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

El usuario está relacionado con los peatones y conductores, que son los elementos principales a ser estudiados para mantener el orden y seguridad de las calles y carreteras.²

2.4.1.1. El peatón

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

En la mayoría de los casos las calles y carreteras son compartidos por los peatones y vehículos, excepto en la Autopistas el tráfico de los peatones es prohibido. Los accidentes sufridos por peatones se deben a que no respetan las zonas destinadas a ellos, ya sea por falta de conocimiento u otro factor. Por lo tanto, se deberá estudiar al peatón no solamente por ser víctima, sino porque también es una de las causas, para la cual es necesario conocer las características del movimiento de los peatones y la influencia que tienen ciertas características como ser la edad, sexo, motivo de recorrido, etc.²

2.4.1.2. El conductor

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

Para el estudio de los conductores es necesario conocer el comportamiento o factores que influyen en sus condiciones físicas y psíquicas, sus conocimientos, su estado de ánimo, etc. Se ha encontrado para el conductor un tiempo mínimo de reacción para actuar que se detallará a continuación:

² Arandia, J.G. & Balta, R.D. *Apoyo Didáctico Para La Enseñanza Y Aprendizaje De Ing. De Tráfico.*

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

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

- La fatiga.
- Las enfermedades o deficiencias físicas.
- El alcohol y las drogas.
- Su estado emocional.
- El clima.
- La época del año.
- Las condiciones del tiempo.
- La altura sobre el nivel del mar.
- El cambio del día a la noche y viceversa.

b. Características del conductor

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

- Cono de agudeza visual, se refiere a la visión más nítida de una persona que está concentrada dentro de un cono con un ángulo central de alrededor de 3 grados respecto a la horizontal. La agudeza visual es razonablemente nítida dentro de un ángulo cónico de hasta 10 grados aproximadamente.
- Visión periférica, se refiere a que una persona puede percibir objetos periféricos dentro de un cono con ángulo central de hasta 160 grados.
- Información visual, se refiere a que el conductor mediante movimientos de la cabeza y los ojos aumenta la cantidad de información visual recibida.

² Arandia, J.G. & Balta, R.D. *Apoyo Didáctico Para La Enseñanza Y Aprendizaje De Ing. De Tráfico.*

- Encandilamiento, se refiere a la visión del conductor en condiciones de encandilamiento.
- Sensibilidad visual a la luz y al color (daltonismo).
- La altura del ojo del conductor respecto a la superficie será de 1,14 metros.
- Percepción del espacio, es decir, que al divisar un obstáculo u objeto a velocidades altas la distancia de frenado será mayor.²

2.4.2. El vehículo

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

Por lo tanto, es indispensable que cada país mejore las condiciones del transporte para su progreso y de esta manera poder transportar los bienes de consumo desde las fuentes de producción hasta los mercados y de allí comercializarlo a la población. Actualmente, es inevitable que aumente el número de vehículos cada año, lo que es deseable y conveniente, logrando así reducir más la actual relación de habitantes por vehículo.

Por lo tanto, el segundo elemento componente del tránsito, *el vehículo*, irremediablemente va en aumento.

2.4.2.1. Clasificación y características del vehículo de proyecto

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

Los vehículos se clasifican en 2:

- Vehículos ligeros o livianos.
- Vehículos pesados (Camiones y autobuses).

2.4.2.2. Vehículos ligeros de proyecto

Los vehículos ligeros de proyecto pueden ser utilizados en:

² Arandia, J.G. & Balta, R.D. *Apoyo Didáctico Para La Enseñanza Y Aprendizaje De Ing. De Tráfico.*

- 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 aun 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.

2.4.2.3. Vehículos pesados de proyecto

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.

2.4.2.4. Clasificación de vehículos según norma de diseño

Según el servicio nacional de caminos (S.N.C.) los vehículos del país se clasifican en cuatro grandes grupos detalladas en la siguiente tabla:

Tabla 2: Clasificación se vehículos según el Servicio Nacional de Caminos

Grupo de clasificación	Características del vehículo	Ancho total (m)	Largo total (m)	Radio mínimo de la rueda externa delantera (m)	Radio mínimo de la rueda interna trasera (m)	Detalles
VP	Automóviles	2,10	5,80	7,30	4,70	Vehículos livianos como automóviles, camionetas, vagonetas, minibuses, etc.
CO	Autobuses y camiones	2,60	9,10	12,80	8,70	Vehículos comerciales de dos ejes, comprenden a camiones y autobuses comerciales, normalmente de dos ejes y 6 ruedas.
O	Autobuses interurbanos	2,60	12,20	12,80	7,10	Automóviles y camiones de mayores dimensiones. Los autobuses empleados generalmente para viajes de largas distancias y turismo. Estos vehículos son de mayor longitud que las CO y pueden contar con 3 ejes.
SR	Camión semi-remolque	2,60	16,80	13,70	6,00	Vehículo comercial articulado, compuesto normalmente de una unidad tractora y un semiremolque o remolque de 2 ejes o más.

Fuente: Ref. Servicio Nacional de Caminos (S.N.C.)

2.4.3. La vialidad o vía

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

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

Una vía también se define como la ruta que los medios de transporte (terrestre, fluviales, marítimos y aéreos) siguen para poder trasladar personas y mercaderías de un lugar a otro.

2.4.4. Ruta crítica

Red vial congestionada por la concentración de líneas de transporte público, la cantidad de vehículos privados y de peatones, así como de los numerosos vehículos estacionados; perteneciente al área urbana de una ciudad que concentra gran parte de las actividades (oficinas públicas y privadas, restaurantes, escuelas, etc.) y generan una importante demanda de servicio de transporte. ⁴

Figura 3: Ruta crítica



Fuente: Manual de Diseño de Calles para ciudades bolivianas

⁴ Wiskott, A. & Hotz P. (2015). *Manual de Diseño de calles para las ciudades bolivianas*.

2.4.4.1. Rutas críticas en la ciudad de Tarija

La ciudad de Tarija cuenta con vías estrechas, con pocos estacionamientos y debido a la falta de educación vial y al incremento inusitado del parque automotor, se genera un gran congestionamiento vehicular en distintos puntos de la ciudad, como en el casco viejo y otras zonas comerciales, haciendo intransitables algunas vías. La circulación del transporte público por las mismas rutas es una de las principales causas de los embotellamientos generados en las horas de mayor demanda.

Figura 4: Ruta crítica en la ciudad de Tarija



Fuente: Elaboración propia

2.5. PARÁMETROS DE INGENIERÍA DE TRÁFICO

2.5.1. Velocidad

La velocidad en carreteras generalmente se considera uniforme desde el punto de vista académico, si bien esto no es evidente en la realidad. Esa velocidad uniforme por definición es el cociente de la distancia recorrida entre el tiempo que se tarda en recorrer esa distancia, o sea:

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

Donde:

v = velocidad constante (km/h)

d = distancia recorrida (km)

t = tiempo de recorrido (h)

Esta velocidad está bajo control del conductor, porque este es quien determina la distancia y también el tiempo que se tarda en recorrer dicha distancia. El conductor puede ahorrar tiempo o puede desperdiciarlo.

También la velocidad máxima en vías urbanas y carreteras está limitada por razones de seguridad y comodidad del usuario. También en muchos países la velocidad mínima está limitada, por debajo de ella puede haber obstrucciones y congestiónamiento.³

2.5.2. Consideraciones generales

El estudio de las velocidades de los vehículos de motor puede ser tratado en dos categorías generales: estudios de velocidad de punto y estudios de tiempos de recorrido.

Los estudios de velocidad de punto, tienen por objeto medir la distribución de velocidades de los vehículos en un tramo de carretera de longitud relativamente corta.

Los resultados se expresan normalmente como velocidades promedio.

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n}$$

Donde:

\bar{x} = Velocidad promedio (km./h)

ΣX = Suma de las velocidades observadas (km./h)

n = Número de observaciones

Los estudios de tiempo de recorrido son mucho más flexibles en cuanto al método de organizar los datos y a la presentación de los resultados, dependiendo del propósito del estudio. Los estudios del tiempo de recorrido, el congestionamiento de las rutas y los de velocidad a lo largo de ellas se asemejan en que las velocidades se determinan en una sección relativamente larga de la calle o la carretera, expresándose en términos de velocidad promedio.

$$\bar{X} = \frac{dn}{0.277 \sum t}$$

³ Gómez Johnson, R.C. (2004). *Texto Del Alumno Ingeniería De Tráfico*.

Donde:

\bar{x} = Velocidad promedio (km./h)

d = Longitud de recorrido (m)

n = Número de observaciones

0.277 = Factor de conversión (m/seg. a km./h)

Σt = Suma de los tiempos de recorrido observados (segundos)

El método para calcular las velocidades promedio reviste mayor importancia cuando se va a efectuar una comparación de dos o más investigaciones de campo. La velocidad promedio con base en el tiempo no puede compararse con la velocidad promedio con base en el espacio recorrido sin introducir algo de error.³

2.5.3. Velocidad de punto

Se denomina velocidad de punto a aquella velocidad de los vehículos que recorren distancias relativamente pequeñas (25, 50, 70, 100 metros).³

2.5.3.1. Estudios de velocidad de punto

Los estudios de velocidad de punto para un tramo específico de una vía, sirven para determinar las características de la velocidad en dicho tramo bajo las condiciones atmosféricas y de tráfico al momento de realizar dicho estudio.

Las velocidades agrupadas en un tiempo y espacio dados, presentan un coeficiente de dispersión alto, por lo que pueden representarse mediante una distribución normal de velocidades que es lo que mejor se acomoda al tipo de datos.

Los estudios de velocidad de punto se aplican para:

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

³ Gómez Johnson, R.C. (2004). *Texto Del Alumno Ingeniería De Tráfico*.

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

Dada la incertidumbre que se tiene para caracterizar la población total de velocidades a partir de variables basadas en una muestra y debido a que todos los vehículos no viajan a la misma velocidad sino más bien se acomodan a una distribución de velocidades dentro de un intervalo de comparación, se debe utilizar la estadística descriptiva y la inferencia estadística en el análisis de los datos de velocidad de punto.²

Cuando un punto se está estudiando, es importante que los datos estén obtenidos imparcialmente.

Para esto se requiere que los conductores sean inconscientes de que se está conduciendo tal estudio. El equipo usado se debe por lo tanto encubrir del conductor, y los observadores que conducen el estudio deben ser discretos.

La ubicación del sitio para el estudio depende, hasta cierto punto, del tipo de equipo utilizado. Si las velocidades van a tomarse con cronometro usando un mínimo de equipo, es necesario que la sección se encuentre en tangente. Es también conveniente planear el estudio de manera que el observador pueda ver los vehículos que se aproximan, sin ser visto por los conductores.³

a. Ubicación del estudio

La localización para los estudios de la velocidad de punto depende del uso anticipado de los resultados.

Los estudios de velocidad usualmente se llevan a cabo en los siguientes lugares:

- En intersecciones y otros puntos a mitad de la cuadra, que registran alta frecuencia de accidentes.

² Arandia, J.G. & Balta, R.D. *Apoyo Didáctico Para La Enseñanza Y Aprendizaje De Ing. De Tráfico*.

³ Gómez Johnson, R.C. (2004). *Texto Del Alumno Ingeniería De Tráfico*.

- En puntos donde se propone la instalación de semáforos y señales de “PARE”.
- En todas las arterias principales.
- En puntos representativos escogidos para el estudio de datos básicos.

Cuando un punto se está estudiando, es importante que los datos estén obtenidos imparcialmente. Para esto se requiere que los conductores sean inconscientes de que se está conduciendo tal estudio. El equipo usado se debe por lo tanto encubrir del conductor, y los observadores que conducen el estudio deben ser discretos.

La ubicación del sitio para el estudio depende, hasta cierto punto, del tipo de equipo utilizado. Si las velocidades van a tomarse con cronometro usando un mínimo de equipo, es necesario que la sección se encuentre en tangente. Es también conveniente planear el estudio de manera que el observador pueda ver los vehículos que se aproximan, sin ser visto por los conductores.³

b. Tiempo y duración del estudio

La hora para conducir un estudio de la velocidad depende del propósito del estudio. En general, cuando el propósito del estudio es establecer límites de velocidad fijados, observar tendencias de la velocidad o recoger datos básicos, se recomienda que el estudio esté conducido sobre el tráfico libre, generalmente durante horas pico. Sin embargo, cuando un estudio de la velocidad se conduce en respuesta a quejas del ciudadano, es útil que el período seleccionado para el estudio refleje la naturaleza de las quejas. Típicamente, la duración es por lo menos 1 hora y el tamaño de muestra es por lo menos 30 vehículos.³

Un estudio de datos básicos, para obtener las características normales del tráfico, debe efectuarse durante cada uno de los siguientes periodos:

1 hora entre las 9:00 y 12:00 horas

1 hora entre las 15:00 y 18:00 horas

1 hora entre las 20:00 y 22:00 horas

³ Gómez Johnson, R.C. (2004). *Texto Del Alumno Ingeniería De Tráfico*.

c. Tamaño de la muestra para los estudios de la velocidad de punto

La velocidad promedio calculada se utiliza para representar el valor medio verdadero para todas las velocidades de los vehículos que circulan en una determinada ubicación.

La exactitud de esta asunción depende del número de vehículos en la muestra. Cuanto más grande es el tamaño de muestra, mayor es la probabilidad que el medio estimado no sea perceptiblemente diferente del medio verdadero. Es por lo tanto necesario seleccionar un tamaño de muestra que dé un medio estimado dentro de límites aceptables del error.

Los procedimientos estadísticos se utilizan para determinar este tamaño de muestra mínimo.³

2.5.4. Velocidad de recorrido

Esta velocidad no es más que el cociente que resulta de dividir la distancia recorrida por un vehículo entre el tiempo total que se empleó en recorrer dicha distancia.

En ese tiempo están incluidos todos los tiempos en que el vehículo se haya detenido por cualquier motivo o haya variado su velocidad.

Esta velocidad sirve principalmente para comparar condiciones de fluidez del tráfico.³

2.5.4.1. Estudios de velocidad de recorrido

Los estudios de velocidad de recorrido sirven para evaluar la calidad del movimiento vehicular a lo largo de una ruta y determinar la ubicación, tipo y magnitud de las demoras del tránsito. En este tipo de estudios juega un rol importante el tiempo total de recorrido en el que, como ya se definió anteriormente, incluye las demoras debidas al tránsito.²

2.5.5. Velocidad de marcha

La velocidad de marcha o velocidad de cruceo también es el resultado de dividir la distancia recorrida entre el tiempo durante el cual el vehículo estuvo efectivamente en movimiento. Del tiempo de recorrido se deberán descontar todos aquellos tiempos en que el vehículo se hubiera detenido por cualquier causa.³

³ Gómez Johnson, R.C. (2004). *Texto Del Alumno Ingeniería De Tráfico*.

² Arandia, J.G. & Balta, R.D. *Apoyo Didáctico Para La Enseñanza Y Aprendizaje De Ing. De Tráfico*.

2.5.6. Velocidad de proyecto

Llamada también velocidad directriz o velocidad de diseño es aquella a la cual un conductor de habilidad media con razonable atención puede recorrer el camino con entera seguridad, es decir, es aquella velocidad máxima segura que puede mantenerse en un tramo de una vía.

La velocidad de proyecto sirve para relacionar las características geométricas de una carretera como el alineamiento horizontal, vertical, distancia de visibilidad, de frenado, peraltes, radios de curvatura, etc.

La velocidad directriz indica la categoría de la vía, si es elevada será de mayor categoría, si es baja será de menor categoría; también la elección de la velocidad directriz depende de consideraciones económicas. En terreno llano la velocidad directriz será más elevada que para carreteras de montaña, donde las velocidades directrices son menores.³

2.6. VOLUMEN DE TRÁNSITO

Se define volumen de tránsito, como el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o de una calzada, durante un periodo determinado. 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 (unidades de tiempo)¹

2.6.1. Características de los volúmenes de tránsito

Los volúmenes de tránsito siempre deben ser considerados como dinámicos, por lo que solamente son precisos para el periodo de duración de los aforos. Sin embargo, debido a que sus variaciones son generalmente rítmicas y repetitivas, es importante tener un

³ Gómez Johnson, R.C. (2004). *Texto Del Alumno Ingeniería De Tráfico*.

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). *Ingeniería De Tránsito*.

conocimiento de sus características, para así programar aforos, relacionar volúmenes en un tiempo y lugar con volúmenes de otro tiempo y lugar, y prever con la debida anticipación la actuación de las fuerzas dedicadas al control del tránsito y labor preventiva, así como las de conservación. ¹

2.6.2. Distribución y composición del volumen de tránsito

La distribución de los volúmenes de tránsito por carriles debe ser considerada, tanto en el proyecto como en la operación de calles y carreteras.

Tratándose de tres o más carriles de operación en un sentido, el flujo se asemeja a una corriente hidráulica. Así, al medir los volúmenes de tránsito por carril, en zona urbana, la mayor velocidad y capacidad, generalmente se logran en el carril del medio; las fricciones laterales, como paradas de autobuses y taxis y las vueltas izquierdas y derechas causan un flujo más lento en los carriles extremos, llevando el menor volumen el carril cercano a la acera. ¹

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

En zonas urbanas, la variación de los volúmenes de tránsito dentro de una misma hora de máxima demanda, puede llegar a ser periódica durante varios días de la semana. Sin embargo, es importante conocer la variación del volumen dentro de las horas máximas de demanda y cuantificar la duración de los flujos máximos, para así realizar un análisis respecto de los instantes de máxima demanda, para así poder llegar a conclusiones tales como la prohibición de estacionamientos, prohibición de ciertos movimientos en curva y disposición de los tiempos de semáforos. ¹

Un volumen horario de máxima demanda, a menos que tengan una distribución uniforme, no necesariamente significa que se conserve la misma frecuencia del flujo durante toda la hora. Esto significa que existen periodos cortos dentro de la hora con tasas de flujo mucho mayores a las de la hora misma. Para la hora máxima de demanda, se llama factor de la hora máxima de demanda FHMD a la relación entre el volumen horario de máxima demanda VHMD y el volumen máximo Q_{max} , que se presenta durante un periodo dado dentro de dicha hora. Matemáticamente se expresa como:

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). *Ingeniería De Tránsito*.

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(Q_{max})}$$

Donde:

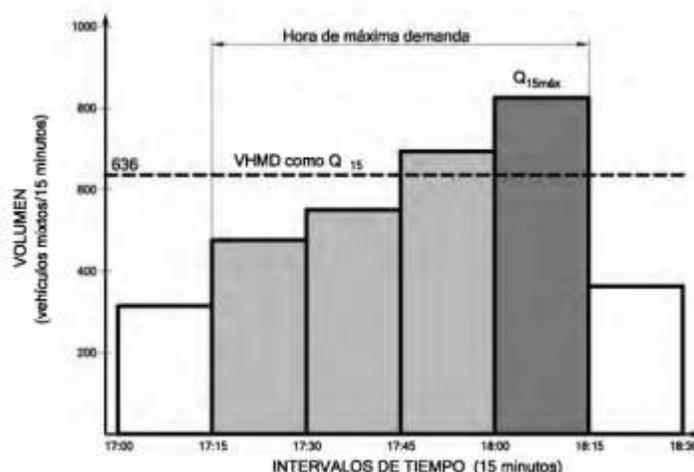
N = número de periodos durante la hora máxima de demanda.

Para periodos de 15 minutos, el factor de la hora de máxima demanda es:

$$FHMD_{15} = \frac{VHMD}{4(Q_{15max})}$$

Este factor tiene un rango que varía entre 0 y 1, considerando a la unidad como una distribución constante y homogénea, es decir que durante toda la hora de máxima demanda el flujo es constante.¹

Figura 5: Variación del volumen en la hora de máxima demanda



Fuente: Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. Ingeniería De Tránsito

2.6.4. Estudio de volúmenes de tránsito

Los estudios sobre volúmenes de tránsito se realizan con el propósito de obtener datos reales relacionados con el movimiento de vehículos y/o personas sobre puntos o secciones específicas dentro de un sistema vial de carreteras o calles. Dichos datos se expresan en relación con el 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.¹

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). Ingeniería De Tránsito.

Estos estudios varían desde los muy amplios en toda una red o sistema vial, hasta los muy sencillos en lugares específicos tales como en intersecciones aisladas, puentes, casetas de cobro, túneles, etc. Las razones para llevar a cabo los estudios de volúmenes de tránsito son tan variadas como los lugares mismos donde se realizan.

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

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

Existen diversas formas para obtener los recuentos de volúmenes de tránsito, para lo cual se ha generalizado el uso de aparatos de medición de diversa índole. Estas formas incluyen: los aforos manuales y mecánicos.¹

2.6.5. Aforos

Se denomina aforo al proceso de medir la cantidad de vehículos que pasan por un tramo en una carretera una unidad de tiempo. Las razones para efectuar los aforos son muy variables, para esta investigación determinaremos el volumen pico horario (VPH) que es el número máximo de vehículos que pasan por un tramo de carretera durante un periodo de 60 minutos consecutivos.³

El VPH se utiliza para:

- Clasificaciones funcionales de las carreteras.
- Diseño de las características geométricas de la carretera, por ejemplo, número de carriles, señalización de intersecciones o canalización.
- Análisis de la capacidad.
- Desarrollo de programas relacionados con las operaciones del tráfico, por ejemplo, sistemas de una calle unidireccional o el encaminamiento del tráfico.
- Desarrollo de las regulaciones del estacionamiento.

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). *Ingeniería De Tránsito*.

³ Gómez Johnson, R.C. (2004). *Texto Del Alumno Ingeniería De Tráfico*.

2.6.6. Métodos de aforo

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

- Método manual.
- Método automático.

2.6.6.1. Métodos manuales

Aforo de tráfico mediante el uso de planillas de conteo. - El conteo manual es un método para obtener datos de volúmenes de tráfico a través del uso de personal de campo conocido como aforadores de tráfico. Los aforos manuales son usados cuando la información deseada no puede ser obtenida mediante el uso de dispositivos mecánicos. El método manual permite la clasificación de vehículos por tamaño, tipo, número de ocupantes y otras características. Registro de movimiento de vueltas y otros movimientos, tanto vehiculares como de peatones.

Los conteos manuales son usados frecuentemente para comprobar la exactitud de los contadores mecánicos. Este tipo de recuento también es necesario cuando los requisitos para el mismo son poco comunes. Por ejemplo, cuando se necesitan conteos durante periodos de tiempo corto. Algunas veces las malas condiciones de tiempo interfieren con el uso de contadores mecánicos de tráfico y, claro está, si no se dispone de equipo automático, el aforo deberá realizarse manualmente.

Una desventaja grande de este método de conteo es que la manutención de aforadores de tráfico por tiempos prolongados, es costosa.

El personal de campo registra los datos del conteo en formularios diseñados específicamente para cada caso particular.

Aforo de tráfico mediante el uso de un contador manual electrónico. - El conteo manual implica a una o más personas que registran los vehículos observados utilizando un contador. La figura a continuación, muestra un contador manual electrónico TMC/48, que se puede utilizar para realizar conteos manuales de volúmenes de tráfico en una intersección.

Figura 6: Contador manual electrónico TMC/48



Fuente: Gómez Johnson (2004). Texto Del Alumno Ingeniería De Tráfico.

Con este tipo de contador, los movimientos de dar vuelta en la intersección y los tipos de vehículos pueden ser registrados usando más de un contador. Por ejemplo, los volúmenes vehiculares se pueden recoger por una persona usando un contador mientras que los volúmenes de vehículos de pasajeros son registrados por otra persona usando otro contador. Observe que en general, la inclusión de camionetas y automóviles ligeros con cuatro neumáticos en la categoría de los vehículos de pasajeros no crea ninguna deficiencia significativa en los datos recogidos, puesto que las características de funcionamiento de estos vehículos son similares a las de los autobuses. En algunos casos, sin embargo, una interpretación más detallada de los vehículos comerciales puede ser requerida, que harían necesaria la recolección de datos según el número de ejes y/o del peso. Sin embargo, el grado de la clasificación del vehículo depende generalmente del uso anticipado de los datos recogidos.

Las desventajas principales del método manual de conteo electrónico son:

- Es dependiente de trabajo y puede por lo tanto ser costoso
- Está ligado a las limitaciones de factores humanos.
- No puede ser utilizado por períodos largos de tiempo.³

2.6.6.2. Métodos automáticos

Los métodos de conteo automáticos son métodos para obtener datos de volúmenes de tráfico a través del uso de detectores superficiales tales como: detectores neumáticos, contacto eléctrico, fotoeléctrico, radar, magnético, ultrasónico, infrarrojo, etc. Estos detectan el vehículo que pasa y transmiten la información a un registrador, que está ubicado a un lado del camino.³

³ Gómez Johnson, R.C. (2004). Texto Del Alumno Ingeniería De Tráfico.

2.7. CAPACIDAD VIAL

2.7.1. Principios y conceptos generales

2.7.1.1. Capacidad vial

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

Aparte del estudio de la capacidad de las carreteras y calles, el propósito que también se sigue, es el de determinar la calidad del servicio que presta cierto tramo o componente de arteria.

Teóricamente la capacidad (C_i), se define como la tasa máxima de flujo que puede soportar una carretera o calle. De manera particular, la capacidad de una infraestructura vial es el máximo número de vehículos (peatones) que pueden pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un intervalo de tiempo dado, bajo las condiciones prevalcientes de la infraestructura vial, del tránsito y de los dispositivos de control.

La infraestructura vial, sea esta una carretera o calle, puede ser de circulación continua o discontinua. Los sistemas viales de circulación continua no tienen elementos fijos externos al flujo de tránsito, tales como los semáforos, que produzcan interrupciones en el mismo. Los sistemas viales de circulación discontinua tienen elementos fijos que producen interrupciones periódicas del flujo de tránsito, tales como los semáforos, las señales de alto y otros tipos de regulación.

Dependiendo del tipo de infraestructura vial a analizar, se debe establecer un procedimiento para el cálculo de su capacidad.¹

2.7.2. Capacidad en vías interrumpidas

Cuando hablamos de capacidad en vías interrumpidas, nos referimos específicamente a la capacidad de calles o arterias dentro de una ciudad. Estas vías poseen características de

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). *Ingeniería De Tránsito*.

circulación que obedecen a interrupciones en períodos de tiempo o en longitudes determinadas dadas por las intersecciones, las cuales originan la interrupción del tráfico.

La determinación de la capacidad en este tipo de vías está dada por una capacidad teórica, una capacidad práctica y una capacidad real en función de factores de reducción:

$$C_{\text{Real}} = C_{\text{Práctica}} * \text{Factores de reducción}$$

$$C_{\text{Práctica}} = C_{\text{teórica}} * 0.9$$

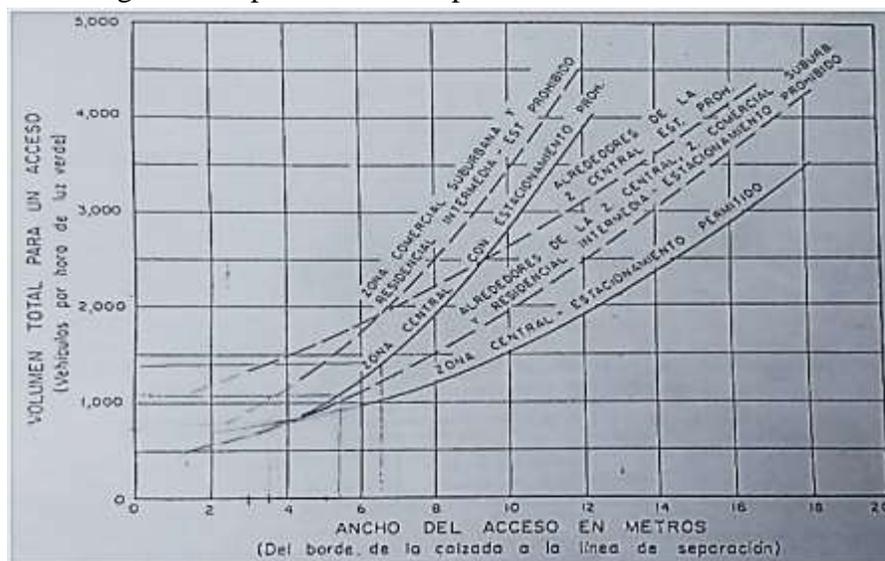
2.7.2.1. Capacidad teórica

La capacidad teórica ha sido estudiada en función a condiciones ideales como ser ancho de carril, visibilidad, velocidad de diseño, ciclo de semáforo, etc. Esas condiciones y tomando en cuenta las diferentes zonas de un área urbana la forma de estacionamiento cerca de la intersección es que se han establecido ábacos que nos proporcionan una capacidad básica ideal o teórica.

Por medio de la HCM se utiliza gráficos para determinar la capacidad ideal, en el cual se utiliza como dato para su utilización el ancho del acceso para las vías interrumpidas, tanto para un acceso y para dos accesos, es decir de un sentido de circulación y de doble sentido de circulación.

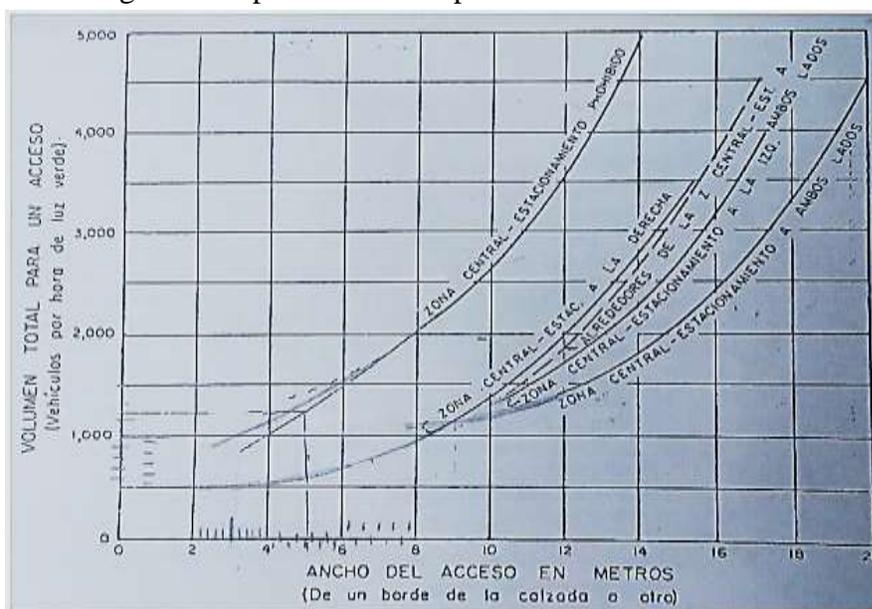
Estos gráficos son utilizados para determinar la capacidad en calles:

Figura 7: Capacidad teórica para accesos de dos sentidos



Fuente: Manual de Ingeniería de Tránsito – Guido Radelat

Figura 8: Capacidad teórica para accesos de un sentido



Fuente: Manual de Ingeniería de Transito – Guido Radelat

2.7.2.2. Capacidad práctica

La capacidad práctica, es un concepto de que por diferentes razones no siempre se van a mantener las condiciones ideales en la circulación; por lo tanto, se debe colocar un factor de seguridad de por lo menos el 10% con referencia a la capacidad teórica.

2.7.2.3. Capacidad real

La capacidad real, es el producto de la capacidad práctica por una serie de factores que reducen la capacidad de una intersección como ser el % de vehículos pesados, los movimientos de giro y las condiciones de estacionamiento cercanos a la intersección.¹

2.7.2.4. Factores de reducción

En la práctica existen diferentes factores que de una u otra manera influyen en la capacidad y por ello normalmente la reducen como ser los giros, la cantidad de vehículos pesados, las paradas antes y después de la intersección y los estacionamientos. Para ello tenemos los siguientes indicadores, para la determinación del % de reducción:

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). Ingeniería De Tránsito.

1º caso

Calles con circulación en ambos sentidos, sin carriles suplementarios ni indicaciones especiales de semáforos para los movimientos de giro; para este caso se sigue el siguiente procedimiento:

- a) La capacidad práctica es un 10% más bajo que los valores dados por el ábaco.
- b) Sustraer un 1% por cada 1% que los ómnibus y camiones pasen del 10% del número total de vehículos.
- c) Sustraer un 0,5 % por cada 1% que el tráfico que gira a la derecha pase del 10 % del volumen total.
- d) Sustraer un 1 % para cada 1 % que el tráfico que gira a la izquierda pase del 10 % del volumen total.

En ningún caso debe superar el 20% de reducción por movimiento de giro a la izquierda y la derecha.

- e) Por parada de ómnibus antes de la intersección restar el 10% y por parada después de la intersección, restar el 5 % en zonas centrales, 10% en zonas intermedias.
- f) Por estacionamiento permitido restar 1,8 m del ancho de acceso y luego hacer las condiciones ya indicadas.

2º caso

Calle con circulación en ambos sentidos con carril suplementario para movimientos de giros, pero sin indicación especial de semáforo.

Para este caso la metodología que se sigue es la siguiente:

- a) Se utiliza como capacidad práctica el valor del ábaco correspondiente.
- b) Añadir 5 % por carril suplementario a la derecha, 10 % por carril suplementario a la izquierda y 15% cuando existan carriles suplementarios a ambos lados del acceso.
- c) Por carril. De giro a la izquierda sumar el # de vehículos que giren a la izquierda, pero sin exceder la capacidad del carril suplementario. La capacidad del carril para girar a la izquierda debe ser estimada en términos del vehículo por hora de luz verde como la diferencia entre 1200 veh. y el volumen total de tránsito opuesto, con ello reajustar

el porcentaje de vehículos que hacen giros a la izquierda y hacen giros a la derecha y utilizar los mismos porcentajes de reducción del primer caso.

- d) Reducir por camiones y ómnibus 1% por cada 1% que pasen de 10% del volumen total de vehículos.

3° caso

Calles con circulación en un solo sentido.

Para este caso se determina la capacidad teórica a partir del segundo ábaco y se determina las siguientes correcciones:

- a) Se considera como capacidad práctica 10% menor al valor obtenido en el ábaco.
- b) Se reduce por omnibuses y camiones 1% por cada 1% que excede del 10% del volumen total.
- c) Sustraer el 0,5% por cada 1% del tráfico que gira a la derecha que pase del 10% del tráfico total.
- d) Sustraer el 1% por cada 1% del tráfico que gira a la izquierda y pasa del 10% del volumen total.
- e) Por paradas de omnibuses antes de la intersección restar 10% si está después de la intersección, 5% en zonas centrales y 10% en zonas intermedias.
- f) Por estacionamiento permitido restar 1,8 m del ancho de acceso y luego hacer las correcciones ya indicadas.
- g) Agregar el 5% por carril suplementario para giros derecha y para giros izquierda y 10% si existen carriles suplementarios en los accesos.

2.7.3. Capacidad en intersecciones con semáforo

La capacidad en una intersección con semáforo se define para cada acceso, como la tasa de flujo máxima que puede pasar a través de la intersección bajo condiciones prevalecientes de tránsito, de la calle y del semáforo. Se mide en vehículos por hora (vph.) con base en flujos que tienen periodos pico de 15 minutos.

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

Las condiciones prevalecientes de la calle describen las características geométricas de los accesos en términos del número y ancho de carriles, pendientes y uso de carriles incluyendo carriles de estacionamiento. Las condiciones prevalecientes del semáforo incluyen la secuencia de fases, asignación de tiempos y el tipo de operación o control. Entonces, para el análisis de la capacidad se debe calcular la relación volumen a capacidad (v/c) para movimientos críticos en carriles simples o grupos de carriles en todo el acceso. La relación se determina dividiendo, para los 15 minutos pico, el flujo actual y del acceso o grupo de carriles entre su capacidad c . Un grupo de carriles, es un conjunto de carriles de un acceso que carga un conjunto de flujos vehiculares, formado con base en las características geométricas del acceso y en las características de los flujos vehiculares.¹

2.8. NIVEL DE SERVICIO

Para medir la calidad del flujo vehicular se usa el concepto de nivel de servicio. Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular y de su percepción por los motoristas y/o pasajeros. Estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial.

De los factores que afectan el nivel de servicio, se distinguen los internos y los externos. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones en la velocidad, en el volumen, en la composición del tránsito, en el porcentaje de movimientos de entrecruzamientos o direccionales, etc.

Entre los externos están las características físicas, tales como la anchura de los carriles, la distancia libre lateral, la anchura de acotamientos, las pendientes, etc.³

El Manual de Capacidad de Carreteras de 1985, Special Report 209, del TRB, traducido al español por la Asociación Técnica de Carreteras de España, ha establecido seis niveles de servicio denominados: A, B, C, D, E y F, los cuales son aplicados por el Servicio Nacional de Caminos de Bolivia, dichos niveles son:

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). *Ingeniería De Tránsito*.

³ Gómez Johnson, R.C. (2004). *Texto Del Alumno Ingeniería De Tráfico*.

- **Nivel de servicio “A”**

Representa una circulación a flujo libre. Los usuarios, considerados en forma individual, están virtualmente exentos de los efectos de la presencia de otros en la circulación. Poseen una altísima libertad para seleccionar sus velocidades deseadas y maniobrar dentro del tránsito. El nivel general de comodidad y conveniencia proporcionado por la circulación al motorista, pasajero o peatón, es excelente. ¹

Figura 9: Nivel de servicio A



Fuente: Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. Ingeniería De Tránsito

- **Nivel de servicio “B”**

Está dentro del rango del flujo estable, aunque se empiezan a observar otros vehículos integrantes de la circulación.

La libertad de selección de las velocidades deseadas sigue relativamente inafectada, aunque disminuye un poco la libertad de maniobra en relación con la del nivel de servicio A. El nivel de comodidad y conveniencia es algo inferior a los del nivel de servicio A, porque la presencia de otros comienza a influir en el comportamiento individual de cada uno. ¹

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). Ingeniería De Tránsito.

Figura 10: Nivel de servicio B



Fuente: Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. Ingeniería De Tránsito

- **Nivel de servicio “C”**

Pertenece al rango del flujo estable; pero, marca el comienzo del dominio en el que la operación de los usuarios individuales se ve afectada de forma significativa por las interacciones con los otros usuarios. La selección de velocidad se ve afectada por la presencia de otros, y la libertad de maniobra comienza a ser restringida. El nivel de comodidad y conveniencia desciende notablemente.¹

Figura 11: Nivel de servicio C



Fuente: Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. Ingeniería De Tránsito

- **Nivel de servicio “D”**

Representa una circulación de densidad elevada, aunque estable. La velocidad y libertad de maniobra quedan seriamente restringidas, y el conductor o peatón experimenta un nivel general de comodidad y conveniencia bajo.

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). Ingeniería De Tránsito.

Los pequeños incrementos del flujo generalmente ocasionan problemas de funcionamiento.¹

Figura 12: Nivel de servicio D



Fuente: Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. Ingeniería De Tránsito

- **Nivel de servicio “E”**

El funcionamiento está en él, o cerca del límite de su capacidad. La velocidad de todos se ve reducida a un valor bajo, bastante uniforme. La libertad de maniobra para circular es extremadamente difícil y se consigue forzando a un vehículo o peatón a “ceder el paso”. Los niveles de comodidad y conveniencia son enormemente bajos, siendo muy elevada la frustración de los conductores o peatones. La circulación es normalmente inestable, debido a que los pequeños aumentos del flujo o ligeras perturbaciones del tránsito producen colapsos.¹

Figura 13: Nivel de servicio E



Fuente: Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. Ingeniería De Tránsito

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). Ingeniería De Tránsito.

- **Nivel de servicio “F”**

Representa condiciones de flujo forzado. Esta situación se produce cuando la cantidad de tránsito que se acerca a un punto, excede la cantidad que puede pasar por él. En estos lugares se forman colas, donde la operación se caracteriza por la existencia de ondas de parada y arranque, extremadamente inestables.¹

Figura 14: Nivel de servicio F



Fuente: Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. Ingeniería De Tránsito

2.8.1. Niveles de servicio en intersecciones con semáforo

El nivel de servicio de una intersección con semáforos se define a través de las demoras, las cuales representan para el usuario una medida del tiempo perdido de viaje, del consumo de combustible, de la incomodidad y de la frustración. Específicamente, el nivel de servicio se expresa en términos de la demora media por vehículo debido a los controles. Las demoras cuantifican el incremento en el tiempo de viaje por la presencia de los semáforos, que obligan a los vehículos a detenerse. El nivel de servicio para toda la intersección o para un determinado acceso, se determina solamente con base en la demora. A su vez, el nivel de servicio de un grupo de carriles, se define con base en las demoras y en la relación volumen/capacidad (v/c).¹

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). Ingeniería De Tránsito.

- **Nivel de servicio A**

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

- **Nivel de servicio B**

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

- **Nivel de servicio C**

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

- **Nivel de servicio D**

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

- **Nivel de servicio E**

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

- **Nivel de servicio F**

Operación con demoras superiores a los 80 segundos por vehículo. Los flujos de llegada exceden la capacidad de los accesos de la intersección, lo que ocasiona congestionamiento y operación saturada, con relaciones v/c mayores a 1.0.¹

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). *Ingeniería De Tránsito*.

2.8.2. Criterios de análisis de capacidad y nivel de servicio

Los factores externos que afectan el nivel de servicio, como los físicos, pueden ser medidos a una hora conveniente. En cambio, los factores internos, por ser variables, deben ser medidos durante el periodo de mayor flujo, como por ejemplo de la hora de máxima demanda. El flujo de vehículos en la hora de máxima demanda no está uniformemente distribuido en el lapso.¹

Para tomar esto en cuenta, es conveniente determinar la proporción del flujo para un periodo de máximo dentro de la hora de máxima demanda. Usualmente se acostumbra un periodo de 15 minutos, y como se analiza en este capítulo, sobre el volumen, el factor de la hora de máxima demanda es:

$$FHMD = \frac{VHMD}{4(q_{max})}$$

Donde:

VHMD = Volumen horario de máxima demanda

qmax= Flujo máximo durante 15 minutos.

Por lo general, no se realizan estudios de capacidad para determinar la cantidad máxima de vehículos que puede alojar cierta parte de una carretera 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 qué flujos, o volúmenes, y a qué plazo se llegará a la capacidad de esa parte del sistema vial.

En función del nivel de servicio estará el número de vehículos por unidad de tiempo que puede admitir la carretera o calle, al cual se le denomina *flujo de servicio*. Este flujo va aumentando a medida que el nivel de servicio va siendo de menor calidad, hasta llegar al nivel *E*, o capacidad del tramo de carretera o calle. Más allá de este nivel se registrarán condiciones más desfavorables, por ejemplo, con nivel *F*, pero no aumenta el flujo de servicio, sino que disminuye.¹

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). *Ingeniería De Tránsito*.

Tradicionalmente se ha considerado la velocidad como el principal factor usado para identificar el nivel de servicio. Sin embargo, los métodos modernos introducen, además de la velocidad media de recorrido, dos nuevos factores: la densidad para casos de circulación continua y la demora para casos de circulación discontinua.¹

En cualquiera de los casos un factor primordial para valorar el grado de utilización de la capacidad de un sistema vial y, por consiguiente, su nivel de servicio, es la relación entre el flujo y la capacidad (q/q_{max} , v/c), ya sea entre el flujo de demanda y la capacidad, o bien la relación entre el flujo de servicio y la capacidad, según el problema específico. En situaciones donde se conoce la demanda y la capacidad y se desea determinar el nivel de servicio, $q = v$ representa el flujo de demanda. En el caso cuando se conoce la capacidad y se especifica un determinado nivel de servicio, $q = v$ representa el flujo de servicio posible con dicho nivel.

En condiciones ideales, el flujo de servicio siempre será una fracción de la capacidad.

La determinación de estos factores y los procedimientos de análisis están contenidos en los manuales de HCM. Se resalta que el Highway Capacity Manual de 2010 editado por el transportation Research Board de los Estados Unidos, constituye el más extenso trabajo realizado hasta la fecha sobre la capacidad de carreteras y calles, y aunque muchos de los factores pueden corresponder a condiciones específicas de la vialidad en Estados Unidos; se ha utilizado en otros países con resultados muy positivos, y donde los procedimientos los han permitido, se ha incorporado información de estudios locales, adaptando el Manual a las condiciones propias de cada país.

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 en tramo recto; un tramo con curvas; un tramo con pendientes; el acceso a una intersección; un tramo de entrecruzamiento; una rampa de enlace; etc.¹

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). *Ingeniería De Tránsito*.

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

- El flujo y la capacidad, bajo condiciones prevalecientes, se expresan en vehículos mixtos por hora para cada tramo de la carretera o calle.
- El nivel de servicio se aplica a un tramo significativo de la carretera o calle. Dicho tramo, debido a variaciones en el flujo de vehículos o en su capacidad.
- Las variaciones en capacidad provienen de cambios en anchura, por pendientes, por restricciones laterales, por intersecciones, etc. Las variaciones de flujo se originan por cierta cantidad de vehículos que entran y salen del tramo en ciertos puntos a lo largo de él. El nivel de servicio del tramo debe tomar en cuenta, por lo tanto, el efecto general de estas limitaciones.
- Los elementos usados para medir la capacidad y los niveles de servicio con variables, cuyos valores se obtienen fácilmente de los datos disponibles. Por lo que corresponde a la capacidad, se requieren el tipo de infraestructura vial, sus características geométricas, la velocidad media de recorrido, la composición del tránsito y las variaciones del flujo. Por lo que toca al nivel de servicio, los factores adicionales que se requieren incluyen la densidad, la velocidad media de recorrido, las demoras y la relación flujo a capacidad.
- Por razones prácticas se han fijado valores de densidades, velocidades medias de recorrido, demoras y relaciones de flujo a capacidad, que definen los niveles de servicio para autopistas, carreteras de carriles múltiples, carreteras de dos carriles, calles, intersecciones con semáforos e intersecciones sin semáforo o de prioridad.
- El criterio utilizado para una identificación práctica de los niveles de servicio de las diversas infraestructuras viales, establece que se deben considerar las medidas de eficiencia mostrada en la tabla siguiente.¹

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). *Ingeniería De Tránsito*.

Tabla 3: Medidas de eficiencia

Tipo de infraestructura vial	Medidas de eficiencia
Autopistas Segmentos básicos de autopistas Entrecruzamientos Rampas de enlace	Densidad (Vehículo ligero / km / carril) Velocidad media de recorrido (km / h) Tasas de flujo (vehículo ligero / h)
M Carreteras Multicarriles De dos carriles	Densidad (Vehículo ligero / km / carril) Demora porcentual (%) y velocidad media de recorrido
Intersecciones con semáforo	Demora media individual por paradas (seg / veh.)
Intersecciones sin semáforo	Capacidad remanente (vehículo ligero / h)
Arterias	Velocidad media de recorrido (km / h)
Transporte colectivo	Factor de carga (personas / asiento)
Peatones	Espacio (m ² / peatón)

Fuente: TRB. Highway Capacity Manual. HCM 2000

2.8.3. Determinación del nivel de servicio

Para evaluar el funcionamiento de las intersecciones afectadas se utilizaron las técnicas del "Highway Capacity Manual" (HCM2000) que establece que el nivel de servicio de una intersección semaforizada está dado por la demora promedio que sufren los vehículos en ella y en una intersección no semaforizada por su factor de carga (relación V/C).

Tabla 4: Niveles de servicio en intersecciones con semáforos

Nivel de servicio	Demora por control (seg/veh)
A	$d \leq 10$
B	$10 < d < 20$
C	$20 < d < 35$
D	$35 < d < 55$
E	$55 < d < 80$
F	$d > 80$

Fuente: TRB. Highway Capacity Manual. HCM 2000

Tabla 5: Niveles de servicio en intersecciones sin semáforos

Niveles de servicio y volúmenes de servicio máximos 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 a flujo inestable	$\leq 0,70$
E	Flujo inestable	1,0
F	Flujo forzado	-b'

Fuente: TRB. Highway Capacity Manual. HCM 2000

2.9. TRANSPORTE PÚBLICO

El transporte público o transporte en común es el término aplicado al transporte colectivo de pasajeros. A diferencia del transporte privado los viajeros del transporte público tienen que adaptarse a los horarios y a las rutas que ofrezca el operador y dependen en mayor o menor medida de la intervención regulatoria del Gobierno.

El transporte público urbano puede ser proporcionado por una o varias empresas privadas o por consorcios de transporte público. Los servicios se mantienen mediante cobro directo a los pasajeros. Normalmente son servicios regulados y subvencionados por autoridades locales o nacionales. Existen en algunas ciudades servicios completamente subvencionados, cuyo costo para el viajero es gratuito.

Dentro de los elementos que tiene un sistema de transporte, en los sistemas de transporte público, la demanda está dada por las personas (pasajeros) y la oferta está dada por los vehículos, la infraestructura, los servicios y los operadores (conductores). En cambio, en muchos sistemas de transporte privado, la persona en un vehículo son parte de la demanda y las vías son la oferta.

2.9.1. Calidad y eficiencia del transporte público

La calidad y eficiencia debe ser considerada en el sistema de transporte y del ambiente urbano. El transporte incide en la eficiencia de la ciudad. Un transporte público con calidad y eficiencia depende de cinco factores: concientización, planeamiento, gestión, legislación y educación/capacitación.

El principal motivador de un buen servicio de transporte son la calidad de vida, la equidad e inclusión de los habitantes.

Una buena planeación debe responder a las necesidades de crecimiento de la ciudad e ir de la mano con el plan de desarrollo municipal y regional. La gestión del sistema de transporte debe atender con calidad y seguridad las necesidades de viaje de sus habitantes. La legislación debe tener reglas claras para generar confianza a los inversionistas, acompañada de una planeación y gestión que ofrezca indicadores adecuados. La educación y la capacitación es una tarea permanente para obtener calidad y eficiencia, realizando lo que le compete a cada actor: usuario, operador, transportista, comunidad y gobierno.¹

2.9.2. Clasificación del transporte público

Transporte terrestre:

Transporte por carretera: Autobús, autobús escolar, autobús ínter-urbano, autobús de tránsito rápido, trolebús y taxi.

Transporte por ferrocarril: Tranvía, tren ligero, metro, tren y tren de alta velocidad.

Transporte marítimo y fluvial:

Transbordador (ferry)

Catamarán

Lancha colectiva

Góndola

Transporte aéreo:

Teleférico

Telecabina.

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). *Ingeniería De Tránsito*.

2.9.3. Transporte público urbano

El transporte público urbano permite el desplazamiento de personas de un punto a otro en el área de una ciudad y es, por tanto, parte esencial de las ciudades.

A medida que la congestión del tráfico sigue creciendo en las zonas urbanas, cada vez son más las ciudades que se han dado cuenta de que se debe dar prioridad a la inversión en los modos de transporte público, como los trenes de metro, los sistemas de autobuses de tránsito rápido (BRT) o los autobuses y la bicicleta pública en lugar de los coches.

Disminuye la contaminación, ya que se usan menos automóviles para el transporte de personas, además de permitir el desplazamiento de personas que, no tienen auto y necesitan recorrer largas distancias. Tampoco debemos olvidar que hay personas que, teniendo auto, a veces no lo usan por los atascos o las dificultades de estacionar y prefieren (al menos en algunas ocasiones) el transporte público, que es visto como una externalidad positiva y por lo tanto podría ser subsidiado su uso con fondos públicos por disminuir la congestión de tráfico y la contaminación (menor cantidad de contaminantes por pasajero transportado).

2.9.3.1. Autobús

Los autobuses son prácticos y eficientes en rutas de corta y media distancia, siendo frecuentemente el medio de transporte más usado a nivel de transportes públicos por constituir una opción económica. Las compañías de transporte buscan establecer una ruta basada en un cambio o aproximado de pasajeros en el área a ser tomada. Una vez establecida la ruta, se construyen las paradas de autobuses a lo largo de esa ruta.

Sin embargo, dada su baja capacidad de pasajeros, no son eficientes en rutas de mayor uso. Los autobuses, en rutas altamente usadas, producen mucha contaminación, debido al mayor número de autobuses que son necesarios para el transporte eficiente de pasajeros en esa ruta. En este caso, es mejor el ferrocarril.

2.9.3.2. Taxi

El taxi es usado por personas que prefieren comodidad y agilidad, o cuando otro transporte público en una región dada es inexistente. Es un vehículo de alquiler con un conductor (taxista), que se utiliza en el servicio de transporte de uno o un grupo pequeño de pasajeros

dirigidos a diferentes destinos por contrato o dinero. Usualmente, en modos de transporte público, los lugares donde se recoge y se deja el pasajero se deciden por el proveedor (oferente), mientras que, en el caso del taxi, el usuario (demandante) los determina.

Es decir, a diferencia de los otros tipos de transporte público, como son las líneas del metro, tranvía o del autobús, el servicio ofrecido por el taxi se caracteriza por ser *puerta a puerta*. La palabra «taxi», según el *Diccionario de la lengua española*, es una forma abreviada de la palabra «taxímetro», que a su vez deriva del griego τάξις, «tasa» y el griego μέτρον, que significa «medida».

2.9.3.3. Transporte público informal

Muchos países subdesarrollados se enfrentan al problema del transporte público ilegal. En varias ciudades muchas personas, para sobrevivir, cobran una tarifa fija por transportar ilegalmente, personas en vehículos (los taxis son los más comunes) no licenciados, haciéndose pasar por un transporte oficial.

Esto causa grandes perjuicios económicos para las compañías de transporte público que operan en la ciudad (debidamente licenciadas por el órgano de transporte oficial de la ciudad/país). Este tipo de transporte también pone en peligro la vida de los pasajeros transportados, debido al uso de vehículos no inspeccionados, que presentan a veces problemas mecánicos o debido al conductor que, al no ser certificado por la autoridad correspondiente, es causante de choques, entorpecimiento del flujo vehicular y, en ocasiones, tragedias mayores, al no respetar los reglamentos establecidos.

Además, entre los peligros que existen para los usuarios de este tipo de transporte se encuentra un alto índice de delincuencia (robos o asaltos e, incluso, secuestros), ya que muchos grupos de delincuentes crean estas falsas unidades de transporte para dedicarse a este tipo de prácticas delictivas, llamando la atención de sus víctimas al cobrar una tarifa menor a la establecida.¹

En las ciudades que más afecta este problema se implementan estrategias para reducir estas irregularidades, revisando que todas las unidades en circulación cumplan con todas las normas establecidas para un mejor servicio a los usuarios.

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). *Ingeniería De Tránsito*.

A pesar de ser ilegal, este género de servicio es bastante usado por la población en general, por dos razones:

- Falta de transporte público adecuado en la región, especialmente en regiones aisladas.
- Por la flexibilidad que aportan y el sentido de oportunidad con que operan (rutas mejor asociadas a los esquemas locales, motilidad circunstancial de horarios y trayectos, paradas personalizadas, etc.).
- Aun cuando se dispone de métodos legales de transporte público, varias personas aún usan los métodos ilegales de transporte, ya que a menudo cobran menos a sus pasajeros, que no pueden pagar más caro por usar el transporte público legal. Comúnmente este tipo de transporte suele llamarse pirata, porque corren desobedeciendo las Leyes.¹

2.9.4. Ventajas y desventajas del transporte público

- Los transportes públicos son mucho más eficaces que los transportes individuales en términos de consumo de energía, excepto el avión, que es el modo de transporte más contaminante por pasajero.
- No obstante, eso depende del tipo de empleo medio; en el caso de los desplazamientos domicilio-trabajo, este tipo es estructuralmente bajo ya que todos los desplazamientos se hacen en un sentido por la mañana y en el otro al final de la jornada. Se habla entonces de migración pendular, crea dos zonas de sobreactividad al principio y al final de la jornada. La curva de la actividad de los transportes públicos sigue esta evolución de la demanda y presenta dos picos que corresponden a las horas punta en cada extremidad y una depresión en el centro que corresponde a una actividad mínima durante las cuales los vehículos están menos frecuentados. Este fenómeno se llama *camello* en la jerga de los transportes de pasajeros.
- Los transportes públicos facilitan la circulación, un autobús, por ejemplo, puede transportar a más de a 60 personas utilizando la misma superficie que dos coches que por término medio están ocupadas por 1,08 personas.
- Los transportes públicos no ocupan espacio de aparcamiento.

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). *Ingeniería De Tránsito*.

- En proporción a los viajeros que llevan, los transportes públicos ocupan mucho menos espacio, consumen menos energía en su uso, consumen menos recursos en su construcción, que el automóvil privado.
- Los transportes públicos con carril reservado o subterráneos no sufren problemas de atascos.
- Los transportes públicos pueden requerir, según el medio utilizado, inversiones importantes. Sin embargo, el automóvil privado también requiere inversiones muy cuantiosas (calles, túneles, autopistas, sitio para aparcamiento, etc.), que en muchos casos se financian con impuestos.
- Además, no prestan el mismo servicio que un medio de transporte individual: somete al usuario a horarios, se limita el transporte de equipaje, etc. Se acusa a los transportes públicos de "rigidez de trayectos" y de "rigidez de horarios". La "rigidez de trayectos" significa que el trayecto está ya definido de antemano (esto obviamente no se puede aplicar al taxi). La "rigidez de horarios" se refiere a que solo se puede encontrar a determinadas horas. Sin embargo, con una buena red de transporte público se pueden cubrir todos los trayectos posibles (con transbordo o sin ellos) con un tiempo de espera corto.
- Pueden ser más rápidos que los transportes individuales, a condición de que las redes sean bastante densas y los servicios de comunicación bastante frecuentes, lo que no es el caso a menudo, por ejemplo, para los desplazamientos de suburbio a suburbio o en el medio rural.
- El uso de medios de transporte de forma masiva contribuye a la disminución de los atascos en las ciudades y para fomentarlo, algunas ciudades como Londres han creado un servicio de peajes.

En medio urbano, conviene señalar que la bicicleta es un modo de transporte cuya eficacia supera en algunas condiciones a la de los transportes públicos, en términos de rapidez, de flexibilidad de utilización y consumo de energía. Sin embargo, no garantiza el mismo servicio, ni el mismo nivel de comodidad, en particular, en caso de inclemencias del tiempo.¹

¹ Cal & Mayor Reyes Espíndola, R. (9ª Edición). *Ingeniería De Tránsito*.

Muchas de las ventajas e inconvenientes de los transportes públicos se pueden examinar comparando con las ventajas e inconvenientes del automóvil.

2.10. TRANSPORTE PÚBLICO EN LA CIUDAD DE TARIJA

2.10.1. Generalidades

Un factor muy importante dentro de la Ingeniería de tráfico es el transporte público, que en conjunto con los otros factores como ser: Volúmenes de tráfico, velocidades, capacidad, etc., nos proporcionan los elementos para elaborar un plan de ordenamiento vehicular y peatonal de una ciudad.

Desde hace aproximadamente una decena de años el índice del incremento vehicular en la ciudad de Tarija es muy alto y está en constante ascenso progresivo por lo que algunas de las vías más importantes de la ciudad de un tiempo a esta parte, el flujo vehicular se tornó caótico, especialmente en horas y días pico. A medida que pasaron los años este caos vehicular se fue incrementando principalmente por no haberse realizado la regulación respectiva.

2.10.2. Transporte habitual usado

En la actualidad la composición del Transporte público es la siguiente:

- Micros
- Taxi - trufis
- Taxis
 - Taxis regularizados o sindicalizados
 - Taxis informales o no sindicalizados
- Servicios de carga urbana

Micros. - Son vehículos de transporte de pasajeros, con una capacidad de 21 asientos, con carrocería metálica que proporcionan la comodidad y seguridad del servicio.

Taxi - trufis. - Son vagonetas que prestan servicios en la modalidad de Ruta fija, con capacidad de 4 a 6 asientos, estos vienen a reemplazar a los populares minibuses. El principal objetivo de este servicio es minimizar el tiempo de transporte entre un extremo y otro de la ciudad, por lo que no ingresan al centro de la ciudad. Las rutas son similares entre una y otra línea, variando mayormente sus salidas y destinos.

Taxis. - Es un medio de transporte que permite desplazamientos rápidos confortables y directos principalmente en áreas urbanas, ofrece servicios de transporte de una persona o un grupo pequeño de pasajeros dirigidos al mismo destino. Este tipo de modalidad no tiene rutas fijas establecidas, su espectro de servicio es más amplio y por lo tanto es de acuerdo a la necesidad del usuario.

Taxi sindicalizado o regularizado. - Son aquellos taxis que cumplen con la normatividad correspondiente para prestar dicho servicio. En nuestro medio se considera taxis regularizados a todos aquellos que pertenecen a los siguientes sindicatos: 4 de julio, 26 de marzo, 15 de abril, Juan XXIII, Ktaxi Tarija, Andaluz, Full Móvil, Moto Méndez, Taxi Tarija, Full Móvil, Remix, Sinaí, Churo taxi.

Taxis no sindicalizados. - Son automóviles registrados como particulares que prestan servicio de taxis de manera ilegal y en muchas ocasiones de manera eventual.

El sistema del transporte público urbano no sindicalizado que predomina en la ciudad de Tarija son los taxis, mejor conocidos como taxis informales que operan de manera individual y con letreros removibles. Los cuales se pueden identificar solamente por no portar ningún logotipo de empresas afiliadas al transporte de pasajeros; esto debido a que en nuestro medio no existe la distinción de los taxis regularizados con un color específico.

Figura 15: Taxi sindicalizado y taxi no sindicalizado



Fuente: Elaboración propia

Servicios de carga urbana. - Son atendidos por: camiones, camionetas, furgonetas de transporte de carga, reparticiones de mercadería, productos alimenticios, bebidas, refrescos, vehículos cisternas para transporte de gasolina, etc.

CAPÍTULO III
APLICACIÓN PRÁCTICA

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1. IDENTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Para determinar la zona de estudio se tomaron como referencia a las calles de mayor influencia vehicular en cuanto al transporte público como privado, considerando parámetros como la velocidad y el volumen.

Primeramente, se establecieron las rutas más transitadas por el transporte público con rutas establecidas (micros y taxi-trufis), debido a que son las rutas más afectadas por el congestionamiento vehicular sobre todo en las horas pico. Por lo tanto, son las rutas que requieren con mayor prioridad la propuesta de soluciones para mejorar su condición crítica del flujo vehicular. Así mismo, el sistema de transporte a analizar, es decir los taxis tienden a transitar por estas rutas en busca de pasajeros.

Posterior a esto se delimitó el perímetro de análisis de cada calle previamente seleccionada considerando la velocidad de circulación mínima que se alcanza a lo largo del trayecto de cada ruta.

Finalmente se seleccionó tres intersecciones del perímetro de estudio determinado de cada calle determinada; considerados los más afectados por este tipo de transporte; por lo tanto, los puntos representativos para realizar el análisis correspondiente.

Las rutas e intersecciones seleccionadas son las siguientes:

Tabla 6: Puntos de estudio

N°	Calle	Intersección
1	Cochabamba	Venezuela
2		Corazón de Jesús
3		Damaso Aguirre
4	Av. Domingo Paz	Juan Misael Saracho
5		Campero
6		Gral. Trigo
7	Corrado	Colón
8		Daniel Campos
9		Sucre
10	Bolívar	Gral. Trigo
11		Sucre
12		Daniel Campos
13	Ingavi	Daniel campos
14		Sucre
15		Gral. Trigo
16	Campero	15 de Abril
17		Ingavi
18		Bolívar
19	Colón	Ingavi
20		Bolívar
21		Domingo Paz
22	Junín	Bolívar
23		Domingo Paz
24		Av. Potosí
25	O'connor	Domingo Paz
26		Bolívar
27		Av. Victor Paz
28	Av. La Paz	Bolívar
29		Av. Belgrano
30		Av. Jaime Paz
31	Héroes de la Independencia	Av. Los Parrales
32		25 de Mayo
33		Av. Los Molles
34	Av. La Gamoneda	Av. Delio Echazú
35		Aniceto Arce
36		Av. Circunvalación

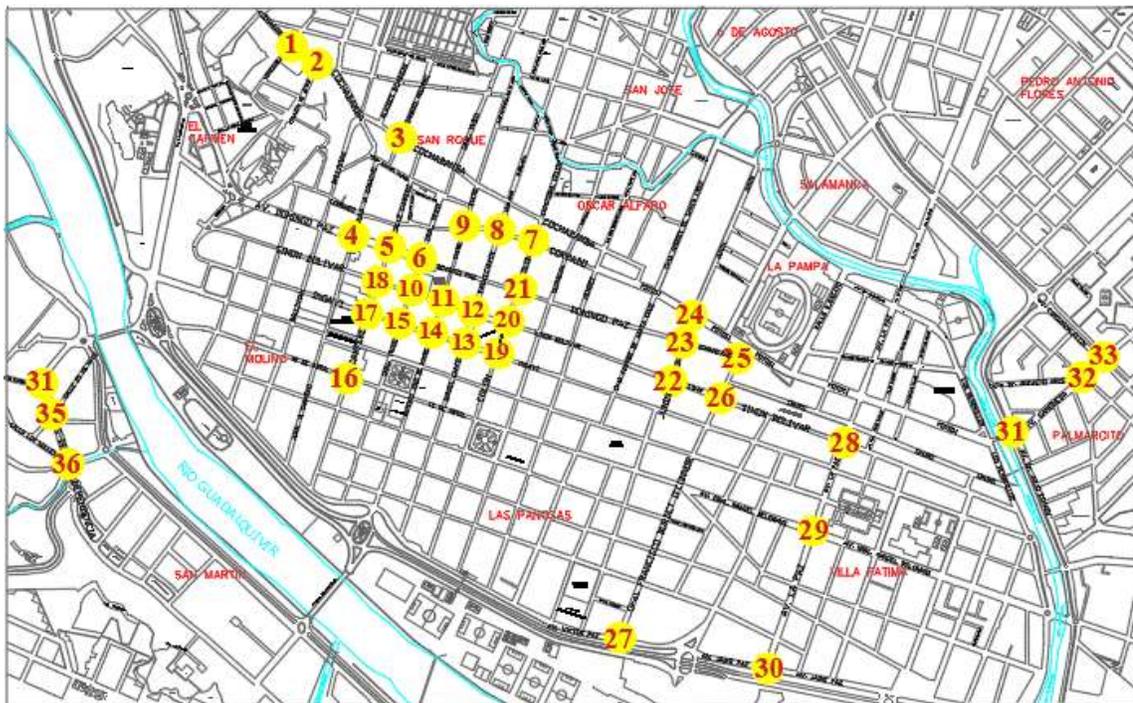
Fuente: Elaboración propia

3.2. Características del área de estudio

Las intersecciones seleccionadas se caracterizan por ser las más transitadas por el transporte público y por estar ubicadas en zonas comerciales, rodeadas de instituciones públicas y privadas dentro del área urbana de la ciudad.

El área de estudio está compuesta por trece intersecciones sin semáforo y veintitrés intersecciones semaforizadas, tal y como se ilustra en la figura a continuación.

Figura 16: Intersecciones de estudio



Fuente: Elaboración propia

3.3. Estudios de tráfico en el área definida

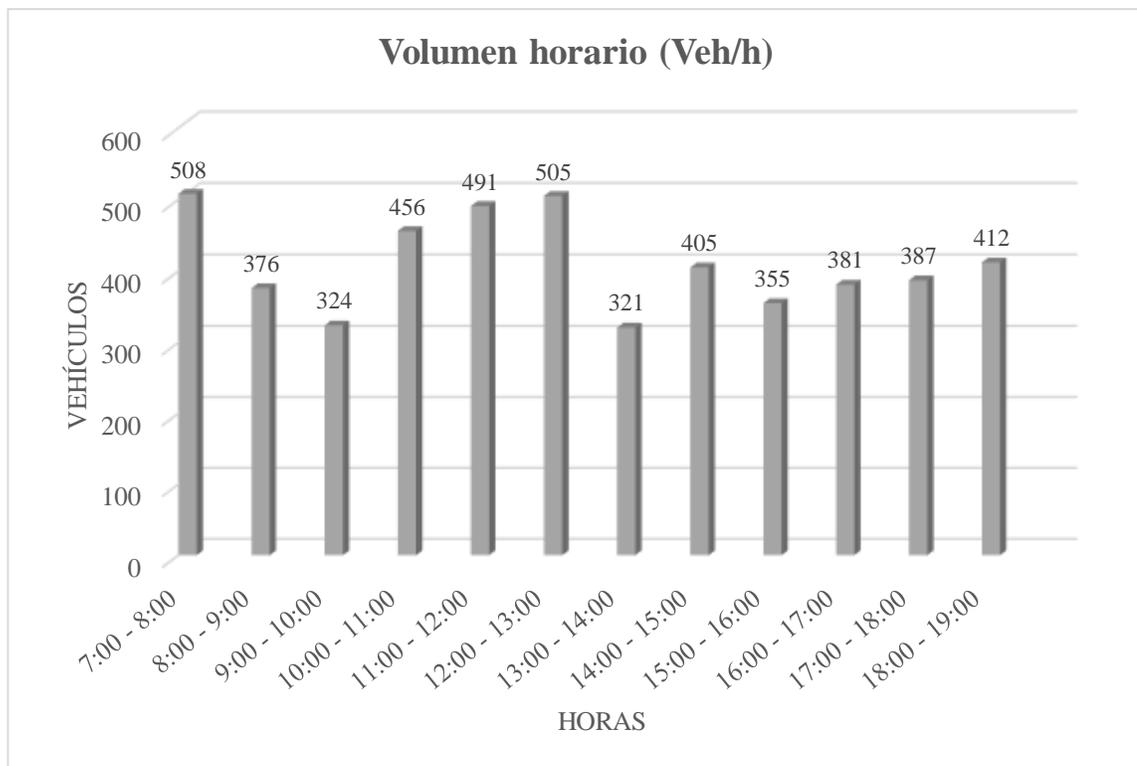
3.3.1. Determinación de las horas pico

Es necesario conocer las horas en las que las intersecciones funcionan a su máxima demanda; por ello, se tomó un acceso de las rutas estudiadas considerado el más crítico y ubicado en el punto medio de toda el área definida a analizar; en él se realizó el respectivo aforo para determinar un diagrama de distribución horaria-volumétrica vehicular.

La medición contempla la cantidad de vehículos que atraviesan el acceso en una hora, durante un periodo de 12 horas que se contemplan desde las siete de la mañana hasta las siete de la noche.

De acuerdo a los volúmenes aforados se tiene la siguiente gráfica que muestra el comportamiento del flujo del tráfico a lo largo del día, en el que se puede apreciar que las horas pico se establecen en los horarios de 07:00 a 08:00, 12:00 a 13:00 y 18:00 a 19:00, teniendo la caracterización de tomar una hora de máxima demanda en la mañana, otra al medio día y otra en la tarde. De acuerdo a estos resultados se realizan las aforaciones correspondientes en los horarios establecidos por tres días a la semana durante un mes en cada una de las 30 intersecciones.

Figura 17: Histograma de horas pico



Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Volumen de tráfico

Para obtener el volumen de los accesos de todas las intersecciones, se realizan las aforaciones correspondientes en los horarios establecidos por tres días a la semana (dos días hábiles y un día de fin de semana) durante un mes en cada una de las 30 intersecciones.

Una vez obtenidos los datos en campo procedimos a realizar su tabulación y depuración de estos calculando primero la dispersión de todos los datos, es decir entre qué valores máximos y mínimos puede estar comprendido el valor obtenido en los aforos de cada giro de los accesos.

Para definir este rango de depuración primero encontramos la media aritmética y la desviación estándar, concluimos con desechar todos los datos que no estén comprendidos en dicho rango establecido.

Posteriormente realizamos los cálculos correspondientes del promedio de los aforos realizados en los 3 horarios pico (07:00 a 08:00, 12:00 a 13:00 y 18:00 a 19:00), se estimaron los porcentajes de volúmenes por sentido en cada acceso que conforma una a una las intersecciones, como así también los volúmenes totales de cada uno de los accesos, tal y como indican los siguientes cuadros.

Las tablas 7, 8 y 9: Tabulación de datos y la tabla 10: Volúmenes totales de la intersección Corrado - Colón, representan la planilla de tabulación y volúmenes, el resto de las planillas de las demás intersecciones se muestran en el anexo I y anexo II

Figura 18: Aforo vehicular intersección Colón - Ingavi



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7: Datos tabulados (7:00 - 8:00) intersección Corrado - Colón

Hora de aforo: 7:00 - 8:00 (Mañana)	Sentido de circulación vehicular	Acceso 1 (A1)						Acceso 2 (A2)						
		Recto ←			Giro derecho ↻			Recto ↑			Giro izquierdo ↻			
		Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados	
Lunes	Tipo de vehículo	72	12	0	0	0	0	8	8	0	0	0	0	0
	Públicos no sindicalizado	56	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0
Viernes	Públicos no sindicalizado	76	20	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0
	Públicos no sindicalizado	24	48	0	0	0	0	48	8	0	0	8	20	0
Domingo	Públicos no sindicalizado	96	0	0	0	0	0	192	0	0	0	8	0	0
	Públicos no sindicalizado	128	24	0	0	0	0	96	4	0	0	32	0	0
Lunes	Públicos no sindicalizado	54	10	0	0	0	0	42	5	0	0	8	7	0
	Públicos no sindicalizado	102	0	0	0	0	0	78	0	0	0	10	0	0
Viernes	Públicos no sindicalizado	120	16	0	0	0	0	102	4	0	0	4	0	0
	Públicos no sindicalizado	60	0	0	0	0	0	12	4	0	0	4	0	0
Domingo	Públicos no sindicalizado	56	0	0	0	0	0	48	0	0	0	8	0	0
	Públicos no sindicalizado	64	16	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0
Lunes	Públicos no sindicalizado	32	56	0	0	0	0	60	12	0	0	16	24	0
	Públicos no sindicalizado	88	0	0	0	0	0	148	0	0	0	12	0	0
Viernes	Públicos no sindicalizado	104	28	0	0	0	0	104	4	0	0	44	4	0
	Públicos no sindicalizado	48	9	0	0	0	0	54	4	0	0	12	5	0
Domingo	Públicos no sindicalizado	92	0	0	0	0	0	68	0	0	0	16	0	0
	Públicos no sindicalizado	106	3	0	0	0	0	116	0	0	0	4	0	0
Media	Públicos no sindicalizado	48,33	25,17	0,00	0,00	0,00	0,00	37,33	6,83	0,00	0,00	8,00	9,33	0,00
	Públicos no sindicalizado	81,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,00	0,00	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00
Desviación	Públicos no sindicalizado	99,67	15,33	0,00	0,00	0,00	0,00	74,33	1,33	0,00	0,00	14,00	0,67	0,00
	Públicos no sindicalizado	16,27	19,24	0,00	0,00	0,00	0,00	20,12	2,85	0,00	0,00	5,16	9,37	0,00
Rango menor	Públicos no sindicalizado	18,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	52,56	0,00	0,00	0,00	4,86	0,00	0,00
	Públicos no sindicalizado	22,76	10,13	0,00	0,00	0,00	0,00	43,09	1,89	0,00	0,00	17,40	1,49	0,00
Rango mayor	Públicos no sindicalizado	15,80	-13,31	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,91	1,13	0,00	0,00	-2,33	-9,42	0,00
	Públicos no sindicalizado	44,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-6,12	0,00	0,00	0,00	-0,73	0,00	0,00
Rango mayor	Públicos no sindicalizado	54,15	-4,92	0,00	0,00	0,00	0,00	-11,84	-2,44	0,00	0,00	-20,79	-2,31	0,00
	Públicos no sindicalizado	80,86	63,64	0,00	0,00	0,00	0,00	77,58	12,54	0,00	0,00	18,33	28,08	0,00
Volumen por sentido	Públicos no sindicalizado	118,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	204,12	0,00	0,00	0,00	18,73	0,00	0,00
	Públicos no sindicalizado	145,18	35,59	0,00	0,00	0,00	0,00	160,51	5,10	0,00	0,00	48,79	3,65	0,00
Volumen total por sentido	Públicos no sindicalizado	48,33	25,17	0,00	0,00	0,00	0,00	37,33	6,83	0,00	0,00	8,00	9,33	0,00
	Públicos no sindicalizado	81,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,00	0,00	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00
Volumen total por acceso	Públicos no sindicalizado	99,67	15,33	0,00	0,00	0,00	0,00	74,33	1,33	0,00	0,00	14,00	0,00	0,00
	Públicos no sindicalizado	270,17	36,40	0,00	0,00	0,00	0,00	218,83	40,33	0,00	0,00	40,33	0,00	0,00
Volumen por acceso	Tipo de vehículo	Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados	
	Públicos no sindicalizado	50,73	25,17	0,00	0,00	0,00	0,00	45,33	16,17	0,00	0,00	0,00	0,00	
Volumen total por acceso	Públicos no sindicalizado	93,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	108,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Públicos no sindicalizado	117,67	20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	88,33	1,33	0,00	0,00	1,33	0,00	
		307			259									

Tabla 8: Datos tabulados (12:00 - 13:00) intersección Corrado - Colón

Hora de aforo: 12:00 - 13:00 (Medio día)	Sentido de circulación vehicular	Acceso 1 (A1)						Acceso 2 (A2)					
		Recto ←			Giro derecho ↻			Recto ↑			Giro izquierdo ↺		
		Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados
Lunes	Tipo de vehículo	92	24	0	12	0	0	72	12	0	12	8	0
	Públicos no sindicalizado	64	0	0	0	0	0	84	0	0	20	0	0
	Particulares	156	32	0	8	0	0	64	20	0	44	8	0
Viernes	Públicos sindicalizado	78	24	0	20	0	0	44	0	0	8	12	0
	Públicos no sindicalizado	72	0	0	8	0	0	108	0	0	12	0	0
	Particulares	232	12	0	8	4	0	136	12	0	8	4	0
Domingo	Públicos sindicalizado	72	30	0	8	0	0	48	12	0	18	4	0
	Públicos no sindicalizado	66	0	0	0	0	0	66	0	0	8	0	0
	Particulares	150	8	0	9	1	0	144	8	0	10	0	0
Lunes	Públicos sindicalizado	76	28	0	28	0	0	56	12	0	24	16	0
	Públicos no sindicalizado	72	0	0	0	0	0	80	0	0	20	0	0
	Particulares	132	12	0	16	4	0	84	12	0	60	0	0
Viernes	Públicos sindicalizado	84	24	0	16	0	0	56	0	0	16	0	0
	Públicos no sindicalizado	76	0	0	12	0	0	88	0	0	28	0	0
	Particulares	168	16	0	12	8	0	108	16	0	12	0	0
Domingo	Públicos sindicalizado	84	42	0	4	0	0	52	16	0	20	7	0
	Públicos no sindicalizado	76	0	0	0	0	0	72	0	0	4	0	0
	Particulares	132	5	0	12	3	0	136	12	0	20	0	0
Media	Públicos sindicalizado	81,00	28,67	0,00	14,67	0,00	0,00	54,67	8,67	0,00	16,33	7,83	0,00
	Públicos no sindicalizado	71,00	0,00	0,00	3,33	0,00	0,00	83,00	0,00	0,00	15,33	0,00	0,00
	Particulares	161,67	14,17	0,00	10,83	3,33	0,00	112,00	13,33	0,00	25,67	2,00	0,00
Desviación	Públicos sindicalizado	6,51	6,39	0,00	7,89	0,00	0,00	8,84	6,29	0,00	5,22	5,18	0,00
	Públicos no sindicalizado	4,58	0,00	0,00	4,85	0,00	0,00	13,35	0,00	0,00	8,14	0,00	0,00
	Particulares	33,95	8,69	0,00	2,85	2,56	0,00	29,66	3,77	0,00	19,54	3,06	0,00
Rango menor	Públicos sindicalizado	67,99	15,88	0,00	-1,11	0,00	0,00	36,98	-3,91	0,00	5,90	-2,52	0,00
	Públicos no sindicalizado	61,83	0,00	0,00	-6,37	0,00	0,00	56,29	0,00	0,00	-0,94	0,00	0,00
	Particulares	93,77	-3,21	0,00	5,13	-1,79	0,00	52,67	5,79	0,00	-13,42	-4,11	0,00
Rango mayor	Públicos sindicalizado	94,01	41,46	0,00	30,44	0,00	0,00	72,36	21,25	0,00	26,77	18,19	0,00
	Públicos no sindicalizado	80,17	0,00	0,00	13,04	0,00	0,00	109,71	0,00	0,00	31,61	0,00	0,00
	Particulares	229,57	31,54	0,00	16,54	8,45	0,00	171,33	20,88	0,00	64,75	8,11	0,00
Volumen por sentido	Públicos sindicalizado	81,00	26,00	0,00	14,67	0,00	0,00	54,67	8,67	0,00	16,33	7,83	0,00
	Públicos no sindicalizado	71,00	0,00	0,00	3,33	0,00	0,00	83,00	0,00	0,00	15,33	0,00	0,00
	Particulares	147,60	10,60	0,00	10,83	3,33	0,00	112,00	13,33	0,00	25,67	2,00	0,00
Volumen total por sentido		336,20			32,17			271,67			67,17		
Volumen por acceso	Tipo de vehículo	Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados
	Públicos sindicalizado	95,67	26,00	0,00	71,00	7,00	0,00	16,50	0,00	0,00	16,50	0,00	0,00
	Públicos no sindicalizado	74,33	0,00	0,00	98,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Volumen total por acceso	158,43	13,93	0,00	137,67	0,00	0,00	15,33	0,00	0,00	339	0,00	0,00	

Tabla 9: Datos tabulados (18:00 - 19:00) intersección Corrado - Colón

Intersección: Corrado - Colón		Acceso 1 (A1)						Acceso 2 (A2)					
		Recto			Giro derecho			Recto			Giro izquierdo		
		Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados
Hora de aforo: 18:00 - 19:00 (Noche)	Sentido de circulación vehicular												
	Tipo de vehículo	Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados
Lunes	Públicos sindicalizado	84	32	0	12	0	0	42	8	0	20	8	0
	Públicos no sindicalizado	44	0	0	8	0	0	72	0	0	8	0	0
	Particulares	143	12	0	32	8	0	64	24	0	56	0	0
Viernes	Públicos sindicalizado	84	20	0	4	0	0	44	0	0	20	8	0
	Públicos no sindicalizado	78	0	0	4	0	0	44	0	0	24	0	0
	Particulares	184	19	0	12	0	0	72	0	0	35	0	0
Domingo	Públicos sindicalizado	74	24	0	8	0	0	36	4	0	24	6	0
	Públicos no sindicalizado	66	0	0	4	0	0	68	0	0	18	0	0
	Particulares	172	10	0	18	4	0	72	12	0	54	0	0
Lunes	Públicos sindicalizado	64	36	0	24	0	0	44	16	0	36	12	0
	Públicos no sindicalizado	56	0	0	16	0	0	80	0	0	28	0	0
	Particulares	156	8	0	48	20	0	84	32	0	72	4	0
Viernes	Públicos sindicalizado	72	16	0	12	0	0	56	0	0	28	13	0
	Públicos no sindicalizado	76	0	0	12	0	0	60	0	0	16	0	0
	Particulares	148	8	0	8	4	0	80	0	0	32	4	0
Domingo	Públicos sindicalizado	68	28	0	10	0	0	40	3	0	18	8	0
	Públicos no sindicalizado	72	0	0	6	0	0	72	0	0	20	0	0
	Particulares	167	8	0	28	2	0	64	10	0	44	0	0
Media	Públicos sindicalizado	74,33	26,00	0,00	11,67	0,00	0,00	43,67	5,17	0,00	24,33	9,17	0,00
	Públicos no sindicalizado	65,33	0,00	0,00	8,33	0,00	0,00	66,00	0,00	0,00	19,00	0,00	0,00
	Particulares	161,67	10,83	0,00	24,33	6,33	0,00	72,67	13,00	0,00	48,83	1,33	0,00
Desviación	Públicos sindicalizado	7,52	6,83	0,00	6,16	0,00	0,00	6,16	5,55	0,00	6,16	2,48	0,00
	Públicos no sindicalizado	11,98	0,00	0,00	4,38	0,00	0,00	11,49	0,00	0,00	6,30	0,00	0,00
	Particulares	14,15	3,93	0,00	13,49	6,57	0,00	7,45	11,76	0,00	13,62	1,89	0,00
Rango menor	Públicos sindicalizado	59,29	12,34	0,00	-0,64	0,00	0,00	31,36	-5,93	0,00	12,02	4,21	0,00
	Públicos no sindicalizado	41,37	0,00	0,00	-0,44	0,00	0,00	43,02	0,00	0,00	6,40	0,00	0,00
	Particulares	133,37	2,97	0,00	-2,64	-6,82	0,00	57,76	-10,52	0,00	21,60	-2,44	0,00
Rango mayor	Públicos sindicalizado	89,37	39,66	0,00	23,98	0,00	0,00	55,98	16,27	0,00	36,64	14,12	0,00
	Públicos no sindicalizado	89,30	0,00	0,00	17,10	0,00	0,00	88,98	0,00	0,00	31,60	0,00	0,00
	Particulares	189,97	18,70	0,00	51,31	19,48	0,00	87,57	36,52	0,00	76,07	5,10	0,00
Volumen por sentido	Públicos sindicalizado	74,33	26,00	0,00	9,20	0,00	0,00	41,20	5,17	0,00	24,33	9,17	0,00
	Públicos no sindicalizado	65,33	0,00	0,00	8,33	0,00	0,00	66,00	0,00	0,00	19,00	0,00	0,00
	Particulares	161,67	10,83	0,00	24,33	3,60	0,00	72,67	13,00	0,00	48,83	1,33	0,00
Volumen total por sentido		338,17			45,47			198,03			102,67		
Volumen por acceso	Tipo de vehículo	Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados
	Públicos sindicalizado	83,53	26,00	0,00	65,53	0,00	0,00	14,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Públicos no sindicalizado	73,67	0,00	0,00	85,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Particulares	186,00	14,43	0,00	121,50	0,00	0,00	14,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Volumen total por acceso		384			384			301			301		

Tabla 10: Volúmenes totales intersección Corrado - Colón

TOTAL	Intersección: Corrado - Colón											
	Acceso 1 (A1)						Acceso 2 (A2)					
	Recto ←			Giro derecho ↻			Recto ↗			Giro izquierdo ↶		
	Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados
Tipo de vehículo												
Públicos sindicalizado	67,89	25,72	0,00	8,76	0,00	0,00	44,40	6,89	0,00	16,22	8,78	0,00
Públicos no sindicalizado	72,67	0,00	0,00	7,67	0,00	0,00	82,67	0,00	0,00	14,44	0,00	0,00
Particulares	136,31	12,26	0,00	17,72	3,87	0,00	86,33	9,22	0,00	29,50	1,11	0,00
% Volumen por sentido												
Públicos sindicalizado	19,24	7,29	0,00	2,48	0,00	0,00	14,82	2,30	0,00	5,42	2,93	0,00
Públicos no sindicalizado	20,59	0,00	0,00	2,17	0,00	0,00	27,60	0,00	0,00	4,82	0,00	0,00
Particulares	38,63	3,47	0,00	5,02	1,10	0,00	28,82	3,08	0,00	9,85	0,37	0,00
Volumen total por sentido		314,84			38,01			229,51			70,06	
% Volumen total por sentido		89,23			10,77			76,61			23,39	
Tipo de vehículo												
Públicos sindicalizado	76,64		25,72			0,00	60,62		15,67			0,00
Públicos no sindicalizado	80,33		0,00			0,00	97,11		0,00			0,00
Particulares	154,03		16,12			0,00	115,83		10,33			0,00
% Volumen por acceso												
Públicos sindicalizado	21,72		7,29			0,00	20,24		5,23			0,00
Públicos no sindicalizado	22,77		0,00			0,00	32,42		0,00			0,00
Particulares	43,65		4,57			0,00	38,67		3,45			0,00
Volumen total por acceso			352,86						299,57			
			352						299			

Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Capacidad y nivel de servicio

El cálculo de la capacidad y el nivel de servicio de las intersecciones con semáforo se basó en el procedimiento de cálculo del Manual HCM 2000 utilizando la Tabla 4: Niveles de servicio en intersecciones con semáforos.

Para las intersecciones sin semáforo se utilizaron los ábacos: Figura 7: Capacidad teórica para accesos de dos sentidos; Figura 8: Capacidad teórica para accesos de un sentido y la Tabla 5: Niveles de servicio en intersecciones sin semáforos.

Las fórmulas empleadas fueron las siguientes:

➤ Capacidad

$$C_{\text{Real}} = C_{\text{Práctica}} * \text{Factores de reducción}$$

$$C_{\text{Práctica}} = C_{\text{teórica}} * 0.9$$

Factores de reducción:

- Factor de vehículos pesados = VP $f_{\text{VP}} = 1 - \frac{(\% \text{VP} - 10)}{100}$
- Factor de giro a la izquierda = GI $f_{\text{GI}} = 1 - \frac{(\% \text{GI} - 10)}{100}$
- Factor de giro a la derecha = GD $f_{\text{GD}} = 1 - \frac{(\% \text{GD} - 10)}{100} * 0.5$
- Factor de paradas = los factores debido a las paradas antes y después de una intersección se toman igual a 0.9 y 0.95 respectivamente, según la bibliografía consultada.

➤ Nivel de servicio

$$NS = \frac{V}{C_{\text{Real}}}$$

Donde: V = Volumen total del acceso

Figura 19: Medición ancho de acceso calle Ingavi



Fuente: Elaboración propia

Figura 20: Medición ancho de acceso calle O'Connor



Fuente: Elaboración propia

La tabla 11: Cálculo de la capacidad y nivel de Servicio de la intersección Corrado - Colón representa su proceso de cálculo. El cálculo de las demás intersecciones se encuentra en el anexo IV

Tabla 11: Cálculo de la capacidad y nivel de servicio intersección Corrado – Colón

Intersección: Corrado - Colón

Datos de entrada	A1	A2
% Vehículos pesados	0,00	0,00
% Vehículos giro izquierdo	0,00	23,39
% Vehículos giro derecho	10,77	0,00
Volumen total del acceso (veh/hr)	352	299
Ancho del acceso (m)	5,20	4,90
Paradas antes de la intersección	0	0
Paradas después de la intersección	0	0
Zona	Central	Central
Estacionamiento permitido	Sí	Sí
Número de sentidos del acceso	1	1

Capacidad en la intersección

Acceso	Factor de reducción				Capacidad teórica			Capacidad en la intersección
	Vehículos pesados	Giro izquierdo	Giro derecho	Paradas antes de la inters.	Paradas después de la inters.	Teórica	Práctica	
A1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	612	550,80	548,67
A2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	583	524,70	524,70

Nivel de servicio en la intersección

Niveles de servicio y volúmenes de servicio máximos 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 a flujo inestable			$\leq 0,70$	
E	Flujo inestable			$\leq 1,0$	
F	Flujo forzado			'-b'	
Acceso	Volumen	Capacidad	Factor de carga (V/C)	Nivel de servicio	Nivel de servicio en la intersección
A1	352	548,67	0,64	D	D
A2	299	524,70	0,57	D	

Fuente: Elaboración propia

3.3.3.1. Tiempos de semáforo

Las intersecciones semaforizadas requieren como datos de entrada para su cálculo de capacidad los tiempos de ciclo y de fase verde de cada acceso.

Para obtener los tiempos más precisos se realizaron tres mediciones por fase para luego encontrar la media aritmética y así adoptar los tiempos de ciclo más exactos.

La tabla 12: Tiempos de ciclo de la intersección Av. La Paz y Av. Jaime Paz, representa la planilla de aforo y cálculo utilizada, el resto de las planillas de las intersecciones semaforizadas se encuentra en el anexo III.

Figura 21: Medición fases de semáforo intersección Av. La Paz - Av. Jaime Paz



Fuente: Elaboración propia

Tabla 12: Tiempos de ciclo intersección Av. La Paz y Av. Jaime Paz

Planilla de duración de ciclo (seg)									
Acceso	A1			A2			A3		
Tiempo de fase	Verde	Amarillo	Rojo	Verde	Amarillo	Rojo	Verde	Amarillo	Rojo
Tiempo 1	20,99	2,01	26,37	22,25	2,18	25,04	22,92	2,14	24,86
Tiempo 2	20,97	2,03	26,82	22,92	2,41	25,02	23,03	2,16	24,96
Tiempo 3	20,93	2,02	27,02	23	2,14	24,77	22,85	1,96	25,03
Media	20,96	2,02	26,74	22,72	2,24	24,94	22,93	2,09	24,95
Tiempo adoptado	21	2	27	23	2	25	23	2	25
Tiempo de ciclo (seg)	50			50			50		

Fuente: Elaboración propia

3.3.4. Velocidad

Para determinar la velocidad media de circulación se seleccionó un tramo de cada calle analizada comprendido por una cuadra en el cual se midió el tiempo que un vehículo tarda en recorrer la distancia de dicho tramo en los horarios de máxima demanda por tres días. Una vez obtenidos todos los tiempos se procedió a realizar el cálculo correspondiente en gabinete para definir una velocidad media de cada calle y con estas la velocidad media de circulación de toda el área de proyecto.

Figura 22: Medición tiempos de recorrido Av. La Paz



Fuente: Elaboración propia

Tabla 13: Velocidad media de circulación

Calle	Tramo	Tiempo (seg)	Media	Desviación	Rango mayor	Rango menor	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Velocidad media (km/h)
Cochabamba	Venezuela / Corazón de Jesús	13	14,04	2,18	18,40	9,68	83,9	23,23	22,04
		14,72						20,52	
		11,61						26,02	
		16,8						17,98	
		16,64						18,15	
		11,46						26,36	
		15,41						20,53	
Av. Domingo Paz	Juan Misael Saracho / Campero	10,96	14,22	2,22	18,67	9,78	87,9	28,87	22,82
		13,28						23,83	
		17,12						18,48	
		12,25						25,83	
		16,32						19,39	
		12,32						25,19	
		11,56						26,84	
Corrado	Colón / Daniel Campos	13,18	11,92	0,74	13,39	10,44	86,2	23,54	26,14
		11,5						26,98	
		12,1						25,65	
		10,83						28,65	
		11,38						25,56	
		10,44						27,86	
		12,76						22,80	
Bolívar	Colón / Daniel Campos	13,42	12,44	1,20	14,85	10,03	80,8	21,68	23,61
		14,01						20,76	
		12,63						23,03	
		13,15						22,61	
		14,84						20,04	
		14,57						20,41	
		11,91						24,97	
Ingavi	Daniel Campos / Sucre	12,79	13,22	1,13	15,49	10,95	82,6	23,25	22,66
		12,05						24,68	
		10,38						30,24	
		11,74						26,74	
		13,96						22,49	
		14,72						21,33	
		14,17						22,15	
Campero	Ingavi / Bolívar	13,55	13,09	1,53	16,14	10,04	87,2	23,17	24,35
		13,41						23,87	
		14,16						22,60	
		14,78						21,65	
		14,28						22,41	
		11,93						26,83	
		15,49						20,66	
Colón	Bolívar / Domingo Paz	17,81	14,01	1,12	16,25	11,76	88,9	20,62	23,00
		15,46						23,75	
		15,95						23,02	
		17,04						21,55	
		14,07						26,10	
		16,24						22,61	
		13,65						28,75	
O'Connor	Domingo Paz / Bolívar	16,39	15,46	1,05	17,56	13,36	109	23,94	25,50
		15,28						25,68	
		16,95						23,15	
		15,01						26,14	
		15,48						25,35	
		12,5						18,35	
		9,79						23,42	
Av. La Paz	Bolívar / Ingavi	16,47	12,38	2,45	17,28	7,48	63,7	13,92	19,24
		11,72						19,57	
		9,49						24,16	
		14,32						16,01	
		7,25						32,72	
		7,45						31,84	
		9,41						25,21	
Héroes de la Independencia	Av. Los Pinales / 25 de Mayo	8,46	8,65	1,36	11,38	5,93	65,9	28,04	28,04
		8,08						29,36	
		11,26						21,07	
		9,34						26,09	
		7,5						32,50	
		11,36						21,45	
		8,72						27,95	
Av. La Gamonedada	Av. Circunvalación / Aniceto Arce	12,1	9,56	1,64	12,84	6,28	67,7	20,14	26,21
		8,36						29,15	
		7,25						32,72	
		7,45						31,84	
		9,41						25,21	
Velocidad media de circulación (km/hr)			23,88						

Fuente: Elaboración propia

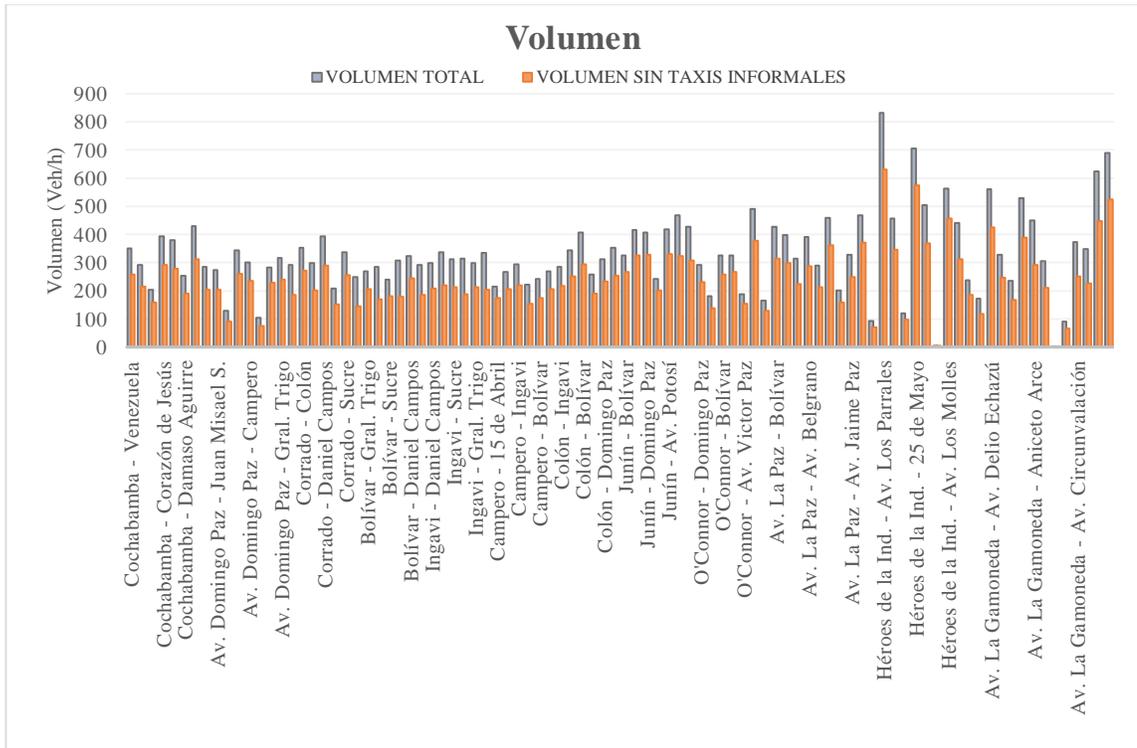
3.4. Determinación de la incidencia del transporte público no sindicalizado

Para la determinación de la incidencia del transporte público no sindicalizado en el tráfico urbano de las rutas más críticas de la ciudad y específicamente referido a las calles de estudio planteada en esta investigación, en base a los cálculos realizados a partir de los datos levantados en campo se establece la necesidad de suprimir los volúmenes de vehículos públicos no sindicalizados que prestan sus servicios a la población de Tarija. Es decir, para encontrar la diferencia del comportamiento del transporte en la zona de estudio se realiza el cálculo del nivel de servicio de cada una de las intersecciones con todos los volúmenes de tráfico comprendidos en livianos, medianos, pesados y diferenciados como públicos (sindicalizados y no sindicalizados) y privados, siendo la categoría de públicos livianos no sindicalizados los taxis informales. Se recalcula nuevamente los niveles de servicio en cada una de las intersecciones, pero esta vez sin la presencia de los volúmenes del transporte público no sindicalizado. El resultado de los cálculos realizados para encontrar los niveles de servicio con la presencia y sin la presencia del transporte público no sindicalizado, muestran la incidencia del transporte público informal.

Con este mismo procedimiento se determina la incidencia que tienen en cuanto a volumen.

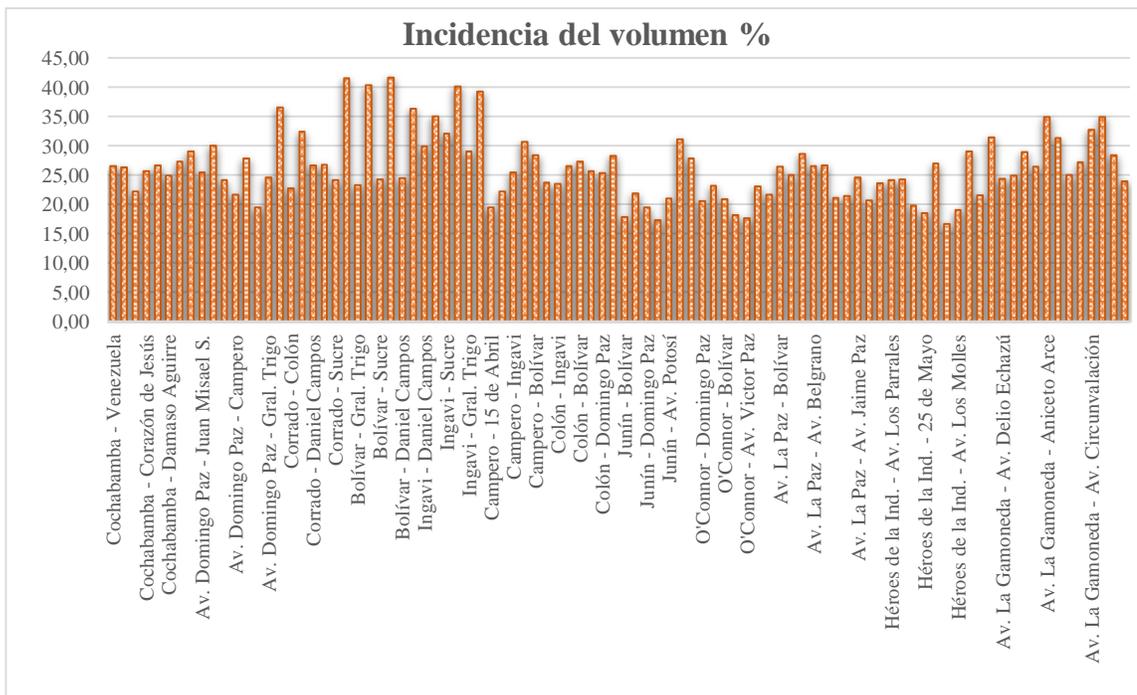
3.4.1. Volumen

Figura 23: Volumen con y sin taxis informales



Fuente: Elaboración propia

Figura 24: Incidencia de volumen



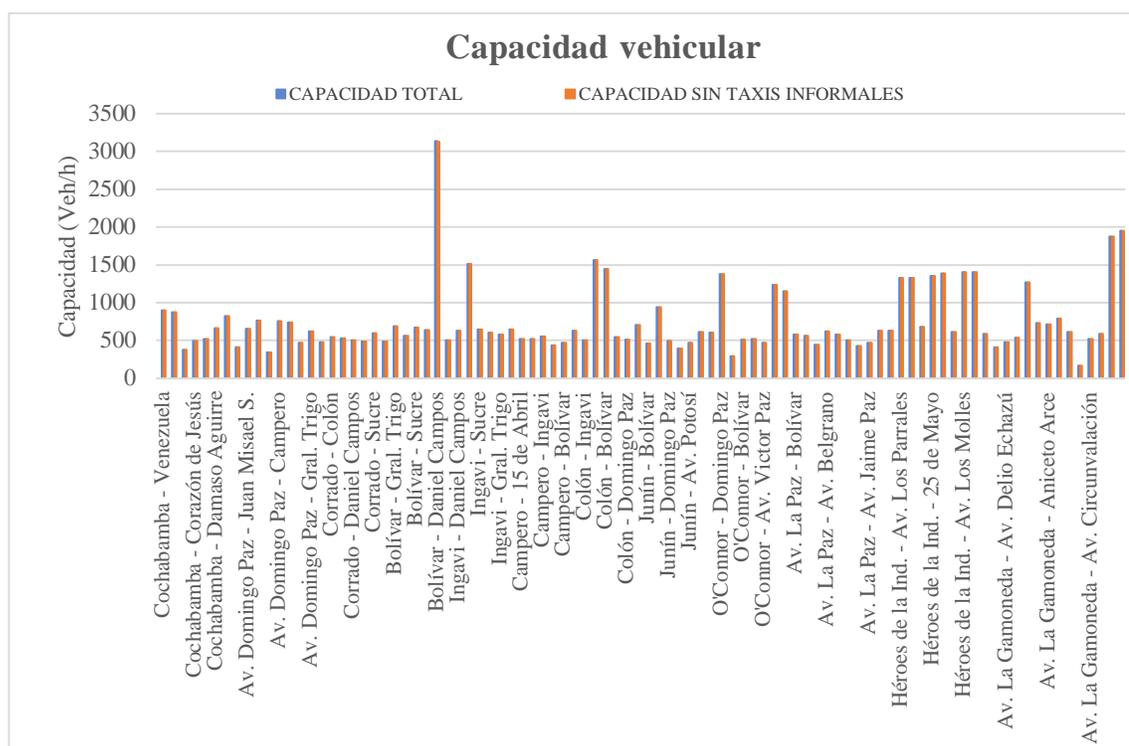
Fuente: Elaboración propia

Los taxis no sindicalizados tienen una incidencia promedio del 26,26% en volumen de donde el acceso A2 de la intersección "Bolívar - Sucre" es el que presenta mayor incidencia de un 41,69%, mientras que el acceso A3 de la intersección "Héroes de la Independencia - 25 de mayo" es el que presenta menor incidencia con solamente un 16,69%.

3.4.2. Capacidad

La capacidad depende de la cantidad máxima de vehículos que pueden circular por una calle y de las características físicas de dicha calle; por lo tanto, la incidencia del transporte público no sindicalizado en este parámetro es nula, tal y como nos muestra la figura 25.

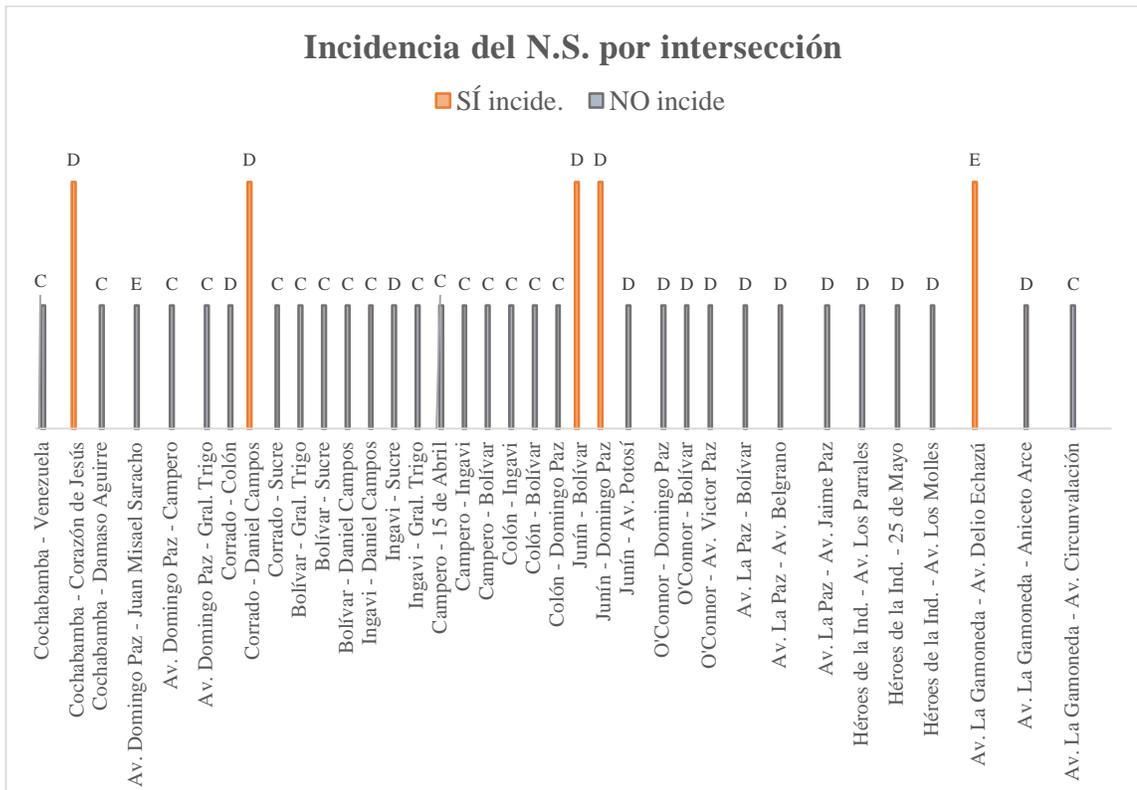
Figura 25: Capacidad vehicular



Fuente: Elaboración propia

Analizando la variación de las capacidades de todos los accesos que componen las intersecciones analizadas, tenemos que, el acceso A1 de la intersección "Bolívar - Daniel Campos" tiene la máxima capacidad de 3132 veh/h y el A4 de la intersección "Av. La Gamoneda - Aniceto Arce" tiene la capacidad más baja de todos los accesos con 165 veh/h.

Figura 27: Incidencia del nivel de servicio por intersección



Fuente: Elaboración propia

Tabla 14: Incidencia de taxis informales en volumen, capacidad y nivel de servicio

Nº	Intersección	Acceso	Con taxis informales			Sin taxis informales			Incidencia %			
			Volumen	Capacidad	N.S.	Volumen	Capacidad	N.S.	Volumen	Capacidad	N.S./Acceso	N.S./Inters.
1	Cochabamba - Venezuela	A1	351	897	C	258	897	C	26,50	0,00	NO	NO
		A2	292	871	C	215	871	C	26,37	0,00	NO	
		A3	203	375	D	158	375	D	22,17	0,00	NO	
2	Cochabamba - Corazón de Jesús	A1	394	497	E	293	497	D	25,63	0,00	SI	SI
		A2	379	517	E	278	517	D	26,65	0,00	SI	
3	Cochabamba - Damaso Aguirre	A1	253	660	B	190	660	B	24,90	0,00	NO	NO
		A2	429	821	B	312	821	B	27,27	0,00	NO	
		A3	286	414	D	203	414	D	29,02	0,00	NO	
4	Av. Domingo Paz - Juan Misael Saracho	A1	275	653	D	205	653	D	25,45	0,00	NO	NO
		A2	130	761	C	91	761	C	30,00	0,00	NO	
		A3	343	342	E	260	342	E	24,20	0,00	NO	
5	Av. Domingo Paz - Campero	A1	300	756	C	235	756	C	21,67	0,00	NO	NO
		A2	104	740	B	75	740	B	27,88	0,00	NO	
		A3	283	470	C	228	470	C	19,43	0,00	NO	
6	Av. Domingo Paz - Gral. Trigo	A1	317	623	C	239	623	C	24,61	0,00	NO	NO
		A2	293	478	D	186	478	C	36,52	0,00	SI	
7	Corrado - Colón	A1	352	548	D	272	548	D	22,73	0,00	NO	NO
		A2	299	524	D	202	524	D	32,44	0,00	NO	
8	Corrado - Daniel Campos	A1	394	507	E	289	507	D	26,65	0,00	SI	SI
		A2	209	482	D	153	482	D	26,79	0,00	NO	
9	Corrado - Sucre	A1	336	597	D	255	597	D	24,11	0,00	NO	NO
		A2	248	483	C	145	483	C	41,53	0,00	NO	
10	Bolívar - Gral. Trigo	A1	270	686	C	207	686	C	23,33	0,00	NO	NO
		A2	285	558	C	170	558	C	40,35	0,00	NO	
11	Bolívar - Sucre	A1	239	675	C	181	675	C	24,27	0,00	NO	NO
		A2	307	637	D	179	637	D	41,69	0,00	NO	
12	Bolívar - Daniel Campos	A1	323	3132	B	244	3132	B	24,46	0,00	NO	NO
		A2	292	505	D	186	505	D	36,30	0,00	NO	
13	Ingavi - Daniel Campos	A1	298	625	C	209	625	C	29,87	0,00	NO	NO
		A2	337	1514	B	219	1514	B	35,01	0,00	NO	
14	Ingavi - Sucre	A1	312	643	D	212	643	D	32,05	0,00	NO	NO
		A2	314	603	D	188	603	D	40,13	0,00	NO	
15	Ingavi - Gral. Trigo	A1	299	581	C	212	581	C	29,10	0,00	NO	NO
		A2	334	642	C	203	642	C	39,22	0,00	NO	
16	Campero - 15 de Abril	A1	216	523	C	174	523	C	19,44	0,00	NO	NO
		A2	266	521	C	207	521	C	22,18	0,00	NO	
17	Campero - Ingavi	A1	295	555	C	220	555	C	25,42	0,00	NO	NO
		A2	222	437	D	154	437	C	30,63	0,00	SI	
18	Campero - Bolívar	A1	243	473	D	174	473	C	28,40	0,00	SI	NO
		A2	270	628	C	206	628	C	23,70	0,00	NO	
19	Colón - Ingavi	A1	285	499	D	218	499	C	23,51	0,00	SI	NO
		A2	343	1565	B	252	1565	B	26,53	0,00	NO	
20	Colón - Bolívar	A1	406	1448	B	295	1448	B	27,34	0,00	NO	NO
		A2	257	549	C	191	549	C	25,68	0,00	NO	
21	Colón - Domingo Paz	A1	312	510	D	233	510	C	25,32	0,00	SI	NO
		A2	354	708	C	254	708	C	28,25	0,00	NO	
22	Junín - Bolívar	A1	325	457	E	267	457	D	17,85	0,00	SI	SI
		A2	416	940	D	325	940	D	21,88	0,00	NO	
23	Junín - Domingo Paz	A1	406	494	E	327	494	D	19,46	0,00	SI	SI
		A2	243	395	D	201	395	D	17,28	0,00	NO	
24	Junín - Av. Potosí	A1	418	467	E	330	467	D	21,05	0,00	SI	NO
		A2	469	616	C	323	616	C	31,13	0,00	NO	
		A3	427	608	D	308	608	D	27,87	0,00	NO	
25	O'Connor - Domingo Paz	A1	291	1377	C	231	1377	C	20,62	0,00	NO	NO
		A2	181	289	D	139	289	D	23,20	0,00	NO	
26	O'Connor - Bolívar	A1	325	509	D	257	509	D	20,92	0,00	NO	NO
		A2	325	520	D	266	520	D	18,15	0,00	NO	
27	O'Connor - Av. Victor Paz	A1	187	469	D	154	469	D	17,65	0,00	NO	NO
		A2	490	1237	D	377	1237	C	23,06	0,00	SI	
		A3	166	1150	C	130	1150	C	21,69	0,00	NO	
28	Av. La Paz - Bolívar	A1	428	577	D	315	577	D	26,40	0,00	NO	NO
		A2	399	562	D	299	562	C	25,06	0,00	SI	
		A3	315	442	D	225	442	D	28,57	0,00	NO	
29	Av. La Paz - Av. Belgrano	A1	392	617	D	288	617	D	26,53	0,00	NO	NO
		A2	289	580	C	212	580	C	26,64	0,00	NO	
		A3	460	505	E	363	505	D	21,09	0,00	SI	
		A4	201	428	D	158	428	D	21,39	0,00	NO	
30	Av. La Paz - Av. Jaime Paz	A1	329	472	E	248	472	E	24,62	0,00	NO	NO
		A2	469	627	C	372	627	C	20,68	0,00	NO	
		A3	93	627	C	71	627	C	23,66	0,00	NO	
31	Héroes de la Independencia - Av. Los Parrales	A1	832	1328	D	631	1328	D	24,16	0,00	NO	NO
		A2	457	1331	D	346	1331	C	24,29	0,00	SI	
		A3	121	680	C	97	680	C	19,83	0,00	NO	
32	Héroes de la Independencia - 25 de Mayo	A1	706	1351	D	575	1351	D	18,56	0,00	NO	NO
		A2	505	1388	D	369	1388	C	26,93	0,00	SI	
33	Héroes de la Independencia - Av. Los Molles	A3	6	616	B	5	616	A	16,67	0,00	SI	NO
		A1	563	1406	D	456	1406	D	19,01	0,00	NO	
		A2	441	1406	D	313	1406	C	29,02	0,00	SI	
		A3	237	590	D	186	590	D	21,52	0,00	NO	
34	Av. La Gamoneda - Av. Delio Echazú	A4	172	412	D	118	412	C	31,40	0,00	SI	SI
		A1	561	477	F	424	477	E	24,42	0,00	SI	
		A2	329	535	D	247	535	D	24,92	0,00	NO	
		A3	235	1267	C	167	1267	C	28,94	0,00	NO	
35	Av. La Gamoneda - Aniceto Arce	A4	529	730	E	389	730	D	26,47	0,00	SI	NO
		A1	450	714	D	293	714	D	34,89	0,00	NO	
		A2	306	787	D	210	787	C	31,37	0,00	SI	
		A3	4	609	A	3	609	A	25,00	0,00	NO	
36	Av. La Gamoneda - Av. Circunvalación	A4	92	165	D	67	165	D	27,17	0,00	NO	NO
		A1	373	518	D	251	518	D	32,71	0,00	NO	
		A2	349	584	D	227	584	D	34,96	0,00	NO	
		A3	624	1878	C	447	1878	B	28,37	0,00	SI	
		A4	689	1947	B	524	1947	B	23,95	0,00	NO	
								26,26	0,00	25,00	13,89	

Fuente: Elaboración propia

3.4.4. Velocidad

Para determinar el comportamiento y la incidencia en velocidad del transporte público no sindicalizado se calculó las velocidades de los taxis no sindicalizados y de los vehículos que van antes y después de estos taxis; con estas velocidades y la velocidad media de circulación de la zona determinada anteriormente se pudo establecer cuánto influye este tipo de transporte en el comportamiento de los demás vehículos aplicando las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ incidencia} = \frac{\text{velocidad A} - \text{velocidad B}}{\text{velocidad A}} * 100$$

$$\% \text{ incidencia} = \frac{\text{velocidad A} - \text{velocidad C}}{\text{velocidad A}} * 100$$

Donde:

Velocidad A = velocidad media de circulación de la zona de estudio

Velocidad B = velocidad de los vehículos que van antes de un taxi informal

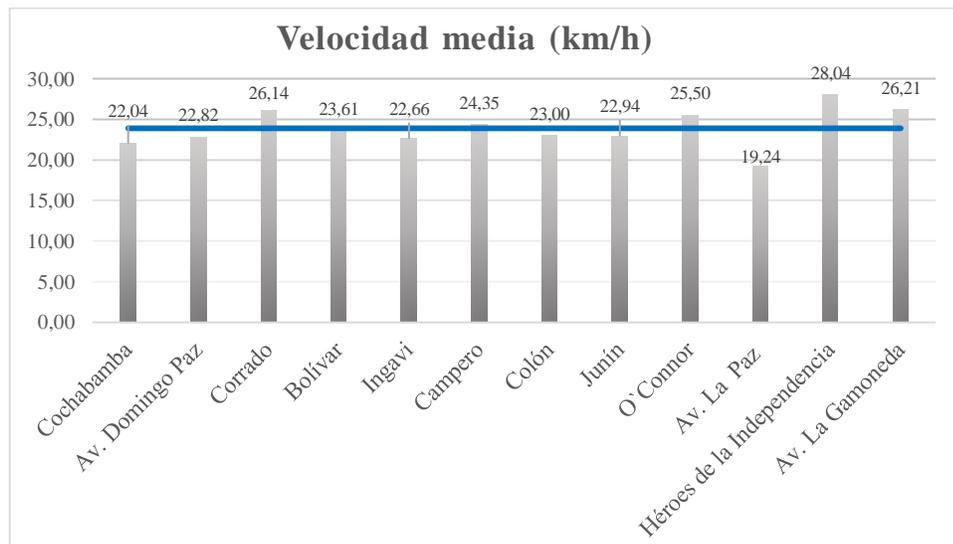
Velocidad C = velocidad de los vehículos que van después de un taxi informal

Tabla 15: Incidencia de taxis informales no sindicalizado en velocidad

Calle	Velocidad media de circulación (km/hr)				Incidencias (%)	
	Velocidad de la zona de estudio	Taxi informal	Veh. antes del taxi informal	Veh. después del taxi informal	Veh. antes del taxi informal	Veh. después del taxi informal
Cochabamba	22,04	23,39	18,20	22,84	17,43	-3,63
Av. Domingo Paz	22,82	22,02	22,55	20,41	1,21	10,56
Corrado	26,14	21,24	23,26	22,34	11,04	14,56
Bolívar	23,61	22,01	22,77	23,21	3,60	1,72
Ingavi	22,66	20,88	22,79	19,70	-0,57	13,05
Campero	24,35	22,87	22,43	20,27	7,89	16,75
Colón	23,00	23,13	23,86	24,74	-3,72	-7,56
Junín	22,94	21,22	21,93	22,98	4,39	-0,17
O'Connor	25,50	25,63	30,08	23,44	-17,95	8,10
Av. La Paz	19,24	21,27	19,12	18,26	0,64	5,11
Héroes de la Independencia	28,04	26,62	30,10	24,59	-7,32	12,31
Av. La Gamoneda	26,21	26,34	25,39	20,06	3,15	23,46
Promedio	23,88	23,05	23,54	21,90	1,65	7,86

Fuente: Elaboración propia

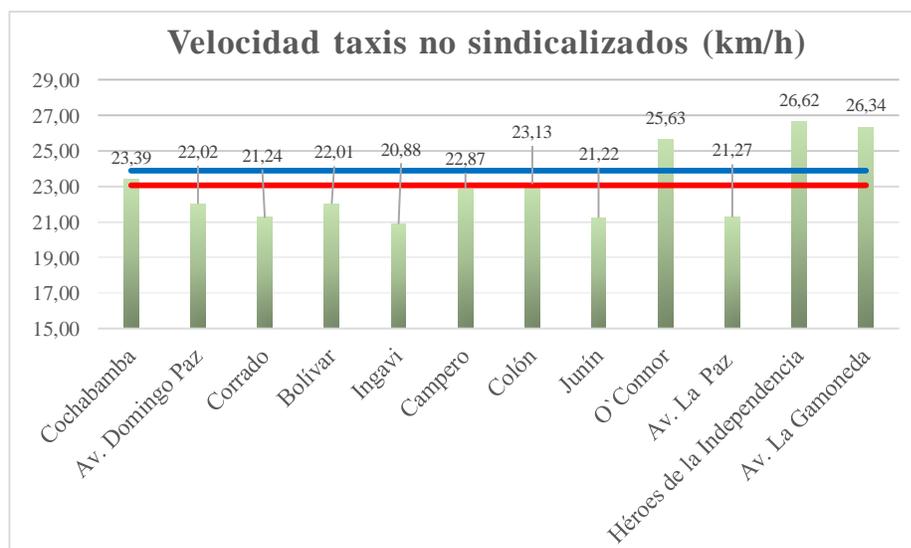
Figura 28: Velocidad media de circulación



Fuente: Elaboración propia

Analizando el comportamiento de los vehículos en la zona del proyecto se determinó una velocidad media de circulación de 23,88 km/h; siete de los 12 puntos de estudio se encuentran por debajo de esta velocidad y cuatro puntos se encuentran por encima.

Figura 29: Velocidad media de taxis informales



Fuente: Elaboración propia

En cuanto al comportamiento de los taxis no sindicalizados se estableció que tienen una velocidad media de 23,05 km/h de la cual cinco de las doce calles estudiadas cuentan con una velocidad mayor a esta. Así mismo esta velocidad es menor que la velocidad media de circulación que es de 23,88 km/h.

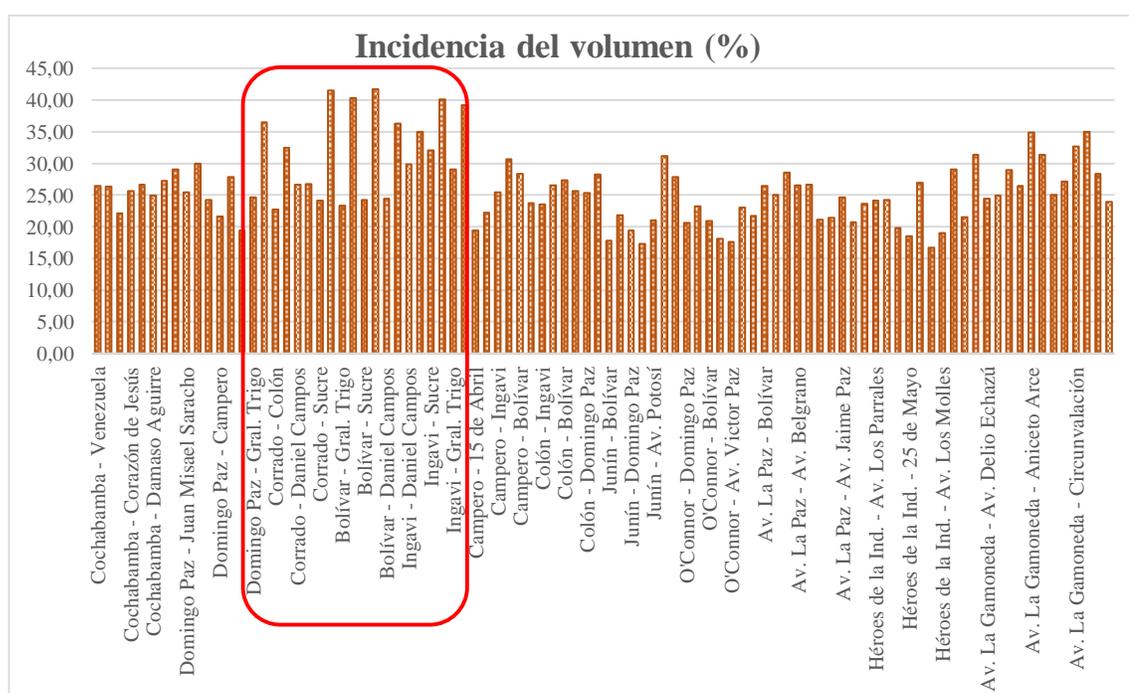
3.5. Planteamiento de soluciones para mejorar las condiciones de circulación vehicular

Restricción de circulación para el transporte público no sindicalizado

La restricción de circulación de este sector en las zonas que se presenta con mayor incidencia aportaría al descongestionamiento vehicular generado sobre todo en las horas pico, para lo cual se plantea realizar un control estricto de la circulación sobre este tipo de taxis, ya que como se trata de un sector que trabaja fuera de la formalidad establecida no tendría que generar un malestar justificado por parte de los conductores y usuarios de este medio.

Esta restricción correspondería a un perímetro formado por las calles Corrado, Gral. Trigo, Daniel Campos e Ingavi, puesto que son las calles que presentan mayor influencia del transporte analizado y a su vez por dichas calles ya transcurren diversas líneas de micros.

Figura 30: Restricción del transporte público no sindicalizado



Fuente: Elaboración propia

Esta restricción podría darse de manera parcial, ya sea por el número de placas de estos taxis o solamente en los días hábiles, ya que son los días más afectados por el congestionamiento vehicular que ocasiona el transporte público. Sin embargo, debido a

su influencia determinada es visible que esta medida no proporcionaría una solución significativa para mejorar la circulación vehicular en toda la zona de estudio. Razón que nos lleva a plantear otras soluciones para todo el transporte tanto público sindicalizado y no sindicalizado como privado.

Estas medidas se plantean para aquellas intersecciones que presentan accesos con un nivel de servicio con flujo inestable o forzado.

1. Optimización de tiempos de semáforo

Se plantea como medida la coordinación de semáforos, es decir, que aumentamos la fase verde a un acceso y disminuimos ese mismo tiempo a la fase también verde, pero del otro acceso o accesos.

Para este caso se aplica esta medida a la intersección “Av. La Paz - Av. Belgrano” donde realizamos el aumento de un segundo en la fase verde del acceso A3 y A4 y disminuimos la misma cantidad a los accesos A1 y A2 respectivamente debido a que ambos pertenecen a una misma calzada y por tanto sus tiempos de fase son los mismos.

Para este caso en particular aplicando esta medida como solución vemos una mejora en el nivel de servicio del acceso A4 y una disminución en el tiempo de demora de toda la intersección consiguiendo así mejorar un parámetro estudiado.

Tabla 16: Coordinación de semáforos intersección Av. La Paz - Av. Belgrano

Intersección	Acceso	Sin solución				Con solución			
		Demora por acceso (seg)	Demora en la inters. (seg)	N.S. por acceso	N.S. en la inters.	Demora por acceso (seg)	Demora en la inters. (seg)	N.S. por acceso	N.S. en la inters.
Av. La Paz - Av. Belgrano	A1	39,57	47,23	D	D	42,77	43,39	D	D
	A2	32,22		C		34,34		C	
	A3	67,51		E		53,31		D	
	A4	37,31		D		34,86		C	

Fuente: Elaboración propia

Para aplicar esta medida se debe tener en cuenta de no afectar el nivel de servicio de los otros accesos de la intersección.

2. Restricción de estacionamientos

En base a los cálculos realizados se puede evidenciar que restringiendo los estacionamientos en los lugares permitidos y tomando un control más riguroso donde se incumplen las normativas de los estacionamientos se puede mejorar de manera

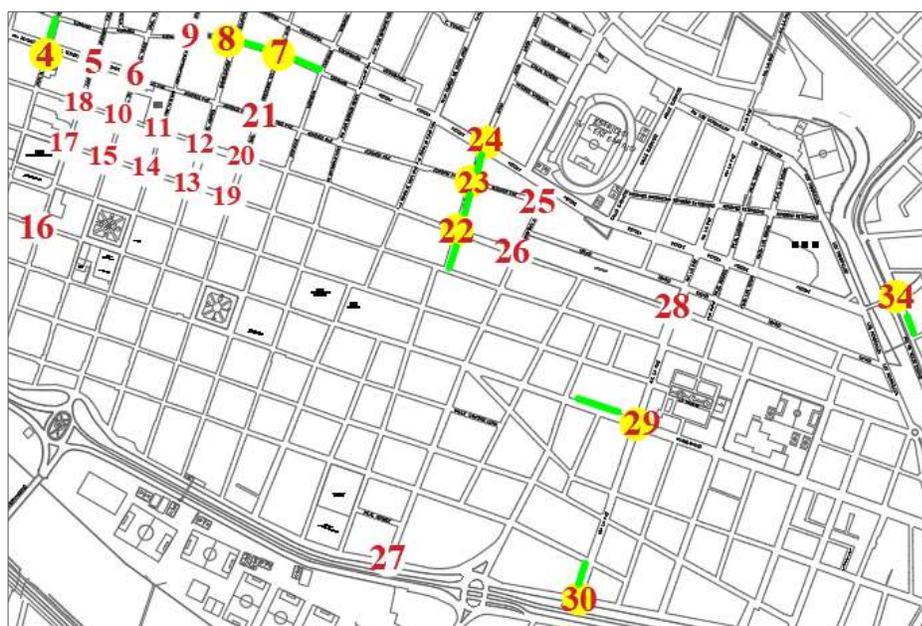
significativa las capacidades de los accesos y los niveles de servicio de las intersecciones indicadas a continuación.

Tabla 17: Restricción de estacionamientos

Intersección	Acceso	Capacidad	Sin solución		Capacidad	Con solución	
			Nivel de servicio			Nivel de servicio	
			N.S./Acc.	N.S./Inters.		N.S./Acc.	N.S./Inters.
Av. Domingo Paz - Juan Misael Saracho	A3	342	E	E	838	D	D
Corrado - Daniel Campos	A1	507	E	E	1222	D	D
Junín - Bolívar	A1	457	E	E	1099	C	D
Junín - Domingo Paz	A1	494	E	E	1185	D	D
Junín - Av. Potosí	A1	467	E	D	537	D	D
Av. La Paz - Av. Belgrano	A3	505	E	D	601	D	D
Av. La Paz - Av. Jaime Paz	A1	472	E	D	555	D	D
Av. La Gamoneda - Av. Delio Echazú	A4	730	E	F	967	D	F

Fuente: Elaboración propia

Figura 31: Accesos con estacionamientos restringidos



Fuente: Elaboración propia

Los accesos de las intersecciones indicadas cuentan con un trayecto muy conflictivo en las horas pico y a pesar de la prohibición de estacionamiento que cuenta la mayoría de estos accesos los conductores no respetan dicha normativa por lo que se sugiere realizar controles más exhaustivos para hacer respetar dicha medida, como aumentar el cobro del peaje a un precio más elevado o retirar los vehículos con grúa, ya que considerando lo anterior mencionado, vemos que impidiendo el estacionamiento solucionaría de manera parcial el congestionamiento o al menos lo solucionaría de acuerdo a los resultados del cálculo.

3. Adecuación de tiempos de fase

Consiste en adecuar los tiempos de fase en función al volumen vehicular actual de cada acceso analizado.

Tabla 18: Adecuación de tiempos de fase

Intersección	Acceso	Cambio de fase (seg)							Tiempo de demora en la inters.	% Reducción del tiempo de demora
		Tiempo de fase actual			Tiempo de demora en la inters.	Tiempo de fase en función al volumen				
		Rojo	Amarillo	Verde		Rojo	Amarillo	Verde		
Cochabamba - Venezuela	A1 ; A2	20	2	29	28,03	20	2	29	26,91	4,00
	A3	33	2	16		31	2	18		
Cochabamba - Damaso Aguirre	A1 ; A2	16	2	22	26,73	17	2	21	26,28	1,68
	A3	23	2	15		23	2	15		
Av. Domingo Paz - Gral. Trigo	A1	18	2	20	32,77	20	2	18	32,23	1,65
	A2	22	2	16		20	2	18		
Bolívar - Sucre	A1	22	2	20	36,92	25	2	17	36,12	2,17
	A2	22	2	20		19	2	23		
Campero - Bolívar	A1	22	2	16	29,53	21	2	17	29,17	1,22
	A2	18	2	20		19	2	19		
Campero - 15 de Abril	A1	22	2	20	27,82	25	2	17	27,46	1,29
	A2	20	2	20		19	2	23		
O'Connor - Bolívar	A1	22	2	18	42,00	21	2	19	38,97	7,21
	A2	22	2	18		21	2	19		
Av. La Paz - Bolívar	A1 ; A2	21	2	21	45,99	19	2	23	41,35	10,09
	A3	25	2	17		25	2	17		
Av. La Paz - Av. Belgrano	A1 ; A2	18	2	20	47,23	22	2	16	42,48	10,06
	A3 ; A4	22	2	16		18	2	20		

Fuente: Elaboración propia

Aplicando esta medida, se pudo observar una reducción en los tiempos de demora de hasta el 10% equivalentes a casi 5 segundos y de esta manera una mejoría también de los niveles de servicio de las intersecciones semaforizadas indicadas.

4. Restricción de circulación vehicular por placa

Limita el ingreso de vehículos particulares y de servicio público al casco urbano central de la ciudad en las horas pico, excluyendo a aquellos vehículos que transportan mayor cantidad de pasajeros y los vehículos de atención a emergencias de la población; según la terminación del número de placas.

Esta medida se aplicó solamente a las calles pertenecientes al área céntrica de la ciudad de Tarija y a los vehículos particulares y públicos excepto los micros pertenecientes a la categoría de públicos medianos, por contar con mayor capacidad de pasajeros. Asimismo, se determinó considerando dos alternativas del número de dígitos restringidos por día.

Tabla 19: Restricción vehicular por placa

Intersección	Acceso	Sin solución		Con solución					
		Volumen	N.S.	Restringiendo 2 dígitos por día			Restringiendo 5 dígitos por día		
				Volumen	N.S.	% Reducción del volumen	Volumen	N.S.	% Reducción del volumen
Cochabamba - Venezuela	A1	351	C	296	C	15,67	213	C	39,32
	A2	292	C	249	C	14,73	186	C	36,30
	A3	203	D	163	D	19,70	101	D	50,25
Cochabamba - Corazón de Jesús	A1	394	E	331	D	15,99	237	D	39,85
	A2	379	E	318	D	16,09	228	D	39,84
Cochabamba - Damaso Aguirre	A1	253	B	211	B	16,60	148	B	41,50
	A2	429	B	355	B	17,25	245	B	42,89
	A3	286	D	231	D	19,23	149	D	47,90
Av. Domingo Paz - Juan Misael Saracho	A1	275	D	232	D	15,64	168	C	38,91
	A2	130	C	106	C	18,46	72	B	44,62
	A3	343	E	281	E	18,08	187	D	45,48
Av. Domingo Paz - Campero	A1	300	C	254	C	15,33	185	C	38,33
	A2	104	B	86	B	17,31	61	B	41,35
	A3	283	C	239	C	15,55	173	C	38,87
Av. Domingo Paz - Gral. Trigo	A1	317	C	267	C	15,77	190	C	40,06
	A2	293	D	238	D	18,77	157	C	46,42
Corrado - Colón	A1	352	D	287	D	18,47	189	D	46,31
	A2	299	D	242	D	19,06	157	C	47,49
Corrado - Daniel Campos	A1	394	E	322	D	18,27	214	D	45,69
	A2	209	D	169	D	19,14	110	C	47,37
Corrado - Sucre	A1	336	D	276	D	17,86	186	C	44,64
	A2	248	C	198	C	20,16	124	C	50,00
Bolívar - Gral. Trigo	A1	270	C	230	C	14,81	171	C	36,67
	A2	285	C	232	C	18,60	151	C	47,02
Bolívar - Sucre	A1	239	C	206	C	13,81	155	C	35,15
	A2	307	D	246	D	19,87	153	C	50,16
Bolívar - Daniel Campos	A1	323	B	272	B	15,79	196	B	39,32
	A2	292	D	236	D	19,18	152	D	47,95
Ingavi - Daniel Campos	A1	298	C	245	C	17,79	164	C	44,97
	A2	337	B	272	B	19,29	174	B	48,37
Ingavi - Sucre	A1	312	D	255	D	18,27	169	D	45,83
	A2	314	D	251	D	20,06	157	D	50,00
Ingavi - Gral. Trigo	A1	299	C	243	C	18,73	158	C	47,16
	A2	334	C	269	C	19,46	173	C	48,20
Campero - 15 de Abril	A1	216	C	175	C	18,98	114	C	47,22
	A2	266	C	218	C	18,05	145	C	45,49
Campero - Ingavi	A1	295	C	243	C	17,63	164	C	44,41
	A2	222	D	178	C	19,82	114	C	48,65
Campero - Bolívar	A1	243	D	198	C	18,52	131	C	46,09
	A2	270	C	231	C	14,44	173	C	35,93
Colón - Ingavi	A1	285	D	233	C	18,25	156	C	45,26
	A2	343	B	279	B	18,66	183	B	46,65
Colón - Bolívar	A1	406	B	334	B	17,73	225	B	44,58
	A2	257	C	217	C	15,56	156	C	39,30
Colón - Domingo Paz	A1	312	D	255	C	18,27	168	C	46,15
	A2	354	C	298	C	15,82	214	C	39,55
Junín - Bolívar	A1	325	E	260	D	20,00	162	D	50,15
	A2	416	D	343	D	17,55	232	C	44,23
Junín - Domingo Paz	A1	406	E	325	D	19,95	203	D	50,00
	A2	243	D	208	D	14,40	157	D	35,39
Junín - Av. Potosí	A1	418	E	338	D	19,14	219	D	47,61
	A2	469	C	378	C	19,40	242	C	48,40
	A3	427	D	341	D	20,14	213	D	50,12
O'Connor - Domingo Paz	A1	291	C	233	C	19,93	145	C	50,17
	A2	181	D	153	D	15,47	111	D	38,67
O'Connor - Bolívar	A1	325	D	263	D	19,08	170	D	47,69
	A2	325	D	267	D	17,85	179	D	44,92
O'Connor - Av. Victor Paz	A1	187	D	150	D	19,79	93	C	50,27
	A2	490	D	396	D	19,18	254	C	48,16
	A3	166	C	134	C	19,28	87	B	47,59
Av. La Paz - Bolívar	A1	428	D	350	D	18,22	232	D	45,79
	A2	399	D	326	D	18,30	217	C	45,61
	A3	315	D	255	D	19,05	164	D	47,94
Av. La Paz - Av. Belgrano	A1	392	D	318	D	18,88	208	D	46,94
	A2	289	C	236	C	18,34	158	C	45,33
	A3	460	E	371	D	19,35	237	C	48,48
	A4	201	D	164	D	18,41	109	D	45,77
Av. La Paz - Av. Jaime Paz	A1	329	E	268	E	18,54	177	E	46,20
	A2	469	C	386	C	17,70	260	C	44,56
	A3	93	C	74	C	20,43	46	C	50,54
						17,98			44,91

Fuente: Elaboración propia

1ª Alternativa

Restringiendo solamente dos dígitos de la terminación de placas, es decir considerando un 20% del volumen total de los vehículos anteriormente mencionados, se logró reducir aproximadamente un 18% del volumen total analizado.

Con esta alternativa se logra mejorar el nivel de servicio en un 13% de todas las intersecciones analizadas.

Figura 32: N.S con restricción por placa de dos dígitos



Fuente: Elaboración propia

2ª Alternativa

Restringiendo la circulación de vehículos con placas con terminación par o impar por día, se consigue una reducción del volumen del 45%, y se obtiene una mejoría del nivel de servicio del 27% de todas las intersecciones.

Figura 33: N.S. con restricción por placa de cinco dígitos



Fuente: Elaboración propia

En base a los resultados obtenidos de ambas alternativas se concluye que el funcionamiento de la segunda alternativa sería el más óptimo.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

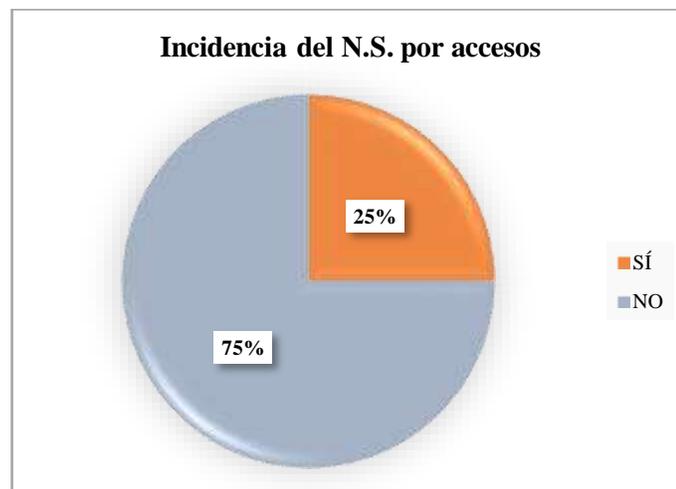
CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- El transporte público no sindicalizado influye un 26,26% del total del volumen del tráfico vehicular analizado en la zona de estudio.
- La incidencia que presenta el transporte público no sindicalizado en los niveles de servicio de la zona de estudio es del 14% por intersección y del 25% por acceso.

Figura 34: Incidencia del N.S. por accesos



Fuente: Elaboración propia

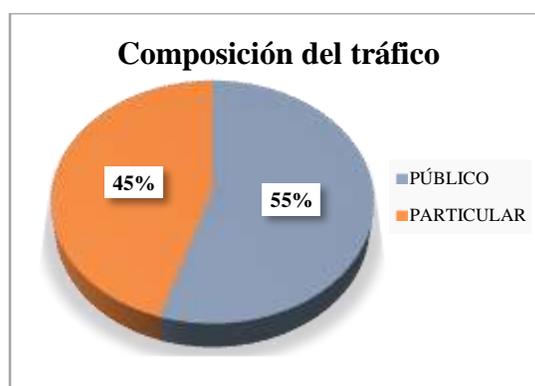
Figura 35: Incidencia del N.S. por intersección



Fuente: Elaboración propia

- La velocidad media de circulación de la zona de estudio es de 23,88 km/h, mientras que la velocidad del transporte público no sindicalizado es de 23,05 km/h.
- La presencia de los taxis no sindicalizados sí influye en la velocidad media de circulación de manera que la disminuyen en un 3,47%. Es decir, que los vehículos que circulan dentro de la influencia de los taxis no sindicalizados se ven afectados en su velocidad por la presencia de estos.
- El problema que ocasiona el transporte público sobre todo en las horas pico de 12:00 a 13:00 y de 18:00 a 19:00 es evidente en las intersecciones “Av. La Paz - Av. Jaime Paz” y “Av. La Paz - Av. Belgrano”, se observan colas de espera de hasta 10 vehículos y demoras que sobrepasan los 60 segundos, que se generan en la circulación vehicular debido a que la mayoría de los conductores de micros no respetan las paradas establecidas ya sea por su propia imprudencia o la de algún pasajero, mientras que los conductores de taxis circulan por las vías a velocidades bajas en busca de pasajeros. No existe un control estricto con respecto a esta situación.
- El transporte público (taxis sindicalizados y no sindicalizados, micros, taxi-trufis) tiene gran incidencia dentro de la zona de estudio, representa el 55% del volumen total en la circulación vehicular.

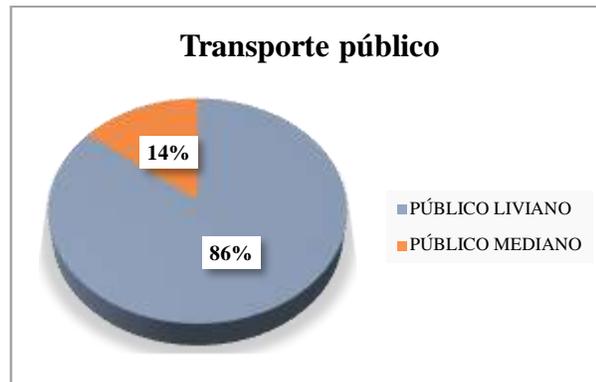
Figura 36: Composición del tráfico



Fuente: Elaboración propia

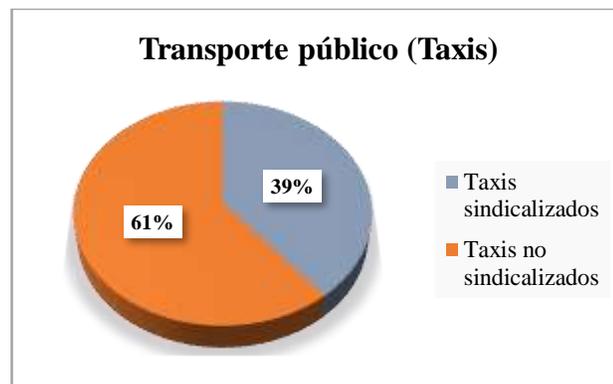
- El 86% del transporte público urbano que circula por la zona de estudio está conformado por el transporte público liviano, y a su vez este tipo de transporte está constituido en su mayoría por el transporte público no sindicalizado con un 61%, lo cual nos muestra que la modalidad del transporte público informal es una problemática para nuestro medio.

Figura 37: Composición del transporte público



Fuente: Elaboración propia

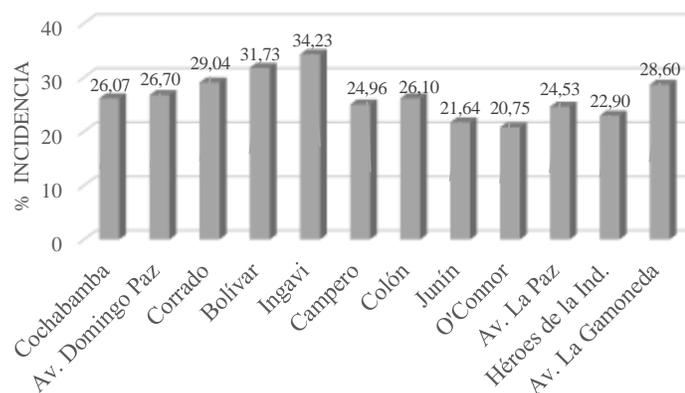
Figura 38: Composición del transporte público liviano (taxis)



Fuente: Elaboración propia

- Las rutas más afectadas por el transporte público no sindicalizado son las calles Ingavi con una incidencia del 34,23% y Bolívar con 31.73% de incidencia.

Figura 39: Incidencia de taxis informales en las rutas analizadas



Fuente: Elaboración propia

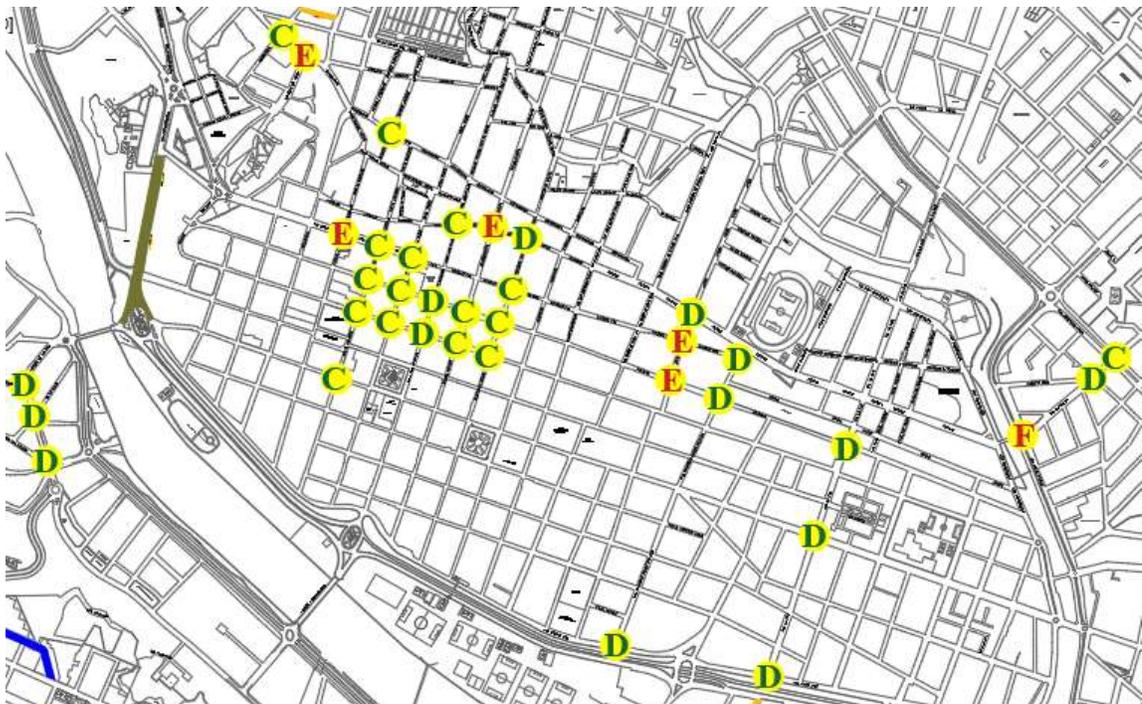
- Las intersecciones con niveles de servicio más desfavorables son las intersecciones sin semáforo.

Tabla 20: Intersecciones más críticas

Intersección	Acceso	N.S.	
Cochabamba - Corazón de Jesús	A1	E	E
	A2	E	
Av. Domingo Paz - Juan Misael Saracho	A1	D	E
	A2	C	
	A3	E	
Corrado - Daniel Campos	A1	E	E
	A2	D	
Junín - Bolívar	A1	E	E
	A2	D	
Junín - Domingo Paz	A1	E	E
	A2	D	
Av. La Gamoneda - Av. Delio Echazú	A1	F	F
	A2	D	
	A3	C	
	A4	E	

Fuente: Elaboración propia

Figura 40: Niveles de servicio críticos



Fuente: Elaboración propia

- Las calles que cuentan con anchos de calzadas menores a 3.10 metros presentan mejores niveles de servicio en comparación con las calles más amplias debido a que al no contar con espacio suficiente para estacionamientos no se interrumpe ni perjudica la circulación vehicular. Tales son las calles Sucre e Ingavi que en su perímetro estudiado presentan niveles de servicio de C y D respectivamente, mientras que las calles Junín y Gamoneda al ser más amplias cuentan con accesos con niveles de servicio de E y F.
- El incumplimiento de la señalización y las normas de tránsito, ya sea por conductores o usuarios perjudican la circulación vehicular reduciendo velocidades y capacidades y por lo tanto bajos niveles de servicio en los accesos.

4.2. Recomendaciones

- Concientizar sobre el uso del transporte público informal a la población, ya que, al no contar con permisos autorizados por las instituciones a cargo para prestar su servicio a la sociedad, puede ser un riesgo para los usuarios como al ser expuestos a los sobrecostos de las tarifas e incluso hasta robos o asaltos.
- Se recomienda hacer mayor énfasis en la educación vial de los conductores y peatones, hacer que los mismos respeten y cumplan las normas establecidas. Llevar a cabo una formación permanente desde la niñez enseñando a combatir la falta de respeto por parte de los usuarios hacia la norma de tránsito y así evitar conductas indisciplinadas.
- Debería incrementarse el control de tránsito y los elementos de ayuda a mejorar la circulación (cebras), no solo en el centro de la ciudad sino en todas las arterias más transitadas, esto pueden solventarse del aumento de peaje por estacionamiento.
- Se debe realizar controles más estrictos para hacer respetar los espacios destinados netamente para la circulación vehicular y peatonal; es decir, retirar a los puntos comerciales mal ubicados quitando capacidad a las aceras obligando de esta manera a los peatones a caminar por la calzada, exponiéndose físicamente y perjudicando el tráfico vehicular.
- Para mejorar el servicio del transporte público se recomienda incluir unidades de mayor capacidad, que sean lo suficientemente amplias como para poder transportar un mayor número de pasajeros y así requerir menor cantidad de vehículos para prestar este servicio.
- Se debería considerar el traslado de las ferias que se realizan los días sábado en la zona de Villa Fátima, y los días domingos en la zona El Palmarcito ubicada en la avenida La Gamoneda, a otras zonas que tengan las condiciones aptas para captar la cantidad de vehículos y peatones, que precisa una feria de esas características.
- Se recomienda realizar mantenimientos periódicos en la señalización horizontal sobre todo en las intersecciones sin semáforo ya que las señalizaciones horizontales y verticales son su único instrumento de control.
- Por último, se recomienda realizar un estudio más amplio en toda la ciudad para poder contar con una información más completa y así buscar soluciones más precisas.