

CAPÍTULO I: DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

1.1. INTRODUCCIÓN

Un sistema de calles y vialidades cuentan con intersecciones; en aquellos puntos donde se unen los elementos, las cuales funcionan como un conjunto de interrelaciones muy complejas. Las características de operación de este sistema son funcionalmente dependientes del número y tipo de usuarios que requieren el servicio, esto es particularmente cierto cuando los volúmenes de tránsito se incrementan o cambian su naturaleza, es común que la intersección sea incapaz de servir a la demanda.

Uno de los sitios que tanto en calles como es carreteras que más conflictos presentan son las intersecciones, es decir, el lugar donde dos o más vías se cruzan.

Debido a estos problemas existen dispositivos para el control y seguridad de los vehículos, llamados semáforos.

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

La capacidad en una intersección con semáforo se define para cada acceso, como la tasa de flujo máxima que puede pasar a través de una intersección bajo condiciones prevalecientes del tránsito, de la calle y del semáforo.

Mediante el análisis operacional se determina la capacidad y el nivel de servicio de cada grupo de carriles o acceso, lo mismo que el nivel de servicio de la intersección como un todo o globalmente.

En una intersección, el flujo total de vehículos que llega a cada uno de sus accesos debe ser dividido en diferentes fases de movimiento, en cada una de las cuales se efectúa un desplazamiento específico de vehículos. Ciertos movimientos reciben el derecho al uso del espacio por medio de una señal verde o de siga, mientras que otros son detenidos con una señal de rojo o de alto.

La distribución de los tiempos de cada fase debe estar en relación directa con los volúmenes de tránsito de los movimientos correspondientes. En otras palabras, la duración de cada fase y del ciclo dependerán de la demanda.

1.2. DETERMINACIÓN DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1. Determinación de la línea de estudio

La línea de investigación inicialmente parte del congestionamiento que se presenta en el centro de la ciudad sobre todo en horas pico. Llegando al siguiente paso que será una evaluación de las intersecciones semaforizadas en el centro de la ciudad, que consistirá en obtención de volúmenes de tráfico, tiempos de ciclo, distancias y velocidades. De manera que la evaluación permita identificar que intersecciones son críticas.

Y por último considerar el rediseño de la funcionalidad adecuada en la semaforización de dichas intersecciones críticas, el cual consiste en la obtención de nuevos tiempos de ciclo.

1.2.2. Breve descripción de causales identificados

Los causales más relevantes fueron si:

El incremento del parque automotor, de manera descontrolada.

Los problemas de congestión son actualmente un problema en el centro de la ciudad.

Para las condiciones actuales se requieren una evaluación para que la funcionalidad sea adecuada en la semaforización considerando el rediseño de tiempos de ciclo para conseguir una eficiencia operativa y un flujo vehicular más eficiente.

1.2.3. Identificación del objeto de estudio

El objeto de estudio es la funcionalidad de las intersecciones semaforizadas del área central de la ciudad de Tarija.

1.2.4. Determinación de la perspectiva de solución

La perspectiva de solución es realizar una evaluación de las intersecciones semaforizadas, para una funcionalidad adecuada en la semaforización, rediseñando tiempos de ciclo, de esta manera el flujo vehicular será más continuo.

1.3. SITUACIÓN PROBLÉMICA

El crecimiento de la mancha urbana se efectuó de manera espontánea y poca planificada. El resultado de esto fue la construcción de una ciudad extensa, que creció muy rápidamente.

Las consecuencias de este modelo extensivo de ciudad hacen que sea una ciudad poco densa, y por lo tanto poco sostenible, ya que las distancias de desplazamiento son mayores. Este tipo de ciudad incita al uso del automóvil porque los desplazamientos a

pie son difíciles por las largas distancias y que el transporte público de gran capacidad no es muy rentable.

Debido al crecimiento poblacional y la cantidad de automóviles por habitante descontrolado, la ciudad de Tarija, especialmente la zona central se encuentra en una situación crítica en cuestión de congestión vehicular principalmente en las horas pico por los turnos de la mañana, mediodía y noche.

El lapso de tiempo de estas horas picos se incrementará cada vez más debido a la acumulación excesiva de automóviles dentro de un carril sobre las calles principales de la ciudad.

Ante esta situación es que se busca mejorar la fluidez vehicular en la zona central de la ciudad, considerando el rediseño de nuevos tiempos de ciclo para que pueda haber una funcionalidad adecuada en la semaforización.

1.4. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles serían los tiempos de ciclo modificados mediante una evaluación de intersecciones semaforizadas para una funcionalidad adecuada en intersecciones críticas del área central de la ciudad de Tarija?

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Evaluar las intersecciones semaforizadas para una funcionalidad adecuada en la semaforización de intersecciones críticas del área central de la ciudad de Tarija, considerando el rediseño de los tiempos de ciclo, reduciendo el congestiónamiento haciendo más fluido y eficiente el tránsito.

1.5.2. Objetivos específicos

- Obtener información del área de estudio y del ciclo actual.
- Determinar volúmenes de tráfico actuales y puntos críticos en los cuales existe congestión.
- Realizar una evaluación de las intersecciones semaforizadas a través de un análisis operacional.
- Definir nuevos tiempos de ciclo en las intersecciones críticas identificadas del área de estudio.
- Plantear el rediseño de tiempos de ciclo en intersecciones que así lo requieran, y no solo en intersecciones críticas.

1.6. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

1.6.1. Hipótesis

Para disminuir el congestionamiento vehicular en la zona central de la ciudad de Tarija, las intersecciones semaforizadas deben ser evaluadas, para una funcionalidad adecuada del sistema de semaforización de intersecciones críticas, considerando el rediseño donde se establecerán nuevos tiempos de ciclo.

1.6.2. Identificación de variables

- **Variable independiente:**
Es la evaluación del sistema de semaforización.
- **Variable dependiente:**
Son las intersecciones semaforizadas críticas.

1.6.3. Conceptualización y operacionalidad de las variables

Tabla 1.1 Conceptualización y operacionalidad de la variable independiente

Variable independiente				
Variable nominal	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor
Evaluación del sistema de semaforización	Se refiere a una valoración de la funcionalidad adecuada en la semaforización, considerando readecuar el sistema de semaforización con las nuevas exigencias del tráfico vehicular ya que los tiempos no satisfacen a la demanda actual.	Recolección de información	Vehículos por hora	Aforos vehiculares
		Definir flujo principal y secundario		Sentido de las calles
		Establecer los tiempos actuales de los semáforos	Segundos	Uso de cronómetro
		Medir tiempos	Segundos	Uso de cronómetro
		Medir distancias	Metros	Huinchas métricas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.2 Conceptualización y operacionalidad de la variable dependiente

Fuente: Elaboración propia

Variable dependiente				
Variable nominal	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor
Intersecciones semaforizadas críticas	Se refiere al área donde dos o más vías terrestres se unen o cruzan, en la cual hay dificultades causando la detención de vehículos por algunos minutos, que obstaculizan la fluidez convirtiéndola en un tráfico forzado y discontinuo.	Determinación del área de influencia	Número de intersecciones	Visualizar los puntos de estudio
		Estudio de tráfico	Vehículos por hora Segundos Metros	Realización de aforos, medición de tiempos y distancias
		Número de intersecciones críticas	Vehículos por hora	Determinación de intensidades de saturación, capacidades, carriles críticos, intersecciones críticas.
		Determinar horas pico	Vehículos por hora	Aforo vehicular durante 13 horas seguidas.

DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.7. IDENTIFICACION DEL TIPO DE DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de diseño es investigación correlacional

1.8. UNIDAD DE ESTUDIO Y DECISION MUESTRAL POR VARIABLE

1.8.1. Unidad de estudio

Consideramos como unidad de estudio las calles del área central de la ciudad.

1.8.2. Población

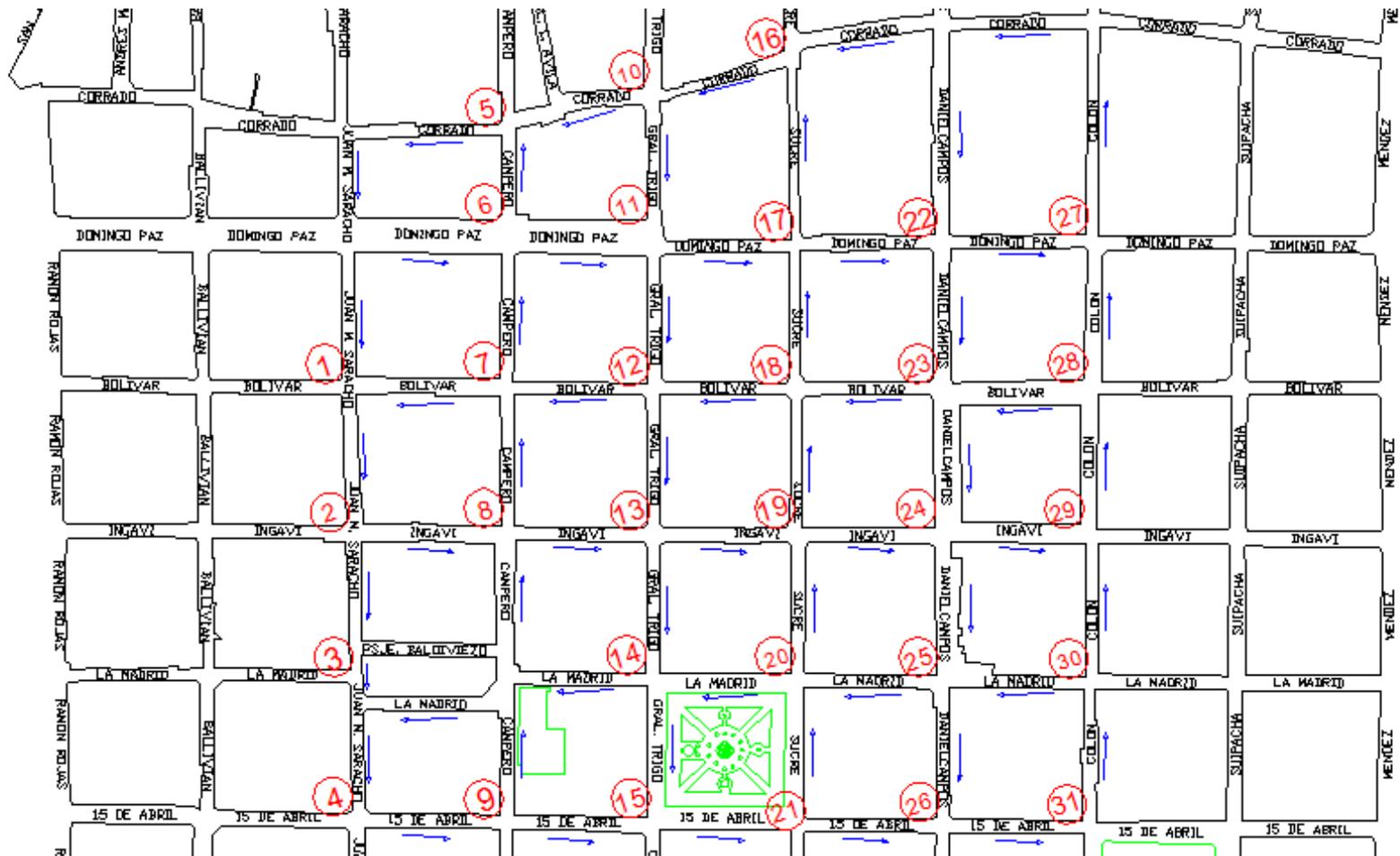
La funcionalidad adecuada en la semaforización requiere de una evaluación, por lo cual nuestra población serán las intersecciones semaforizadas.

Se tiene como población las intersecciones:

- Intersección 1 Juan M. Saracho-Bolívar
- Intersección 2 Juan M. Saracho-Ingavi
- Intersección 3 Juan M. Saracho-Madrid
- Intersección 4 Juan M. Saracho-15 de Abril
- Intersección 5 Campero-Corrado
- Intersección 6 Campero- Domingo Paz
- Intersección 7 Campero- Bolívar
- Intersección 8 Campero- Ingavi
- Intersección 9 Campero- 15 de Abril
- Intersección 10 General Trigo-Corrado
- Intersección 11 General Trigo- Domingo Paz
- Intersección 12 General Trigo- Bolívar
- Intersección 13 General Trigo-Ingavi

- Intersección 14 General Trigo- Madrid
- Intersección 15 General Trigo- 15 de Abril
- Intersección 16 Sucre-Corrado
- Intersección 17 Sucre- Domingo Paz
- Intersección 18 Sucre- Bolívar
- Intersección 19 Sucre- Ingavi
- Intersección 20 Sucre- Madrid
- Intersección 21 Sucre- 15 de Abril
- Intersección 22 Daniel Campos- Domingo Paz
- Intersección 23 Daniel Campos- Bolívar
- Intersección 24 Daniel Campos- Ingavi
- Intersección 25 Daniel Campos-Madrid
- Intersección 26 Daniel Campos- 15 de Abril
- Intersección 27 Colón- Domingo Paz
- Intersección 28 Colón- Bolívar
- Intersección 29 Colón- Ingavi
- Intersección 30 Colón- Madrid
- Intersección 31 Colón- 15 de Abril

Figura 1.1 Ubicación de intersecciones semaforizadas



Fuente: Elaboración propia

1.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

1.9.1. Nivel de confianza

Tabla 1.3. Tabla de apoyo al cálculo del tamaño de una muestra por niveles de confianza

Certez a	95%	94%	93%	92%	91%	90 %	80 %	62,27 %	50%
Z	1,96	1,88	1,81	1,75	1,69	1,65	1,28	1,00	0,674 5
Z ²	3,84	3,53	3,28	3,06	2,86	2,72	1,64	1,00	0,45
e	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,20	0,37	0,50
e ²	0,002 5	0,003 6	0,004 9	0,006 4	0,008 1	0,01	0,04	0,1369	0,25

Fuente: Rodríguez Solís Salvador. "Como determinar el tamaño de una muestra aplicada a la investigación". 21 de mayo de 2008.

www.monografias.com/trabajos60/tamano-muestra-archivistica/tamano-muestra-archivistica2.shtml

1.9.2. Tamaño y muestra

Para obtener el tamaño de la muestra se debe definir cuál será el error estándar para obtener a partir de allí la varianza, posteriormente aplicar los siguientes dos pasos para determinar el tamaño de la muestra:

$$n' = \frac{s^2}{\sigma^2} \qquad n = \frac{n'}{1 + \frac{n}{N}}$$

n = Tamaño de la población

se = Error estándar

σ^2 = Varianza poblacional

s^2 = Varianza de la muestra, la cual podrá determinarse en términos de probabilidad

n' = Tamaño de la muestra sin ajustar

n = Tamaño de la muestra

Para 95% de confiabilidad con un error estándar menor de 0,05.

$se = 0,05$

$$\sigma^2 = se^2$$

$$s^2 = p^* (1-p)$$

$$\sigma^2 = (0,05)^2$$

$$s^2 = 0,95*(1-0,95)$$

$$\sigma^2 = 0,0025$$

$$s^2 = 0,0475$$

$$n' = \frac{s^2}{\sigma^2} = \frac{0,0475}{0,0025} = 19$$

$$n = \frac{n'}{1 + \frac{n'}{N}} = \frac{19}{1 + \frac{19}{31}} = 12$$

De las 31 intersecciones semaforizadas, se necesitará una muestra representativa de al menos 12 intersecciones semaforizadas críticas, las cuales se va a realizar el rediseño de nuevos tiempos de ciclo.

1.9.3. Selección de las técnicas de muestreo

Muestreo aleatorio simple: cada elemento de la población tiene la misma probabilidad de ser seleccionado para integrar la muestra. Una muestra simple aleatoria es aquella en que sus elementos son seleccionados mediante el muestreo aleatorio simple.

1.9.4. Justificación de factibilidad recursos insumos y medios utilizados

El material utilizado para el relevamiento de datos es de fácil obtención, se puede decir que es factible el desarrollo de la investigación.

Medios

Los procedimientos o técnicas usadas para la recopilación de los datos serán los aforos manuales, la medición de distancias, tiempos y determinación de tiempos de ciclo actuales. Que nos muestren el comportamiento de la circulación vehicular según el problema de análisis.

Los aforos se tomarán para registrar el número de vehículos que pasan por un punto o entran a la intersección. Dichos aforos son muestras de volúmenes actuales. Estos datos serán anotados en planillas.

La medición de tiempos de ciclo, tiempos para determinar velocidades será con ayuda de un cronómetro. La medición de distancias se realizará con una huincha métrica. Es la etapa que requiere más tiempo, recursos humanos y logísticos para una información suficiente y veraz.

Los datos obtenidos de los aforos manuales realizados se procesarán luego para exponerlos en forma clara y fácilmente asimilable. El objetivo será evaluar las intersecciones semaforizadas del área central de la ciudad de Tarija, para una funcionalidad adecuada en la semaforización de intersecciones críticas, considerando el rediseño de los tiempos de ciclo, a partir de un análisis de toda la información contenida en nuestro inventario de recolección de datos.

Para la realización de nuestro estudio se utilizará:

- Programa Word para el desarrollo de toda la teoría del diseño y presentación final.
- Programa Excel para las planillas de cálculos.

1.10. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS LÓGICOS

1.10.1. Listado de actividades a realizar

La metodología establecida para el desarrollo de este trabajo se dividió en seis etapas, que son:

- **Recolección de información:**

Investigación bibliográfica para el conocimiento de conceptos generales que faciliten el entendimiento de las variables a medir directamente o estimar mediante cálculos.

Investigación sobre metodologías de análisis de intersecciones semaforizadas, a partir de la cual se estableció el procedimiento para el desarrollo de este trabajo.

Fundamentalmente se parte de la metodología del manual de capacidad norteamericano (HCM 2010), cuyas investigaciones constantemente están siendo actualizadas.

También se utilizó el libro ingeniería de tránsito fundamentos y aplicaciones de Cal y Mayor, James Cárdenas, este para realizar el rediseño de tiempos de ciclo y fases para los semáforos. Y varios libros, manuales, que fueron de aporte a esta investigación.
- **Trabajo de campo:**

Para el desarrollo de este trabajo, se seleccionaron 31 intersecciones a las cuales se les realizaría un análisis operacional para determinar intensidades de saturación, capacidades de las intersecciones, relación I/C, y carriles críticos.

Para obtener más información se procederá a realizar un relevamiento de todos los aspectos importantes y sobresalientes de la zona en estudio.

La recopilación de información de campo se refiere a la determinación de horas pico, determinación de las condiciones de los semáforos, relevamiento de volúmenes de tráfico, determinación de tiempos, determinación de velocidades en cada tramo y determinación de anchos de carriles.

Para la obtención de datos se necesitarán:

- Planillas

Figura 1.2 Planillas para el aforo de vehículos

Hora	Calle Gral. Trigo		Calle Bolívar	
	Frente	G. Derecho	Frente	G. Izquierdo
8:00-8:15				
11:30-11:45				
18:00-18:15				

Hora	Calle Campero		Calle Bolívar	
	Frente	G. Izquierdo	Frente	G. Derecho
8:15-8:30				
11:45-12:00				
18:15-18:30				

Hora	Calle Campero		Calle Ingavi	
	Frente	G. Derecho	Frente	G. Izquierdo
8:30-8:45				
12:00-12:15				
18:30-18:45				

Hora	Calle Gral. Trigo		Calle Ingavi	
	Frente	G. Izquierdo	Frente	G. Derecho
8:45-9:00				
12:15-12:30				
18:45-19:00				

Fuente: Elaboración propia

- Cronómetro



- Huincha métrica



- Procesamiento de datos:

Finalizadas las tareas de recolección de datos se procederá a realizar un ordenamiento de los datos obtenidos en campo.

A partir de estos valores se realizará el procesamiento de toda esta información para considerar el rediseño de las fases de los semáforos. Se procederá a determinar resultados obtenidos por aforos y por las mediciones que se realizaran en el lugar.

- Análisis de resultados:

Una vez terminado el procesamiento de datos se analiza e interpreta los resultados obtenidos para llegar a si o determinar los parámetros más sobresalientes para la realización del estudio.

- Elaboración del documento preliminar:

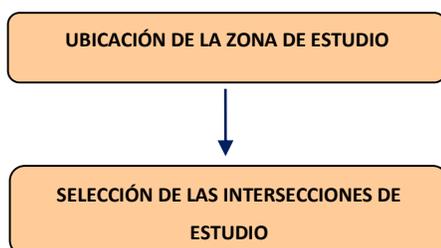
La elaboración del documento preliminar se inició una vez se obtuvieron los primeros levantamientos, incorporando los resultados en la medida que avanzaban los trabajos. Por lo tanto, estuvo sujeto a constantes cambios y revisiones.

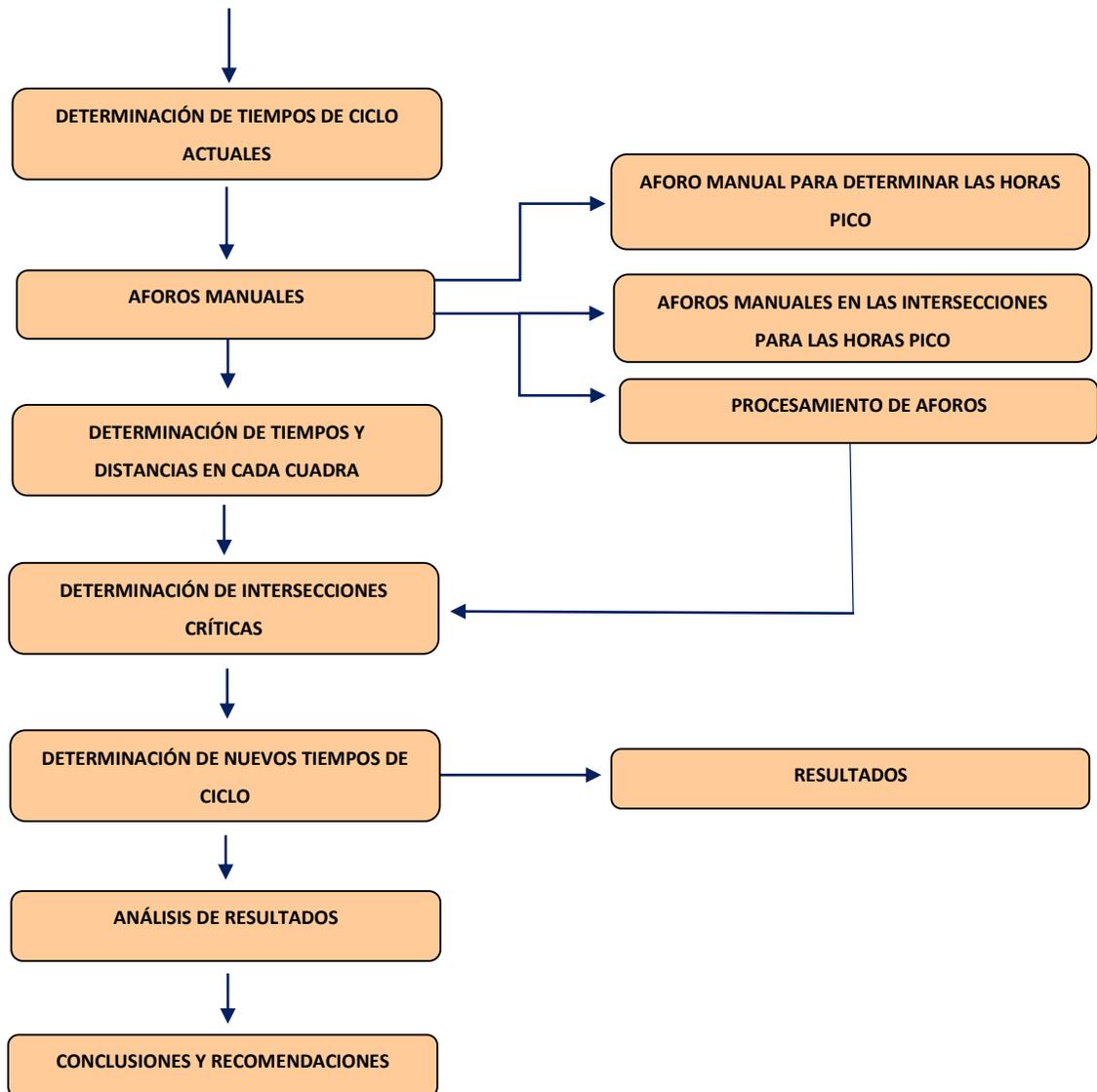
- Elaboración y revisión documento final:

Finalmente, y en base a los resultados obtenidos se hicieron las conclusiones del estudio y las recomendaciones que consideramos conveniente implementar, tanto en las intersecciones estudiadas, así como en otras que estaban relacionadas con nuestro trabajo, terminando así el documento que nuevamente fue sometido a revisión hasta obtener su versión definitiva.

1.10.2. Esquema de actividades en función a procedimiento definido por la perspectiva

Figura 1.3 Esquema de actividades





Fuente: Elaboración propia

1.10.3. Productos esperados en correspondencia con el procedimiento de la perspectiva

Evaluar las intersecciones semaforizadas considerando a fin de utilizar en el rediseño de la semaforización de intersecciones críticas del área central de la ciudad de Tarija.

1.10.4. Resultados esperados

Mediante la evaluación de las intersecciones semaforizadas determinar cuáles de estas son críticas y de esta manera realizar el rediseño de nuevos tiempos de ciclo para dichas intersecciones críticas.

1.11. TRATAMIENTO ESTADISTICO

1.11.1. Estadística descriptiva

La aplicación del tratamiento estadístico será para la organización y análisis inicial de los datos recogidos.

La realización de gráficas (visualización de los datos en diagramas), proporcionará una manera visual directa de organizar la información.

Las medidas características de una distribución serán capaces de resumir toda la información recogida a un pequeño número de valores.

Las medidas que utilizaremos en esta investigación será la:

- Media aritmética:
Que nos indicará el valor promedio de los datos.

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

Donde:

\bar{x} = Media aritmética

x = Valor de observación

N = Número de datos

- Desviación estándar:

Es la medida más usada para estimar la dispersión de datos, especialmente aconsejable cuando se usa la media aritmética como medida de tendencia central.

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

Donde:

s = Desviación estándar

x_i = Valor de observación

\bar{x} = Media aritmética

N = Número de datos

CAPÍTULO II: ASPECTOS GENERALES DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO RELACIONADOS CON LA SEMAFORIZACIÓN

2.1. INTRODUCCIÓN

La aparición del transporte se remonta de los orígenes mismos del hombre, cuando para desplazarse de un lugar a otro formo veredas, al domesticar a los animales de carga amplio las veredas a brechas, con el paso del tiempo aparece la rueda y con esta las carretas y las brechas ceden su lugar a caminos rudimentarios.

Desde estas épocas comienzan a manifestarse los efectos del tránsito como producto de la interacción del camino mismo, los usuarios y vehículo.

De ahí que nace la Ingeniería de Tráfico siendo una rama de la Ingeniería que se ocupa de estudiar analizar y buscar soluciones para que la interrelación entre usuarios peatones y conductores, vehículos públicos y privados, vías carreteras y calles puedan permitir una circulación adecuada y que de seguridad a los usuarios. Esta rama de la Ingeniería tiene como principales objetivos el planeamiento, el trazado y la explotación de las redes viarias, de forma que la circulación de personas y vehículos sea:

- Segura.
- Rápida.
- Eficaz.

Esta rama de la ingeniería se ocupa de estudiar las características las características de los tres elementos fundamentales del tráfico: el usuario (conductor y peatón), el vehículo y la vía, así como la relación entre esos elementos. Como instrumentos básicos para adquirir la información necesaria, esta ciencia ha desarrollado métodos sistemáticos de captación de la misma que se denominan estudios de tráfico. Gracias a estos estudios se pueden conocer datos tan importantes como el número de vehículos que circulan por una vía en un tiempo determinado, sus velocidades, sus acciones mutuas, los lugares donde sus conductores desean estacionarlos, los sitios donde se concentran los accidentes de tráfico, etc.

2.2. ELEMENTOS FUNDAMENTALES DEL TRÁFICO

Los tres elementos fundamentales que componen el tráfico son: el usuario (relacionado

con conductores y peatones), el vehículo y la vía (relacionado con calles y carreteras).

El conductor es el elemento más importante de la circulación viaria. El movimiento de los vehículos en la carretera depende fundamentalmente de ellos, y la calidad de circulación es el resultado de su mayor o menor habilidad para adaptar el movimiento de sus vehículos a las características de la carretera y de la circulación. La forma de conducir depende de innumerables variables que incluyen sus condiciones físicas y psíquicas, sus conocimientos, su estado de ánimo en un momento preciso, etc.

Se puede suponer como peatón potencial a la población en general, desde personas de un año hasta de cien años, prácticamente todos somos peatones.

El elemento vehículo es el elemento que más ha evolucionado desde su aparición y ha ido cambiando al pasar el tiempo, adquiriendo mayores velocidades, mayor potencia, mayor maniobrabilidad, etc.

Para que la circulación sea segura, económica y cómoda para conductores y pasajeros, al proyectar las carreteras es necesario tener en cuenta las características de los vehículos. Estas características pueden ser muy diferentes de unos vehículos a otros, ya que actualmente circulan tipos muy variados. La forma de clasificar la variedad de vehículos que circulan por la vía de estudio se basa en el agrupamiento de vehículos que tienen comportamiento similar en las vías públicas, y se detalla a continuación:

- **Vehículos livianos:**

Son vehículos destinados al transporte de no más de ocho personas por lo común. Este tipo de vehículo comprende los automóviles o coches (públicos y particulares), jeeps,

vagonetas y camionetas pequeñas; vehículos generalmente de 4 ruedas. No se ha tomado en cuenta bicicletas ni motocicletas, puesto que no contribuyen significativamente en el tráfico total de la vía.

- **Vehículos medianos:**

Son vehículos destinados al transporte de más de ocho personas o para transportar carga. En este tipo se incluye los microbuses, camionetas grandes de transporte de mercancías y camiones simples pequeños; vehículos generalmente de 6 ruedas.

- **Vehículos pesados:**

Se refiere a vehículos destinados al transporte de una importante cantidad personas o para el transporte de grandes cargas, es decir, son vehículos de gran envergadura. Este tipo de vehículo incluye los autobuses (flotas), camiones simples y camiones combinados; vehículos generalmente de 6, 10 y 14 ruedas.

El tercer elemento fundamental de la circulación es la propia vía o camino por donde se mueven los vehículos. Se entiende por camino, aquella faja de terreno acondicionada para la circulación de vehículos. La denominación de camino incluye a nivel rural las llamadas carreteras, y a nivel urbano las calles de la ciudad.

2.3. PARÁMETROS BÁSICOS DEL TRÁFICO

El comportamiento del tráfico se estudia por medio de unas variables que recogen los aspectos más importantes del mismo. Entre las del tipo macroscópico las empleadas con más frecuencia son el volumen de tráfico, la velocidad media de los vehículos y la densidad de tráfico; estas son llamadas también variables fundamentales del tráfico.

Entre las variables de tipo microscópico de mayor empleo se encuentran el intervalo de tiempo entre vehículos y el espaciamiento entre vehículos, que describen magnitudes que relacionan cada vehículo con el que sigue; estas son llamadas también variables asociadas.

Por consiguiente, para el estudio del comportamiento del tráfico, hay que conocer estas variables, sus características y las relaciones que existen entre ellas.

2.3.1. Volumen de tráfico

El volumen de tráfico se puede definir como el número de vehículos que pasan por un punto de sección transversal dado, de un carril o de una calzada, durante un período determinado de tiempo. Se formula de la siguiente forma:

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

Donde:

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

N = Número total de vehículos que pasan (vehículos)

T = Periodo determinado (unidad de tiempo)

2.3.2. Volúmenes de tráfico absolutos o totales

Es el número total de vehículos que pasan durante el lapso de tiempo determinado. Dependiendo de la duración del lapso de tiempo determinado para el conteo de vehículos, se tienen los siguientes volúmenes de tráfico absolutos o totales:

2.3.2.1. Tráfico Anual (TA):

Es el número total de vehículos que circulan durante un año. En este caso, $T = 1$ año.

2.3.2.2. Tráfico Mensual (TM):

Es el número total de vehículos que circulan durante un mes. En este caso, $T = 1$ mes.

2.3.2.3. Tráfico Semanal (TS):

Es el número total de vehículos que circulan durante una semana. En este caso, $T = 1$ semana.

2.3.2.4. Tráfico Diario (TD):

Es el número total de vehículos que circulan durante un día. En este caso, $T = 1$ día.

2.3.2.5. Tráfico Horario (TH):

Es el número total de vehículos que circulan durante una hora. En este caso, $T = 1$ hora.

2.3.2.6. Tasa de Flujo o Flujo (q):

Es el número total de vehículos que circulan durante un período inferior a una hora. En este caso, $T < 1$ hora.

2.3.3. Variaciones de los volúmenes de tráfico

El tránsito que circula por una infraestructura vial no es uniforme a través del tiempo ni con respecto al espacio, ya que hay variaciones de un mes a otro, variaciones diarias, variaciones horarias, variaciones en intervalos de tiempo menor a la hora y variaciones en la distribución del tránsito en los carriles. Estas variaciones son el reflejo de las actividades sociales y económicas de la zona de estudio.

Es de suma importancia considerar estas fluctuaciones en la demanda del tránsito si se desea que las infraestructuras viales sean capaces de dar cabida a las demandas vehiculares máximas.

Cuando no se puede modificar la estructura de la vía (su geometría) es necesario recurrir a otro tipo de soluciones como ser el mejoramiento del sistema de los semáforos con la realización de los aforos respectivos para determinar qué factores se van a considerar en el estudio.

2.3.4. Aforo de volúmenes de tráfico

Uno de los primeros pasos en cualquier estudio de tráfico es la evaluación de los movimientos que se producen, para lo que es preciso medir el número de vehículos que pasan por cada carril en un determinado periodo de tiempo.

Los objetivos que se pretenden generalmente mediante los aforos, todos ellos encaminados a conocer aspectos importantes de la demanda de tráfico, como son su volumen y composición, se sintetizan en los siguientes:

- Justificación económica de las inversiones en las que el tráfico puede intervenir como variable.
- Determinación de las características físicas de las vías, especialmente en los cruces, de acuerdo con las necesidades del tráfico.
- Establecimiento de la señalización fija o automática.
- Asignaciones de tráfico a nuevas vías.
- Elementos de investigación

En cuanto a duración, los aforos denominados breves se refieren por lo general a períodos de 15, 30 ó 60 minutos; sobre 60 minutos de duración constituyen aforos extensos.

2.3.4.1. Aforos manuales

Se consideran aforos manuales aquellos que se realizan utilizando personal humano

para la contabilización de los vehículos; de manera que se establezcan puntos de aforo y en dichos puntos se coloque personal necesario en uno o varios turnos, dependiendo de las horas de aforo, para establecer el conteo correspondiente.

Algunos aforos pueden durar hasta 24 horas. El equipo usado es variado; desde hojas de papel marcando cada vehículo hasta contadores electrónicos con teclados. Ambos métodos son manuales.

Figura 2.1 Método manual de aforo vehicular



Fuente: Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones, Rafael Cal y Mayor Reyes Espíndola James Cárdenas Grisales, México D.F., 1994.

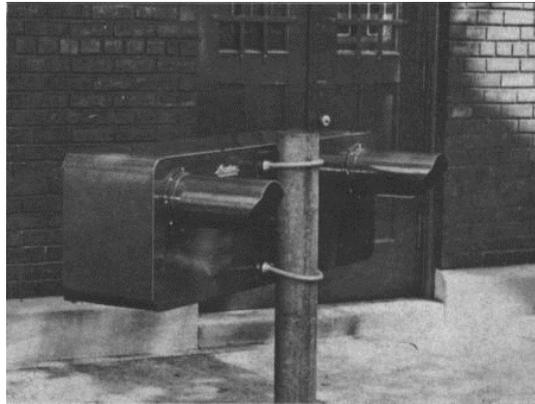
La ventaja de los aforos manuales es que estos se pueden realizar con objetivos irrestrictos, es decir, cualesquiera sean estos objetivos, se diseñarán planillas de aforo correspondientes para proceder al conteo por los aforadores manuales. La desventaja de estos aforos es el costo, ya que se requiere de mucho personal en proporción a la complejidad de los objetivos del estudio y la duración de los conteos.

La exactitud y confiabilidad de los aforos depende del tipo y cantidad del personal, instrucciones, supervisión y la cantidad de información a ser obtenida de cada persona.

2.3.4.2. Contadores mecánicos

Contadores permanentes son usados para aforar el tránsito continuamente. Es usado a menudo para estudios de tendencias. Pueden ser actuados por células foto eléctricas, detectores magnéticos y detectores de lazo.

Figura 2.2 Detector Fotoeléctrico



Fuente: Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones,
Rafael Cal y Mayor Reyes Espíndola James Cárdenas
Grisales, México D.F., 1994.

2.3.4.3. Contadores portátiles

Toman nota de los volúmenes aforados cada hora y 15 minutos, dependiendo del modelo. Pueden ser de tubos neumáticos u otro tipo de detector portátil. Entre sus ventajas se cuentan: una sola persona puede mantener varios contadores y, además, proveen aforos permanentes de todas las variaciones del tránsito durante el periodo de aforo.

Entre sus desventajas se cuentan: no permiten clasificar los volúmenes por tipo de vehículo y movimientos de giro y muchas veces se necesitan aforos manuales ya que muchos contadores (en particular los de tubo neumático) cuentan más de un vehículo cuando son accionados por vehículos de más de un eje o por vehículos que viajen a velocidades bajas.

Figura 2.3 Tubo neumático atravesado en el camino



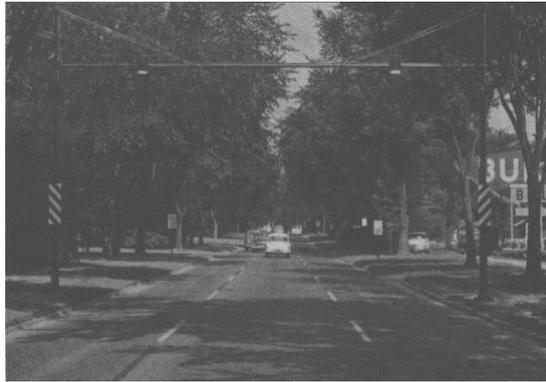
Fuente: Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones,
Rafael Cal y Mayor Reyes Espíndola James Cárdenas
Grisales, México D.F., 1994.

2.3.4.4. Radar

Un fenómeno natural que ocasiona que una señal de radio al ser reflejada por un objeto en movimiento cambie su frecuencia con relación a la señal de radio incidente, es lo que hace posible la detección de vehículos por medio del radar. Este fenómeno es conocido como el “efecto Doppler”. El equipo electrónico que utiliza el radar compara continuamente la frecuencia de la señal transmitida, con la frecuencia de la señal recibida.

Los dispositivos de radar no están sujetos a deterioro por la acción del tránsito. Los datos obtenidos son precisos y dignos de confianza, sin embargo, su costo inicial es mal alto que muchos otros dispositivos para aforo.

Figura 2.4 Detector de radar



Fuente: Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones,
Rafael Cal y Mayor Reyes Espíndola James Cárdenas
Grisales, México D.F., 1994.

Aforos en intersecciones

Los conteos de intersecciones se utilizan para determinar clasificaciones de vehículos (movimientos y giros en las intersecciones). Estos datos se utilizan principalmente en la determinación de las longitudes de las señales horizontales y las duraciones de ciclos para las señalizaciones en las intersecciones, en el diseño para la canalización de las intersecciones, y en el diseño general de las mejoras en las intersecciones.

Programación de los aforos

El número de horas de aforo varía con el método usado y el propósito. Los contadores mecánicos pueden estar contando las 24 horas del día. Es conveniente que los aforos manuales en intersecciones se lleven a cabo por un mínimo de 12 horas, incluyendo en este espacio de tiempo las horas de mayor demanda. Por lo general, para la mayoría de los propósitos de Ingeniería de Tránsito, los aforos deben ser efectuados durante días representativos de un día de la semana típico (martes, miércoles y jueves) a menos que el objetivo requiera fines de semana.

Se establece que para estudios cortos debe ser de 3 horas del día generalmente horas

pico, horas críticas y durante 3 meses si se quiere acortar la duración de los registros a un mes se tendrá que aumentar las horas y días de aforo. Por lo general aforos realizados con incrementos de tiempo de 15 minutos son suficientes.

También, en algunos casos es necesario aforar vehículos únicamente durante periodos cortos de una hora o menos, otras veces el periodo puede ser de un día, una semana o un mes e inclusive un año. El tipo de datos recolectados en un estudio de volúmenes de tránsito depende mucho de la aplicación que se le vaya a dar a los mismos. Así por ejemplo algunos estudios requieren detalles como la composición vehicular y los movimientos direccionales, mientras que otros solo exigen conocer volúmenes totales.

El manual de dispositivos de control de tránsito recomienda que, para el diseño de semáforos, diseño de fases, debe basarse en las horas de máxima demanda por medio de los días hábiles (lunes a viernes) durante una semana.

Para este proyecto se contó con 2 personas que aforaron durante 15 min, tres veces al día, durante 7 días. Mediante un conteo manual en el lapso de 8 semanas y 2 días. Teniendo un número de 21 datos para cada una de las 31 intersecciones en estudio.

2.3.5. Depuración de datos de volúmenes de tráfico

En toda muestra estadística que se realice se debe calcular la dispersión de datos es decir entre que valores máximos y mínimos puede estar comprendido el valor obtenido en los aforos de cada punto y tramo.

Media aritmética

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

Donde:

\bar{x} = Media aritmética

x = Valor de observación

N = Número de datos

Desviación estándar

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

Donde:

s = Desviación estándar

x_i = Valor de observación

\bar{x} = Media aritmética

N = Número de datos

Se tomó en cuenta como límite superior la siguiente expresión.

$$s + \bar{x}$$

Y como límite inferior toma la siguiente expresión.

$$s - \bar{x}$$

Eliminando todos los datos que no estén comprendidos entre ese rango.

2.4. VELOCIDAD

La velocidad debe ser estudiada, regulada y controlada con el fin de que origine un perfecto equilibrio entre el usuario, el vehículo y la vía, de tal forma que se garantice la seguridad en la circulación.

El término velocidad generalmente se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo, expresada comúnmente para un vehículo, en kilómetros por hora (km/h).

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

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

Donde:

v = Velocidad constante (km/h)

d = Distancia recorrida (km)

t = Tiempo de recorrido (h)

2.4.1. Tipos de velocidad

La velocidad en un tramo de vía varía mucho de unos vehículos a otros. Incluso cuando se estudia la velocidad de un solo vehículo, se ve que esta no permanece constante aun cuando el conductor procure mantener una velocidad fija.

Los siguientes tipos de velocidades son:

- Velocidad de punto
- Velocidad media temporal
- Velocidad media espacial
- Velocidad de recorrido total
- Velocidad de crucero
- Velocidad de proyecto

2.4.2. Velocidad de punto o velocidad instantánea

Es la velocidad de un vehículo a su paso sobre un determinado punto de una carretera

o una calle. Como dicha velocidad se toma en el preciso instante de paso del paso del vehículo por el punto, también se le denomina velocidad instantánea. Esta velocidad debe determinarse a flujo libre, es decir, sin interrupciones, por ello se realiza a distancias pequeñas.

Existen varios métodos para encontrar los valores de las distintas velocidades, como para el dimensionamiento de la semaforización se utiliza la velocidad de punto.

2.4.2.1. Métodos para determinar la velocidad de punto

Medidores de velocidad

Existen dos clases, los que usan un motor de velocidad constante y un embrague eléctrico y los electrónicos que emplean un circuito de descarga calibrada. Ambos se activan cuando las ruedas delanteras del vehículo pisan el primer tubo para detenerse cuando cruzan el segundo detector, midiendo la velocidad con la que transcurre el vehículo, siendo necesario ponerlos en cero después de cada observación.

Método del Cronómetro

Es el método más antiguo y probablemente el más económico para medir las velocidades de los vehículos. En una distancia determinada (de 20 a 100 m) que se ha marcado en el pavimento con dos rayas de pintura, se mide el tiempo que tardan los vehículos en recorrerla. El cronómetro se coloca en marca cuando un vehículo entra en la distancia marcada en el pavimento, y se detiene cuando el mismo vehículo sale de ella. La velocidad será igual al espacio recorrido entre el tiempo empleado en recorrerlo.

Otros métodos: Existen otros métodos para determinar la velocidad instantánea en un punto, que ofrecen mayor exactitud y número de datos, para realizar investigaciones técnicas, pero el equipo es muy costoso y la obtención de datos toma mucho tiempo. Entre ellos tenemos el procedimiento fotográfico y células fotoeléctricas con

instrumentos registradores gráficos.

2.4.3. Depuración de datos de velocidad

En toda muestra estadística que se realice se debe calcular la dispersión de datos es decir entre que valores máximos y mínimos puede estar comprendido el valor obtenido en los aforos de cada punto y tramo.

Media aritmética

Es el promedio ponderado que resulta de multiplicar el número de vehículos de cada grupo de velocidades por la velocidad media de su grupo respectivo, sumando todos esos productos y dividiendo la suma entre el número total de vehículos observados.

Se debe registrar la velocidad de un número suficiente de vehículos, de manera que se produzcan para determinar una velocidad conveniente que cubra la mayoría de los conductores con un grado razonable de seguridad, la cual debe ser tomada como base para establecer limitaciones a la velocidad máxima o mínima que deben adoptar los conductores.

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

Donde:

\bar{x} = Media aritmética

x = Valor de observación

N = Número de datos

Desviación estándar

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

s = Desviación estándar

x_i = Valor de observación

\bar{x} = Media aritmética

N = Número de datos

Se tomó en cuenta como límite superior la siguiente expresión.

$$s + \bar{x}$$

Y como límite inferior toma la siguiente expresión.

$$s - \bar{x}$$

Eliminando todos los datos que no estén comprendidos entre ese rango.

2.5. DENSIDAD DE TRÁFICO

La densidad vehicular es la cantidad de vehículos por unidad de longitud que normalmente se toma de 1 km. Este parámetro es resultante de las dos anteriores es decir del volumen de tráfico y la velocidad, cuya relación será:

$$Densidad = \frac{\text{Volumen}}{\text{Velocidad}} \left(\frac{veh}{km} \right)$$

Sin embargo, en los últimos años la densidad vehicular no solo está siendo determinada, si no está siendo medida apoyada en algunos instrumentos como video que nos permite enfocar determinadas longitudes donde se puede contabilizar en número de vehículos permitirá encontrar la densidad que tiene una vía.

En los últimos años el parámetro densidad ha sido incorporado en los niveles de servicio de las vías urbanas y carretera de manera que este parámetro adquiera mayor importancia al momento de calificar el nivel de servicio de una vía.

2.6. GENERALIDADES DE LOS SEMÁFOROS

Los semáforos son dispositivos de señalización mediante los cuales se regula la circulación de vehículos, bicicletas y peatones en vías, asignando el derecho de paso o prelación de vehículos y peatones secuencialmente, por las indicaciones de luces de color rojo, amarillo y verde, operadas por una unidad electrónica de control.

El semáforo es un dispositivo útil para el control y la seguridad, tanto de vehículos como de peatones.

Debido a la asignación, prefijada o determinada por el tránsito, del derecho de vía para los diferentes movimientos en intersecciones y otros sitios de las vías, el semáforo ejerce una profunda influencia sobre el flujo del tránsito.

Por lo tanto, es de vital importancia que la selección y uso de tan importante artefacto de regulación sea precedido de un estudio exhaustivo del sitio y de las condiciones del tránsito.

Los semáforos se usarán para desempeñar, entre otras, las siguientes funciones:

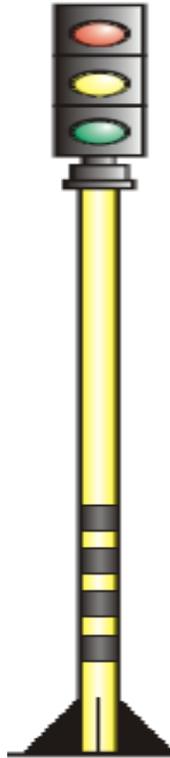
- Interrumpir periódicamente el tránsito de una corriente vehicular o peatonal para permitir el paso de otra corriente vehicular.
- Regular la velocidad de los vehículos para mantener la circulación continua a una velocidad constante.
- Controlar la circulación por carriles.
- Eliminar o reducir el número y gravedad de algunos tipos de accidentes, principalmente los que implican colisiones perpendiculares.
- Proporcionar un ordenamiento del tránsito.

2.6.1. Clasificación

De acuerdo con el mecanismo de operación de sus unidades de control, los semáforos se clasifican en:

- Semáforos para el control del tránsito de vehículos (los criterios utilizados para esta clase de semáforos son igualmente aplicables en ciclorutas).

Figura 2.5 Semáforo vehicular



Fuente: Ministerio de transporte de Colombia. (2004). Semáforos montados en postes. [Figura]. Recuperado de https://medellin.gov.co/movilidad/documents/sección.../cap7_semáforos.pdf

- Semáforos para pasos peatonales

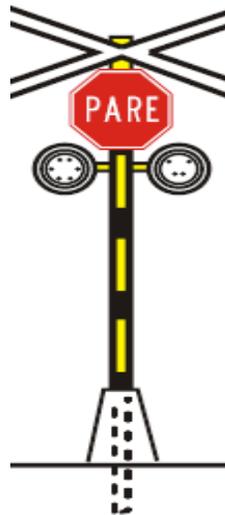
Figura 2.6 Semáforos para peatones



Fuente: Ministerio de transporte de Colombia. (2004). Semáforos para peatones.
 [Figura]. Recuperado de
https://medellin.gov.co/movilidad/documents/sección.../cap7_semáforos.pdf

- Semáforos especiales

Figura 2.7 Semáforos de aproximación de trenes



Fuente: Ministerio de transporte de Colombia. (2004). Semáforos montados en soporte tipo poste. [Figura]. Recuperado de
https://medellin.gov.co/movilidad/documents/sección.../cap7_semáforos.pdf

2.6.2. Semáforos para el control de tránsito de vehículos

2.6.2.1. Clasificación

Los semáforos para el control del tránsito de vehículos se clasifican de la siguiente forma:

a) Semáforos de tiempos fijos o predeterminados (dependientes del tiempo)

Un semáforo de tiempo fijo o predeterminado es un dispositivo para el control del tránsito que regula la circulación haciendo detener y proseguir el tránsito de acuerdo a una programación de tiempo determinado o a una serie de programaciones establecidas.

Las características de operación de los semáforos de tiempo fijo o predeterminado, tales como, duración del ciclo, intervalo, secuencia, desfase, etc., pueden ser cambiadas de acuerdo con un programa determinado.

Los semáforos de control de tiempo fijo o predeterminado se adaptan mejor a las intersecciones en donde los patrones del tránsito son relativamente estables y constantes, o en donde las variaciones del tránsito que se registran pueden tener cabida mediante una programación pre-sincronizada sin causar demoras o congestión no razonables.

b) Semáforos accionados o activados por el tránsito (dependientes del tránsito)

Un semáforo accionado por el tránsito es un sistema cuyo funcionamiento varía de acuerdo con las demandas del tránsito que registren los detectores de vehículos o peatones, los cuales suministran la información a un control local.

Se usarán en las intersecciones donde los volúmenes de tránsito fluctúan considerablemente en forma irregular y en donde las interrupciones de la circulación deben ser mínimas en la dirección principal.

2.6.3. Componentes de un semáforo

El semáforo consta de una serie de elementos físicos, como la cabeza, soportes, cara, lente, y visera. Sus definiciones y características se enumeran a continuación:

2.6.3.1. Cabeza

Es la armadura que contiene las partes visibles del semáforo. Cada cabeza contiene un número determinado de caras orientadas en diferentes direcciones.

Figura 2.8 Cabeza de un semáforo



Fuente: Semáforo actual. [Figura]. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Semáforo>

2.6.3.2. Soportes

Son las estructuras que se usan para sujetar la cabeza del semáforo y tienen como función situar los elementos luminosos del semáforo en la posición en donde el conductor y el peatón tengan la mejor visibilidad y puedan observar sus indicaciones.

2.6.3.3. Cara

Es el conjunto de unidades ópticas (lente, reflector, lámpara y portalámpara) que están orientadas en la misma dirección. Se recomiendan dos caras por cada acceso a la intersección, que pueden complementarse con semáforos para peatones. El doble semáforo permite ver las indicaciones aunque uno de ellos lo tape un vehículo grande,

lo mismo que representa un factor de seguridad cuando hay exceso de anuncios luminosos o se funde alguna lámpara.

2.6.3.4. Lente

Es la parte de la unidad óptica que por refracción dirige la luz proveniente de la lámpara y de su reflector en la dirección deseada. Se recomienda que la cara de todo semáforo tenga cuando menos tres lentes: rojo, ámbar y verde y cuando más, cinco lentes: rojo, ámbar, flecha de frente (\uparrow), flecha izquierda (\leftarrow) y flecha derecha (\rightarrow).

Como excepción, algunos semáforos pueden llevar uno o dos lentes solamente cuando se trata de semáforos de destello o indicadores de dirección. En semáforos con lentes en posición horizontal se sigue el mismo orden general, excepto que de las flechas se deben colocar primero la de la vuelta hacia la izquierda, seguida de la flecha hacia el frente y finalmente, la de la vuelta hacia la derecha ($\leftarrow \uparrow \rightarrow$).

2.6.3.5. Visera

Es un elemento que se coloca encima o alrededor de cada una de las unidades ópticas, para evitar que, a determinadas horas, los rayos del sol incidan sobre éstas y den la impresión de estar iluminadas, así como también para impedir que la señal emitida por el semáforo sea vista desde otros lugares distintos hacia el cual está enfocado.

Figura 2.9 Tipos de visera



Fuente: Semáforos. [Figura]. Recuperado de <https://www.eyssa.com.mx>

2.6.4. Significado de los indicadores

Las lentes de los semáforos para el control vehicular deberán ser de color rojo, amarillo y verde. Cuando se utilicen flechas, éstas también serán rojas, amarillas y verdes sobre fondo negro.

Las lentes de las caras de un semáforo deberán formar una línea vertical. El rojo debe encontrarse sobre la parte alta, en medio el amarillo, y el verde abajo.

Figura 2.10 Flecha direccional en lente de 20 cm.

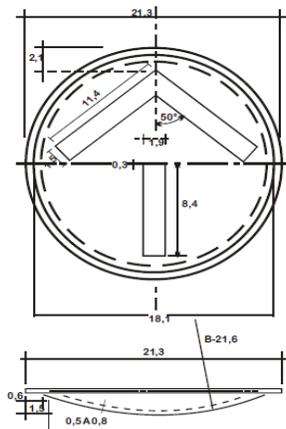
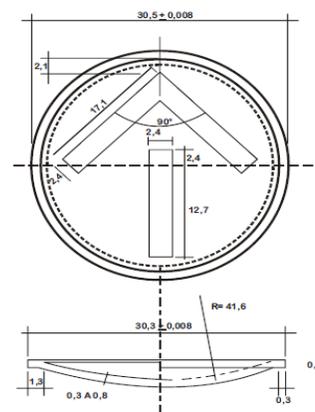


Figura 2.11 Flecha direccional en lente de 30 cm.



Fuente: Ministerio de transporte de Colombia. (2004). Flecha direccional. [Figura].

Recuperado de

https://medellin.gov.co/movilidad/documents/sección.../cap7_semáforos.pdf

Las flechas direccionales deberán apuntar en el sentido de la circulación permitida. La flecha vertical, apuntando hacia arriba, indica circulación de frente; la horizontal indica giro aproximadamente en ángulo recto hacia la izquierda o hacia la derecha, y la flecha oblicua a 45 grados apuntando hacia arriba indica giro a calles que forman un ángulo distinto al de 90 grados.

2.6.5. Interpretación de los colores

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. 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.

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.

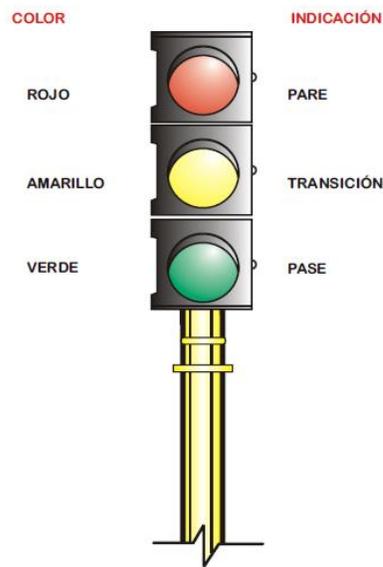
En ningún caso se cambiará de luz verde a luz roja o rojo intermitente sin que antes aparezca el amarillo durante el intervalo necesario para desalojar la intersección. Sin embargo, no se empleará en cambios de rojo a verde total con flecha direccional, o al amarillo intermitente.

Verde

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

Los peatones que avancen hacia el semáforo y observen esta luz podrán cruzar la vía (por los pasos peatonales marcados) a menos que algún otro semáforo indique lo contrario.

Figura 2.12 Indicación y colores de un semáforo



Fuente: Ministerio de transporte de Colombia. (2004). Posición de las lentes en un semáforo de tres luces. [Figura]. Recuperado de https://medellin.gov.co/movilidad/documents/sección.../cap7_semáforos.pdf

2.7. INTERSECCIONES REGULADAS POR SEMÁFOROS

La intersección regulada por semáforos es una de las situaciones más complejas en el sistema circulatorio. El análisis de intersecciones reguladas por semáforos debe considerar una gran variedad de condiciones prevalecientes, incluida la cantidad y la distribución del tráfico, la composición del mismo, las características geométricas, y los detalles de la semaforización de la intersección.

En la intersección regulada por semáforos hay que añadir un elemento adicional en el concepto de capacidad: la distribución del tiempo.

Un semáforo esencialmente distribuye el tiempo entre los movimientos circulatorios conflictivos que pretenden utilizar el mismo espacio físico. La manera en la que se

distribuye el tiempo tiene un impacto significativo en el funcionamiento de la intersección y en la capacidad de esta y de sus accesos.

Generalmente, se emplean los siguientes términos para describir las operaciones semafóricas.

Ciclo:

Cualquier secuencia completa de indicaciones o mensajes de un semáforo.

Duración de ciclo:

El tiempo total que necesita el semáforo para completar un ciclo, expresado en segundos, se representa con el símbolo C.

Intervalo:

Un periodo de tiempo durante el cual todas las indicaciones semafóricas permanecen constantes.

Fase:

La parte de un ciclo que se da a cualquier combinación de movimientos de tráfico que tienen derecho a pasar simultáneamente durante uno o más intervalos.

Tiempo de cambio:

Los intervalos "amarillos" más el "todo rojo" que tienen lugar entre las fases para permitir evacuar la intersección antes de que movimientos contrapuestos se pongan en marcha; se expresa con el símbolo Y se mide en segundos.

Tiempo de verde:

El tiempo, dentro de una fase dada durante el cual la indicación verde está a la vista; expresado con el símbolo G_i (para la fase i) y en segundos.

Tiempo perdido:

Tiempo durante el cual la intersección no está efectivamente utilizada por ningún movimiento, estos cambios ocurren durante el intervalo de cambio (durante el cual la

intersección se evacua) y al principio de cada fase cuando los primeros vehículos sufren retrasos en el arranque, se representa mediante el símbolo L_i .

Tiempo de verde efectivo:

El tiempo durante una fase dada que esta efectivamente disponible para los movimientos permitidos, generalmente se considera como el tiempo de verde más el intervalo de cambio menos el tiempo perdido para la fase de cuestión; expresada en segundos y notada con el símbolo g_i .

Proporción de verde:

La proporción de verde efectivo en relación con la duración del ciclo, notada con el símbolo g_i/C .

2.7.1. Metodología para el análisis de intersecciones semaforizadas

En la metodología del Highway Capacity Manual 2010 (HCM 2010), existen dos tipos de análisis para intersecciones semaforizadas, estas son: el análisis operacional y el análisis de planeación.

El análisis operacional permite determinar la capacidad y el nivel de servicio de cada grupo de carriles o acceso, lo mismo que el nivel de servicio de la intersección.

El análisis de planeación es para dimensionar la intersección o para determinar la suficiencia de la capacidad de la intersección para fines de planeación. En este nivel de análisis no se obtienen niveles de servicio. Sin embargo, se obtienen criterios acerca de la intersección con respecto a su funcionamiento (funciona bajo capacidad, cerca de capacidad o sobre capacidad).

Para el desarrollo de esta investigación nos centraremos en la metodología para el análisis operacional de intersecciones, a partir de allí, pero introduciendo algunas

variantes, en lo que respecta a las metodologías de campo, es que estudiaremos el comportamiento y determinaremos los valores reales de esas variables (volúmenes de tránsito, velocidad, intensidades de saturación,) en las principales arterias del área central de Tarija.

2.7.1.1. Módulo de intensidades de saturación

Se define el índice de saturación de un grupo de carriles dado como la relación entre la intensidad de circulación real, del grupo de carriles (I_i) y la intensidad de circulación (s_i). El índice de saturación se representa por el símbolo $(I/s)_i$, para el grupo de carriles i .

La intensidad de saturación es el flujo, en vehículos a la hora, al que puede dar servicio el grupo de carriles, suponiendo que la fase de verde este siempre disponible para ese acceso, es decir, que la relación de verde (g/C) sea 1.

Se define como grupo de carriles a un grupo determinado de carriles que se analizan conjuntamente.

La intensidad de saturación se representa por el símbolo s , y se expresa en unidades de vehículo por hora de tiempo de verde efectivo (v/vh) para un grupo de carriles dado.

$$s = s_o * f_W * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{LU} * f_{LT} * f_{RT} * f_{Lpb} * f_{Rpb}$$

Donde:

s = Intensidad de saturación para el grupo de carriles estudiado, expresada como total de todos los carriles del grupo de carriles en las condiciones prevalecientes, en v/hv

s_o = Intensidad de saturación ideal por carril, normalmente 1750 $v/hv/c$

f_W = Factor de ajuste por anchura de carril (el estándar es el carril de 3,60m)

f_{HV} = Factor de corrección por la proporción vehículos pesados en la corriente de circulación

f_g = Factor de ajuste por la inclinación del acceso

f_p = Factor de ajuste por la existencia de un carril de estacionamiento adyacente al grupo de carriles, y por la actividad de estacionamiento en ese carril

f_{bb} = Factor de ajuste por efecto de los autobuses locales que paran dentro de la zona de influencia de la intersección

f_a = Factor de ajuste por el tipo de área

f_{LU} = Factor de ajuste para la utilización de la vía

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

f_{RT} = Factor de ajuste por giros a la derecha en el grupo de carriles

f_{Lpb} = Factor de ajuste pedestre por giros a la izquierda en el grupo de carriles

f_{Rpb} = Factor de ajuste de bicicleta pedestre por giros a la derecha en el grupo de carriles

Factores de Ajuste

Mediante cada factor se refleja el efecto que ejerce una, o varias, de las condiciones prevaecientes sobre las condiciones ideales, a las que es de aplicación la intensidad de saturación ideal.

Factor de Ajuste por Anchura de carril

Tabla 2.1 Factor de Ajuste por Anchura de Carril (f_w)

Anchura media de carril A (m)	Factor de anchura de carril (f_w)
<3,00	0,96
$\geq 3,00$ -3,92	1,00
>3,92	1,04

Fuente:

Highway capacity manual, transportation

research board, Washington, DC, 2010.

Factor de Ajuste por Vehículos pesados

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

P_{HV} = Porcentaje de vehículos pesados correspondiente al grupo (%)

E_T = Vehículos ligeros por vehículo pesado=2

Factor de Ajuste por Inclinación del acceso

$$f_g = 1 - \frac{P_g}{200}$$

$-6 \leq \% P_g \leq +10$

Factor de Ajuste por Estacionamiento

$$f_p = \frac{N - 0,1 - 18N_m/3600}{N}$$

N = Número de carriles en el grupo de carriles

N_m = Número de maniobras de estacionamiento por hora

$0 \leq N_m \leq 180$ $f_p \geq 0,05$.

Factor de Ajuste por efecto de los autobuses que paran dentro de la zona de influencia de la intersección

$$f_{bb} = \frac{N - 14,4N_b/3600}{N}$$

N = Número de carriles en el grupo de carriles

N_b = Número de autobuses que paran por hora

$$\leq N_b \leq 250 \quad f_{bb} \geq 0,05.$$

Factor de Ajuste por tipo de área

Tabla 2.2 Factor de Ajuste por Tipo de área (f_a)

Tipo de área	Factor de tipo de área (f_a)
Centro urbano	0,90
Otras zonas	1,00

Fuente: Highway capacity manual, transportation research board, Washington, DC, 2010.

Factor de ajuste para la utilización de la vía

Si el grupo de la vía tiene una vía compartida o una vía exclusiva, entonces este factor es 1.0.

$$f_{LU} = 1$$

Factor de ajuste por giros a la izquierda en el grupo de carriles

$$f_{LT} = 0,95 \quad f_{LT} = 0,92$$

Para carril único el factor será de 0,95 y cuando sea doble carril el factor es 0,92.

Factor de ajuste por giros a la derecha en el grupo de carriles

$$f_{RT} = 0,85 \quad f_{RT} = 0,75$$

Para carril único el factor será de 0,85 y cuando sea doble carril el factor es 0,75.

Factor de ajuste de peatones y bicicletas por giros a la izquierda

$$f_{Lpb} = 1$$

Factor de ajuste de peatones y bicicletas por giros a la derecha

$$f_{Rpb} = 1$$

2.7.1.2. Capacidad de intersecciones reguladas por semáforos

En las intersecciones, la capacidad se define para cada grupo de carriles. La capacidad del grupo de carriles es la intensidad de circulación máxima del grupo de carriles en cuestión que puede circular a través de la intersección en las condiciones prevaecientes de tráfico, calzada y semaforización. Por lo tanto, la capacidad para un acceso o grupo de carriles se define por:

$$c_i = s_i \left(\frac{g_i}{C} \right)$$

Donde:

c_i = Capacidad del acceso o grupo de carriles (vph)

s_i = Intensidad de saturación para el grupo de carriles i (v/hv)

g_i = Tiempo verde efectivo para el acceso o grupo de carriles (s_i)

C = Ciclo del semáforo (s)

2.7.1.3. Relación I/C

En el análisis de intersecciones la relación entre la intensidad de circulación y la capacidad, I/c , se representa por el símbolo X. Conocida también como grado de saturación.

Para un acceso o grupo de carriles i , a la relación $(I/c)_i$ se le llama grado de saturación X_i , y se expresa como:

$$X_i = (I/c)_i = \frac{I_i}{s_i(g_i/C)}$$

Donde:

$X_i = (I/c)_i$ = Relación del grupo de carriles i

I_i = Flujo de circulación real para un grupo de carriles i (v/h)

s_i = Intensidad de saturación para el grupo de carriles i , (v/vh)

g_i = Tiempo de verde efectivo para el grupo de carriles i , (s)

Los valores sostenibles de X_i fluctúan entre 1 cuando la intensidad de circulación es igual a la capacidad, y 0, cuando la intensidad de circulación es cero. Los valores superiores a 1, indica un exceso temporal de la intensidad sobre la capacidad.

2.7.1.4. Grupo de carriles crítico

En el análisis de las intersecciones reguladas por semáforos es la relación I/s crítica, X_c , que es una relación I/s general de toda la intersección, considerando solamente los grupos de carriles que tienen la intensidad de circulación I/s más alta para una fase semafórica dada.

Cada fase semafórica tendrá un grupo de carriles crítico que determinará los requisitos de tiempo de verde para esa fase concreta.

La relación I/s crítica para la intersección se define en términos de grupos de carriles críticos o accesos:

$$X_c = \sum (I/s)_{ci} \frac{C}{C-L}$$

Donde:

X_c = Relación I/c crítica para la intersección

C = Duración del ciclo (s)

L = Tiempo total perdido por ciclo (s)

$\sum (I/s)_{ci}$ = Sumatorio de índices de saturación para todos los grupos de carriles críticos, i.

Esta relación indica la proporción de la capacidad disponible que está siendo utilizada por los vehículos del grupo de carriles.

Los valores más próximos a 1 se tomarán para identificar las intersecciones críticas, ya que indica que la intersección funciona a un porcentaje de su capacidad próximo a que la intersección este sobresaturada.

Si la relación excede de 1, uno o más de los carriles de los grupos de carriles, o la intersección estará sobresaturada.

2.8. CÁLCULO DE FASES DEL SEMÁFORO

Una fase consta de un intervalo amarillo, uno todo rojo y uno verde. La distribución de tiempos de cada fase debe estar en relación directa con los volúmenes de tránsito de los movimientos correspondientes. En otras palabras, la duración de cada fase y del ciclo dependerán de la demanda.

Intervalo de cambio de fase

La función principal del intervalo de cambio de fase, es la de alertar a los usuarios de un cambio en la asignación del derecho al uso de la intersección.

Intervalo de cambio = Amarillo + Todo rojo

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

Donde:

y = Intervalo de cambio de fase, amarillo más todo rojo (s)

t = Tiempo de percepción- reacción del conductor (1 s)

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

a = Tasa de deceleración (3,05m/s²)

W = Ancho de la intersección (m)

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

Tiempo perdido por fase

El intervalo de cambio de fase y_i , de una fase i es igual al intervalo amarillo.

$$l_i = y_i = A_i$$

Tiempo total perdido

El tiempo total L perdido por ciclo es:

$$L = \left(\sum_{i=1}^{\varphi} l_i \right) + TR$$

Donde TR representa el tiempo total de todo rojo durante el ciclo.

Máximas relaciones de flujo actual a flujo de saturación máximo (s) por carril para cada fase

$$Y_i = \frac{q_{i\text{máx}}}{s}$$

Donde $q_{i\text{máx}}$ representa el flujo crítico o máximo por carril de la fase i .

Longitud de Ciclo

$$C_o = \frac{1,5L + 5}{1 - \sum_{i=1}^n y_i}$$

Donde:

C_o = Tiempo óptimo de ciclo (s)

L = Tiempo total perdido por ciclo (s)

y_i = Máximo valor de la relación entre el flujo actual y el flujo de saturación máximo para cada acceso o movimiento o carril crítico

Tiempo verde efectivo total

$$g_T = C - L$$

Donde:

g_T = Tiempo de verde total (s)

C = Tiempo óptimo de ciclo (s)

L = Tiempo total perdido por ciclo (s)

Reparto de tiempos verdes efectivos

$$g_i = \frac{y_i}{\sum_{i=1}^n y_i} g_T$$

Donde:

g_i = Reparto de tiempos efectivos (s)

g_T = Tiempo de verde total (s)

y_i = Máximo valor de la relación entre el flujo actual y el flujo de saturación máximo para cada acceso o movimiento o carril crítico

Determinación de tiempos verdes reales

$$G_i = g_i + l_i + A_i$$

Donde:

G_i = Tiempo de verde real (s)

g_i = Reparto de tiempos efectivos (s)

l_i = Tiempo perdido por fase (s)

A_i = Intervalo amarillo (s)

2.9. COORDINACIÓN DE SEMÁFOROS

2.9.1. Sistemas de coordinación

La clasificación más útil de los sistemas de control de semáforos está basada en el método de coordinación. Puesto que el propósito de esta coordinación es organizar y dar fluidez al tránsito, es esencial entender de qué manera operará la corriente vehicular según los diversos sistemas.

2.9.1.1. Sistema simultáneo

En un sistema simultáneo todos los semáforos muestran la misma indicación a lo largo de la vía aproximadamente al mismo tiempo.

En todas las intersecciones, la sincronización esencialmente es la misma y las indicaciones cambian simultáneamente o casi al mismo tiempo, de manera que todos los semáforos indiquen luz verde en la dirección de la calle principal y luz roja en todas las caras que den a las calles secundarias, cambiando alternadamente.

Si únicamente se trata de coordinar hasta cinco intersecciones muy próximas entre sí, deberá emplearse este sistema, dejando un tiempo de luz verde suficiente en la calle principal para permitir que pase una proporción mayor de la circulación y despeje de las intersecciones.

2.9.1.2. Sistema alternado

En el sistema alterno los semáforos adyacentes o grupos de semáforos adyacentes muestran indicaciones alternas a lo largo de una ruta determinada. En el sistema alterno sencillo, los semáforos adyacentes muestran indicaciones contrarias u opuestas. Los sistemas alternos dobles y triples consisten en un grupo de dos o tres semáforos que respectivamente muestran indicaciones contrarias.

El sistema alterno usualmente es un mejoramiento del sistema simultáneo en el sentido de que a través de una serie de intersecciones controladas de esta manera puede haber, bajo condiciones favorables, un movimiento continuo de grupos de vehículos a una velocidad predeterminada, siendo esto sumamente eficiente donde las longitudes de las cuadras, o de los grupos alternados de cuadras, son iguales.

2.9.1.3. Sistema progresivo simple o limitado

Este sistema trata de varios semáforos sucesivos, a lo largo de una calle, que dan la indicación de verde de acuerdo con una variación de tiempo que permite, hasta donde es posible, la operación continua de grupos de vehículos a velocidad fija “ondas verdes”. Cada intersección puede tener una división diferente de ciclo, pero dicha división permanece fija.

Este sistema puede estar supervisado por un control maestro, para mantener las relaciones debidas de tiempo entre las indicaciones de los semáforos.

2.9.1.4. Sistema progresivo flexible

El sistema progresivo flexible abarca todas las características del sistema progresivo limitado y tiene una serie de características adicionales que dependen del tipo de controlador de la intersección, del control maestro y de otros accesorios. Se usa un ciclo común en todo el sistema. No obstante, la duración del ciclo se puede variar con la frecuencia que se desee, en función del día de la semana y/o la hora del día.

Marco normativo

La Norma utilizada en la presente investigación es el Highway Capacity Manual 2010 (Manual de Capacidad de Carreteras 2010), norma vigente de los Estados Unidos, ya que no se cuenta con una Norma propia de nuestro país.

El manual de capacidad de carreteras HCM proporciona prácticas e investigaciones del transporte con un sistema consistente de técnicas para la evaluación de la capacidad, determinar el nivel de servicio en carreteras y calles, métodos para analizar el funcionamiento de las calles, carreteras, el peatón y bicicleta.

Traducida en varios idiomas, se ha vuelto la norma de referencia sobre procedimientos de capacidad y niveles de servicio, métodos para evaluar las facilidades del transporte. Por más de 50 años, el HCM ha cumplido esta meta, ganando un lugar único en el reconocimiento de la comunidad del transporte.

2.10. NUEVA TECNOLOGÍA

Los sistemas de semáforos de control centralizado, ya sean de tiempo fijo o accionados por el tránsito, deben sufrir continuos ajustes en la programación, ya que en grandes ciudades los volúmenes de tránsito y los patrones de movimiento cambian continuamente. El crecimiento demográfico y el aumento en el número de vehículos de motor produce variaciones notables en el tránsito en periodos cortos, en varios días y hasta en varias semanas. Las obras de vialidad, la creación de centros comerciales, la construcción de nuevos edificios, etc., generan también notables variaciones en el tránsito.

Por dichas razones, ingenieros de tránsito que manejan sistemas de semáforos deben mantener sus estudios actualizados; deben medir las variaciones de los volúmenes de tránsito, variaciones en los movimientos direccionales, para así operar más racionalmente su sistema de semáforos de tiempo fijo.

Algunas de las instalaciones existentes en el mundo relativas a sistemas de semáforo controlados por computadoras, están constituidas por una red de semáforos interconectados provistos de detectores. En vez de que estos detectores actúen directamente en el control de la intersección, envían sus datos, a través de un dispositivo intermedio, a la computadora en el control central. La computadora, previamente programada para las diferentes situaciones, selecciona el programa más adecuado para los patrones de movimiento a esa hora del día, tratando de optimizar el

uso de la calle, con preferencia en los mayores volúmenes de tránsito y tratando de reducir las demoras al mínimo.

Con la presente investigación se va contribuir de manera operativa en el área de tráfico, pretendiendo alcanzar beneficios de carácter técnico con la implementación de nuevos tiempos en el ciclo de semáforos de intersecciones críticas que cumplan con normas y especificaciones para dicho propósito, logrando así tratar de disminuir el congestionamiento y una mejor circulación vial.

Además, cabe recalcar que la investigación tiene como finalidad concientizar que se debe realizar estudios periódicos y tener registros para poder enfrentar de manera adecuada a los problemas actuales o venideros.

La selección del método a utilizar en esta investigación para la determinación de intensidades de saturación, capacidades, carriles críticos e intersecciones críticas es del Manual Americano de Capacidad de Carreteras 2010, ya que este es un manual completo y la mayoría de normas latinoamericanas están basados en este Manual.

Algunos valores son asumidos en relación a datos de Estados Unidos donde se realizaron estudios llegando a esos valores, se debería de realizar con valores de nuestro medio de acuerdo a la geometría de calles, tipos de vehículos, que transitan en las calles además de la percepción del conductor que es variable por departamento.

Este método no se lo puede descartar, ya que es uno de los más completos.

Para la determinación de fases y tiempos de ciclo se hará uso del libro Mexicano Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones escrito por el ingeniero Rafael Cal y Mayor Reyes, pionero en América latina de la Ingeniería de Tránsito.

Manual del cual tuvo mucha difusión y aplicación de la ingeniería de tránsito en América latina.

Al igual que en el Manual HCM 2010, algunos valores son asumidos en relación con datos de México donde se realizaron estudios llegando a esos valores, se debería de realizar con valores de nuestro medio.

Se puede decir que ambos métodos descritos en los manuales son confiables para los cálculos de esta investigación.

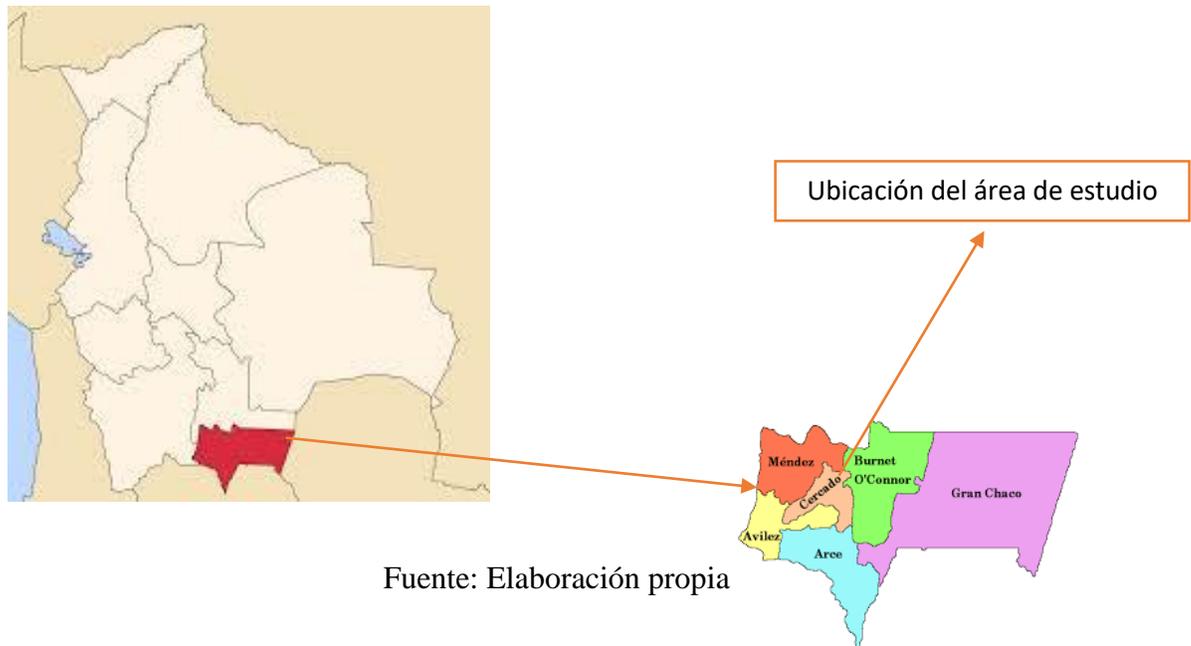
CAPÍTULO III: RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN

En este capítulo se establece la metodología de trabajo a implementar, es decir la manera como se ha programado el desarrollo de la investigación para alcanzar los objetivos planteados. Así mismo se definen los procedimientos de campo que se utilizarán. La metodología establecida para el desarrollo de este trabajo se dividió en las siguientes etapas, que son:

3.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se encuentra ubicado en Bolivia en la ciudad de Tarija, provincia Cercado en el centro de la ciudad siendo el área de estudio comprendida por la calle Juan M. Saracho horizontalmente hasta la calle Colón, verticalmente desde la calle Corrado hasta la 15 de Abril.

Figura 3.1 Ubicación del proyecto



3.2. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende:

- 36 intersecciones de las cuales 31 se encuentran semaforizadas y 5 no semaforizadas
- La dimensión de sus calles son geoméricamente iguales
- El ancho de acceso en las distintas intersecciones es variable

Figura 3.2 Área de estudio



Fuente: Elaboración propia

Según el libro medición de parámetros de tránsito recomienda que se debe realizar un estudio con un mínimo de 30 intersecciones. Se determinó estas 31 intersecciones semaforizadas para el estudio ya que haciendo un análisis visual se pudo observar que estas intersecciones son las que presentan mayor congestión vehicular dentro del centro de la ciudad.

3.3. RELEVAMIENTO DE DATOS PARA EL ESTUDIO

El relevamiento de los datos para poder analizar una intersección regulada por semáforos es un paso imprescindible, para realizar el estudio.

La exactitud de los resultados calculados dependerá del esfuerzo realizado en la determinación de los valores de estos datos, que, en ausencia de los mismos, puede adoptarse ciertos valores por defecto propuestos en el Manual de Capacidad de Carreteras 2010.

Los datos principales que se utilizarán para la obtención de los cálculos determinación de horas pico, determinación de las condiciones de los semáforos, relevamiento de volúmenes de tráfico, determinación de tiempos, determinación de velocidades en cada tramo y determinación de anchos de carriles.

Determinación de horas pico

Para aforar las horas pico se realizó un análisis comparativo visual para la elección de la intersección, esto para comenzar el estudio.

Para el estudio de volúmenes se tuvo que determinar las horas pico del tráfico vehicular en el lapso de un día, contando de forma manual.

El libro ingeniería de tránsito fundamentos y aplicaciones de Cal y Mayor, James Cárdenas recomienda que es conveniente que los aforos manuales en intersecciones se lleven a cabo por un mínimo de 12 horas, incluyendo en este espacio de tiempo las horas de mayor demanda. Esto para determinar las horas pico.

Los aforos deben ser efectuados durante días representativos de un día de la semana típico (martes, miércoles y jueves).

El aforo se hizo un día martes en una intersección seleccionada en el área central (calle Sucre-calle Ingavi), durante 13 horas seguidas registrando valores cada media hora. Para luego obtener la gráfica de volúmenes.

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

Obteniendo como horas pico: 8:00-9:00, 11:30-12:30 y 18:00-19:00 horas.

Tabla 3.1 Volúmenes de tráfico en la intersección

	Calle Sucre		Calle Ingavi		Sucre	Ingavi
	Frente	Giro derecho	Frente	Giro izquierdo		

7:00-7:30	138	19	116	20	157	136
7:30-8:00	111	26	129	21	137	150
8:00-8:30	116	49	122	23	165	145
8:30-9:00	128	50	130	25	178	155
9:00-9:30	105	47	115	21	152	136
9:30-10:00	107	29	115	20	136	135
10:00-10:30	101	40	113	31	141	144
10:30-11:00	101	42	107	23	143	130
11:00-11:30	107	48	118	33	155	151
11:30-12:00	117	53	119	28	170	147
12:00-12:30	134	45	119	23	179	142
12:30-13:00	100	40	110	19	140	129
13:00-13:30	106	28	74	24	134	98
13:30-14:00	119	24	87	15	143	102
14:00-14:30	94	34	124	21	128	145
14:30-15:00	92	39	101	17	131	118
15:00-15:30	108	52	120	33	160	153

15:30-16:00	111	38	109	21	149	130
16:00-16:30	110	45	125	25	155	150
16:30-17:00	99	49	97	30	148	127
17:00-17:30	97	38	115	30	135	145
17:30-18:00	126	36	115	33	162	148
18:00-18:30	111	47	114	36	158	150
18:30-19:00	138	32	105	40	170	145
19:00-19:30	108	21	94	20	129	114
19:30-20:00	95	43	95	30	138	125

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2 Volúmenes totales para la determinación de horas pico

Horas	Calle Sucre	Calle Ingavi
7:00-7:30	157	136

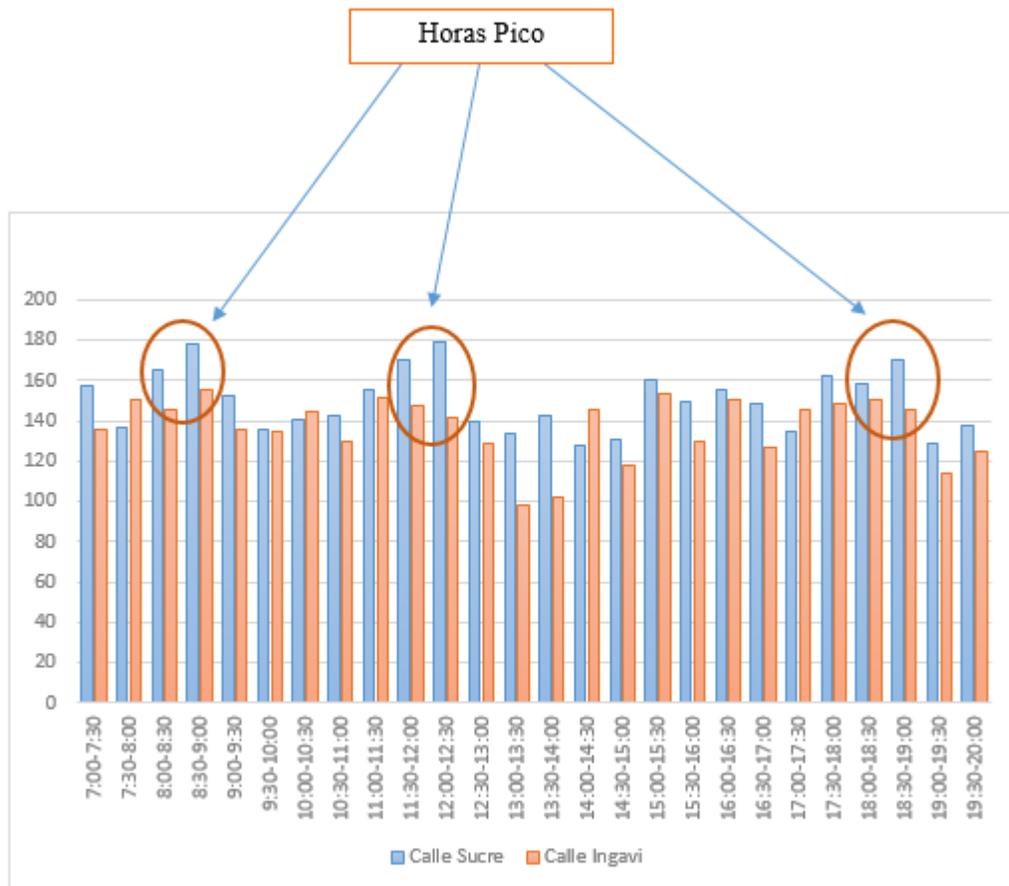
7:30-8:00	137	150
8:00-8:30	165	145
8:30-9:00	178	155
9:00-9:30	152	136
9:30-10:00	136	135
10:00-10:30	141	144
10:30-11:00	143	130
11:00-11:30	155	151
11:30-12:00	170	147
12:00-12:30	179	142
12:30-13:00	140	129
13:00-13:30	134	98
13:30-14:00	143	102
14:00-14:30	128	145
14:30-15:00	131	118
15:00-15:30	160	153
15:30-16:00	149	130

16:00-16:30	155	150
16:30-17:00	148	127
17:00-17:30	135	145
17:30-18:00	162	148
18:00-18:30	158	150
18:30-19:00	170	145
19:00-19:30	129	114
19:30-20:00	138	125

Fuente: Elaboración propia

Histograma de horas pico

Figura 3.3 Histograma intersección calle Sucre-Ingavi



Fuente: Elaboración propia

Horas pico:

Mañana 8:00 am.-9:00 am.

Mediodía 11:30 am.-12:30 pm.

Noche 18:00 am.-19:00 pm.

3.3.1. Determinación de las condiciones de los semáforos

Se levantó “in situ” información relativa a fases y tiempos de los semáforos en cada una de las intersecciones (verde, amarillo, rojo).

Tabla 3.3 Tiempos de ciclos actuales

Intersección	Calle A			Calle B			Ciclo seg.
	Rojo	Verde	Amarillo	Rojo	Verde	Amarillo	
Juan Misael Saracho-Corrado							
Juan Misael Saracho-Domingo P.							
Juan Misael Saracho-Bolívar	18	20	2	22	16	2	40
Juan Misael Saracho-Ingavi	18	20	2	22	16	2	40
Juan Misael Saracho-Madrid	18	20	2	22	16	2	40
Juan Misael Saracho-15 de Abril	22	16	2	22	16	2	40
Campero-Corrado	20	14	2	16	18	2	36
Campero-Domingo Paz	22	16	2	18	20	2	40
Campero-Bolívar	22	16	2	18	20	2	40
Campero-Ingavi	18	20	2	22	16	2	40
Campero-Madrid							
Campero-15 de Abril	22	18	2	22	18	2	42
General Trigo-Corrado	20	14	2	16	18	2	36
General Trigo-Domingo Paz	22	16	2	18	20	2	40
General Trigo-Bolívar	22	18	2	22	18	2	42
General Trigo-Ingavi	22	18	2	22	18	2	42
General Trigo-Madrid	22	18	2	22	18	2	42
General Trigo-15 de Abril	22	18	2	22	18	2	42
Sucre-Corrado	20	14	2	16	18	2	36
Sucre-Domingo Paz	16	18	2	20	14	2	36
Sucre-Bolívar	22	18	2	22	18	2	42

Sucre-Ingavi	22	18	2	22	18	2	42
Sucre-Madrid	22	18	2	22	18	2	42
Sucre-15 de Abril	22	18	2	22	18	2	42
Daniel Campos-Corrado							
Daniel Campos-Domingo Paz	16	18	2	20	14	2	36
Daniel Campos-Bolívar	22	18	2	22	18	2	42
Daniel Campos-Ingavi	22	18	2	22	18	2	42
Daniel Campos-Madrid	22	18	2	22	18	2	42
Daniel Campos-15 de Abril	22	18	2	22	18	2	42
Colón-Corrado							
Colón-Domingo Paz	22	18	2	22	18	2	42
Colón-Bolívar	22	18	2	22	18	2	42
Colón-Ingavi	22	18	2	22	18	2	42
Colón-Madrid	22	18	2	22	18	2	42
Colón-15 de Abril	22	18	2	22	18	2	42

Fuente: Elaboración propia

Elección del periodo de análisis

Una vez determinadas las horas pico y las condiciones de los semáforos se llevó a cabo el estudio de volúmenes de tráfico.

En el libro ingeniería de tránsito fundamentos y aplicaciones de Cal y Mayor, James Cárdenas, se establece que para estudios cortos debe ser de 3 horas del día generalmente horas pico, horas críticas y durante 3 meses si se quiere acortar la duración de los registros a un mes se tendrá que aumentar las horas y días de aforo. Por lo general aforos realizados con incrementos de tiempo de 15 minutos son suficientes.

El manual de dispositivos de control de tránsito recomienda que el diseño de semáforos, diseño de fases, debe basarse en las horas de máxima demanda por medio de los días hábiles (lunes a viernes) durante una semana.

Para este proyecto se contó con 2 personas que aforaron durante 15 min, tres veces al día, durante 7 días. Mediante un conteo manual en el lapso de 8 semanas y 2 días. Teniendo un número de 21 datos para cada una de las 31 intersecciones en estudio.

3.3.2. Relevamiento de volúmenes de tráfico

Con el propósito de conocer la demanda real, se realizaron conteos de tráfico en las intersecciones de estudio, estos conteos se hicieron en las horas pico.

Con una correcta ubicación donde hay buena visibilidad, se observó y se obtuvieron los volúmenes correspondientes a cada uno de los movimientos del tránsito en los accesos a la intersección.

Los datos obtenidos se refieren a intensidades de tráfico que para que sean volúmenes de tráfico se debe multiplicar por un factor de tiempo en este caso 4.

Los datos reunidos en los Anexos 1, corresponden a los aforos manuales realizados en cada una de las 31 intersecciones en estudio.

Teniendo los volúmenes aforados en las horas ya establecidas para cada intersección, se obtendrá la media aritmética, desviación estándar y se realizará la depuración correspondiente para encontrar el volumen promedio horario.

Con los resultados se procede a determinar que intersecciones son críticas y considerar el rediseño de tiempos de ciclo de las mismas.

3.3.3. Determinación de tiempos

Existen varios métodos para encontrar los valores de las distintas velocidades, como para el dimensionamiento de la semaforización se utiliza la velocidad de punto o instantánea.

Cal y Mayor en su libro Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones hace referencia del método del cronómetro es el método más antiguo y probablemente el más económico para medir las velocidades de los vehículos.

En una distancia determinada (de 20 a 100 m) que se ha marcado en el pavimento con dos rayas de pintura, se mide el tiempo que tardan los vehículos en recorrerla. El cronómetro se coloca en marca cuando un vehículo entra en la distancia marcada en el pavimento, y se detiene cuando el mismo vehículo sale de ella.

En la presente investigación se hará uso de este método:

- Teniendo ya nombrados los tramos se tiene que marcar la distancia recorrida por los vehículos para tal caso se hace uso de una cinta métrica y se mide 20 m en cada tramo, y se marca con dos rayas en la acera.

- 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. Ese valor se lo introduce en las planillas.

- Se realiza unas 5 mediciones en el mismo punto para tener un promedio de ese tramo.
 - Antes de realizar la segunda medición se debe esperar a que pasen por lo menos 3 vehículos.
 - El mismo procedimiento se lo realiza en todos los tramos que consta de 31 tramos horizontales y 31 tramos verticales.

Las tablas de la determinación de tiempos se presentarán en los Anexos 2.

3.3.4. Determinación de velocidades en cada tramo

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

En general, cuando el propósito del estudio es establecer límites de velocidad fijados, observar tendencias de la velocidad, o recoger datos básicos, se recomienda que el estudio esté conducido sobre el tráfico libre, generalmente durante horas pico.

Se realizó un relevamiento, teniendo 10 datos por cada intersección sumando un total de 310 datos.

La velocidad se obtiene dividiendo la distancia prefijada, que se midió de 20 metros, entre el tiempo que se requirió para recorrerla, en segundos. El resultado obtenido, en metros por segundo, se convierte en kilómetros por hora.

Las tablas de velocidades medidas en cada tramo se presentarán en los Anexos 3.

3.3.5. Determinación de anchos de carril

La medición de los anchos de carril se realizó con la ayuda de una huincha métrica, tomando las medidas de ambos carriles que conforman la intersección.

Se contó con dos personas para tomar estas mediciones para hacer más rápido la toma de datos.

Esta medición se realizó para las 31 intersecciones en estudio.

Tabla 3.4 Anchos de carril

Intersección	Ancho de carril W (m)	Ancho de carril W (m)
Juan Misael Saracho-Bolívar	5,32	5,30

Juan Misael Saracho-Ingavi	5,32	5,30
Juan Misael Saracho-Madrid	5,30	5,32
Juan Misael Saracho-15 de Abril	5,35	5,33
Campero-Corrado	5,20	6,25
Campero-Domingo Paz	5,35	4,05
Campero-Bolívar	5,35	5,30
Campero-Ingavi	5,35	5,20
Campero-15 de Abril	5,35	5,35
General Trigo-Corrado	6,00	5,35
General Trigo-Domingo Paz	5,30	6,10
General Trigo-Bolívar	5,30	5,30
General Trigo-Ingavi	3,10	5,30
General Trigo-Madrid	3,10	7,40
General Trigo-15 de Abril	7,10	5,30
Sucre-Corrado	5,35	6,10
Sucre-Domingo Paz	5,35	5,30
Sucre-Bolívar	3,05	5,30
Sucre-Ingavi	3,05	3,00
Sucre-Madrid	6,51	3,05
Sucre-15 de Abril	3,05	8,10
Daniel Campos-Domingo Paz	5,30	5,30
Daniel Campos-Bolívar	5,30	10,05
Daniel Campos-Ingavi	10,05	3,00
Daniel Campos-Madrid	4,02	3,73
Daniel Campos-15 de Abril	3,00	3,03
Colón-Domingo Paz	5,30	5,30
Colón-Bolívar	10,06	5,30
Colón-Ingavi	10,03	5,40
Colón-Madrid	5,40	5,42
Colón-15 de Abril	7,93	3,03

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS, CÁLCULOS, REDISEÑOS

Una vez obtenida toda la información de campo, se procedió a realizar los cálculos para luego hacer un análisis de los valores obtenidos.

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

Una vez obtenidas las tablas de volúmenes de aforos se obtuvo los volúmenes totales para todas las horas pico y de todos los días.

Para el procesamiento de datos del estudio se comenzó con los volúmenes totales de las horas pico.

4.1.1. Depuración de volúmenes

Luego de tener los datos agrupados se procesó, comenzando con una depuración de datos usando la expresión siguiente:

Media aritmética

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

Donde:

\bar{x} = Media aritmética

x = Valor de observación

N = Número de datos

Desviación estándar

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

Donde:

s = Desviación estándar

x_i = Valor de observación

\bar{x} = Media aritmética

N = Número de datos

Se tomó en cuenta como límite superior la siguiente expresión.

$$s + \bar{x}$$

Y como límite inferior toma la siguiente expresión.

$$s - \bar{x}$$

Eliminando todos los datos que no estén comprendidos entre ese rango.

Calle Campero

Mañana

Tabla 4.1 Depuración de volúmenes Campero-Corrado

N°	Campero	Corrado	Campero	Corrado
1	324	388		
2	273	329	273	329
3	234	345		345
4	254	310	254	
5	280	340	280	340
6	315	365		365
7	280	330	280	330

Fuente: Elaboración propia

$MEDIA_{CAMPERO} = 278$ Veh.

$MEDIA_{CORRADO} = 343$ Veh.

$DESVIACIÓN_{CAMPERO} = 32$

$DESVIACIÓN_{CORRADO} = 26$

$TP_{SUP.} = 310$ $TP_{INF.} = 247$

$TP_{SUP.} = 369$ $TP_{INF.} = 317$

Las tablas de depuración de volúmenes se presentarán en los Anexos 4.

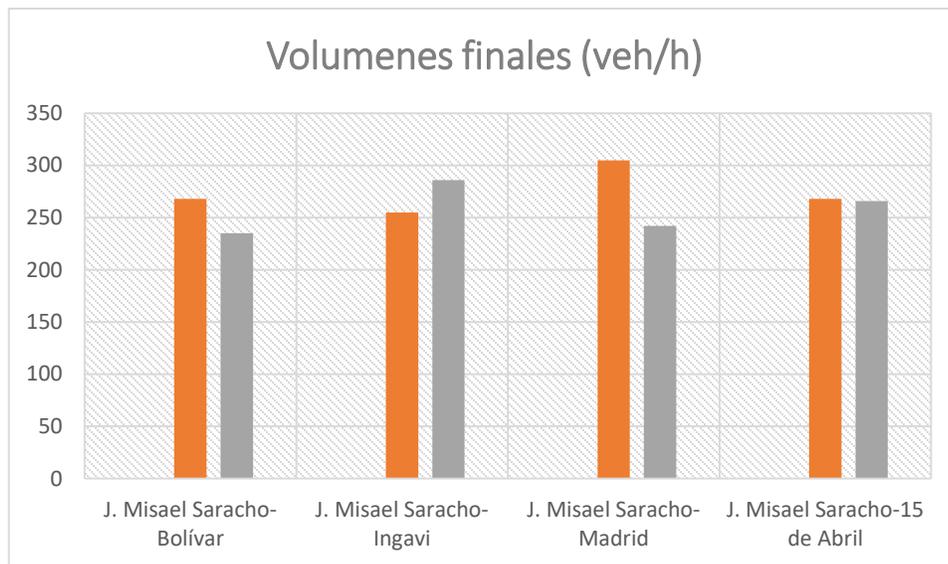
4.1.1.1. Presentación de los datos de volumen de tráfico

Una vez depurados los datos que no están comprendidos en los rangos calculados, se obtienen los volúmenes finales. Los datos recogidos de los conteos de volumen de tráfico se pueden presentar de varias maneras, dependiendo del tipo de conteo conducido y del uso primario de los datos.

El libro guía de ingeniería de tránsito de la UMSS (Universidad Mayor de San Simón), describe algunas de las técnicas convencionales de la presentación.

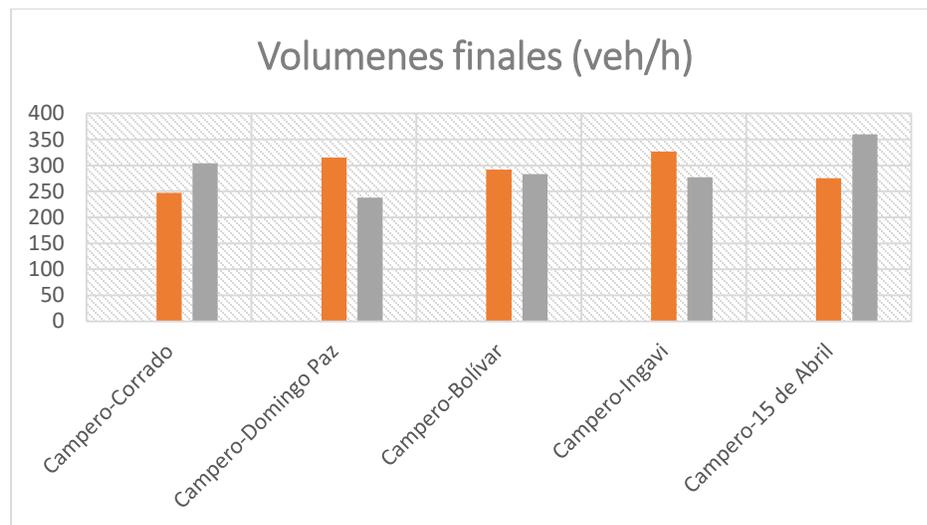
En esta investigación se hará uso tablas y de cartas tiempo de distribución, estas cartas muestran las variaciones de volúmenes de tráfico horarias, diarias, mensuales, anuales en un área o en una carretera particular.

Figura 4.1 Volúmenes finales calle Juan M. Saracho



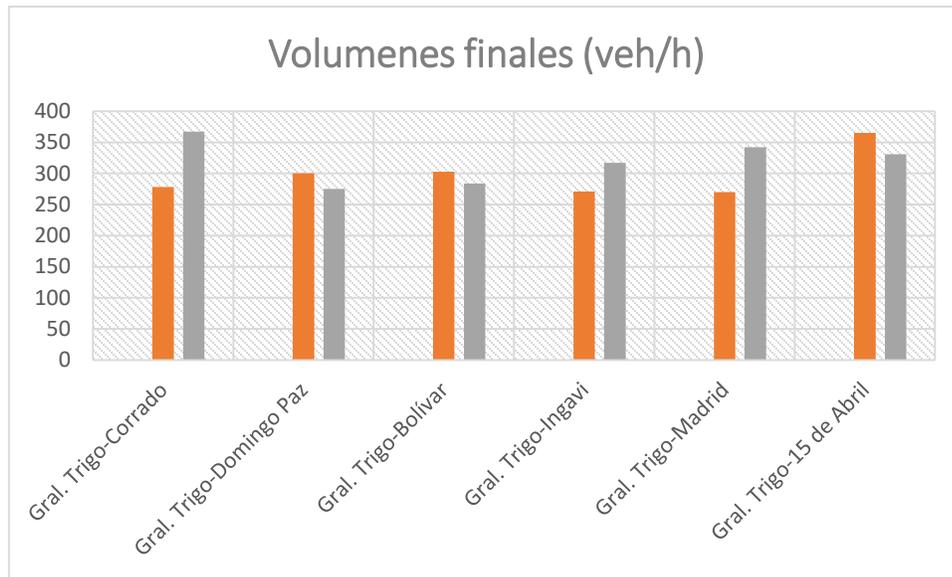
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2 Volúmenes finales calle Campero



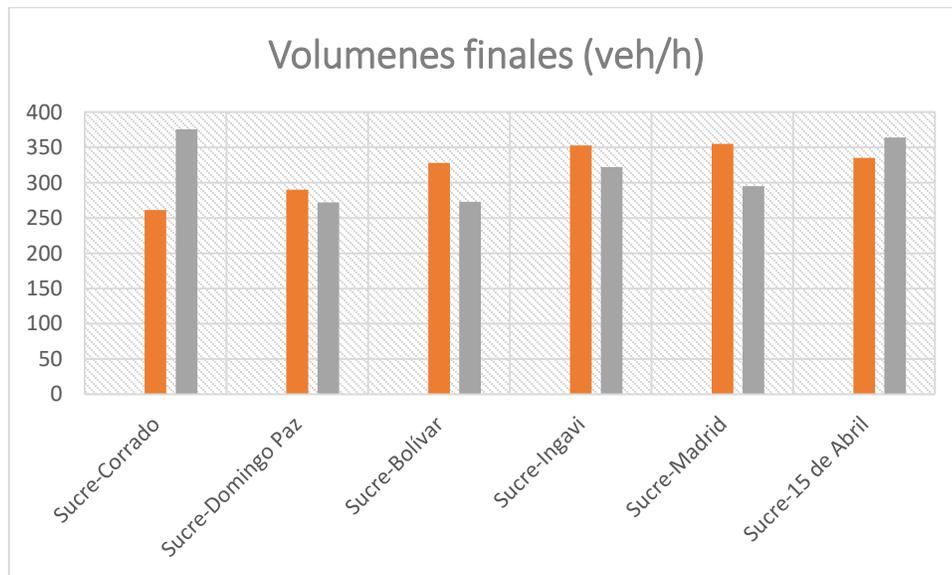
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3 Volúmenes finales calle Gral. Trigo

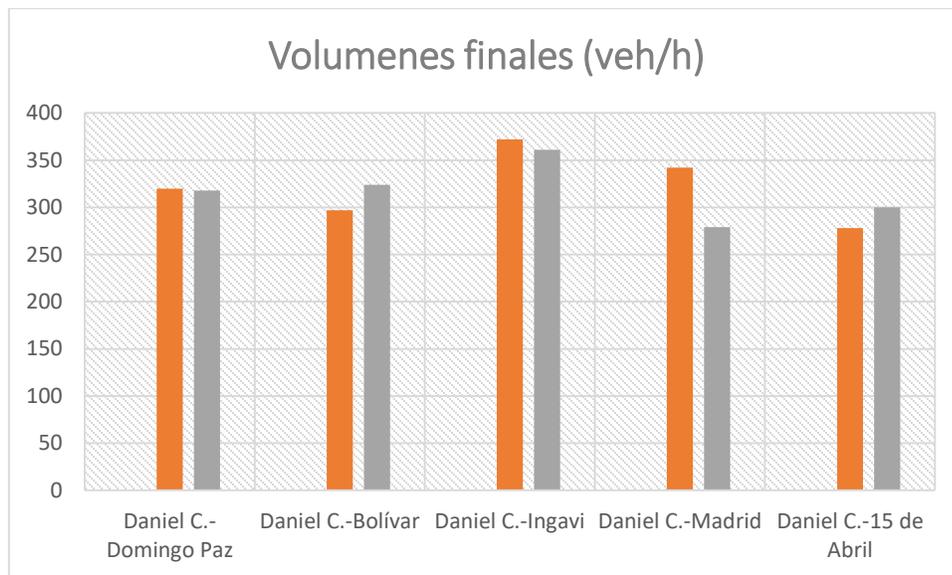


Fuente: Elaboración propia

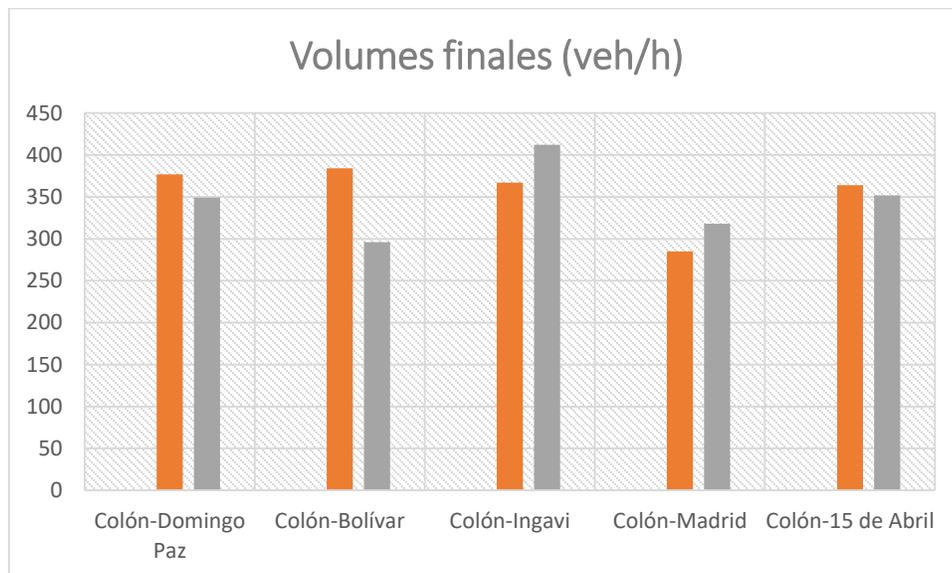
Figura 4.4 Volúmenes finales calle Sucre



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5 Volúmenes finales calle Daniel C.

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6 Volúmenes finales calle Colón

Fuente: Elaboración propia

Las tablas de volúmenes se presentan en los Anexos 5.

4.1.2. Depuración de velocidades

En el libro ingeniería de tránsito fundamentos y aplicaciones de Cal y Mayor, James Cárdenas afirma que los parámetros más significativos que describen adecuadamente las características de la distribución de velocidades de punto de un flujo vehicular son:

Velocidad media de punto

Esta velocidad es una estimación de la velocidad esperada de cualquier vehículo al azar, en el punto donde el estudio fue realizado, y estadísticamente un estimador de la velocidad media real de punto de la población.

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

Donde:

\bar{x} = Media aritmética

x = Valor de observación

N = Número de datos

Desviación estándar

Debido a que no todos los vehículos viajan a la misma velocidad, existe una dispersión de sus velocidades alrededor de la media. Una medida estadística de dispersión es la desviación estándar, la cual por definición se expresa como:

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

Donde:

s = Desviación estándar

x_i = Valor de observación

\bar{x} = Media aritmética

N = Número de datos

Se tomó en cuenta como límite superior la siguiente expresión:

$$s + \bar{x}$$

Y como límite inferior toma la siguiente expresión:

$$s - \bar{x}$$

Eliminando todos los datos que no estén comprendidos entre ese rango.

Calle Campero

Mañana

Tabla 4.2 Depuración de velocidades Campero-Corrado

Nº	Campero	Corrado	Campero	Corrado
1	8,14	18,38	8,14	14,13
2	10,13	14,63	10,13	
3	11,16	17,91	11,16	
4	8,19	13,53	8,19	
5	11,46	14,26		
			9,32	

Fuente: Elaboración propia

$MEDIA_{CAMPERO} = 9,71$ km/h

$MEDIA_{CORRADO} = 15,62$ km/h

$DESVIACIÓN_{CAMPERO} = 1,59$

$DESVIACIÓN_{CORRADO} = 2,24$

$R_{SUP.} = 11,30$ $R_{INF.} = 8,13$

$R_{SUP.} = 17,85$ $R_{INF.} = 13,38$

Las tablas de depuración de velocidades se presentarán en los Anexos 6.

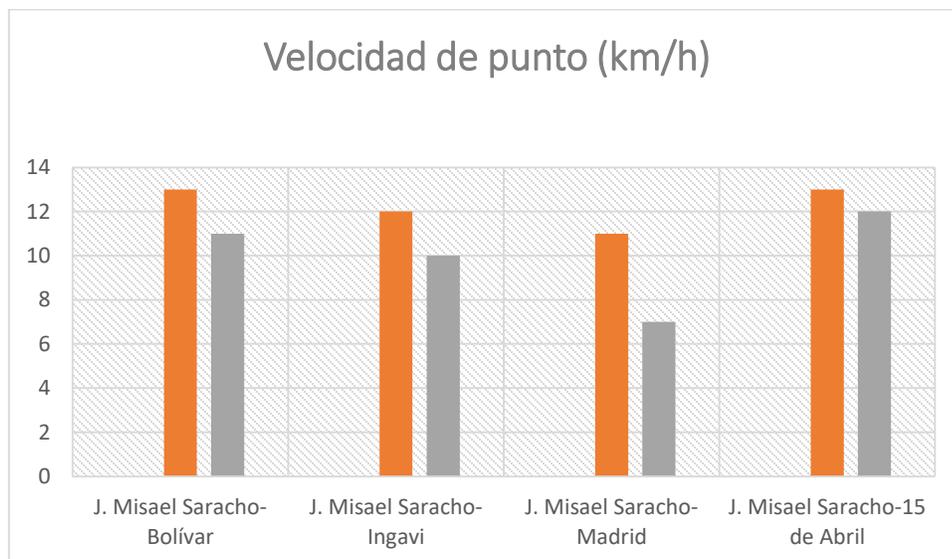
4.1.2.1. Presentación de los datos de velocidad de punto

Una vez depurados los datos que no están comprendidos en los rangos calculados, se obtienen las velocidades de punto finales.

Los datos recogidos en un estudio de velocidades de punto son generalmente de una muestra de vehículos usando una sección de carretera en la cual se conduce dicho estudio, pero estos datos se utilizan para determinar las características de la velocidad de la población entera de los vehículos que viajan en el sitio del estudio.

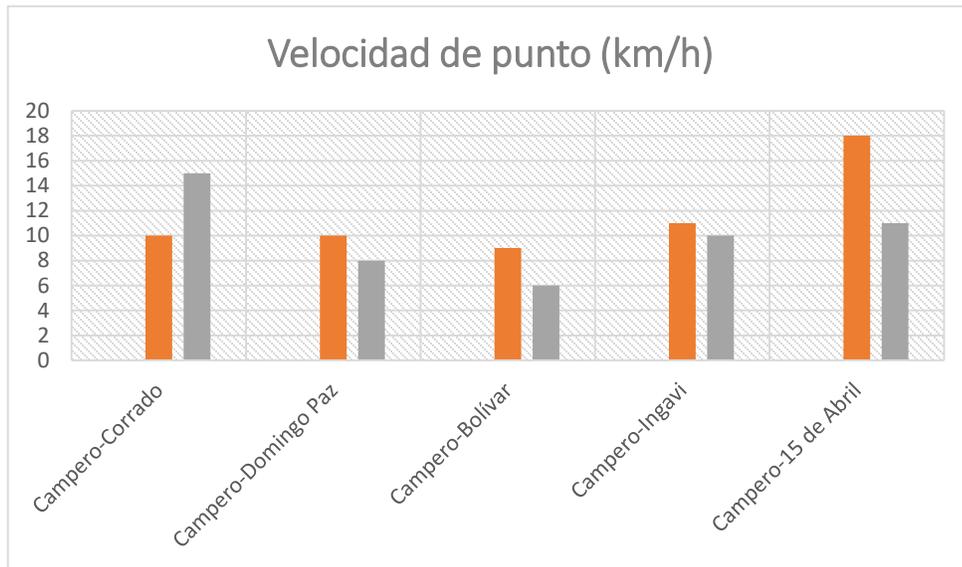
El libro guía de ingeniería de tránsito de la UMSS (Universidad Mayor de San Simón), describe algunas de las técnicas convencionales de la presentación. Los datos se pueden presentar en la forma de un histograma, un diagrama de barras. En esta investigación se presentará en diagrama de barras.

Figura 4.7 Velocidades finales calle Juan M. Saracho



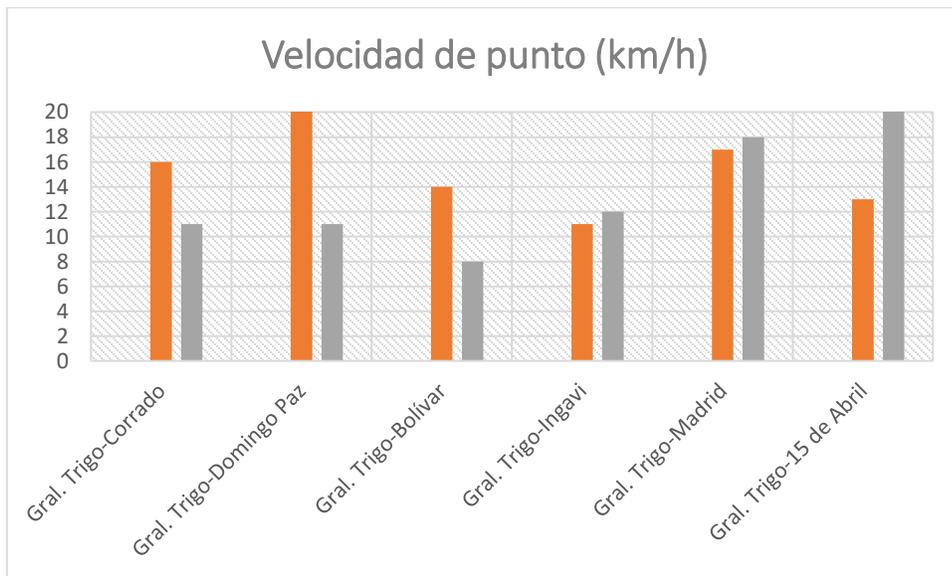
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8 Velocidades finales calle Campero



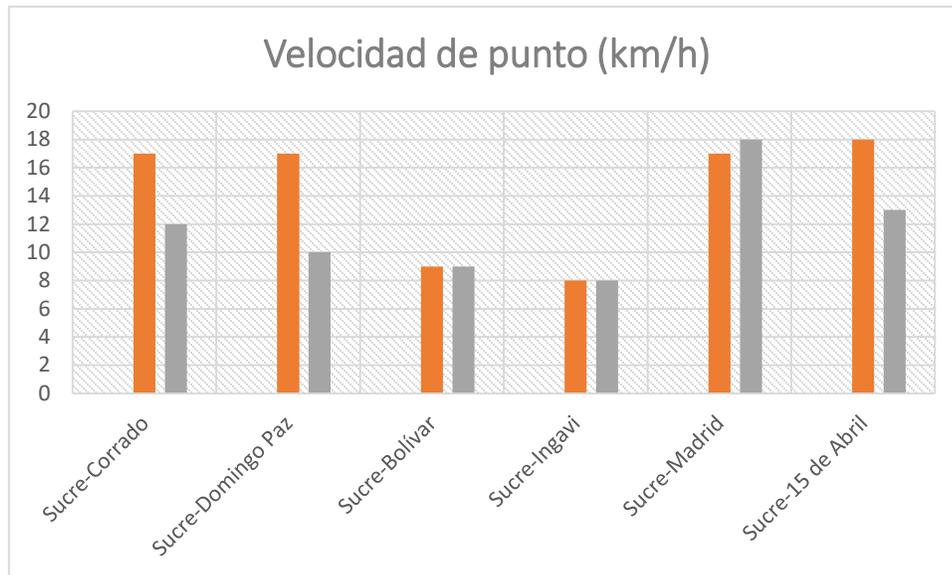
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9 Velocidades finales calle Gral. Trigo



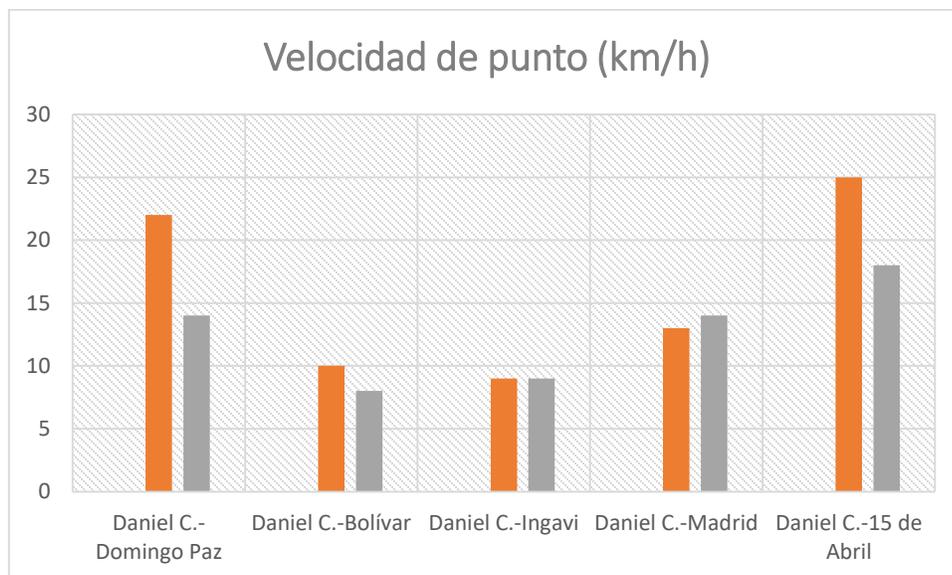
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10 Velocidades finales calle Sucre



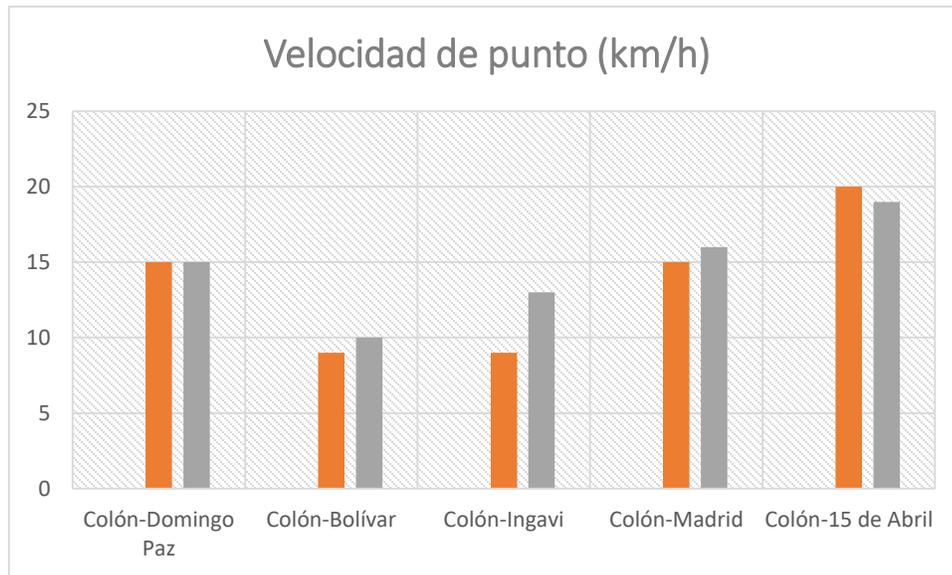
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11 Velocidades finales calle Daniel C.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12 Velocidades finales calle Colón



Fuente: Elaboración propia

Las tablas de velocidades finales se presentan en los Anexos 7.

4.2. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS

4.2.1. Módulo de intensidades de saturación

Se calcula la intensidad de saturación para cada grupo de carriles de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$s = s_o * f_W * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{LU} * f_{LT} * f_{RT} * f_{Lpb} * f_{Rpb}$$

Donde:

s = Intensidad de saturación para el grupo de carriles estudiado, expresada como total de todos los carriles del grupo de carriles en las condiciones prevalecientes, en v/hv

s_o = Intensidad de saturación ideal por carril, normalmente 1750 vl/hv/c

f_W = Factor de ajuste por anchura de carril (el estándar es el carril de 3,60m)

f_{HV} = Factor de corrección por la proporción vehículos pesados en la corriente de circulación

f_g = Factor de ajuste por la inclinación del acceso

f_p = Factor de ajuste por la existencia de un carril de estacionamiento adyacente al grupo de carriles, y por la actividad de estacionamiento en ese carril

f_{bb} = Factor de ajuste por efecto de los autobuses locales que paran dentro de la zona de influencia de la intersección

f_a = Factor de ajuste por el tipo de área

f_{LU} = Factor de ajuste para la utilización de la vía

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

f_{RT} = Factor de ajuste por giros a la derecha en el grupo de carriles

f_{Lpb} = Factor de ajuste pedestre por giros a la izquierda en el grupo de carriles

f_{Rpb} = Factor de ajuste de bicicleta pedestre por giros a la derecha en el grupo de carriles

Campero-Corrado

Intensidad de saturación ideal

El cálculo comienza con la selección de la intensidad de saturación ideal, 1.750 vehículos por hora por carril (veh/hv/c).

Factor de Ajuste por ancho de carril

Anchura media de carril A (m)	Factor de anchura de carril, f_w
<3,00	0,96
$\geq 3,00$ -3,92	1,00
>3,92	1,04

Para ambos carriles el valor es $f_w=1,04$

Factor de Ajuste por vehículos pesados

f_{HV} se calcula como sigue:

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

Campero

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

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + 0\%(2 - 1)}$$

$$f_{HV} = 1,00$$

Corrado

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

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + 0\%(2 - 1)}$$

$$f_{HV} = 1,00$$

El auto de pasajeros (ET) equivalente usado por cada vehículo pesado es de dos unidades y se refleja en la fórmula.

Factor de Ajuste por inclinación de acceso

El acceso de la calle Corrado es a nivel, sin inclinación de la rasante, y para la calle Campero tiene una inclinación de 2% lo cual al reemplazar en la siguiente fórmula el valor obtenido de dicho factor es:

Campero

$$f_g = 1 - \frac{P_g}{200}$$

$$f_g = 1 - \frac{2\%}{200}$$

$$f_g = 0,99$$

Corrado

$$f_g = 1 - \frac{P_g}{200}$$

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

$$f_g = 1,00$$

Factor de Ajuste por estacionamiento

Las calles Campero y Corrado poseen carril para estacionamiento, por lo tanto, si utilizamos la fórmula dada por el manual, el factor de ajuste f_p será:

Campero

$$f_p = \frac{N - 0,1 - 18N_m/3600}{N}$$

$$f_p = \frac{1 - 0,1 - 18 * 10/3600}{1}$$

$$f_p = 0,85$$

Corrado

$$f_p = \frac{N - 0,1 - 18N_m/3600}{N}$$

$$f_p = \frac{1 - 0,1 - 18 * 10/3600}{1}$$

$$f_p = 0,85$$

Factor de Ajuste por efecto de los autobuses que paran dentro de la zona de influencia de la intersección

En el acceso de la calle Campero se detienen autobuses antes de la intersección a menos de 75m de la misma.

El factor de ajuste es entonces:

Campero

$$f_{bb} = \frac{N - 14,4N_b/3600}{N}$$

$$f_{bb} = \frac{2 - 14,4 * 56/3600}{2}$$

$$f_{bb} = 0,78$$

Corrado

$$f_{bb} = \frac{N - 14,4N_b/3600}{N}$$

$$f_{bb} = \frac{2 - 14,4 * 0/3600}{2}$$

$$f_{bb} = 1,00$$

Factor de Ajuste por tipo de área

Tipo de área	Factor de tipo de área, fa
Centro urbano	0,90
Otras zonas	1,00

Factor de Ajuste para la utilización de la vía

Si el grupo de la vía tiene una vía compartida o una vía exclusiva, entonces este factor es 1 para ambos carriles.

Factor de ajuste por giros a la izquierda en el grupo de carriles

La calle Campero posee giros a la izquierda, por lo tanto, el factor de ajuste f_{LT} es igual a 0,92. La calle Corrado no posee giros a la izquierda siendo el factor igual a 1.

Campero

$$f_{LT} = 1$$

Corrado

$$f_{LT} = 1$$

Factor de Ajuste por giros a la derecha en el grupo de carriles

La calle Campero no posee giros a la derecha, por lo tanto, el factor de ajuste f_{RT} es igual a 1. La calle Corrado posee giros a la derecha siendo el factor igual a 0,75.

Campero

$$f_{RT} = 1$$

Corrado

$$f_{RT} = 0,75$$

Factor de Ajuste de peatones y bicicletas por giros a la izquierda

El valor dado en el manual es $f_{Lpb} = 1$, por lo tanto, para ambos carriles el valor es 1.

Factor de ajuste de peatones y bicicletas por giros a la derecha

El valor dado en el manual es $f_{Rpb} = 1$, por lo tanto, para ambos carriles el valor es 1.

Luego de obtenidos los factores de ajuste se calcula la intensidad de saturación para los carriles estudiados, expresado como total de todos los carriles del grupo de carriles, en veh/hv, reemplazando en la siguiente ecuación.

$$s = s_o * f_W * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{LU} * f_{LT} * f_{RT} * f_{Lpb} * f_{Rpb}$$

Campero

$$s = 1750 \times 1,04 \times 1 \times 0,99 \times 0,85 \times 0,78 \times 0,90 \times 1 \times 0,95 \times 1 \times 1 \times 1 = 1016 \text{ veh/hv}$$

Corrado

$$s = 1750 \times 1,04 \times 1 \times 1 \times 0,85 \times 1 \times 0,90 \times 1 \times 1 \times 0,85 \times 1 \times 1 = 1183 \text{ veh/hv}$$

4.2.2. Determinación de la capacidad

Una vez encontrado el flujo de saturación y conociendo los tiempos de verde para cada acceso se obtiene la capacidad (**c**) de carriles o grupos de carriles del acceso en estudio.

La capacidad de un grupo de carriles dado se establece con la siguiente ecuación:

$$c_i = s_i \left(\frac{g_i}{C} \right)$$

Donde:

c_i = Capacidad del acceso o grupo de carriles (vph)

s_i = Intensidad de saturación para el grupo de carriles i (v/hv)

g_i = Tiempo verde efectivo para el acceso o grupo de carriles (s_i)

C = Ciclo del semáforo (s)

Campero

$$g/C = \frac{14}{36}$$

$$g/C = 0,39$$

Corrado

$$g/C = \frac{18}{36}$$

$$g/C = 0,50$$

Por lo tanto:

Campero

$$c_i = 1016 * 0,39$$

$$c_i = 395 \text{ vph}$$

Corrado

$$c_i = 1183 * 0,50$$

$$c_i = 592 \text{ vph}$$

4.2.3. Relación I/C

Posteriormente se calcula la relación I/c, donde I es el volumen de tránsito en las horas de máxima demanda. Se representa por el símbolo X. Conocida también como grado de saturación.

$$X_i = (I/c)_i = \frac{I_i}{s_i(g_i/C)}$$

Donde:

$X_i = (I/c)_i =$ Relación del grupo de carriles i

$I_i =$ Flujo de circulación real para un grupo de carriles i (v/h)

$s_i =$ Intensidad de saturación para el grupo de carriles i, (v/vh)

$g_i =$ Tiempo de verde efectivo para el grupo de carriles i, (s)

Campero

$$X = \frac{247}{395}$$

$$X = 0,62$$

Corrado

$$X = \frac{304}{592}$$

$$X = 0,51$$

4.2.4. Grupo de carriles crítico

Como último paso se identifica los grupos de carriles críticos que serán aquellos grupos de carriles que tenga el mayor índice de saturación en cada fase.

$$X_c = \sum (I/s)_{ci} \frac{C}{C-L}$$

Donde:

$X_c =$ Relación I/c crítica para la intersección

$C =$ Duración del ciclo (s)

$L =$ Tiempo total perdido por ciclo (s)

$\sum (I/s)_{ci} =$ Sumatorio de índices de saturación para todos los grupos de carriles críticos, i.

Campero

$$X_c = (0,24)(36/(36 - 12))$$

Corrado

$$X_c = (0,24)(36/(36 - 12))$$

$$X_c = 0,36$$

$$X_c = 0,38$$

Tabla 4.3 Análisis operacional de la intersección

		Calle Campero	Calle Corrado
Intensidad de saturación	s	1016	1183
Capacidad	c	395	592
Relación I/C	X	0,62	0,51
Carril crítico	Xc	0,37	0,39
Intersección	Xc	0,76	

Fuente: Elaboración propia

Quiere esto decir, que la intersección funciona al 76% de su capacidad en los grupos de carriles.

De esta manera se procede al cálculo de intensidades de saturación, capacidades, relación I/c y grupo de carriles crítico para todas las intersecciones en estudio.

4.3. CÁLCULO DE FASES DEL SEMÁFORO

Para el cálculo de tiempos de semáforo se utilizó el libro ingeniería de tránsito fundamentos y aplicaciones de Cal y Mayor Reyes, James Cárdenas Grisales. El manual de dispositivos de control de tránsito recomienda ciclos que tienen entre 46-120 segundos de duración.

4.3.1. Intervalo de cambio de fase

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

Donde:

y = Intervalo de cambio de fase, amarillo más todo rojo (s)

t = Tiempo de percepción- reacción del conductor (1 s)

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

a = Tasa de deceleración (3,05m/s²)

W = Ancho de la intersección (m)

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

Campero

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

$$y = \left(1 + \frac{2,78}{2 * 3,05} \right) + \left(\frac{5,20 + 6,10}{2,78} \right)$$

$$y = 1,46 + 4,07$$

Redondeando:

$$y = 2 + 5 = 7$$

Amarillo = $A_1 = 2$ seg.

Todo rojo = $TR = 5$ seg.

Corrado

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

$$y = \left(1 + \frac{4,17}{2 * 3,05} \right) + \left(\frac{6,25 + 6,10}{4,17} \right)$$

$$y = 1,68 + 2,96$$

Redondeando:

$$y = 2 + 3 = 5$$

Amarillo = $A_2 = 2$ seg.

Todo rojo = $TR = 3$ seg.

4.3.2. Tiempo perdido por fase

$$l_i = y_i = A_i$$

Campero

$$l_1 = y_1 = 2 \text{ s.}$$

Corrado

$$l_2 = y_2 = 2 \text{ s.}$$

4.3.3. Tiempo total perdido

El tiempo total L perdido por ciclo es:

$$L = \left(\sum_{i=1}^{\varphi} l_i \right) + TR$$

Donde:

$\sum_{i=1}^{\varphi} l_i$ = Sumatoria de tiempos perdidos por fase (s)

TR = Todo rojo (s)

$$L = (2 + 2) + 5 + 3$$

$$L = 12 \text{ s.}$$

4.3.4. Máximas relaciones de flujo actual a flujo de saturación máximo (s) por carril para cada fase

$$Y_i = \frac{q_{i\text{máx}}}{s}$$

Donde:

$q_{im\acute{a}x}$ = Representa el flujo cr\acute{itico o m\acute{a}ximo por carril de la fase i

s = Intensidad de saturaci3n para el grupo de carriles (v/vh)

Campero

$$Y_i = \frac{q_{im\acute{a}x}}{s}$$

$$Y_1 = \frac{247}{1016}$$

$$Y_1 = 0,24$$

Corrado

$$Y_i = \frac{q_{im\acute{a}x}}{s}$$

$$Y_2 = \frac{304}{1183}$$

$$Y_2 = 0,26$$

4.3.5. Longitud de ciclo

$$C_o = \frac{1,5L + 5}{1 - \sum_{i=1} y_i}$$

C_o = Tiempo 3ptimo de ciclo (s)

L = Tiempo total perdido por ciclo (s)

Y_i = M\acute{a}ximo valor de la relaci3n entre el flujo actual y el flujo de saturaci3n m\acute{a}ximo para cada acceso o movimiento o carril cr\acute{itico.

$$C_o = \frac{1,5 * 12 + 5}{1 - 0,24 - 0,26}$$

$$C_o = 46 \text{ s.}$$

En general los ciclos adoptados tienen entre 46 y 120 segundos de duración. Como el tiempo de ciclo se encuentra dentro de los ciclos recomendados en el manual, se adopta el tiempo de ciclo de 46 segundos.

4.3.6. Tiempo verde efectivo total

$$g_T = C - L$$

Donde:

g_T = Tiempo de verde total (s)

C = Tiempo óptimo de ciclo (s)

L = Tiempo total perdido por ciclo (s)

$$g_T = 46 - 12$$

$$g_T = 34 \text{ s.}$$

4.3.7. Reparto de tiempos verdes efectivos

$$g_i = \frac{y_i}{\sum_{i=1}^{\phi} y_i} g_T$$

Donde:

g_i = Reparto de tiempos efectivos (s)

g_T = Tiempo de verde total (s)

y_i = Máximo valor de la relación entre el flujo actual y el flujo de saturación máximo para cada acceso o movimiento o carril crítico.

Campero

Corrado

$$g_1 = \frac{0,24}{0,24 + 0,26} * 0,34$$

$$g_1 = 17 \text{ s.}$$

$$g_2 = \frac{0,26}{0,26 + 0,24} * 0,34$$

$$g_2 = 17 \text{ s.}$$

4.3.8. Determinación de tiempos verdes reales

$$G_i = g_i + l_i + A_i$$

Donde:

G_i = Tiempo de verde real (s)

g_i = Reparto de tiempos efectivos (s)

l_i = Tiempo perdido por fase (s)

A_i = Intervalo amarillo (s)

Campero

$$G_1 = 17 + 2 - 2$$

$$G_1 = 17 \text{ s.}$$

Corrado

$$G_2 = 17 + 2 - 2$$

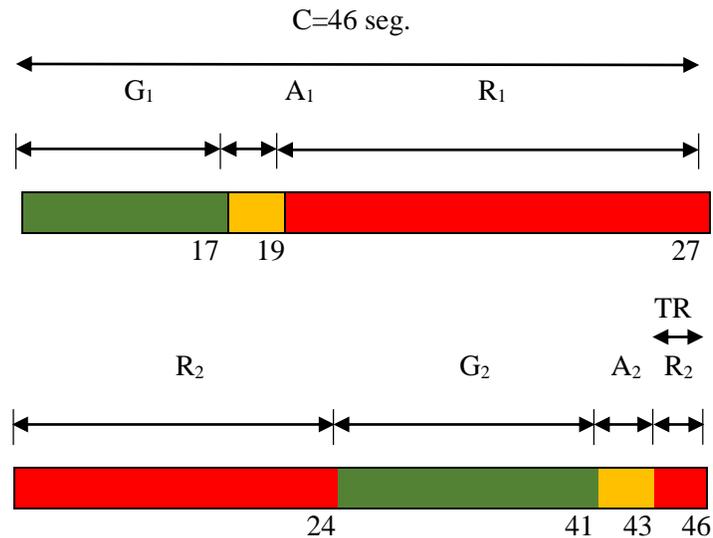
$$G_2 = 17 \text{ s.}$$

Tabla 4.4 Fases y tiempo de ciclo Campero-Corrado

	Campero	Corrado
Longitud de ciclo (seg.)	46	46
Fase rojo (seg.)	27	27
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	17	17

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13 Diagrama de tiempos



Fuente: Elaboración propia

4.4. PROGRAMA DE MODELACIÓN DE TRÁFICO

El manual de capacidad de carreteras HCM 2010 que por sus siglas en inglés Highway Capacity Manual proporciona prácticas e investigaciones del transporte con un sistema consistente de técnicas para la evaluación del comportamiento de flujos interrumpidos o intersecciones semaforizadas.

Como así también en la actualidad existen diferentes softwares que son empleados para la evaluación de intersecciones semaforizadas, como ser el programa Synchro traffic que emplea metodologías del HCM 2010 para el análisis de una intersección semaforizada, estos modelos de simulación permiten complementar los estudios relacionados con el tránsito vehicular al reproducir en forma aproximada la realidad.

En el presente trabajo se empleará el software Synchro traffic para validar la obtención de resultados.

Como un ejemplo se hará la aplicación de este programa en una de las intersecciones en estudio; para poder comparar los resultados obtenidos en gabinete con los obtenidos con este software.

Programa Synchro Traffic

Synchro es un software empleado para la evaluación y la optimización de dispositivos de semafóricos de tránsito en una red vial, evitando la necesidad de hacer múltiples análisis.

Componentes

Synchro es el que se crean los modelos de tránsito con la entrada de datos necesarios.

Simtraffic es el que se pueden visualizar los datos de las salidas resultantes del modelo y la simulación dinámica.

Aplicaciones

Los principales análisis que se pueden llevar a cabo son:

- Intersecciones semaforizadas (controladores de tiempo fijo, actuados y semiactuados)
- Intersecciones no semaforizadas (incluyendo el análisis de rotondas).

Alcance

Para el análisis de intersecciones semaforizadas de tiempo fijo se debe definir:

- La duración del ciclo.
- La duración de las fases.

- El número y la secuencia de las fases.

Para los controladores actuados se debe definir si el sistema es semiactuado coordinado, semiactuado no coordinado o actuado.

En el análisis se debe determinar el manejo de los giros izquierdos en las intersecciones (si están permitidos o protegidos).

Entrada de datos configuración de botones



Este es el botón de ajustes de carril. Utilice este botón o la tecla [F3] para cambiar a ajustes de carril.



Este es el botón de ajustes de volumen. Utilice este botón o la tecla [F4] para activar ajustes de volumen.



Este es el botón de ajustes de sincronización. Utilice este botón o la tecla [F5] para activar los ajustes de tiempo. Este botón no está visible si una intersección señalizada es seleccionada.



Este es el botón de configuración de firma. Utilice este botón o la tecla [F5] para activar los ajustes de firma. Este botón no está visible si una intersección no semaforizadas está seleccionada.



Este es el botón de ajustes de la eliminación gradual. Utilice este botón o la tecla [F6] para activar los ajustes de fases.



Este es el botón de ajustes de simulación. Utilice este botón o la tecla [F10] para activar el botón de ajustes de simulación.



Este es el botón de configuración del detector. Utilice este botón o la tecla [F11] para activar los ajustes de detector.



Este es el botón de ajustes de HCM 2010. Utilice este botón para activar el manual de capacidad de carreteras año 2010. Se incluyen los métodos para el modo de automóviles, modo peatonal y de bicicletas.



Este es el botón de diagrama Tiempo-Espacio. Utilice este botón o la tecla [F7] para activar el esquema de tiempo-espacio. Una intersección o enlace deben ser seleccionado para este botón esté activo.



Este es el botón selección de intersección. Utilice este botón o la tecla [F8] para llevar una lista de las intersecciones de la red. La elección de una intersección y pulsar [OK] cambiará la configuración actual de esa intersección. Adicionalmente, el mapa Ver se centrará en la intersección seleccionada. Este botón es siempre activo.



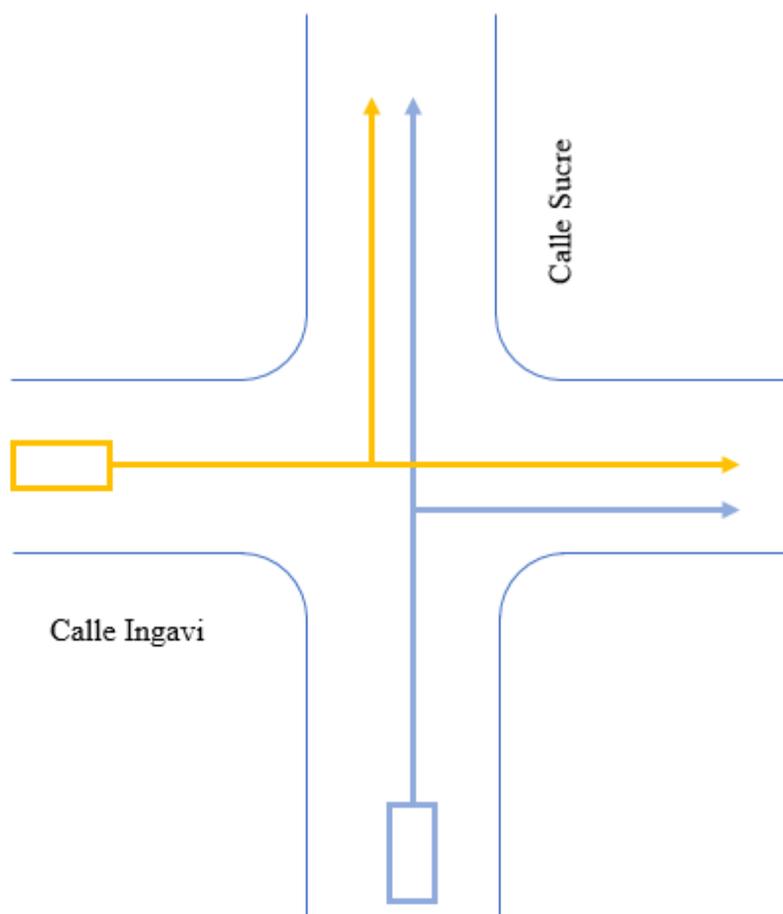
Este es el botón de animación SimTraffic. Utilice este botón o pulse [Ctrl] + [G] para empezar SimTraffic y cargar el archivo actual en SimTraffic. Este botón es siempre activo.

Simulación de tráfico vehicular intersección calle Sucre-Ingavi

Mediante el uso del programa Synchro Traffic 8.0 se ha caracterizado una de las intersecciones en estudio, introduciendo los datos necesarios para la simulación de tráfico.

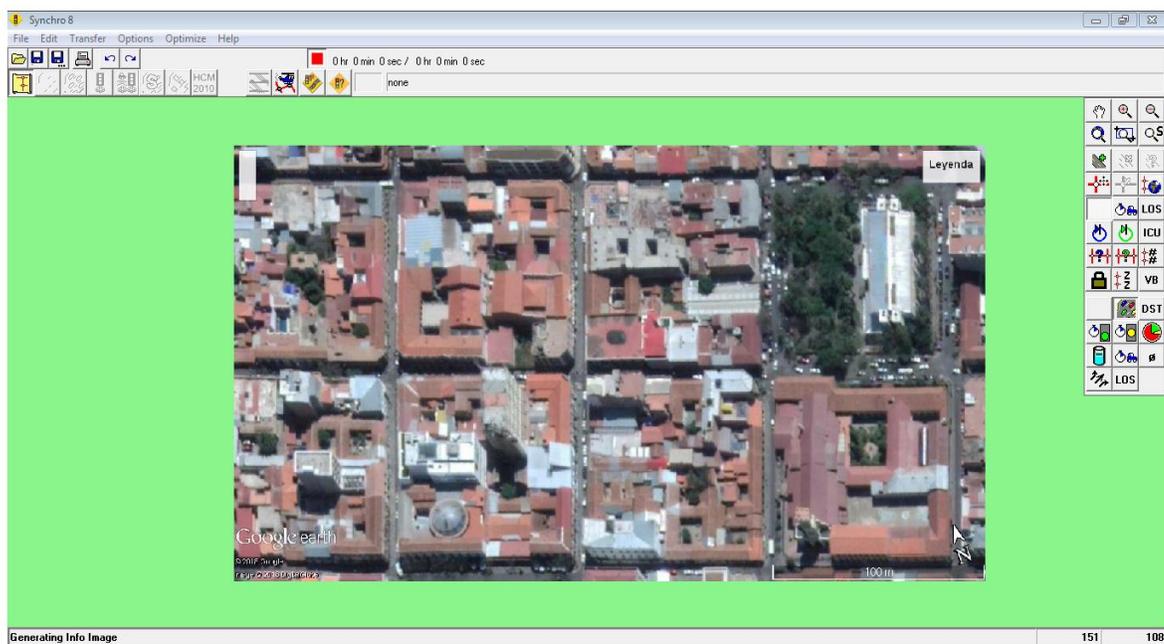
A continuación, podemos observar cómo se realizó la modelación de la intersección crítica Sucre-Ingavi.

Figura 4.14 Croquis intersección Sucre-Ingavi



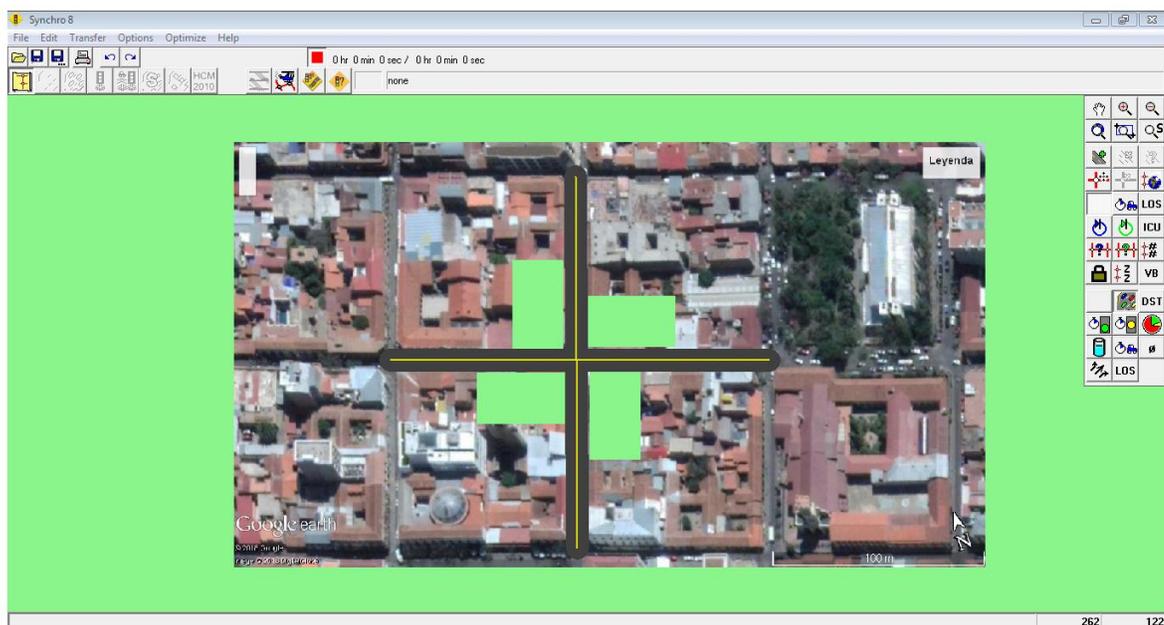
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15 Vista previa de la intersección usando Synchro traffic



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16 Uso del Synchro para trazar las calles en estudio



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17 Se observa cómo se ingresa los datos de aforo según cada giro



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18 Se ingresan valores para caracterizar el modelo



Fuente: Elaboración propia

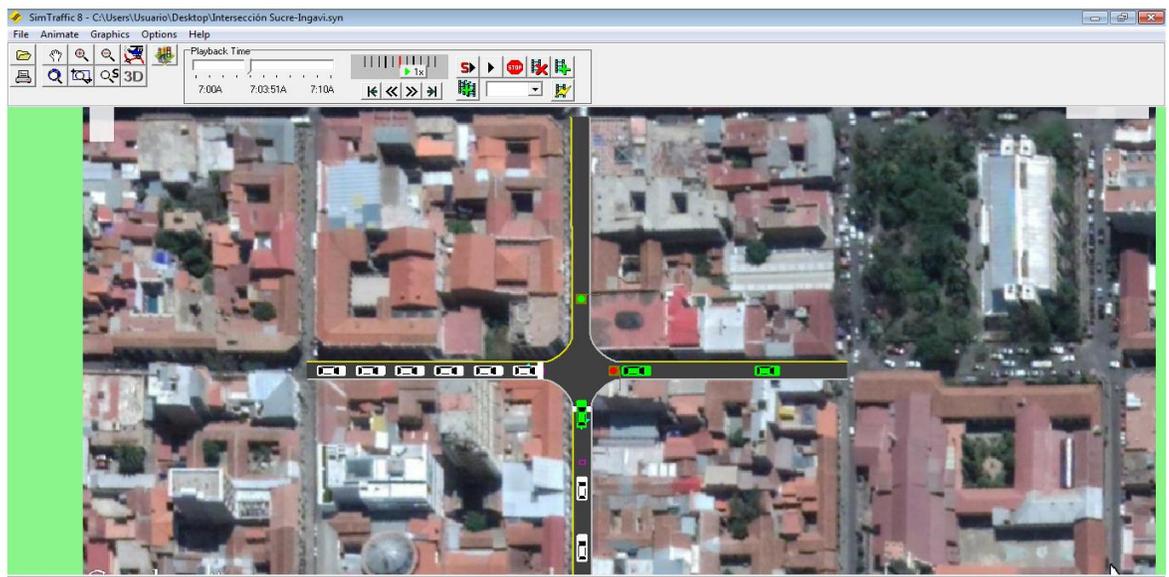
Figura 4.19 Se observa cómo se realiza el ajuste de fases

The screenshot shows the Synchro 8 software interface. On the left, the 'NODE SETTINGS' panel displays various parameters for Node # 3, including Zone, Easting (280.7), Northing (148.9), Elevation (0.0), and Cycle Length (112.0). The main area is the 'TIMING SETTINGS' table, which is organized by approach: EBL, EBT, EBR, WBL, WBT, WBR, NBL, NBT, NBR, SBL, SBT, SBR, PED, and HOLD. The table lists various timing parameters such as Turn Type, Protected Phases, Permitted Phases, Detector Phases, Switch Phase, Leading and Trailing Detector lengths, Minimum Initial, Minimum Split, Total Split, Yellow and All-Red Times, Lost Time Adjust, Lagging Phase?, Allow Lead/Lag Optimize?, Recall Mode, Actuated Effect Green, Actuated g/C Ratio, Volume to Capacity Ratio, Control Delay, Queue Delay, Total Delay, Level of Service, Approach Delay, and Approach LDS. At the bottom, a status bar shows 'Leading Advanced Extension Detector to stop bar, in meters' and 'v/c > 1 Mins ok'.

	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR	PED	HOLD
Turn Type	Perm	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Protected Phases	---	4	---	---	---	---	---	2	---	---	---	---	---	---
Permitted Phases	---	4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Detector Phases	---	4	4	---	---	---	---	2	---	---	---	---	---	---
Switch Phase	---	0	0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Leading Detector (m)	---	10.0	---	---	---	---	---	10.0	---	---	---	---	---	---
Trailing Detector (m)	---	0.0	---	---	---	---	---	0.0	---	---	---	---	---	---
Minimum Initial (s)	---	4.0	4.0	---	---	---	---	4.0	---	---	---	---	---	---
Minimum Split (s)	---	56.0	56.0	---	---	---	---	56.0	---	---	---	---	---	---
Total Split (s)	---	56.0	56.0	---	---	---	---	56.0	---	---	---	---	---	---
Yellow Time (s)	---	2.0	2.0	---	---	---	---	2.0	---	---	---	---	---	---
AllRed Time (s)	---	35.0	35.0	---	---	---	---	31.0	---	---	---	---	---	---
Lost Time Adjust (s)	---	---	0.0	---	---	---	---	0.0	---	---	---	---	---	---
Lagging Phase?	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Allow Lead/Lag Optimize?	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Recall Mode	Max	Max	---	---	---	---	---	Max	---	---	---	---	---	---
Actuated Effect Green (s)	---	19.0	---	---	---	---	---	23.0	---	---	---	---	---	---
Actuated g/C Ratio	---	0.17	---	---	---	---	---	0.21	---	---	---	---	---	---
Volume to Capacity Ratio	---	1.45	---	---	---	---	---	1.33	---	---	---	---	---	---
Control Delay (s)	---	260.2	---	---	---	---	---	208.2	---	---	---	---	---	---
Queue Delay (s)	---	0.0	---	---	---	---	---	0.0	---	---	---	---	---	---
Total Delay (s)	---	260.2	---	---	---	---	---	208.2	---	---	---	---	---	---
Level of Service	---	F	---	---	---	---	---	F	---	---	---	---	---	---
Approach Delay (s)	---	260.2	---	---	---	---	---	208.2	---	---	---	---	---	---
Approach LDS	---	F	---	---	---	---	---	F	---	---	---	---	---	---
Queue Length 50% (s)	---	~110.2	---	---	---	---	---	~115.2	---	---	---	---	---	---

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.20 Se aprecia la modelación de la intersección



Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidos los resultados, se realiza una comparación con los resultados obtenidos en la evaluación mediante el análisis operacional y mediante el programa Synchro.

Tabla 4.5 Comparación de resultados

	Sucre	Ingavi
Longitud de ciclo (seg.)	56	56
Fase rojo (seg.)	31	35
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	23	19

	Sucre	Ingavi
Longitud de ciclo (seg.)	58	58
Fase rojo (seg.)	31	35
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	25	21

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar que los resultados obtenidos con el programa varían en la longitud de ciclo, la fase roja y amarilla son de valores iguales, y la fase verde varía con 2 segundos. Por lo que consideramos que la aplicación del programa Synchro para la evaluación de intersecciones semaforizadas, es un método eficiente de evaluar y caracterizar las intersecciones.

4.5. RESULTADOS

A continuación, se resumen todos los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología de análisis operacional de intersecciones semaforizadas.

Tablas 4.6 Análisis operacional calle J. Misael. Saracho

		Calle J. Misael Saracho	Calle Bolívar
Intensidad de saturación	s	1211,00	1323,00
Capacidad	c	606,00	529,00
Relación I/C	X	0,44	0,44
Carril crítico	Xc	0,31	0,25
Intersección	Xc	0,55	

		Calle J. Misael Saracho	Calle Ingavi
Intensidad de saturación	s	1338,00	1183,00
Capacidad	c	669,00	473,00
Relación I/C	X	0,38	0,60
Carril crítico	Xc	0,28	0,36
Intersección	Xc	0,64	

		Calle J. Misael Saracho	Calle Madrid
Intensidad de saturación	s	1183,00	1144,00
Capacidad	c	592,00	458,00
Relación I/C	X	0,52	0,53
Carril crítico	Xc	0,40	0,33
Intersección	Xc	0,73	

		Calle J. Misael Saracho	Calle 15 de Abril
Intensidad de saturación	s	1362,00	1197,00
Capacidad	c	545,00	479,00
Relación I/C	X	0,49	0,56
Carril crítico	Xc	0,28	0,32
Intersección	Xc	0,60	

Fuente: Elaboración propia

Tablas 4.7 Análisis operacional calle Campero

		Calle Campero	Calle Corrado
Intensidad de saturación	s	1016,00	1183,00
Capacidad	c	395,00	592,00
Relación I/C	X	0,63	0,51
Carril crítico	Xc	0,36	0,39
Intersección	Xc	0,75	

		Calle Campero	Calle Domingo Paz
Intensidad de saturación	s	1253,00	1400,00
Capacidad	c	501,00	700,00
Relación I/C	X	0,63	0,34
Carril crítico	Xc	0,39	0,26
Intersección	Xc	0,65	

		Calle Campero	Calle Bolívar
Intensidad de saturación	s	1338,00	1253,00
Capacidad	c	535,00	627,00
Relación I/C	X	0,55	0,45
Carril crítico	Xc	0,36	0,38
Intersección	Xc	0,74	

		Calle Campero	Calle Ingavi
Intensidad de saturación	s	1177,00	1284,00
Capacidad	c	589,00	514,00
Relación I/C	X	0,56	0,54
Carril crítico	Xc	0,41	0,32
Intersección	Xc	0,73	

		Calle Campero	Calle 15 de Abril
Intensidad de saturación	s	1114,00	1284,00
Capacidad	c	477,00	550,00
Relación I/C	X	0,58	0,65
Carril crítico	Xc	0,33	0,38
Intersección	Xc	0,71	

Fuente: Elaboración propia

Tablas 4.8 Análisis operacional calle Gral. Trigo

		Calle Gral. Trigo	Calle Corrado
Intensidad de saturación	s	1185,00	1331,00
Capacidad	c	461,00	666,00
Relación I/C	X	0,60	0,55
Carril crítico	Xc	0,34	0,40
Intersección	Xc	0,73	

		Calle Gral. Trigo	Calle Domingo Paz
Intensidad de saturación	s	1355,00	1253,00
Capacidad	c	542,00	626,50
Relación I/C	X	0,55	0,44
Carril crítico	Xc	0,31	0,30
Intersección	Xc	0,61	

		Calle Gral. Trigo	Calle Bolívar
Intensidad de saturación	s	1253,00	1401,00
Capacidad	c	537,00	600,00
Relación I/C	X	0,56	0,47
Carril crítico	Xc	0,35	0,29
Intersección	Xc	0,64	

		Calle Gral. Trigo	Calle Ingavi
Intensidad de saturación	s	1347,00	1190,00
Capacidad	c	577,00	510,00
Relación I/C	X	0,47	0,62
Carril crítico	Xc	0,28	0,37
Intersección	Xc	0,65	

		Calle Gral. Trigo	Calle Madrid
Intensidad de saturación	s	1205,00	1401,00
Capacidad	c	516,00	600,00
Relación I/C	X	0,52	0,57
Carril crítico	Xc	0,29	0,31
Intersección	Xc	0,60	

		Calle Gral. Trigo	Calle 15 de Abril
Intensidad de saturación	s	1401,00	1197,00
Capacidad	c	600,00	513,00
Relación I/C	X	0,61	0,65
Carril crítico	Xc	0,35	0,37
Intersección	Xc	0,73	

Fuente: Elaboración propia

Tablas 4.9 Análisis operacional calle Sucre

		Calle Sucre	Calle Corrado
Intensidad de saturación	s	1303,00	1190,00
Capacidad	c	507,00	595,00
Relación I/C	X	0,52	0,63
Carril crítico	Xc	0,29	0,45
Intersección	Xc	0,74	

		Calle Sucre	Calle Domingo Paz
Intensidad de saturación	s	1253,00	1401,00
Capacidad	c	627,00	545,00
Relación I/C	X	0,46	0,50
Carril crítico	Xc	0,35	0,29
Intersección	Xc	0,64	

		Calle Sucre	Calle Bolívar
Intensidad de saturación	s	1347,00	1253,00
Capacidad	c	577,00	537,00
Relación I/C	X	0,57	0,51
Carril crítico	Xc	0,35	0,32
Intersección	Xc	0,67	

		Calle Sucre	Calle Ingavi
Intensidad de saturación	s	1205,00	1347,00
Capacidad	c	516,00	577,00
Relación I/C	X	0,68	0,56
Carril crítico	Xc	0,44	0,36
Intersección	Xc	0,80	

		Calle Sucre	Calle Madrid
Intensidad de saturación	s	1401,00	1205,00
Capacidad	c	600,00	516,00
Relación I/C	X	0,59	0,57
Carril crítico	Xc	0,32	0,31
Intersección	Xc	0,63	

		Calle Sucre	Calle 15 de Abril
Intensidad de saturación	s	1205,00	1401,00
Capacidad	c	516,00	600,00
Relación I/C	X	0,65	0,61
Carril crítico	Xc	0,36	0,34
Intersección	Xc	0,70	

Fuente: Elaboración propia

Tablas 4.10 Análisis operacional calle Daniel C.

		Calle Daniel C.	Calle Domingo Paz
Intensidad de saturación	s	1316,00	1253,00
Capacidad	c	658,00	487,00
Relación I/C	X	0,49	0,65
Carril crítico	Xc	0,34	0,35
Intersección	Xc	0,69	

		Calle Daniel C.	Calle Bolívar
Intensidad de saturación	s	1211,00	1096,00
Capacidad	c	519,00	470,00
Relación I/C	X	0,57	0,69
Carril crítico	Xc	0,41	0,50
Intersección	Xc	0,91	

		Calle Daniel C.	Calle Ingavi
Intensidad de saturación	s	1315,00	1157,00
Capacidad	c	564,00	496,00
Relación I/C	X	0,66	0,73
Carril crítico	Xc	0,44	0,49
Intersección	Xc	0,93	

		Calle Daniel C.	Calle Madrid
Intensidad de saturación	s	1253,00	1401,00
Capacidad	c	537,00	600,00
Relación I/C	X	0,64	0,46
Carril crítico	Xc	0,36	0,26
Intersección	Xc	0,62	

		Calle Daniel C.	Calle 15 de Abril
Intensidad de saturación	s	1293,00	1157,00
Capacidad	c	554,00	496,00
Relación I/C	X	0,50	0,61
Carril crítico	Xc	0,27	0,33
Intersección	Xc	0,60	

Fuente: Elaboración propia

Tablas 4.11 Análisis operacional calle Colón.

		Calle Colón	Calle Domingo Paz
Intensidad de saturación	s	1190,00	952,00
Capacidad	c	510,00	408,00
Relación I/C	X	0,74	0,86
Carril crítico	Xc	0,42	0,48
Intersección	Xc	0,90	

		Calle Colón	Calle Bolívar
Intensidad de saturación	s	1284,00	1190,00
Capacidad	c	550,00	510,00
Relación I/C	X	0,70	0,58
Carril crítico	Xc	0,48	0,40
Intersección	Xc	0,88	

		Calle Colón	Calle Ingavi
Intensidad de saturación	s	1156,00	1280,00
Capacidad	c	495,00	549,00
Relación I/C	X	0,74	0,75
Carril crítico	Xc	0,49	0,50
Intersección	Xc	0,99	

		Calle Colón	Calle Madrid
Intensidad de saturación	s	1323,00	1178,00
Capacidad	c	567,00	505,00
Relación I/C	X	0,50	0,63
Carril crítico	Xc	0,28	0,35
Intersección	Xc	0,64	

		Calle Colón	Calle 15 de Abril
Intensidad de saturación	s	1190,00	1293,00
Capacidad	c	510,00	554,00
Relación I/C	X	0,71	0,64
Carril crítico	Xc	0,39	0,35
Intersección	Xc	0,74	

Fuente: Elaboración propia

TIEMPOS DE CICLO

Una vez realizado el análisis operacional de las intersecciones en estudio, se adoptaron los valores más altos de X_c identificando nuestras intersecciones críticas, siendo 12 las intersecciones críticas. Para que de esta manera realizar los cálculos de nuevas fases y tiempos de ciclo para dichas intersecciones.

Tablas 4.12 Fases y tiempo de ciclo de intersecciones críticas

	J. Misael Saracho	Madrid
Longitud de ciclo (seg.)	49	49
Fase rojo (seg.)	28	31
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	19	16

	Campero	Corrado
Longitud de ciclo (seg.)	46	46
Fase rojo (seg.)	27	27
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	17	17

	Campero	Bolívar
Longitud de ciclo (seg.)	52	52
Fase rojo (seg.)	32	32
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	18	18

	Gral. Trigo	Corrado
Longitud de ciclo (seg.)	46	46
Fase rojo (seg.)	28	25
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	16	19

	Sucre	Corrado
Longitud de ciclo (seg.)	46	46
Fase rojo (seg.)	30	23
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	14	21

	Sucre	Ingavi
Longitud de ciclo (seg.)	56	56
Fase rojo (seg.)	31	35
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	23	19

	Daniel C.	Bolívar
Longitud de ciclo (seg.)	66	66
Fase rojo (seg.)	42	37
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	22	27

	Daniel C.	Ingavi
Longitud de ciclo (seg.)	68	68
Fase rojo (seg.)	41	38
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	25	28

	Colón	Domingo Paz
Longitud de ciclo (seg.)	63	63
Fase rojo (seg.)	36	32
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	25	29

	Colón	Bolívar
Longitud de ciclo (seg.)	64	64
Fase rojo (seg.)	36	40
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	26	22

	Colón	Ingavi
Longitud de ciclo (seg.)	68	68
Fase rojo (seg.)	40	39
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	26	27

	Colón	15 de abril
Longitud de ciclo (seg.)	46	46
Fase rojo (seg.)	24	27
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	20	17

Fuente: Elaboración propia

Se realizó el cálculo de tiempos de fase y ciclo de las 19 intersecciones restantes, y no solo de las intersecciones críticas identificadas, ya que los semáforos se encuentran operando con tiempos que no satisfacen a la demanda actual según parámetros del manual de dispositivos de tránsito ni tomando en cuenta las nuevas exigencias del tráfico vehicular.

Tablas 4.13 Fases y tiempo de ciclo calle J. Misael Saracho

	J. Misael Saracho	Bolívar
Longitud de ciclo (seg.)	46	46
Fase rojo (seg.)	25	28
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	19	16

	J. Misael Saracho	Ingavi
Longitud de ciclo (seg.)	46	46
Fase rojo (seg.)	29	26
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	15	18

	J. Misael Saracho	15 de abril
Longitud de ciclo (seg.)	46	46
Fase rojo (seg.)	28	26
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	16	18

Fuente: Elaboración propia

Tablas 4.14 Fases y tiempo de ciclo calle Campero

	Campero	Domingo Paz
Longitud de ciclo (seg.)	46	46
Fase rojo (seg.)	25	31
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	19	13

	Campero	Ingavi
Longitud de ciclo (seg.)	48	48
Fase rojo (seg.)	26	31
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	20	15

	Campero	15 de abril
Longitud de ciclo (seg.)	46	46
Fase rojo (seg.)	28	25
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	16	19

Fuente: Elaboración propia

Tablas 4.15 Fases y tiempo de ciclo calle Gral. Trigo

	Gral. Trigo	Domingo Paz
Longitud de ciclo (seg.)	46	46
Fase rojo (seg.)	25	27
Fase amarillo (seg.)	3	2
Fase verde (seg.)	18	17

	Gral. Trigo	Bolívar
Longitud de ciclo (seg.)	46	46
Fase rojo (seg.)	26	29
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	18	15

	Gral. Trigo	Ingavi
Longitud de ciclo (seg.)	46	46
Fase rojo (seg.)	29	25
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	15	19

	Gral. Trigo	Madrid
Longitud de ciclo (seg.)	46	46
Fase rojo (seg.)	26	25
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	18	19

	Gral. Trigo	15 de abril
Longitud de ciclo (seg.)	46	46
Fase rojo (seg.)	27	25
Fase amarillo (seg.)	2	3
Fase verde (seg.)	17	18

Fuente: Elaboración propia

Tablas 4.16 Fases y tiempo de ciclo calle Sucre

	Sucre	Domingo Paz
Longitud de ciclo (seg.)	46	46
Fase rojo (seg.)	26	28
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	18	16

	Sucre	Bolívar
Longitud de ciclo (seg.)	46	46
Fase rojo (seg.)	27	28
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	17	16

	Sucre	Madrid
Longitud de ciclo (seg.)	46	46
Fase rojo (seg.)	25	26
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	19	18

	Sucre	15 de abril
Longitud de ciclo (seg.)	46	46
Fase rojo (seg.)	25	27
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	19	17

Fuente: Elaboración propia

Tablas 4.17 Fases y tiempo de ciclo calle Daniel C.

	Daniel C.	Domingo Paz
Longitud de ciclo (seg.)	46	46
Fase rojo (seg.)	25	26
Fase amarillo (seg.)	3	2
Fase verde (seg.)	18	18

	Daniel C.	Madrid
Longitud de ciclo (seg.)	46	46
Fase rojo (seg.)	23	29
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	21	15

	Daniel C.	15 de abril
Longitud de ciclo (seg.)	46	46
Fase rojo (seg.)	26	24
Fase amarillo (seg.)	3	2
Fase verde (seg.)	17	20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.18 Fases y tiempo de ciclo calle Colón

	Colón	Madrid
Longitud de ciclo (seg.)	46	46
Fase rojo (seg.)	28	24
Fase amarillo (seg.)	2	2
Fase verde (seg.)	16	20

Fuente: Elaboración propia

4.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Para la relación I/C, los valores sostenibles de X_i fluctúan entre 1 cuando la intensidad de circulación es igual a la capacidad, y 0, cuando la intensidad de circulación es cero.

Tablas 4.19 Grado de saturación calle J. Misael Saracho

		Calle J. Misael Saracho	Calle Bolívar
Relación I/C	X	0,44	0,44

		Calle J. Misael Saracho	Calle Ingavi
Relación I/C	X	0,38	0,60

		Calle J. Misael Saracho	Calle Madrid
Relación I/C	X	0,52	0,53

		Calle J. Misael Saracho	Calle 15 de Abril
Relación I/C	X	0,49	0,56

Fuente: Elaboración propia

Tablas 4.20 Grado de saturación calle Campero

		Calle Campero	Calle Corrado
Relación I/C	X	0,63	0,51

		Calle Campero	Calle Domingo Paz
Relación I/C	X	0,63	0,34

		Calle Campero	Calle Bolívar
Relación I/C	X	0,55	0,45

		Calle Campero	Calle Ingavi
Relación I/C	X	0,56	0,54

		Calle Campero	Calle 15 de Abril
Relación I/C	X	0,58	0,65

Fuente: Elaboración propia

Tablas 4.21 Grado de saturación calle Gral. Trigo

		Calle Gral. Trigo	Calle Corrado
Relación I/C	X	0,60	0,55

		Calle Gral. Trigo	Calle Domingo Paz
Relación I/C	X	0,55	0,44

		Calle Gral. Trigo	Calle Bolívar
Relación I/C	X	0,56	0,47

		Calle Gral. Trigo	Calle Ingavi
Relación I/C	X	0,47	0,62

		Calle Gral. Trigo	Calle Madrid
Relación I/C	X	0,52	0,57

		Calle Gral. Trigo	Calle 15 de Abril
Relación I/C	X	0,61	0,65

Fuente: Elaboración propia

Tablas 4.22 Grado de saturación calle Sucre

		Calle Sucre	Calle Corrado
Relación I/C	X	0,52	0,63

		Calle Sucre	Calle Domingo Paz
Relación I/C	X	0,46	0,50

		Calle Sucre	Calle Bolívar
Relación I/C	X	0,57	0,51

		Calle Sucre	Calle Ingavi
Relación I/C	X	0,68	0,56

		Calle Sucre	Calle Madrid
Relación I/C	X	0,59	0,57

		Calle Sucre	Calle 15 de Abril
Relación I/C	X	0,65	0,61

Fuente: Elaboración propia

Tablas 4.23 Grado de saturación calle Daniel Campos

		Calle Daniel C.	Calle Domingo Paz
Relación I/C	X	0,49	0,65

		Calle Daniel C.	Calle Bolívar
Relación I/C	X	0,57	0,69

		Calle Daniel C.	Calle Ingavi
Relación I/C	X	0,66	0,73

		Calle Daniel C.	Calle Madrid
Relación I/C	X	0,64	0,46

		Calle Daniel C.	Calle 15 de Abril
Relación I/C	X	0,50	0,61

Fuente: Elaboración propia

Tablas 4.24 Grado de saturación calle Colón

		Calle Colón	Calle Domingo Paz
Relación I/C	X	0,74	0,86

		Calle Colón	Calle Bolívar
Relación I/C	X	0,70	0,58

		Calle Colón	Calle Ingavi
Relación I/C	X	0,74	0,75

		Calle Colón	Calle Madrid
Relación I/C	X	0,50	0,63

		Calle Colón	Calle 15 de Abril
Relación I/C	X	0,71	0,64

Fuente: Elaboración propia

Los valores superiores a 1, indica un exceso temporal de la intensidad sobre la capacidad.

Los valores obtenidos en los cálculos son menores a 1 lo cual se puede decir que no hay un exceso de la intensidad sobre la capacidad.

- La relación I/s crítica para la intersección se define en términos de grupos de carriles críticos o accesos.

Tablas 4.25 Relación I/s crítica calle J. Misael Saracho

		Calle J. Misael Saracho	Calle Bolívar
Carril crítico	Xc	0,31	0,25
Intersección	Xc	0,55	

		Calle Juan M. Saracho	Calle Ingavi
Carril crítico	Xc	0,28	0,36
Intersección	Xc	0,64	

		Calle Juan M. Saracho	Calle Madrid
Carril crítico	Xc	0,40	0,33
Intersección	Xc	0,73	

		Calle Juan M. Saracho	Calle 15 de Abril
Carril crítico	Xc	0,28	0,32
Intersección	Xc	0,60	

Fuente: Elaboración propia

Tablas 4.26 Relación I/s crítica calle Campero

		Calle Campero	Calle Corrado
Carril crítico	Xc	0,36	0,389
Intersección	Xc	0,75	

		Calle Campero	Calle Domingo Paz
Carril crítico	Xc	0,39	0,26
Intersección	Xc	0,65	

		Calle Campero	Calle Bolívar
Carril crítico	Xc	0,36	0,38
Intersección	Xc	0,74	

		Calle Campero	Calle Ingavi
Carril crítico	Xc	0,41	0,32
Intersección	Xc	0,73	

		Calle Campero	Calle 15 de Abril
Carril crítico	Xc	0,33	0,38
Intersección	Xc	0,71	

Fuente: Elaboración propia

Tablas 4.27 Relación I/s crítica calle Gral. Trigo

		Calle Gral. Trigo	Calle Corrado
Carril crítico	Xc	0,34	0,40
Intersección	Xc	0,74	

		Calle Gral. Trigo	Calle Domingo Paz
Carril crítico	Xc	0,31	0,30
Intersección	Xc	0,61	

		Calle Gral. Trigo	Calle Bolívar
Carril crítico	Xc	0,35	0,29
Intersección	Xc	0,64	

		Calle Gral. Trigo	Calle Ingavi
Carril crítico	Xc	0,28	0,37
Intersección	Xc	0,65	

		Calle Gral. Trigo	Calle Madrid
Carril crítico	Xc	0,29	0,31
Intersección	Xc	0,60	

		Calle Gral. Trigo	Calle 15 de Abril
Carril crítico	Xc	0,35	0,37
Intersección	Xc	0,72	

Fuente: Elaboración propia

Tablas 4.28 Relación I/s crítica calle Sucre

		Calle Sucre	Calle Corrado
Carril crítico	Xc	0,29	0,45
Intersección	Xc	0,74	

		Calle Sucre	Calle Domingo Paz
Carril crítico	Xc	0,35	0,29
Intersección	Xc	0,64	

		Calle Sucre	Calle Bolívar
Carril crítico	Xc	0,35	0,32
Intersección	Xc	0,67	

		Calle Sucre	Calle Ingavi
Carril crítico	Xc	0,44	0,36
Intersección	Xc	0,80	

		Calle Sucre	Calle Madrid
Carril crítico	Xc	0,32	0,31
Intersección	Xc	0,63	

		Calle Sucre	Calle 15 de Abril
Carril crítico	Xc	0,36	0,34
Intersección	Xc	0,70	

Fuente: Elaboración propia

Tablas 4.29 Relación I/s crítica calle Daniel Campos

		Calle Daniel C.	Calle Domingo Paz
Carril crítico	Xc	0,34	0,35
Intersección	Xc	0,69	

		Calle Daniel C.	Calle Bolívar
Carril crítico	Xc	0,41	0,50
Intersección	Xc	0,91	

		Calle Daniel C.	Calle Ingavi
Carril crítico	Xc	0,44	0,49
Intersección	Xc	0,93	

		Calle Daniel C.	Calle Madrid
Carril crítico	Xc	0,36	0,26
Intersección	Xc	0,62	

		Calle Daniel C.	Calle 15 de Abril
Carril crítico	Xc	0,27	0,33
Intersección	Xc	0,60	

Fuente: Elaboración propia

Tablas 4.30 Relación I/s crítica calle Colón

		Calle Colón	Calle Domingo Paz
Carril crítico	Xc	0,42	0,48
Intersección	Xc	0,90	

		Calle Colón	Calle Bolívar
--	--	--------------------	----------------------

Carril crítico	Xc	0,48	0,40
Intersección	Xc	0,88	
		Calle Colón	Calle Ingavi
Carril crítico	Xc	0,49	0,50
Intersección	Xc	0,99	

		Calle Colón	Calle Madrid
Carril crítico	Xc	0,28	0,35
Intersección	Xc	0,63	

		Calle Colón	Calle 15 de Abril
Carril crítico	Xc	0,39	0,35
Intersección	Xc	0,74	

Fuente: Elaboración propia

- Los valores más próximos a 1 se tomarán para identificar las intersecciones críticas, ya que indica que la intersección funciona a un porcentaje de su capacidad próximo a que la intersección este sobresaturada.

Tabla 4.31 Intersecciones críticas

Intersección	Xc
J. Misael Saracho-Madrid	0,73
Gral. Trigo-Corrado	0,74
Colón-15 de Abril	0,74
Campero-Bolívar	0,74
Sucre-Corrado	0,74
Campero-Corrado	0,75
Sucre-Ingavi	0,80
Colón-Bolívar	0,88

Colón-Domingo Paz	0,90
Daniel C.-Bolívar	0,91
Daniel C.-Ingavi	0,93
Colón- Ingavi	0,99

Fuente: Elaboración propia

Esta relación indica la proporción de la capacidad disponible que está siendo utilizada por los vehículos del grupo de carriles.

- En nuestros valores calculados obtenemos valores mayores de 12 intersecciones. Por lo que se diría que los planes de fases de 19 intersecciones son adecuados para dar servicio sin que la demanda exceda la capacidad.

Sin embargo, para las intersecciones que no son críticas, los semáforos se encuentran operando con tiempos que no satisfacen a la demanda actual y no están actualizados según parámetros del manual de dispositivos de tránsito ni tomando en cuenta las nuevas exigencias del tráfico vehicular. Por lo que se realizó el rediseño de tiempos de fase y ciclo de estas intersecciones.

Tabla 4.32 Tiempos de ciclo y fases de intersecciones no críticas

Intersección	Calle A			Calle B			Ciclo seg.
	Rojo	Verde	Amarillo	Rojo	Verde	Amarillo	
J. Misael Saracho-Bolívar	25	19	2	28	16	2	46
J. Misael Saracho-Ingavi	29	15	2	26	18	2	46
J. Misael Saracho-15 de Abril	28	16	2	26	18	2	46
Campero-Domingo Paz	25	19	2	31	13	2	46
Campero-Ingavi	26	20	2	31	15	2	48

Campero-15 de Abril	28	16	2	25	19	2	46
General Trigo-Domingo Paz	25	18	3	27	17	2	46
General Trigo-Bolívar	26	18	2	29	15	2	46
General Trigo-Ingavi	29	15	2	25	19	2	46
General Trigo-Madrid	26	18	2	25	19	2	46
General Trigo-15 de Abril	27	17	2	25	18	3	46
Sucre-Domingo Paz	26	18	2	28	16	2	46
Sucre-Bolívar	27	17	2	28	16	2	46
Sucre-Madrid	25	19	2	26	18	2	46
Sucre-15 de Abril	25	19	2	27	17	2	46
Daniel Campos-Domingo Paz	25	18	3	26	18	2	46
Daniel Campos-Madrid	23	21	2	29	15	2	46
Daniel Campos-15 de Abril	26	17	3	24	20	2	46
Colón-Madrid	28	16	2	24	20	2	46

Fuente: Elaboración propia

- La variable independiente es la evaluación del sistema de semaforización.
- En los cálculos realizados pudimos determinar que nuestra variable dependiente son las intersecciones semaforizadas críticas, siendo 12.
- Con la presente investigación se va a contribuir de manera operativa en el área de tráfico, pretendiendo alcanzar beneficios de carácter técnico con la implementación de nuevos tiempos en el ciclo de semáforos de intersecciones críticas, así como en aquellas que no son críticas, que cumplan con normas y especificaciones para dicho propósito, logrando así tratar de disminuir el congestionamiento y una mejor circulación vial.

Además, cabe recalcar que la investigación tiene como finalidad concientizar que se debe realizar estudios periódicos y tener registros para poder enfrentar de manera adecuada a los problemas actuales o venideros.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Después de realizar una evaluación a través del análisis operacional de las intersecciones, el cálculo de tiempos de ciclo y fases en cada punto del área de estudio se llegó a las siguientes conclusiones:

- La determinación de las fases dependerá del tráfico que circula en cada intersección.
- Después del aforo respectivo en una intersección se determinó las siguientes horas pico:
Mañana 8:00-9:00 am.
Mediodía 11:30-12:30 am.
Noche 18:00-19:00 pm.
- Realizado una evaluación mediante un análisis operacional de las 31 intersecciones semaforizadas, se necesitará una muestra representativa de al menos 12 intersecciones semaforizadas críticas.

- Se realizó el cálculo de tiempos de fase y ciclo de las 31 intersecciones en estudio, haciendo uso del Manual de Ingeniería de Tránsito, y no solo de las intersecciones críticas identificadas.
- La distribución de tiempos calculados de cada fase rojo, amarillo, verde están en relación directa con los volúmenes de tránsito de los movimientos correspondientes, en otras palabras, la duración de cada fase y del ciclo dependen de la demanda.

La secuencia será rojo-verde-amarillo

- Está confirmado que la mayoría de los habitantes de la ciudad de Tarija carece de educación vial.
- El incumplimiento de las normas de tránsito son también un factor para que haya congestión en el área central de la ciudad.
- Se deben tener registros periódicos generalmente cada 2 años, para la intervención temprana a estos problemas.

5.2. RECOMENDACIONES

- En la realización de los aforos manuales ya sean de volúmenes y tiempos se debe tener atención y seriedad, ya que un mal relevamiento de información puede perjudicar de manera significativa en los resultados.
- Se debe registrar los datos del conteo en formularios o planillas diseñados específicamente para el estudio.

- Personas ajenas que estén ayudando en los aforos manuales, toma de distancias, y tiempos, deben estar previamente capacitadas para lograr el objetivo.
- La exactitud y confiabilidad de los aforos depende del tipo y cantidad del personal, instrucciones, supervisión y la cantidad de información a ser obtenida de cada persona.
- Los tiempos de ciclo y fases deben ser establecidos bajo fundamentos.
- Es de mucha importancia saber que la instalación de un semáforo es de gran ayuda, pero solo si este está bien diseñado de manera contraria sería un aspecto negativo provocando efectos contraproducentes en la circulación vehicular.
- Se sugiere que el diseño de cada intersección controlada por semáforos se revise al menos una vez cada dos años.
- De la misma manera vale la pena tener una lista de intersecciones posibles de ser semaforizadas. Los flujos que se utilizan serán también puestos al día regularmente (cada 2 años) para estimar cuando justificar su mejoramiento.
- Se debe realizar estudios periódicos y tener registros para poder enfrentar de manera adecuada a los problemas actuales o venideros.
- Se recomienda que policías de tránsito puedan regular el orden y hacer cumplir las normas de tránsito en horas pico.

- Se deben gestionar programas de capacitación y concienciación a conductores del transporte público, en base a las normativas de tránsito vigentes.