

CAPÍTULO I

DATOS GENERALES

1.1 Introducción

La aparición del automóvil como medio de transporte es relativamente reciente en la historia humana, desde su aparición la tecnología ha permitido que los automóviles sean cada vez más rápidos, confortables y más amplios, también las vías tuvieron que mejorar con el tiempo generando en la actualidad complejos sistemas de redes viales. Durante muchos años la metodología para la solución de los problemas de tráfico fueron empíricas, sin embargo, esta forma de solucionar los problemas no era eficiente, razón por la cual, se ve la necesidad de desarrollar soluciones con base científica, a través de la ingeniería, aplicando estudios de tráfico.

Los estudios de tráfico son una herramienta esencial en la ingeniería aplicada que permite estudiar el comportamiento del tráfico, para este propósito las variables que se analizan son el volumen vehicular, la velocidad de circulación y la densidad de tráfico. El relevamiento de datos en campo es fundamental para su posterior procesamiento, análisis y postulado de soluciones.

En Bolivia el eje troncal constituido por las ciudades de La Paz, Cochabamba y Santa Cruz es donde los problemas de tráfico son más visibles producto de una planificación deficiente o porque no se le ha dado la importancia suficiente a la problemática del tráfico vehicular. En la ciudad de Tarija, aunque más pequeña que las anteriores, ya existen vías donde el flujo vehicular en zonas urbanas representa un problema a resolver.

En el presente trabajo de pregrado se realizó un estudio de tráfico en una de las principales avenidas de la ciudad de Tarija más específicamente en la avenida La Paz. Actualmente la avenida La Paz tiene intersecciones críticas donde el tránsito vehicular es lento o congestionado, a lo largo de la avenida se efectuaron aforos y mediciones sistemáticos de los volúmenes vehiculares y velocidades en las intersecciones que son las variables que definen el comportamiento del tráfico, se procedió con la depuración

de datos para trabajar con datos confiables, también se determinan los niveles de servicio en las intersecciones y finalmente se presentan algunas alternativas para mejorar la calidad de operación de las intersecciones problemáticas.

1.2 Justificación

La avenida La Paz, denominada así por la ordenanza municipal N°25/2010, es una vía muy transitada en especial el sector comprendido entre las avenidas Jaime Paz Zamora y avenida Circunvalación. La avenida es importante para el sistema de arterias urbanas de la ciudad de Tarija por múltiples causas por este motivo es importante realizar estudios de tráfico para conocer el comportamiento del flujo vehicular que por ella transita.

Desde la apertura de la avenida La Paz el parque automotor ha ido en crecimiento constante y los volúmenes que transitan la avenida también fueron en aumento, la zona se ha convertido poco a poco en un epicentro comercial más si se tiene en cuenta que la avenida conecta con dos avenidas muy importantes: al sur con la avenida Jaime Paz Zamora y al norte con la avenida Circunvalación.

En la actualidad se puede observar periodos en los que el tránsito vehicular satura la capacidad de evacuación de la avenida lo que provoca velocidades de tránsito lentas, congestionamiento, contaminación acústica y mal estar en general.

Para resolver los problemas del flujo vehicular en la avenida La Paz es necesario realizar un estudio que proporcione información suficiente sobre el comportamiento del flujo vehicular y que describa el funcionamiento de las variables del tráfico. Sin la información suficiente no se puede realizar un análisis real de la problemática por ende no se puede plantear soluciones efectivas.

1.3 Identificación del problema

1.3.1 Situación problemática

Según datos del Instituto Nacional de Estadísticas el incremento de automóviles es de 6,3% para Tarija durante el periodo de 2017 y 2018, este aumento del parque automotor

implica también cambios en los volúmenes de tránsito en las diferentes arterias de Tarija. La avenida La Paz ya adolece de ciertos problemas de tránsito tales como el congestionamiento provocados por este incremento vehicular en determinadas horas.

Tabla 1-1 Variación del número vehicular del 2017 a 2018

Departamento	2017		2018		Variación Porcentual
	Número Vehículos	Participación Porcentual	Número Vehículos	Participación Porcentual	
TOTAL	1800354	100	1910127	100	6,1
Chuquisaca	70480	3,9	74245	3,9	5,3
La Paz	427922	23,8	449945	23,6	5,1
Cochabamba	386952	21,5	410391	21,5	6,1
Oruro	94799	5,3	99392	5,2	4,8
Potosí	64221	3,6	67978	3,6	5,9
Tarija	102203	5,7	108596	5,7	6,3
Santa Cruz	605540	33,6	647028	33,9	6,9
Beni	44193	2,5	47831	2,5	8,2
Pando	4044	0,2	4721	0,2	16,7

Fuente: Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT), 2018.

Se desconoce el volumen vehicular de demanda que tienen las intersecciones a lo largo de la avenida La Paz, lo que se observa a priori es que existen determinadas horas donde la capacidad de los accesos es superada razón por la cual se producen problemas de tráfico vehicular. La composición vehicular es un parámetro importante porque permite conocer como está configurado el volumen vehicular que transita un acceso indicando de manera porcentual los tipos de vehículos.

Se desconoce el comportamiento del flujo vehicular a lo largo de la avenida durante las horas pico, es decir, no se sabe cómo está distribuido el volumen vehicular en los periodos críticos. El periodo crítico se asume el mismo para toda la avenida sin embargo no todas las intersecciones están trabajando bajo condiciones críticas al mismo tiempo, puede que una intersección este con niveles de servicio de saturación y otra intersección no necesariamente. En el caso de la avenida La Paz se observa intersecciones con poca demanda a una determinada hora, pero al mismo tiempo otras intersecciones trabajan en

límites críticos por eso se necesita un estudio de tráfico que especifique que intersecciones operan congestionadas y cuáles son los niveles de servicio con los que operan los accesos e intersecciones.

Las intersecciones en las que observan, a priori, problemas provocados por el flujo vehicular y sus posibles causas se listan a continuación:

Av. Jaime Paz Zamora con av. La Paz, forma parte de la ruta y parada de los microbuses que comunican a la universidad con distintos barrios de Tarija.

Av. Belgrano con av. La Paz, es el punto de origen de automóviles que se dirigen hacia el casco viejo de la ciudad y destino de vehículos que quieren acceder a la zona comercial y bancaria.

Calle Bolívar con av. La Paz, es el punto de origen para microbuses que se dirigen al casco viejo de la ciudad, destino de transporte público y privado que acceden al campus universitario de la Facultad de Odontología.

Calle Oruro con av. La Paz, es el punto de origen para microbuses que se dirigen al campus universitario del Tejar o a la terminal de buses de Tarija, es el destino de microbuses que dejan pasajeros en la zona de la facultad de Odontología

Av. Potosí con av. La Paz, tiene una pseudo-parada de micros que tienen como destino el barrio Luis Espinal.

Av. Circunvalación con av. La Paz, es el punto de origen de micro de la línea “Ch” que tienen como destino el campus universitario del Tejar, el casco viejo de la ciudad o incluso la zona del mercado campesino.

1.3.2 Problema

¿De qué forma un análisis de tráfico ayuda a resolver los problemas de flujo vehicular, en horas pico, de la avenida La Paz de la ciudad de Tarija?

1.4 Formulación de hipótesis

1.4.1 Hipótesis

Si se realiza un análisis de tráfico en la avenida La Paz se puede determinar el comportamiento del flujo, conocer la distribución espacial y temporal del volumen vehicular, lo que permitirá conocer las causas de los problemas en el tráfico y proponer soluciones.

1.4.2 Identificación de variables

A través de los elementos del flujo vehicular se puede entender las características y el comportamiento del tráfico vehicular, estos elementos son a su vez las principales variables del tráfico que permiten abordar la problemática del flujo vehicular desde un punto vista matemático-físico, lo cual permite determinar el nivel de eficiencia de funcionamiento de los sistemas de tráfico.

Estas variables son:

Volumen Vehicular: Refiere a la cantidad de vehículos que circulan por una vía en un periodo de tiempo.

Capacidad Vehicular: Esta variable se estudia a través del volumen vehicular, denominada también flujo vehicular.

Velocidad: Distancia recorrida por un vehículo en un periodo de tiempo determinado.

Densidad: Variable que indica el número de vehículos que ocupan una longitud específica de una vía en un momento dado.

De estas variables el volumen vehicular y la velocidad se pueden medir directamente (variables independientes) mientras que la capacidad vehicular y la densidad se determinan a través fórmulas matemáticas (variables dependientes).

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Analizar el comportamiento del flujo vehicular en la avenida La Paz entre la av. Jaime Paz Zamora y la av. Circunvalación, identificando los niveles de servicio de sus intersecciones, para sugerir posibles alternativas de solución a los problemas de tráfico vehicular.

1.5.2 Objetivos específicos

- Aforar el volumen de vehículos que circulan por la avenida La Paz.
- Medir los tiempos de circulación en las intersecciones de la avenida La Paz.
- Depurar y validar de los datos relevados en los aforos de volumen vehicular y aforos de velocidad.
- Calcular las velocidades de punto en los accesos de la avenida y calles aledañas.
- Determinar la capacidad y niveles de servicio en las intersecciones y accesos de la avenida La Paz.
- Diseñar la distribución de tiempos de semáforos teóricamente y comparar con la distribución de tiempos existente en los semáforos de la avenida La Paz.
- Dimensionar la distribución de tiempos semaforicos en intersecciones donde sea viable la colocación de nuevos semáforos.
- Realizar un conteo del señalamiento horizontal y vertical a lo largo de la avenida La Paz.
- Sugerir alternativas de solución a los problemas de tráfico presentes en la avenida.
- Realizar simulaciones microscópicas de tráfico vehicular en las intersecciones críticas de la avenida La Paz en la situación actual y la situación con propuestas de solución.

1.6 Metodología

1.6.1 Componentes

1.6.1.1 Unidad de estudio

La unidad de estudio es el tráfico vehicular que circula a lo largo de la avenida La Paz.

1.6.1.2 Población y muestra

La población en estudio son los vehículos que transitan por la avenida La Paz y la muestra se tomó en 38 intersecciones, 15 de las cuales son propiamente de la avenida La Paz y las demás son de las calles aledañas.

1.6.2 Método

Se usa el método que dicta la norma AASTHO, es decir, se afora dos días hábiles y un día inhábil durante cuatro semanas en las horas pico.

1.6.3 Procedimiento de aplicación

1.6.3.1 Aforo vehicular

En esta etapa se procede al aforo vehicular desde las 7:00am hasta las 9:00pm, quiere decir, durante 14 horas para realizar un histograma que ayude a determinar tres horas pico durante el día. Una vez determinadas las horas pico se procede con el aforo durante cuatro semanas en las horas pico siguiendo los lineamientos de la metodología descrita en el texto “Manual de Ingeniería de Transito” de Paul C. Box y Josech C. Oppenlander.

1.6.3.2 Aforo de velocidad

Durante las horas pico, se afora las velocidades de punto en las intersecciones en estudio siguiendo los pasos indicados en el “Manual de Ingeniera de Transito” de Paul C. Box y Josech C. Oppenlander.

1.6.3.3 Procesamiento de datos

Una vez recopilados los datos estos pasan por un proceso de validación estadístico, el cual consiste en:

Ordenar los datos.

Determinar la media de los datos.

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

Estimar la desviación estándar.

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

Y finalmente se establece el rango dentro del cual los valores son válidos, aquellos valores que estén fuera del rango son descartados.

$$Rango = \bar{X} \pm S$$

1.6.3.4 Determinación de capacidad y nivel de servicio

Para la determinación de la capacidad y nivel de servicio se siguen los pasos indicados por la HCM (Manual de Capacidad de Carreteras) para intersecciones semaforizadas, y se utilizó el método simplificado (método por ábacos) para intersecciones sin semáforos.

1.7 Alcance del proyecto

El análisis del flujo vehicular se realiza específicamente a lo largo de la avenida La Paz entre las avenidas Jaime Paz Zamora y la avenida Circunvalación cubriendo una longitud de aproximada de 1,34 km el estudio abarca también las calles adyacentes a la avenida. En este tramo existen varios puntos críticos y otros importantes no tanto por su

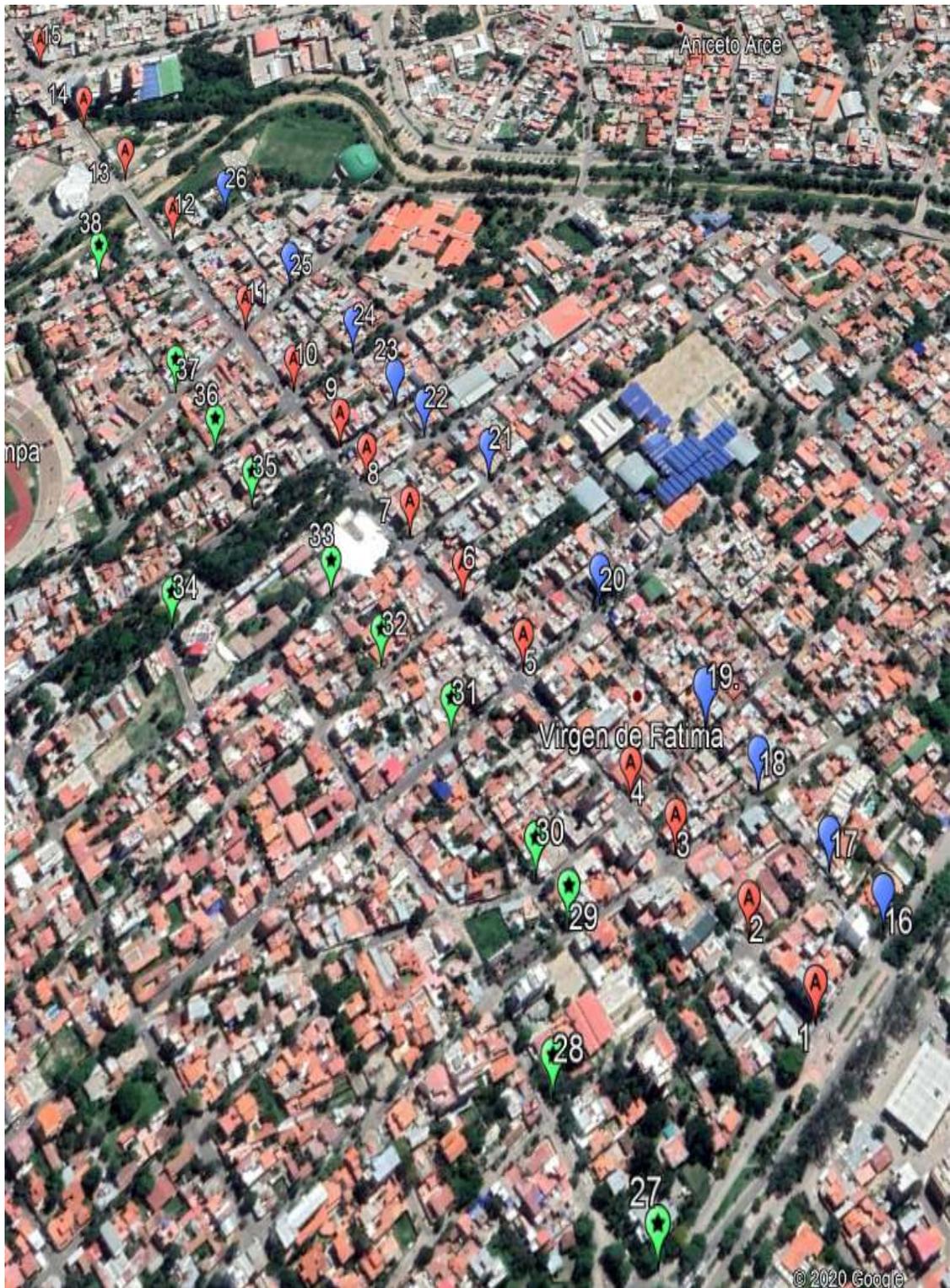
flujo vehicular sino porque podrían ser alternativas de solución para evacuar el tráfico desde la avenida La Paz hacia otras redes de tránsito. En estos puntos estratégicos se realizan los aforos pertinentes para determinar el volumen de tráfico en sus intersecciones y accesos.

El estudio se realiza en 38 intersecciones con 110 puntos de aforo, desde la intersección 1 a hasta la 15 cubren la avenida La Paz propiamente dicha con 50 puntos de aforo, desde la intersección 16 a hasta la 26 cubren las calles a la margen derecha de la avenida con 29 puntos de aforo y desde la intersección 27 a hasta la 38 cubren la margen izquierda de la avenida. (Ver Figura 1-1)

En esta área se realizan los aforos vehiculares y aforos de velocidad en las horas pico determinadas. Se analiza el sistema de semáforos existentes y su funcionamiento en términos de tiempo de demora y nivel de servicio.

En la Tabla 1-2 se presenta la lista de las intersecciones en estudio a lo largo de la avenida La Paz y calles aledañas en estudio.

Figura 1-1 Intersecciones del estudio de tráfico



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1-2 Lista de intersecciones

Intersecciones			
1	Av. La Paz y Av. Jaime Paz	20	C. Eulogio Ruiz y Av. Belgrano
2	Av. La Paz y C. Abaroa	21	Pje. Las Rosas y C. Ingavi
3	Av. La Paz y C. Ciro Trigo	22	Pje. Las Rosas y C. Bolívar
4	Av. La Paz y C. Delfín Pino	23	Pje. Las Rosas y C. Oruro
5	Av. La Paz y Av. Belgrano	24	Pje. Guemez y Av. Potosí
6	Av. La Paz y C. La Madrid	25	Pje. Guemez y C. Rosendo Estenssoro
7	Av. La Paz y C. Ingavi	26	Pje. Guemez y C. Membrillos
8	Av. La Paz y C. Bolívar	27	C. Padilla y C. Abaroa
9	Av. La Paz y C. Oruro	28	C. Raquel Darlach y C. Ciro Trigo
10	Av. La Paz y Av. Potosí	29	C. Raquel Darlach y C. Delfín Pino
11	Av. La Paz y C. Rosendo Estenssoro	30	C. Raquel Darlach y Av. Belgrano
12	Av. La Paz y C. Membrillos	31	Pje. Reverendo Murillo y C. La Madrid
13	Av. La Paz y Av. Hugo Arce	32	Pje. Reverendo Murillo y C. Ingavi
14	Av. La Paz y C. Prof. María Jurado	33	C. Ejército y C. Belgrano
15	Av. La Paz y Av. Circunvalación	34	Pje. Carlos Paz y C. Oruro
16	C. Eulogio Ruiz y Av. Jaime Paz Z.	35	Pje. Carlos Paz y Av. Potosí
17	C. Eulogio Ruiz y C. Abaroa	36	Pje. Carlos Paz y C. Rosendo Estenssoro
18	C. Eulogio Ruiz y C. Ciro Trigo	37	Pje. Carlos Paz y C. Membrillos
19	C. Eulogio Ruiz y C. Delfin Pino	38	Pje. Carlos Paz y C. Membrillos
20	C. Eulogio Ruiz y Av. Belgrano		

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Definición de tráfico y sus elementos

El tráfico vehicular es el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista. Su comportamiento tiene similitudes con otros fenómenos como el flujo de partículas como es el caso de los líquidos, gases o sólidos.

La ingeniería aplicada ha identificado tres elementos en el tráfico vehicular para su estudio y análisis, estos elementos son:

Vehículo

Usuario

Vía

2.1.1 Vehículo

Es el automóvil como tal desde su aparición su evolución ha sido muy acelerada cambiando y aumentando esencialmente sus características como la potencia, dimensiones, velocidades, etc. provocando que la estructura vial diseñada para un tipo de vehículo con ciertas características quede obsoleta para las potencias, velocidades, dimensiones de los vehículos actuales.

Para la ejecución del presente proyecto se realizó un registro de los vehículos que circulan por las vías en estudio registrando con especial cuidado sus movimientos y giros, y la composición vehicular.

2.1.1.1 Clasificación vehicular

La clasificación vehicular es la forma de ordenar técnico-administrativa vehículos que circulan por la vía pública, estos pueden ser impulsados mecánicamente o por

electricidad. Según la entidad que estudia el tráfico la clasificación vehicular varia, en ese sentido tenemos que:

Según la Administradora Boliviana de Carreteras

Las categorías principales son:

Vehículos livianos: Automóviles, camionetas hasta 1500kg.

Locomoción colectiva: Buses rurales e interurbanos.

Camiones: Unidad simple para transporte de carga.

Camiones: Con semirremolque o remolque.

Según la Highway Capacity Manual “HCM”

Para el manual de HCM (en vías urbanas), la clasificación es:

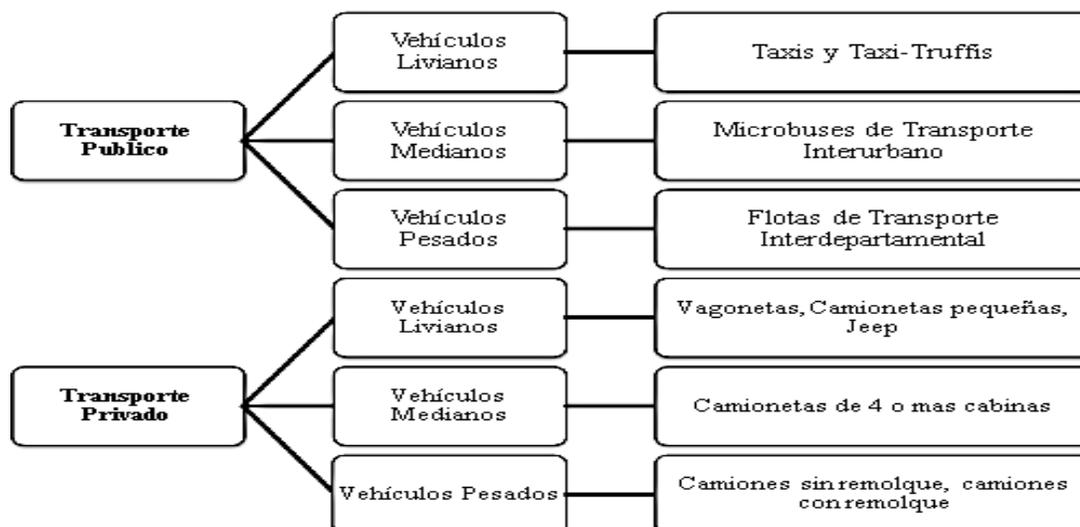
Vehículos Ordinarios

Vehículos Pesados, considerando vehículos pesados a todo vehículo con más de cuatro ruedas sobre el pavimento incluyendo a los microbuses.

Clasificación para estudios en vías urbanas.

Para registrar el volumen vehicular en el presente documento se utilizó una clasificación especial como indica la Figura 2-1.

Con este tipo de clasificación existen 2 grupos de vehículos: vehículos públicos y vehículos privados. En cada grupo existen 3 subgrupos los cuales son: vehículos livianos, vehículos medianos y vehículos pesados.

Figura 2-1 Clasificación vehicular

Fuente: Elaboración propia

2.1.2 Usuario

Los usuarios pueden ser peatones o conductores, son elementos primordiales del tránsito por calles y carreteras. Es un elemento poco estudiado, pero debe ser estudiado con el propósito de poder ser controlado en forma adecuada.

2.1.2.1 Peatón

En las actividades comunes del peatón en las calles, en la vida diaria, siguen existiendo situaciones críticas esto se nota más claramente con gente que viene de áreas rurales o de visita. Así es como el provinciano que llega a una ciudad está indeciso en los cruces de calle esperando un momento oportuno para cruzar sin saber de qué lugar vienen los vehículos y repentinamente trata de cruzar corriendo aleatoriamente generando problemas para los conductores.

Flujos peatonales

La circulación de peatones en los cruces peatonales es un factor a considerar principalmente en áreas públicas cercanas a paradas de microbuses, centros comerciales, cines, estadios, etc.

Para el estudio de capacidad y nivel de servicio en intersecciones urbanas es importante conocer el flujo peatonal, sin embargo, no siempre se conoce con exactitud este parámetro, el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM) previendo esta situación sugiere los valores expresados en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1 Valores para el flujo peatonal

Flujo Peatonal, pt/h	Flujo peatonal reducido	50
	Flujo peatonal moderado	200
	Flujo peatonal intenso	400

Fuente: HCM

Respecto a los aforos de volumen peatonal existen diferentes maneras de realizarlo, siendo las más conocidas aforos en las aceras a los laterales de las calles y los aforos en los cruces peatonales. Los aforos en los cruces peatonales consisten en la anotación de la cantidad de peatones que transitan por un cruce peatonal determinado.

2.1.2.2 Conductor

Es la persona que maneja un automóvil, conoce el mecanismo y los componentes del vehículo. El conductor tiene la obligación de transitar por las calles de manera responsable tratando siempre de evitar los accidentes adaptándose a las diferentes situaciones que aparezcan al momento de conducir. Los factores que influyen en el conductor para que este se pueda adaptar con menor o mayor facilidad pueden ser internos o externos.

Factores internos

Estos son factores que provienen del propio conductor abarcando aspectos tanto físicos como psicológicos, de los que se destaca:

Visión: Se entiende que es un factor a considerar porque una buena visión implica mejores tiempos de reacción al momento de presentarse obstáculos en la carretera. Sin mencionar que existen ciertas deficiencias visuales que limitan a los conductores como son la miopía, presbicia, astigmatismo, estrabismo, etc.

Reacción física: Este aspecto tiene que ver con las habilidades adquiridas por los conductores a través de la rutina de transitar por las mismas arterias permitiéndoles cierta destreza al momento de conducir, destreza que no tienen los conductores que transitan las mismas calles por primera vez.

Reacción psicológica: Tiene que ver con un proceso intelectual por medio del cual el conductor toma decisiones influenciadas por los sentidos, emociones y otros estímulos que desembocan en una decisión al conducir.

Factores externos

Son factores sobre los cuales el conductor no tiene control, tienen que ver con la geometría de las intersecciones, la señalización, etc. los más importantes son:

Distancia de visibilidad: Aunque el conductor tenga una buena visión si existieran elementos que le quiten visibilidad su tiempo de reacción se ve afectado.

Ancho de carril: En carriles muy estrechos de manera inconsciente el conductor reduce la velocidad debido al poco espacio para maniobrar.

Presencia de cruces: Por obvias razones los conductores reducen la velocidad al estar cerca de un cruce peatonal.

Señalización: Entre los elementos de señalización no solamente se incluyen los letreros sino también los semáforos.

Fenómenos atmosféricos: Cuando ocurren lluvias, vientos o incluso en días muy fríos o calurosos los conductores cambian su manera de conducir.

2.1.3 Vía

Es el elemento que hace posible el movimiento y transporte de vehículos. Consta de características geométricas y características estructurales.

En la actualidad las calles urbanas tienen, por lo general, una superficie de rodamiento hecha de pavimento asfáltico esta característica hace que la circulación de vehículos sea menos accidentada y cómoda. En caso de que la superficie de rodamiento sufra desgaste por el paso del tiempo existen métodos de tratamiento superficial que hacen posible que el pavimento asfáltico se mantenga en buen estado.

Respecto a las características geométricas, el ancho de calzada, permanece por lo general invariable a lo largo de la vida útil de una calle urbana y tiene relación directa con la capacidad de circulación, es decir, que a mayor ancho de calzada mayor capacidad y a menor ancho de calzada menor capacidad de circulación.

Clasificación funcional de sistemas viales urbanos

Sistema de arterias urbanas principales: Este tipo de sistemas sirve a los mayores centros de actividad en áreas urbanas, los corredores con los más altos volúmenes vehiculares.

Sistema de arterias urbanas menores: Interconecta y complementa al sistema anterior, incluye a todas las arterias no clasificadas como principales. Este sistema pone más énfasis en el acceso y ofrece menos movilidad de tránsito.

Sistema de colectores urbanos: Este sistema provee acceso y circulación de tránsito dentro de vecindarios residenciales, áreas comerciales e industriales.

Sistema de calles locales: Permite el acceso directo a generadores de viajes, conectándolos con los sistemas de vialidades superiores. Ofrece el nivel más bajo de movilidad y por lo general, no debería llevar rutas de autobuses.

2.2 Ingeniería de tráfico

La ingeniería de tráfico es la herramienta que nos entrega elementos al momento de estudiar, evaluar y proponer soluciones a la problemática del tráfico. De la mano de la ingeniería de caminos y otras ciencias como la estadística proporcionan argumentos técnicos que arrojan luz sobre esta área.

Los conceptos que permiten entender de manera más precisa el tráfico y su tratamiento desde el punto de vista de ingeniería son el volumen de tránsito, la velocidad y la densidad.

2.2.1 Volumen de tránsito

El volumen de tránsito se expresa en vehículos que pasan por unidad de tiempo, es decir, es la cantidad vehículos que pasan por la sección transversal de un carril o calzada, en periodo determinado de tiempo.

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

Dónde:

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

N= Número total de vehículos que pasan (vehículos)

T= Periodo de tiempo (unidades de tiempo)

2.2.1.1 Volúmenes de tránsito absolutos o totales

Es el número total de vehículos que pasan durante un periodo de tiempo determinado, dependiendo de la duración del periodo de tiempo se tiene los siguientes volúmenes de tránsito absolutos o totales:

Tabla 2-2 Volúmenes de tránsito absolutos

T	1 año	1 mes	1 semana	1 día	1 hora	< 1 hora
Volumen de tránsito absoluto	Tránsito anual	Tránsito mensual	Tránsito semanal	Tránsito diario	Tránsito horario	Tasa de flujo

Fuente: Ingeniería de Tránsito, Rafael Cal y Mayor Reyes Spíndola

2.2.1.2 Volúmenes de tránsito promedio diarios

El Volumen de tránsito diario (TPD), es el número de vehículos que pasan durante un periodo dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor a un día, entre el número de días del periodo en estudio.

Tabla 2-3 Volúmenes de tránsito promedio diario

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

Fuente: Ingeniería de Transito, Rafael Cal y Mayor Reyes Spíndola

2.2.1.3 Volúmenes de tránsito horarios (VH)

Su unidad de medida son los vehículos por hora, se clasifican de acuerdo a la hora seleccionada como se detalla a continuación:

Volumen horario máximo anual (VHMA): Es el máximo volumen horario que pasa por un punto o sección transversal de una vía durante un año; es decir, 1 de 8760 horas en la que se registra el mayor volumen de tráfico.

Volumen horario de máxima demanda (VHMD): Es el máximo número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal de una vía durante 60 minutos consecutivos; representa el periodo de máxima demanda que se registra durante un día.

Volumen horario de proyecto: El volumen horario de proyecto o volumen horario de diseño, es un volumen proyectado que sirve para determinar las características geométricas de la vía. No se considera el máximo volumen horario como volumen de proyecto ya que se alcanzaría un costo elevado de inversión. La experiencia en otros países ha demostrado que tampoco resulta económico diseñar una vía para un volumen horario mayor al volumen horario trigésimo

anual, por lo tanto, se considera al volumen horario trigésimo anual como el de diseño.

2.2.1.4 Usos de volúmenes de tránsito

En el área de la ingeniería de tránsito los volúmenes tienen los siguientes usos:

Análisis de capacidad y niveles de servicio.

Caracterización de flujos vehiculares.

Zonificación de velocidades.

Necesidad de dispositivos para el control de tránsito (semaforización).

Estudio de estacionamientos.

2.2.1.5 Estudios de volúmenes de tránsito

Los aforos se toman para registrar el número de vehículos o peatones que pasan por un punto, entran a una intersección o usan parte de un camino o carril.

2.2.1.6 Métodos de aforo

Existen dos métodos de aforo, el mecánico y el manual.

Aforo mecánico

Se realiza con equipos mecánicos y tecnológicos como cámaras fotográficas que registren datos en dos periodos de una hora o menos. También se usan contadores automáticos instalados en lugares específicos, los contadores pueden ser portátiles o fijos, los contadores portátiles pueden recabar información en periodos de un día o una semana mientras que los contadores fijos están diseñados para registrar volúmenes de manera permanente y continua.

Aforo manual

Actualmente en Bolivia se utilizan dos metodologías para realizar este tipo de aforo, la metodología AASTHO y la metodología de la ABC. En el presente proyecto se aplica la metodología AASTHO que indica realizar los aforos durante un mes, tres días de la semana y durante las tres horas pico del día.

Lo realizan una o más personas llamadas aforadores que registran en una hora de trabajo los volúmenes vehiculares, es un método que permite obtener información de manera más detallada, como, por ejemplo:

Clasificación Vehicular.

Movimientos direccionales en una intersección o acceso.

Dirección del recorrido.

Uso de carril y longitud de colas.

2.2.1.6.1 Aforo en intersecciones urbanas

Los requerimientos y tipo de dispositivos para el control, la programación de los semáforos, los elementos básicos para proyectos de reconstrucción y otras mejoras requieren información detallada de los movimientos direccionales en las intersecciones. Con frecuencia se necesitan también, datos relacionados con la composición vehicular y comportamiento peatonal como complemento de los aforos.

Este tipo de información se obtiene de mejor manera con aforos manuales. En una ciudad un programa de aforos debe, por lo menos, proporcionar información sobre los movimientos direccionales y la composición vehicular, en todas las intersecciones importantes.

2.2.2 Velocidad

El termino velocidad se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo. Se expresa en kilómetros por hora. La ingeniería de tráfico ha realizado una clasificación, por decirlo así, de diferentes tipos de velocidades que ocurren en una vía; a continuación, se presentan algunas definiciones de los tipos de velocidad:

Velocidad en punto

Es la velocidad que tiene un vehículo al pasar por un determinado punto o sección de una calle también se le denomina velocidad instantánea.

Velocidad de recorrido

Llamada también velocidad global o de viaje, es el resultado de dividir la distancia recorrida desde principio a fin de viaje, entre el tiempo total que se empleó en recorrerla. En el tiempo total de recorrido están incluidas todas aquellas demoras operacionales por reducciones de velocidad y paradas provocadas por la vía, el tránsito y los dispositivos de control ajenos a la voluntad del conductor. No incluye aquellas demoras fuera de la vía, como pueden ser las correspondientes a gasolineras, restaurantes, lugares de recreación, etc.

$$VRT = \frac{dr}{tc + td}$$

Dónde:

VRT = Velocidad de recorrido total (km/h).

tc = Tiempo de circulación (horas).

td = Tiempo de demoras (horas).

dr = Distancia de recorrido (km).

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

Velocidad de cruceo

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

$$V_c = \frac{dr}{tc + td}$$

Dónde:

V_c = Velocidad de cruceo.

dr = Distancia de recorrido (km).

tc = Tiempo de circulación (horas).

td = Tiempo de demoras (horas).

Velocidad de proyecto

Llamada también velocidad de diseño, es la velocidad máxima a la cual puede circular los vehículos con seguridad sobre una sección específica de una vía, cuando las condiciones atmosféricas y del tránsito son tan favorables las características geométricas del proyecto gobiernan la circulación todos aquellos elementos geométricos del alineamiento horizontal, vertical y transversal, tales como radios mínimos, pendientes máximas, distancias de visibilidad, sobreelevaciones, anchos de carriles y acotamientos, anchuras y alturas libres, etc. Dependen de la velocidad de proyecto y varían con un cambio de esta.

2.2.2.1 Estudios de velocidad

Uno de los indicadores que más se utiliza para medir la eficiencia de un sistema vial es la velocidad de los vehículos. En ese sentido los estudios de velocidad de punto y de velocidad de recorrido nos proporcionan datos importantes para evaluar la calidad del movimiento del tránsito.

2.2.2.1.1 Estudios de velocidad de punto

Los estudios de velocidad de punto están diseñados para medir las características de la velocidad en un lugar específico, bajo condiciones prevalecientes del tránsito y del estado del tiempo en el momento de llevar a cabo el estudio, que permiten obtener la distribución de velocidades que desarrollan los usuarios, tomando una muestra lo suficientemente representativa de los vehículos que transitan por ese punto.

El método manual más utilizado para el registro de las velocidades de punto es el del cronómetro, en el cual una distancia determinada que se ha marcado con dos rayas de pintura en el pavimento, se mide los tiempos que tardan los vehículos en recorrerla.

El observador se sitúa en un lugar conveniente entre las marcas. Cuando las ruedas delanteras de un determinado vehículo pasan sobre la primera marca, el observador inicia la marcha del cronómetro, y cuando el mismo vehículo toca la segunda marca con las ruedas delanteras, se detiene la marcha del cronómetro. La velocidad se obtiene dividiendo la distancia prefijada, en metros, entre el tiempo que se requirió para recorrerla, en segundos y décimos de segundo. El resultado obtenido, en metros por segundo, se convierte a Kilómetros por hora.

2.2.2.1.2 Estudios de velocidad de recorrido

Naturalmente para determinar la velocidad de recorrido es necesario tener los tiempos de recorrido, los que a su vez están asociados con las demoras. Los propósitos del estudio de tiempos de recorrido y demoras son: evaluar la calidad del movimiento vehicular a lo largo de una ruta y determinar la ubicación, tipo y magnitud de las demoras del tránsito. La calidad del flujo se mide por las velocidades de recorrido y de marcha. En el

momento de estudio, los tiempos de recorrido y de marcha son observados y convertidos posteriormente a medidas de velocidad.

La información de las demoras se registra cuando el flujo de tránsito es detenido o forzado. Para un recorrido la duración de las demoras del tránsito se mide en unidades de tiempo, anotando el lugar en que ocurren, causa y frecuencia de las mismas. Las demoras pueden ser determinadas para recorridos a lo largo de una ruta, durante un día y hora de la semana, específicos, así como en lugares seleccionados, donde existan serios problemas de tránsito.

2.2.3 Densidad o concentración

Es el número (N) de vehículos que ocupan una longitud específica (d) de una vialidad en un momento dado. Generalmente se expresa en vehículos por kilómetro (veh/km).

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

Relación entre la densidad, el volumen y la velocidad.

La densidad es uno parámetro complicado de medir en campo, ya que se requiere conocer la distancia entre automóviles y la longitud total que ocupan una cantidad N de vehículos en un determinado tiempo. Esto se puede hacer a través de fotografías aéreas o grabaciones de video, al no contar con estas herramientas una forma de obtener este parámetro es utilizar la ecuación fundamental del flujo vehicular:

$$q = vk$$

Dónde:

q= Flujo o volumen vehicular

v= Velocidad vehicular

k= Densidad

Entonces despejando la densidad se tiene una ecuación que permite obtener la densidad vehicular:

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

2.3 Problemas del tráfico vehicular

Los problemas del tráfico vehicular son varios y son consecuencia del mal funcionamiento de uno o de todos los elementos que lo componen, por lo tanto, es necesario identificar de manera precisa los factores que causan que los elementos del tráfico no funcionen como un sistema eficaz de transporte.

2.3.1 Factores del problema de tráfico

Los principales factores que ocasionan problemas en el tráfico son:

Circulación de vehículos de diferentes tipos por un mismo camino o vía urbana.

La superposición de vehículos en vías inadecuadas.

Falta de planificación del tráfico y conversiones físicas por donde circulan.

Falta de consideración del automóvil como una necesidad pública.

Falta de responsabilidad y asimilación del problema por entidades estatales y los mismos usuarios

2.3.2 Bases para la solución de problemas de tráfico

Existen herramientas en las que todo problema de tráfico se debe apoyar para ser solucionado, estas no son solamente responsabilidad de la ingeniería, sino que también dependen de otros actores de la sociedad como la normativa y claro está la educación de los usuarios al momento de desplazarse por las vías, calles y carreteras.

Estas herramientas conforman los fundamentos y bases para la solución de problemas de tráfico, cada una de ellas es importante pero aún más importante es que todas ellas actúen en conjunto de manera óptima y simultánea, es así que las soluciones propuestas darán como resultado un tráfico vehicular seguro, eficiente sin perder de vista el confort de los usuarios.

Estas bases son: ingeniería de tráfico, educación vial, normas, reglamentos y control policial

2.3.2.1 Ingeniería de tráfico

La ingeniería de tráfico a lo largo de los años ha realizado investigaciones que le han permitido sistematizar los procesos para el estudio de las problemáticas del tráfico vehicular. Gracias a muchos años de evolución y desarrollo la ingeniería ha sintetizado el proceso en: recopilación de datos, procesamiento de datos, planteamiento de soluciones, seguimiento y control de resultados.

Recopilación de información

A través de esta se recopila la información de los factores que intervienen en un problema de tráfico determinado, en cada caso particular se deben definir las variables, que mediciones de campo se van hacer, que tiempo de mediciones, si se complementara el estudio con encuestas y también cual será la organización del personal y equipamiento para realizar dicha recopilación de información.

Procesamiento de datos

Una vez concluido el periodo de recopilación de información pasamos a la siguiente etapa que es el procesamiento de datos que está referido a los datos recogidos en aforos, encuestas y mediciones que serán procesadas con el propósito de determinar resultados concretos con valores que puedan ser utilizados con el planteamiento de soluciones dependiendo de la cantidad de información se establecerá un tiempo de procesamiento dimensionando el equipo y personal necesario para cumplir con este procesamiento.

Planteamiento de soluciones

Con los resultados obtenidos en la etapa anterior se procede a plantear soluciones realizando un análisis del problema. Las alternativas de solución que se establezcan, la mayoría de las veces, tienden a ser lo más económica posible y no suelen implicar demasiados cambios en la estructura vial.

Seguimiento y control de resultados

En el tráfico los componentes del mismo como vehículos, peatones y vías son dinámicos lo que hace que una solución planteada pueda responder satisfactoriamente en el corto plazo, pero no satisfacer las demandas a largo plazo. Por eso es necesario que después de implementar la solución se realice un permanente seguimiento y control de resultados.

2.3.2.2 Educación vial

Para que cualquier solución planteada tenga éxito es necesario que los usuarios tanto conductores como peatones en principio sean conscientes del problema y cuando se planteé una solución para poner en vigencia sean ellos que den cumplimiento a lo establecido en la solución. Esa actitud de los usuarios es solo posible a través de una concientización y la educación vial que reciban los usuarios tanto peatones como conductores.

2.3.2.3 Normas y reglamentos

Otro pilar fundamental en busca de soluciones es establecer las normativas y reglamentos adecuados a la realidad actual además deben ser de fácil ejecución tal que conductores y peatones no tengan complicaciones al momento de cumplir las mismas.

Es importante que las normas y reglamentos relacionados al tráfico y transporte sean periódicamente actualizadas de acuerdo a las condiciones reales que se presentan en la circulación vehicular y peatonal.

2.3.2.4 Control policial

Como complemento para que las soluciones planteadas sean ejecutadas en conocimiento que existen usuarios que no cumplen las normas y reglamentos esto puede hacer fracasar las soluciones planteadas. Es necesario que las organizaciones operativas de tránsito coadyuven a la solución del problema establecido, haciendo respetar y cumplir, mediante normativas vigentes las soluciones propuestas tomando en cuenta que esta institución tiene un papel fundamental en la regulación del tráfico.

2.3.3 Solución al problema de tráfico

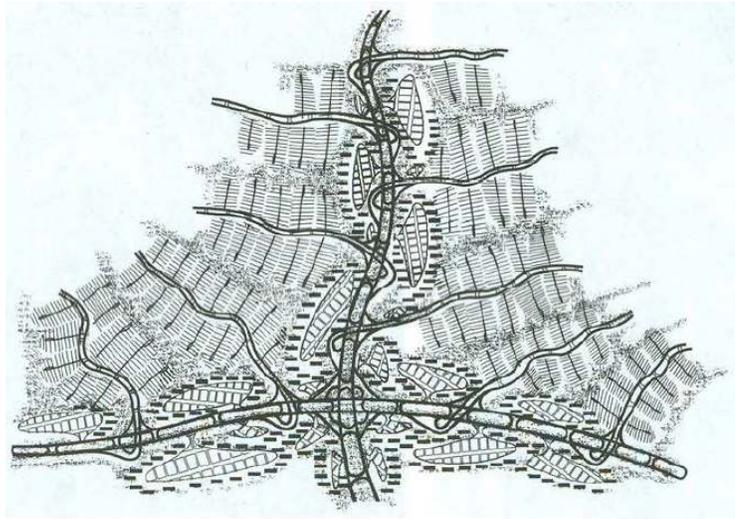
Las soluciones a los problemas del tráfico estarán en función de un análisis de los factores que los provocan, también estarán sujetas a la factibilidad económica. Estas soluciones pueden ser integrales, de alto costo o de bajo costo.

2.3.3.1 Solución integral

La solución integral consiste en construir nuevos tipos de vialidades que se adecuen a los volúmenes de tráfico actuales, proyectando también un aumento en el futuro. Se necesitará construir ciudades nuevas con trazos nuevos destinados a alojar vehículos modernos con todas las características inherentes al mismo.

El trazo propuesto para nuevas ciudades, se inspira en los sistemas circulatorios de la naturaleza, como el de la sangre en el hombre, el de los ríos y el de las plantas. En ese sentido se buscará el equilibrio entre la oferta y la demanda con el trazo de las arterias troncales con control de accesos para facilitar el viaje hacia el centro, con calles secundarias que drenan las zonas de habitación y trabajo hacia el lógico desfogue que las lleve a las zonas centrales.

Figura 2-2 Trazo de ciudad planificada o moderna



Fuente: Ingeniería de Transito, Rafael Cal y Mayor Spíndola.

Llevar adelante soluciones integrales no es común en países en desarrollo porque significan una alta inversión económica que posiblemente los gobiernos no estén en la posibilidad de ejecutar. Desde el punto de vista de la ingeniería de tráfico pensar en una solución integral sería lo correcto, esta solución tendría un carácter definitivo independiente de que el problema está en vía urbana o en las carreteras la solución integral tendrá un carácter definitivo en el presente y en el futuro inmediato.

2.3.3.2 Solución de alto costo

Cuando no es posible ejecutar una solución integral al problema de tráfico la alternativa es pensar en soluciones que requieren realizar inversiones de infraestructura y equipamiento vial que mejoren las condiciones de circulación en las calles y carreteras.

Este tipo de solución es también importante en la ingeniería de tráfico, sin embargo, las limitaciones económicas de los gobiernos nacionales y departamentales impiden ejecutar con frecuencia proyectos de alto costo para mejorar las condiciones de circulación para vías urbanas y carreteras.

Ensanchamiento de calles

El objetivo principal para el ensanchamiento de calles es el aumento de flujo vehicular en las mismas y por consecuencia se aumenta la capacidad vehicular de la calle, es decir, con el ensanchamiento de la sección de las vías el Nivel de Servicio mejora.

Para ejecutar el ensanchamiento de calles es necesario considerar el ancho de las aceras existentes y la posible problemática social que se generaría si se reduce el espacio de circulación de los peatones.

Creación de intersecciones canalizadas

Las intersecciones canalizadas se utilizan en lugares donde las filas que forman los vehículos son muy desordenadas, los conductores no respetan las líneas que separan los carriles tratando de adelantar espacios provocan congestión, son utilizadas también en lugares donde el volumen es muy grande.

A través del emplazamiento de elementos en medio de los carriles o calzadas de canalizar, cual, si fuera un flujo de agua, el movimiento del flujo vehicular. Estos elementos pueden ser estructuras prefabricadas de concreto o elementos más sencillos como conos en media calzada que funcionan como separadores de carriles.

Sistemas de control automático

Los sistemas de control con dispositivos electromagnéticos y electrónicos proyectados específicamente para facilitar el control del tránsito de vehículos y peatones, mediante indicaciones luces visuales de colores universalmente aceptados, como lo son el verde, el amarillo y el rojo. Su finalidad principal es la de permitir el paso alternadamente a las corrientes de tránsito que se cruzan, permitiendo el uso ordenado y seguro del espacio disponible.

A medida que pasa el tiempo, el congestión y los accidentes aumentan, por lo que, para su atenuación, el uso de semáforos ha alcanzado un notable desarrollo permitiendo establecer estrategias para el control del tránsito a lo largo de las diferentes

horas del día a través de programas específicos para periodos de máxima y mínima demanda.

Su uso ordena la circulación del tránsito y mediante una asignación apropiada del derecho al uso de la intersección, optimiza la capacidad de las calles. Sin embargo, es una solución que incurre en gastos no justificados para un problema que podía ser resuelto con señales o en otra forma económica, también provocan demoras injustificadas a un determinado número de usuarios, en especial tratándose de volúmenes de tránsito pequeños; sin mencionar la reacción desfavorable en el público, con la consiguiente falta de respeto hacia ellos o hacia las autoridades.

2.3.3.3 Solución de bajo costo

La ingeniería, por lo general, busca soluciones que no implique grandes inversiones económicas, es decir, no busca un cambio grande en la infraestructura vial y equipamiento existente sino más bien procura la búsqueda de otros elementos para la regulación funcional del tráfico vehicular y peatonal.

Readecuación de las normas, reglamentos de tránsito, medidas de educación vial

Un acomodo parcial o total de las normas es una solución que implica poca inversión de dinero en comparación con otro tipo de soluciones. En caso de realizarse una inversión sería para efectuar un estudio de tráfico que permita establecer criterios técnicos y así proceder con los cambios respectivos en normas, reglamentos de tránsito y medidas de educación vial.

La ventaja de realizar una readecuación de normas es el bajo costo sin embargo su debilidad radica en la difícil tarea de socialización de las nuevas normas por parte de las instituciones que en ocasiones no tienen la estructura suficiente para este trabajo, pero por sobre todo la dificultad radica en la poca costumbre de los usuarios en informarse sobre la normativa existente.

Readecuación y ordenación de número de carriles

En ocasiones después de realizar un análisis de las condiciones del tráfico en sectores determinados se suele sugerir como solución restringir el uso de algunos carriles que no colaboran con la evacuación del tráfico, sino que más bien provocan puntos de congestión. Otra alternativa es no permitir el estacionamiento en determinadas calles habilitando de esta manera un carril más para la evacuación del tráfico.

Readecuación de sentidos

Suele ocurrir en los puntos de congestión que las arterias que permiten la evacuación no son suficientes y sin embargo existen otras calles que no están siendo ocupadas por diferentes razones en estas vías se puede cambiar el sentido temporalmente en determinadas horas o incluso días con la finalidad de permitir la evacuación del flujo vehicular de manera más eficiente.

Señalización horizontal y vertical adecuada

Si bien el respeto a la señalización en las arterias urbanas depende mucho de los conductores su influencia puede ser importante ya que no solamente la señalización es para evitar potenciales accidentes, sino que también informan sobre ciertos movimientos permitidos o restringidos en las calles, lo que alerta a los conductores al momento de tomar decisiones a abordar ciertas rutas o evitar otras en las horas picos.

2.4 Capacidad vehicular y nivel de servicio en calles urbanas

Se entiende la capacidad vehicular como la cantidad de vehículos, máxima, que circula por una sección de la vía por unidad de tiempo; normalmente se expresa en vehículos por hora.

Para el estudio de capacidad vehicular se ha definido diferentes tipos de capacidad según las condiciones particulares en donde se presentan, es así que existen: capacidad en intersecciones reguladas por semáforos y capacidad en intersecciones sin semáforos.

2.4.1 Capacidad en intersecciones reguladas por semáforos

La intersección regulada por semáforos es una de las situaciones más complejas de la red vial. El análisis de intersecciones reguladas por semáforos debe considerar una amplia variedad de condiciones prevalecientes, incluida la cantidad y la distribución del tráfico rodado, composición del mismo, características geométricas y los detalles de la señalización de la intersección. En la intersección regulada por semáforos hay que añadir un elemento adicional dentro del concepto de capacidad: la distribución del tiempo. Un semáforo esencialmente distribuye tiempo entre movimientos circulatorios conflictivos que pretenden utilizar el mismo espacio físico.

La capacidad se evalúa en términos de la relación entre la intensidad de la demanda y la capacidad (relación I/c), mientras que el nivel de servicio se evalúa en base a la demora media de servicio, es decir, se evalúa en base a la demora media de parada por vehículo (sg/v). Los conceptos de capacidad y nivel de servicio son tan fundamentales para el análisis de las intersecciones, como para todo tipo de instalaciones viarias. No obstante, estos dos conceptos no están tan estrechamente correlacionados en el análisis de las intersecciones reguladas por semáforos.

2.4.1.1 Determinación de capacidad (METODO HCM)

La capacidad del acceso en las intersecciones es la máxima intensidad de circulación en el acceso en las condiciones prevalecientes del tráfico, la carretera y la señalización.

Las condiciones del tráfico incluyen los volúmenes en cada acceso, la distribución de los vehículos por movimiento (a la izquierda, de frente, a la derecha), la localización de paradas de autobús y su utilización dentro del área de la intersección y las maniobras de estacionamiento.

Las condiciones de la carretera abarcan la geometría básica de la intersección incluyendo el número y la anchura de los carriles, las pendientes y las asignaciones de uso a los carriles.

Las condiciones de semaforización incluyen una total definición de las fases semafóricas, la temporización o reglaje, el tipo de control y una evaluación de la progresión semafórica en cada acceso.

La capacidad en las intersecciones reguladas por semáforo se basa en el concepto de saturación e intensidad de saturación. La intensidad de saturación se define como la máxima intensidad de circulación por un acceso de una intersección dado las condiciones del tráfico y de la carretera prevaleciente, suponiendo que el acceso tenga un 100 por ciento de tiempo real disponible como tiempo de verde efectivo; la intensidad de saturación se representa con el símbolo s . El índice de saturación de un acceso se define como la relación entre la intensidad de circulación real del acceso, I , y la intensidad de saturación; se representa por el símbolo, $(I/s)_i$, para el acceso de carriles i .

La capacidad de un acceso puede definirse como:

$$c_i = s_i \cdot (g/C)_i$$

Dónde:

c_i = Capacidad del acceso i , en veh/h

s_i = Intensidad de saturación para el acceso, en v/hv

g/C = Relación de verde para el acceso i

La relación entre la intensidad de circulación y la capacidad, I/c , se representa por X ; denominada también “grado de saturación”. Para un acceso dado i , es:

$$X_i = (I/c)_i = I_i / s_i \cdot (g/C)_i = (I/s)_i / (g/C)_i$$

Dónde:

X_i = Relación o grado de saturación I/c para el acceso i

I_i = Intensidad de circulación real para el acceso i, en v/h

s_i = Intensidad de saturación para el acceso i, en v/hv

g_i = Tiempo de verde efectivo para el acceso i, en segundos.

Los valores de X_i fluctúan entre 1,00 cuando la intensidad de circulación es igual a la capacidad, y 0,00 cuando la intensidad de circulación es cero.

2.4.1.2 Niveles de servicio para intersecciones reguladas por semáforos

El nivel de servicio en intersecciones reguladas por semáforos se define en términos de demora. Específicamente los criterios de nivel de servicio se establecen en términos de la demora media por vehículo para un periodo de análisis de 15 minutos.

La Tabla 2-4 muestra los criterios de nivel de servicio.

Tabla 2-4 Criterios de nivel de servicio para intersecciones con semáforos

Nivel de Servicio	Demora por parada por vehículo (sg)
A	$\leq 5,0$
B	10 a 20
C	20 a 35,0
D	35 a 55
E	55 a 80
F	$>80,0$

Fuente: HCM.

2.4.1.3 Metodología

El análisis de la circulación determina la capacidad y el nivel de servicio de cada grupo de carriles o acceso, así como el nivel de servicio de la intersección en conjunto. Para

ello necesita información detallada en relación con la geometría, el tráfico y las condiciones de semaforización de la intersección.

El análisis de la circulación de intersecciones con semáforos, se divide en cinco módulos:

Módulo de entrada: Este módulo se centra en la definición de toda información necesaria sobre la que estarán basados los cálculos siguientes. Incluye todos los datos necesarios como la geometría de la intersección, los volúmenes y condiciones del tráfico, y la semaforización.

Módulo de ajustes de volúmenes: Los volúmenes de la demanda vienen dados en vehículos a la hora para una hora en punta. El módulo de ajuste de volúmenes convierte estos en intensidades de un periodo de análisis de 15 minutos, y tienen en cuenta los efectos del reparto por carril.

$$V_p = \frac{V}{FHP}$$

v_p = Tasa de flujo durante el período pico de 15 minutos (veh / h),

V = Volumen por hora (veh / h), y

FHP = Factor de hora pico (0,92 para áreas urbanas)

Módulo de intensidades de saturación: En este módulo se calcula la intensidad de saturación de cada uno de los grupos de carriles a analizar. Está basado en el ajuste de la intensidad de saturación “ideal” de forma que queden reflejadas las condiciones prevaletientes.

La tasa de flujo de saturación para cada grupo de carriles se calcula de acuerdo con la ecuación

$$s = S_o N f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb}$$

El índice de flujo de saturación es el flujo en vehículos por hora que puede ser acomodado por el grupo de carriles suponiendo que la fase verde se muestra el 100 por ciento del tiempo (es decir, $g / C = 1.0$).

s = Caudal de saturación para el grupo de carriles sujeto, expresado como un total para todos los carriles en el grupo de carriles (veh / h);

s_o = Flujo de saturación base por carril, se asume 1800 veh/h

N = Número de carriles en el grupo de carriles

f_w = Factor de ajuste para el ancho del carril

$$f_w = 1 + \frac{W-3,6}{9};$$

w =Ancho de carril

f_{HV} = Factor de ajuste para vehículos pesados en flujo de tráfico

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + \%HV(E_T - 1)};$$

$\%HV$ = Porcentaje de vehículos pesados, y

$E_T=2$

f_g = Factor de ajuste para el grado de aproximación

$$f_g = 1 - \frac{\%G}{200};$$

$\%G$ =Pendiente

f_p = Factor de ajuste para la existencia de un carril de estacionamiento y actividad de estacionamiento adyacente al grupo de carriles

$$f_p = \frac{N - 0,1 - \frac{18Nm}{3600}}{N};$$

N= Número de Carriles, y

Nm= Maniobras de estacionamiento

f_{bb} = Factor de ajuste para bloquear el efecto de los autobuses locales que se detienen dentro del área de intersección;

$$f_{bb} = \frac{N - \frac{14,4NB}{N}}{N};$$

N= Número de Carriles, y

NB= Numero de Autobuses

f_a = Factor de ajuste para el tipo de área

Tabla 2-5 Valores de f_a según la zona

Zona Central	Otras Zonas
$f_a = 0,9$	$f_a = 1$

Fuente: HCM.

F_{LU} = Factor de ajuste para la utilización del carril

$$f_{LU} = \frac{v_g}{(v_{g1}N)};$$

v_g = Tasa de demanda no ajustada, y

v_{g1} = Tasa no ajustada más alta

f_{LT} = Factor de ajuste para giros a la izquierda en el grupo de carriles

Tabla 2-6 f_{LT} según el tipo de carril

Carril Exclusivo	$f_{LT} = 0,95$
Carril Compartido	$f_{LT} = \frac{1}{1 + 0,5P_{LT}}$ P_{LT} = Proporción de vehículos con G. Izq

Fuente: HCM.

F_{RT} = Factor de ajuste para giros a la derecha en el grupo de carriles

Tabla 2-7 f_{RT} según el tipo de carril

Carril Exclusivo	$f_{RT} = 0,85$
Carril Compartido	$f_{RT} = 1 - 0,15P_{RT}$ P_{RT} = Proporción de vehículos con G. Der
Solo un Carril	$f_{RT} = 1 - 0,135P_{RT}$

Fuente: HCM.

F_{Lpb} = Factor de ajuste por bicicleta y peatonal para movimientos de giro a la izquierda

$$f_{Lpb} = 1 - P_{LT}(1 - A_{pbT})$$

A_{pbT} = Ajuste por fase permitida

f_{Rpb} = Factor de ajuste por bicicleta y peatonal para movimientos de giro a la derecha.

$$f_{Rpb} = 1 - P_{RT}(1 - A_{pbT})(1 - P_{RT})$$

Módulo de análisis de capacidad: En este módulo se opera sobre los volúmenes y las intensidades de saturación para calcular la capacidad y las relaciones I/c de cada grupo de carriles o acceso, y la relación I/c de la intersección.

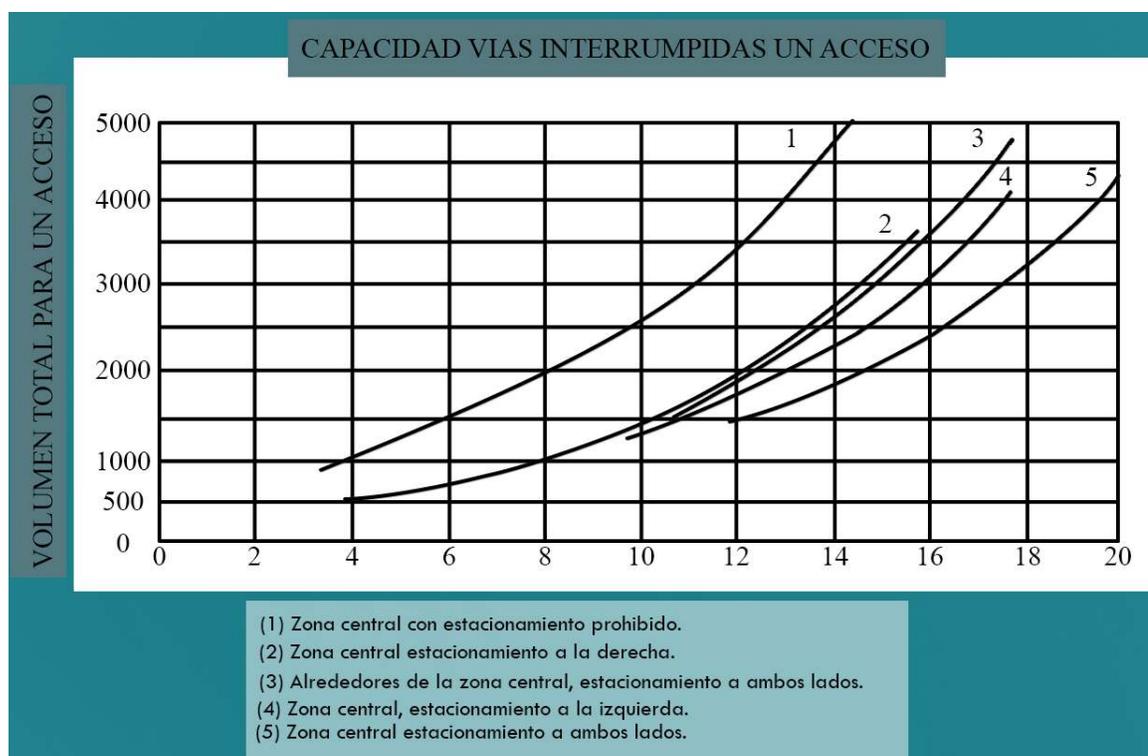
Módulo del nivel de servicio: Se estima aquí la demora de cada grupo de carriles definido para el análisis. Las demoras se agregan por accesos y para la intersección en general, determinándose los niveles de servicio.

2.4.2 Capacidad en intersecciones interrumpidas, método simplificado

Se considera una vía interrumpida, generalmente a las calles urbanas que portan características del trazo cuadricular y están interrumpidas por las intersecciones que se presentan a distancias fijas o variables.

Se determina la capacidad ideal haciendo uso de dos ábacos: uno para vías en un solo sentido y otro para vías en ambos sentidos; dichos ábacos están en función del ancho de acceso, del tipo de zona, de las características de estacionamiento, a partir de las cuales se tendrá un valor de capacidad ideal.

Figura 2-3 Ábaco para accesos en una dirección



Fuente: Apuntes de materia ingeniería de tráfico UAJMS

Como las condiciones ideales están ligadas a una capacidad ideal, para determinar la capacidad real se debe multiplicar la capacidad ideal por una serie de factores en función de las características propias de la intersección. Para esto se tiene los dos casos a usar:

1° Caso. Calles de circulación en un solo sentido sin semáforos que se determina de la siguiente manera:

La capacidad práctica es de 10% menos que la capacidad teórica dada por el ábaco.

Sustraer un 1% por cada 1% de los micros y camiones que pasen del 10% del número total de vehículos.

Sustraer un 1% por cada 1% en que el tráfico que gira a la izquierda pasa del 10% del tráfico total.

Sustraer un 0,5 por cada 1% en que el tráfico que gira a la derecha pase de 10% del tráfico total.

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

Por estacionamientos permitidos, restar 1,80 m del ancho de acceso y hacer las correcciones ya indicadas.

2° Caso. Calle con circulación en ambos sentidos sin carriles suplementarios ni semáforos. Se determina de la siguiente manera:

La capacidad práctica es 10% menos que la capacidad teórica dada por el ábaco.

Sustraer un 1% por cada 1% de los micros y camiones que pasen del 10% del número total de vehículos.

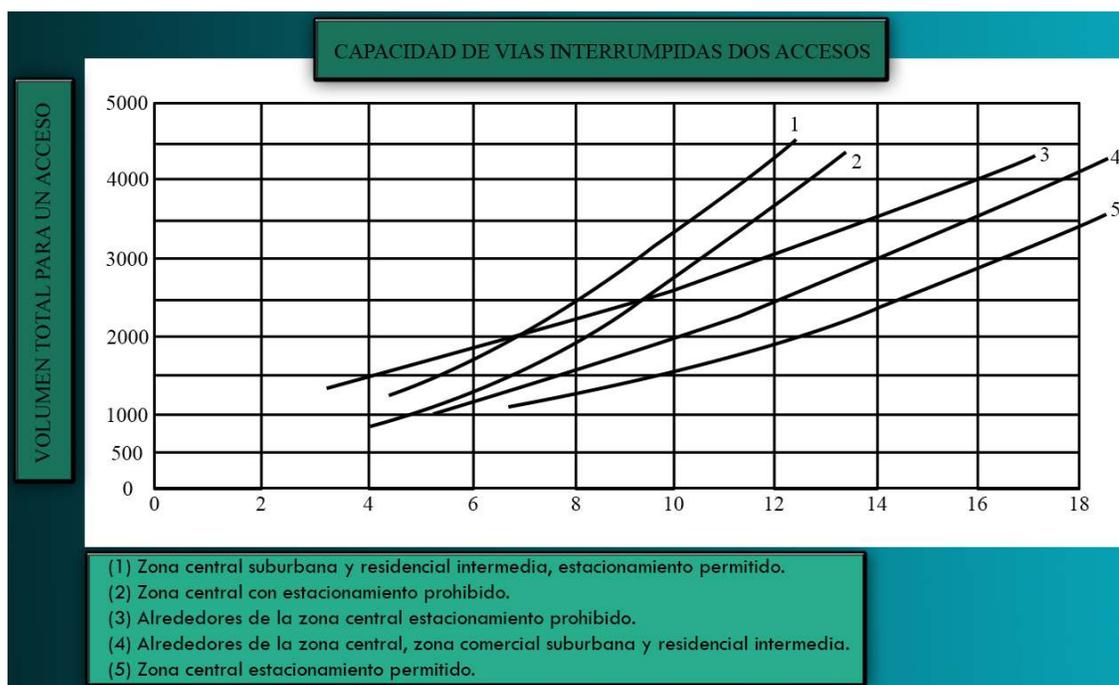
Sustraer un 1% por cada 1% en que el tráfico que gira a la izquierda pasa del 10% del tráfico total.

Sustraer un 0,5% por cada 1% en que el tráfico que gira a derecha pase de 10% del tráfico total.

Por paradas de ómnibus antes o después de la intersección, restar 5% en zonas centrales y 10% en zonas intermedias.

Por estacionamientos permitidos restar 1,80 m del ancho de acceso y hacer las correcciones ya indicadas.

Figura 2-4 Ábaco para vías bidireccionales



Fuente: Apuntes de materia ingeniería de tráfico UAJMS

2.5 Señalización

La ingeniería de tráfico utiliza señales, marcas y semáforos conocidos como dispositivos para el control de tránsito, estos dispositivos se colocan sobre o adyacente a las calles y carreteras por una autoridad pública para prevenir, regular y guiar el comportamiento de los conductores y peatones.

2.5.1 Requisitos

Toda la señalización debe cumplir con los siguientes requisitos:

Satisfacer una necesidad.

Llamar la atención.

Transmitir un mensaje simple y claro.

Imponer respeto a los usuarios de las calles y carreteras.

Estar en un lugar adecuado con el fin de dar tiempo para reaccionar.

2.5.2 Clasificación de la señalización

Según la normativa de la Administradora Boliviana de Caminos se distinguen dos tipos de señalización:

Señalización vertical.

Señalización horizontal.

2.5.2.1 Señalización vertical

Se entiende por señalización vertical a todos los dispositivos de control que están adyacentes a la calle o carretera. La señal puede ser letras o símbolos que se colocan en placas metálicas fijadas en postes u otras estructuras emplazadas a los lados del camino.

El emplazamiento de la señalización vertical debe ser tal que no sea un peligro para los usuarios, es decir, que tiene que estar dentro del rango visual del usuario peatón o conductor. Las directrices de la Administradora Boliviana de Caminos para la colocación de las señales verticales se indican en la Tabla 2-8 y Tabla 2-9 para la ubicación longitudinal y ubicación transversal respectivamente.

Ubicación longitudinal

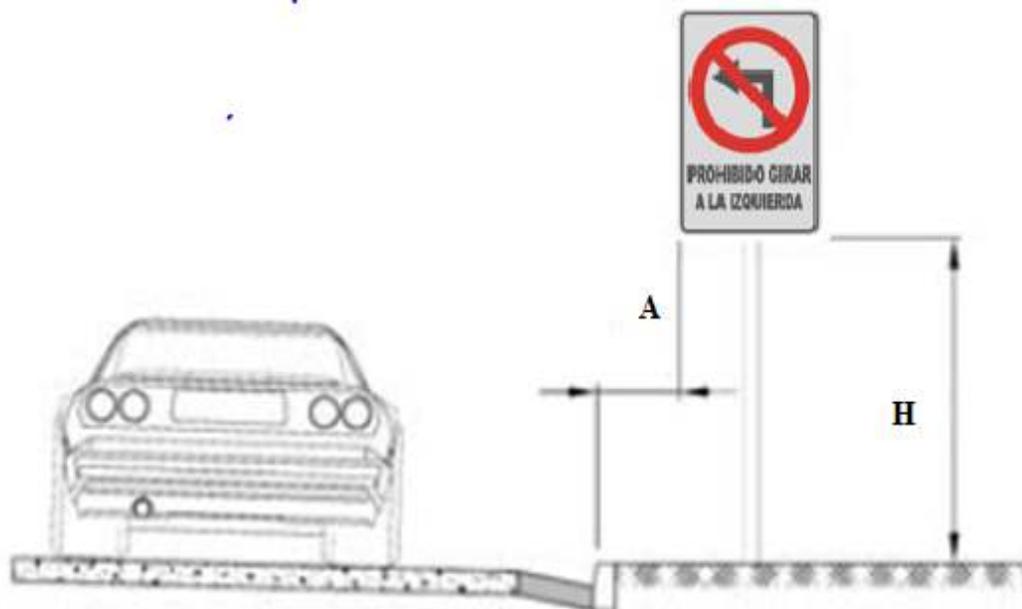
Tabla 2-8 Distancia mínima de separación entre señales

Orden en que el conductor verá las señales	Velocidad (Km/h)			
	120-110	100-90	80-60	50-30
Reglamentarias → Advertencia	50	50	30	20
Advertencia → Reglamentarias	50	50	30	20
Reglamentarias o Advertencia → Informativa	90	80	60	40
Informativa → Reglamentarias o Advertencia	60	50	40	30
Informativa → Informativa	110	90	70	50

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito ABC

Ubicación transversal

Figura 2-5 Ubicación transversal de señales verticales



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito ABC

Tabla 2-9 Ubicación transversal de señales verticales distancia y altura

Tipo de vía	A(m)	H(m)	
	Mínimo	Mínimo	Máximo
Carreteras	2,0	1,5	2,2
Caminos	1,5	1,5	2,2
Vías Urbanas	0,6	2,0	2,2

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito ABC

Donde A corresponde a la distancia medida desde el borde exterior de la calzada, hasta el canto interior de la señal vertical; H es la distancia entre la rasante a nivel del borde exterior de la calzada y el canto o tangente al punto inferior de la señal.

2.5.2.1.1 Señales preventivas

Son aquellas señales que tiene el propósito de avisar al usuario que existe un potencial peligro y la naturaleza del mismo. Al advertir la señal el conductor debe adoptar medidas de precaución, reducir la velocidad y/o realizar alguna maniobra que prevea la seguridad de los otros vehículos en la vía o peatones en aceras y cruces peatonales.

La forma de este tipo de señalética es cuadrada con una de sus diagonales colocadas verticales, son de fondo color amarillo, con una línea perimetral negra y figura, símbolo leyenda son también de color negro.

2.5.2.1.2 Señales restrictivas

Estas señales son de cumplimiento obligatorio porque su función es indicar al usuario ciertas maniobras prohibidas por el reglamento en un sector de la carretera o calle. Infringir las indicaciones de una señal restrictiva acarrea las sanciones previstas por las autoridades.

Las señales restrictivas, de acuerdo a su uso, se clasifican en:

De derecho de paso o de vía.

De inspección.

De velocidad máxima o circulación.

De mandato por restricciones y prohibiciones.

De estacionamiento.

2.5.2.1.3 Señales informativas

Como su nombre indica estas señales informan al usuario sobre nombre de calles, ubicación de poblaciones, lugares turísticos, servicios, kilometraje y otras recomendaciones de interés.

Las señales informativas se clasifican en:

De identificación.

De destino.

De recomendación en información general.

De servicios y turísticas.

Figura 2-6 Señales preventivas



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito ABC

Figura 2-7 Señales reglamentarias



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito ABC

2.5.2.2 Señalización horizontal

Forman parte la señalización: las rayas, símbolos y letras que se pintan sobre el pavimento, guarniciones y estructuras, dentro de o adyacentes a las vías de circulación, así como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodamiento con el fin de regular o canalizar el tránsito.

Las líneas de pavimento pueden ser: central sencilla continua o discontinua, adicional continua para prohibir el rebase, central continua, separadoras de carriles, en las orillas de calzada, canalizadoras, de parada, para cruce de peatones, con espaciamiento logarítmico y para estacionamiento. Estas marcas también incluyen los símbolos y letras para cruces de ferrocarril y usos de carriles.

Las marcas en obstáculos se usan para indicar la presencia de guarniciones, parapetos, aleros, pilas y estribos, postes, cabezales, defensas, muros de contención y árboles.

El color de las marcas serán blanco o amarillo, y en algunos casos negros sin ser una norma, sirviendo solo de guía para crear contraste en pavimentos de color blanco.

La Administradora Boliviana de Caminos clasifica, según forma, las señales horizontales en:

Líneas longitudinales.

Líneas trasversales.

Símbolos y leyendas.

Otras demarcaciones.

2.5.2.2.1 Líneas longitudinales

Se utilizan para delimitar carriles y calzadas, para indicar zonas con o sin prohibición de adelantar, zonas con prohibición de estacionar y para delimitar pistas de uso exclusivo como por ejemplo de bicicletas o buses.

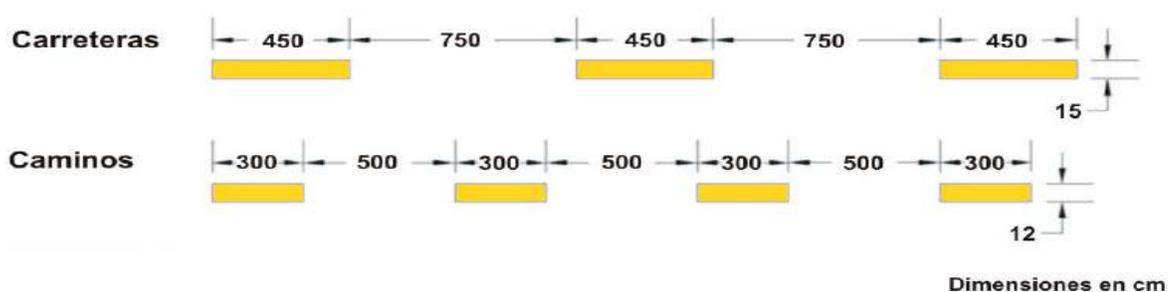
Interpretación

Sin importar el color de las líneas amarillas o blancas, si estas son continuas significa que el adelantamiento no está permitido.

Tipología

Líneas de eje: Son de color amarillo, se pintan al centro del eje de una calzada, se utilizan en calzadas bidireccionales para delimitar la circulación de flujos opuestos.

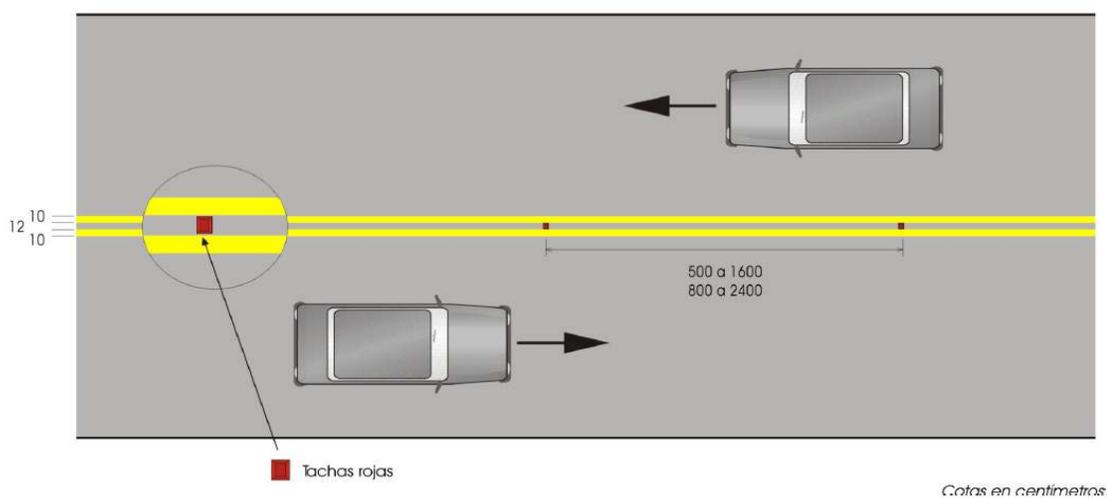
Figura 2-8 Líneas de eje



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito ABC

Líneas de Carril: Son de color blanco, se utilizan para delimitar los carriles de un acceso o calzada especialmente en zonas de congestionamiento.

Figura 2-9 Líneas de carril



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito ABC

2.5.2.2.2 Líneas transversales

Se pintan en cruces, para delimitar líneas de detención a los vehículos motorizados, y para demarcar sendas destinadas al tránsito de paso de peatones o ciclistas, teniéndose los sub grupos de líneas de detención y líneas de cruce.

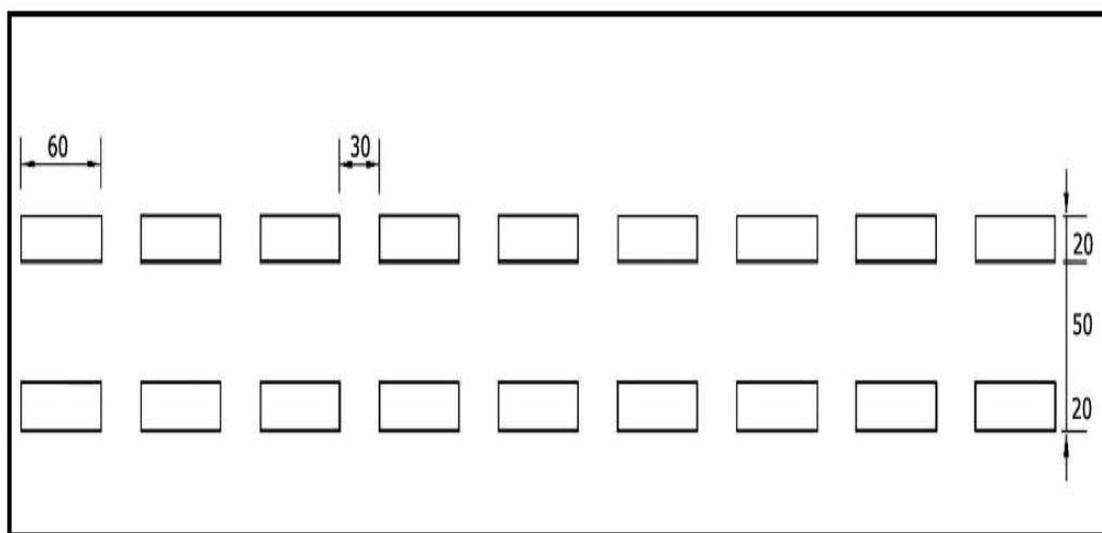
2.5.2.2.2.1 Líneas de detención

Son las marcas transversales que indican una zona de cruce o paso peatonales, lugares donde los vehículos deben detenerse.

Cruce controlado por la señal de ceda el paso

Estas marcas indican al conductor que circula por una vía prioritaria y que además permita cruce momentáneo de los vehículos que esperan en el acceso de la vía no prioritaria.

Figura 2-10 Líneas de detención CEDA EL PASO

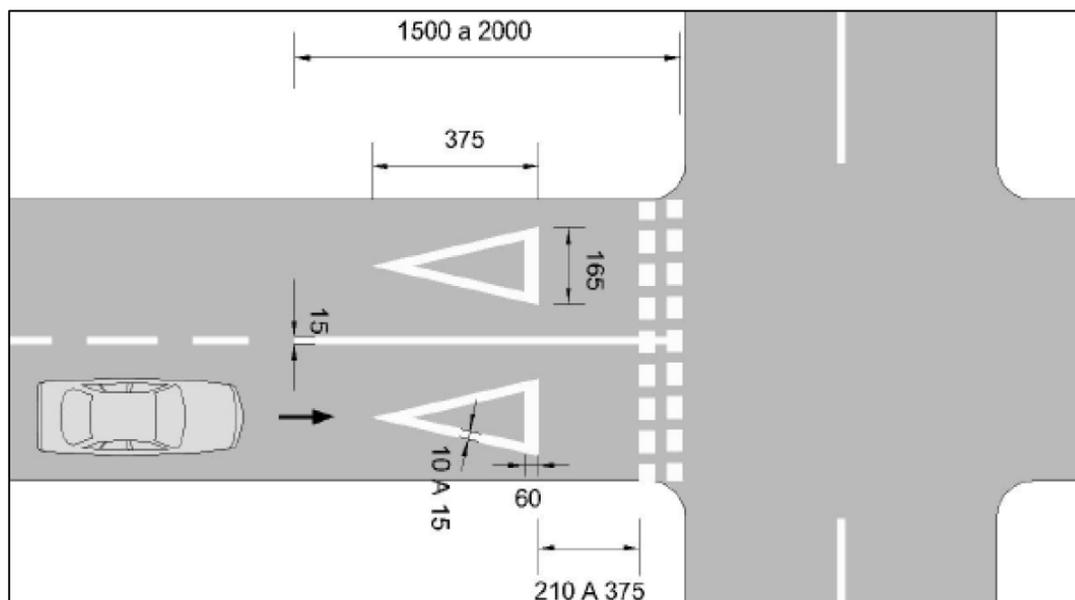


Nota: Dimensiones en centímetros

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito ABC

La Administradora Boliviana de Caminos reglamenta la demarcación en un cruce regulado por la señal de “CEDA EL PASO” de la forma siguiente:

Figura 2-11 Demarcación en cruce CEDA EL PASO



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito ABC

Cruce controlado por señal pare

Se pinta en las intersecciones para indicar al conductor que se circula por una vía no prioritaria y que además se encuentra en una zona del acceso donde debe de detenerse para permitir la circulación de la vía prioritaria, a continuación, se presenta una gráfica que indica como debe ser la demarcación de este tipo de señalización según la ABC.

Figura 2-12 Señalización horizontal en cruce reglado con la señal de PARE



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito ABC.

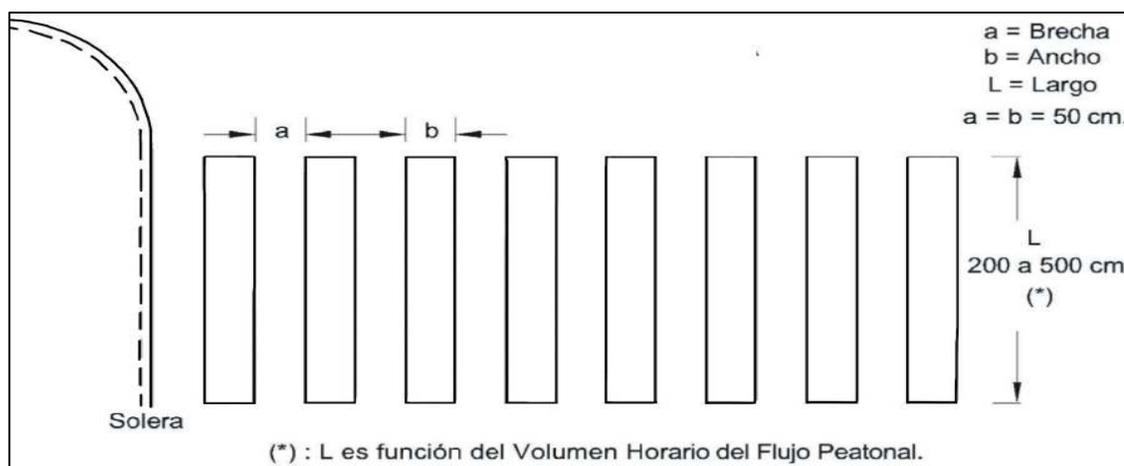
2.5.2.2.2 Líneas de cruce

Estas son las marcas pintadas sobre el pavimento que ocupan un área por donde los peatones pueden cruzar una intersección determinada.

Líneas de cruce en paso peatonal tipo cebra

Es una línea transversal segmentada, con un ancho constante que varía de 2 a 5 metros. Antes de la línea de cruce peatonal se pinta una línea de detención que advierte al conductor que mantenga una distancia prudente de la zona de cruce peatonal.

Figura 2-13 Dimensiones de líneas de paso peatonal

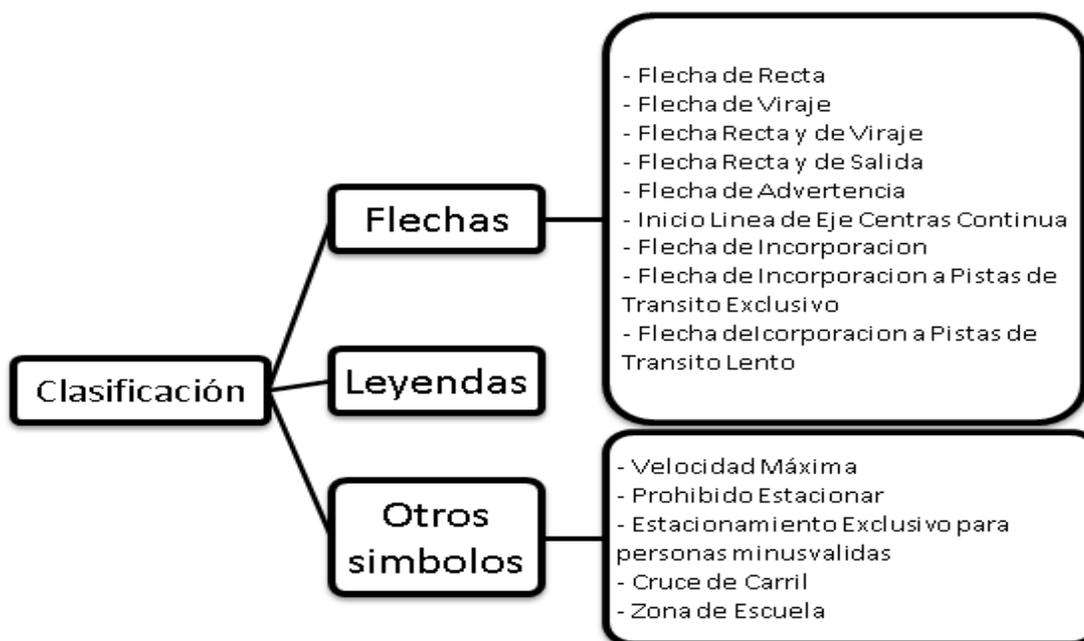


Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito ABC

2.5.2.2.3 Símbolos y leyendas

Los símbolos y leyendas son elementos que apoyan a las líneas longitudinales y transversales para complementar los mensajes que ellas transmiten además de aportar más información para mejorar el ordenamiento de la circulación.

Figura 2-14 Clasificación símbolos y leyendas



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito ABC

2.6 Semafización

Los semáforos son dispositivos electromagnéticos y electrónicos que a través de señales lumínicas de colores se utilizan para ordenar y facilitar el control del tránsito de vehículos y peatones, las indicaciones visuales de luces están aceptadas prácticamente en todo el mundo siendo: luz verde, amarilla y roja.

2.6.1 Ventajas y desventajas

Cuando se trata el tópico de las ventajas y desventajas del uso de semáforos como dispositivo de control del tránsito es importante entender que todo depende de ciertos factores como: lugar de instalación, programación de tiempos, coordinación de semáforos y el tipo de semaforización; si alguno de estos factores no es óptimo entonces es más probable que el uso de los semáforos no sea solución sino un problema para el tránsito.

Si el sistema semafórico de una zona funciona correctamente, las ventajas son:

Ordena la circulación del tránsito y optimiza la capacidad de las calles cuando permite el uso exclusivo de carriles para determinadas maniobras de giro.

Reduce la frecuencia de algunos tipos de accidentes.

Les permite a los peatones la posibilidad de cruzar de manera segura al interrumpir el tráfico vehicular durante un periodo de tiempo.

Permite la liberación de policías de tránsito que al no tener que ordenar el tráfico pueden ocuparse de otro tipo de problemáticas.

Cuando un semáforo funciona deficientemente implica desventajas para la circulación del tránsito como ser:

Gastos innecesarios en el ítem de servicios eléctricos para las entidades gubernamentales porque no soluciona los problemas de tránsito.

Provoca retrasos en la circulación sobre todo cuando los volúmenes vehiculares son moderados o muy bajos que no justifican el uso de semáforos.

Semáforos de tiempo fijo provocan retrasos en horas del día cuando los volúmenes no son críticos.

2.6.2 Interpretación de señales

La interpretación de los colores de los semáforos es como se muestra a continuación:

Verde

Los conductores de los vehículos, y el tránsito vehicular que observe esta luz podrán seguir de frente o girar a la derecha, a menos que alguna señal (preferentemente iluminada) prohíba dichos giros, siempre y cuando se tenga la vía despejada de peatones o de otros vehículos. Cuando la lente verde funcione con destellos intermitentes,

advierte a los conductores el final de tiempo de luz verde cuando se utiliza la secuencia de rojo-verde-verde intermitente-rojo.

Amarillo

Advierte a los conductores de los vehículos que el período de verde asignado a un flujo vehicular ha terminado y está a punto de iniciar el período de rojo y, por lo tanto, debe asumir una conducta de prevención.

Acabar su marcha si está muy próximo a la intersección y una frenada brusca podría ocasionar situaciones peligrosas con los vehículos de atrás. Detener su marcha con el fin de que la intersección no sea bloqueada y los vehículos de las demás corrientes puedan circular en el período de verde que va a iniciar. Cuando se ilumine la lente amarilla con destellos intermitentes, los conductores de los vehículos realizarán el cruce con precaución.

Rojo

Los vehículos y el tránsito vehicular deben detenerse antes de la línea de PARE y si no la hay a una distancia de dos metros antes del semáforo, deben permanecer parados hasta que aparezca el verde correspondiente. Es recomendable que en los tiempos de seguridad de las intersecciones siempre se incluya un período de todo rojo como parte de éste. Ningún peatón frente a esta luz debe cruzar la vía, a menos que esté seguro de no interferir con algún vehículo o que un semáforo peatonal indique su paso.

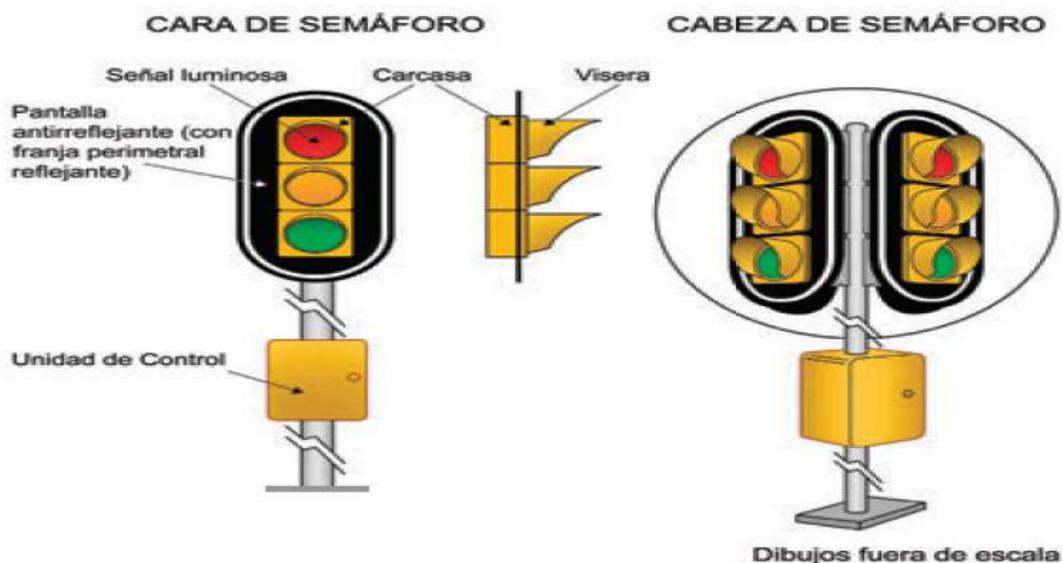
2.6.3 Componentes de Semáforos

El semáforo consta de una serie de elementos físicos como la cabeza, soportes, cara, señal luminosa y carcasa. Sus características se describen a continuación:

Cabeza

Es la armadura que contiene las partes visibles del semáforo. Es el conjunto de una o más caras del semáforo, cada cabeza tiene un número determinado de caras orientadas en diversas direcciones.

Figura 2-15 Cabeza de semáforos

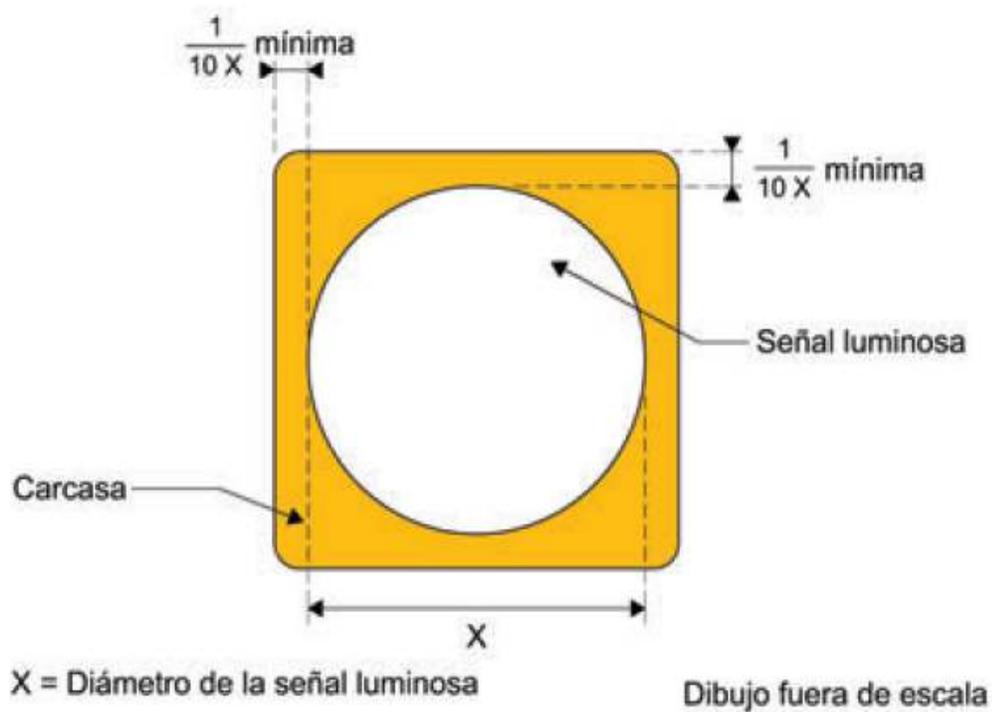


Fuente: Manual de Señalamiento Vial y Dispositivos de Seguridad, Secretaria de Comunicaciones y Transporte de México

Carcasa

Es la parte del semáforo donde se ubican los elementos que integran la fuente de luminosidad que genera la señal en el semáforo (lámpara o unidades de led's, reflejantes, pantallas o lentes, etc.).

Figura 2-16 Recomendaciones para dimensiones de carcasa



Fuente: Manual de Señalamiento Vial y Dispositivos de Seguridad, Secretaria de Comunicaciones y Transporte de México

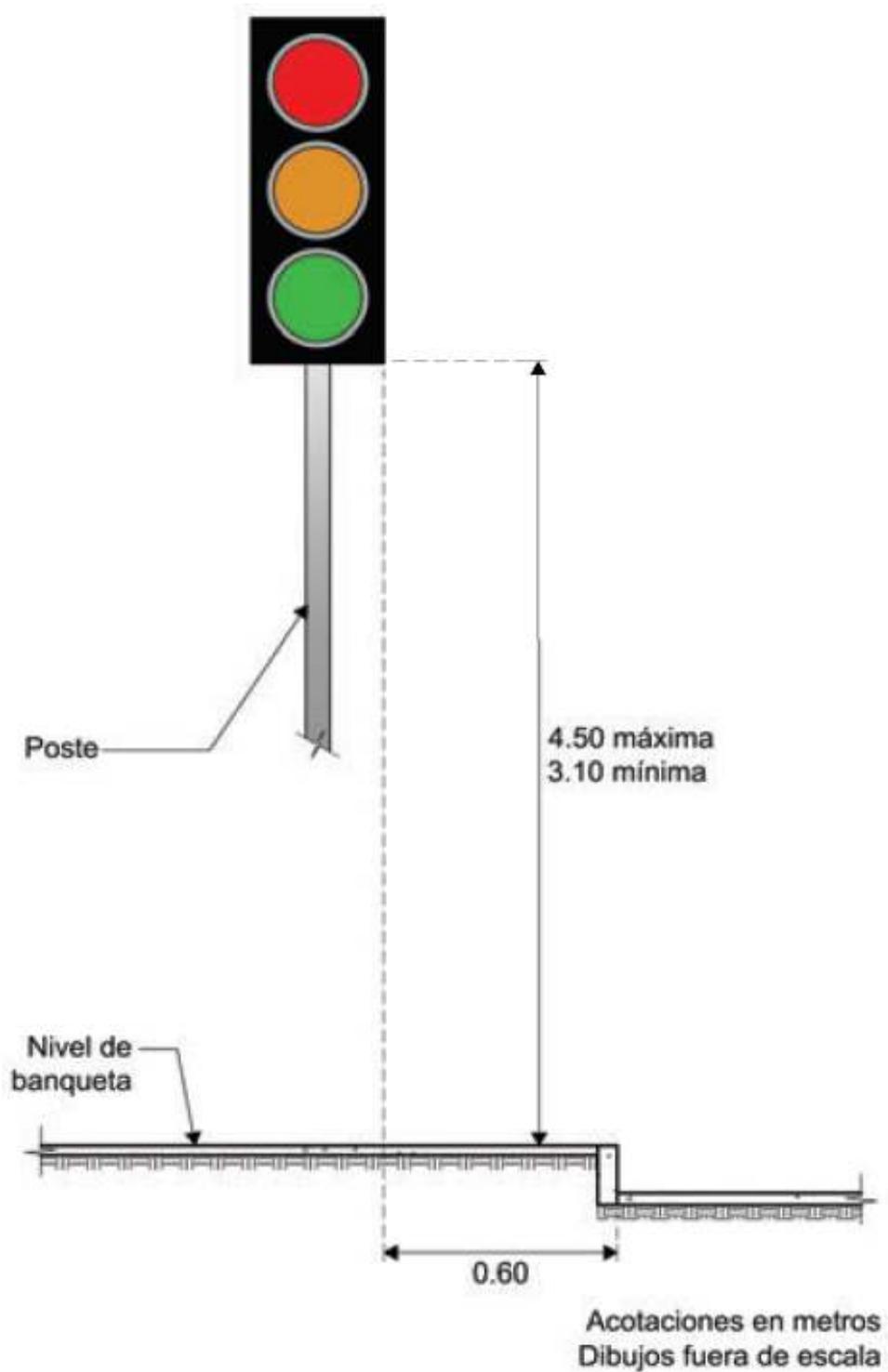
Soportes

Por su ubicación en la intersección, los soportes son de dos tipos:

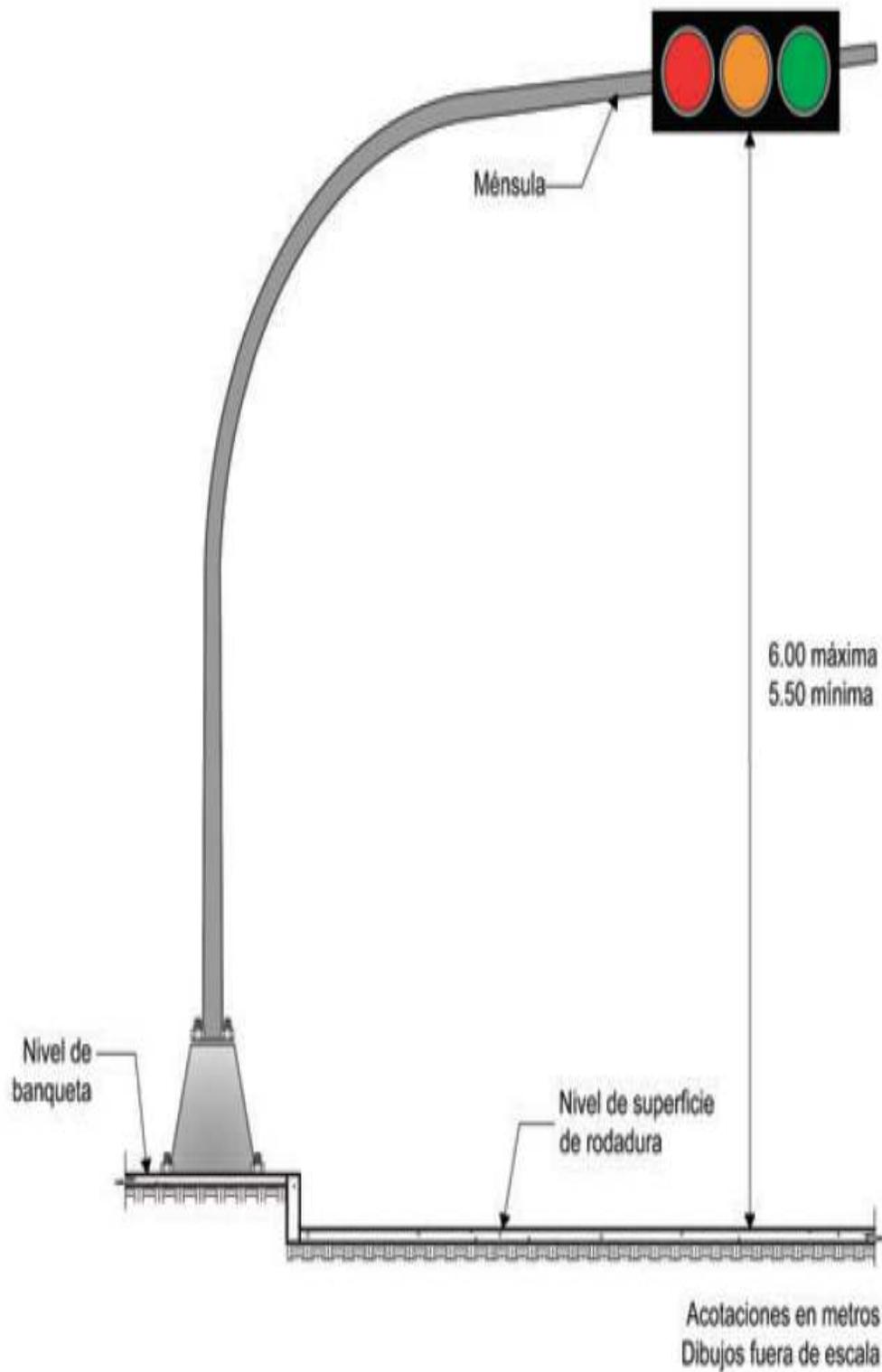
Postes. (Ver Figura 2-17)

Ménsulas. (Ver Figura 2-18)

Figura 2-17 Criterios para colocación semáforos en postes



Fuente: Manual de Señalamiento Vial y Dispositivos de Seguridad, Secretaría de Comunicaciones y Transporte de México

Figura 2-18 Criterios para colocación de semáforos en ménsulas

Fuente: Manual de Señalamiento Vial y Dispositivos de Seguridad, Secretaría de Comunicaciones y Transporte de México

2.6.4 Criterios para la instalación de semáforos

Varios son los criterios que se estudian para la instalación de semáforos en intersecciones desde estudios costo beneficios hasta la prevención de accidentes, sin embargo, las razones más importantes son:

Volúmenes vehiculares requeridos o altos.

Tabla 2-10 Condición 1: volumen vehicular requeridos

N° de pistas por calzada de ingreso (ramal)		Volumen Mínimo (Veh/hr.)	
Arteria Principal	Arteria Secundaria	Arteria Principal en ambas calzadas	Arterias Secundaria en calzada de mayor ingreso
1	1	500	150
2 o más	1	600	150
2 o más	2 o más	600	200
1	2 o más	600	200

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito ABC

Demoras provocadas en las calles secundarias.

Tabla 2-11 Condición 2: demoras en el tránsito

N° de pistas por calzada de ingreso		Arteria Principal	Arteria Secundaria
Arteria Principal	Arteria Secundaria	Total, ambas calzadas	En calzada mayor volumen
1	1	750	75
2 o más	1	900	75
2 o más	2 o más	900	100
1	2 o más	750	100

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito ABC

Otros criterios que también son tomados en cuenta son:

Volumen mínimo de peatones. - Cuando el volumen peatonal que circula por la calle principal es mayor a 150 peatones por hora, en al menos una hora durante el día.

Circulación progresiva. - Este requisito se cumple en calles de un sentido y donde los semáforos, están muy distantes entre sí.

Antecedentes acerca de los accidentes. - Se cumple este criterio cuando en una intersección el historial de accidentes es alto por ejemplo si cinco o más accidentes han ocurrido en los últimos meses.

Combinación de los requisitos anteriores. - Cuando ninguno de los requisitos anteriores se cumple en su totalidad o por lo menos en un 80%, sin embargo, la combinación de muchos de ellos hace que se justifique la instalación de un semáforo.

2.6.5 Tipos de semáforos

Los semáforos se clasifican como muestra la Tabla 2-12.

Tabla 2-12 Clasificación de semáforos

Semáforos para el control del tránsito vehicular	Semáforos de Tiempo Fijo
	Semáforos Accionados
Semáforos para pasos peatonales	En zonas de alto volumen peatonal
	En zonas escolares.
Semáforos especiales	Semáforos de destello.
	Semáforos para maniobras de vehículos de emergencia.
	Semáforos para indicar la aproximación de trenes.

Fuente: Manual de Señalamiento Vial y Dispositivos de Seguridad, Secretaria de Comunicaciones y Transporte de México

2.6.5.1 Semáforos de tiempo fijo o predeterminado

Los semáforos de tiempo fijo se utilizan en intersecciones donde los patrones de tránsito son relativamente estables o donde las variaciones de intensidad de la circulación se pueden adaptar a un programa determinado.

Los controles de tiempo fijo se adaptan de manera óptima a intersecciones en las que se quiere sincronizar el funcionamiento de los semáforos con los de otras instalaciones próximas.

Sistemas de coordinación

Si los semáforos de tiempo fijos se encuentran a distancia de separación de 400 metros, o menores, se recomienda que funcionen de manera coordinada ya que regulan las mismas condiciones del tráfico, para que esto suceda se utilizan los denominados sistemas de coordinación.

Existen cuatro sistemas de coordinación para los semáforos de tiempo fijo:

Sistema simultáneo.

Sistema alternado.

Sistema progresivo simple o limitado.

Sistema progresivo flexible.

2.6.5.1.1 Semáforos accionados por el tránsito

La duración de los ciclos en los semáforos accionados por el tránsito están sujetos a las variaciones de la demanda vehicular. Esta demanda se registra a través de aparatos detectores conectados al control del semáforo. Cuando los detectores son usados solo en algunos accesos de la intersección, el tipo de control es llamado semi-accionado. Cuando los detectores se usan en todos los accesos, el tipo de control se llama accionado. No son muy frecuentes en países en vías de desarrollo.

3.2 Delimitación de zona de estudio

Figura 3-2 Zona en estudio



Fuente: Elaboración propia

3.3 Computo de datos

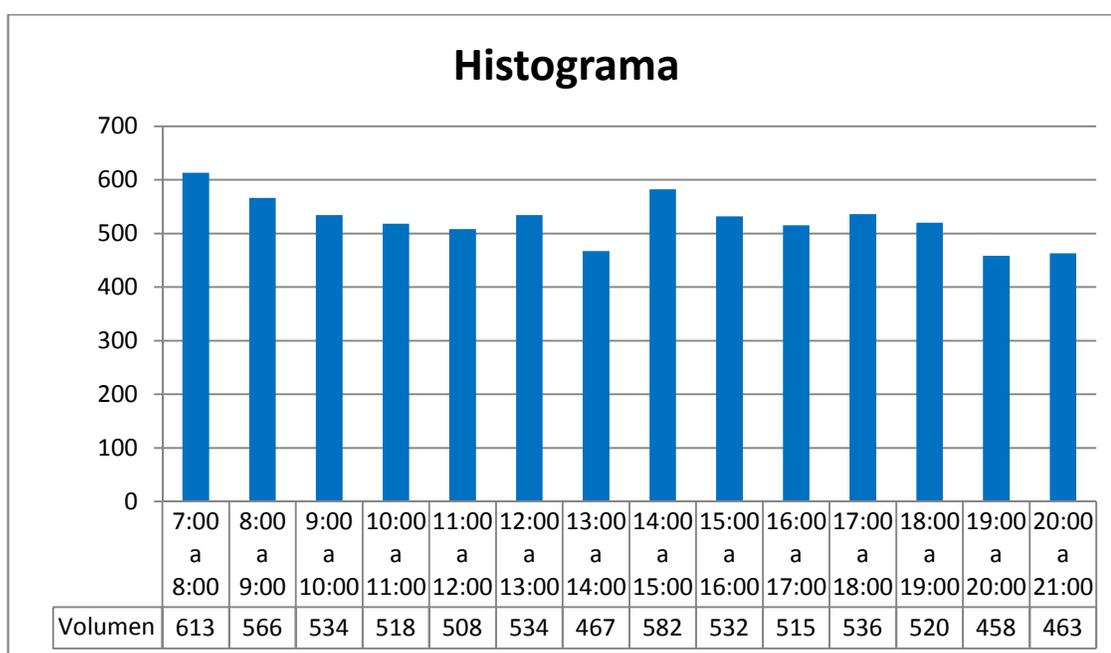
3.3.1 Determinación de la hora pico

Para realizar el acopio de datos primero se debe determinar las horas en las cuales el volumen vehicular alcanza valores máximos, para este cometido se realizó un aforo continuo de 14 horas empezando a las 7am y culminando a las 9 pm. Este aforo realizó en fecha 12/03/2019 en la intersección de la avenida La Paz con la calle Bolívar.

Tabla 3-2 Aforo vehicular de 14 horas

De	A	Volumen Horario	Hora Pico
07:00	08:00	613	√
08:00	09:00	566	
09:00	10:00	534	
10:00	11:00	518	
11:00	12:00	508	
12:00	13:00	534	
13:00	14:00	467	
14:00	15:00	582	√
15:00	16:00	532	
16:00	17:00	515	
17:00	18:00	536	√
18:00	19:00	520	
19:00	20:00	458	
20:00	21:00	463	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-3 Histograma de volúmenes vehiculares

Fuente: Elaboración propia.

Puntos de aforo de volumen vehicular y velocidad

Los aforos se realizaron en 38 intersecciones 15 de ellas a lo largo de la avenida La Paz y las demás en las calles adyacentes tanto a la derecha como a la izquierda de la avenida.

Tabla 3-3 Puntos de aforo

N°	Intersección	N°	Intersección
1	Av. La Paz y Av. Jaime Paz	20	C. Eulogio Ruiz y Av. Belgrano
2	Av. La Paz y C. Abaroa	21	Pje. Las Rosas y C. Ingavi
3	Av. La Paz y C. Ciro Trigo	22	Pje. Las Rosas y C. Bolívar
4	Av. La Paz y C. Delfín Pino	23	Pje. Las Rosas y C. Oruro
5	Av. La Paz y Av. Belgrano	24	Pje. Guemez y Av. Potosí
6	Av. La Paz y C. La Madrid	25	Pje. Guemez y C. Rosendo Estensoro
7	Av. La Paz y C. Ingavi	26	Pje. Guemez y C. Membrillos
8	Av. La Paz y C. Bolívar	27	C. Padilla y Av. Jaime Paz
9	Av. La Paz y C. Oruro	28	C. Padilla y C. Abaroa
10	Av. La Paz y Av. Potosí	29	C. Raquel Darlach y C. Ciro Trigo
11	Av. La Paz y C. Rosendo Estensoro	30	C. Raquel Darlach y C. Delfín Pino
12	Av. La Paz y C. Membrillos	31	C. Raquel Darlach y Av. Belgrano
13	Av. La Paz y Av. Hugo Arce	32	Pje. Reverendo Murillo y C. La Madrid
14	Av. La Paz y C. Prof. María Jurado	33	Pje. Reverendo Murillo y C. Ingavi
15	Av. La Paz y Av. Circunvalación	34	C. Ejército y C. Belgrano
16	C. Eulogio Ruiz y Av. Jaime Paz	35	Pje. Carlos Paz y C. Oruro
17	C. Eulogio Ruiz y C. Abaroa	36	Pje. Carlos Paz y Av. Potosí
18	C. Eulogio Ruiz y C. Ciro Trigo	37	Pje. Carlos Paz y C. Rosendo Estensoro
19	C. Eulogio Ruiz y C. Delfín Pino	38	Pje. Carlos Paz y C. Membrillos

Fuente: Elaboración Propia

3.3.2 Aforo de volumen vehicular

El aforo del volumen vehicular se realizó en las horas pico, el tipo de aforo fue manual porque este método nos permite obtener mejores datos referentes a la distribución

vehicular en los accesos. El proceso de relevamiento de datos fue extenso con las consideraciones siguientes:

El aforo fue durante 4 semanas.

No se aforan los días feriados, ni los días previos y/o posteriores días festivos o feriados.

Se trató de evitar los días lluviosos o con condiciones climáticas adversas.

En ese sentido las fechas de aforo se extendieron desde el 19 de marzo del 2019 hasta el 10 de agosto del 2019.

Tabla 3-4 Fechas de aforo

De:	Intersección 1			A:	Intersección 4		
	Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4
Día 1	19/03/2019	Día 1	26/03/2019	Día 1	02/04/2019	Día 1	09/04/2019
Día 2	21/03/2019	Día 2	28/03/2019	Día 2	04/04/2019	Día 2	11/04/2019
Día 3	23/03/2019	Día 3	30/03/2019	Día 3	06/04/2019	Día 3	13/04/2019
De:	Intersección 5			A:	Intersección 10		
	Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4
Día 1	18/03/2019	Día 1	25/03/2019	Día 1	01/04/2019	Día 1	08/04/2019
Día 2	20/03/2019	Día 2	27/03/2019	Día 2	03/04/2019	Día 2	10/04/2019
Día 3	23/03/2019	Día 3	30/03/2019	Día 3	06/04/2019	Día 3	13/04/2019
De:	Intersección 11			A:	Intersección 15		
	Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4
Día 1	23/04/2019	Día 1	07/05/2019	Día 1	14/05/2019	Día 1	21/05/2019
Día 2	25/04/2019	Día 2	09/05/2019	Día 2	16/05/2019	Día 2	23/05/2019
Día 3	27/04/2019	Día 3	04/05/2019	Día 3	11/05/2019	Día 3	18/05/2019

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-5 Fechas de aforo

De:	Intersección 16			A:	Intersección 21		
Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4	
Día 1	28/05/2019	Día 1	04/06/2019	Día 1	11/06/2019	Día 1	18/06/2019
Día 2	30/05/2019	Día 2	06/06/2019	Día 2	13/06/2019	Día 2	27/06/2019
Día 3	01/06/2019	Día 3	08/06/2019	Día 3	15/06/2019	Día 3	29/06/2019
De:	Intersección 22			A:	Intersección 26		
Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4	
Día 1	27/05/2019	Día 1	03/06/2019	Día 1	10/06/2019	Día 1	17/06/2019
Día 2	29/05/2019	Día 2	05/06/2019	Día 2	12/06/2019	Día 2	19/06/2019
Día 3	01/06/2019	Día 3	08/06/2019	Día 3	15/06/2019	Día 3	29/06/2019
De:	Intersección 27			A:	Intersección 32		
Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4	
Día 1	16/07/2019	Día 1	23/07/2019	Día 1	30/07/2019	Día 1	13/08/2019
Día 2	18/07/2019	Día 2	25/07/2019	Día 2	01/08/2019	Día 2	08/08/2019
Día 3	20/07/2019	Día 3	27/07/2019	Día 3	03/08/2019	Día 3	10/08/2019
De:	Intersección 33			A:	Intersección 38		
Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4	
Día 1	15/07/2019	Día 1	22/07/2019	Día 1	29/07/2019	Día 1	12/08/2019
Día 2	17/07/2019	Día 2	24/07/2019	Día 2	31/07/2019	Día 2	14/08/2019
Día 3	20/07/2019	Día 3	27/07/2019	Día 3	03/08/2019	Día 3	10/08/2019

Fuente: Elaboración propia.

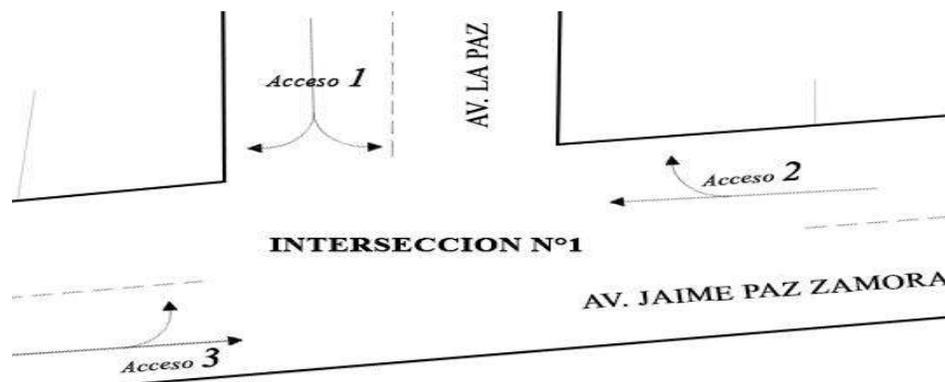
Para la clasificación de los tipos de vehículos se utilizó el criterio expuesto en la Figura 2-1 (en el CAPÍTULO II), es decir, primero, se realiza una clasificación entre vehículos públicos o privados y posteriormente se los clasifica en función de su tamaño. En el ANEXO 1 del presente proyecto se expone de manera detallada los aforos de las 38 intersecciones.

En esta sección se tomará la intersección N°1 que está en la Av. La Paz y Av. Jaime Paz Zamora para ejemplificar el proceso de recopilación de datos.

Configuración de accesos en la intersección

Antes de empezar el aforo se identifica el número de accesos que existen en la intersección. La intersección 1 tiene tres accesos.

Figura 3-4 Accesos en intersección N°1



Fuente: Elaboración propia.

Resumen de aforos de volumen vehicular

Tabla 3-6 Resumen de datos intersección 1/ acceso 1

Av. La Paz con Av. Jaime Paz Zamora		Acceso 1 ↓		
Intersección N°1		7:00 a 8:00	14:00 a 15:00	17:00 a 18:00
Semana 1	Martes	388	344	364
	Jueves	408	416	412
	Sábado	172	200	172
Semana 2	Martes	356	312	440
	Jueves	472	440	376
	Sábado	196	144	156
Semana 3	Martes	356	320	364
	Jueves	468	428	372
	Sábado	180	200	168
Semana 4	Martes	368	336	400
	Jueves	500	380	392
	Sábado	200	200	172

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-7 Resumen de datos intersección 1/ acceso 2

Av. La Paz con Av. Jaime Paz Zamora		Acceso 2 ←		
Intersección N°1		7:00 a 8:00	14:00 a 15:00	17:00 a 18:00
Semana 1	Martes	792	748	636
	Jueves	688	592	628
	Sábado	468	520	500
Semana 2	Martes	740	600	644
	Jueves	660	684	684
	Sábado	560	468	412
Semana 3	Martes	760	644	636
	Jueves	668	556	672
	Sábado	492	460	440
Semana 4	Martes	716	632	644
	Jueves	660	660	636
	Sábado	484	496	496

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-8 Resumen de datos intersección 1/ acceso 3

Av. La Paz con Av. Jaime Paz Zamora		Acceso 3 →		
Intersección N°1		7:00 a 8:00	14:00 a 15:00	17:00 a 18:00
Semana 1	Martes	120	200	80
	Jueves	92	76	80
	Sábado	56	68	40
Semana 2	Martes	124	128	96
	Jueves	120	116	92
	Sábado	68	56	52
Semana 3	Martes	120	148	84
	Jueves	112	108	80
	Sábado	56	76	44
Semana 4	Martes	124	156	84
	Jueves	100	116	92
	Sábado	72	68	48

Fuente: Elaboración propia

Los valores que se anotan en el resumen de datos de aforos vehiculares son el resultado de la sumatoria de todos los vehículos que circulan por el acceso sin importar el tipo de vehículos (livianos, medianos y pesados), ni los movimientos o giros que realicen (giro hacia la izquierda, giro hacia la derecha o movimiento recto).

Depuración estadística de datos

A partir del resumen de datos en cada acceso se procede con la depuración estadística de datos.

El proceso de depuración consiste en la eliminación de los datos que no estén dentro de un rango determinado, este rango se determina a través de la desviación estándar y la media de los datos siendo el valor máximo del rango la media de los datos más desviación estándar y el valor mínimo del rango será la media de los datos menos la desviación estándar. Aquellos valores que estén dentro del rango son los valores más representativos de toda la serie de datos. Este proceso de depuración se realiza para cada hora pico de todos los días en que se aforaron los volúmenes vehiculares.

Una vez depurados los datos se calcula la media corregida que es la media de los volúmenes de cada hora pico en la que no se consideran los datos depurados. Finalmente se establece un volumen vehicular final para todo el acceso a través de una media ponderada entre las medias corregidas.

En la Tabla 3-9 se puede apreciar la depuración de datos en la intersección 1, los valores en gris son los valores que están fuera del rango y no son tomados en cuenta para la determinación del volumen vehicular del acceso. En el ANEXO 2 del presente documento se detalla la depuración de datos en las 38 intersecciones en estudio.

Tabla 3-9 Depuración de datos: volumen vehicular

Sem/Día		Intersección N°1			Av. La Paz con Av. Jaime Paz Zamora					
		Acceso 1 ↓			Acceso 2 ←			Acceso 3 →		
		7:00 a 8:00	14:00 a 15:00	17:00 a 18:00	7:00 a 8:00	14:00 a 15:00	17:00 a 18:00	7:00 a 8:00	14:00 a 15:00	17:00 a 18:00
1	Mar	388	344	364	792	748	636	120	200	80
	Jue	408	416	412	688	592	628	92	76	80
	Sáb	172	200	172	468	520	500	56	68	40
2	Mar	356	312	440	740	600	644	124	128	96
	Jue	472	440	376	660	684	684	120	116	92
	Sáb	196	144	156	560	468	412	68	56	52
3	Mar	356	320	364	760	644	636	120	148	84
	Jue	468	428	372	668	556	672	112	108	80
	Sáb	180	200	168	492	460	440	56	76	44
4	Mar	368	336	400	716	632	644	124	156	84
	Jue	500	380	392	660	660	636	100	116	92
	Sáb	200	200	172	484	496	496	72	68	48
MEDIA	339	310	316	641	588	586	97	110	73	
Desv.	116	97	107	108	87	91	26	42	20	
R. SUP	455	407	423	749	675	677	123	152	93	
R. INF	223	213	209	533	501	495	71	68	53	
M.Corr.	375	338	383	670	601	610	105	100	85	
Med-Med	365			627			97			

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Resumen de volúmenes vehiculares

Tabla 3-10 Volúmenes vehiculares en cada acceso de las intersecciones (vh/h)

Intersección		Acceso			
		1	2	3	4
1	Av. La Paz y Av. Jaime Paz	365	627	97	-
2	Av. La Paz y C. Abaroa	560	208	103	-
3	Av. La Paz y C. Ciro Trigo	562	192	235	-
4	Av. La Paz y C. Delfín Pino	491	275	154	
5	Av. La Paz y Av. Belgrano	382	298	281	534
6	Av. La Paz y C. La Madrid	541	588	25	-
7	Av. La Paz y C. Ingavi	575	523	266	-
8	Av. La Paz y C. Bolívar	552	468	424	-
9	Av. La Paz y C. Oruro	437	549	154	-
10	Av. La Paz y Av. Potosí	418	494	499	432
11	Av. La Paz y C. Rosendo Estensoro	428	368	61	32
12	Av. La Paz y C. Membrillos	586	365	170	36
13	Av. La Paz y Av. Hugo Arce	436	486	149	-
14	Av. La Paz y C. Prof. María Jurado	454	363	15	-
15	Av. La Paz y Av. Circunvalación	430	351	831	817
16	C. Eulogio Ruiz y Av. Jaime Paz	646	148	-	-
17	C. Eulogio Ruiz y C. Abaroa	91	-	-	-
18	C. Eulogio Ruiz y C. Ciro Trigo	65	117	-	-
19	C. Eulogio Ruiz y C. Delfin Pino	90	96	-	-
20	C. Eulogio Ruiz y Av. Belgrano	63	258	357	-
21	Pje. Las Rosas y C. Ingavi	8	8	170	-
22	Pje. Las Rosas y C. Bolívar	27	359	-	-
23	Pje. Las Rosas y C. Oruro	41	87	110	-
24	Pje. Guemez y Av. Potosí	6	108	476	399
25	Pje. Guemez y C. Rosendo Estensoro	11	45	39	36
26	Pje. Guemez y C. Membrillos	40	143	130	-
27	C. Padilla y Av. Jaime Paz	697	675	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-11 Volúmenes vehiculares en cada acceso de las intersecciones (vh/h)

Intersección		Acceso			
		1	2	3	4
28	C. Padilla y C. Abaroa	340	449	221	-
29	C. Raquel Darlach y C. Ciro Trigo	1	265	-	-
30	C. Raquel Darlach y C. Delfín Pino	3	7	118	-
31	C. Raquel Darlach y Av. Belgrano	14	461	-	-
32	Pje. Reverendo Murillo y C. La Madrid	16	297	-	-
33	Pje. Reverendo Murillo y C. Ingavi	0	250	-	-
34	C. Ejército y C. Belgrano	129	304	-	-
35	Pje. Carlos Paz y C. Oruro	18	140	-	-
36	Pje. Carlos Paz y Av. Potosí	15	8	567	442
37	Pje. Carlos Paz y C. Rosendo Estensoro	19	19	48	27
38	Pje. Carlos Paz y C. Membrillos	8	41	13	-

Fuente: Elaboración propia.

En los planos 1, 2 y 3 del ANEXO 6 se exponen los volúmenes vehiculares en las intersecciones detallando también los movimientos (giro hacia la derecha, giro hacia la izquierda y movimiento recto).

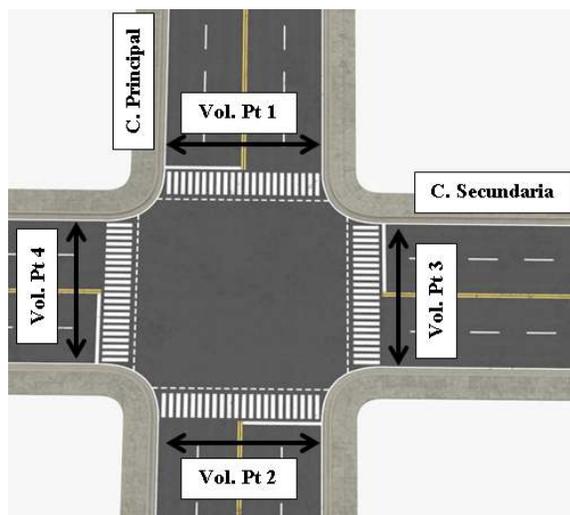
3.3.4 Aforos peatonales

Para el aforo peatonal se anotaron el número de peatones que cruzan determinado acceso. Este aforo se realizó en las intersecciones con semáforos existentes y en intersecciones que cumplieran las condiciones para la colocación de nuevos semáforos. Este dato es importante ya que su valor es determinante al momento de calcular la capacidad y nivel de servicio por el método del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM)

En la Tabla 3-12 se presentan los valores de los flujos peatonales en las calles principales y secundarias de la avenida.

También es importante la Figura 3-5 que indica la configuración adoptada para aforar los valores en las intersecciones estudiadas.

Figura 3-5 Configuración de la intersección para volúmenes peatonales



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-12 Afros Peatonales

	Volúmenes Peatonales				Calle		Total
	Vol. Pt 1	Vol. Pt 2	Vol. Pt 3	Vol. Pt 4	Principal	Secundaria	
Intersección 1	128	-	116	164	128	280	408
Intersección 3	96	56	148	224	152	372	524
Intersección 5	92	104	136	240	196	376	572
Intersección 7	44	32	164	192	76	356	432
Intersección 8	112	76	148	240	188	388	576
Intersección 9	56	108	140	112	164	252	416
Intersección 10	48	68	100	164	116	264	380
Intersección 12	68	40	52	88	108	140	248
Intersección 15	60	36	68	60	96	128	224

Fuente: Elaboración propia

3.3.5 Aforo de tiempos de circulación instantáneos en intersecciones

El aforo de tiempos consiste en el registro de tiempos que requiere un vehículo en recorrer una determinada distancia, generalmente entre 50 a 20 metros. Este es el conocido estudio de velocidades en punto o velocidades instantáneas.

Una vez obtenidos los tiempos en las intersecciones para cada hora pico se procede con depuración de datos para la cual se realiza el mismo procedimiento aplicado para la depuración de datos de volúmenes vehiculares.

Tabla 3-13 Depuración de datos: tiempos instantaneos intersección 1

	Acceso 1			Acceso 2			Acceso 3		
	Distancia (m)		30	Distancia (m)		30	Distancia (m)		30
	7 a 8	14 a 15	17 ^a 18	7 a 8	14 a 15	17 ^a 18	7 a 8	14 a 15	17 ^a 18
Med	4,94	5,02	4,91	9,56	9,61	9,73	5,16	5,18	5,18
Desv.Estd.	0,73	0,61	0,81	1,38	1,3	1,37	0,74	0,74	0,76
R. Sup	5,67	5,63	5,72	10,94	10,91	11,1	5,9	5,91	5,94
R. Inf	4,21	4,41	4,1	8,18	8,31	8,36	4,42	4,44	4,42
Med. Corr.	4,97	4,99	4,88	9,37	9,29	9,84	4,86	4,89	4,92
Med-Med	4,94			9,5			4,89		

Fuente: Elaboración propia.

Los datos obtenidos del aforo de tiempos y depuración de datos se muestran a detalle en el ANEXO 3.

3.4 Determinación de velocidad en punto

Obtenidos los tiempos corregidos se procede con la determinación de la velocidad en punto con la ecuación:

$$velocidad_{punto} = \frac{distancia}{tiempo}$$

Tabla 3-14 Velocidades en los accesos de la intersección 1

Intersección 1			Av. La Paz con Av. Jaime Paz					
Acceso 1			Acceso 2			Acceso 3		
d	t	Vel.	D	t	Vel.	D	t	Vel.
m	s	km/h	m	s	km/h	m	s	km/h
30	4,94	21,85	30	9,50	11,37	30	4,89	22,08

Fuente: Elaboración propia.

3.4.1 Resumen de velocidades de punto

La determinación de las velocidades es análoga para todos los accesos de las intersecciones, un detalle más extenso de los cálculos se muestra en el ANEXO 3.

Tabla 3-15 Velocidad de punto en accesos de intersecciones

INT	Acceso				INT	Acceso			
	1	2	3	4		1	2	3	4
1	21,85	11,37	22,08	-	20	25,34	25,13	22,45	-
2	23,94	16,17	22,54	-	21	19,28	10,84	21,84	-
3	26,54	19,00	22,61	-	22	15,11	24,18	-	-
4	24,62	20,30	31,27	-	23	18,26	11,97	18,59	-
5	23,38	20,99	21,78	16,63	24	22,87	22,11	24,95	23,65
6	23,12	21,28	13,87	-	25	21,03	19,05	21,75	24,44
7	15,38	17,50	21,18	-	26	22,88	19,65	16,35	-
8	13,66	14,73	22,21	-	27	-	21,96	-	-
9	13,58	15,39	20,46	-	28	23,16	19,42	28,43	-
10	21,79	15,16	21,83	20,3	29	21,04	24,39		-
11	28,34	24,89	18,39	22,75	30	22,45	16,85	18,32	-
12	26,79	27,61	20,26	19,77	31	19,01	22,2	-	-
13	27,23	22,68	21,37	-	32	17,14	21,37	-	-
14	25,83	23,75	18,05	-	33	-	22,31	-	-
15	21,47	20,48	24,64	27,09	34	20,92	19,11	-	-
16	19,31	16,12	-	-	35	16,55	22,32	-	-
17	17,43	-	-	-	36	19,06	17,05	22,18	24,04
18	19,48	20,11	-	-	37	22,32	19,34	19,37	18,68
19	20,39	22,34	-	-	38	20,28	18,62	16,68	-

Fuente: Elaboración propia

3.5 Capacidad y nivel de servicio

3.5.1 Ejemplo de cálculo: método HCM en intersecciones con semáforos

La determinación de capacidades es un paso intermedio para encontrar los niveles de servicio de los accesos e intersecciones en estudio, el desarrollo de los procedimientos para el cálculo de las capacidades se detalla en el ANEXO 4.

A continuación, se desarrolla el cálculo de la capacidad según el método HCM para el acceso 1 en la intersección 8.

Módulo de entrada. – Se inicia el procesamiento de datos. Hace referencia a datos iniciales de las condiciones geométricas, condiciones de tráfico, etc.

Condiciones geométricas.- Para el acceso 1 de la intersección 8 se tiene un carril de ancho 4,24 m. la pendiente se la obtiene de la herramienta de Google Earth, en este caso es de 0%, al ser unicarril no existen carriles exclusivos para giros a izquierda o derecha, el estacionamiento es permitido.

Condiciones de tráfico.- El volumen vehicular con sus respectivos movimientos direccionales y composiciones vehiculares se obtienen de los aforos vehiculares. Se asume un flujo de saturación base (s_0) de 1800 veh/h según indica el manual de capacidad de carreteras (HCM). El factor de hora pico FHP se asume 0,92 para zonas urbanas. El volumen peatonal es de 188 peatones por hora en la calle principal y 388 peatones por hora en la calle secundaria (datos obtenidos del aforo peatonal). Se considera que el número de autobuses que bloquean el acceso son 12 y se asume para el número de maniobras de estacionamiento (N_m) el valor de 16.

Condiciones de señalización.- La duración del ciclo del semáforo es de 44 segundos de los cuales 21 segundos son parar la luz verde, 2 segundos de amarillo y 21 segundos de luz roja. La operación del semáforo es de tipo predeterminado. No existe pulsador peatonal que activen los peatones. El periodo de análisis es de 0,25h (15 minutos).

Sobre el tipo de llegada se considera para este acceso un tipo de llegada Tipo 3. En función del tipo de llegada y la relación g/C se determina el valor P que para este caso es de 0,48 y la intersección se encuentra en la zona urbana o sus siglas en inglés CBD.

Tabla 3-16 Datos iniciales método HCM

Intersección N°8	Av. La Paz con C/ Bolívar		
Datos Iniciales			
Condiciones Geométricas	Acceso 1		
Número de Carriles, N	1		
Ancho de Carril, W (m)	4,24		
Pendiente, G (%)	0		
Carriles Exclusivos Izq o Der	NO		
Estacionamiento	SI		
Condiciones Tráfico	Acceso 1		
	G. Izq	Frente	G. Der
Volumen (veh/h)	0	492	60
Flujo de Saturación Base, s_0	1800	1800	1800
Factor de hora pico, FHP	0,92	0,92	0,92
% VP	8,51	8,51	8,51
Flujo de peatonal (peat/h)	188	188	188
Autobuses que bloquean, NB	12	12	12
Estacionamiento, Nm	16	16	16
Tipo de Llegada	3		
P	0,48		
Tipo de Zona	Zona Central		
Condiciones de Señalización	Acceso 1		
Longitud de Ciclo, C (s)	44		
Tiempo de Verde, g (s)	21		
Intervalo de Cambio, Y (s)	2		
Operación	P		
Pulsador peatonal	NO		
Periodo de análisis, T (h)	0,25		

Fuente: Elaboración propia

Módulo de ajuste de volúmenes. – En este módulo se realiza ajustes a los volúmenes vehiculares a través de FHP, se determina el funcionamiento de los carriles en cuanto a los movimientos de volumen vehicular y se determina la proporción de cada movimiento en función del volumen total en términos decimales.

En el acceso 1 se divide el volumen vehicular entre FHP para determinar el volumen ajustado.

$$Vp1_{Frente} = \frac{V_{Frente}}{FHP} = \frac{492}{0,92} = 535 \text{ veh/h}$$

$$Vp1_{Derecha} = \frac{V_{Derecha}}{FHP} = \frac{60}{0,92} = 65 \text{ veh/h}$$

Para los grupos de carriles solo existe un grupo de carril denominado “MR+MD” que hace referencia a que en el grupo de carriles se comparten los movimientos rectos y movimientos a la derecha sumando en el volumen ajustado total de 600 veh/h.

$$Vp_{Grupo\ de\ carriles} = Vp1_{Frente} + Vp1_{Derecha} = 535 + 65 = 600 \text{ veh/h}$$

La proporción de giros se calcula dividiendo el volumen ajustado de un giro determinado entre el volumen total ajustado.

$$Proporcion\ de\ Giro\ derecha = \frac{Vp1_{Derecha}}{Vp_{Grupo\ de\ carriles}} = \frac{65}{600} = 0,11$$

Tabla 3-17 Ajuste de volumen vehicular

Ajuste de volumen vehicular	Acceso 1		
	G. Izq	Frente	G. Der
Volumen Ajustado, Vp (veh/h)	0	535	65
Grupo de Carriles	MR+MD		
Vp en grupo de carriles		600	
Proporción de G.Izq o G.Der (P_{LT}/P_{RT})	0,00	-	0,11

Fuente: Elaboración propia

Módulo de intensidad de saturación. – En este módulo se calcula la intensidad de saturación ajustada a través de diferentes factores de ajuste, estos factores dependen de las condiciones propias de tráfico vehicular en estudio.

En caso de que los factores de ajuste determinados sean mayores a 1 se tomará como valor de ajuste con el valor de 1.

El factor de ancho se determina en función del ancho de carril en el acceso según la formula expuesta en el capítulo II.

$$f_w = 1 + \frac{W - 3,6}{9} = 1 + \frac{4,24 - 3,6}{9} = 1,071 \approx 1$$

Se realiza el ajuste al porcentaje de volúmenes con el factor “ f_{HV} ”, donde el valor de %HV para este acceso es de 8,51% y el valor de E_T se asume 2 que representa el equivalente de vehículos de pasajeros por cada vehículo pesado.

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + \%HV(E_T - 1)} = \frac{100}{100 + 8,51(2 - 1)} = 0,92$$

Para el ajuste por pendiente se toma en cuenta el grado de inclinación tenga el acceso, en este caso es de 0.

$$f_g = 1 - \frac{\%G}{200} = 1 - \frac{0}{200} = 1$$

En caso de no existir estacionamientos el factor por estacionamientos es 1, pero si existen estacionamientos el factor por estacionamientos depende del número de carriles en el acceso y el número de maniobras que se realizan en estas zonas de estacionamiento que para este acceso se asume un número de maniobras de 16.

$$f_p = \frac{N - 0,1 - \frac{18Nm}{3600}}{N} = \frac{1 - 0,1 - \frac{18 \cdot 16}{3600}}{1} = 0,82$$

El factor de ajuste por bloqueo de autobuses, está en función de la existencia de paradas para autobuses locales antes o después del acceso que pueda interrumpir el normal flujo vehicular en la intersección realizando un número de paradas por hora, en caso de no tener el número exacto de NB el manual recomienda un valor de 12.

Tabla 3-18 Valores por defecto para NB

Zona de estudio	Buses que paran por hora
Área urbana	12
Otra	2

Fuente: HCM.

$$f_{bb} = \frac{N - \frac{14,4NB}{3600}}{N} = \frac{1 - \frac{14,4 \cdot 12}{3600}}{1} = 0,95$$

El área donde se realiza el estudio es céntrica por esa razón el valor para este factor de ajuste es 0,90 según la HCM.

Tabla 3-19 Valores para ajuste por tipo de area

		Zona de estudio	
		Área urbana	Otras
f_a		0,90	1

Fuente: HCM.

El factor de utilización está en función del tipo del movimiento en el carril y al número de carriles en cada grupo de carriles. Para nuestro acceso el valor es 1.

Tabla 3-20 Factor por uso de carril

Mov.	N° Carr	f_{LU}	Mov.	N° Carr	f_{LU}	Mov.	N° Carr	f_{LU}
Frente o compartido	1	1,000	MI	1	1,000	MD	1	1,000
	2	0,952	Exclusiva	2	0,971	Exclusiva	2	0,885
	3	0,908						

Fuente: HCM.

La corrección debido al giro a la derecha para este acceso está en función al tipo de grupo de carril y a la proporción del giro a la derecha. Para este caso en particular solo existe un solo carril, entonces se usa la fórmula correspondiente, y la proporción del giro a la derecha es de 0,11

$$f_{RT} = 1 - 0,135P_{RT} = 1 - 0,135 \cdot 0,11 = 0,985$$

Este acceso no tiene giro a la izquierda por lo tanto el “ f_{LT} ” es 1. También se realizan ajustes considerando el flujo de bicicletas y peatones, en este caso no existe giro a la izquierda el valor del factor “ f_{Lpb} ” es 1.

Sin embargo, si existe giro a la derecha y para este caso el factor “ f_{Rpb} ” depende de la proporción de giro a la derecha (P_{RT}) y del valor de ajuste por fase permitida (A_{pbT}).

$$f_{Rpb} = 1 - P_{RT}(1 - A_{pbT})(1 - P_{RT}) = 1 - 0,11(1 - 0,775)(1 - 0,11) = 0,98$$

Para finalizar se calcula el flujo de saturación ajustado multiplicando el flujo de saturación base (s_0) con todos los factores de ajuste determinados previamente.

$$s = s_0 N f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb}$$

$$s = 1800 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 1 \cdot 0,82 \cdot 0,95 \cdot 0,90 \cdot 1 \cdot 0,99 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,98 = 1122$$

La Tabla 3-21 muestra los factores de ajuste el flujo de saturación ajustado s .

Tabla 3-21 Flujo de saturación vehicular

Flujo de Saturación	Acceso 1		
	G. Izq	Frente	G. Der
Flujo de Saturación Base, s_0		1800	
Número de Carriles, N		1	
Factor de Ajuste por Ancho, f_w		1,00	
Factor de Ajuste por %VP, f_{VH}		0,92	
Factor de Ajuste por Pendiente, f_g		1,00	
Factor de Ajuste por Parqueo, f_p		0,82	
Factor por Bloqueo de Buses, f_{bb}		0,95	
Factor de Ajuste por Tipo de Área, f_a		0,90	
Factor por Utilización de Carril, f_{LU}		1,00	
Factor de Ajuste por G. Derecha, f_{RT}		0,99	
Factor de Ajuste por G. Izquierda, f_{LT}		1,00	
Factor por Peatones a la izquierda, F_{Lpb}		1,00	
Factor por Peatones a la derecha, F_{Rpb}		0,98	
Flujo de Saturación Ajustado, s		1122	

Fuente: Elaboración propia.

Módulo de análisis de capacidad. – Se determina a través de relaciones entre los volúmenes, las intensidades de saturación y la duración de tiempos del ciclo semafórico.

En este acceso el volumen vehicular ajustado (V_p), se calculó previamente, es 600veh/h. El flujo de saturación ajustado es de 1122. El tiempo perdido del acceso (t_L) es 3 segundos y el tiempo perdido total por ciclo es de 6 segundos. El tiempo efectivo de verde (g) es de 21 segundos y la duración total del ciclo C es de 44 segundos.

La relación de verde para el acceso entre la duración total del ciclo, g/C , se determina fácilmente dividiendo estos dos parámetros.

$$\frac{g}{C} = \frac{21}{44} = 0,48$$

La capacidad se calcula multiplicando el flujo de saturación (s) con la relación g/c.

$$c = s \cdot g/C = 1120 \cdot 0,477 = 536 \text{ veh/h}$$

El grado de saturación es el cociente de la división del volumen ajustado entre la capacidad por grupo de carril, mientras más cercano sea este valor a 1 más crítico será el funcionamiento.

$$X = \frac{V}{c} = \frac{600}{536} = 1,12$$

Se determina la relación de flujos para cada grupo de carril que resulta de la división del volumen ajustado entre la capacidad por grupo de carril, con la finalidad de determinar el grupo de carriles críticos de la intersección.

$$\frac{V}{s} = \frac{600}{1122} = 0,53$$

El manual de capacidad de carreteras determina el nivel de servicio en función de la demora estimada en la intersección.

$$d = d_1(PF) + d_2$$

Donde las demoras d_1 (demora uniforme) y d_2 (demora incremental) se calculan en función de la duración del ciclo semafórico, la relación g/C.

$$d_1 = \frac{0,5C \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left[\min(1, X) \frac{g}{C}\right]} = \frac{0,5 \cdot 44 \cdot (1 - 0,48)^2}{1 - [1 \cdot 0,48]} = 11,50 \text{ segundos}$$

$$d_2 = 900T \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8klX}{cT}} \right]$$

El valor de T es 0,25h (15 minutos) y el valor de k es de 0,5 para los semáforos con tiempos prefijados y además l es el valor de 1.

$$d_2 = 900 \cdot 0,25 \cdot \left[(1,12 - 1) + \sqrt{(1,12 - 1)^2 + \frac{8 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 1,12}{536 \cdot 0,25}} \right] = 75,99 \text{ segundos}$$

El valor de PF se determina en base a la proporción de vehículos que llegan en verde (P), al factor de ajuste suplementario para el pelotón que llega durante el verde (f_{PA}) y la proporción de tiempo verde disponible.

$$P = Rp \cdot \frac{g}{C} = 1 \cdot 0,48 = 0,48$$

Tabla 3-22 Factor de corrección f_{PA}

Tipo de Llegada	f_{PA}
1	1,00
2	0,93
3	1,00
4	1,15
5	1,00
6	1,00

Fuente: HCM.

$$PF = \frac{(1 - P)f_{PA}}{1 - \left(\frac{g}{C}\right)} = \frac{(1 - 0,48) \cdot 1}{1 - 0,48} = 1$$

Entonces la demora es:

$$d = d_1(PF) + d_2 = 11,50 \cdot 1 + 76,79 = 87,49 \text{ segundos}$$

Como la demora es mayor a 80 segundos el nivel de servicio para el acceso es F.

El nivel del servicio para toda la intersección se determina en función de las demoras y volúmenes ajustados de cada acceso.

$$d_I = \frac{\sum(d_A) \cdot (v_A)}{\sum d_A}$$

Obteniéndose que para la intersección 8 la demora es de 60,33 segundos, siendo el nivel de servicio de la intersección E.

3.5.2 Ejemplo de cálculo: método simplificado (método por ábacos)

El método simplificado determina las capacidades reales a través de ábacos para vías interrumpidas de un sentido o dos sentidos. En el ANEXO 4 se tiene los cálculos de manera más desarrollada.

La estimación de la capacidad los parámetros de partida el ancho de la calzada, los sentidos que existen en el acceso además de la zona y características de estacionamiento en el acceso.

En este ejemplo nos referiremos al acceso 1 de la intersección 8, es decir la avenida La Paz con la calle Bolívar. El ancho de la calzada en este acceso es de 12,07 metros a los cuales se les resta 1,8 metros por estacionamiento (10,27m) tiene 2 sentidos y la zona es central con estacionamiento permitido en ambos lados. Con estos datos se entra en el Ábaco correspondiente.

Del Ábaco se determina el valor de la capacidad ideal es de 1548 veh/h, como muestra la Figura 3-5. Posteriormente se calcula la capacidad práctica se multiplica 0,9.

$$Cap_{Practica} = Cap_{ideal} \cdot 0,9 = 1548 \cdot 0,9 = 1393 \text{ veh/h}$$

Los valores de giros a derecha e izquierda en términos porcentuales son:

Tabla 3-23 Porcentaje de movimientos vehiculares

	Acceso 1			
	FRENTE	G. IZQ	G. DER	%VP
Veh/h	492	0	60	59
%	89,13	0,00	10,87	10,69

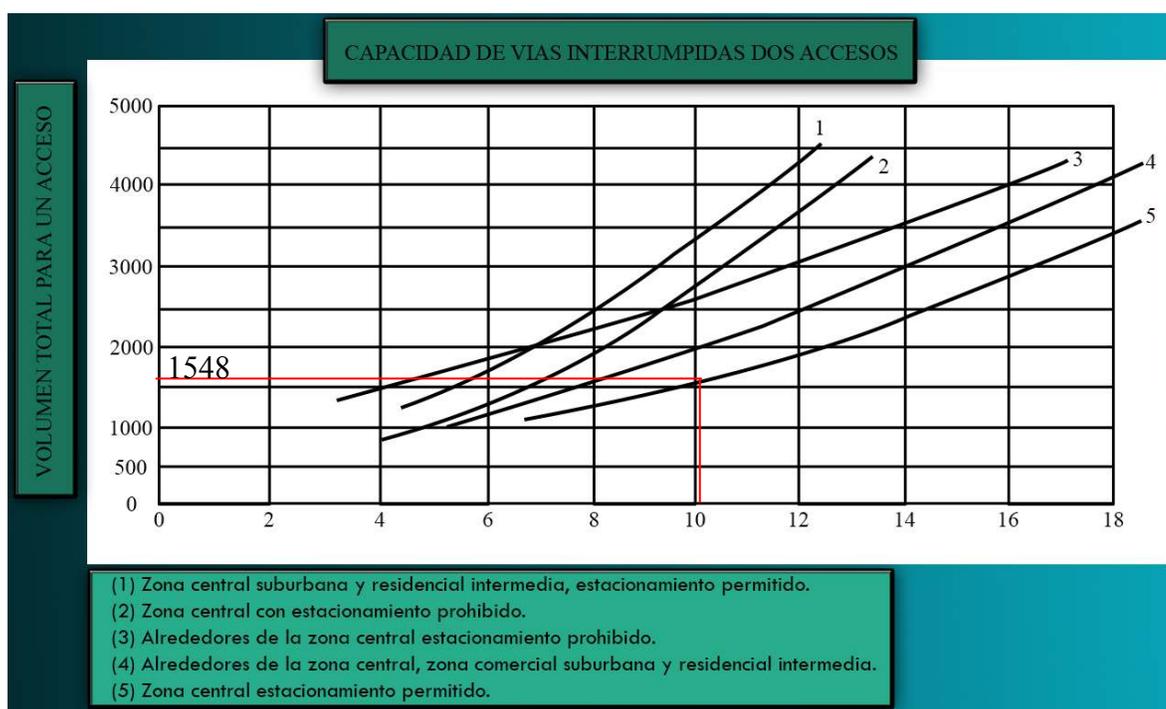
Fuente: Elaboración propia.

No existe giro izquierdo por tanto el factor de ajuste para este movimiento es 1, el porcentaje de giro a la derecha es superior al 10% por esta razón se debe calcular el factor de ajuste para este giro.

$$\%G_{der} = 10,87 - 10 = 0,87\%$$

$$f_{GD} = 1 - 0,5 \left(\frac{0,87}{100} \right) = 0,996$$

Figura 3-6 Ábaco de intersecciones interrumpidas



Fuente: Apuntes de materia ingeniería de tráfico UAJMS

El porcentaje de vehículos pesados (%VP) supera el 10% y se determina el factor de ajuste por vehículos pesados.

$$\%VP = 10,69 - 10 = 0,69$$

$$f_{VP} = 1 - \frac{0,69}{100} = 0,993$$

Para el factor de corrección por paradas es de 0,95 según indica el método.

Finalmente se calcula la capacidad real multiplicando la capacidad práctica con todos los factores de ajuste previamente determinados.

$$Cap_{Real} = Cap_{Practica} \cdot f_{Izq} \cdot f_{der} \cdot f_{VP} \cdot f_{Parada} = 1393 \cdot 1 \cdot 0,996 \cdot 0,993 \cdot 0,95$$

$$= 1309 \text{ veh/h}$$

El nivel de servicio se determina calculando la relación del volumen y la capacidad vehicular V/C, posteriormente se compara el resultado con la Tabla 3-24 asignándole de esta manera un nivel de servicio al acceso. El nivel de servicio de la intersección será el nivel de servicio más crítico de todos los accesos que componen la intersección.

Tabla 3-24 Nivel de servicio segun relación v/c

Nivel de Servicio	v/c
A	0 a 0,15
B	0,15 a 0,27
C	0,27 a 0,43
D	0,43 a 0,64
E	0,64 a 1
F	Mayor a 1

Fuente: HCM.

Para ejemplificar el cálculo se tomará el caso de la intersección 1.

Tabla 3-25 Capacidad vehicular en las intersecciones en estudio

	C _{Real}	V	V/C	NS
Acceso 1	895	365	0,41	C
Acceso 2	963	627	0,65	D
Acceso 3	890	97	0,11	A

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la Tabla 3-26, se expone un resumen de las capacidades vehiculares calculadas con los métodos HCM y Simplificado además se menciona la existencia de semáforos en las intersecciones.

Tabla 3-26 Capacidad vehicular en las intersecciones en estudio

		Capacidades							
		Método HCM				Método simplificado			
Int.	Semáforo	Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4
1	Si	407	439	600	-	895	963	890	-
2	No	-	-	-	-	1189	1149	509	-
3	No	-	-	-	-	1327	1314	422	-
4	No	-	-	-	-	1355	1335	366	-
5	Si	391	420	335	910	1180	1290	380	737
6	No	-	-	-	-	1377	1155	881	-
7	No	-	-	-	-	1237	1370	364	-
8	Si	536	477	838	-	1309	1098	580	-
9	No	-	-	-	-	987	1388	466	-
10	Si	548	446	390	388	1233	783	468	401
11	No	-	-	-	-	1393	1367	909	834
12	No	-	-	-	-	895	1430	844	751
13	No	-	-	-	-	997	845	610	-
14	No	-	-	-	-	986	1002	223	-
15	Si	435	510	888	917	1153	899	596	587

Fuente: Elaboración propia.

Se presentan la Tablas 3-27 con la finalidad de resumir el nivel de servicio en los accesos y las intersecciones de la avenida La Paz, además se puede comparar los resultados obtenidos entre los métodos HCM y el método simplificado.

Tabla 3-27 Nivel de servicio en las intersecciones en estudio

		Niveles de servicio									
		Método HCM					Método Simplificado				
Int.	Semáforo	Acceso				N.S. INT	Acceso				N.S. INT
		1	2	3	4		1	2	3	4	
1	SI	D	F	A	-	F	C	D	A	-	D
2	NO	-	-	-	-	-	C	B	B	-	C
3	NO	-	-	-	-	-	C	A	C	-	C
4	NO	-	-	-	-	-	C	B	C	-	C
5	SI	E	C	D	B	C	C	B	D	D	D
6	NO	-	-	-	-	-	C	C	A	-	C
7	NO	-	-	-	-	-	C	C	D	-	D
8	SI	F	E	B	-	E	C	C	D	-	D
9	NO	-	-	-	-	-	C	C	C	-	C
10	SI	C	F	F	F	F	C	D	F	F	F
11	NO	-	-	-	-	-	B	B	A	A	B
12	NO	-	-	-	-	-	D	B	B	A	D
13	NO	-	-	-	-	-	C	D	B	-	D
14	NO	-	-	-	-	-	C	C	A	-	C
15	SI	E	B	D	C	D	C	C	F	F	F

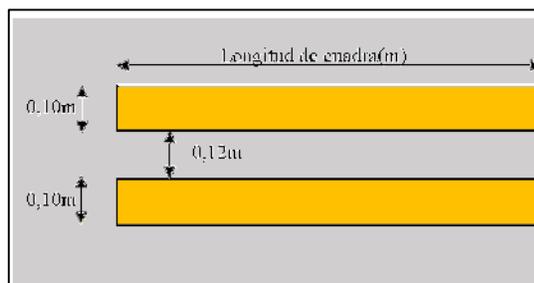
Fuente: Elaboración propia.

3.6 Señalización

3.6.1 Señales horizontales

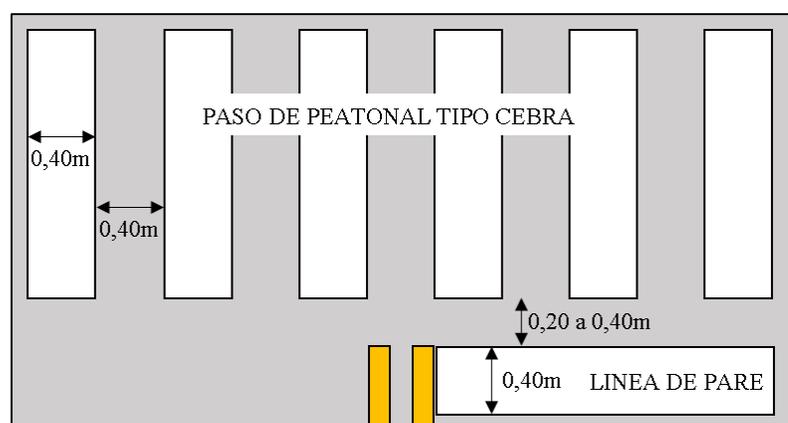
A lo largo de la avenida La Paz la mayoría de la señalización horizontal esta despintada, lo que lo hace imperceptible en todas las intersecciones, en ese sentido se presenta a continuación un detalle del señalamiento horizontal.

Figura 3-7 Señalamiento horizontal longitudinal, línea amarilla continua



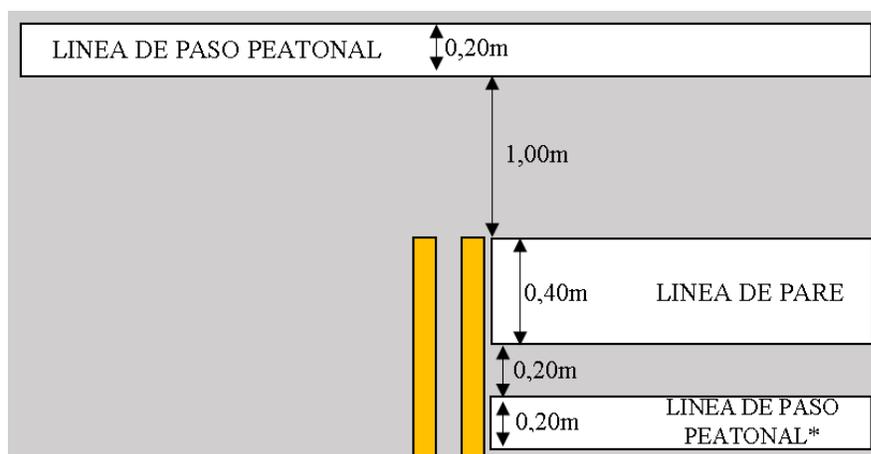
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-8 Señalamiento transversal, paso peatonal tipo cebra



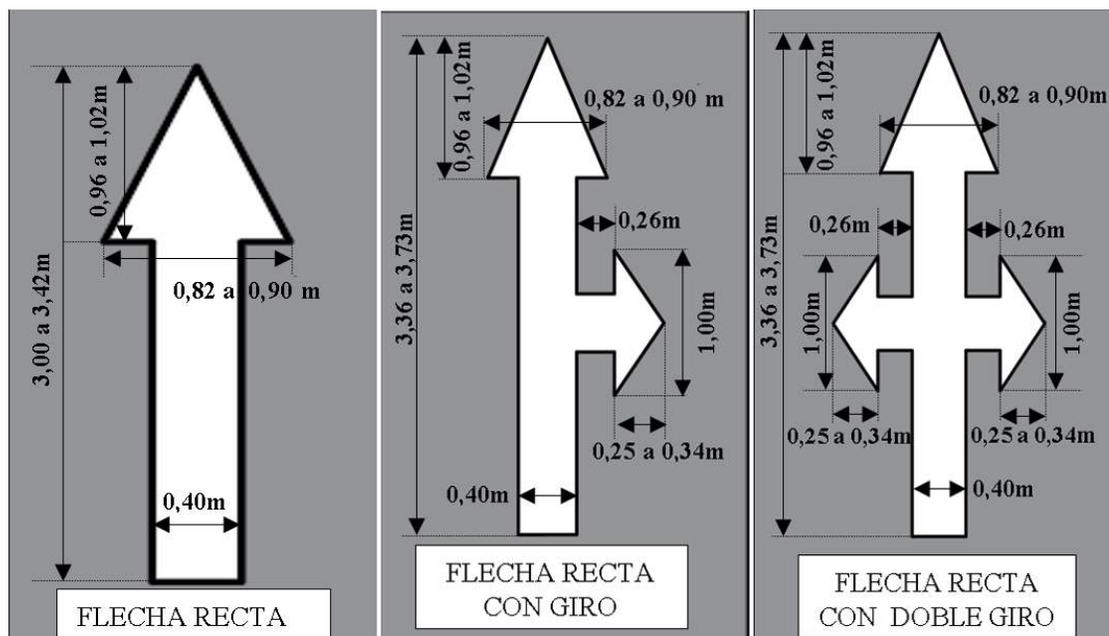
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-9 Señalamiento transversal, paso peatonal



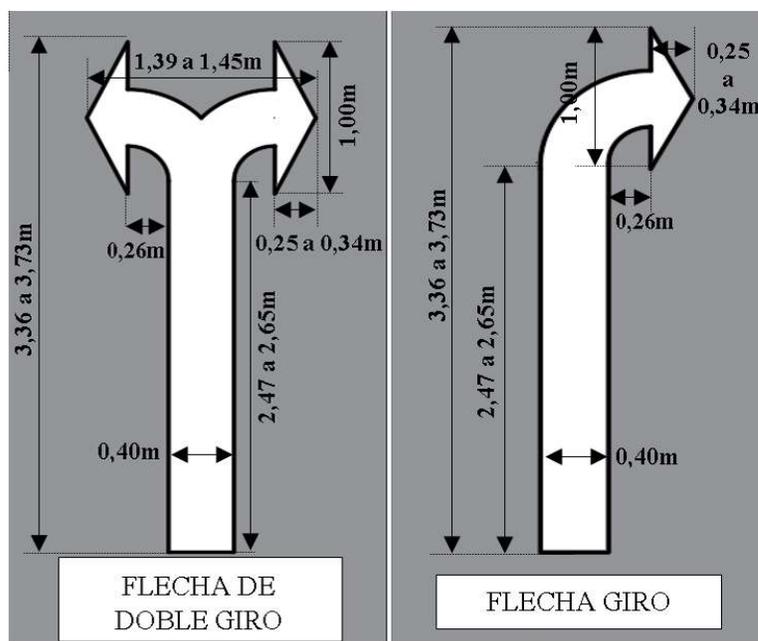
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-10 Señalamiento horizontal, flechas 1 de 2



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-11 Señalamiento horizontal, flechas 2 de 2



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-28 Señalamiento horizontal longitudinal

Int.	Tipo de Señal	Dimensiones				Observaciones
		#	Ancho	Largo	Área	
1 a 2	Línea amarilla continua	2	0,10	57,00	5,70	
2 a 3	Línea amarilla continua	2	0,10	74,00	7,40	
3 a 4	Línea amarilla continua	2	0,10	40,00	4,00	
4 a 5	Línea amarilla continua	2	0,10	125,00	12,50	
5 a 6	Línea amarilla continua	2	0,10	69,00	6,90	
6 a 7	Línea amarilla continua	2	0,10	64,00	6,40	
7 a 8	Línea amarilla continua	2	0,10	60,00	6,00	Despintada e imperceptible en algunas partes
8 a 9	Línea amarilla continua	2	0,10	33,00	3,30	
9 a 10	Línea amarilla continua	2	0,10	48,00	4,80	Despintada e imperceptible en algunas partes
10 a 11	Línea amarilla continua	2	0,10	78,00	7,80	Mayormente imperceptible
11 a 12	Línea amarilla continua	2	0,10	128,00	12,80	Despintada e imperceptible en algunas partes
12 a 13	Línea amarilla continua	2	0,10	86,00	8,60	Despintada e imperceptible antes del puente
13 a 14	Línea amarilla continua	2	0,10	79,00	7,90	Despintada e imperceptible
14 a 15	Línea amarilla continua	2	0,10	80,00	8,00	
					102,10	Total, en metros cuadrados

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-29 Señalización horizontal transversal 1 de 2

Int	Tipo de Señal	Dimensiones				Observaciones
		#	A	L	Área	
1	Paso peatonal tipo cebra	40	0,40	5,00	80,00	Despintada e imperceptible en algunas partes
	Línea de pare acceso 1 y 2	2	4,90	0,40	3,92	
	Línea de pare acceso 3	1	5,80	0,40	2,32	
2	Línea P. peatonal acceso 1	1	11,60	0,20	2,32	Mayormente imperceptible en todos los accesos
	Línea P. peatonal acceso 2	1	11,91	0,20	2,38	
	Línea P. peatonal acceso 3	2	7,20	0,20	2,88	
	Línea P. Peatonal acceso 1*	1	5,70	0,20	1,14	
	Línea P. Peatonal acceso 2*	1	5,80	0,20	1,16	
	Línea P. Peatonal acceso 3*	2	7,20	0,20	2,88	
3	Línea P. peatonal acceso 1	1	11,80	0,20	2,36	Despintada e imperceptible en algunas partes.
	Línea P. peatonal acceso 2	1	12,11	0,20	2,42	
	Línea P. peatonal acceso 3	2	6,71	0,20	2,68	
	Línea P. Peatonal acceso 1*	1	5,80	0,20	1,16	
	Línea P. Peatonal acceso 2*	1	5,90	0,20	1,18	
	Línea P. Peatonal acceso 3*	2	6,70	0,20	2,68	
	Línea de Pare acceso 1	1	2,80	0,40	1,12	
	Línea de Pare acceso 2	1	5,90	0,40	2,36	
4	Paso peatonal tipo cebra*	11	0,20	2,00	4,40	Despintada e imperceptible en algunas partes.
	Línea P. peatonal acceso 1	1	11,83	0,20	2,37	
	Línea P. peatonal acceso 2	1	11,84	0,20	2,37	
	Línea P. peatonal acceso 3	2	5,91	0,20	2,36	
	Línea P. Peatonal acceso 1*	1	5,80	0,20	1,16	
	Línea P. Peatonal acceso 2*	1	5,80	0,20	1,16	
	Línea P. Peatonal acceso 3*	2	5,90	0,20	2,36	
	Línea de Pare acceso 1	1	5,80	0,40	2,32	
	Línea de Pare acceso 2	1	5,80	0,40	2,32	
5	Paso peatonal tipo cebra	56	0,40	4,00	89,60	
	Línea P. Peatonal acceso 1*	1	5,80	0,20	1,16	
	Línea de Pare acceso 1	1	5,50	0,40	2,20	
	Línea P. Peatonal acceso 2*	1	5,80	0,20	1,16	
	Línea P. Peatonal acceso 3*	1	6,75	0,20	1,35	
	Línea P. Peatonal acceso 3**	1	10,47	0,20	2,09	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-30 Señalización horizontal transversal 2de 2

Int	Tipo de Señal	Dimensiones				Observaciones
		#	A	L	Área	
6	Paso peatonal tipo cebra	28	0,40	2,00	22,40	Mayormente imperceptible en todos los accesos
	Línea de Pare acceso 1	1	5,80	0,40	2,32	
	Línea P. Peatonal acceso 1*	1	5,80	0,20	1,16	
7	Paso peatonal tipo cebra	44	0,40	3,00	52,80	Mayormente imperceptible en todos los accesos
8	Paso peatonal tipo cebra	51	0,40	3,00	61,20	Mayormente imperceptible en todos los accesos
9	Paso peatonal tipo cebra	41	0,40	3,00	49,20	Mayormente imperceptible en todos los accesos
	Línea de Pare acceso 3	1	8,33	0,40	3,33	
10	Paso peatonal tipo cebra	59	0,40	3,00	70,80	Totalmente imperceptible en todos los accesos
11		-	-	-	0	Sin señalamiento transversal
12		-	-	-	0	Sin señalamiento transversal
13	Paso peatonal tipo cebra	19	0,40	3,00	22,80	Mayormente imperceptible en todos los accesos
	Línea de Pare acceso 1	1	4,40	0,40	1,76	Mayormente imperceptible en todos los accesos
	Línea de Pare acceso 1	1	3,40	0,40	1,36	Mayormente imperceptible en todos los accesos
14	Paso peatonal tipo cebra	8	0,40	3,00	9,60	Mayormente imperceptible en todos los accesos
	Línea de Pare acceso 3	1	3,03	0,40	1,21	Mayormente imperceptible en todos los accesos
15		-	-	-	0	Totalmente imperceptible en todos los accesos
					533,29	Total, en metros cuadrados

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-31 Señalización horizontal flechas

Int	Tipo de señal	#	Área	Total, Parcial	Observaciones
1	Flecha de viraje doble (Acceso1)	1	1,79	1,79	Despintada
	Flecha recta y de viraje (Acceso 2 y3)	2	1,65	3,30	Despintada e imperceptible
3	Flecha recta y de viraje (Acceso 3)	2	1,45	2,90	Despintada
4	Flecha recta (Accesos 1 y 2)	2	1,22	2,44	Despintada e imperceptible
5	Flecha recta y de viraje (Acceso1,2,3 y 4)	4	1,84	7,36	
	Flecha de viraje (Acceso 3 y 4)	2	1,67	3,34	
9	Flecha recta y de viraje (Acceso 3)	2	1,65	3,30	Despintada e imperceptible
13	Flecha recta y de viraje (Acceso 1)	1	1,45	1,45	Despintada
	Flecha de viraje doble (Acceso1)	1	1,76	1,76	
14	Flecha de viraje (Acceso 3)	1	1,48	1,48	Despintada e imperceptible
				29,12	Total, m²

Fuente: Elaboración propia.

El total de toda la señalización horizontal tanto longitudinal, transversal y flechas es de 664,51 metros cuadrados.

3.6.2 Señales verticales

Mediante un conteo de las señales verticales existentes a lo largo de la avenida La Paz se elabora un resumen, detallando el tipo de señal y su ubicación.

Se observo que algunas señales ya son obsoletas y que otras simplemente no se respetan por los usuarios conductores por ejemplo entre la avenida Potosí y calle Oruro está prohibido el estacionamiento en los laterales sin embargo los conductores hacen caso omiso a esta señal.

Tabla 3-32 Señales restrictivas en la avenida La Paz

Señales Restrictivas		Ubicación	Observación
Norte a Sur	No Estacionar	Av. La Paz esq. Oruro	No se respeta
	Pare	Sobre Oruro esq. Av. La Paz	
	Pare	Av. La Paz esq. Belgrano	
	Pare	Av. La Paz esq. Ciro Trigo	
	Pare	Av. La Paz esq. Jaime Paz Zamora	
Sur a Norte	Peso Máximo por Eje	Av. La Paz esq. Jaime Paz Zamora	
	No Estacionar	Av. La Paz entre Delfin Pino y Belgrano	No se respeta
	Pare	Av. La Paz esq. Belgrano	
	No Estacionar	Av. La Paz entre Potosí y Oruro	No se respeta
	Pare	Av. La Paz esq. Potosí	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-33 Señales de advertencia en la avenida La Paz

Señales de Advertencia		Ubicación
Norte a Sur	Rompemuelle	Esq. La Paz con C. Profesora María Jurado

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-34 Señales informativas en la avenida La Paz

Señales Informativas		Ubicación	Observación
Norte a Sur	Nombre Calles	Esq. La Paz con Circunvalación	
	Nombre Calles	Esq. La Paz con C. Profesora María Jurado	
	Nombre Calles	Esq. La Paz con Hugo Arce	
	Nombre Calles	Esq. La Paz con Hugo Arce	
	Parada de Micros "CH"	Av. La Paz entre Av. Potosí y C. Rosendo Estenssoro	No se usa la parada
	Nombre Calles	Av. La Paz esq. Bolívar	
	Señal Parada de Taxis	Av. La Paz esq. Bolívar	Obsoleta
	Nombre Calles	Av. La Paz esq. La Madrid	
	Parada de Micros "4-S-Y"	Av. La Paz entre Belgrano y Delfín Pino	Obsoleta
	Nombre Calles	Av. La Paz esq. Delfín Pino	
	Nombre Calles	Av. La Paz esq. Ciro Trigo	
	Parada de Micros y Taxis	Av. La Paz esq. Jaime Paz Zamora	Obsoleta
	Nombre Calles	Av. La Paz esq. Jaime Paz Zamora	
Sur a Norte	Nombre Calles	Av. La Paz esq. Abaroa	
	Nombre Calles	Av. La Paz esq. Ciro Trigo	
	Nombre Calles	Av. La Paz esq. Delfín Pino	
	Nombre Calles	Av. La Paz esq. Belgrano antes de cruzar	
	Nombre Calles	Av. La Paz esq. Belgrano después de cruzar	
	Nombre Calles	Av. La Paz esq. Ingavi	
	Nombre Calles	Av. La Paz esq. Bolívar	
	Parada de Micro "CH"	Av. La Paz entre Oruro y Bolívar	Provoca congestión
	Nombre Calles	Av. La Paz esq. Oruro	
	Parada de Micro "CH"	Av. La Paz esq. Rosendo Estenssoro	No se usa la parada
	Nombre Calles	Av. La Paz esq. Rosendo Estenssoro	
	Nombre Calles	Av. La Paz esq. Circunvalación	

Fuente: Elaboración propia.

3.7 SemafORIZACIÓN

3.7.1 Diseño de tiempos semafóricos teóricos en intersecciones con semáforos

Para ejemplificar el proceso, los cálculos se realizan con los datos de la intersección 1. Lo primero que se realiza es el cálculo del tiempo de cambio de fase, es decir, el tiempo

del Ámbar y de Todo Rojo de los tiempos de semaforización. Para este propósito se utiliza la expresión.

$$y = \left(t + \frac{v}{2a} \right) + \left(\frac{W + L}{v} \right)$$

Dónde:

y= Intervalo de cambio de fase, ámbar mas todo rojo (s).

t= Tiempo de percepción-reacción del conductor (usualmente 1,00 s).

v= Velocidad de aproximación de los vehículos (m/s).

a= Tasa de deceleración (valor usual 3,05 m/s²).

W= Ancho de la intersección (m).

L= longitud del vehículo (valor sugerido 6,10 m).

A continuación, se determina el factor de vehículos pesados que está en función de los porcentajes de vehículos pesados, autobuses y vehículos de recreo, la ecuación utilizada es:

$$f_{vp} = \frac{100}{100 + P_C(E_C - 1) + P_B(E_B - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

Dónde:

f_{vp}= Factor de ajuste por efecto de vehículos pesados.

P_C= Porcentaje de camiones.

P_B= Porcentaje de autobuses.

P_R= Porcentaje de vehículos recreativos.

E_C = Automóviles equivalentes a un camión, varia de 1,4 a 1,6.

E_B = Automóviles equivalentes a un autobús, varia de 1,4 a 1,6.

E_R = Automóviles equivalentes a un vehículo recreativo, varia de 1,4 a 1,6.

Tabla 3-35 Calculo de cambio de fase

Sentido N y S							
t	a	L	v	w	A	TR	Y
s	m/s ²	m	m/s	m	s	s	s
1	3,05	6,1	6,07	10,04	2	3 ≈ 1	3
Sentido E y O							
t	a	L	v	w	A	TR	Y
s	m/s ²	m	m/s	m	s	s	s
1	3,05	6,1	6,13	11,95	2	3 ≈ 1	3
Total, de tiempo perdido por ciclo							6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-36 Factor de ajuste por vehículos pesados

	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
P_C	0	0	0
E_C	1,5	1,5	1,5
P_B	10,68	13,56	1,03
E_B	1,5	1,5	1,5
f_{vp}	0,95	0,94	0,99

Fuente: Elaboración propia.

Para seguir con la determinación de los tiempos semafóricos se determina los automóviles equivalentes directos para convertir los automóviles que giran a izquierda o derecha multiplicando el volumen de vehículos que realizan estas maniobras por un factor E_v con un valor de 1,5 para los giros a la izquierda y 1,2 para giros a la derecha.

$$q_{ADE} = \frac{V}{FHP} \left(\frac{1}{f_{vp}} \right) (E_v)$$

Dónde:

V= Volumen vehicular (veh/h).

FHP= Factor de hora pico.

f_{vp} = Factor de ajuste por vehículos pesados.

E_v = Factor por giro izquierda o derecha.

Tabla 3-37 Determinación de automóviles equivalentes directos

	Acceso 1			Acceso 2			Acceso 3		
	F	I	D	F	I	D	F	I	D
Volumen	0	143	222	465	0	162	45	52	0
E_v	1	1,5	1,2	1	1,5	1,2	1	1,5	1,2
FHP	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
q_{ADE}	0	238	295	523	0	219	48	83	0
q_i	533			742			131		

Fuente: Elaboración propia.

El tiempo de duración del ciclo se calcula con la fórmula de ciclo óptimo propuesta por Webster que está en función de q_i , y el flujo de saturación que es de 1800 veh/h.

$$Y_i = \frac{q_i}{s}$$

Dónde:

Y_i = Relación entre el flujo actual y el flujo de saturación.

q_i = Flujo actual en automóviles equivalentes directos.

s = Flujo de saturación.

Obtenida Y_i para cada carril se utilizan los más críticos para usarlos en la determinación de la duración del ciclo óptimo.

$$C_o = \frac{1,5L + 5}{1 - \sum Y_c}$$

Dónde:

C_o = Tiempo óptimo de ciclo (s).

L = Tiempo total perdido por ciclo (s).

Y_c = Relación entre flujo actual y flujo de saturación crítico por fase.

Tabla 3-38 Cálculo de saturación crítica

	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
q	533	742	131
s	1800	1800	1800
Yi	0,30	0,41	0,07
Crítico	*	*	

Fuente: Elaboración propia.

$$C_o = \frac{1,5L + 5}{1 - \sum Y_c} = \frac{1,5 \cdot 6 + 5}{1 - (0,30 + 0,41)} = 48s \approx 50s$$

El valor calculado se redondea al múltiplo de 5 más cercano, en este caso es 50 segundos.

Una vez obtenido el valor del ciclo óptimo, se procede con la asignación de los tiempos de verde para cada fase. Para iniciar, se calcula el tiempo de verde efectivo y posteriormente se determina la distribución de tiempos verdes para cada fase semafórica.

$$g_T = C - L$$

Dónde:

g_T = Tiempo de verde efectivo (s).

C = Tiempo de ciclo optimo (s).

L = Tiempo perdido en el ciclo (s).

$$g_i = \frac{Y_i}{\sum Y_c} (g_T)$$

Dónde:

g_i = Tiempo de verde en la fase i (s).

Y_i = Relación de flujos i .

Y_c = Relación de flujos crítica.

g_T = Tiempo de verde efectivo.

Determinación de tiempo de verde efectivo:

$$g_T = C - L = 50 - 6 = 44 \text{ s}$$

Determinación de tiempo de verde para la fase 1:

$$g_1 = \frac{Y_1}{\sum Y_c} (g_T) = \frac{0,30}{0,71} (44) = 18 \text{ s}$$

Determinación de tiempo de verde para la fase 2:

$$g_2 = \frac{Y_2}{\sum Y_c} (g_T) = \frac{0,41}{0,71} (44) = 26 \text{ s}$$

De esta manera se calculan la duración de ciclos semafóricos de manera teórica en la avenida

Tabla 3-39 Resumen tiempos de semáforo teóricos y en avenida La Paz

INT	Reglaje semafórico calculado				
	C	g_1	g_1/C	g_2	g_2/C
1	50	18	0,36	26	0,52
5	30	13	0,43	11	0,37
8	30	17	0,57	7	0,23
10	45	20	0,44	19	0,42
15	35	15	0,43	14	0,40

Fuente: Elaboración propia.

3.7.1.1 Optimización de tiempos de verde y ciclos de semáforo

La optimización de tiempos de verde y ciclos de semáforos es un proceso iterativo en el que se busca las mejores condiciones de funcionamiento del semáforo, es decir, que los tiempos de demora sean los menores para cada acceso e intersección y donde la relación máxima de v/c (Demanda/Oferta) de la intersección sea la mejor posible. Para realizar este proceso se utiliza el software SYNCRHO.

Este es un proceso largo y complejo en el cual no siempre se pueden mejorar las condiciones de operación de todos los accesos en el entendido que si, por ejemplo, se aumenta el tiempo de verde en una fase esto repercutiría en los tiempos de demora en otra fase. En ocasiones lo mejor es buscar un mejoramiento de toda la intersección y no tanto para cada acceso.

Para este proceso de iteración los puntos de partida son las relaciones de verde efectivo y ciclo de semáforo de cada fase, a modo de ejemplificar este procedimiento se tomará los datos obtenidos para la intersección 1 de manera teórica.

Tabla 3-40 Datos de partida para la optimización de g y C

Actual	Fase 1			Fase 2			Ciclo
	Rojo	Verde	g_1/C	Rojo	Verde	g_2/C	
	29	18	0.36	26	26	0.52	50

Fuente: Elaboración propia.

Con estos datos iniciales los niveles de servicio, las demoras en segundos y la relación máxima v/c para la intersección 1 se muestran en la Tabla 3-41.

Tabla 3-41 Nivel de operación con los datos iniciales

	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3	Global	v/c
NS	E	F	A	F	
Demora	60,4	192,7	7,4	131,8	1,36

Fuente: Elaboración propia.

Primera iteración

En esta primera iteración se busca reducir el tiempo de demora en el acceso 2, esto repercutirá negativamente en el acceso 1, ya que para este cometido se necesita aumentar el tiempo de verde en el acceso 2 y acceso 1.

Tabla 3-42 Resultados de primera iteración

Fase 1		Fase 2		Ciclo		Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3	Global	v/c
g1	g1/C	g2	g1/C			NS	E	F	A	
18	0,33	31	0,56	55	Dem	77,7	157,9	6,6	117,5	1,28

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que el tiempo de demora de toda la intersección se reduce y la relación v/c también.

Segunda iteración

Tabla 3-43 Resultados de segunda iteración

Fase 1		Fase 2		Ciclo		Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3	Global	v/c
g1	g1/C	g2	g1/C			NS	F	F	A	
18	0,30	36	0,60	60	Dem	95,6	130,2	6	107,5	1,22

Fuente: Elaboración propia.

La demora global se reduce y la relación v/c también, aunque el acceso 1 empeora.

Tercera iteración

Tabla 3-44 Resultados de tercera iteración

Fase 1		Fase 2		Ciclo	NS	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3	Global	v/c
g1	g1/C	g2	g1/C			F	F	A	F	
18	0,28	41	0,63	65	Dem	112,1	109,1	5,5	100,8	1,17

Fuente: Elaboración propia.

La demora global se reduce y la relación v/c también, aunque el acceso 1 empeora.

Cuarta iteración

Tabla 3-45 Resultados de cuarta iteración

Fase 1		Fase 2		Ciclo	NS	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3	Global	v/c
g1	g1/C	g2	g1/C			F	F	A	F	
19	0,27	45	0,64	70	Dem	131,2	102,5	5,5	103,3	1,19

Fuente: Elaboración propia.

En esta iteración se observa que, aunque la demora global se reduce la relación v/c sube en comparación con el valor obtenido en la tercera iteración, lo que nos indica que probar con valores mayores de ciclo y tiempo de verde nos arrojaran mayores tiempos de demora.

Tiempos de verde y ciclo de semáforo asumidos.

En tenor con los resultados obtenidos de las cuatro iteraciones se asume los valores de la tercera iteración como los más óptimos para tiempos de verde y ciclo de semáforo. Recalcando que los valores iniciales fueron los tiempos de verde y ciclo semafórico obtenidos para la intersección 1 de manera teórica.

Tabla 3-46 Tiempos de verde y ciclo optimizados

Fase 1		Fase 2		Ciclo
g1	g1/C	g2	g2/C	
18	0,28	41	0,63	65

Fuente: Elaboración propia.

Este procedimiento de iteración se realizó en todas las intersecciones con semáforos tanto como con los valores obtenidos teóricamente y los valores in situ reales de la avenida La Paz para obtener los tiempos de verde y ciclos optimizados.

En la Tabla 3-47 se presentan los tiempos de verde y ciclo de semáforos iniciales y optimizados para los valores obtenidos teóricamente.

Tabla 3-47 Tiempos de verde y ciclos semaforicos optimizados para valores teóricos

Int. 1	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	-	Global	
Iniciales	g1	g2	Ciclo	NS	E	F	A	-	F	v/c
	18	26	50	Dem	60,4	192,7	7,4	-	131,8	1,36
Optimizados	g1	g2	Ciclo	NS	F	F	A	-	F	v/c
	18	41	65	Dem	112,1	109,1	5,5	-	100,8	1,17
Int. 5	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Iniciales	g1	g2	Ciclo	NS	D	B	B	F	E	v/c
	13	21	30	Dem	39,7	11,7	18	145,2	67,7	1,31
Optimizados	g1	g2	Ciclo	NS	E	B	B	E	D	v/c
	25	29	60	Dem	61,4	19,1	15,7	68,3	46,8	1,07
Int. 8	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	-	Global	
Iniciales	g1	g2	Ciclo	NS	C	C	F	-	E	v/c
	17	7	30	Dem	26,1	31,8	134,9	-	59,9	1,31
Optimizados	g1	g2	Ciclo	NS	C	D	E	-	D	v/c
	35	19	60	Dem	27,4	39,3	65,7	-	42,5	1,04
Int. 10	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Iniciales	g1	g2	Ciclo	NS	C	F	F	D	E	v/c
	20	19	45	Dem	31,4	99,3	86,5	44,4	67,3	1,13
Optimizados	g1	g2	Ciclo	NS	C	F	F	D	E	v/c
	23	21	50	Dem	29,5	90,9	92,2	47,5	67,2	1,1
Int. 15	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Iniciales	g1	g2	Ciclo	NS	C	C	E	E	E	v/c
	15	14	35	Dem	34,9	23,5	77,2	58,5	55,7	1,1
Optimizados	g1	g2	Ciclo	NS	D	D	D	C	D	v/c
	18	21	45	Dem	51,1	37,6	35,4	28,2	36,1	0,96

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3-48 se presentan los tiempos de verde y ciclo de semáforos iniciales y optimizados para los valores reales de los semáforos existentes en la avenida La Paz.

Tabla 3-48 Tiempos de verde y ciclos semaforicos optimizados para valores reales

Int. 1	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	-	Global	
Reales	g1	g2	Ciclo	NS	D	F	B	-	F	v/c
	21	23	50	Dem	39	267,4	10	-	167,9	1,53
Optimizados	g1	g2	Ciclo	NS	F	F	A	-	F	v/c
	17	42	65	Dem	97,7	129,4	5,1	-	100	1,18
Int. 5	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Reales	g1	g2	Ciclo	NS	E	B	A	D	D	v/c
	14	18	36	Dem	66,4	16,4	8,6	47	38,1	1,01
Optimizados	g1	g2	Ciclo	NS	D	B	B	D	D	v/c
	21	25	50	Dem	52,2	16,4	12,3	50,9	37,1	1,01
Int. 8	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	-	Global	
Reales	g1	g2	Ciclo	NS	E	F	C	-	F	v/c
	21	17	44	Dem	66,8	157,8	28,8	-	85,1	1,27
Optimizados	g1	g2	Ciclo	NS	C	C	F	-	D	v/c
	35	19	60	Dem	26,1	31,8	134,9	-	42,5	1,04
Int. 10	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Reales	g1	g2	Ciclo	NS	B	D	F	D	E	v/c
	18	14	36	Dem	18,6	40,9	108,5	51,1	56,5	1,15
Optimizados	g1	g2	Ciclo	NS	C	E	E	C	D	v/c
	18	18	40	Dem	28,1	77,9	61,4	30,2	51	1,07
Int. 15	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Reales	g1	g2	Ciclo	NS	B	B	F	E	E	v/c
	14	18	36	Dem	20	15,4	84,9	65,8	57	1,11
Optimizados	g1	g2	Ciclo	NS	D	C	C	C	C	v/c
	19	22	45	Dem	38,1	28,2	26,6	21,8	27,1	0,91

Fuente: Elaboración propia.

3.7.2 Calculo de tiempos de verde para giros permitidos y protegidos hacia la izquierda

Existen intersecciones donde las maniobras de giro hacia la izquierda implican problemas. La intersección 5 donde confluyen las avenidas La Paz y Belgrano específicamente el volumen vehicular de los accesos 1 y 4 tienen problemas al realizar este giro, la otra intersección donde existe este problema es la intersección 8 donde confluyen la avenida La Paz y la calle Bolívar específicamente el volumen vehicular del acceso 2 que tiene problemas al realizar este giro para ingresar al parque Bolívar.

En esta sección se calcula los tiempos de verde para proteger este tipo de movimientos en las mencionadas intersecciones.

Intersección 5

Lo primero que se determina es el tiempo de verde para la maniobra, para ello se toma en cuenta el porcentaje del volumen vehicular que realiza este movimiento. Una vez obtenido el porcentaje de giro a la izquierda se lo utiliza para calcular el tiempo de verde para el giro.

Tabla 3-49 Distribución de movimientos en intersección 5, acceso 1 y 4

Acceso 1			
Movimiento	Frente	Izquierda	Derecha
Volumen vehicular	292	90	0
Porcentaje	76,44	23,56	0
Acceso 4			
Movimiento	Frente	Izquierda	Derecha
Volumen vehicular	274	144	116
Porcentaje	51,31	26,97	21,72

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-50 Determinación de tiempo verde para giro protegido

Acceso 1		Acceso 4	
g_1	Giro protegido	g_2	Giro protegido
14s	23,56%	18s	26,97
	$3,30 \cong 5$		$4,85 \cong 5s$

Fuente: Elaboración propia.

Siendo los nuevos tiempos de verde en segundos de la intersección 5:

Tabla 3-51 Tiempos de verde con giro izquierda protegido intersección 5

g_1		g_2		Ciclo
Giro	Permitido	Giro	Permitido	
5	14	5	18	46
19		23		
g_T 42				

Fuente: Elaboración propia.

El tiempo de verde efectivo obtenido al final es de 42 segundos más 4 segundos de ámbar suman 46 segundos.

Estos cambios repercuten obviamente en el nivel de servicio de la intersección 5 para poder observar mejor estos cambios la Tabla 3-52 se comparan los valores reales y los obtenidos para permitir el giro a izquierda.

Tabla 3-52 Tiempos de verde y ciclos semaforicos reales y con giro

Intersección 5	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Reales	g_1	g_2	C	NS	E	B	A	D	D	v/c
	14	18	36	Dem	66,4	16,4	8,6	47	38,1	1,01
Con Giros	g_1	g_2	C	NS	E	D	B	D	D	v/c
	19	23	46	Dem	46,2	36,7	19,3	40,3	43,3	1,02

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa con los nuevos tiempos de giro a izquierda los niveles de operación empeoran, sin embargo, se asegura un tráfico más ordenado. Aunque si se realiza una

optimización de los tiempos los niveles de servicio mejoran un poco en la avenida La Paz y también se reducen los tiempos de demora global de la intersección.

Tabla 3-53 Tiempos de verde y ciclos semaforicos con giro izquierda optimizado

Intersección 5	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Con giros	g_1	g_2	C	NS	D	C	C	D	D	v/c
Optimizados	19	21	44	Dem	37,6	31,1	21,5	50,4	37,9	1,01

Fuente: Elaboración propia.

Intersección 8

De forma similar se determina los tiempos de verde para la intersección 8.

Tabla 3-54 Tiempos de verde con giro izquierda portegido intersección 8

		g_1		g_2	Ciclo
		Protegido	Permitido		
		5	21	17	49
		26			
g_T	43				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-55 Tiempos de verde y ciclos semaforicos reales y con giro izquierda

Intersección 8	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Global	
Reales	g_1	g_2	C	NS	E	F	C	F	v/c
	21	17	44	Dem	66,8	157,8	28,8	85,1	1,27
Con Giros	g_1	g_2	C	NS	F	F	D	F	v/c
	26	17	49	Dem	114,4	148	43	104,3	1,25

Fuente: Elaboración propia.

En este caso la optimización de tiempos arroja una duración de ciclo de 75 segundos y la mejora en los niveles de servicio en los accesos 1 y 2 es considerable sin embargo en el acceso 3 el nivel de servicio empeora considerablemente, esto se observa mejor en la Tabla 3-56 con mayor detalle.

Tabla 3-56 Tiempos de verde y ciclos semaforicos con giro izquierda optimizados

Intersección 8	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Global	
Con Giros Optimizados	g₁	g₂	C	NS	D	D	E	E	v/c
	45	24	75	Dem	47,2	60	70	58,1	1,04

Fuente: Elaboración propia.

3.7.3 Diseño de tiempos de verde y ciclo en intersecciones sin semáforo

La Administradora Boliviana de Caminos recomienda la colocación de semáforos en intersecciones que cumplan una de las dos condiciones expuestas en la Tabla 2-10 y la Tabla 2-11 del presente documento. Siguiendo estos criterios las intersecciones que necesitan semaforización son:

Tabla 3-57 Intersecciones que cumplen alguna condición de la ABC

Intersección	Condición
3	Volumen peatonal mayor a 150 pt/h
7	Demora en el transito
9	Demora en el transito
12	Demora en el transito

Fuente: Elaboración propia.

Estas intersecciones cumplen con uno de los criterios de la ABC entonces se procede al cálculo de tiempo de semáforos en las mismas.

El cálculo de tiempo de semáforo se realiza por el mismo procedimiento usado anteriormente, es decir, se convierten los datos de volumen vehicular a unidades de vehículos ligeros, posteriormente se transforma los flujos de movimientos a izquierda y derecha a movimientos de flujo directo equivalente. Posteriormente se determina la saturación crítica y el tiempo perdido por ciclo, en función de estos datos se calcula finalmente el tiempo de verde efectivo y los tiempos de verdad para cada fase.

Tabla 3-58 Tiempos de semáforo para intersecciones 3, 7, 9 y 12

INT	Reglaje semafórico calculado				
	C	g1	g1/C	g2	g2/C
3	30	16	0,53	8	0,27
7	30	16	0,53	8	0,27
9	30	18	0,60	6	0,20
12	30	18	0,60	6	0,20

Fuente: Elaboración propia.

3.7.3.1 Optimización de tiempos de verde y ciclos de semáforo

Se realizó el proceso de iteración para obtener los mejores tiempos de verde y ciclo que por lo menos signifique los mejores niveles de operación posibles

Tabla 3-59 Comparativa de nivel de servicio en intersección 3

Intersección 3	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Actuales	g ₁	g ₂	C	NS	C	A	C	-	C	v/c
	-	-	-	Dem	-	-	-	-	-	-
Calculados	g ₁	g ₂	C	NS	B	A	C	-	B	v/c
	16	8	30	Dem	16,9	5,6	26,7	-	17	0,80
Optimizados	g ₁	g ₂	C	NS	B	A	D	-	B	v/c
	23	11	40	Dem	14,4	5,8	36,5	-	18	0,81

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-60 Comparativa de nivel de servicio en intersección 7

Intersección 7	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Actuales	g ₁	g ₂	C	NS	C	C	D	-	D	v/c
	-	-	-	Dem	-	-	-	-	-	-
Calculados	g ₁	g ₂	C	NS	F	C	C	-	D	v/c
	16	8	30	Dem	82,7	25,1	32,4	-	50,8	1,10
Optimizados	g ₁	g ₂	C	NS	F	C	C	-	D	v/c
	22	12	40	Dem	83,9	23,1	32,5	-	50,5	1,07

Fuente: Elaboración propia.

En la intersección 7 entre la avenida La Paz y la calle Ingavi, el nivel de servicio no mejora, pero en contra parte se logra ordenar el flujo vehicular.

Tabla 3-61 Comparativa de nivel de servicio intersección 9

Intersección 9	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Actuales	g₁	g₂	C	NS	C	C	C	-	C	v/c
	-	-	-	Dem	-	-	-	-	-	-
Calculados	g₁	g₂	C	NS	B	C	A	-	C	v/c
	18	6	30	Dem	12,8	29,2	9,2	-	20,2	0,74
Optimizados	g₁	g₂	C	NS	B	D	B	-	C	v/c
	29	10	45	Dem	12,7	45,5	11,2	-	28,3	0,69

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-62 Comparativa de nivel de servicio en intersección 12

Intersección 12	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Actuales	g₁	g₂	C	NS	D	B	B	A	D	v/c
	-	-	-	Dem	-	-	-	-	-	-
Calculados	g₁	g₂	C	NS	E	A	B	B	D	v/c
	18	6	30	Dem	77,2	5,9	11,7	10,6	43	1,09
Optimizados	g₁	g₂	C	NS	C	A	B	B	C	v/c
	38	10	54	Dem	29,5	10,9	14,1	18	21	0,92

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Análisis de resultados de velocidad de punto

La velocidad es uno de los principales indicadores al momento de evaluar la calidad operativa de un acceso, una intersección y de una red de vías. Aunque la velocidad de circulación depende mucho del conductor existen factores por los que se ve afectado; el ancho de calle, la existencia de estacionamientos, el volumen vehicular y la pendiente son algunos de los elementos que el conductor debe tener en cuenta.

El estudio de velocidades en la avenida La Paz demuestra que los vehículos que circulan en sentido Norte a Sur (desde la avenida Circunvalación hacia la avenida Jaime Paz Zamora) viajan a mayor a velocidad de los que circulan en el sentido de Sur a Norte (desde la avenida Jaime Paz hacia la avenida Circunvalación). Aunque la variación de velocidades entre un sentido y el otro es mínima.

Tabla 4-1 Velocidades máximas y mínimas en av. La Paz

	Velocidad Máxima (km/h)	Velocidad Mínima (km/h)
Sentido Norte a Sur	28,34	13,58
Sentido Sur a Norte	27,61	11,37

Fuente: Elaboración Propia

La zona donde las velocidades son máximas en la avenida La Paz se ubica entre las calles Rosendo Estenssoro y Los Membrillos, vale decir, entre las intersecciones 11 y 12. La causa por la que los conductores aplican mayor velocidad en este área es que la longitud entre estas dos calles es la más larga de todas las intersecciones de la avenida La Paz, 150 metros, el ancho de los accesos también es más amplio que en otras zonas de la avenida dando como consecuencia velocidades de circulación más altas.

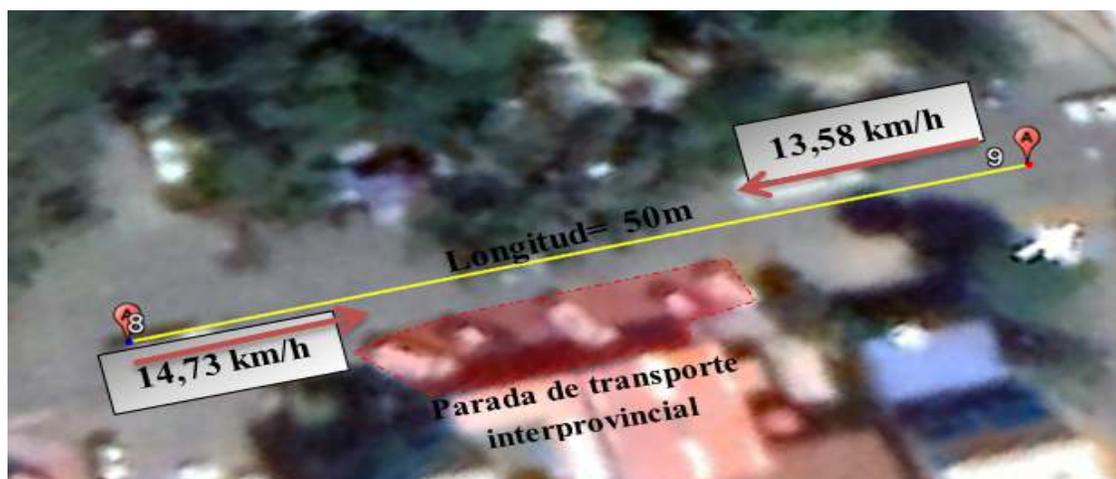
Figura 4-1 Velocidades máximas en avenida La Paz



Fuente: Elaboración propia.

Respecto a las zonas donde las velocidades son mínimas estas se ubican entre las calles Bolívar y Oruro (intersecciones 8 y 9), la principal causa es el alto volumen vehicular en esta zona, la corta longitud entre estas dos calles es también un limitante, la existencia de una parada de vehículos para el transporte interprovincial es otro elemento negativo a considerar.

Figura 4-2 Velocidades mínimas en av. La Paz entre calles Bolívar y Oruro



Fuente: Elaboración propia.

Existen otras zonas que hay que tener en cuenta, la primera está ubicada entre la avenida Potosí y la calle Oruro en este caso además de los factores anteriores se le debe aumentar que el ancho de acceso es crítico y a pesar de esta situación algunos vehículos

se estacionan a los costados de la vía. En la zona entre la avenida Jaime Paz Zamora y la calle Abaroa se puede notar que la velocidad de flujo en el sentido Sur a Norte es incluso menor esto se debe a que los vehículos que circulan en esta zona vienen de realizar una maniobra de giro derecha desde la avenida Jaime Paz.

Figura 4-3 Velocidad mínima en acceso 2 de la intersección 1 de av. La Paz



Fuente: Elaboración propia.

4.2 Análisis de resultado capacidad y nivel de servicio

Al momento de realizar un análisis de calidad de servicio de vías es importante ejecutar la comparativa de capacidad (oferta) y el volumen vehicular actual que circula (demanda) en una relación V/C . Para un análisis más completo es necesario conocer las características físicas y geométricas de las vías además del comportamiento del flujo vehicular y las condiciones de operación.

La metodología HCM es la que más parámetros considera al momento de determinar los niveles de servicio sin embargo su mayor virtud es también su mayor limitante porque para su aplicación es necesario que las intersecciones cumplan con determinadas características. Por su parte el método simplificado no evalúa tantos parámetros como el HCM, pero igualmente ofrece resultados son aceptables. En ese sentido para las intersecciones reguladas por semáforos se tomarán como válidos el nivel de servicio por el método HCM que permite estudiar la intersección con semáforos de mejor manera y

para las intersecciones sin semáforos se trabajara con el nivel de servicio dados por el método simplificado ensañado en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Tabla 4-2 Niveles de servicio en av. La Paz

INT N°	Acceso				N.S de la Intersección
	1	2	3	4	
1	D	F	A		F
2	C	B	B	-	C
3	C	A	C	-	C
4	C	B	C	-	C
5	E	C	D	B	C
6	C	C	A	-	C
7	C	C	D	-	D
8	F	E	B	-	E
9	C	C	C	-	C
10	C	F	F	F	F
11	B	B	A	A	B
12	D	B	B	A	D
13	C	D	B	-	D
14	C	C	A	-	C
15	E	B	D	C	D

Fuente: Elaboración propia.

El nivel de servicio de la intersección N°1 es F, siendo los accesos más críticos de la intersección el acceso 1 y el acceso 2 con niveles de servicio D y F respectivamente. El acceso con mayor demora es el acceso 2 que se dirige de Oeste a Este, la demora en este acceso es alta debido al alto volumen de demanda para solo un carril de evacuación. La demora en el acceso 1 con dirección Norte a Sur es también considerable pero no tanta como en el acceso 2, la razón es similar al caso del acceso2. El acceso 3 de la intersección trabaja con nivel de servicio ideal por el poco volumen vehicular y además las condiciones óptimas de este acceso por ejemplo por el no hay circulación de microbuses y los automóviles no estacionan en el lateral del acceso.

La intersección N°5 trabaja con un nivel de servicio global C donde el acceso más crítico es el acceso 1 con un nivel de operación E, los accesos 2 y 3 tienen como nivel de servicio C. Se observa que el nivel de servicio más óptimo de la intersección es el acceso 4, aunque reciba un volumen vehicular mayor al de los otros accesos, este acceso en particular trabaja con dos carriles, el buen nivel de servicio en este acceso no se observa en la realidad debido que en ocasiones existe una cola heredada de intersecciones arriba.

Se observa que en la intersección N°7 el nivel de servicio es D, los accesos 1 y 2 de esta intersección operan con un nivel de servicio C pero lo que llama más la atención es el nivel de servicio del acceso 3 que a pesar que tiene un volumen vehicular menor al volumen que circula en los otros accesos opera con un nivel de servicio D, la causa de que esto suceda es que el ancho de carril del acceso 3 se ve reducida por el espacio que ocupan los vehículos que estacionan en los laterales de la calle lo que reduce ciertamente la capacidad vehicular del acceso.

El nivel de servicio de la intersección N°8 es E. El acceso 1 es el más crítico con un N.S. de F. Por su parte el acceso 2 opera con un nivel de servicio E cerca del flujo crítico. Finalmente, el nivel de servicio del acceso 3 es B.

El nivel del servicio de la intersección N°10 es F. El acceso 1 es el que opera con mejores condiciones de la intersección con un N.S. de C. Los otros accesos operan con condiciones de saturación y N.S. de F la causa es que estos accesos evacuan el volumen vehicular solo con un carril no siendo este suficiente para la actual demanda.

En la intersección N°12 el nivel de servicio es D sin embargo esto no se observa en la realidad, el cálculo exagera el nivel de esta intersección por otra parte en el acceso 3 lateral a la avenida si se observa que los vehículos tienen pequeños periodos de espera.

El nivel de servicio de la intersección N°13 es D, siendo el acceso 2 la intersección más crítica por su ancho de carril angosto no pudiendo evacuar el volumen que este acceso recibe además un atenuante de este problema es que el acceso 2 es parte de un puente y por esa razón la circulación en esta zona es lenta.

La intersección N°15 es el cruce de dos avenidas principales con nivel de servicio D, siendo el acceso más crítico es el 1, los demás accesos trabajan con nivel de servicio C con flujos vehiculares estables con restricciones.

Tabla 4-3 Niveles de servicio en calles aledañas a la avenida La Paz

A la derecha de la avenida					A la izquierda de la avenida						
Int N°	Acceso				N.S de la Int.	Int N°	Acceso				N.S. de la Int.
	1	2	3	4			1	2	3	4	
16	D	B	-	-	D	27	D	D	-	-	D
17	C	-	-	-	C	28	B	F	B	-	D
18	B	B	-	-	B	29	A	C	-	-	C
19	B	B	-	-	B	30	A	A	B	-	B
20	B	C	D	-	D	31	A	C	-	-	C
21	A	A	C	-	C	32	A	C	-	-	C
22	A	C	-	-	C	33	A	C	-	-	C
23	A	A	B	-	B	34	C	D	-	-	D
24	A	B	F	D	F	35	A	B	-	-	B
25	A	A	A	A	A	36	A	A	F	D	F
26	A	B	B	-	B	37	A	A	A	A	A
						38	A	A	A	-	A

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los niveles de servicio de las calles aledañas a la avenida su importancia radica en su potencial de ser vías alternativas para los problemas de congestión en la avenida La Paz.

Se puede observar que los niveles de las calles son por lo general mejores que los de la avenida principal, sin embargo, en las avenidas aledañas los niveles que prestan estas no suelen mejorar mucho y en ocasiones empeoran.

4.2.1 Simulación en software SYNCHRO

Una manera de evaluar la situación problemática en la avenida La Paz es utilizando programas que permitan emular la situación real de la avenida para este propósito se utiliza el software SYNCHRO, del cual se obtienen los siguientes resultados.

Intersección 1

La intersección es el cruce de la avenida La Paz con la avenida Jaime Paz Zamora. En la Figura 4-4 se observa la intersección con los respectivos volúmenes vehiculares en cada acceso.

Figura 4-4 Configuración de la intersección 1



Fuente: Software SYNCHRO.

En la figura 4-5 se observan los resultados obtenidos para esta intersección, donde:
Total delay= Indica la demora en cada acceso.

LOS= De las siglas en ingles Level Of Service, que significa niveles de servicio.

Area type= Tipo de área (urbana u otra), en este caso área CBD que indica zona urbana.

Cycle lenght= Longitud de ciclo.

Control type= Tipo de semáforo, con tiempos predeterminados.

Maximum v/c ratio= Relación máxima de demanda y oferta, v/c.

Intersection signal delay= Demora global de la intersección.

Intersection LOS= Nivel de servicio global de la intersección.

Figura 4-5 Resultados de SYNCHRO para intersección 1

Lanes, Volumes, Timings

1: Av. Jaime Paz & La Paz

Lane Group	EBL	EBT	WBT	WBR	SBL	SBR
Queue Delay		0.0	0.0		0.0	
Total Delay		10.0	267.4		39.0	
LOS		B	F		D	
Approach Delay		10.0	267.4		39.0	
Approach LOS		B	F		D	
Intersection Summary						
Area Type:	CBD					
Cycle Length:	50					
Actuated Cycle Length:	50					
Offset:	0 (0%), Referenced to phase 4:EBTL, Start of Green					
Natural Cycle:	65					
Control Type:	Pretimed					
Maximum v/c Ratio:	1.53					
Intersection Signal Delay:	167.9			Intersection LOS: F		
Intersection Capacity Utilization	88.0%			ICU Level of Service E		
Analysis Period (min)	15					

Fuente: Reporte de datos SYNCHRO.

Intersección 5

Es el cruce de las avenidas La Paz y Belgrano, en la Figura 4-5 se muestra la configuración de calles en SYNCHRO.

Figura 4-6 Configuración de intersección 5



Fuente: SYNCHRO.

Figura 4-7 Resultados de SYNCHRO para intersección 5

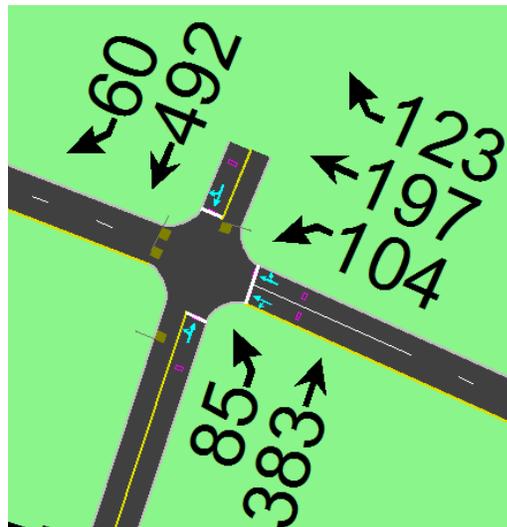
Lanes, Volumes, Timings
5: Av. La Paz & Belgrano

	↖	→	↘	↙	←	↖	↙	↑	↘	↙	↓	↘
Lane Group	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Queue Delay		0.0	0.0		0.0			0.0			0.0	
Total Delay		57.4	4.1		8.6			16.4			66.4	
LOS		E	A		A			B			E	
Approach Delay		47.0			8.6			16.4			66.4	
Approach LOS		D			A			B			E	
Intersection Summary												
Area Type:	CBD											
Cycle Length:	36											
Actuated Cycle Length:	36											
Offset:	0 (0%), Referenced to phase 2:NBT, Start of Green											
Natural Cycle:	50											
Control Type:	Pretimed											
Maximum v/c Ratio:	1.01											
Intersection Signal Delay:	38.7						Intersection LOS: D					
Intersection Capacity Utilization	112.7%						ICU Level of Service H					
Analysis Period (min)	15											

Fuente: Reporte de datos SYNCHRO.

Intersección 8

Esta es la intersección formada por la avenida La Paz y la calle Bolívar.

Figura 4-8 Configuración de intersección 8

Fuente: SYNCHRO.

Figura 4-9 Resultados de SYNCHRO para intersección 8

Lanes, Volumes, Timings
8: La Paz & Bolívar

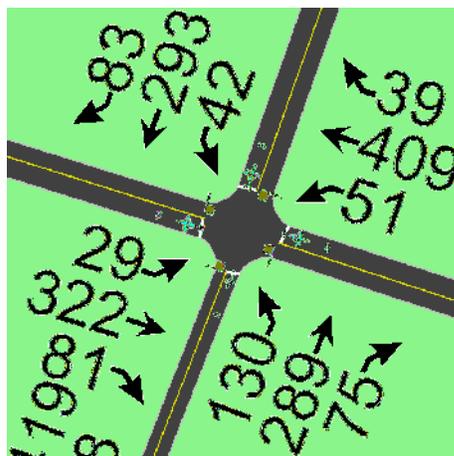
	↖	→	↘	↙	←	↖	↙	↑	↘	↙	↓	↘
Lane Group	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Queue Delay					0.0	0.0		0.0			0.0	
Total Delay					36.4	10.2		157.8			66.8	
LOS					D	B		F			E	
Approach Delay					28.8			157.8			66.8	
Approach LOS					C			F			E	
Intersection Summary												
Area Type:	CBD											
Cycle Length:	44											
Actuated Cycle Length:	44											
Offset:	0 (0%), Referenced to phase 2:NBTL, Start of Green											
Natural Cycle:	60											
Control Type:	Pretimed											
Maximum v/c Ratio:	1.27											
Intersection Signal Delay:	85.1						Intersection LOS: F					
Intersection Capacity Utilization	93.5%						ICU Level of Service F					
Analysis Period (min)	15											

Fuente: Reporte de datos SYNCHRO.

Intersección 10

Esta intersección está formada por el cruce de la avenida La Paz y avenida Potosí. La figura 4-10 muestra la intersección 10 y sus valores de volumen vehicular.

Figura 4-10 Configuración de la intersección 10



Fuente: SYNCHRO.

Figura 4-11 Resultados de SYNCHRO para intersección 10

Lanes, Volumes, Timings

10: La Paz & Potosi

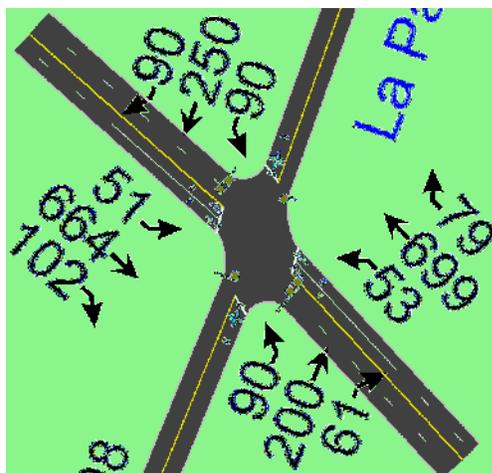
	↖	→	↘	↙	←	↖	↘	↑	↗	↘	↓	↙
Lane Group	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Queue Delay		0.0			0.0			0.0			0.0	
Total Delay		51.1			108.5			40.9			18.6	
LOS		D			F			D			B	
Approach Delay		51.1			108.5			40.9			18.6	
Approach LOS		D			F			D			B	
Intersection Summary												
Area Type:	CBD											
Cycle Length:	36											
Actuated Cycle Length:	36											
Offset:	0 (0%), Referenced to phase 2:NBTL, Start of Green											
Natural Cycle:	40											
Control Type:	Pretimed											
Maximum v/c Ratio:	1.15											
Intersection Signal Delay:	56.5						Intersection LOS: E					
Intersection Capacity Utilization	117.2%						ICU Level of Service H					
Analysis Period (min)	15											

Fuente: Reporte de datos SYNCHRO.

Intersección 15

Se forma por el cruce de la avenida La Paz y avenida Circunvalación.

Figura 4-12 Configuración de la intersección 15



Fuente: SYNCHRO.

Figura 4-13 Resultados de SYNCHRO para intersección 15

Lanes, Volumes, Timings
15: Circunvalacion & La Paz 29/11/2020

												
Lane Group	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR	SEL	SET	SER	NWL	NWT	NWR
Queue Delay		0.0			0.0			0.0			0.0	
Total Delay		15.4			20.0			65.8			84.9	
LOS		B			B			E			F	
Approach Delay		15.4			20.0			65.8			84.9	
Approach LOS		B			B			E			F	
Intersection Summary												
Area Type:	CBD											
Cycle Length:	36											
Actuated Cycle Length:	36											
Offset:	0 (0%), Referenced to phase 2:NBTL, Start of Green											
Natural Cycle:	45											
Control Type:	Pretimed											
Maximum v/c Ratio:	1.11											
Intersection Signal Delay:	57.0						Intersection LOS: E					
Intersection Capacity Utilization	101.9%						ICU Level of Service G					
Analysis Period (min)	15											

Fuente: Reporte de datos SYNCHRO.

4.3 Análisis de resultados de señalización

4.3.1 Señalamiento horizontal

Doble línea amarilla continua

Se extiende a lo largo de toda la avenida con un total de 102 metros cuadrados, donde la principal observación es que en su mayoría las líneas están despintadas o son imperceptibles esto se nota especialmente entre las intersecciones 10, 11 y 12.

Líneas transversales para pasos peatonales

Las líneas de cruce peatonal tipo cebra, este tipo de señal se observa en las intersecciones con semáforos, lamentablemente en su mayoría estas líneas no se encuentran en buenas condiciones.

Las líneas de cruce peatonal normales se observan en intersecciones donde no existen semáforos, igualmente que las de tipo cebra en algunas zonas están despintadas.

Las señales transversales a lo largo de la avenida La Paz cubren 533 metros cuadrados. Las intersecciones donde no se nota la pintura o simplemente no existe señalización son las intersecciones 2, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15.

Flechas

Las señalizaciones tipo flechas rectas y flechas con giro cubren unos 29 metros cuadrados, a lo largo de la avenida. Observándose problemas de pintura desgastada en las intersecciones 1, 2, 4, 5, 9, 13 y 14 también en las intersecciones 8, 10 y 15 la señalización horizontal de flechas simplemente no existe.

4.3.2 Señalamiento Vertical

En su generalidad todo el señalamiento vertical está en buenas condiciones, siendo el único inconveniente es la existencia de señalamiento viejo que ya no corresponde con el actual funcionamiento de la avenida La Paz.

Señales restrictivas

Existen a lo largo de la avenida La Paz, seis señales de “Pare”, tres señales de “No Estacionar” y una señal de “Restricción de ingreso por peso”.

Señales de advertencia

Existe son una señal de advertencia de “Rompemuelles”

Señales informativas

Existen diecinueve señales de Nombres de calle y seis señales de “Parada para micros o taxis”

4.4 Análisis de resultados de semaforización

4.4.1 Comparación de tiempos de verde y ciclos teóricos con los reales

En esta sección se compara los valores de los tiempos de verde y ciclos semafóricos optimizados calculados teóricamente con los valores reales con la finalidad de determinar los mejores valores para la intersección y sus respectivos niveles de servicio.

Tabla 4-4 Valores optimizados teóricos y reales

Int. 1	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Teóricos optimizados	g1	g2	C	NS	F	F	A	-	F	v/c
	18	41	65	Dem	112,1	109,1	5,5	-	100,8	1,17
Reales optimizados	g1	g2	C	NS	F	F	A	-	F	v/c
	17	42	65	Dem	97,7	129,4	5,1	-	100	1,18
Int. 5	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Teóricos optimizados	g1	g2	C	NS	E	B	B	E	D	v/c
	25	29	60	Dem	61,4	19,1	15,7	68,3	46,8	1,07
Reales optimizados	g1	g2	C	NS	D	B	B	D	D	v/c
	21	25	50	Dem	52,2	16,4	12,3	50,9	37,1	1,01
Int. 8	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Teóricos optimizados	g1	g2	C	NS	C	D	E	-	D	v/c
	35	19	60	Dem	27,4	39,3	65,7	-	42,5	1,04
Reales optimizados	g1	g2	C	NS	C	D	E	-	D	v/c
	35	19	60	Dem	27,4	39,3	65,7	-	42,5	1,04
Int. 10	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Teóricos optimizados	g1	g2	C	NS	C	F	F	D	E	v/c
	23	21	50	Dem	29,5	90,9	92,2	47,5	67,2	1,1
Reales optimizados	g1	g2	C	NS	C	E	E	C	D	v/c
	18	18	40	Dem	28,1	77,9	61,4	30,2	51	1,07
Int. 15	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Teóricos optimizados	g1	g2	C	NS	D	D	D	C	D	v/c
	18	21	45	Dem	51,1	37,6	35,4	28,2	36,1	0,96
Reales optimizados	g1	g2	C	NS	D	C	C	C	C	v/c
	19	22	45	Dem	38,1	28,2	26,6	21,8	27,1	0,91

Fuente: Elaboración propia.

En la intersección 1 después de la optimización de ciclos se verifica que los tiempos de verde y ciclo mejores para la intersección son los que se obtienen en base a los valores reales, es decir, de 17 segundos para la fase 1, 42 segundos para la fase 2 con un ciclo semafórico total de 65 segundos. La mejora en cuanto al tiempo de demora original es de 67 segundos.

En la intersección 5 los mejores tiempos de verde y ciclo semafórico son los obtenidos a partir de los datos in situ reales de los semáforos en la avenida La Paz siendo el tiempo de verde de 21 segundos para la fase 1 y de 25 segundos para la fase 2 completando un ciclo de 50 segundos.

Respecto a la intersección 8 los valores obtenidos después de la optimización son los mismos tanto como para los tiempos de verde teóricos como para los tiempos de verde reales optimizados, en ese sentido el tiempo de verde efectivo para la fase 1 es de 35 segundos y para la fase 2 es de 19 segundos siendo el ciclo total de 60 segundos para la intersección 8.

En la intersección 10 nuevamente los mejores valores optimizados son los que se obtienen a partir de los valores reales en la avenida La Paz, el tiempo de verde para la fase 1 tiene una duración de 18 segundos y para la segunda fase también de 18 segundos llegando a un ciclo de semáforo de 40 segundos.

Algo particular sucede en la intersección 15 donde el valor para el ciclo semafórico es de 45 segundos para los valores teóricos y los valores reales sin embargo existen una pequeña diferencia de 1 segundo en cuanto a la duración de tiempos de verde. A pesar de esa similitud la mejor relación demanda oferta v/c y la menor demora global se obtienen con un tiempo de verde para la fase 1 de 19 segundos de duración y para la fase 2 de 22 segundos.

4.4.2 Análisis de tiempos de verde para giros a izquierda protegidos

Los tiempos de verde para facilitar los giros hacia la izquierda se calcularon a partir de los tiempos de verde y ciclos actuales con los que operan los semáforos en la avenida. Los tiempos calculados para proteger la maniobra de giro fueron determinados en función del porcentaje del volumen vehicular que realiza esta maniobra en un rango del 20% a 26 % significando 5 segundos para facilitar los giros.

Las intersecciones que necesitan protección para estos giros son las intersecciones 5 y 8 como se observó en el Capítulo III donde se optimizaron los tiempos de verde y ciclos de semáforos totales.

Tabla 4-5 Tiempos de verde y ciclos para proteger los giros a izquierda

Intersección 5	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Con giros Optimizados	g_1	g_2	C	NS	D	C	C	D	D	v/c
	19	21	44	Dem	48,3	31,5	21,5	50,4	40,7	1,01
Intersección 8	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Con Giros Optimizados	g_1	g_2	C	NS	D	D	E	-	E	v/c
	45	24	75	Dem	47,2	60	70	-	58,1	1,04

Fuente: Elaboración propia.

En la intersección 5, las demoras por acceso y global de la intersección tienen una mejora con tiempo de verde de 19 segundos para la fase 1 de los cuales 5 segundos son para el giro a izquierda desde el acceso 1 y con tiempo de verde de 21 segundos para la fase 2 de los cuales 5 segundos son para el giro a izquierda desde el acceso 4.

En la intersección 8 el ciclo total de duración del semáforo es de 75 segundos un valor alto comparado con los valores que normalmente se usan en la ciudad de Tarija, por lo tanto, se puede observar una mejora considerable en el nivel de servicio y las demoras en los accesos 1 y 2 de la intersección, pero en contra parte el nivel de servicio en el acceso 3 reduce demasiado llegando a un nivel de operación “E” con una demora de 70 segundos.

4.4.3 Análisis de tiempos de verde y ciclos calculados en intersecciones sin semáforos

Lo que sucede en estas intersecciones es que normalmente con la instalación de semáforos no necesariamente se mejora los niveles de servicio lo que tiene lógica ya que un semáforo implica de alguna manera un obstáculo, y la vez una necesidad ya que

permite un flujo vehicular más ordenado. Los tiempos de verde y ciclos que se analizaran son los optimizados para cada intersección.

Tabla 4-6 Tiempos de verde y ciclos calculados para intersecciones sin semáforo

Intersección 3	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Optimizados	g_1	g_2	C	NS	B	A	D	-	B	v/c
	23	11	40	Dem	14,4	5,8	36,5	-	18	0,81
Intersección 7	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Optimizados	g_1	g_2	C	NS	F	C	C	-	D	v/c
	22	12	40	Dem	83,9	23,1	32,5	-	50,5	1,07
Intersección 9	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Optimizados	g_1	g_2	C	NS	B	D	B	-	C	v/c
	29	10	45	Dem	12,7	45,5	11,2	-	28,3	0,69
Intersección 12	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Optimizados	g_1	g_2	C	NS	C	A	B	B	C	v/c
	38	10	54	Dem	29,5	10,9	14,1	18	21	0,92

Fuente: Elaboración propia.

En la intersección 3 la colocación de un semáforo es necesaria debido a que el volumen peatonal en la avenida supera los 150 peatones por hora, los niveles de servicio son aceptables en los accesos 1 y 2, en el acceso 3 el nivel de servicio no es bueno, pero es necesario para tener un tráfico más ordenado.

En la intersección 7 no mejoran los niveles de servicio en los accesos, lo que indica de alguna manera que el problema en esta intersección no se soluciona solo con un semáforo, sino que necesita otras medidas.

4.5 Propuestas de solución

4.5.1 Regulación de capacidad y nivel de servicio

Las soluciones propuestas en este subtítulo buscan resolver la problemática del tráfico vehicular a través de la regulación de la demanda y la oferta en las intersecciones de la avenida La Paz, repercutiendo de manera directa con la capacidad y nivel de servicio de las mismas.

Existen diversas maneras de regular la demanda como, pero ejemplo la restricción de ingreso de vehículos como también se puede aumentar la oferta de las calles habilitando más carriles.

4.5.1.1 Cambio de ubicación de paradas

En la zona de la intersección 1 (Av. La Paz con Av. Jaime Paz Zamora) existe una parada de micros en el acceso 2, dicha parada de micros le quita bastante capacidad al acceso además de reducir las velocidades de circulación. Un cambio de ubicación de esta parada de micros significaría un aumento de capacidad del acceso y una mejora en el nivel de servicio.

La nueva ubicación de la parada podría ser en la zona ubicada entre las intersecciones 2 y 17, es decir, sobre la calle Abaroa entre la avenida La Paz y calle Eulogio Ruiz, porque el flujo en estas intersecciones es bajo y sus niveles de servicio son aceptables.

Respaldo matemático

Tabla 4-7 Propuesta N°1, acceso 2 de intersección 1

Análisis de Demora y Nivel de Servicio	Situación Actual			Con Propuesta		
	Acceso2			Acceso2		
	Izq	Frent	Der	Izq	Frent	Der
Grupo de Carriles	MR+MD			MR+MD		
Volumen Ajustado, v_p (veh/h)	681			681		
Capacidad en Grupo de Carriles, c	439			912		
Relación X	1,55			0,75		
Relación g/C	0,46			0,46		
Demora Uniforme	13,50			11,10		
Factor Ajuste para demora incremental, k	0,50			0,50		
Demora Incremental	259,11			5,55		
Factor de ajuste por progresión, PF	1			1		
Demora, d	272,61			16,65		
Nivel de Servicio	F			B		

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la parada de micros en el parque Bolívar en la intersección 8 al cruzar el acceso 3 esta podría adelantarse unos cuantos metros permitiendo movimientos más fluidos desde el acceso 1 y 3.

4.5.1.2 Restricción de ingreso de vehículos

La zona más crítica a lo largo de la avenida en estudio se encuentra en las intersecciones 8, 9 y 10. En estas zonas en particular existe un sobre saturación de automóviles que se dedican al transporte público en especial de vehículos livianos, es decir, de taxis y taxitrufis. Al ser el Parque Bolívar un importante punto de salida y llegada de vehículos a causa de su cercanía a la facultad de odontología, a entidades financieras y de ser una zona particularmente comercial el flujo vehicular no solamente es alto sino también con velocidades lentas.

Una restricción de ingreso a la zona de ciertos tipos de vehículos significaría una liberación de espacio en la avenida, aumento de capacidad y una mejora en el nivel de servicio.

Los criterios de restricción pueden ser:

Número de Placas, esta forma de restricción es la más usada en las horas pico, consiste en la prohibición de circulación de vehículos cuya placa termine con un número en específico, así, por ejemplo:

Tabla 4-8 Propuesta N°3, restricción por placas.

Terminación de Placa	Días Permitidos
0 y 1	Lunes
2 y 3	Martes
4 y 5	Miércoles
6 y 7	Jueves
8 y 9	Viernes

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de vehículos, esta se aplica para cierto tipo de vehículos restringiendo el acceso a la zona en horas pico. En esta zona en particular se recomienda la restricción de circulación de Taxi-trufis debido a la saturación de vehículos que prestan el servicio de transporte público, los taxis-trufis podrían circular por rutas alternativas que le permitan un acceso a la zona por calles aledañas que no representen problemas de congestión.

Respaldo matemático

Lo primero para evaluar esta propuesta es necesario determinar un porcentaje que indique el número de vehículos que ya no ingresaran a las zonas críticas de la avenida, para ello se realizó un conteo de placas rápido en fecha 9 de octubre del 2020 en la hora pico, donde se registró solo la terminación de las placas que ingresan a la avenida en la intersección 8.

Tabla 4-9 Datos de conteo rápido de placas

	Ultimo número de placa									
	N°	N°	N°	N°	N°	N°	N°	N°	N°	N°
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Total	64	95	73	65	77	71	63	81	66	72
%	8,80	13,07	10,04	8,94	10,59	9,77	8,67	11,14	9,08	9,90
% Combinado	21,87		18,98		20,36		19,81		19,98	

Fuente: Elaboración propia.

De este conteo rápido se determina un porcentaje de restricción del 20% para la restricción del ingreso de placas terminadas en dos números específicos, este porcentaje solo se aplicará a los vehículos livianos ya que son los que más ingresan a la avenida La Paz. De esta manera se estima nuevos volúmenes vehiculares.

A manera de ejemplificar el proceso, se utilizan los datos de la intersección 1 a los cuales se les reduce el 20% de los vehículos livianos. Los resultados se muestran en la Tabla 4-10 con mayor detalle.

Tabla 4-10 Reduccion de volúmenes vehiculares

INT 1	Acceso 1								
	Livianos			Medianos			Pesados		
	I	F	D	I	F	D	I	F	D
100%	107	0	220	37	0	2	0	0	0
-20%	86	0	176	37	0	2	0	0	0
	Acceso 2								
	Livianos			Medianos			Pesados		
	I	F	D	I	F	D	I	F	D
100%	0	412	130	0	53	32	0	0	0
-20%	0	330	104	0	53	32	0	0	0
	Acceso 3								
	Livianos			Medianos			Pesados		
	I	F	D	I	F	D	I	F	D
100%	51	45	0	0	0	0	0	0	0
-20%	41	36	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Lo siguiente que se hace es ordenar los nuevos volúmenes vehiculares según el tipo de maniobra que realizan ya sea movimiento de frente o de giro hacia la izquierda o hacia la derecha.

Tabla 4-11 Nuevos volúmenes reducidos de la intersección 1

Acceso 1			Acceso 2			Acceso 3		
Movimientos			Movimientos			Movimientos		
I	F	D	I	F	D	I	F	D
123	0	178	0	383	136	41	36	0

Fuente: Elaboración propia.

Con estos nuevos volúmenes se recalcula el nivel de servicio para verificar si existe una mejora en relación con las condiciones actuales de operación.

Tabla 4-12 Determinación de nivel de servicio para volúmenes reducidos

ANÁLISIS DE DEMORA Y NIVELES DE SERVICIO	Acceso 1			Acceso 2			Acceso 3		
	I	F	D	I	F	D	I	F	D
Grupo de Carriles	MI+MD			MR+MD			MR+MI		
Volumen Ajustado, v_p (veh/h)	301			519			77		
Capacidad en Grupo de Carriles, c	410			438			918		
Relación X	0,734			1,19			0,08		
Relación g/C	0,42			0,46			0,46		
Demora Uniforme	12,16			13,50			7,58		
Factor Ajuste para demora incremental, k	0,50			0,50			0,50		
Demora Incremental	11,10			104,24			0,18		
Factor de ajuste por progresión, PF	1			1			1		
Demora, d	23,25			117,74			7,76		
Nivel de Servicio	C			F			A		
Demora en Intersección	76,59			Nivel de Servicio de Intersección			E		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-13 Comparación entre situación actual con situación con alternativa

INTERSECCIÓN 1	Situación actual		Situación con alternativa	
	Demora	N.S.	Demora	N.S.
Acceso 1	52,56	D	23,25	C
Acceso 2	272,61	F	117,74	F
Acceso 3	8,58	A	7,76	A
Global	175,29	F	76,59	E

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el nivel de servicio del acceso 1 mejora, sin embargo, no sucede lo mismo con el acceso 2. Aun así, se reduce considerablemente las demoras de cada en cada acceso y la demora total de la intersección.

Se procedió manera similar en las demás intersecciones que presentaron niveles de operación críticos, obteniéndose nuevos volúmenes vehiculares reducidos y posteriormente determinando los respectivos niveles de servicio.

Tabla 4-14 Volúmenes reducidos un 20%

Intersección 5											
Acceso 1			Acceso 2			Acceso 3			Acceso 4		
I	F	D	I	F	D	I	F	D	I	F	D
76	238	0	0	199	46	54	0	179	115	221	95
Intersección 8											
Acceso 1			Acceso 2			Acceso 3			-		
I	F	D	I	F	D	I	F	D	-	-	-
0	404	50	75	310	0	84	160	99	-	-	-
Intersección 10											
Acceso 1			Acceso 2			Acceso 3			Acceso 4		
I	F	D	I	F	D	I	F	D	I	F	D
34	238	67	104	235	60	41	333	31	23	261	64
Intersección 15											
Acceso 1			Acceso 2			Acceso 3			Acceso 4		
I	F	D	I	F	D	I	F	D	I	F	D
73	203	74	72	163	49	43	568	64	42	538	82

Fuente: Elaboración propia.

Las mejoras en cuanto al nivel de servicio son, en la mayoría de las intersecciones, buenas debido a una menor demanda vehicular los automóviles circulan por las intersecciones.

En la intersección 5, el tiempo de demora global de la intersección se reduce de 34,34 segundos a 14,82 segundos y el nivel de servicio mejora de C a B.

En la intersección 8, el nivel de servicio mejora de E a C y la demora se reduce a 20,90 segundos.

En la intersección 10, la demora se reduce a 34,16 segundos y el nivel de servicio mejora a C.

Situación similar ocurre en la intersección 15, donde existe una mejora de nivel de servicio con B y reducción de demora global de 15,12 segundos.

Tabla 4-15 Comparación de situaciones en otras intersecciones críticas

INTERSECCIÓN 5	S. Actual		S. con Alternativa	
	Demora	N.S.	Demora	N.S.
Acceso 1	73,69	E	24,17	C
Acceso 2	22,46	C	14,08	B
Acceso 3	39,68	D	16,6	B
Acceso 4	10,03	B	7,48	A
Global	34,34	C	14,82	B
INTERSECCIÓN 8	S. Actual		S. con Alternativa	
	Demora	N.S.	Demora	N.S.
Acceso 1	87,49	F	25,49	C
Acceso 2	71,09	E	24,06	C
Acceso 3	13,11	B	11,31	B
Global	60,33	E	20,91	C
INTERSECCIÓN 10	S. Actual		S. con Alternativa	
	Demora	N.S.	Demora	N.S.
Acceso 1	21,18	C	11,32	B
Acceso 2	120,44	F	27,53	C
Acceso 3	201,53	F	59,9	E
Acceso 4	127,76	F	34,03	C
Global	121,6	F	34,16	C
INTERSECCIÓN 15	S. Actual		S. con Alternativa	
	Demora	N.S.	Demora	N.S.
Acceso 1	76,97	E	23,92	C
Acceso 2	19,7	B	13,07	B
Acceso 3	45,8	D	13,73	B
Acceso 4	33,68	C	12,76	B
Global	43,48	D	15,12	B

Fuente: Elaboración propia.

4.5.1.3 Habilitación de un carril adicional restringiendo el estacionamiento

El estacionamiento de vehículos a los laterales de las vías está permitido en gran parte de la avenida La Paz esto repercute negativamente en flujo vehicular notándose con más claridad en las horas pico en las zonas comerciales y bancarias. En este sentido se puede dividir la avenida La Paz en dos secciones, la primera abarca desde la avenida Jaime Paz Zamora hasta la Av. Potosí y la segunda desde la avenida Potosí hasta la avenida Circunvalación. En la primera sección los estacionamientos implican problemas de circulación y congestión importantes sin embargo en la segunda sección no es un factor tan determinante.

Restringir los estacionamientos aumenta la capacidad y mejora los niveles de servicio incluso no habiendo necesidad de modificar otros factores como la restricción de vehículos o los tiempos de semaforización.

A continuación, se presenta la Tabla 4-16 donde se observa cómo afectan la presencia de estacionamientos restringidos significan un aumento en el número de carriles en el acceso y aunque sus secciones sean más pequeñas el solo aumento de un carril implica un aumento grande en la capacidad y la mejora de niveles de servicio en la intersección 1.

Respaldo matemático

Tabla 4-16 Propuesta restricción de estacionamientos

Int 1	Con Estacionamiento					Sin Estacionamiento				
	N° Carr	Ancho Carril	Cap.	Dem	N.S.	N° Carr	Ancho Carril	Cap.	Dem	N.S.
		m	veh/h	seg.			m	veh/h	seg.	
Acc. 1	1	4,18	407	52,56	D	2	2,99	894	11,92	B
Acc. 2	1	3,21	439	272,61	F	2	2,51	912	16,65	B
Acc. 3	1	5,02	600	8,58	A	2	5,02	597	8,58	A

Fuente: Elaboración propia.

De manera análoga para las otras intersecciones y accesos críticos tenemos:

Tabla 4-17 Comparación de nivel de servicio intersección 8

Intersección 8	N.S. Actual	N.S. con Propuesta
Acceso 1	F	A
Acceso 2	E	A
Acceso 3	B	B

Fuente: Elaboración propia.

Para la intersección 8 se proyectó una situación donde los estacionamientos se restringen en los accesos 1 y 2, que son los accesos críticos, lo que repercute en una mejora en los niveles de servicio de estos accesos, para el acceso 3 no se restringe el estacionamiento ya que el acceso opera de manera aceptable.

Tabla 4-18 Comparación de nivel de servicio intersección 10

Intersección 10	N.S. Actual	N.S. con Propuesta
Acceso 1	C	A
Acceso 2	F	C
Acceso 3	F	B
Acceso 4	F	B

Fuente: Elaboración propia.

En la intersección 10 se restringe los estacionamientos en todos los accesos y se mejoran los niveles de servicio a excepción del acceso 2 que mantiene un nivel de servicio crítico y saturado, esto significa que el ancho de acceso es demasiado pequeño para manejar la demanda vehicular y habría que considerar alguna forma de reducir el flujo en este acceso en particular.

Respecto a la intersección 15, cabe mencionar que en el acceso 2 el estacionamiento nunca estuvo permitido debido al alta pendiente que tiene este acceso en los demás accesos si está permitido los estacionamientos así que se proyectó la propuesta restringiendo los estacionamientos en los accesos 1, 3 y 4 obteniéndose niveles de servicio mejores a los de la situación actual.

Tabla 4-19 Comparación de nivel de servicio intersección 15

Intersección 15	N.S. Actual	N.S. con Propuesta
Acceso 1	E	B
Acceso 2	B	B
Acceso 3	D	A
Acceso 4	C	A

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2 Mejoramiento de la señalización

4.5.2.1 Señalización horizontal

Repintar las señales

Según la Tabla 3-8 del Capítulo III existen zonas donde la señalización está en mal estado debido al desgaste y a la constante circulación de automóviles. Una manera económica y sencilla de solucionar problemas de tráfico una buena señalética que instruya al usuario la manera correcta de ejercer sus derechos en las vías.

En ese sentido se necesita repintar línea amarilla continua, las líneas transversales de paso peatonal y las flechas de dirección como detallan la Tabla 4-20, Tabla 4-21, Tabla 4-22 y Tabla 4-23 respectivamente.

Tabla 4-20 Línea amarilla continua a repintar en la av. La Paz

Int.	Tipo de Señal	Dimensiones			
		#	Ancho	Largo	Área
9 a 10	Línea amarilla continua	2	0,10	48	4,80
10 a 11	Línea amarilla continua	2	0,10	78	7,80
11 a 12	Línea amarilla continua	2	0,10	128	12,80
12 a 13	Línea amarilla continua	2	0,10	86	8,60
13 a 14	Línea amarilla continua	2	0,10	79	7,90
Total, m²					41,90

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-21 Líneas transversales a pintar o repintar 1 de 2

Int	Tipo de Señal	Dimensiones			
		#	A	L	Área
1	Paso peatonal tipo cebra	40	0,40	5,00	80,00
	Línea de pare acceso 1 y 2	2	4,90	0,40	3,92
	Línea de pare acceso 3	1	5,80	0,40	2,32
2	Línea P. peatonal acceso 1	1	11,60	0,20	2,32
	Línea P. peatonal acceso 2	1	11,91	0,20	2,38
	Línea P. peatonal acceso 3	2	7,20	0,20	2,88
	Línea P. Peatonal acceso 1*	1	5,70	0,20	1,14
	Línea P. Peatonal acceso 2*	1	5,80	0,20	1,16
	Línea P. Peatonal acceso 3*	2	7,20	0,20	2,88
3	Línea P. peatonal acceso 1	1	11,80	0,20	2,36
	Línea P. peatonal acceso 2	1	12,11	0,20	2,42
	Línea P. peatonal acceso 3	2	6,71	0,20	2,68
	Línea P. Peatonal acceso 1*	1	5,80	0,20	1,16
	Línea P. Peatonal acceso 2*	1	5,90	0,20	1,18
	Línea P. Peatonal acceso 3*	2	6,70	0,20	2,68
	Línea de Pare acceso 1	1	2,80	0,40	1,12
	Línea de Pare acceso 2	1	5,90	0,40	2,36
4	Paso peatonal tipo cebra*	11	0,20	2,00	4,40
	Línea P. peatonal acceso 1	1	11,83	0,20	2,37
	Línea P. peatonal acceso 2	1	11,84	0,20	2,37
	Línea P. peatonal acceso 3	2	5,91	0,20	2,36
	Línea P. Peatonal acceso 1*	1	5,80	0,20	1,16
	Línea P. Peatonal acceso 2*	1	5,80	0,20	1,16
	Línea P. Peatonal acceso 3*	2	5,90	0,20	2,36
	Línea de Pare acceso 1	1	5,80	0,40	2,32
	Línea de Pare acceso 2	1	5,80	0,40	2,32
6	Paso peatonal tipo cebra	28	0,40	2,00	22,40
	Línea de Pare acceso 1	1	5,80	0,40	2,32
	Línea P. Peatonal acceso 1*	1	5,80	0,20	1,16
7	Paso peatonal tipo cebra	44	0,40	3,00	52,80
8	Paso peatonal tipo cebra	51	0,40	3,00	61,20
9	Paso peatonal tipo cebra	41	0,40	3,00	49,20
	Línea de Pare acceso 3	1	8,33	0,40	3,33
10	Paso peatonal tipo cebra	59	0,40	3,00	70,80

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-22 Líneas transversales a pintar o repintar 2 de 2

Int	Tipo de Señal	Dimensiones			
		#	A	L	Área
11	Línea P. peatonal acceso 1	1	12,07	0,20	2,41
	Línea P. peatonal acceso 2	1	11,91	0,20	2,38
	Línea P. peatonal acceso 3	1	9,47	0,20	1,89
	Línea P. peatonal acceso 4	1	9,48	0,20	1,90
	Línea P. Peatonal acceso 1*	1	5,94	0,20	1,19
	Línea P. Peatonal acceso 2*	1	5,86	0,20	1,17
	Línea P. Peatonal acceso 3*	1	4,64	0,20	0,93
	Línea P. Peatonal acceso 4*	1	4,64	0,20	0,93
12	Línea P. peatonal acceso 1	1	9,12	0,20	1,82
	Línea P. peatonal acceso 2	1	12,30	0,20	2,46
	Línea P. peatonal acceso 3	1	8,56	0,20	1,71
	Línea P. peatonal acceso 4	1	9,17	0,20	1,83
	Línea P. Peatonal acceso 1*	1	4,46	0,20	0,89
	Línea P. Peatonal acceso 2*	1	6,05	0,20	1,21
	Línea P. Peatonal acceso 3*	1	4,18	0,20	0,84
	Línea P. Peatonal acceso 4*	1	4,49	0,20	0,90
13	Paso peatonal tipo cebra	19	0,40	3,00	22,80
	Línea de Pare acceso 1	1	4,40	0,40	1,76
	Línea de Pare acceso 1	1	3,40	0,40	1,36
14	Paso peatonal tipo cebra	8	0,40	3,00	9,60
	Línea de Pare acceso 3	1	3,03	0,40	1,21
15	Paso peatonal tipo cebra	60	0,40	3,00	72,00
	Línea de pare acceso 1	1	6,29	0,40	2,52
	Línea de pare acceso 2	1	4,39	0,40	1,76
	Línea de pare acceso 3	1	7,61	0,40	3,04
	Línea de pare acceso 4	1	7,59	0,40	3,04
Total, m²					542,54

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-23 Flechas a pintar o repintar

Int	Tipo de señal	#	Área	Total, Parcial
1	Flecha de doble viraje (Acceso1)	1	1,79	1,79
	Flecha recta y de viraje (Acceso 2 y3)	2	1,65	3,3
3	Flecha recta y de viraje (Acceso 3)	2	1,45	2,9
4	Flecha recta (Accesos 1 y 2)	2	1,22	2,44
8	Flecha recta y de viraje (Acceso1,2,3)	3	1,84	5,52
9	Flecha recta y de viraje (Acceso 3)	2	1,65	3,3
10	Flecha recta y de doble viraje (Acceso1, 2, 3, y 4)	4	2,11	8,44
13	Flecha recta y de viraje (Acceso 1)	1	1,45	1,45
	Flecha de viraje doble (Acceso1)	1	1,76	1,76
14	Flecha de viraje (Acceso 3)	1	1,48	1,48
15	Flecha recta y de doble viraje (Acceso1, 2, 3, y 4)	4	2,11	8,44
Total, m²				40,82

Fuente: Elaboración propia.

Sumando un total de 625,26 metros cuadrados a cubrir con pintura con diferentes señales en la avenida La Paz.

4.5.2.2 Señalización vertical

Retiro de señales obsoletas

Existen algunas señales verticales que ya no cumplen función alguna en la avenida La Paz debido a que son antiguas y pueden provocar confusiones.

Tabla 4-24 Señales verticales para retirar

Señal	Ubicación	Justificación
Parada de Taxis "4 de Julio"	Av. La Paz entre Bolívar y Oruro	Esta para de Taxis ya no se usa, y el sector se usa como estacionamiento particular. Perjudica la libre circulación de 552 vehículos por hora por la avenida.
Parada de Micros "4-S-Y"	Av. La Paz entre Belgrano y Delfín Pino	Esta para ya no usa debido a que el sector es utilizado como estacionamiento particular y para las entidades bancarias de la zona. Obstáculo para la circulación de 491 vehículos por hora
Parada Micros y Taxis	Av. La Paz esquina av. Jaime Paz	Señal obsoleta, porque el sector su usa como estacionamiento para motos y vehículos particulares. Perjudica la libre circulación de 365 vehículos por hora.

Fuente: Elaboración propia.

Colocación de nuevas señales

En algunas intersecciones es necesaria la instalación de nuevas señales que adviertan o instruyan al conductor y peatón sobre cómo debe actuar en la intersección.

Tabla 4-25 Señales nuevas para colocar en avenida La Paz 1 de 2

Señales Restrictivas		
Señal	Ubicación	Justificación
PARE	Sobre la calle Delfin Pino esquina La Paz	Es una vía secundaria con un flujo de 154veh/hora en contra de la vía principal con un flujo vehicular de 766veh/hora
PARE	Sobre la calle Ingavi esquina La Paz	Es una vía secundaria con un flujo de 266veh/hora en contra de la vía principal con un flujo vehicular de 1098veh/hora
PARE	Sobre la calle Los Membrillos esquina La Paz, en el acceso 3 de la intersección 12	Es una vía secundaria con un flujo de 170veh/hora en contra de la vía principal con un flujo vehicular de 951veh/hora
PARE	Sobre la av. Hugo Arce esquina La Paz.	Es una vía secundaria con un flujo de 149veh/hora en contra de la vía principal con un flujo vehicular de 924veh/hora
PARE	Sobre la calle Prof. María Jurado esquina La Paz	Es una vía secundaria con un flujo de 149veh/hora en contra de la vía principal con un flujo vehicular de 924veh/hora
CEDA EL PASO	Sobre la av. La Paz esquina Delfin Pino, en el acceso 2 de la intersección 4	La vía principal debe ceder el paso a la calle secundaria para que puedan pasar al frente o girar los 154veh/hora
CEDA EL PASO	Sobre la av. La Paz esquina Ingavi, en los accesos 1 y 2 de la intersección 7	La vía principal debe ceder el paso a la calle secundaria para que puedan pasar al frente o girar los 266veh/hora y en el acceso para permitir el giro hacia la izquierda desde el acceso 1 con un volumen vehicular de 94veh/hora
CEDA EL PASO	Sobre la av. La Paz esquina Los Membrillos, en el acceso 2 de la intersección 12	La vía principal debe ceder el paso a la calle secundaria para que puedan pasar al frente o girar los 170veh/hora y para permitir el giro hacia la izquierda del acceso 1 con un volumen de 121veh/hora

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-26 Señales nuevas para colocar en avenida La Paz 2 de 2

Señales Restrictivas		
Señal	Ubicación	Justificación
NO ESTACIONAR	Entre la calle Bolívar e Ingavi, en la vereda a la derecha de la avenida La Paz	Para poder habilitar un carril y mejorar la circulación de 523veh/hora en el acceso 2 de la intersección 7
NO ESTACIONAR	Entre la calle Oruro y Bolívar, en la vereda a la izquierda de la avenida La Paz	Para poder habilitar un carril y mejorar la circulación de 552veh/hora en el acceso 1 de la intersección 8
NO ESTACIONAR	Entre la calle Oruro y Potosí, en la vereda derecha de la avenida La Paz	Para mejorar la circulación de 492veh/hora en el acceso 2 de la intersección 10
PROHIBIDO GIRAR A LA IZQUIERDA	En la avenida Jaime Paz Zamora, en el acceso 3 de la intersección 1.	Para evitar la formación de colas y la ocupación de espacio por el bajo volumen vehicular que realiza esta maniobra desde el acceso 3 con solo 52veh/hora
PROHIBIDO GIRAR A LA IZQUIERDA	En la avenida La Paz, en el acceso 2 de la intersección 14.	Para evitar accidentes con los vehículos que vienen desde el acceso 1 de la intersección con 448veh/hora
Señales Informativas		
Señal	Ubicación	Justificación
Bifurcación en T	En la avenida La Paz esquina Jaime Paz Zamora	Para prevenir a los conductores que circulan por el acceso 1, cuyo volumen vehicular es de 365veh/hora
Puente Angosto	En la avenida La Paz antes de la esquina Hugo Arce	Para prevenir a los conductores que circulan por el acceso 2 de la intersección 13 la existencia de un puente angosto.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.3 Cambios en los tiempos de verde y ciclos de semáforos

4.5.3.1 Nuevos tiempos de verde y ciclos de semáforo

Del análisis realizado en el subtítulo 4.4 del presente capítulo se determina que los tiempos de verde y ciclos de semáforo son aquellos que nos permitan una mejora en cuanto a las demoras y nivel de servicio actuales en las intersecciones.

En ese sentido la propuesta del nuevo dimensionamiento de tiempos de verde y de ciclos de semáforo para las intersecciones 1, 5, 8, 10 y 15 se detallan en la Tabla 4-27.

Tabla 4-27 Nuevo dimensionamiento de tiempo de verde y ciclo de semáforo

Intersección 1, avenida La Paz con avenida Jaime Paz Z.												
Fase 1		Fase 2				Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global		
g₁	g₁/C	g₂	g₂/C	C	NS	F	F	A	-	F	v/c	
17	0,26	42	0,65	65	Dem	97,7	129,4	5,1	-	100	1,18	
Intersección 5, avenida La Paz con avenida Belgrano												
Fase 1		Fase 2				Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global		
g₁	g₁/C	g₂	g₂/C	C	NS	D	B	B	D	D	v/c	
21	0,42	25	0,50	50	Dem	52,2	16,4	12,3	50,9	37,1	1,01	
Intersección 8, avenida La Paz con calle Bolivar												
Fase 1		Fase 2				Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global		
g₁	g₁/C	g₂	g₂/C	C	NS	C	D	E	-	D	v/c	
35	0,58	19	0,32	60	Dem	27,4	39,3	65,7	-	42,5	1,04	
Intersección 10, avenida La Paz con avenida Potosí												
Fase 1		Fase 2				Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global		
g₁	g₁/C	g₂	g₂/C	C	NS	C	E	E	C	D	v/c	
18	0,45	18	0,45	40	Dem	28,1	77,9	61,4	30,2	51	1,07	
Intersección 15, avenida La Paz con avenida Circunvalación												
Fase 1		Fase 2				Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global		
g₁	g₁/C	g₂	g₂/C	C	NS	D	C	C	C	C	v/c	
19	0,42	22	0,49	45	Dem	38,1	28,2	26,6	21,8	27,1	0,91	

Fuente: Elaboración propia.

4.5.3.2 Nuevo dimensionamiento de tiempos semafóricos para proteger el giro hacia la izquierda

Los calculo que respaldan esta propuesta se encuentran en el capítulo III del presente proyecto, del posterior análisis de los resultados obtenidos se determina que es viable un rediseño o cambio de los tiempos de semáforo en la intersección 5.

Tabla 4-28 Nuevo dimensionamiento de tiempos semafóricos para giro izquierdo

Intersección 5, avenida La Paz con avenida Belgrano											
Fase 1		Fase 2				Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
g ₁	g ₁ /C	g ₂	g ₂ /C	C	NS	D	C	C	D	D	v/c
19	0,43	21	0,48	44	Dem	48,3	31,5	21,5	50,4	40,7	1,01

Fuente: Elaboración propia.

4.5.3.3 Instalación de nuevos semáforos

Se propone la instalación de nuevos semáforos en las intersecciones 3, 9 y 12 porque estas intersecciones cumplen con algún requisito para la instalación de semáforos como se expone en el capítulo III al momento de realizar el dimensionamiento de tiempos semafóricos.

Tabla 4-29 Dimensionamiento de tiempos de ciclo para los nuevos semáforos

Intersección 3, avenida La Paz con calle Ciro Trigo											
Fase 1		Fase 2				Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
g ₁	g ₁ /C	g ₂	g ₂ /C	C	NS	B	A	D	-	B	v/c
23	0,58	11	0,28	40	Dem	14,4	5,8	36,5	-	18	0,81
Intersección 9, avenida La Paz con calle Oruro											
Fase 1		Fase 2				Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
g ₁	g ₁ /C	g ₂	g ₂ /C	C	NS	B	D	B	-	C	v/c
29	0,64	10	0,22	45	Dem	12,7	45,5	11,2	-	28,3	0,69
Intersección 12, avenida La Paz con calle Los Membrillos											
Fase 1		Fase 2				Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
g ₁	g ₁ /C	g ₂	g ₂ /C	C	NS	C	A	B	B	C	v/c
38	0,70	10	0,19	54	Dem	29,5	10,9	14,1	18	21	0,92

Fuente: Elaboración propia.

4.5.4 Readequación de sentidos y carril en el acceso 4 de la intersección 5

Actualmente en la intersección 5 formada por el cruce de la avenida La Paz y avenida Belgrano todos los accesos son de doble vía menos el acceso 4. En este acceso 4, a

diferencia de los otros accesos de la intersección, se tienen 2 carriles operando para evacuar el flujo vehicular.

A través de una micro simulación de SYNCRHO se pretende observar cual sería el funcionamiento de esta intersección si en el acceso 4, uno de los dos carriles se usara para recibir el flujo de los accesos 1, 2 y 3 que vayan en el sentido este a oeste.

Para estimar el volumen vehicular que aportarían el acceso 1, acceso 2 y acceso 3 al nuevo carril en el acceso 4 se usan como referencia los porcentajes de giro a derecha de los accesos análogos de las intersecciones arriba y debajo de la intersección 5. De esta manera se calcula una media entre los porcentajes de giro a derecha para los accesos 1, una media de giros a izquierda para los accesos 2 y para el movimiento de frente desde el acceso 3 de la intersección 5 se suman los porcentajes calculados anteriormente.

$$\% G. Der_{Acceso\ 1-Int\ 5} = \frac{\% G. Der_{Acceso\ 1-Int\ 4} + \% G. Der_{Acceso\ 1-Int\ 6}}{2}$$

$$\% G. Derecha_{Acceso\ 1-Int\ 5} = \frac{6,11 + 27,17}{2} = 16,64\%$$

$$\% G. Izq_{Acceso\ 2-Int\ 5} = \frac{\% G. Izq_{Acceso\ 2-Int\ 4} + \% G. Izq_{Acceso\ 2-Int\ 6}}{2}$$

$$\% G. Izq_{Acceso\ 2-Int\ 5} = \frac{5,09 + 23,81}{2} = 14,45\%$$

$$\% G. Der_{Acceso\ 3-Int\ 5} = \% G. Derecha_{Acceso\ 1-Int\ 5} + \% G. Izq_{Acceso\ 2-Int\ 5}$$

$$\% G. Der_{Acceso\ 3-Int\ 5} = 16,64 + 14,45 = 31,09\%$$

Finalmente se obtienen los siguientes volúmenes vehiculares para los diferentes accesos de la intersección 5.

Tabla 4-30 Distribucion del volumen vehicular de avenida Belgrano doble vía

	Acceso 1			Acceso 2			Acceso 3			Acceso 4		
	382			298			281			534		
	F	I	D	F	I	D	F	I	D	F	I	D
Actual	292	90	0	241	0	57	0	67	214	274	144	116
Simulación	228	90	64	198	43	57	127	67	87	274	144	116

Fuente: Elaboración propia.

Con estos valores se determinan los tiempos de verde y de ciclo de duración finalmente también se optimizan estos valores obteniéndose finalmente los tiempos de semáforo que se detallan en la Tabla 4-31.

Tabla 4-31 Tiempos de semaforo de avenida Belgrano doble vía

C	40s	g/C
g_r	34s	
g₁	19s	0,48
g₂	15s	0,38
Ámbar	2s	
TR	1s	

Fuente: Elaboración propia.

Los niveles de servicio para esta configuración de la intersección son como se detalla en la Tabla 4-32.

Tabla 4-32 Nivel de servicio de avenida Belgrano doble vía con ciclovía

Intersección 5					
Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3	Acceso 4	Global	
F	C	B	F	F	v/c
97,4	31	11,6	129,2	79,4	1,21

Fuente: Elaboración propia.

4.5.4.1 Incidencia de las nuevas ciclovías sobre la avenida Belgrano

Se observa que en caso de readecuar los carriles y sentidos del acceso 4 de la intersección 5, esta solución no es factible ya que para poder evacuar el volumen actual de la avenida Belgrano en sentido Oeste a Este es necesario como mínimo 2 carriles.

Actualmente la colocación de ciclovías en este a la derecha lateral de la avenida le quita ancho a los carriles impidiendo la habilitación de otro carril.

En caso de poder habilitar otro carril la situación mejora no solo en los tiempos de demora por acceso sino también los niveles de servicio como se observa en la Tabla

Tabla 4-33 Nivel de servicio en intersección 5, sin ciclovía

Intersección 5					
Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3	Acceso 4	Global	
D	B	B	C	C	v/c
41,7	17,6	15,4	29,3	27,4	0,91

Fuente: Elaboración propia.

Sin ciclovía y al poder habilitar un carril más para evacuar el volumen vehicular desde el acceso 4 es posible optimizar el dimensionamiento de los tiempos de verde y duración de ciclo del semáforo.

Tabla 4-34 Tiempos de semaforo de avenida Belgrano doble vía sin ciclo via

C	40s	g/C
g_r	34s	
g₁	17	0,43
g₂	17	0,43
Ámbar	2s	
TR	1s	

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Realizado el estudio de tráfico y su posterior análisis se llega a las siguientes conclusiones:

- En las intersecciones semaforizadas se observa que un solo carril no es suficiente para la evacuación óptima del volumen vehicular que por ellas circulan, reflejándose en niveles de servicio deficientes o críticos. Por esta razón es importante evaluar la posibilidad de habilitar más carriles restringiendo los estacionamientos laterales, por ejemplo.

Tabla 5-1 Niveles de servicio en intersecciones semaforizadas

Int.	Niveles de servicio				Global
	Acceso				
	1	2	3	4	
1	D	F	A	-	F
5	E	C	D	B	C
8	F	E	B	-	E
10	C	F	F	F	F
15	E	B	D	C	D

Fuente: Elaboración propia

- La restricción de ingreso de vehículos livianos en un 20% mejora los niveles de servicio en la mayoría de los accesos de las intersecciones en estudio, es decir, que la nueva demanda vehicular es más fácil de evacuar por la oferta de las intersecciones de la avenida La Paz.

Tabla 5-2 Niveles de servicio reducción de ingreso de vehículos livianos

Int.	Niveles de servicio				Global
	Acceso				
	1	2	3	4	
1	C	F	A	-	E
5	C	B	B	A	B
8	C	C	B	-	C
10	B	C	E	C	C
15	C	B	B	B	B

Fuente: Elaboración propia

- Se necesita repintar y/o pintar nuevas señales horizontales cubriendo 625,26 m² de la avenida La Paz. Además, colocar 16 nuevas señales verticales.

Tabla 5-3 Inventario de señalamiento nuevo en la avenida La Paz

Señales Horizontales	
Tipo	Cantidad
Doble línea amarilla continua	41,90 m ²
Líneas transversales	542,54m ²
Flechas	40,82m ²
Señales Verticales	
Tipo	Cantidad
Pare	6
Ceda el paso	3
No estacionar	3
Prohibido girar a la izquierda	2
Bifurcación en T	1
Puente angosto	1

Fuente: Elaboración propia

- Con el cambio del actual dimensionamiento de tiempos de semáforo por los nuevos valores optimizados de tiempos de verde y ciclos de semáforo se obtienen mejores niveles de servicio en los accesos y la intersección o en su defecto se logra mejorar la relación de demanda y oferta (v/c) global de la intersección. Como indica la Tabla 5-4.

Tabla 5-4 Niveles de servicio con nuevo dimensionamiento de tiempos de semáforo

Int. 1	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Actual	g1	g2	C	NS	D	F	B	-	F	v/c
	21	23	50	Dem	39	267,40	10,00	-	167,90	1,50
Nuevo	g1	g2	C	NS	F	F	A	-	F	v/c
	17	42	65	Dem	97,70	129,40	5,10	-	100,00	1,20
Int. 5	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Actual	g1	g2	C	NS	E	B	A	D	D	v/c
	14	18	36	Dem	66,40	16,40	8,60	47,00	38,1,	1,00
Nuevo	g1	g2	C	NS	D	B	B	D	D	v/c
	21	25	50	Dem	52,20	16,40	12,30	50,90	37,10	1,00
Int. 8	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Actual	g1	g2	C	NS	E	F	C	-	F	v/c
	21	17	44	Dem	66,80	157,80	28,80	-	85,10	1,30
Nuevo	g1	g2	C	NS	C	D	E	-	D	v/c
	35	19	60	Dem	27,40	39,30	65,70	-	42,50	1,00
Int. 10	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Actual	g1	g2	C	NS	B	D	F	D	E	v/c
	18	14	36	Dem	18,60	40,90	108,50	51,10	56,50	1,20
Nuevo	g1	g2	C	NS	C	E	E	C	D	v/c
	18	18	40	Dem	28,10	77,90	61,40	30,20	51,00	1,10
Int. 15	Fase 1	Fase 2			Acc. 1	Acc. 2	Acc. 3	Acc. 4	Global	
Actual	g1	g2	C	NS	B	B	F	E	E	v/c
	14	18	36	Dem	20,00	15,40	84,90	65,80	57,00	1,10
Nuevo	g1	g2	C	NS	D	C	C	C	C	v/c
	19	22	45	Dem	38,10	28,20	26,60	21,80	27,10	0,90

Fuente: Elaboración propia

- Es viable la colocación de nuevos semáforos en los cruces de la avenida La Paz con las calles Ciro Trigo, Oruro y Los Membrillos, lo que es, la intersección 3, intersección 9 y la intersección 12 respectivamente. Los tiempos de verde y ciclos de duración total de los semáforos se desarrolla en Tabla 5-5.

Tabla 5-5 Tiempos de verde y ciclos de nuevos semáforos

Intersección 3, avenida La Paz con calle Ciro Trigo				
Fase 1		Fase 2		C
g₁	g₁/C	g₂	g₂/C	
23	0,58	11	0,28	40
Intersección 9, avenida La Paz con calle Oruro				
Fase 1		Fase 2		C
g₁	g₁/C	g₂	g₂/C	
29	0,64	10	0,22	45
Intersección 12, avenida La Paz con calle Los Membrillos				
Fase 1		Fase 2		C
g₁	g₁/C	g₂	g₂/C	
38	0,7	10	0,19	54

Fuente: Elaboración propia

5.2 Recomendaciones

A tenor de los resultados y conclusiones del presente documento, se recomienda:

- A las autoridades competentes evaluar la posibilidad de restringir el ingreso de vehículos livianos en un 20% para mejorar las condiciones actuales del tránsito en la avenida La Paz.
- Realizar un mejoramiento de las señalizaciones tanto horizontales como verticales a lo largo de la avenida La Paz para instruir a los usuarios sobre sus derechos y obligaciones en las intersecciones y para prever accidentes.
- A las autoridades correspondientes del municipio evaluar cambiar los tiempos de verde y ciclos de duración de los semáforos por los valores optimizados en el presente proyecto para que de esta manera los semáforos brinden un mejor servicio al momento de ordenar el tránsito en la avenida La Paz.

- Tener en cuenta la programación de tiempos de verde para proteger la maniobra de giro hacia la izquierda en los accesos 1 y 4 de la intersección 5, es decir, en los semáforos colocados en el cruce de la avenida La Paz y avenida Belgrano.
- La instalación de nuevos semáforos en las intersecciones 3, 9 y 12 de la avenida La Paz, vale decir, en las calles Ciro Trigo, Oruro y Los Membrillos respectivamente.
- A la policía de tránsito realizar controles periódicos en aquellas zonas donde el estacionamiento no está permitido u otras indicaciones ya que los conductores no respetan las mismas.