



## CAPITULO I

### INTRODUCCION

#### 1.1.- ANTECEDENTES

Para hablar de congestión vehicular debemos definir primeramente que es el tráfico o flujo vehicular, que es el fenómeno causado por el flujo de vehículos que transitan por una vía, calle o autopista, entonces la congestión vehicular, es la condición de un flujo vehicular que se ve saturado debido al exceso de demanda de las vías, tal fenómeno se produce comúnmente en las horas pico y produce reducción de velocidades, incrementos en los tiempos de viaje, molestia entre los conductores y hasta consumo excesivo de combustible.

La congestión de tránsito ha ido en aumento en gran parte del mundo, nuestro país, nuestro departamento y esta ciudad no se ven alejados de esa realidad y todo indica que seguirá agravándose, constituyendo una molestia sobre la calidad de vida urbana.

La congestión es causada principalmente por el uso intensivo del automóvil, cuya prioridad se ha masificado en los últimos años por lo general en todo el territorio nacional, el automóvil posee ventajas en términos de facilitar la movilidad personal, y otorgar sensación de seguridad y aún de estatus especialmente en países en vías de desarrollo.

La situación se ve agravada en las ciudades y regiones debido a la existencia de problemas de diseño y conservación en la vialidad de las mismas, estilos de conducción que no respetan a los demás, defectuosa información sobre las condiciones del tránsito y gestiones inapropiadas de las autoridades competentes.

Entre las señales de control de tráfico más importantes con las que se cuentan en esta ciudad de nuestro departamento son los semáforos, que son dispositivos de señales que se sitúan en intersecciones viales y otros lugares para regular el tráfico, y por tanto, el tránsito peatonal. El programa de control semafórico se encarga de programar los intervalos de tiempo en el cambio de cada señal en diferentes semáforos del área de estudio correspondiente, según la determinación de la congestión vehicular.

Es muy importante para la fluidez del tránsito que las señalizaciones horizontales correspondientes se encuentren en buen estado, visibles y que cuenten con un programa de semaforización coherente, porque de ellas depende que la circulación se realice en forma continua y ordenada.

La falta de estas señales de tránsito, la mala ubicación de las mismas, su estado deficiente, y un mal programa de regulación de la semaforización, no solo conllevará a que se incremente la congestión, si no también da lugar a accidentes, poniendo en peligro no solo a los conductores, si no también, a los peatones que circulen por esas intersecciones.



Para que se pueda aliviar de una manera efectiva el congestionamiento de tráfico vehicular es necesario que se implementen señales de control de tráfico en los puntos conflictivos de la ciudad. Entre los métodos más fiables y comunes para el descongestionamiento de tráfico se encuentran los semáforos, siempre que estos se encuentren bien ubicados, estén estudiados y bien programados para que sean efectivos en su función.

## **1.2.- JUSTIFICACIÓN**

Debido al excesivo congestionamiento en las horas pico en algunos puntos de la ciudad de Yacuiba y a la falta de estudio para la implementación semafórica, su mala distribución en los ciclos de los semáforos y la falta de giro en algunos de ellos, nos vemos en la necesidad de realizar un estudio metodológico para la determinación de la congestión vehicular y de esta manera poder implementar programas de control semafórico eficientes.

Se deben de analizar nuevos programas de control semafórico para que se puedan mejorar la fluidez del tráfico en las intersecciones más conflictivas.

Con un control semafórico efectivo se intentará mejorar la fluidez y así beneficiar a los conductores de los vehículos que transiten por estas intersecciones congestionadas, y así ellos puedan llegar a sus destinos en un menor tiempo y economizar en sus respectivos combustibles, también se intentará beneficiar a los peatones, dándoles cruces de vías más seguros, eficientes y tiempos óptimos de cruzado de los mismos.

Todos estos estudios y análisis del comportamiento vehicular y su control semafórico, se realizarán en las esquinas más congestionadas de la ciudad y en donde existan dificultades en la prioridad del paso en verde.

Una vez desarrollado este trabajo pudiera ser de utilidad para todos los conductores y peatones que transitan por el área en estudio en las horas de congestionamiento y podría ser utilizado por las entidades encargadas del tráfico y transporte designadas por la alcaldía o municipio, o unidades operativas de tránsito donde se encuentre el área de estudio.

El aporte académico de este proyecto será el de implementar un programa de control semafórico específico para el área de estudio del proyecto que pueda disminuir el congestionamiento y los tiempos de traslado de los conductores y que brinde seguridad y comodidad a los peatones.

## **1.3.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.3.1.- SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

En las arterias de la ciudad de Yacuiba, sean estas vías urbanas o avenidas principales, existe congestionamiento vehicular y malos controles semafóricos en sus respectivas horas pico. Este problema habitual se torna peligroso e inseguro para los peatones y molesto para conductores que transitan por dichas calles y avenidas.



El parque automotor se ha incrementado en la ciudad en el transcurrir de los últimos años, lo que ocasiona mayores volúmenes de tráfico vehicular, congestionamientos, accidentes de tránsito, por lo cual nos encontramos en la necesidad de analizar estos problemas, para así realizar programas de semaforización adecuados y más eficientes en el intento de disminuir estas molestias.

Actualmente en la zona central de la ciudad y en las distintas avenidas se tiene una semaforización deficiente y mal ejecutada, la cual en lugar de ayudar al peatón y controlar un tráfico fluido de vehículos, dificulta ambas, por lo que nos encontramos en la necesidad de utilizar programas de control semaforicos adecuados.

Los resultados obtenidos en el análisis metodológico de la congestión vehicular se utilizaran como base para el estudio de nuevos programas de control semaforico, ya sean que estos se apliquen en simples cambios en los ciclos en algunos de los semáforos ya existentes o en el aumento de semáforos en las esquinas predecesoras donde el análisis lo recomiende, o simplemente en el aumento de giros en los semáforos existentes donde existan complicaciones en los derechos de vía, como ser en el cruce de calles que tengan doble sentido, en el cruce de avenidas o en las rotondas de las mismas.

Se espera que los resultados obtenidos, si son aplicados, puedan generar una mayor fluidez en las vías actualmente congestionadas, una mayor comodidad y seguridad tanto a conductores como a los peatones de las zonas en estudio. Se espera que este estudio sirva a la población en general y a los centros educativos he instituciones públicas que se encuentren dentro del área de estudio.

### **1.3.2.- PROBLEMA**

Debido al incremento excesivo del parque automotor en la ciudad de Yacuiba en los últimos años, y a la falta de un estudio actual y adecuado del comportamiento del tráfico en las horas de mayor congestionamiento, existe la necesidad de ampliar y modificar los programas de control semaforico existentes en la ciudad con el propósito de optimizar tiempos en la circulación para los conductores en las vías más conflictivas y así también mejorar la seguridad del peatón y su fácil transitabilidad en los cruces de calles y avenidas.

### **1.3.3.- HIPÓTESIS**

Realizando un programa de control semaforico adecuado, permitiría optimizar el tiempo en la circulación para los conductores en las vías más conflictivas, debido a que el problema del congestionamiento vehicular son los cortos tiempos de los semáforos, es por eso que se realizará un análisis metodológico para la determinación de la congestión vehicular.



## **1.4.- OBJETIVOS**

### **1.4.1.- OBJETIVO GENERAL**

Realizar un estudio al conjunto de procedimientos racionales para identificar en forma precisa los problemas del flujo vehicular congestionado, determinando sus causas, efectos y procesos, para su utilización en programas de regularización de tráfico mediante semáforos que realmente aporten a mantener un flujo fluido.

### **1.4.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar una revisión bibliográfica sobre los aspectos generales y específicos del tráfico y particularmente del congestionamiento vehicular que permita elaborar un análisis que identifique y que solucione los congestionamientos vehiculares por medio de programas de control semafórico.
- Analizar los métodos que existan para la determinación del congestionamiento vehicular y escoger el más apropiado para las características de las vías en estudio.
- Determinar el área de estudio del proyecto.
- Definir los puntos más conflictivos del área en estudio donde exista mayor congestionamiento y realizar el estudio de volúmenes de tráfico y el estudio de colas en cada intersección seleccionada.
- Evaluar los sistemas semafóricos, para determinar la duración de los tiempos de cada fase del semáforo y realizar una evaluación en toda el área del proyecto para conocer el comportamiento de la semaforización.
- Integrar y correlacionar los puntos de congestión con los puntos de semaforización para plantear un programa de control semafórico para las calles congestionadas del área en estudio.
- Determinar o establecer conclusiones y recomendaciones a partir de los resultados obtenidos.

## **1.5.- ALCANCE**

En la primera parte del alcance se quiere dar a conocer los aspectos básicos del proyecto, es decir los conceptos individuales simples de cada parte del estudio que se realizara, como ser la congestión vehicular, la semaforización y el control semafórico, hasta llegar a tener un concepto más formado,



regido y apoyado por libros estructurados para el estudio de la ingeniería de tráfico, donde se llegan a tener conocimiento fundamentados y reales de cada aspecto de la ingeniería de tráfico en si, como ser sus fundamentos, conceptos, evolución y problemas más comunes, así también conocimientos sobre el congestionamiento vehicular y los causales de los mismos, conceptos de semaforización, sus ventajas y desventajas, con sus tipos de tiempos y por ultimo una explicación completa sobre el control semafórico.

En esta primera parte también se desea explicar los motivos por los cuales se ve la necesidad de la realización de este proyecto, con una justificación basada en las problemáticas de congestionamiento que sufre actualmente la ciudad de Yacuiba debido a la mala distribución de los tiempos en los semáforos, dando como una posible solución la creación de un sistema de control semafórico efectivo que mejore la fluidez en las intersecciones congestionadas y así brinde mayor comodidad a los usuarios que transitan por las mismas.

Como parte importante del congestionamiento en vías urbanas se realizara también el estudio de todos los elementos de la ingeniería de tránsito y de los parámetros que intervienen en el tráfico, describiendo y analizando las intensidades del tráfico, los diferentes tipos de volúmenes que existen y la diferencia que tienen con la intensidad, de forma conjunta se explicara y estudiara los tipos de aforos existentes y los periodos más relevantes para la determinación adecuada de la intensidad y volumen de tránsito.

Entre otros parámetros importantes de estudio y análisis de la aplicación práctica, tenemos a la semaforización, y que forman parte esencial en la realización de este proyecto, es la distribución de los tiempos en los semáforos, que es el análisis de varios términos básicos o parámetros de tiempo, entre los que se encuentran, la indicación de señal, longitud de ciclo, intervalo, fase y otros que deben ser tomados en cuenta para poder realizar de forma correcta la distribución de tiempos. Dentro de la misma distribución de los tiempos del semáforo, una vez estudiado y comprendido los términos básicos de la distribución, debemos estudiar el cálculo de los tiempos del mismo, esto para disminuir el tiempo en las demoras y poder incluir el mayor número de posible de movimientos simultáneos en una fase del semáforo, dentro de este cálculo se estudiara y realizara de manera práctica los cálculos intervalos de cambio de fase, longitud del ciclo, cálculo de vehículos equivalentes, flujo de saturación y tiempo perdido y la asignación de los tiempos en verde.



Haciendo un estudio general de la semaforización, y planteándonos como base de este proyecto el crear un programa de control semafórico para la ciudad de Yacuiba basados en el estudio de la congestión vehicular, se toma en cuenta el estudio del parámetro de coordinación de semáforos, donde explicaremos y estudiaremos el tipo de cálculo de los diferentes sistemas de coordinación existentes, como ser el sistema simultaneo, donde todos los semáforos muestran la misma indicación aproximadamente al mismo tiempo, el sistema alternado, que analiza las intersecciones cercanas y grupos de dos o tres semáforos que respectivamente muestran indicaciones contrarias.

Una vez finalizada la parte práctica se deberá hacer un análisis detallado y completo de los resultados obtenidos, con estos parámetros de la ingeniería de tráfico que son los más importantes se podrá conocer la situación actual del comportamiento del tráfico vehicular en el área de estudio y así también se podrá calcular nuevos parámetros para tener un programa de control semafórico adecuado.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio se podrá obtener las conclusiones y recomendaciones que se vean necesarias para así tomar todas las medidas adecuadas para la realización de este proyecto.

## **CAPITULO II**

### **EL CONGESTIONAMIENTO EN VÍAS URBANAS**



## **2.1.- EVOLUCIÓN DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO**

Trascurrido los siglos, se puede observar la evolución tanto de los caminos como la de los vehículos, tomando como data desde el siglo I, II y III de nuestra era, donde el Imperio Romano fue dominante en la comunicación desde la Península Ibérica, hasta parte de Asia, y desde el siglo IV hasta el IX se observa la declinación del Imperio, desapareciendo con él de la red camionera, y apareciendo el sistema Feudal, donde se reduce la población y viajeros, y así se abandonan la conservación de las rutas imperiales. Desde los siglos XI y XV, iniciando con las cruzadas, que contribuyeron grandemente a la apertura de muchos y varios caminos, junto al crecimiento poblacional y aumento de viajes, apareciendo la conservación de los caminos, la mejora y pavimentación de calles en las principales ciudades, la creación de los primeros mapas de caminos y la reaparición de los vehículos.

A mediados del siglo XVI los conquistadores españoles inician con la construcción de caminos en América, como medio de extender su colonización y la explotación de recursos, vale recalcar que en este mismo siglo se realizó la construcción de la primera carretera y del primer puente en el nuevo mundo.

En el siglo XVIII inicia la Era Moderna. El tránsito se incrementa y debido al mal estado de los caminos, se introduce el cobro de cuotas de peaje, lo cual permite la construcción y mantenimiento de los caminos.

En las últimas décadas del siglo XIX se ve la aparición del automóvil con motor a gasolina y a principios del siglo XX su respectiva industrialización se vuelve una actividad que sirve a los países productores de automóviles como un exponente de su desarrollo tecnológico y económico, en tan poco tiempo el automóvil se ha convertido en un artefacto de primera necesidad en muchos de los países debido a sus múltiples utilidades y comodidades.

### **2.1.1.- EL AUTOMÓVIL**

Desde su origen a finales del siglo XIX, los automóviles han cambiado y evolucionado en respuesta a los deseos de los consumidores, las condiciones económicas y las nuevas tecnologías. Los primeros vehículos eran como los carruajes de la época con el motor situado en los bajos, porque ese era el estilo al que estaba acostumbrada la gente. Hacia 1910, ya se puso el motor en la parte delantera, que le dio al auto una personalidad propia. Conforme fue aumentando la demanda, se hicieron más estilizados. En las décadas de 1920 y 1930 aparecieron coches de lujo diseñados por encargo del cliente que se llamaron autos clásicos. Las crisis del petróleo de las décadas de 1970 y 1980 se reflejaron en la construcción de modelos de bajo consumo. La fabricación en serie de la actualidad trata de abaratar costes que es lo que demanda el consumo.

El primer coche sin caballos estadounidense con motor de combustión interna fue introducido por los hermanos Charles y Frank Duryea en 1893. Le siguió el primer automóvil experimental de Henry Ford ese mismo año.

Los automóviles de la década de 1920 presentaban innovaciones como llantas inflables, ruedas o rines de acero prensado y frenos en los cuatro neumáticos. Aunque la producción en serie (ideada por Henry Ford en 1908) siguió haciendo bajar el precio de los autos, en esta época muchos modelos se hacían de encargo y a medida.

A finales del siglo XX, los automóviles se enfrentan a dos desafíos fundamentales: por un lado, aumentar la seguridad de los ocupantes para reducir así el número de víctimas de los accidentes de tráfico, ya que en los países industrializados constituyen una de las primeras causas de mortalidad en la población no anciana; por otro lado, aumentar su eficiencia para reducir el consumo de recursos y la contaminación atmosférica, de la que son uno de los principales causantes. En el primer apartado, además de mejorar la protección ofrecida por las carrocerías, se han desarrollado diversos mecanismos de seguridad, como el sistema antibloqueo de frenos (ABS) o las bolsas de aire (airbag). En cuanto al segundo aspecto, la escasez de petróleo y el aumento de los precios del combustible en la década de 1970 alentaron en su día a los ingenieros mecánicos a desarrollar nuevas tecnologías para reducir el consumo de los motores convencionales (por ejemplo, controlando la mezcla aire-combustible mediante microprocesadores o reduciendo el peso de los vehículos) y a acelerar los trabajos en motores alternativos. Para reducir la dependencia del petróleo se ha intentado utilizar combustibles renovables: en algunos países se emplean hidrocarburos de origen vegetal y también se ha planteado el uso de hidrógeno, que se obtendría a partir del aire usando, por ejemplo, la energía solar. El hidrógeno es un combustible muy limpio, ya que su combustión produce exclusivamente agua.



Fig. 2.1 Automóvil del siglo XIX



Fig. 2.2 Automóvil del siglo XXI

### 2.1.2.- LA VIA

Desde la aparición de la rueda, probablemente hace unos 5 000 años en la Mesopotamia, desde el desarrollo de los caminos por los egipcios para el transporte de las inmensas piedras destinadas a la construcción de las pirámides y hasta los primeros caminos construidos científicamente por el Imperio Romano quienes fueron realmente los que de manera sistemática y organizada





construyeron caminos en todo el imperio, se puede observar que el transcurso del tiempo ha traído consigo la evolución del transporte.

En las antiguas civilizaciones americanas tales como la Azteca, Maya e Incaica se construyeron caminos destinados al comercio, pero sus calles eran para el uso de peatones y de bestias.

Las grandes ciudades surgieron en la antigüedad. Ya en el siglo XIX las ciudades tienen un crecimiento acelerado causando que existan ciertos problemas en circulación del peatón por las calles, así como de los propios vehículos que eran de tracción animal.

Esta rama de la ingeniería se ocupa de estudiar las características de 4 elementos fundamentales de tránsito: el conductor, el peatón, el vehículo y la vía; estos dos últimos elementos son indispensables para la realización de actividades humanas.

## **2.2.- CONCEPTOS DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO**

Existen varios autores de diferentes libros referidos a la ingeniería de tráfico, que tienen sus distintas definiciones y conceptos lo cual contribuye a la discusión y a la solución de los puntos de vista sobre la ingeniería de tráfico.

Entre estas definiciones podemos nombrar al autor Antonio Valdez Gonzales-Roldan en su libro Ingeniería de Trafico, que define la ingeniería de tráfico como “la rama de la ingeniería que trata del planeamiento, trazado y funcionamiento de las calles y carreteras, así como el estudio de los aparcamientos y zonas de influencia y su relación con los otros medios de transporte” con el objetivo que el movimiento de personas y mercancías se realice de forma más segura, eficaz y cómoda posible.

A diferencia del libro Ingeniería de Tránsito, fundamentos y aplicaciones, de los autores Rafael Cal, Mayor R. y James Cardenas, que dice entre sus páginas que el Instituto de Ingenieros de Transporte, citado por W. S. Homburguer, define la Ingeniería de Transporte como “la aplicación de los principios tecnológicos y científicos a la planeación, al proyecto funcional, a la operación y a la administración de las diversas partes de cualquier modo de transporte, con el fin de proveer la movilización de personas y mercancías de una manera segura, rápida, comfortable, conveniente, económica y compatible con el medio ambiente” y la Ingeniería de Tránsito como “aquella fase de la ingeniería de transporte que tiene que ver con la planeación, el proyecto geométrico y la operación del tránsito por calles y carreteras, sus redes, terminales, tierras adyacentes y su relación con otros modos de transporte”.

Entre otras definiciones también podemos citar al autor Nicholas J. Garber y Lester A. Hoel, que en su libro Ingeniería de tránsito y carretera que define “ que la especialidad de la ingeniería de tráfico y transporte son la planificación, que incluye la selección de proyecto para su diseño y construcción; el diseño, que contempla la especificación de todas las características del proyecto de transporte; la



construcción abarca a todos los aspectos de edificación; la administración y operación del tránsito incluyen estudios para mejorar la capacidad y seguridad; y el mantenimiento implica todo el trabajo necesario para que se conserve todo el sistema y orden apropiado de operación.”

Al conocer distintas definiciones sobre la ingeniería de tráfico, se tiene un conocimiento más amplio del concepto de la misma, y se la puede definir como una ciencia que forma parte de la ingeniería de transporte y a su vez de la ingeniería civil, que realiza un estudio de la problemática del transporte, junto a un análisis en perspectiva para realizar un equilibrio entre los factores que inciden y la búsqueda de soluciones, ya sean estas con la planificación, diseño y operación de tráfico en las calles, carreteras y autopistas, infraestructuras, y su relación con los diferentes medios de transporte consiguiendo una movilidad segura, eficiente y conveniente para mejorar las condiciones de circulación de los vehículos entorno a carreteras y vías urbanas satisfaciendo la necesidad de los usuarios.

## 2.3.- PROBLEMAS DE TRANSITO Y SU SOLUCIÓN

La falta de visión en la construcción de vías, calles o venidas Uno de los principales problemas en las calles de las zonas urbanas es que estas fueron construidas sin ningún tipo de diseño geométrico ni de capacidad vehicular, sin tomar en cuenta volúmenes ni tipos de vehículos que transitarían por las mismas, esto en el presente ocasiona uno de los principales problemas debido a que estas vías en horas pico se congestionan y no se puede realizar ningún cambio estructural, es por eso que nos vemos en la obligación de diseñar dispositivos de control de tránsito efectivos.

### 2.3.1.-PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES

Uno de los muchos problemas del tránsito es que causa pérdida de vidas y bienes, si no se tiene la responsabilidad, seguridad y control para las personas que hacen uso de un vehículo, es por eso que se plantea una solución haciendo el transito seguro y eficiente.

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

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

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

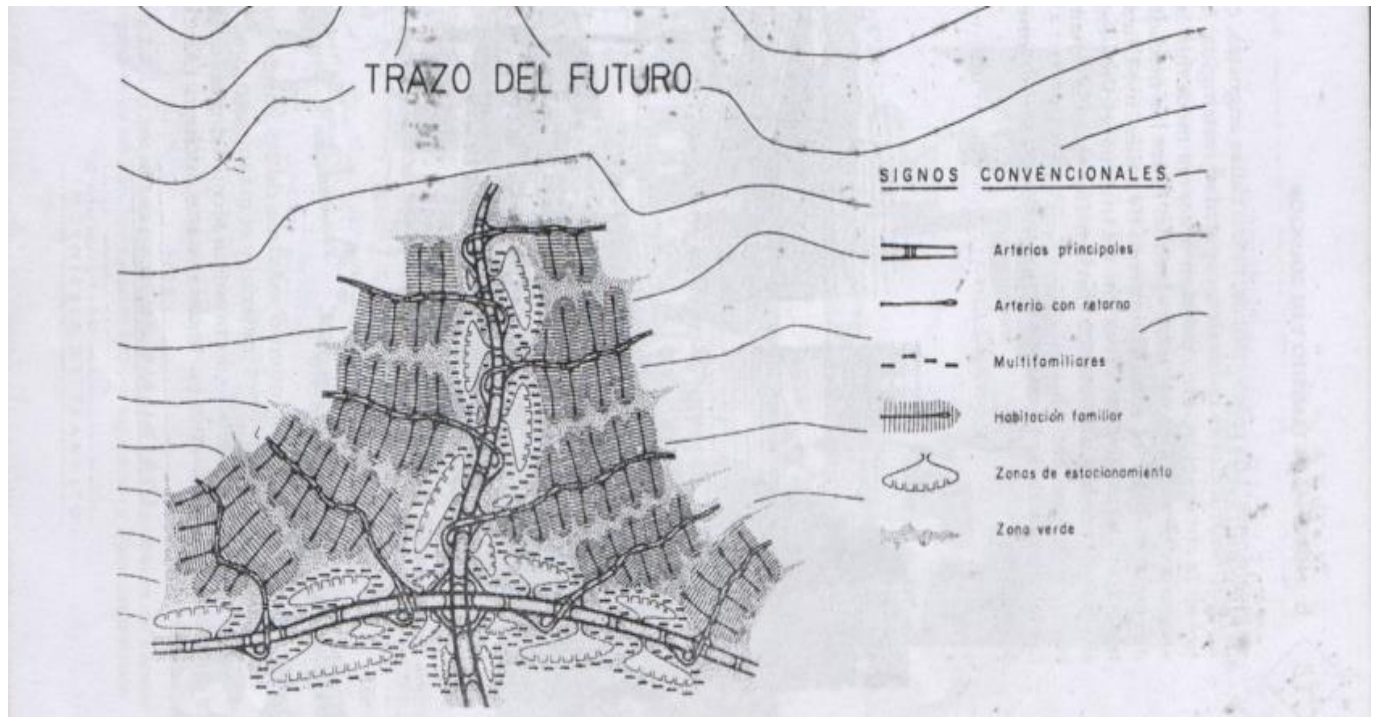


Fig. 2.3 (Fuente: Ingeniería de Tránsito; Rafael Cal y Mayor R; Cap. 2 Problemas de Tránsito y su Solución)

- **Solución parcial de alto costo:** Esta solución equivale a sacar el mejor partido posible de lo que actualmente se tiene, con ciertos cambios necesarios que requieran fuertes inversiones. Los casos críticos, como calles angostas, cruces peligrosos, obstrucciones naturales, capacidad restringida, falta de control en la circulación, etc., pueden atacarse mediante la inversión necesaria que es, siempre, muy elevada. Entre las medidas que pueden tomarse están: el ensanchamiento de calles, modificación de intersecciones rotatorias, creación de intersecciones canalizadas, sistemas de control automático con semáforos, estacionamientos públicos y privados, etc.
- **Solución parcial de bajo costo:** consiste en el aprovechamiento máximo de las condiciones existentes, con el mínimo de obra material y el máximo en cuanto a regulación funcional del tránsito, a través de técnica depurada, así como disciplina y educación por parte del usuario. Incluye, entre otras cosas, la legislación y reglamentación adaptadas a las necesidades del tránsito; las medidas necesarias de educación vial; el sistema de calles con circulación en un sentido; el proyecto específico y apropiado de señales de tránsito y semáforos; el estacionamiento de tiempo limitado; la canalización del tránsito a bajo costo; las facilidades para la construcción de terminales y estacionamientos; etc.



## 2.4.- FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROBLEMA DEL TRANSITO

En los últimos tiempos, a pesar de los avances tecnológicos con los que se ha logrado construir sistemas viales más acordes a los vehículos que los utilizan, los problemas de tránsito todavía existen en muchos de estos lugares.

Para poder determinar soluciones a problemas que incrementan la congestión vehicular debemos de conocer los factores que crean los mismos, entre estos podemos nombrar:

- *Diferentes tipos de vehículos en la misma viabilidad.*- Donde se caracterizan las diferentes dimensiones, velocidades, características de aceleración de los diferentes automóviles que recorren las vías, sin olvidarnos de las motocicletas y bicicletas.
- *Superposición del tránsito motorizado en vialidades inadecuadas.*- Donde observamos las dificultades de las vías, ya sean estas debido a los pocos cambios en el trazo urbano, a las calles angostas y aceras insuficientes.
- *Falta de planificación en el tránsito.*- Donde las calles y sus respectivas intersecciones siguen siendo construidas sin base técnica y con especificaciones anticuadas.
- *El automóvil no considerado como una necesidad.*- Resalta la falta de apreciación del público en general hacia los vehículos automotrices y a su necesidad en el transporte.
- *Falta de asimilación por parte del gobierno y del usuario.*- Donde la educación vial del conductor y del peatón son insuficientes y los reglamentos del tránsito no son aptos para las necesidades del usuario.

## 2.5.- ALCANCE DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO

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

### 1. Características del tránsito

Se analizan los diversos factores y las limitaciones de los vehículos y los usuarios como elementos de la corriente de tránsito. Se investigan la velocidad, el volumen y la densidad; el origen y destino del movimiento; la capacidad de las calles y carreteras; el funcionamiento de: pasos a desnivel, terminales, intersecciones canalizadas; se analizarán los accidentes, etc. Así se pone en evidencia la influencia de la capacidad y limitaciones del usuario en el tránsito; se estudia al usuario particularmente desde el punto de vista psíquico-físico, indicándose la rapidez de las reacciones para frenar, para acelerar, para maniobrar, su resistencia al cansancio, etc., empleando en todo esto, métodos modernos e instrumentos psicotécnicos, así como la metodología estadística.

### 2. Reglamentación del tránsito

La técnica debe establecer las bases para los reglamentos del tránsito; debe señalar sus objeciones, legitimidad y eficacia, así como sanciones y procedimientos para modificarlos y mejorarlos. Así deben ser estudiadas las reglas en materia de licencias; responsabilidad de



los conductores; peso y dimensiones de los vehículos; accesorios obligatorios y equipo de iluminación, acústicos y de señalamiento; revista periódica; comportamiento en la circulación, etc.

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

### **3. Señalamiento y dispositivos de control**

Este aspecto tiene por objeto determinar los proyectos, construcción, conservación y uso de las señales, iluminación, dispositivos de control, etc. Los estudios deben complementarse con investigaciones de laboratorio. Aunque el técnico en tránsito no es responsable de la fabricación de estas señales y semáforos, a él incumbe señalar su alcance, promover su empleo y juzgar su eficiencia.

### **4. Planificación vial**

Es indispensable, en la Ingeniería de Tránsito, realizar investigaciones y analizar los diferentes métodos, para planificar la vialidad en un país, en una municipalidad o en una pequeña área, para poder adaptar el desarrollo de las calles y carreteras a las necesidades del tránsito. Parte de esta investigación está dedicada exclusivamente a la planificación de la vialidad urbana, que permite conocer los problemas que se presentan al analizar el crecimiento demográfico, las tendencias al aumento en el número de vehículos y la demanda de movimiento de una zona a otra.

Es reconocido que el tránsito es uno de los factores más importantes en el crecimiento y transformación de un centro urbano y de una región, y es por esto que el punto de vista del Ingeniero de Tránsito debe ser considerado en toda programación urbanística y en toda planificación de política económica. El técnico a su vez debe acostumbrarse a tener en cuenta en sus trabajos las distintas exigencias de la colectividad de la higiene, de la seguridad, de las actividades comerciales e industriales, etc.

### **5. Administración**

Es necesario examinar las relaciones entre las distintas dependencias públicas que tienen competencia en materia vial y su actividad administrativa al respecto. Deben considerarse los distintos aspectos tales como: económico, político, fiscal, de relaciones públicas, de sanciones, etc.

Finalmente, debe hacerse énfasis en lo siguiente: el *Ingeniero de Tránsito* debe estar capacitado para encontrar la mejor solución al mejor costo posible. Naturalmente, puede pensarse en infinidad de soluciones por demás costosas, pero el técnico preparado en la materia además de estar capacitado para encontrar esta mejor solución, debe desarrollar eficientemente acciones a largo plazo, que tiendan a mejorar las condiciones del tránsito sin poner restricciones innecesarias al mismo.

## **2.6.- ELEMENTOS DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO**



El Ingeniero de tránsito o de carreteras necesita estudiar y comprender los elementos fundamentales que son importantes para el diseño de los sistemas de control de tránsito. En de este modo que se estudiaran de forma concisa las características básicas del peatón, el conductor, el vehículo y del camino que los ingenieros de tránsito deben conocer y entender.

### **2.6.1.- EL PEATÓN**

Se inicia con la descripción del peatón, como uno de los elementos básicos y fundamentales para el estudio de tráfico, sobre todo en las ciudades por ser un elemento que incide dentro del funcionamiento del tráfico.

Se define como peatón a "toda persona que se desplaza en la vía pública por sus propios medios, merced a su fuerza orgánica y física", es decir la persona que circula a pie, es decir a la población en general. El comportamiento de los peatones es poco predecible e indisciplinado respecto a las normas de circulación del flujo vehicular lo que conlleva a que se produzcan accidentes de tráfico.

Cuanto mayor es la población, mayor incidencia tiene el elemento peatón en el problema de tráfico, siendo importante definir en la etapa de análisis cuáles son los puntos críticos relacionados con el usuario peatón y cuál la magnitud de los problemas existentes.

Las características del peatón son relevantes para la práctica de la ingeniería de tránsito y puede influir en el diseño y la ubicación de los dispositivos de control de peatones. Estos dispositivos de control incluyen señales especiales para peatones, zonas de seguridad e islas de intersecciones, pasos a desnivel para peatones, pasarelas elevadas y cruces de peatones. Aparte de las características visuales y auditivas, las características de caminata juegan un papel importante para el diseño de algunos de estos controles. Por ejemplo, para el diseño de una fase totalmente roja, que permite que los peatones crucen una intersección con tránsito intenso requiere del conocimiento de las velocidades de caminata de los peatones.

Es importante en el usuario peatón establecer sus áreas de circulación y éstos son básicamente las áreas peatonales, cuya posición es paralela a la calzada a los costados de las mismas en anchos que pueden fluctuar entre 1 a 3,5 m. de ancho, la cual está en función del volumen peatonal considerando que aproximadamente se tiene cuatro peatones por metro cuadrado como máximo, lo ideal es considerar 0,45 a 0,55 m<sup>2</sup> por cada peatón.

Las observaciones de los movimientos de los peatones han indicado que las velocidades de caminata varían entre 1 y 2,5 m/s. También se han observado diferencias importantes entre la velocidad de caminata masculina y la femenina. Indicando la velocidad media para la caminata masculina en las intersecciones es de 1,50 m/s y para la caminata femenina de 1.4 m/s.

El elemento peatón tiene una mayor incidencia en los problemas de tráfico en el área urbana y no así en carreteras donde su incidencia es casi mínima, aunque vale la pena comentar que si existe un accidente en carretera con un peatón, por lo general llega a ser fatal.



El peatón es el primero en infringir las normas de los dispositivos de controles de tránsito, siendo esta horizontal o vertical, colocándose en constante peligro, es por esto que se ha visto una gran necesidad de promover la educación vial orientada al mejor comportamiento de las normas y reglamentaciones vigentes para que a través de ellos se pueda aminorar los accidentes donde la causa sean los peatones.

## **2.6.2.- EL CONDUCTOR**

Es otro de los elementos básicos y fundamentales para el estudio de tráfico, debido a que es un elemento que incide directamente en el funcionamiento del tráfico.

La conducción de un vehículo, refiere a la acción de hacerlo funcionar de manera controlada. Todo conductor está obligado a obedecer distintas normas de acuerdo al vehículo, el lugar y el momento en el cual lo utilizan.

Se define como conductor al usuario del automóvil que circula en el tráfico y éste tiene influencia directa en el movimiento y circulación del tráfico vehicular. Este elemento está sujeto en su comportamiento a unos análisis físicos y las reacciones físicas y psicológicas que pueda tener al manejar un vehículo.

### **2.6.2.1.- Características del conductor**

Un problema que enfrentan los ingenieros de tránsito cuando consideran las características del conductor durante el diseño son las diversas habilidades y la capacidad de percepción de los conductores en las vías urbanas y carreteras. Esto se demuestra por el amplio rango de habilidades que tienen las personas para oír, ver, evaluar y reaccionar a la información, pero estas habilidades pueden variar en una persona bajo diferentes condiciones, tales como la influencia del alcohol, el cansancio, el clima, alguna enfermedad y la hora del día. Por tanto, es importante que los criterios que se usen para propósitos de diseño sean compatibles con las capacidades y las limitaciones de la mayoría de los conductores de las zonas urbanas.

Las acciones que toman los conductores en un camino provienen de la evaluación y de la reacción a la información que obtienen de ciertos estímulos que ellos oyen o ven, es decir condiciones físicas, pero también se deben tomar en cuenta las condiciones psicológicas del conductor.

#### **2.6.2.1.1.- Condiciones físicas**

Dentro de las condiciones físicas debemos decir que las mismas se basan en el órgano de la visión, que es el que le da facultad para conducir un vehículo, este órgano de la visión normalmente un conductor forma un cono visual cuya amplitud puede ser variable, sin embargo en estudios realizados se ha comprobado que una visión segura se produce considerando una amplitud de ángulo de 10° a partir del órgano de la visión donde todos los objetos son identificados con tal claridad; más allá de esta amplitud puede el conductor visualizar pero sin detalle a los objetos.



Se ha sugerido que la mayor parte de la información recibida por el conductor es visual, lo que implica que la capacidad visual es de importancia fundamental en la tarea de manejo. Por tanto, es importante que la ingeniera de tránsito cuente con algún conocimiento fundamental de la precepción visual.

**2.6.2.1.1.1.- Recepción visual.-** Las principales características del ojo son la agudeza visual, la visión periférica, la visión de los colores, la visión de deslumbramiento y recuperación, y percepción de la profundidad.

- **Agudeza Visual.-** Es la capacidad para ver los detalles finos de un objeto, existen dos tipos importantes de agudeza visual en las emergencias de tránsito y de carreteras, **la agudeza visual estática**, que es la capacidad del conductor de identificar un objeto cuando ambos, conductor y objeto están inmóviles, donde los factores que afectan a la agudeza estática incluyen la brillantes del fondo, el contraste y el tiempo, y **la agudeza dinámica**, que es la capacidad del conductor para detectar claramente los objetivos que tienen movimiento relativo, no necesariamente en su línea directa de visión, explicando que la mayoría de la gente tiene una visión bastante clara dentro de un ángulo cónico de 10 a 12°, es por lo que es importante la colocación de los dispositivos de información de tránsito estén dentro del cono de 12°.
- **Visión Periférica.-** Es la capacidad de las personas para ver los objetos más allá del cono de visión de mayor claridad. Aunque los objetos puedan verse dentro de la esta zona, los detalles y los colores no son claros. El cono de la visión periférica podría proporcionar hasta 160° pero este valor se ve afectado por la velocidad del vehículo y por la edad del conductor.
- **Visión de los Colores.-** Es la capacidad para diferenciar los colores, pero la deficiencia de esta capacidad, conocida como daltonismo, no tiene mucha importancia en el manejo en carreteras debido a que existen otros dispositivos de información del tránsito. Porque se ha demostrado que el ojo tiene la máxima sensibilidad en las combinaciones de blanco y negro y de negro y amarillo.
- **Visión de Deslumbramiento y Recuperación.-** Existen dos tipos de visión de deslumbramiento, **la directa**; que se presenta cuando aparece en el campo de visión de la persona una luz relativamente brillante y **el deslumbramiento**; que se presenta cuando en el campo de visión aparece una imagen reflejada por el brillo relativo de la luz. Ambos tipos de deslumbramiento conducen a una disminución de la visibilidad y causan incomodidad en los ojos.

El tiempo que necesita una persona para recuperarse de los efectos del deslumbramiento desde de que ha pasado la fuente luminosa se conoce como recuperación del deslumbramiento, y según algunos estudios se ha demostrado que ese tiempo es aproximadamente de 3 segundos cuando se pasa de la oscuridad a la claridad, y de 6 segundos si el cambio se realiza a la viceversa.

- **Percepción de la Profundidad.-** La percepción de la profundidad afecta la capacidad de una persona para estimar la velocidad y la distancia. Es especialmente importante en carreteras





de dos carriles durante las maniobras de rebase. El ojo humano al no ser muy eficiente para estimar el valor absoluto de la velocidad, distancia, el tamaño y la aceleración, es la razón por la cual los dispositivos de control de tránsito tienen un tamaño, una forma y un color estandarizados.

- **Percepción Auditiva.**- El oído al recibir estímulos sonoros se vuelve de importancia para los conductores, especialmente cuando deben detectarse sonidos de advertencia emitidos por los vehículos de emergencia.

**2.6.2.1.1.2.- El proceso de percepción – reacción.**- Es el proceso por medio del cual un conductor, un ciclista o un peatón evalúan y reaccionan a un estímulo, puede dividirse en cuatro procesos.

- **Percepción.**- El conductor ve un dispositivo de control, una señal de advertencia, o un objeto en el camino.
- **Identificación.**- El conductor identifica el objeto o el dispositivo de control y de esta manera comprende el estímulo.
- **Emociones.**- El conductor decide que acción tomar como respuesta al estímulo; por ejemplo, pisar el pedal del freno, pasar, virar, o cambiar de carril.
- **Reacción o resolución.**- El conductor ejecuta en la realidad la decidida durante el sub proceso de las emociones.

El tiempo de percepción – reacción es un factor importante para la determinación de la distancia de frenado, lo que a su vez determina la distancia visual mínima que se requiere en una carretera y la longitud de la fase amarilla en una intersección señalizada. Este tiempo puede variar de persona a persona, y de hecho puede variar para la misma persona conforme cambia la ocasión.

#### **2.6.2.1.2.- Condiciones psicológicas**

La reacción psicológica es un proceso intelectual que culmina en un juicio. Se trata de estímulos que son percibidos y enviados al cerebro. Después de obtener una reacción se llega a una decisión para actuar. Son reacciones intelectuales del individuo, pero están afectadas por las emociones y otras causas que pueden modificar las facultades del mismo.

En el aspecto psicológico el usuario conductor puede tener dos reacciones: reacciones psicológicas condicionadas y reacciones psicológicas no condicionadas que se detallarán a continuación:

##### **2.6.2.1.2.1.- Reacciones psicológicas condicionadas**

La reacción Condicionada generalmente está relacionada con el sector de conductores que han desarrollado ciertos hábitos. A las personas que están acostumbradas a utilizar cierta ruta especial, cierto camino o cierta calle, se les desarrolla un hábito que se convierte en destreza. Pueden llegar a cierto cruce y prever el peligro, pueden tener en cuenta cosas que la persona que pasa por primera



vez no advierte. Entonces esas personas han desarrollado cierta habilidad, a la vez que una reacción condicionada, por haber usado ese camino muchas veces.

El conductor de un vehículo reacciona de acuerdo con los hábitos buenos o malos que se ha formado. Por lo general el hábito, la experiencia que ha adquirido el usuario, es la mejor defensa contra los accidentes.

#### **2.6.2.1.2.2.- Reacciones psicológicas no condicionadas**

Las reacciones psicológicas no condicionadas tratan de un proceso intelectual que culmina en un juicio. Se trata de estímulos que son percibidos y enviados al cerebro. Después de obtener una reacción se llega a una decisión para actuar. Son reacciones intelectuales del individuo, pero están afectadas por las emociones y otras causas que pueden modificar las facultades del mismo.

Podemos imaginar el diagrama de cómo llegan esas emociones, esos estímulos al cerebro a través de los órganos sensitivos del hombre: tacto, oído, vista, etc. Esas reacciones envían un mensaje al cerebro, este tiene que reaccionar a través de un proceso intelectual y tomar una decisión para actuar, finalmente, manda la orden al músculo apropiado, que actúa de inmediato.

Hay un tiempo mínimo de reacción en estos procesos. Este tiempo de reacción es el que corresponde al estímulo simple, es decir, no a una situación complicada, sino a una situación sencilla cuando existe un estímulo único.

Se llamará estímulo, a cualquier emergencia que se presente en nuestro camino: un peatón que cruza, un animal, una desviación, cualquier obstáculo, etc. Es el estímulo que percibe el usuario y que lo anima a actuar.

El tiempo mínimo de reacción que se encontró en el promedio de los individuos, cuando el vehículo no está en movimiento, es de un cuarto de segundo, o sea 0.25 segundos. Por ejemplo: es el tiempo que tarda un conductor que esta parada en espera del cambio de luz del semáforo, para reaccionar cuando pase de "ALTO" a "SIGA" y meta velocidad para arrancar el vehículo. De acuerdo con las pruebas que se efectuaron con un semáforo aislado, los tiempos promedios de reacción fueron los siguientes: 0.25 segundos, cuando el vehículo esta inmóvil y 0.83 segundos, en promedio, para el vehículo en movimiento, dependiendo de las circunstancias del tránsito y las velocidades. Se vio que en algunos casos podía llegar hasta dos o tres segundos.

Algunos factores que pueden modificar el comportamiento y reacción del conductor son:

- Influencia alcohólica.
- La fatiga.
- Estado emocional.
- Condiciones del tiempo.
- La época del año.



- Condiciones sobre el nivel del mar.

Se considera que un buen conductor debe tener las siguientes cualidades:

- Poseer buenas reacciones a los estímulos visuales.
- Calcular correctamente las distancias y velocidades de acuerdo con el movimiento de los vehículos y peatones.
- Ser rápidos y estar habituados a situaciones de urgencia.
- Tener aptitud mecánica y habilidad para el vehículo.
- Ser personas de confianza para asumir responsabilidades y respetar el derecho de los demás.

### **2.6.3.- EL VEHÍCULO**

El vehículo es un medio de transporte que se utiliza para trasladar de un lugar a otro, ya sean personas o cosas, estos pueden diferenciarse según su tamaño, capacidad, velocidad final, tecnología, es decir características físicas, y también se pueden diferenciarse por sus características estáticas, cinemáticas y dinámicas.

#### **2.6.3.1.- Características físicas**

Desde sus inicios el vehículo ha tenido una constante transformación en cuanto a sus características físicas de ancho y largo. Estas características pueden ser muy diferentes de unos vehículos a otros y en nuestro país actualmente circulan vehículos muy variados en sus múltiples características, pero existe en la actualidad una tendencia a estandarizar las dimensiones en la mayoría de las fábricas, reduciéndolas y dándoles mayor potencia.

En nuestro país, y en nuestra área de estudio circulan automotores de varios tipos, con diferentes características entre los mismos por lo que se debe de estudiar esta diversidad de móviles.

##### **2.6.3.1.1.- Tipos de vehículos**

Gran parte de las dimensiones y características de operación de las calles y carreteras, regidas por normas, se fundamentan en el tipo de vehículo que circulan por las mismas, es decir que se toma un vehículo hipotético, cuyo peso, dimensiones y características de operación son utilizadas, para establecer los lineamientos que guiarán el proyecto geométrico de las calles o carreteras.

Generalmente se suele tomar en consideración, para efectos del proyecto, tres tipos de vehículos de proyecto, que son los vehículos ligeros o livianos, los vehículos medianos y vehículos pesados.

Los vehículos ligeros o medianos, los cuales son los más números, están destinados al transporte de pasajeros (normalmente con capacidad para cuatro o cinco pasajeros), y son los que suelen definir las condiciones geométricas de las carreteras por su mayor velocidad.



Los vehículos destinados al transporte de mercancía son los sucesivos en el orden de importancia, debido a su semejanza con los coches, ya que son pequeñas furgonetas que realizan transportes a corta distancia en zonas urbanas o suburbanas, ambos vehículos se encuentran en el tipo de vehículos ligeros o livianos.

Los autobuses y camiones pequeños, destinados al transporte de viajeros tienen dimensiones un poco mayores a los vehículos ligeros y son más similares a los grandes camiones, pero su peso total suele ser menor y pueden viajar a mayores velocidades, son clasificados como vehículos medianos.

Los grandes camiones que se emplean en los transportes a largas distancias son los camiones rígidos con 2, 3 o 4 ejes, los vehículos articulados formado por un vehículo tractor y un semirremolque (que precisa apoyarse sobre el tractor al carecer de eje delantero), formando un camión rígido que se encarga del traslado de objetos, a estos vehículos se los conocen como tipo de pesado.

#### 2.6.3.1.2.- Clasificación Vehicular

Asume como objetivo el establecer la diversidad del tipo de vehículo que circula por una calle o carretera, conociendo de que actualmente circulan tipos de vehículos muy variados, en dimensiones, marcas, modelos, tendrá que establecer las características de circulación que tienen los flujos vehiculares en cuanto a sentidos y giros en intersecciones.

Según la clasificación dada para los tipos de vehículos tenemos:

##### ➤ Vehículos Pesados:

- **Camiones simples.-** Es un medio de transporte que se utiliza para trasladar materiales para su utilización en centros comerciales, consta de 4 ruedas y es de tracción mecánica.
- **Camiones sin remolque.-** Utilizados de forma comercial, para el traslado de productos alimenticios, productos empresariales, como ser el traslado de combustibles y otros. Costa de 4 a 6 ruedas.
- **Camiones con remolque.-** Son utilizados como un medio netamente comercial con contenido de materias de carga en toneladas, y traslado en algunos casos de vehículos.
- **Volqueta.-** Se utiliza para el traslado de materiales de construcción o tareas similares de la construcción, es de conocimiento que estos motorizados existen desde 4 cubos, pero existen mayores a esta capacidad y por eso clasifica como vehículo pesado.

##### ➤ Vehículos Medianos:

- **Micros.-** Es un medio de transporte que traslada personas de un lugar a otro, con un máximo de 29 pasajeros, excedido ese límite pasa a formar parte de los vehículos pesados, también es un medio para uso laboral, consta de 4 ruedas y es de tracción mecánica.



- **Camiones pequeños.-** Medio de transporte privado que se utiliza para el traslado de mercancía comercial.

➤ **Vehículos Livianos:**

- **Motocicletas.-** Es un medio que se utiliza como transporte por lo general personal, consta de 2 ruedas y se caracteriza por su facilidad al maniobrar y adelantarse a los vehículos cuando estos se encuentran en filas de espera.
- **Automóviles.-** Son los más comunes en el parque automotor, los mismos pueden ser utilizados de forma particular o en forma laboral, consta de 4 ruedas y se utilizan por lo general para el traslado de personas de un lugar a otro.
- **Furgonetas.-** Se caracterizan por ser un poco más amplios que los automóviles comunes, algunas constan con 3 filas de asientos, que aumentan la capacidad de ocupantes, es por este motivo que por lo general lo utilizan para viajes interprovinciales.
- **Camionetas.-** Son utilizadas como un medio de transporte particular para trasladarse de un lugar a otro, pero debido a sus dimensiones y a su capacidad de carga se encuentra es esta categoría.
- **Vagonetas.-** Son vehículos de tracción por lo general en las 4 ruedas, con amplias dimensiones, y de gran comodidad, son de uso particular, y se las utiliza normalmente para realizar viajes privados y en familia.

También podemos clasificar los vehículos según su uso:

➤ **Privados.-**

- Pasajeros
- Carga

➤ **Públicos.-**

- Pasajeros
- Carga

Por lo tanto, según el tipo de estudio del proyecto se clasificará y se realizará el aforo correspondiente, estableciendo planillas metodológicas que sirvan de forma integral de manera que el aforo nos proporcione toda la información requerida en cuanto a volúmenes de tráfico.

**2.6.3.2.- Características estáticas**

El tamaño del vehículo de diseño para una carretera es un factor importante en la determinación de los estándares de diseño de varios componentes físicos de la carretera. Estos incluyen el ancho de carril, ancho de cuneta, longitud y ancho de bahías de estacionamiento, y longitud de las curvas verticales. El peso de los ejes de los vehículos (en espera) sobre la carretera es importante para determinar el peralte del pavimento y la pendiente máxima.

En años pasados existía una normativa sobre los límites de tamaño y de peso para los camiones que transitaban por las carreteras en algunos países, pero en la actualidad ya no se permite que se establezcan dichos límites, las características estáticas de los vehículos que se espera usen la carretera son factores que influyen, como se explicó antes, en la selección de los criterios de diseño para las carreteras.

Por tanto, es necesario que se clasifiquen todos los vehículos, de modo que puedan proporcionarse características estáticas representativas dentro de una clase específica para propósitos de diseño. La AASHTO ha seleccionado tres categorías generales de vehículos: automóviles de pasajeros, camiones y autobuses/vehículos recreativos. En la de automóviles de pasajeros están los compactos y los subcompactos, todos los vehículos ligeros, y los camiones ligeros de reparto. En la de camiones se incluyen los de una sola unidad, las combinaciones de tractocamión-semirremolque, y los camiones o tractocamiones con semirremolque en combinación con remolques completos. Y en la de autobuses/vehículos recreativos están los autobuses de una sola unidad y los automóviles que arrastran remolques.

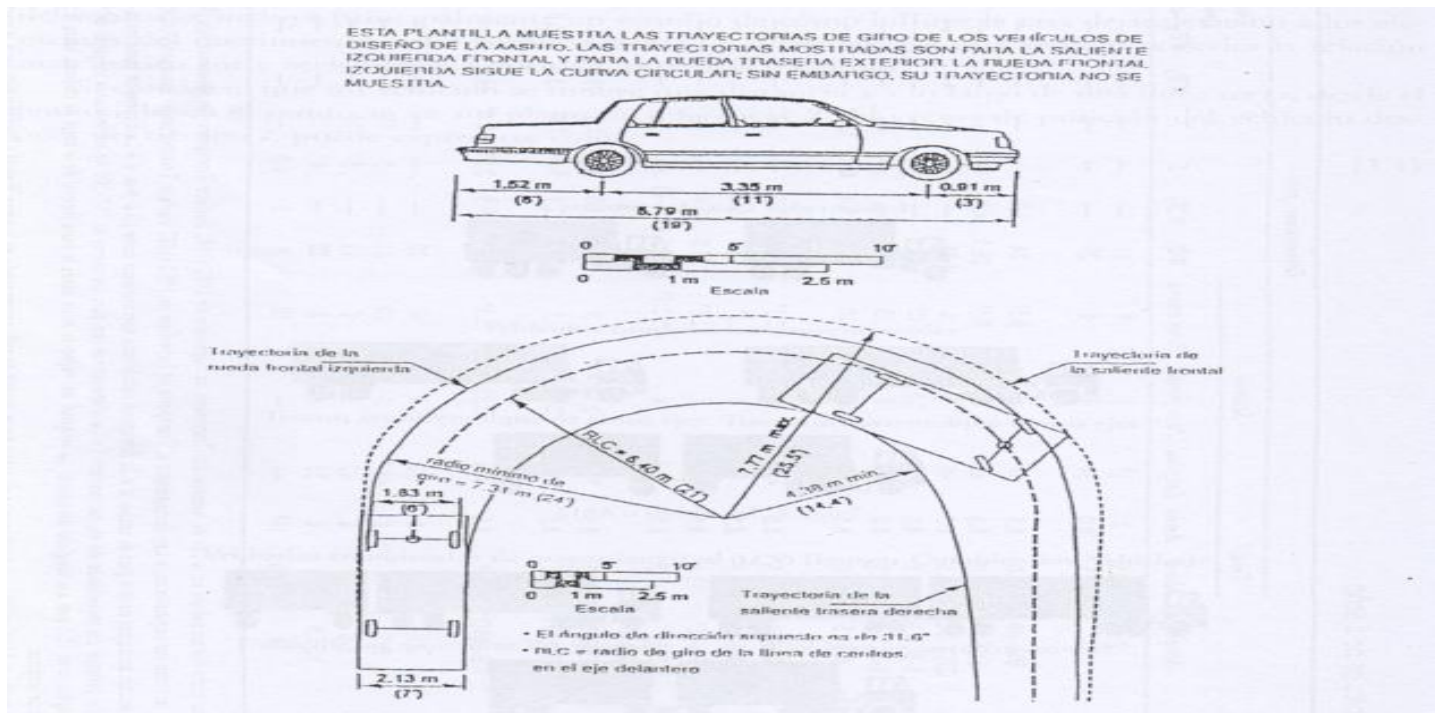


Fig. 2.4 (Fuente: Ingeniería de Tránsito y carreteras; Nicholas j. Garber y L. A. Hoel; Cap. 3 Características del conductor, del peatón, del vehículo y del camino)

Dentro de las características estáticas del vehículo se considera peso y tamaño del mismo, para el cálculo del radio de giro mínimo a velocidades bajas (10 millas/hora o menos que equivalen a unos 16 km/h). En las siguientes figuras se muestran respectivamente los requerimientos de radio de giro para vehículos de diseño para pasajeros y para semirremolques, estas trayectorias de giro se seleccionaron mediante un estudio de trayectorias de giro de modelos a escala de los vehículos representativos de cada categoría.

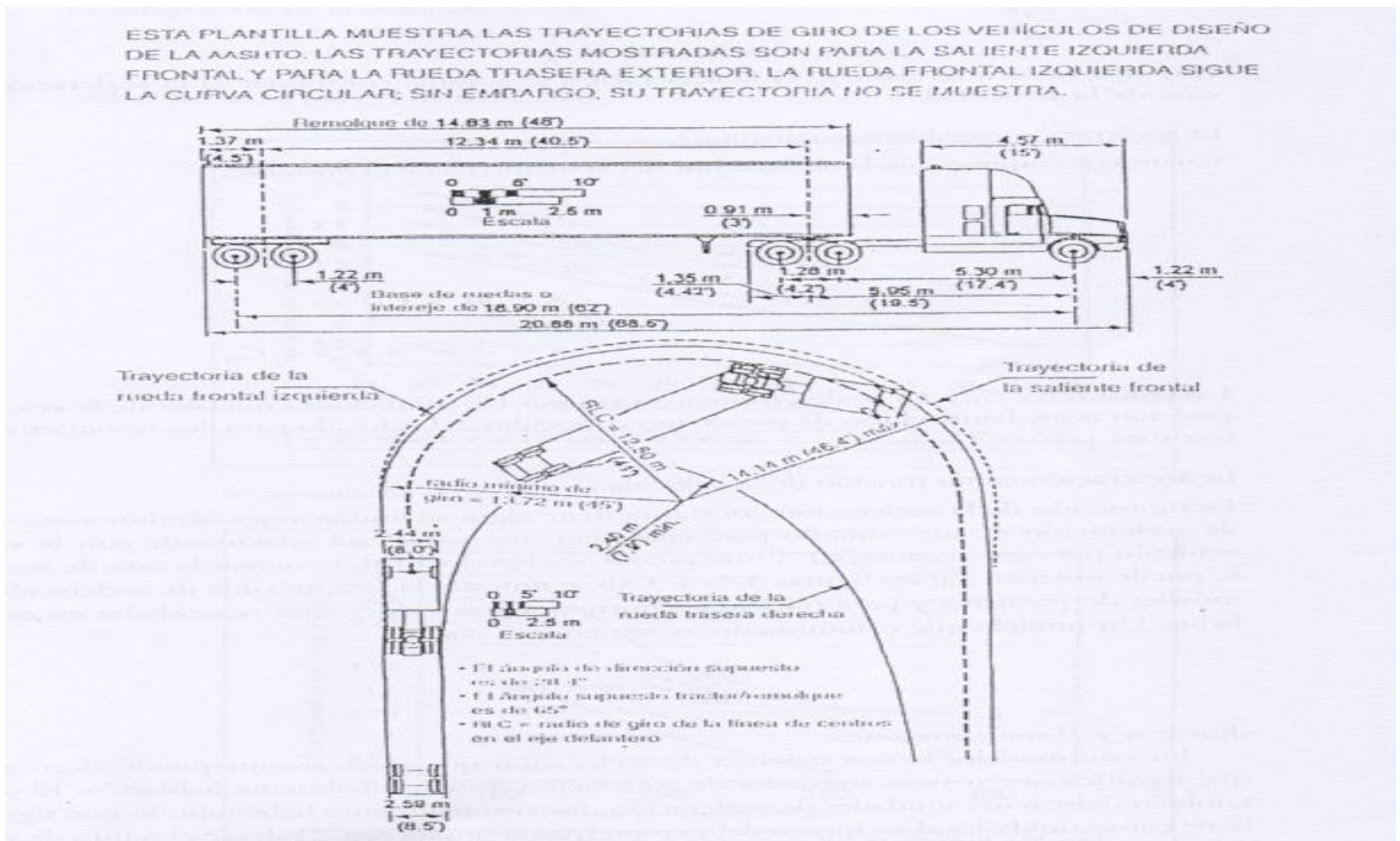




Fig. 2.5 (Fuente: Ingeniería de Tránsito y carreteras; Nicholas j. Garber y L. A. Hoel; Cap. 3 Características del conductor, del peatón, del vehículo y del camino)

### 2.6.3.3.- Características cinemáticas

El elemento principal de las características cinemáticas es la capacidad de aceleración del vehículo. La capacidad de aceleración es importante en varias operaciones de tránsito, tales como las maniobras de rebase y la aceptación de la estrechura. La aceleración es importante para la determinación de las fuerzas que causan movimiento.

Por tanto, un estudio de las características cinemáticas del vehículo, incluye principalmente un estudio de cómo influye la tasa de aceleración a los elementos del movimiento, tales como velocidad y distancia, revisando la relación matemática entre aceleración, velocidad, distancia y tiempo, se determinó la siguiente ecuación:

$$u = \frac{\alpha}{\beta} * (1 - e^{-\beta * t}) + v * e^{-\beta * t}$$

Donde:

$u$  = velocidad final.

$\beta$  y  $\alpha$  = son constantes; 0,04 y 3,3.

$v$  = velocidad de recorrido en pies / segundo.

$t$  = tiempo de aceleración.

Y para hallar la distancia de frenado:

$$x = \left(\frac{\alpha}{\beta}\right) * t - \frac{\alpha}{\beta^2} * (1 - e^{-\beta * t}) + \frac{v}{\beta} * (1 - e^{-\beta * t})$$

Donde:

$x$  = distancia de frenado.





$\beta$  y  $\alpha$  = son constantes; 0,04 y 3,3.

$v$  = velocidad de recorrido en pies / segundo.

$t$  = tiempo de aceleración.

#### **2.6.3.4.- Características dinámicas**

Dentro de las características dinámicas, se puede citar que existen varias fuerzas actúan sobre un vehículo cuando este se encuentra en movimiento: la resistencia del aire, la resistencia de la pendiente, la resistencia al rodamiento, y la resistencia a la curva. El grado hasta el cual estas fuerzas afectan la operación del vehículo se discuten en esta sección.

##### **2.6.3.4.1.- Resistencia Al Aire**

Es la fuerza que debe de vencer un vehículo en movimiento a la resistencia que confiere aire que tiene enfrente y a la debida a la fricción provocada alrededor del vehículo.

La resistencia al aire depende del área expuesta del vehículo y del cuadrado de la velocidad a la que circula.

A partir de las ecuaciones de la aerodinámica, la fuerza de arrastre que el aire genera en el vehículo es:

$$Fd = Cd * \frac{1}{2} * \rho * v^2 * A$$

Donde:

$Fd$  = es la resistencia del aire.

$Cd$  = el coeficiente de arrastre, cuyo valor medio en el caso de automóviles es de 0.006.

$v$  = la velocidad del vehículo.

$\rho$  = la densidad del aire a nivel del mar.

$A$  = es el área transversal del vehículo en dirección perpendicular a la dirección del movimiento, con las unidades en el sistema internacional.

##### **2.6.3.4.2.- Resistencia A La Pendiente**

Cuando el vehículo se encuentra en un plano inclinado, una parte del peso gravita en contra al sentido de la marcha, originando una resistencia ( $Fp$ ), debida a la pendiente, que se opone a la fuerza de impulsión.



En consecuencia, hay que aumentar ésta con tal de poder desplazar el vehículo.

La resistencia a la pendiente depende del peso del vehículo ( $P_t$ ) y del ángulo de la pendiente ( $\alpha$ ).

$$F_p = P_t * \sin \alpha$$

Donde:

$F_p$ : Resistencia a la pendiente.

$P_t$ : Peso total del vehículo.

$\alpha$ : Angulo de pendiente del terreno

El ángulo de la pendiente viene determinado por la relación entre la altura del terreno ( $h$ ) y la longitud ( $l$ ) del mismo; se suele expresar en % de pendiente a subir.

$$\sin \alpha = \frac{h}{l}$$

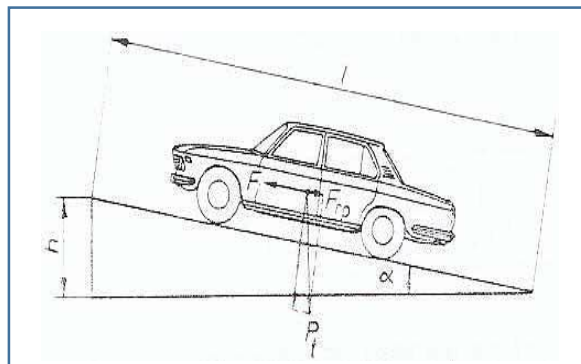
$$Pendiente = \sin \alpha * 100 = \frac{h}{l} * 100 \text{ (en \%)}$$

Donde:

$\alpha$ : Angulo de pendiente del terreno.

$h$ : Altura del terreno.

$l$ : Longitud del terreno.





Si se trata de un recorrido de pendiente hacia arriba, la inclinación tenderá a detener el vehículo y el motor tendrá que vencerla. Si, al contrario, se trata de una pendiente hacia abajo, la inclinación acelerará el coche; esto último es muy importante para la conducción por montaña ya que el motor del vehículo puede llegar a velocidades peligrosas que pueden destruirlo.

#### 2.6.3.4.3.- Resistencias Al Rodamiento

Debido al peso que gravita sobre las ruedas, los neumáticos ejercen presión sobre el terreno. Esta presión hace que el neumático no se apoye sólo sobre un punto, sino sobre una superficie más o menos grande que origina el rozamiento con el terreno y por lo tanto, una resistencia ( $Fr$ ), llamada resistencia al rodamiento. Esta resistencia depende de la profundidad de la pisada, del peso del vehículo ( $Pt$ ) y del coeficiente de resistencia al rodamiento ( $mr$ ).

$$Fr = Pt * mr$$

Donde:

$Fr$ : Resistencia al rodamiento.

$Pt$ : Peso total del vehículo.

$mr$ : Coeficiente de resistencia al rodamiento.

El coeficiente de resistencia al rodamiento, calculado en función de la pisada, depende de la naturaleza y el estado del terreno sobre el cual se apoya la rueda, de las dimensiones del neumático, de la presión de inflado. Todas estas condiciones determinan este coeficiente y hacen que la resistencia al rodamiento sea variable para un determinado vehículo.

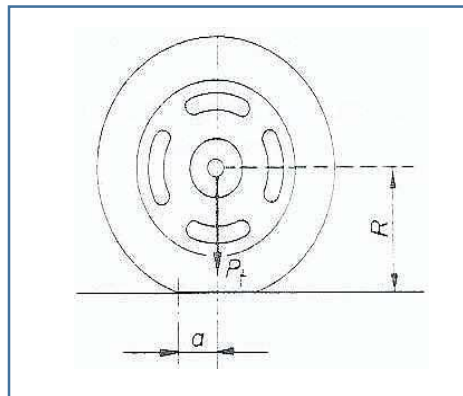
Entonces:

$$mr = \frac{a}{R}$$

Donde:

$a$ : semi longitud de la huella.

$R$ : radio de la rueda



#### 2.6.3.4.4.- Resistencia Por Fricciones Mecánicas

Esta resistencia se debe a las pérdidas de rendimiento en los mecanismos de transmisión y oscila entre un 10 y un 15 % de la potencia transmitida por el motor.

$$W_n = h_m * W_f$$

Donde:

$W_n$ : Potencia útil a la rueda.

$h_m$ : Rendimiento mecánico.

$W_f$ : Potencia aplicada a la transmisión.

#### 2.6.3.4.5.- Resistencia Por Inercia

Esta resistencia se pone de manifiesto en los cambios de velocidad y viene determinada por la energía absorbida por el vehículo para producir el incremento de velocidad como todo aumento de velocidad origina una aceleración, la resistencia que se opone al vehículo es ésta:

$$F = m * a$$

Donde:

$F$ : Resistencia per inercia.

$m$ : Masa del vehículo.

$a$ : aceleración del vehículo.



Esta fuerza es muy importante en el tránsito urbano, y genera un alto nivel de consumo. Se pueden tener valores altos en caso de frenadas repentinas y toda esta energía se disipa en forma de calor en el medio por la fricción de los discos o pinzas de frenos y los neumáticos contra el asfalto.

#### 2.6.4.- EL CAMINO

Según el libro de Ingeniería de Tráfico de Rafael Cal y Mayor R., se entiende por camino, a una faja de terreno acondicionado para el tránsito de los vehículos. La denominación de camino incluye a nivel rural las llamadas carreteras, y a nivel urbano las calles de la ciudad.

Ciertamente uno de los patrimonios más valiosos con los que cuenta cualquier país, es la infraestructura de su red vial, por lo que su magnitud y calidad representan uno de los indicadores del grado de desarrollo del mismo.

El diseño geométrico de las carreteras o calles, incluye todos aquellos elementos relacionados con el alineamiento horizontal, el alineamiento vertical y los diversos de la sección transversal.

Existe en práctica diferentes tipos de vía, una clasificación muy general será:

**1.- Calles o vías urbanas.-** El elemento de la calle en los trazos urbanos es muy importante ya que es muy fácil modificar el trazo urbano sin que los costos sean altos para esto hay que realizar una clasificación las cuales pueden ser: arteriales, colectores y simples. En cada una de éstas se debe hacer un inventario sobre sus características físicas y hacer estudios que sirvan para el planteamiento de soluciones de todos los factores de tráfico que intervienen.

Siendo principales las que tienen el flujo vehicular principal y secundarias cuando el flujo es transversal. Cuando tienen esa catalogación, tienen preferencia de paso las vías principales frente a las vías secundarias.

Cuando no existe una diferencia marcada entre las dos vías transversales, el flujo de preferencia es el de la derecha.

Son **arteriales**, aquellos que llevan el flujo direccional principal en el caso de troncos urbanos cuadriláteros, pueden que sea en sentido N-S y O-E y en el sentido transversal N-S o S-N.

Normalmente las calles arteriales coinciden en tener una mejor geometría y mejores características físicas en cuanto a lo ancho, alineamiento y pendiente.

En el caso de trazos urbanos radiales, las arterias vienen a ser los anillos de circulación concéntricos en el trazo urbano

Las calles **colectoras**, son aquellas que llevan el flujo vehicular a las arteriales, es decir resultan ser las calles alimentadoras del flujo vehicular a las calles arteriales, normalmente éstas tienen



condiciones físicas o geométricas de menor envergadura, pero tienen igual importancia en el sentido de tráfico.

Las calles **secundarias o terciarias**, son aquellas que están apartando el flujo a las calles colectoras, lo que implica que la cantidad de flujo es menor y que las condiciones físicas y geométricas también tenga una menor envergadura.

Otra clasificación de las vías es por el sentido o número de sentidos del flujo vehicular que a su vez da origen a intersecciones de diferente tipo en el cruce de estas vías por lo tanto la división sería en calles de un solo sentido y en calles de doble sentido, en estos últimos de doble sentido podrán tener separadores físicos o no.

Las calles de un solo sentido son las que permiten un flujo vehicular a una sola dirección pudiendo estar formada por una, dos o más líneas de flujo, normalmente en calles de trazo cuadrangular las de un sentido tienen una o dos líneas de flujo.

El tipo de calles por el número de sentidos de flujo vehicular dan origen a diferentes tipos de intersecciones simples e intersecciones compuestas, las simples serán aquellas donde se encuentran flujos de sentido simple, y las compuestas donde se encuentran calles de sentido simple o de sentido doble

**2.- Carreteras O Vías Rurales.-** Este elemento fundamental de la circulación es el propio camino por donde se mueven los vehículos. Este elemento es de igual importancia dentro de la problemática de tráfico y transporte sobre todo por sus características físicas que pueden de alguna manera influir en la circulación vehicular y peatonal.

Las características más importantes del elemento calle o carretera son las siguientes:

- **Su sección transversal:** Sea una calle o una carretera la sección transversal está compuesta de la calzada que a su vez tiene a los carriles, las bermas en carreteras, las aceras en las calles urbanas, los taludes de corte y relleno en carreteras, los umbrales en las calles urbanas.

La magnitud de los elementos físicos de la sección transversal influye directamente en la circulación vehicular y peatonal, al ancho de los carriles de circulación vehicular y peatonal. Cuanto mayor es la dimensión de la sección transversal en todos sus elementos mejor es la condición de circulación vehicular y peatonal.

Los anchos de carril normalmente varían entre 2.5 – 3.65 m.

- Los anchos de berma entre 0,5 – 2 m.
- Los anchos de acera entre 0,5 – 2 m.
- Los anchos de separadores de sentido de 1 – 4 m.



Por supuesto estos valores sólo son de carácter indicativo es la planificación urbana la que debe indicar en definitiva los anchos en la sección transversal de una calle o carretera tomando en cuenta la problemática del tráfico.

- **La pendiente longitudinal y transversal:** Las pendientes tanto longitudinal como transversal son elementos influyentes para la circulación del tráfico vehicular y peatonal, porque a pendientes mayores en la circulación se tiene menores velocidades y se reduce la capacidad. En las ciudades se trata de que las pendientes sean lo más bajas posibles siempre y cuando las condiciones topográficas lo permitan  
En las carreteras la pendiente longitudinal está ligada a los otros elementos geométricos en un máximo de 7 % y un mínimo de 0,4 %.  
La pendiente mínima tanto en calles como en carreteras está ligada al escurrimiento del drenaje superficial por lo tanto tampoco es recomendable tener pendientes demasiado bajas que puedan perjudicar en su momento por el tema del escurrimiento al tema de la circulación vehicular y peatonal.  
La pendiente transversal está más ligada al escurrimiento del drenaje la calidad de la superficie de rodadura, cuanto más rugosa mayor la necesidad de mayor pendiente transversal.  
Los valores varían entre 1.5 y 4% de pendiente.
- **Su relación en las intersecciones:** Con mayor incidencia en las calles que en las carreteras, las intersecciones son elementos físicos muy importantes para la visibilidad para los conductores para el momento de realizar maniobras de circulación en cada una de las intersecciones la presencia del ancho de las intersecciones del equilibrio entre las pendientes de llegada en una intersección, las ochaves debido a las edificaciones y la amplitud de la mismas inciden en la circulación vehicular y peatonal de manera que cuanto mayor sea la amplitud mayores serán los grados de seguridad en circulación y menores los grados de accidentalidad.
- **Su relación con el entorno ambiental:** Las características de la calle o carretera también tienen que tener una relación con el entorno ambiental es decir debe tomarse en cuenta el ruido que producen los vehículos la que se producen por la conducción usadas por el vehículo en entorno vegetativo los hábitos de la población, la presencia de los animales en la circulación vehicular y peatonal.  
Todos estos aspectos de carácter ambiental deben influir cuando se está proyectando las características físicas del elemento calle o carretera, a futuro se espera que la influencia de los temas ambientales será mayor porque la premisa es que toda obra física debe apuntar al bienestar humano y por lo tanto debe cuidarse este elemento en toda clase de proyectos civiles.

## 2.7.- PARÁMETROS DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO



El comportamiento de tráfico se estudia por medio de unas variables que recogen los aspectos más importantes del mismo.

Entre las de tipo macroscópico las empleadas más frecuentemente son: La **intensidad o volumen** que define el número de vehículos que pasan por un perfil transversal de la vía en la unidad de tiempo; La **velocidad media** de los vehículos; la **densidad** que es el número de vehículos por unidad de longitud de vía y la **capacidad** que es el número de vehículos máximo que pasa por una sección de una calle o carretera en un periodo de tiempo.

Entre las variables de tipo microscópico de mayor empleo se encuentran: El **intervalo inter vehicular** y **el intervalo hueco inter vehicular** espaciales y temporales, que describen magnitudes que relaciona a cada vehículo con el que le sigue, y **el número de paradas** de cada vehículo en un recorrido o tiempo dado.

Es evidente que tanto desde el punto de vista físico como matemático estas variables están relacionadas entre sí directamente o indirectamente para el estudio del comportamiento del tráfico hay que conocer estas relaciones y sus características más importantes.

En este capítulo sólo hablaremos de los parámetros macroscópicos que son:

- Intensidad o volumen.
- Velocidad media.
- Densidad.
- Capacidad.

### 2.7.1.- INTENSIDAD

Se define como intensidad de tráfico al número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o de una calzada, durante un periodo de tiempo determinado, las unidades más usadas son vehículos/hora (intensidad horaria) y vehículos/día (intensidad diaria) se expresa como:

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

Dónde:

Q = vehículos que pasan por unidad de tiempo.

N = número total de vehículos que pasan (vehículo)

T = periodo determinado (en tiempo)





La intensidad es la característica más importante de la circulación vial ya que las demás pueden relacionarse con ella fácilmente.

Proporciona una descripción muy intuitiva del comportamiento de tráfico en cada momento y además, al haber sido la variable más utilizada por la ingeniería de tráfico, existe una gran variedad de datos y estudios de la misma.

Para medirla, como se verá más adelante, se realizan aforos en determinadas secciones de la carretera, aforando manualmente o automáticamente utilizando aparatos contadores.

Estos aforos se realizan durante periodos más o menos largos y se obtienen así un registro de los valores de la intensidad durante dichos periodos.

La variación de la intensidad a lo largo del tiempo presenta gran importancia. Como valor representativo de la misma durante el periodo de medida, se suele adoptar la intensidad diaria (u horaria si el periodo de medida es menor que un día), media de todas las registradas.

Generalmente el periodo de aforo se extiende durante un año, y la **intensidad media diaria** durante un año (IMD) es la magnitud más utilizada para caracterizar la intensidad en carreteras, y se puede definir como el número total de vehículos que ha pasado por una sección de la carretera durante un año determinado dividido por 365.

La IMD define la importancia de las distintas vías y permite su clasificación. Sirve además de base para la elaboración de estadísticas, estudio de las tendencias y la evolución del tráfico, para los estudios económicos y también para relacionar el tráfico con otras magnitudes.

#### **2.7.1.1.- Diferencia entre volumen e intensidad**

La diferencia entre volumen e intensidad de tráfico es importante. El volumen es el número real de vehículos que pasan por una sección de una calzada durante un intervalo pero expresados a través de una intensidad horaria equivalente. La intensidad de tráfico se obtiene dividiendo el número de vehículos observados durante un periodo subhorarios entre el tiempo de observación (en horas). En consecuencia, un volumen de 100 vehículos observados durante un periodo de 15 minutos (15 min.) implica una intensidad de tráfico de  $100/0,25h$ . es decir 400 veh/hrs.

#### **2.7.1.2.- Tipos de volúmenes de circulación**

Se define como volumen de tráfico al número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o de una calzada, durante un periodo de tiempo determinado.



Los volúmenes se pueden expresar en relación a periodos anuales, diarios, horarios o subhorarios, dando origen a un nuevo concepto de trafico promedio diario y trafico promedio horario respectivamente.

**2.7.1.2.1.- Volumen De Tránsito Promedio Diario.-** Dentro de los volúmenes de tráfico considerando que el concepto general es de la relación de número de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera o calle en un periodo de tiempo, si ese periodo de tiempo es de un día o 24 horas el volumen determinado recibe el nombre de Tránsito Diario, si ese conteo o aforo es realizado por varios días el valor promedio es conocido como Tránsito Promedio Diario.

Normalmente se estipula que un estudio de volúmenes de tráfico completo debe tener un tiempo de duración de registro de un año, por lo tanto, los valores de Tránsito Diario que se obtengan serán de Tránsito Promedio Diario Anual.

En la práctica solo instituciones públicas pueden tener registros permanentes, para proyectos específicos los estudios que se realizan son en periodos cortos siendo significativo por lo menos de 3 meses de registro con mayor intensidad de horas registradas.

**2.7.1.2.2.- Volumen De Transito Promedio Horario.-** Los volúmenes horarios a diferencia de los volúmenes diarios dentro de los estudios de ingeniería de tráfico son más significativos porque nos muestran las características de circulación en cuanto al número de vehículos en cada hora correspondiente a un día y en todo el transcurso de un año eso permite trabajar estadísticamente y formar polígonos de frecuencia, histogramas, determinar horas pico, determinar variaciones horarias, etc.

Si bien es más importante tener información del tráfico horario, también es cierto que resulta más costoso obtener esta información debiendo tenerse mayor personal, mayores puntos de aforo y por lo tanto un mayor costo.

Cuando no es posible tener información sobre el Tránsito Promedio Horario se puede utilizar la relación establecida por la AASTHO y por la AIPCR organismos que han estudiado el efecto del volumen del tráfico quienes establecen la siguiente relación:

$$\text{TPH} = (12\% - 15\%) \text{TPD}$$

### 2.7.1.3.- Tipos De Aforo

Existen diferentes tipos de aforo los más usados los explicaremos a continuación:



- **Aforo Manual.-** Los aforos manuales son realizados definiéndose puntos en la carretera o calle estudiada sobre la sección transversal de la misma, por la cual se debe realizar el conteo de vehículos que pasan en tiempos determinados horarios o diarios.  
Para ello es necesario que el aforador tenga definido si el aforo solamente va a tener el objetivo de determinar cantidad o además de ello se va a determinar la composición vehicular o alguna característica especial que se requiera de la forma como por ejemplo la cantidad de vehículos públicos. Para realizar un aforo manualmente se debe preparar una planilla de campo un esquema de gabinete.  
La periodicidad con que se debe realizarse los estudios, son estudios determinados o puntuales de un proyecto o son parte de un control permanente de tráfico lo ideal es estudiar los volúmenes de tráfico todos los días del año, y en los días por lo menos 12 a 15 horas al día sin embargo esto implica tener un buen equipo de aforadores y procesadores de datos lo cual no siempre es disponible en las instituciones relacionados a este tema, por ello se establece que para estudios cortos debe ser de 3 horas del día generalmente horas pico, horas críticas y durante tres meses, si se quiere acortar la duración de los registros a un mes se tendrá que aumentar las horas y días de aforo.  
La ventaja de un registro manual está en que no solo se puede hacer un conteo de los vehículos numérico sino con composición vehicular e inclusive con características especiales para un proyecto especial no es posible para un aforo automático.  
La desventaja que requiere mucho personal y por lo tanto mayor costo económico lo que restringe el uso del trabajo de aforo manual.
- **Aforo Automático.-** Estos aforos se refieren a que están basados en el uso de controladores o registradores automáticos que permiten aforar la cantidad de vehículos que pasan por una sección definida entre las formas más usadas están:
  - **Membrana eléctrica.-** Una membrana eléctrica es un dispositivo que se coloca transversalmente a la calle en el punto que se va hacer el aforo esa membrana está conectada en serie a un contador que por cada impulso abarca una unidad lo que quiere decir que cada vehículo de dos ejes va a producir dos impulsos y por lo tanto las lecturas se van a tener en el contador dividido por dos, nos dará el número de vehículos registrados en el periodo establecido.  
Este sistema es bueno para realizar solo aforos de cantidad de vehículos no nos proporciona información sobre la composición vehicular ni tampoco las particulares de aquellos vehículos que llevan más de dos ejes por lo tanto podrá distorsionarse la información, pero la ventaja se requiere de poco personal que solo realice los conteos en lapsos de tiempo determinado
  - **Bucles electromagnéticos.-** El bucle electromagnético es otro dispositivo que se utiliza para el aforo del tráfico que consiste en colocar un laso en el carril de aforo que está conectado, a un contador automático cuyo laso produce en su interior un campo electromagnético el cual actúa para movilizar el contador ante la presencia de un vehículo este sistema es mucho más moderno que el de la membrana



eléctrica que tenía las mismas ventajas pero sufría el mismo defecto de no poder darnos información sobre la composición vehicular aunque se tenía la posibilidad de colocar bucles calibrados continuos cuya calibración estaba con relación al peso por lo tanto algunos bucles registraban a los vehículos livianos y otros a los pesados.

- **Sensores.**- El avance tecnológico de la electrónica y la informática ha permitido que se pueda usar sensores de diversos tipos que actúan ante la presencia de los vehículos que son registrados por contadores automáticos que están ya conectados un sistema informático la posibilidad de los videos de los rayos láser radares y programas informáticos permite con todo este sistema no solo la cantidad de vehículos que pasa por una sección sino información sobre la composición vehicular intervalos entre vehículos densidad, velocidad, etc. Por supuesto estas grandes centrales de tráfico tienen una inversión económica muy alta que no es accesible en todas las ciudades.

Cualquiera sea la forma de realizar el aforo lo que debe interesar al ingeniero De tráfico es que obtenga una información lo más cierta posible y que sea la mínima necesaria para realizar sus estudios.

#### 2.7.1.4.- Periodo De Aforo

De acuerdo a las necesidades de cada proyecto o estudio se pueden tener tres tipos de periodos de aforo de acuerdo a la periodicidad.

- **Aforos permanentes.**- Son aquellos que se realizan generalmente con contadores automáticos que han sido instalados en una sección de la carretera que se van registrando diariamente los volúmenes para luego procesarlos, tener las variaciones semanales, mensuales y anuales.

Este tipo de recuento solo es factible en aquellas carreteras de mucha importancia por ejemplo en la actualidad debido a la tendencia de tener carreteras en concesión se hace necesario el registro permanente de los volúmenes de tráfico.

Esto obviamente obliga a tener un presupuesto destinado al registro de valores de tráfico.

- **Aforos periódicos.**- Cuando no se puede disponer de equipo permanente para toda la red vial que realice el trabajo del recuento de volúmenes.

Se debe establecer que es muy útil realizar recuentos periódicos en ciertas épocas del año que nos den valores contables y significativos cuya correlación nos permita adoptar como valores promedio del año.

Estos recuentos periódicos se realizan en ciertas épocas del año y a lo sumo tienen un tiempo de un mes y por un máximo de tres veces al año.

- **Aforos de tiempo específico.**- Son aquellos que se realizan en un determinado sector del trazo urbano generalmente entre 5 y 30 días las 24 horas y proyectarlas a volúmenes diarios mensuales y anuales. La ejecución de estudios de diseño de carreteras, diseño de trazos urbanos evaluación de carreteras ya existentes, evaluación de trazos urbanos, estudios de



variantes y ampliaciones por ser proyectos específicos involucran a un tramo definido o a un sector del trazo urbano definido se establece que recuentos en tiempos específicos pueden ser útiles en su información para correlacionar con los ya existentes y coadyuvar a la toma de decisiones para dichos proyectos, se pueden tener 5 días o 30 días de recuento constante es decir las 24 horas del día en ese tiempo específico y procesar esa información proyectándola a volúmenes diarios, mensuales y anuales, de acuerdo a la variabilidad que pueda tener el volumen en diferentes épocas del año se elegirán la época más adecuada más significativa.

### 2.7.2.- VELOCIDAD

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

La velocidad se ha manifestado siempre como una respuesta al deseo del humano de comunicarse rápidamente desde el momento en que él mismo inventó los medios de transporte.

En este sentido, la velocidad se ha convertido en uno de los principales indicadores utilizado para medir la calidad de la operación a través de un sistema de transporte.

A su vez, los conductores, considerados de una manera individual, miden parcialmente la calidad de su viaje por su habilidad y libertad en conservar uniformemente la velocidad deseada.

Se sabe además por experiencia que el factor más simple a considerar en la selección de una ruta específica para ir de un origen a un destino, consiste en la minimización de las demoras, lo cual obviamente se logrará con una velocidad buena y sostenida y que ofrezca seguridad.

Esta velocidad está bajo el control del conductor, y su uso determinará la distancia recorrida, el tiempo de recorrido y el ahorro de tiempo, según la variación de ésta.

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

Finalmente, un factor que hace a la velocidad muy importante en el tránsito es que la velocidad de los vehículos actuales ha sobrepasado los límites para los que fue diseñada la carretera actual y las calles, por lo que la mayor parte de los reglamentos resultan obsoletos.

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

#### 2.7.2.1.- Tipos De Velocidades



Existen diferentes tipos de velocidades entre las cuales las más importantes son:

**2.7.2.1.1.- Velocidad de punto.-** La velocidad de punto es aquella velocidad que se mide a la circulación vehicular considerando a la misma como flujo libre, es decir, que no se tengan restricciones en el movimiento por vehículos que van adelante, por vehículos que van por atrás, por cruce de peatones, etc.

La velocidad de punto no es una velocidad de diseño ni en calles ni en carreteras, pero es una velocidad cuya referencia nos da las velocidades máximas posibles que se puedan presentar tanto en calles como en carreteras.

Al ser una velocidad que se considere en flujo libre eso no sería posible en espacios o distancias largas por ello que para su estudio se definen espacios o distancias pequeñas, en el caso de ciudades los espacios serán de 25, 50 o 100 metros y en el caso de carreteras los espacios serán de 100, 200 o 500 metros siempre y cuando no hayan accesos de entrada y de salida.

La relación que nos permite determinar la velocidad de punto es la siguiente:

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

Donde:

VP = velocidad de punto

d = distancia de recorrido

t = tiempo de recorrido

- **Método de medición:**

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

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

**2.7.2.1.2.-Velocidad de recorrido total.-** Desde el punto de vista conceptual la velocidad de recorrido total es aquella velocidad que se asemeja más al comportamiento real del vehículo en circulación, si bien también es una relación de espacio sobre tiempo para el caso de velocidades de



recorrido total el espacio que se toma en cuenta debe ser más grande debido a que se quiere reflejar todas las restricciones a las maniobras de velocidad y todas las causas de demora que pudiesen presentarse, para ello se requiere de una distancia relativamente grande.

En el caso de ciudades urbanas estas distancias de recorrido total son elegidas en función de la dirección de los flujos direccionales más importantes; en carreteras se toman tramos experimentales que reflejen el comportamiento real de la carretera.

La velocidad de recorrido total es la relación entre la distancia de recorrido total sobre el tiempo de circulación más el tiempo de demoras.

El tiempo que se tarda en recorrer la distancia de recorrido total tiene dos componentes que son:

- El tiempo que se tarda en circulación propiamente dicho
- El tiempo de demoras donde el vehículo no está en movimiento

Este tiempo de demoras puede tener como causas, detención de vehículos, cruce de peatones, semáforos, estacionamientos, etc.

$$VR = \frac{dr}{(tc + td)}$$

Donde:

VR = velocidad de recorrido total (km/hr)

tc = tiempo de circulación ( hr )

td = tiempo de demoras ( hr )

dr = distancia de recorrido total (km )

**2.7.2.1.3.- Velocidad de crucero.-** La velocidad de crucero es una velocidad que se determina analíticamente en base a la relación de una distancia recorrida entre un tiempo neto de circulación.

El mismo estudio de las velocidades de recorrido total puede servir de información para determinar las velocidades de crucero tomando en cuenta sólo los tiempos de circulación y no así los tiempos de demora.

Esta velocidad de crucero nos permite hacer una comparación y análisis con las velocidades de punto ya que ambos tienen la misma concepción, son velocidades de vehículos en movimiento, su



diferencia está que el uno tiene un entorno de flujo libre y el otro tiene un entorno de vehículos en un flujo de circulación.

El análisis nos permitirá determinar las pérdidas de velocidad en diferentes puntos de estudio que sufre la velocidad de recorrido por efecto del entorno en movimiento.

La relación que nos permite determinar la velocidad de cruce es la siguiente.

$$VC = \frac{dr}{tc}$$

Donde:

VC = velocidad de cruce

dr = distancia de recorrido total

tc = tiempo de circulación

**2.7.2.1.4.- Velocidad de diseño.-** La velocidad de diseño es un valor muy importante tanto en carreteras como en calles urbanas, la velocidad de diseño no es resultado de un aforamiento más bien es de concepto que indica que la velocidad de diseño debe ser aquella con el cual el 80% o más de los vehículos que circulan deben tener esa velocidad.

La velocidad de diseño es un valor adoptado tanto en carreteras como en calles. En el caso de carreteras existen tablas de velocidades de diseño recomendables en función al tipo de carretera, por lo tanto carreteras cuyas condiciones físicas sean más exigentes tendrán una velocidad de diseño mayor y carreteras de condiciones físicas menores tendrán velocidades de diseño menor.

En el caso de calles urbanas no está tan ligada la velocidad de diseño a las características geométricas y físicas de las calles ya que estas están más relacionadas con conceptos arquitectónicos. En las ciudades la velocidad de diseño se adopta en función de los valores de la velocidad de circulación media que son producto de promedios de las velocidades de punto en diferentes arterias de la ciudad.

**2.7.2.1.5.- Velocidad De Circulación Media.-** Es la velocidad que se determina a partir de las velocidades de punto registradas en varios puntos de la ciudad y determinando sus valores medios.

De estos valores se puede adoptar ya sea el valor máximo, el valor medio o un valor mínimo como valores de velocidad de diseño de acuerdo a las características propias de cada estudio de cada proyecto.





### 2.7.3.- DENSIDAD

Se entiende por densidad de tráfico al número de vehículos que ocupan un tramo de una calle o carretera de longitud dada. Cuya relación es directamente proporcional al volumen de tráfico e inversamente proporcional a la velocidad que imprimen los vehículos. Se suele expresar en vehículos/kilómetros. El valor máximo de la densidad tiene lugar cuando todos los vehículos están en fila sin espaciamiento entre ellos y lógicamente depende de la longitud media de los vehículos.

Es difícil medir directamente la densidad en el campo, pues es necesario contar con un punto elevado desde donde se pueda fotografiar, video filmar, o divisar tramos de vía de longitud significativa. Sin embargo, se puede calcular a través de la velocidad media de recorrido y de la intensidad de circulación, que son de más sencilla medición, a partir de la fórmula:

$$I = V * D$$

Dónde:

I= intensidad de circulación, en veh/h

V= velocidad media de recorrido, km/h

D= densidad, en veh/km

La densidad es un parámetro crítico en la descripción de las operaciones de tráfico.

Describe la proximidad entre los vehículos, y refleja la libertad de maniobra dentro de la corriente de tráfico.

### 2.7.4.- CAPACIDAD VEHICULAR

Se define a la **capacidad vehicular** como el número de vehículos máximo que pasa por una sección de una calle o carretera en un periodo de tiempo que puede ser normalmente horario o diario.

La capacidad vehicular se determina con el propósito de comparar con el volumen de tráfico que circula por una calle o carretera y establecer un análisis que permita definir la calidad de la circulación, esa calidad de circulación en Ingeniería de Tráfico se ha realizado a través de los Niveles de Servicio.

La capacidad define un estado de la circulación inaceptable, como referencia y base de cálculo tiene una importancia práctica fundamental en la determinación de conjunto de regímenes de explotación posible de una carretera, en el proyecto de nuevas carreteras y en la explotación de las existentes. Por consiguiente, dentro de la ingeniería de tráfico se han desarrollado métodos, denominados de análisis o cálculo de capacidad, que permiten el cálculo de esta y del resto de los regímenes posibles teniendo en cuenta las características de la carretera. Estos métodos se basan fundamentalmente en datos empíricos ya que las complejas condiciones de la circulación no han



permitido el desarrollo de modelos teóricos generales que pueden aplicarse en la práctica o toda la casuística de carreteras y circulaciones que sobre ella se pueden presentar.

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

Para que se alcance la capacidad de una sección de carretera será necesario que haya una demanda de tráfico suficiente en el acceso de la sección y que no exista una sección anterior de menor capacidad que impida que la intensidad de tráfico se mantenga en la entrada; ni una sección posterior de menor capacidad que dé lugar a la información de una cola de vehículos que llegue a impedir la salida de los mismos de la sección considerada. Debido a la fluctuación aleatoria del tráfico pueden presentarse valores muy altos de la intensidad durante periodos muy cortos, por lo que normalmente interesa más definir la capacidad mediante el número de vehículos que pasan durante un periodo lo suficientemente largo como para eliminar estas oscilaciones aleatorias, por ejemplo, 15 min.

La capacidad depende de las condiciones existentes. Estas condiciones se refieren fundamentalmente a las características de la sección (características geométricas, condición del pavimento, etc.) y las del tráfico (especialmente su composición). Además, habrá que tener en cuenta las regulaciones de la circulación que existan (limitaciones de velocidad prohibiciones de adelantamientos, etc.) y que influirán sobre el tráfico. Por último, habría que considerar las condiciones ambientales y meteorológicas. Aunque se tiene poca experiencia sobre la influencia de estos factores, ya que generalmente es pequeña y solo en condiciones excepcionales puede llegar a ser importante.

En este sentido, la capacidad de una sección de una carretera podrá alcanzar un valor máximo cuando sus propias condiciones y las del tráfico sean óptimas, lo que corresponde a una capacidad en condiciones ideales.

#### **2.7.4.1.-Capacidad En Vías Urbanas**

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

Estas vías poseen características de circulación que obedecen a interrupciones en periodos de tiempo o en longitudes determinadas dadas por las intersecciones, las cuales originan la interrupción del tráfico.

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



En la determinación de la capacidad se tiene como premisa que las intersecciones serán semaforizadas o en su caso accionadas por un agente de tráfico que regula la circulación.

- **Capacidad Básica o Teórica.**- La capacidad teórica ha sido estudiada en función a condiciones ideales como ser ancho de carril, visibilidad, velocidad de diseño, ciclo de semáforo, etc.  
Esas condiciones y tomando en cuenta las diferentes zonas de un área urbana la forma de estacionamiento cerca de la intersección es que se han establecido ábacos que nos proporcionan una capacidad básica ideal o teórica.
- **Capacidad Práctica.**- La capacidad práctica es un concepto de que por diferentes razones no siempre se van a mantener las condiciones ideales en la circulación por lo tanto se debe colocar un factor de seguridad de por lo menos el 10% con referencia a la capacidad teórica.
- **Capacidad Real.**- La capacidad real es el producto de la capacidad práctica por una serie de factores que reducen la capacidad de una intersección como ser el % de vehículos pesados, los movimientos de giro y las condiciones de estacionamiento cercanos a la intersección.

## 2.8.- CONGESTIONAMIENTO

Definido por la Real Academia Española como la acción y efecto de congestionar, por tanto, el de obstruir o entorpecer el paso, la circulación o el movimiento de algo, para este estudio se hablará específicamente de los motorizados.

Entonces el congestionamiento vehicular es un fenómeno de espera o demora de los motorizados, comúnmente asociado a muchos problemas de tránsito.

Estas demoras pueden ser causadas por los dispositivos para el control de tránsito al interrumpir el flujo, debido a que estos dispositivos de señales de ALTO y CEDA EL PASO producen detenciones en un viaje normal. También son ocasionadas por la misma corriente vehicular en ocasiones de flujo continuo, que tienen demoras periódicas que ocurren durante las mismas horas del día como el embotellamiento y demoras no periódicas producto de incidentes o accidentes, o simples cierres de calzadas.

La congestión produce un importante aumento de los costos operativos que son causados principalmente por los incrementos en los tiempos de viaje, aumento de consumo de combustible, imposibilidad de prever tiempos de viaje, contaminación ambiental, producción de stress generalizado, por el aumento en la probabilidad de accidentes y episodios de violencia vial.

Entre otras de las muchas causas de congestionamiento vehicular podemos nombrar:

- El rápido crecimiento poblacional o de trabajo en algún área, que incrementa el flujo diario de automóviles por dicha área.



- El uso intensivo de vehículos automotores, debido al fácil acceso que tiene la población para la adquisición de un automotor y a la comodidad que les da para trasladarse el uso del mismo.
- La deficiente infraestructura vial que existe en algunas zonas de la ciudad, que debido a la antigüedad de las mismas y que no fueron diseñadas para los volúmenes de tráfico existentes en la actualidad.
- Concentración de los traslados de los diferentes trabajos, puesto que la mayoría de las organizaciones ya sean estas privadas gubernamentales o independientes, inician y terminan sus actividades a una misma hora promedio.
- La utilización excesiva de vehículos privados, ya que la mayoría de los ciudadanos prefiere la comodidad de viajar solo en su motorizado privado, y disfrutar del confort, privacidad y el de poder incrementar la velocidad según la necesidad del mismo.

El exceso de cada uno de los aspectos mencionados indiscutiblemente nos crea molestias de congestión en el traslado de un punto a otro.

Las demoras y las filas de espera, resultado del congestionamiento, son *fenómenos de espera* comúnmente asociados a los muchos problemas de tránsito.

La teoría de las filas de espera, es una herramienta importante para el análisis de este fenómeno, en general, la situación de demoras las ocasiona la variabilidad del flujo de tránsito, pues hay periodos en que la demanda puede llegar a ser muy grande, o se presentan porque la capacidad del sistema varíe con el tiempo al darse el servicio por periodos.

### **2.8.1.- ANÁLISIS DETERMINÍSTICO DEL CONGESTIONAMIENTO**

Este análisis determinístico consiste en el cálculo preciso del valor de una variable en función de ciertos valores específicos que toman otras variables. Esto significa que solamente ocurrirá un valor de la *función objetivo* para un conjunto dado de valores de las *variables* de entrada.

En situaciones de congestión, donde los patrones de llegada y servicios son altos, los enfoques a nivel macroscópico son los que más se aproximan a este fenómeno, describiendo la operación vehicular en términos de sus variables de flujo, generalmente tomadas como promedios.

**2.8.1.1.- Análisis de intersecciones con semáforo con régimen D/D/1.-** La intersección con semáforo es uno de los ejemplos más típicos de un fenómeno de espera, puesto que por la presencia de la luz roja siempre existirá la formación de colas de vehículos.

La capacidad de un acceso a una intersección con semáforo se expresa en términos de flujo de saturación. Cuando el semáforo cambia a verde, el paso de los vehículos a través de la línea de ALTO se incrementa rápidamente a una tasa equivalente al flujo de saturación, la cual se mantiene constante hasta que la cola se disipa o hasta que termina el verde. El flujo de saturación es la tasa máxima de salidas que puede ser obtenida cuando existen colas.



Para realizar el análisis en cualquier acceso de cualquier intersección para un régimen D/D/1, es necesario el cumplimiento de ciertos requisitos y la utilización de varias fórmulas las cuales desarrollamos a continuación:

**Requisitos:**

- **Flujo de saturación ( $S$ )** en veh/s.

Que es el número de vehículos que circulan por una intersección por una hora de luz verde:

$$S = N^{\circ} \text{ de vehiculos } \left( \frac{1 h}{3600s} \right)$$

Este dato se recabará por medio de aforos en las 24 intersecciones en estudio, controlando el número de vehículos que pasan por hora en luz verde de una intersección.

- **Tasa media de llegada ( $\lambda$ )** en veh/s.

El cuál es el número de vehículos medio que transitan en cada una de las 24 intersecciones:

$$\lambda = N^{\circ} \text{ de la media de vehiculos } \left( \frac{1 h}{3600 s} \right)$$

Se obtendrá este dato sacando una media de los datos obtenidos con el aforo de cada una de las 24 intersecciones en estudio.

- **Longitud de ciclo ( $C$ )** en seg,

Este dato se obtendrá cronometrando el tiempo que tarda cada uno de los semáforos de las diferentes intersecciones en un ciclo, es decir, se cronometrara el tiempo de la secuencia completa de todas las indicaciones de señal del semáforo de cada intersección.

- **Verde efectivo ( $g$ ):**

El verde efectivo es el tiempo que efectivamente utilizan los vehículos para cruzar la intersección, para cruzar la intersección, el cual incluye el verde propiamente dicho, la pérdida inicial de tiempo y la ganancia al final de cada intervalo en el intervalo de despeje.

Este tiempo se cronometrará desde que arranca el primer auto de la fila de espera, hasta que logre pasar el último auto de la misma, ese tiempo se considerará como tiempo verde efectivo de cada intersección en estudio, este tiempo se medirá durante la hora de estudio.

- **Tiempo para que se disipe la cola después del verde efectivo ( $t_0$ ):**

$$\lambda * (r + t_0) = \mu * t_0$$

$$\lambda * r + \lambda * t_0 = \mu * t_0$$



$$t_0 = \frac{\lambda * r}{\mu - \lambda} \quad \text{Ecuación (2.1)}$$

Donde:

$t_0$  = el tiempo que se disipe la cola después del verde efectivo.

$\lambda$  = Tasa media de llegada.

$r$  = tiempo rojo efectivo.

Que se calculara con la resta de nuestros tiempos calculados de ciclo (C) y el verde efectivo (g):  $r = C - g$  Ecuación (2.4)

$\mu$  = Tasa de salida. La cual presenta 3 estados

$\mu = 0$ , cuando el semáforo está en rojo.

$\mu = s$  cuando el semáforo está en verde y aún existe cola

$\mu = \lambda$  cuando sin existir cola el semáforo, continua en verde.

Si expresamos la tasa de llegadas como proporción de la tasa de salidas  $\mu$ , se obtiene:

- **Factor de utilización o intensidad del tránsito ( $\rho$ ):**

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad \text{Ecuación (2.2)}$$

Por lo general en la mayoría de los casos se utiliza,  $\mu = s$

Para el cálculo de este factor, utilizaremos los datos recolectados en el **Flujo de saturación** y en la **Tasa media de llegada**.

Despejando de la ecuación (2.2) y sustituyendo en la ecuación (2.1) tenemos la siguiente ecuación.

$$(\text{despejando}) \lambda = \mu * \rho$$

$$(\text{sustituyendo}) t_0 = \frac{\mu * \rho * r}{\mu - \mu * \rho}$$

Entonces:

$$t_0 = \frac{\rho * r}{1 - \rho} \quad \text{Ecuación (2.3)}$$



- **Proporción del ciclo con cola ( $P_q$ ):**

$$P_q = \frac{\text{tiempo en la cola}}{\text{longitud de ciclo}}$$

$$P_q = \frac{r+t_0}{c} \quad \text{Ecuación (2.5)}$$

Para el cálculo de esta proporción utilizaremos las variables ya calculadas de **tiempo rojo efectivo**, **Tiempo para que se disipe la cola después del verde efectivo** y **Longitud de ciclo**.

- **Proporción de vehículos detenidos ( $P_s$ ):**

$$P_s = \frac{\text{vehiculos detenidos}}{\text{vehiculos totales por ciclo}}$$

$$P_s = \frac{\lambda(r + t_0)}{\lambda(r + g)}$$

$$P_s = \frac{r + t_0}{r + g} = \frac{t_0(1 - \rho) + t_0}{C}$$

$$P_s = \frac{t_0}{\rho * C} \quad \text{Ecuación (2.6)}$$

Esta proporción de vehículos detenidos la calcularemos con los datos obtenidos de las ecuaciones (2.2), (2.3) y con la longitud del ciclo medido en cada una de las 24 intersecciones.

- **Longitud máxima de cola ( $Q_m$ ):**

La longitud máxima de la cola ocurre al final del rojo, cuando el servicio de la vía es aún cero, se representa con la siguiente ecuación.

$$Q_m = \lambda * r \quad \text{Ecuación (2.7)}$$

Para la cual utilizaremos los valores cronometrados y calculados de **tiempo rojo efectivo** y **Tasa media de llegada**.

- **Longitud promedio de la cola mientras exista ( $\bar{Q}_q$ ):**

$$\bar{Q}_q = \frac{Q_m}{2} = \frac{\lambda * r}{2} \quad \text{Ecuación (2.8)}$$

Esta ecuación se la calculara sacando el promedio de la Ecuación (2.7).



- **Longitud promedio de la cola por ciclo ( $\bar{Q}$ ):**

$$\bar{Q} = \frac{\left(\frac{\lambda * r}{2}\right) * r + \left(\frac{\lambda * r}{2}\right) * t_0}{s} * (r + g) = \frac{(r + t_0) \left(\frac{\lambda * r}{2}\right)}{r + g}$$

$$\bar{Q} = \frac{r + t_0}{c} * \left(\frac{\lambda * r}{2}\right) \quad \text{Ecuación (2.9)}$$

Para conseguir el valor de esta ecuación, utilizaremos los valores calculado en las ecuaciones (2.4), (2.3), y los valores medidos de **Longitud de ciclo** y la **Tasa media de llegada**.

- **Demora máxima que experimenta un vehículo ( $d_m$ ):**

$$d_m = r \quad \text{Ecuación (2.10)}$$

- **Demora total para todo el tránsito por ciclo (D):**

$$D = \frac{r * \{\lambda * (r + t_0)\}}{2} = \frac{\lambda * r^2 + \lambda * r * t_0}{2}$$

Reemplazando el valor de  $t_0$  de la ecuación (2.3)

$$D = \frac{\lambda * r^2 + \lambda * r * \left(\frac{\rho * r}{1 - \rho}\right)}{2}$$

$$D = \frac{\lambda * r^2}{2(1 - \rho)} \quad \text{Ecuación (2.11)}$$

Donde utilizaremos los datos calculados por las diferentes fórmulas para las distintas intersecciones.

- **Demora promedio del tránsito por ciclo ( $d$ ):**

La cual se obtiene dividiendo la demora total entre el número de vehículos, este resultado se obtendrá en s/veh.

$$d = \frac{D}{\lambda * C} = \frac{\lambda * r^2}{2 * (1 - \rho) * \lambda * C}$$





$$d = \frac{r^2}{2 * C * (1 - \rho)} \quad \text{Ecuación (2.12)}$$

Todos los datos para realizar el cálculo de la demora promedio, los obtendremos de las ecuaciones previas mencionadas y calculadas.

**2.8.1.2.- Análisis de cuellos de botella.-** El análisis que se presenta en esta sección se realiza a nivel determinístico y macroscópico, considerando que los patrones de llegadas y servicios de vehículos son continuos.

En vialidades de flujo continuo como cuellos de botella se presentan básicamente en aquellos tramos donde la sección transversal reduce su ancho en términos del número de carriles. En aquellas situaciones donde la demanda vehicular  $\lambda$  (llegadas) al inicio del cuello de botella supera la capacidad  $\mu$  (salidas) de éste, se presentan problemas de congestionamiento justamente en el tramo anterior al cuello de botella.

Ambos análisis de estos fenómenos de espera son de mayor comprensión mediante un ejemplo, donde presentando en forma gráfica y analítica los datos necesarios y los indicadores de efectividad más importantes que lo caracterizan. También, con el propósito de realizar el análisis de una manera más real, se toma un patrón de llegadas  $\lambda$  variable y un patrón de servicios  $\mu$  constante a capacidad durante todo el tiempo que dura el congestionamiento

Para llegar a realizar el cálculo de la longitud de la cola, es necesario la utilización de los siguientes conceptos y fórmulas, donde definimos:

$$\text{Demanda acumulada} = \lambda * t \quad \text{Ecuación (2.13)}$$

$$\text{Servicio acumulado} = \mu * t \quad \text{Ecuación (2.14)}$$

Donde:

$\lambda$  = demanda vehicular.

$\mu$  = capacidad vehicular.

$t$  = tiempo de aforo o estudio.

El valor de la demanda vehicular ( $\lambda$ ) se obtendrá del aforo de vehículos que pasan en las horas picos seleccionadas y medidas de una intersección donde se observe congestión.

El valor de la capacidad vehicular ( $\mu$ ) se obtendrá de la medición de los números de vehículos que pueden transitar por la intersección sin ocasionar colas de espera, es decir congestionamiento, se la calculara por el periodo de una hora cualquiera que no sea pico.



El tiempo ( $t$ ) es el tiempo que se estudia o afora una intersección, por lo general se toma un valor de 1 hora, según el aforo que se realice.

- **Número total de vehículos que llegan en una de las horas pico ( $N_x$ ):**

$$N_n = \lambda_n * t_n \quad \text{Ecuación (2.15)}$$

Donde la demanda vehicular de cada intersección se obtendrá del aforo dentro de la hora pico seleccionada, se aclara que puede existir más de una hora pico.

- **Duración del congestionamiento ( $T_q$ ):**

$$T_q = t_1 + t_2 + \dots + t_n + T_d$$

De donde:

$$(\lambda_1 - \mu) * t_1 + (\lambda_2 - \mu) * t_2 + \dots + (\lambda_n - \mu) * t_n = (\mu - \lambda_{decrecido}) * T_d$$

$$T_d = \frac{(\lambda_1 - \mu) * t_1 + (\lambda_2 - \mu) * t_2 + \dots + (\lambda_n - \mu) * t_n}{\mu - \lambda_{decrecido}}$$

Por tanto:

$$T_q = t_1 + t_2 + \dots + t_n + \frac{(\lambda_1 - \mu) * t_1 + (\lambda_2 - \mu) * t_2 + \dots + (\lambda_n - \mu) * t_n}{\mu - \lambda_{decrecido}} \quad \text{Ecuación (2.16)}$$

Donde:

$t_1, t_2, t_n$  = son los tiempos tipos aforados, estos dependen de cuantas horas pico se tome en cuenta para el estudio.

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_n$  = son la tasa de vehículos de llegada que pasan en el tiempo estudiado por la intersección

Para obtener el valor de la tasa de vehículos de llegada, se realizará el conteo de automóviles que circulan en esa vía durante las horas picos seleccionadas.

Se realiza la aclaración que en alguna hora pico o de estudio, el valor de la tasa de llegada pueda ser menor a la capacidad vehicular, este valor se lo tomara como  $\lambda_{decrecido}$ .

$\mu$  = es la capacidad vehicular de la intersección, que será calculada con el aforo en la intersección en una hora donde no exista cola de espera y la circulación sea continua.



- Longitud máxima de la cola ( $Q_m$ ):

$$Q_m = (\lambda_1 - \mu) * t_1 + (\lambda_2 - \mu) * t_2 + \dots + (\lambda_n - \mu) * t_n \quad \text{Ecuación (2.17)}$$

Donde:

$Q_m$  = es la sumatoria de la tasa de vehículos de llegada que sean mayores a la capacidad vehicular.

- Demora máxima que experimenta un vehículo ():

$$d_m = \frac{(\lambda_1 * t_1) + (\lambda_2 * t_2) + \dots + (\lambda_n * t_n)}{\mu} - t_1 - t_2 - \dots - t_n$$

$$d_m = \frac{(\lambda_1 - \mu)t_1 + (\lambda_2 - \mu)t_2 + \dots + (\lambda_n - \mu)t_n}{\mu} \quad \text{Ecuación (2.18)}$$

## 2.8.2.- ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE LÍNEAS DE ESPERA

Por tratarse de una introducción al análisis probabilístico de líneas, o filas de espera, solo se presentarán dos modelos más generales y sencillos de mayor aplicación en problemas de tránsito. Más aún, las relaciones que se muestran son completamente validas solamente para condiciones en *estado estacionario*, esto es, ellas solamente se aplican cuando los patrones de llegadas y servicios se sostienen por varios periodos. Por lo tanto, este enfoque no se puede aplicar a aquellas situaciones de máxima demanda en las cuales los flujos de llegadas  $\lambda$  exceden la capacidad en estado estacionario  $\mu$ . De allí, para tener condiciones de flujo estacionario debe cumplirse que  $\lambda < \mu$ . Es importante aclarar, que, aunque las llegadas son menores que las salidas, siempre existe la posibilidad de formación de líneas de espera, o colas, por el mismo carácter aleatorio del proceso.

**2.8.2.1.- Sistema de líneas de espera con una estación de servicio.-** A continuación se analizara el sistema de líneas de espera del sistema de filas con una estación de servicio, llegadas de acuerdo a una distribución de Poisson, tiempos de servicio exponenciales y disciplina de servicio “el que llega primero es servido primero”.

Como puede verse, este sistema de filas de espera se define bajo el régimen M/M/1, para el cual se han desarrollado una serie de medidas de efectividad que permiten identificarlo. Estas relaciones son los resultados que se observarían después de que el sistema haya estado en operación por largo tiempo, tal como los promedios y las probabilidades no cambian mientras que éste se mantenga en funcionamiento.



**2.8.2.2.- Sistema de líneas de espera con varias estaciones de servicio.**- Igualmente, en esta sección se estudiara el sistema de líneas de espera con varias estaciones de servicio, llegadas de acuerdo a una distribución de Poisson, tiempos de servicio exponenciales y disciplina de servicio “el primer vehículo se mueve hacia la primera estación de servicio vacante”.

Al igual que el modelo anterior, este fenómeno de espera también se define bajo el régimen  $M/M/k$ , donde  $k$  es el número de estaciones de servicio disponibles.

Si la tasa de servicio de la estación  $k$  es  $\mu_k$ , bajo condiciones no saturadas, se debe cumplir que:

$$\lambda < \mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_k$$

En muchos problemas reales, las características de todas las estaciones de servicio son las mismas, por lo cual:

$$\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = \mu$$

Donde  $\mu$  representa la tasa de servicio de cada estación. Por lo tanto:

$$\lambda < \mu k$$

## CAPÍTULO III

### LA SEMAFORIZACIÓN COMO CONTROL DE LA CIRCULACIÓN

#### 3.1.- INTRODUCCIÓN

Una de las maneras más efectivas de control vehicular en una intersección es el uso de semáforos. Los semáforos pueden emplearse para eliminar muchos conflictos, porque se puede asignar el uso de la intersección a diferentes flujos vehiculares en momentos diferentes. Ya que esto conduce a una demora de los vehículos para todos los flujos, es importante que los semáforos se usen solo cuando sea necesario. El factor más importante que determina la necesidad de los semáforos en una intersección específica, es el volumen de tránsito en el acceso a la intersección, aunque otros factores como el volumen de peatones y el historial de accidentes, también pueden tener un papel preponderante.

La semaforización es aquel factor de la ingeniería de tráfico cuyo objetivo es mejorar la circulación en las intersecciones a través de dispositivos especialmente creados con este fin denominado semáforo.

Los semáforos son dispositivos electrónicos que tienen como función ordenar y regular el tránsito de vehículos y peatones en calles y carreteras por medio de luces generalmente de color rojo, amarillo y verde, operados por una unidad de control.



### 3.2.- PRINCIPIOS DE SEMAFORIZACIÓN

En principio se llamó semáforo a una torre destinada a transmitir señales a distancia, en especial a los barcos en las costas, trascurrido el tiempo, la tecnología y la necesidad los semáforos se transformaron en 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 rojo, amarillo y el verde.

Un semáforo asigna de forma alternativa el derecho de paso a cada movimiento o grupo de movimientos que confluyen en una intersección, permitiendo el uso ordenado y seguro del espacio disponible.

A medida que transcurre el tiempo, el congestionamiento y los accidentes aumentan, por lo que para su atenuación, el uso de los semáforos ha alcanzado un notable desarrollo en todas las ciudades del mundo, donde en grandes ciudades el control de tránsito se realiza con sistemas avanzados de semáforos que incluyen la coordinación computarizada y la incorporación de detectores automáticos de vehículos, esto ha permitido establecer estrategias para el control del tránsito a lo largo de las diferentes horas del día a través de programas específicos para periodos de máxima y mínima demanda.

Las intersecciones con semáforos generalmente se proyectan tratando de alcanzar la máxima capacidad por lo que interesa disponer de la mayor superficie posible de calzada útil, por más que exista un gran número de carriles útiles no será posible llegar a las intensidades próximas de capacidad y criterios de seguridad de circulación si no existe semáforo en la intersección analizada.

Dentro de las funciones específicas que un semáforo debe realizar tenemos el tiempo necesario para que se dé una sucesión completa de indicaciones en los semáforos conectados a un mismo regulador, a esto se lo llama *ciclo*.

Dentro de las funciones tenemos a la que se denomina *fase* que es cada una de las combinaciones de indicadores que permiten uno o varios movimientos simultáneos a través de la intersección.

Y por último tenemos al *reparto* del ciclo que es la distribución de éste entre las distintas calles que confluyen en la intersección.

#### 3.2.1.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Si la instalación y operación de los semáforos es correcta, estos podrían aportar diversas ventajas. En cambio, si uno o más semáforos son deficientes, servirán para entorpecer el tránsito, tanto de vehículos como de peatones.

Es muy importante que antes de seleccionar y poner a funcionar un semáforo, se efectuó un estudio completo de las condiciones de la intersección y del tránsito y, se cumpla con los requisitos que la experiencia ha fijado.



También es importante que después que el sistema de semáforos empiece a funcionar, se compruebe que este corresponde a las necesidades del tránsito, y en su caso, que se hagan los ajustes pertinentes.

**VENTAJAS:**

- Hacen que el tránsito se desenvuelva de manera ordenada, asignando el derecho de vía a diversos movimientos, permitiendo que el tránsito sea seguro y efectivo a través de las intersecciones.
- Aumentan la capacidad vial de las intersecciones si están diseñados correctamente.
- Reducen algunos accidentes, en particular accidentes en ángulo recto.
- Con espaciamientos favorables se pueden sincronizar para mantener una circulación continua, o casi continua, a una velocidad constante en una ruta determinada. En algunos casos, esa velocidad constante es conveniente reducirla para fines de seguridad.
- Permiten el flujo de tránsito de calles menores a través de arterias mayores y más congestionadas.
- Permiten interrumpir periódicamente los volúmenes de tránsito intensos de una arteria, para conceder el paso de vehículos y peatones de las vías transversales.
- En la mayoría de los casos representan una economía considerable por su mayor habilidad en el control del tránsito con respecto a la utilización de otras formas de control, como ser simples señales de tránsito o cualquier tipo de control manual.

Cuando el proyecto o la operación de un semáforo o sistema de semáforos es deficiente, ya sea por falta de elementos de juicio, o bien porque se ha abusado de los semáforos como una panacea para resolver todos los problemas, puede presentarse una o varias de las siguientes desventajas:

**DESVENTAJAS:**

- Se incurre en gastos no justificados para soluciones que podrían haberse resuelto solamente con señales o en otra forma económica.
- Causan demoras injustificadas a cierto número de usuarios, especialmente tratándose de volúmenes de tránsito pequeños, al causar retardos molestos por excesiva duración de luz roja o del tiempo total del ciclo.
- Producen reacción desfavorable en el público, con la consiguiente falta de respeto hacia ellos, si no son diseñados con propiedad y si son instalados donde no son necesarios.
- Incrementan el número de accidentes del tipo alcance, por cambios sorpresivos de color.
- Ocasionan pérdidas innecesarias de tiempo en las horas del día, cuando se presentan escasos volúmenes de tránsito que no requieren control de semáforos.
- Aumentan la frecuencia o gravedad de ciertos accidentes cuando la conservación es deficiente, especialmente en casos de focos fundidos o interrupciones del servicio eléctrico.



- En intersecciones rurales, la aparición intempestiva de un semáforo ocasiona accidentes cuando no hay avisos previos adecuados.
- Si no son diseñados de manera que sean efectivos y eficientes en el control del tránsito, entonces pueden crear desvíos hacia otras vialidades alternas donde quizás no se desee tránsito adicional.

### 3.3.- CLASIFICACIÓN

Con base en el mecanismo de operación de los controles de los semáforos, estos se clasifican en:

- Semáforos para circulación vehicular.
  - No accionados por el tránsito.
  - Accionados por el tránsito.
  - Totalmente accionados por el tránsito.
  - Parcialmente accionados por el tránsito.
- Semáforos para peatones.
  - En zonas de alto volumen peatonal.
  - En zonas escolares.
- Semáforos especiales.
  - De destello.
  - Para regular el uso de carriles.
  - Para puentes levadizos.
  - Con barreras para indicar aproximación de trenes.

### 3.4.- CARACTERÍSTICAS

#### 3.4.1.- SEMÁFOROS PARA CIRCULACIÓN VEHICULAR

##### 3.4.1.1.- Características Físicas

Las características físicas de los semáforos son idénticas tanto para los de tiempo predeterminado como para los activados por el tránsito, la única diferencia consiste en el mecanismo que dirige la operación.

Están constituidos por los siguientes elementos:

- **Cabeza:**

Se describe a la *cabeza* de semáforo como un elemento que contiene las señales luminosas y tiene un número determinado de caras en diversas direcciones y a su vez contiene a las señales luminosas o focos.

- **Cara:**

La *cara* de un semáforo es el conjunto de unidades ópticas (lente, reflector, lámpara y portalámpara). Se recomienda dos caras por cada acceso a la intersección, que pueden complementarse con semáforos para peatones.

- **Lente:**

La 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, Ambar y Verde, y cuando más, *cinco lentes*: Rojo, Ambar, Flecha de frente (↑), Flecha izquierda (←), y Flecha derecha (→), donde el orden de colocación es el que se indica.

En semáforos con lentes en posición horizontal se sigue el mismo orden general, excepto que de las flechas se deben colocar primero la de vuelta hacia la izquierda, seguida de la flecha hacia el frente y finalmente, la de vuelta hacia la derecha (← ↑ →).

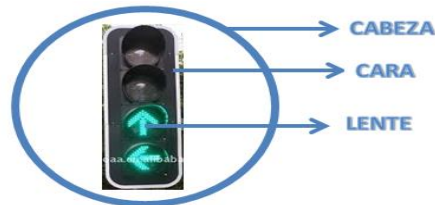


Fig.3.1 Partes de semáforo

### 3.4.1.2.- Significado de los colores

- **ROJO SÓLIDO.**- Una luz roja no intermitente **prohíbe** el paso. Mientras permanece encendida, los vehículos no deben rebasar el semáforo ni la línea de detención anterior más próxima al mismo y debe permanecer detenido hasta la aparición del verde. Ningún peatón debe entrar en la calzada a menos que un semáforo peatonal indique su paso.



- **ROJO INTERMITENTE.**- Cuando el semáforo está en rojo intermitente los conductores de vehículos deben hacer un alto obligatorio y detenerse antes del paso peatonal y el derecho a seguir estará sujeto a las normas vigentes para una señal de pare.

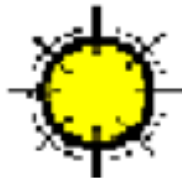




- **AMARILLO SÓLIDO.**- Advierte a los conductores de los vehículos que está a punto de aparecer la luz roja y que el flujo vehicular que regula la luz verde debe detenerse. De la misma manera avisa a los peatones que no disponen del tiempo suficiente para cruzar, excepto cuando exista algún semáforo indicándoles que pueden realizar el cruce. Sirve para despejar el tránsito en una intersección y para evitar frenadas bruscas.



- **AMARILLO INTERMITENTE.**- No prohíben el paso, pero exigen a los conductores extremar su precaución y no eximen del cumplimiento de otras señales verticales que obliguen a detenerse o ceder el paso o, en su ausencia, del cumplimiento de las reglas generales sobre prioridad de paso.



- **VERDE SÓLIDO.**- El tránsito que observe esta luz puede seguir de frente o girar a la izquierda o derecha, a menos que una señal prohíba dichas vueltas, sin embargo los conductores deben respetar el derecho de paso a otros vehículos o peatones que estén cruzando legalmente la intersección.



- **VERDE CON FLECHA DE FRENTE.**- El tránsito que tenga esta señal debe seguir su marcha de frente sin hacer giros a ningún lado.



- **VERDE CON FLECHA DE GIRO.-** La flecha verde significa “SIGA”. Deberá dar vuelta en la dirección que indica la flecha después de ceder el paso a cualquier vehículo, ciclista o peatón que esté aún en la intersección. La flecha verde le indica que es su “turno” para dar vuelta.



### 3.4.2.- SEMÁFOROS PARA PEATONES

La interpretación de las indicaciones de los semáforos para peatones es más simple, por lo general sus lentes tienen forma de personas, y nos indica más o menos de esta manera.

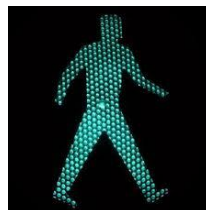
- La indicación del semáforo peatonal iluminada quiere decir que el en dirección a la señal, mientras



con la lente de persona en ROJO peatón no deberá atravesar la calle esta se encuentre encendida.



- La indicación del semáforo peatonal con el lente de persona en VERDE iluminada *fijo*, significa que los peatones que se encuentran frente al semáforo pueden cruzar la calle en dirección del mismo.





- La indicación del semáforo peatonal con el lente de persona en VERDE iluminada *intermitente*, significa que un peatón no deberá empezar a cruzar la calle en dirección de la señal, porque la luz de esta va a cambiar a la indicación de ROJO (no pasar).



### 3.5.- SEMAFOROS DE TIEMPO FIJO

Los semáforos de tiempo fijo se utilizan en intersecciones donde los patrones de tránsito son relativamente estables, o en las que las variaciones de intensidad de la circulación se pueden adaptar a un programa previsto, sin ocasionar demoras o congestionamientos excesivos.

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

Entre sus principales ventajas tenemos las siguientes:

- Facilitan la coordinación con semáforos adyacentes, con más precisión que en el caso de semáforos accionados por el tránsito.
- No dependen de los detectores, por lo que no se afectan desfavorablemente cuando se impide la circulación normal de vehículos por los detectores
- En general, el costo del equipo de tiempo fijo es menor que el del equipo accionado por el tránsito y su conservación es más sencilla.

El control de tiempo fijo sin mecanismo de sincronización es aconsejable para intersecciones aisladas de poca importancia, de las que no se prevé necesidad de coordinar con otras.

Existe un sistema de control de tiempo fijo con mecanismo de sincronización, accionado por un motor, que se usa para intersecciones aisladas cuando se prevea la necesidad de coordinar estas con otros semáforos, o que el semáforo sea supervisado por un control maestro. También debe ser aceptable la duración fija del ciclo y de los intervalos, todo el tiempo que dure la operación del control del tránsito. En algunos casos se puede emplear un control de dos o tres programas, para adaptarse con más flexibilidad a las variaciones del tránsito.

Excepto en intersecciones alejadas, donde la sincronización resulte impráctica, o en intersecciones secundarias comprendidas dentro de un sistema coordinado, en cuyo caso puede convenir más un



control accionado por el tránsito, los semáforos de tiempos fijo se deben instalar solo si se reúnen ciertos requisitos o condiciones.

### 3.5.1.- CONDICIONES

La selección del tipo de control para una intersección es un proceso particular para cada caso.

Cada situación es diferente y debe ser estudiada detalladamente antes de seleccionar el tipo de control adecuado para ella. Sin embargo, a continuación se enumeran una serie de requisitos para la instalación de un semáforo. Si una intersección no reúne los requisitos que se enumeran, entonces debe ser usado otro tipo de dispositivo para el control del tránsito (señal de alto, ceda el paso, etc.).

#### 3.5.1.1.-Volumen mínimo de vehículos

Aquí la intensidad del tránsito de las vías que se cruzan es la principal justificación. Se llena este requisito cuando en cualquiera de las ocho horas de un día representativo, se presenten los volúmenes mínimos indicados en la siguiente tabla.

**Tabla 3.1 Volumen mínimo de vehículos (requisito 1)**

Número de Carriles en cada Acceso		Vehículos por hora en vía ppal. <sup>1</sup> (Total de ambos accesos)	Vehículos por hora en el acceso de mayor volumen de la vía menor. <sup>1</sup> (en una sola dirección)
Vía Principal	Vía Secundaria		
1	1	500	150
2 o más	1	600	150
2 o más	2 o más	600	200
1	2 o más	500	200

(Fuente: Ingeniería de Tránsito; Rafael Cal y Mayor R; Cap. 13 Semáforos)

<sup>1</sup>Use sólo el 70% de estos volúmenes para los siguientes casos:

1. Las velocidades en el acceso son mayores a los 65 kph.
2. Intersecciones aisladas en comunidades rurales.

Los volúmenes para las calles principal y secundaria corresponden a las mismas ocho horas. El sentido del tránsito de mayor volumen en la calle secundaria puede ser para un acceso durante algunas horas y del otro sentido los restantes.

#### 3.5.1.2.- Interrupción del tránsito continuo

Se aplica cuando las condiciones de operación de la calle principal son de tal naturaleza que el tránsito en la calle secundaria sufre demoras, o riesgos excesivos, al entrar o cruzar la calle principal. El requisito se satisface cuando durante cada una de cualesquiera ocho horas de un día



representativo, en la calle principal y en el acceso de mayor volumen de la calle secundaria, se tienen los volúmenes mínimos indicados en la siguiente tabla y si la instalación de semáforos no trastorna la circulación progresiva del tránsito.

**Tabla 3.2 Volumen mínimo de vehículos (requisito 2)**

Número de Carriles en cada Acceso		Vehículos por hora en vía ppal. <sup>1</sup> (Total de ambos accesos)	Vehículos por hora en el acceso de mayor volumen de la vía menor. <sup>1</sup> (en una sola dirección)
Vía Principal	Vía Secundaria		
1	1	750	75
2 o más	1	900	75
2 o más	2 o más	900	100
1	2 o más	750	100

(Fuente: Ingeniería de Transito; Rafael Cal y Mayor R; Cap. 13 Semáforos)

<sup>1</sup>Use sólo el 70% de estos volúmenes para los siguientes casos:

1. Las velocidades en el acceso son mayores a los 65 kph.
2. Intersecciones aisladas en comunidades rurales.

Los volúmenes para las calles principal y secundaria corresponden a las mismas ocho horas. Durante esas ocho horas, el sentido de circulación del volumen mayor de la calle secundaria, puede ser en un sentido por unas horas y en el otro por el resto. Si la velocidad media dentro de la cual circula el 85% del tránsito de la calle principal excede de 60 km/h, o si la intersección está ubicada en una población de menos de 10 000 habitantes, el requisito se reduce al 70% de los valores indicados.

### 3.5.1.3.- Volumen mínimo de peatones

Se satisface este requisito si durante cada una de cualesquiera de las ocho horas de un día representativo se tienen los siguientes volúmenes: 600 o más vehículos por hora en ambos sentidos en la calle principal, o bien 1 000 o más vehículos por hora si la calle principal tiene camellón; y si durante las mismas ocho horas cruzan 150 o más peatones por hora, en el cruce de mayor volumen.

	Vehículos por hora en vía principal	Peatones por hora cruzando la vía principal
Sin Isla Central	600	150
Con Isla Central mayor o igual que 1 m	1000	150

Tabla 3.3 (Fuente: Manual de Estudios de Ingeniería de Transito; Paul Box, Joseph Oppenlander.; Cap. 10 Diseño y operación de sistemas de tránsito)



Cuando la velocidad promedio del 85% del tránsito exceda de 60 km/h o si la intersección está en una población menor a 10 000 habitantes, el requisito se reduce al 70% de los valores indicados.

El semáforo que se instale conforme a este requisito en una intersección aislada, debe ser del tipo accionado por el tránsito con botón para uso de los peatones.

#### **3.5.1.4.- Circulación progresiva**

Este requisito se satisface en calles aisladas de un sentido y donde los semáforos, en caso de haber, están muy distantes entre sí para conservar los vehículos agrupados y a la velocidad deseada, y en el caso de una calle de doble circulación donde los semáforos existentes no permiten el grado deseado de control, agrupamientos, velocidades, etc.

En los sistemas alternos el espaciamiento entre un semáforo y los adyacentes, debe estar relacionado con la duración del ciclo (verde, ámbar, rojo), y con la velocidad de proyecto. No se debe considerar la instalación de semáforos bajo este requisito, si resultan espaciamientos menores de 300 metros.

#### **3.5.1.5.- Antecedentes acerca de los accidentes**

Este requisito debe ir relacionado con alguno de los anteriores, ya que por sí solo no justifica la instalación de semáforos. En muchas ocasiones suceden más accidentes después de instalarlos que antes; por tanto, si ninguno de los requisitos, exceptuando el relativo a los accidentes, se satisface, debe presuponerse que no será necesario instalar el semáforo.

Los requisitos relativos a los accidentes se satisfacen:

- a) Si otros procedimientos menos restrictivos, que se han experimentado satisfactoriamente en otros casos, no han reducido la frecuencia de accidentes.
- b) Si cinco o más accidentes han ocurrido en los últimos doce meses, y cuyo tipo sea susceptible de corregirse con semáforos y en los que hubo heridos o daños físicos con valor mayor a treinta veces el salario mínimo vigente.
- c) Si existen volúmenes de peatones y vehículos, no menores del 80% de los que se especifican para los requisitos de los volúmenes mínimos.

Los semáforos que se instalen con base en la experiencia de los accidentes deben ser del tipo semiaccionado. Si se instalan en una intersección aislada, deben ser totalmente accionados.

#### **3.5.1.6.- Cruces escolares**

Se instala un semáforo cuando en un estudio de la frecuencia de brechas adecuadas (distancia entre un bloque de vehículos y el siguiente) en el flujo de vehículos, relacionadas con el número y tamaño de los grupos de niños cruzando las calles, es menor al número de minutos que dura el estudio.

#### **3.5.1.7.- Progresión**



Se justifica la instalación de un semáforo cuando es necesario mantener las agrupaciones y velocidades de vehículos apropiadas para obtener flujo continuo de vehículos en una calle. Idealmente, no se deben instalar semáforos a menos de 300 mts entre uno y otro.

#### **3.5.1.8.- Sistemas**

Se justifica la instalación de un semáforo cuando la intersección común de dos rutas principales tienen un volumen existente de 800 vph durante las horas pico de cualquier día típico de la semana o en cada una de cinco horas en un sábado o domingo.

#### **3.5.1.9.- Combinaciones de los requisitos anteriores**

Cuando ninguno de los requisitos anteriores se cumplen en un 100%, pero dos o más se satisfacen en un 80% de los valores indicados para cada uno de ellos, se puede considerar justificada su instalación. Las decisiones, en estos casos excepcionales, deben basarse en un análisis completo de todos los factores que intervienen. Antes de instalar semáforos de conformidad con el presente requisito, debe estudiarse la conveniencia de emplear otros métodos.

### **3.6.- DISTRIBUCIÓN DE LOS TIEMPOS DEL SEMÁFORO**

#### **3.6.1.- TERMINOS BÁSICOS**

Ya sea la distribución de los tiempos en un semáforo se realice por métodos manuales o por modelación en computadoras, el ingeniero de tránsito debe conocer los principios básicos que la sustentan. En ausencia de ese conocimiento, el ingeniero se verá en una posición relegada para poder interpretar correctamente los resultados y adaptarlos a las condiciones reales actuales de campo.

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 de uso del espacio por medio de una señal verde o de siga, mientras que otros son detenidos con una señal de rojo o alto.

Para el análisis del control de intersecciones con semáforo y en los requisitos para la distribución de sus tiempos, es necesario precisar algunos términos o parámetros de tiempo y así evitar posibles confusiones, entre los que tenemos:

- **Indicación de señal.**- Es el encendido de una de las luces del semáforo o una combinación de varias luces al mismo tiempo.
- **Ciclo o longitud de ciclo.**- Es el tiempo necesario para una secuencia completa de todas las indicaciones de señal del semáforo.



- **Movimiento.-** Es la maniobra o conjunto de maniobras de un mismo acceso que tienen el derecho de paso simultáneamente y forman una misma fila.
- **Intervalo.-** Es cualquiera de las diversas divisiones del ciclo, durante la cual no cambian las indicaciones de señal del semáforo.
- **Fase.-** Parte del ciclo asignada a cualquier combinación de uno o más movimientos que reciben simultáneamente el derecho de paso, durante uno o más intervalos. Es la selección y ordenamiento de movimientos simultáneos.

Una fase puede significar un solo movimiento vehicular, un solo movimiento peatonal o una combinación de movimientos vehiculares y peatonales. Una fase comienza con la pérdida del derecho de paso de los movimientos que entran en conflicto con los que lo ganan.

- **Secuencia de fases.-** Llamado al orden predeterminado en que ocurren las fases del ciclo.
- **Reparto.-** Es el porcentaje de la longitud del ciclo asignado a cada una de las diversas fases.
- **Intervalo de despeje.-** Tiempo de exposición de la indicación ámbar del semáforo que sigue al intervalo verde. Es un aviso de precaución para pasar de una fase a la siguiente.
- **Intervalo todo rojo.-** Tiempo de exposición de una indicación roja para todo el tránsito que se prepara a circular. Es utilizado en la fase que recibe el derecho de paso después del ámbar de la fase que lo pierde, con el fin de dar un tiempo adicional que permita a los vehículos, que pierden el derecho de paso, despejar la intersección antes de que los vehículos, que lo ganan, reciban verde.
- **Intervalo de cambio de fase.-** Intervalo que puede consistir solamente en un intervalo de cambio ámbar o que puede incluir un intervalo adicional de despeje todo rojo.

### 3.6.2.- CÁLCULO DE LOS TIEMPOS DE SEMAFORO

Se debe recordar permanentemente que el objetivo principal es el obtener un mínimo de demoras que cada fase incluya el mayor número de movimientos simultáneos. Así se logrará admitir un mayor volumen de vehículos en una intersección.

Por lo general, el número de fases diferentes debe reducirse al mínimo, considerando la seguridad y la eficiencia. La selección de los movimientos dentro de cada fase debe tender a reducir a un mínimo la frecuencia y la gravedad de los puntos de conflicto.



Una fase comienza con la pérdida del derecho de paso, de los movimientos de los que están en conflicto con los que ganan el derecho. Por lo tanto una fase consta de un intervalo ámbar, uno todo rojo y uno verde, la distribución de los tiempos de cada fase deben estar relacionados directamente con los volúmenes de tránsito de los movimientos correspondientes. En otras palabras, la duración de cada fase y el ciclo dependerán de la demanda.

Seguidamente se presentan de manera general los diversos elementos a tener en cuenta en el cálculo de los tiempos del semáforo y su reparto en las diferentes fases:

### 3.6.2.1.- 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.

Para calcular el intervalo de cambio de fase, que considere el tiempo de reacción del conductor, tiempo y espacio de deceleración y el tiempo necesario para el despeje de la intersección, de acuerdo a la siguiente figura.

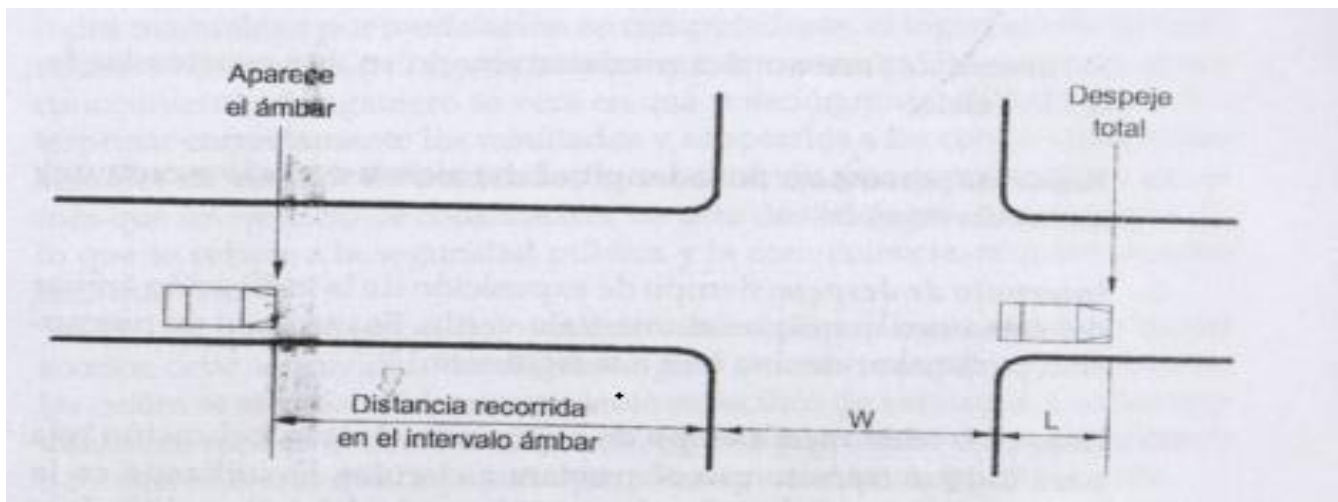


Fig. 3.2 (Fuente: Ingeniería de Tránsito; Rafael Cal y Mayor R; Cap. 13 Semáforos)

Se puede utilizar la siguiente expresión:

Donde el intervalo de cambio es igual a la sumatoria de Ámbar + Todo Rojo

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

Ecuación (3.1)



Donde:

$y$  = intervalo de cambio de fase, ámbar más todo rojo, en seg.

$t$  = tiempo de percepción-reacción del conductor, usualmente 1 seg.

$v$  = velocidad de aproximación de los vehículos, en m/s.

$a$  = tasa de deceleración, valor usual de 3,05 m/s.

$W$  = ancho de la intersección, en m.

$L$  = longitud del vehículo, valor sugerido de 6,10 m.

En la ecuación y en la figura mostradas, el término  $v/2a$  representa el tiempo necesario para recorrer la distancia de parada con deceleración  $a$  y la velocidad  $v$ , y el término  $(W + L)/v$  es el tiempo para cruzar la intersección.

Los dos primeros términos,  $t * v/2a$ , identifican el intervalo de cambio ámbar y el tercer término,  $(W + L)/v$ , se asocia al intervalo de cambio todo rojo. Con respecto a la velocidad de aproximación  $v$ , se utiliza la velocidad límite prevaleciente o el percentil 85 de la velocidad.

### 3.6.2.2.- Longitud del ciclo

El autor F.V. Webster con base en observación de campo y simulación de un amplio rango de condiciones de tránsito, demostró que la demora mínima de todos los vehículos en una intersección con semáforo, se puede obtener para una longitud de ciclo óptimo de:

$$C_o = \frac{1,5 * L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\textcircled{Q}} Y_i} \quad \text{Ecuación (3.2)}$$

Donde:

$C_o$  = tiempo óptimo de ciclo, en seg.

$L$  = tiempo total perdido por ciclo, en seg.

$Y_i$  = máximo valor de la relación entre el flujo actual y el flujo de saturación para el acceso o movimiento o carril crítico de la fase  $i$ .

$\textcircled{Q}$  = número de fases.

El intervalo de valores aceptables para la longitud de un ciclo determinado, esta entre el 75% y el 150% del ciclo óptimo, para el cual las demoras nunca serán mayores del 10% al 20% de la demora mínima.



### 3.6.2.3.- Vehículos equivalentes

Se inicia el análisis tomando como parámetro que todos los vehículos de una intersección con semáforo automóviles que continúan de frente, esto para tener las tasas máximas de flujo, o intervalos aproximadamente iguales, sin embargo, en la mayoría de los casos la situación es más compleja por la presencia de vehículos pesados y movimientos hacia la izquierda y hacia la derecha.

Es por esto que es necesario introducir factores de equivalencia, donde el factor de ajuste por efecto de vehículos pesados, se calcula con la siguiente expresión:

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

Ecuación (3.3)

Donde:

$f_{VP}$  = factor de ajuste por efecto de vehículos pesados.

$P_C$  = porcentaje de camiones.

$P_B$  = porcentaje de autobuses.

$P_R$  = porcentaje de vehículos recreativos.

$E_C$  = automóviles equivalentes a un camión, valor usual de 1,5.

$E_B$  = automóviles equivalentes a un autobús, valor usual de 1,5.

$E_R$  = automóviles equivalentes a un vehículo recreativo.

Los vehículos pesados (camiones y autobuses), por su mayor longitud y menor poder de aceleración que los automóviles, necesitan más tiempo para despejar la intersección. Los automóviles equivalentes comúnmente utilizados tanto para camiones,  $E_C$ , como para autobuses,  $E_B$ , varían de 1,4 a 1,6, tomándose un valor medio de 1,5 que supone accesos con pendientes cercanas al 0% y predominio de camiones livianos medianos.

Por otra parte, se requiere tener factores por movimientos de vuelta, puesto que en estas maniobras los vehículos generalmente consumen mayor tiempo que los vehículos que siguen de frente. Estos factores,  $E_v$ , que se utilizan para convertir automóviles que dan vuelta a automóviles equivalentes que no la dan, varían de 1,4 a 1,6 para vueltas hacia la izquierda y de 1,0 a 1,4 para vueltas hacia la derecha.

Igualmente, los volúmenes horarios de máxima demanda,  $VHMD$ , deben ser convertidos a tasas de flujo,  $q$ , a través del factor de la hora de máxima demanda,  $FHMD$ , para el cual, en casos de proyecto y diseño de planes de tiempos del semáforo, se sugiere un valor de 0,95.



De esta manera, los volúmenes horarios mixtos, VHMD, se convierten a flujos de automóviles directos, que no dan vuelta, equivalentes por hora,  $q_{ADE}$ , mediante la siguiente expresión:

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHMD} * \left( \frac{1}{f_{VP}} \right) * (E_V) \quad \text{Ecuación (3.4)}$$

#### 3.6.2.4.- Flujo de saturación y tiempo perdido

El autor R. Akcelik es el investigador que más ha estudiado la capacidad de intersecciones con semáforo, con base en los conceptos de flujo de saturación, automóviles equivalentes, tiempo perdido y verde efectivo, entre otros.

Cuando el semáforo cambia a verde, el paso de los vehículos que cruzan la línea de ALTO se incrementan rápidamente a una tasa llamada flujo de saturación, la cual permanece constante hasta que la fila de vehículos se disipa o hasta que termina el verde. La tasa de vehículos que cruzan la línea al arrancar es menor durante los primeros segundos, mientras los vehículos aceleran hasta alcanzar una velocidad de marcha normal. Similarmente, durante el periodo posterior a la terminación del verde, la tasa de vehículos que cruzan la línea es menor debido a que algunos vehículos disminuyen su velocidad o se detienen.

El flujo de saturación es la tasa máxima de vehículos que cruzan la línea que puede ser obtenida, cuando existen filas y estas aún persisten hasta el final del periodo en verde. En este caso se tiene un periodo de verde completamente saturado.

En la siguiente figura se muestra las relaciones fundamentales que caracterizan este fenómeno.

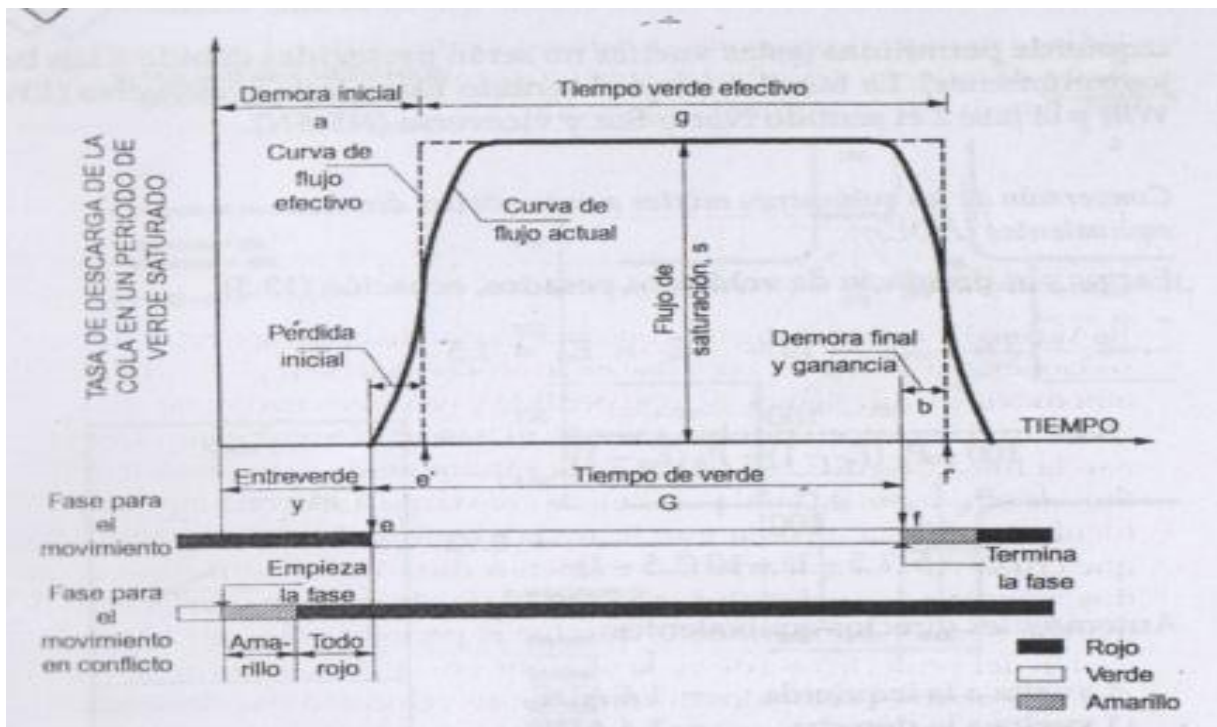


Fig 3.3 (Fuente: Ingeniería de Transito; Rafael Cal y Mayor R; Cap. 13 Semáforos)

Modelo básico del flujo de saturación (fuente: Akvelik Rahmi, Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis)

La línea punteada indica el modelo básico o curva de flujo efectivo, que reemplaza la curva de flujo actual de vehículos que cruzan la línea por un rectángulo de igual área, cuya altura es el flujo de saturación "s" y cuyo ancho es el tiempo verde efectivo "g". En otras, el área bajo la curva, "sg", representa el máximo número de vehículos que cruzan la línea en un ciclo promedio.

El tiempo entre los comienzos de los periodos de verde  $G$  y de verde efectivo  $g$ , esto es  $ee'$ , se considera como una pérdida inicial. Igualmente, el tiempo entre los finales de los periodos de verde y verde efectivo,  $ff'$ , se considera como una ganancia final. Por lo tanto, el verde efectivo para la fase  $i$  es:

$$g_i = G_i + ff' - ee' \quad \text{Ecuación (3.5)}$$



La demora inicial  $a$ , se define como la suma del tiempo entreverde o intervalo de cambio de fase  $y_i$  y la pérdida inicial  $ee'$ :

$$a = y_i + ee'$$

La demora final  $b$ , se define simplemente como la ganancia final  $ff'$ :

$$b = ff'$$

Entonces, el tiempo perdido por fase,  $l$ , es la diferencia entre la demora inicial y la ganancia final:

$$l_i = a - b$$

$$l_i = y_i + ee' - ff'$$

Ecuación (3.6)

De la ecuación (3.5):

$$ee' - ff' = G_i - g_i$$

Reemplazando en la ecuación (3.6):

$$l_i = y_i + G_i - g_i$$

Ecuación (3.7)

Por lo general, el intervalo de cambio de fase  $y_i$  de una fase  $i$  es igual al intervalo ámbar  $A_i$ :

$$y_i = A_i$$

Por lo tanto, la ecuación (3.7) se transforma en:

$$l_i = G_i + A_i - g_i$$

Ecuación (3.8)

Si se supone que la pérdida inicial  $ee$  es igual a la ganancia final  $ff$ , entonces:

$$g_i = G_i$$

$$l_i = y_i = A_i$$

Ecuación (3.9)

El tiempo total  $L$  perdido por ciclo es:

$$L = (\sum_{i=1}^n l_i) + TR$$

Ecuación (3.10)

Donde  $TR$  representa el tiempo total de todo rojo durante el ciclo, en caso de existir.



### 3.6.2.5.- Asignación de tiempos verdes

Donde el tiempo verde efectivo total  $g_T$ , disponible por ciclo para todos los accesos de la intersección, está dado por:

$$g_T = C - L = C - [(\sum_{i=1}^Q l_i) + TR] \quad \text{Ecuación (3.11)}$$

Donde:

$g_T$  = tiempo verde efectivo total por ciclo disponible para todos los accesos.

$C$  = longitud actual del ciclo (redondeado  $C_o$  a los 5 segundos más cercanos).

Para obtener una demora total mínima en la intersección, el tiempo verde efectivo total  $g_T$  debe distribuirse entre las diferentes fases en proporción a sus valores de  $y_i$ , así:

$$g_i = \frac{y_i}{\sum_{i=1}^Q y_i} * (g_T) = \frac{y_i}{y_1 + y_2 + \dots + y_Q} * (g_T) \quad \text{Ecuación (3.12)}$$

Recuérdese que  $y_i$  es el valor máximo de la relación entre el flujo actual y el flujo de saturación, para el acceso o movimiento o carril crítico de cada fase  $i$ .

Entonces de la ecuación (3.8), el tiempo verde real  $G_i$  para cada fase  $i$  se obtiene como:

$$G_i = g_i + l_i - A_i \quad \text{Ecuación (3.13)}$$

O lo que es lo mismo para  $Q$  fases:

$$\begin{aligned} G_1 &= g_1 + l_1 - A_1 \\ G_2 &= g_2 + l_2 - A_2 \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \\ G_Q &= g_Q + l_Q - A_Q \end{aligned}$$

### 3.7.- COORDINACIÓN DE SEMÁFOROS



### 3.7.1.- SISTEMAS DE COORDINACIÓN

Estos sistemas coordinados pueden estar o no sujetos a un control maestro. En caso de existir la interconexión puede lograrse mediante cables o radios. En los controles locales de estos sistemas, se emplean motores de sincronización o de inducción, o dispositivos electrónicos de tiempo.

Por lo general en radios de 400 metros los semáforos de tiempo fijo deben regular las condiciones de tránsito y deben funcionar coordinadamente. Aun a distancias mayores, pueden resultar convenientes.

Existen cuatro sistemas de coordinación de semáforos de tiempo fijo, los que son:

#### 3.7.1.1.- Sistema simultáneo

En este sistema, todos los semáforos muestran la misma indicación aproximadamente al mismo tiempo útil para coordinar intersecciones muy cercanas.

En condiciones de tránsito muy intenso puede dar mejores resultados que el sistema progresivo. Las duraciones de los ciclos y sus subdivisiones están controladas por las necesidades de una o dos de las intersecciones más importantes, lo que puede dar lugar a serias fallas en los demás.

La relación entre la velocidad, ciclo y distancia, puede expresarse así.

$$v = \frac{3,6 * D}{C}$$

Ecuación (3.14)

Donde:

$v$  = velocidad de progresión entre intersecciones (km/h).

$D$  = distancia entre intersecciones (m).

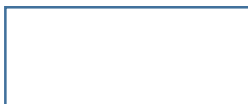
$C$  = duración del ciclo (s).

#### 3.7.1.2.- Sistema alternado

Los semáforos de intersecciones cercanas, por grupos, muestran indicaciones alternadas, a lo largo de una ruta. En el sistema sencillo se tiene indicadores contrarios en semáforos adyacentes.

Los sistemas alternos dobles y triples constan de grupos de dos y tres semáforos que, respectivamente, muestran indicaciones contrarias. Mejora la circulación de los grupos de vehículos en comparación con el sistema anterior. Habrá más fluidez si las longitudes de las calles son más uniformes.

En estas condiciones se consigue una banda del 100% siempre y cuando la velocidad de los vehículos sea:







$$v = \frac{7,2 * D}{C} \quad \text{Ecuación (3.15)}$$

No se adapta muy bien cuando las cuerdas son desiguales. El sistema doble reduce la capacidad de la calle con los volúmenes altos.

### **3.7.1.3.- 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 en "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.

Es necesario realizar revisiones periódicas de los controles, por variaciones debidas a cambios de voltaje y temperatura.

Los desfases, o diferencia de tiempo en que se inician los ciclos entre dos semáforos, pueden tener cualquier valor. No se limitan a la duración de un ciclo o medio ciclo, como en los sistemas anteriormente citados.

### **3.7.1.4.- Sistema progresivo flexible**

Este sistema se caracteriza por que es posible que cada intersección con semáforo varíe automáticamente en varios aspectos. Mediante el uso de controles de intersecciones con caratulas múltiples, se pueden establecer varios programas para subdividir el ciclo. Además, es posible cambiar los desfases en la frecuencia deseada.

Se pueden establecer programas de tiempo predeterminado en los controles múltiples para dar preferencia a las circulaciones en las horas de máxima demanda.

No obstante que todo el sistema usa un ciclo común, la duración y subdivisión de éste pueden variar en función de los cambios de volumen de vehículos. Con base en la variación de los volúmenes de tránsito y la selección de la velocidad adecuada, se puede lograr un movimiento continuo a lo largo de una arteria, especialmente si es de un solo sentido.

Para obtener la máxima flexibilidad de este sistema, los recuentos de tránsito se deben efectuar frecuentemente. Este sistema es el que da mejores resultados para intersecciones ubicadas a distancias variables.

El arreglo más usual en áreas urbanas proporciona tres diferentes programas: a) dando prioridad al flujo de entrada a la zona comercial, durante la mañana; b) equilibrando ambas direcciones de movimiento, fuera de las horas de máxima demanda; c) dando prioridad al flujo que sale de la zona comercial, en el otro periodo de grandes volúmenes.

## **3.8.- CONTROL SEMAFÓRICO**



El control semafórico es un análisis de los diferentes flujos de automotores en un área específica de estudio para utilizar estrategias adecuadas que conlleven a la disminución de la congestión vehicular mediante el uso adecuado de semáforos y así poder contar con vías más fluidas.

Para hablar de control semafórico se debe mencionar diversos estudios llevados a cabo en la determinación de las variables que miden el comportamiento del tránsito, como ser el volumen vehicular, la velocidad de circulación y la densidad de los accesos en intersecciones, es importante señalar que tanto la medición de los factores del tránsito, su procesamiento y su uso en modelos de programas especiales de optimización, requieren un cuidadoso análisis a fin de obtener resultados que se traduzcan en una mejora en los niveles de servicio de las arterias y una disminución en los tiempos de recorrido.

Se debe destacar en el control semafórico, la evaluación de las situaciones a nivel de congestión y los modelos de control inteligente a utilizar en estos casos. En primer lugar, se busca método matemático para medir dichos niveles y en segundo lugar obtener pautas que permitan detectar y prevenir ocurrencias de estos fenómenos de congestión y sobre todo de hiper-congestión.

Por último, se describen los resultados logrados con la aplicación de los programas actualmente en uso de forma tal de transmitir la experiencia resultante para su aplicación en diversos problemas en las operatorias del tránsito urbano en niveles de alta demanda.

El volumen vehicular, la densidad vehicular y la velocidad media de circulación, son de particular importancia en la utilización en los sistemas de control del tránsito mediante señalización luminosa operados por Computadoras en Comandos Centrales. En general se utilizan algoritmos lógicos simples o complejos, que evalúan en forma dinámica las variables, que son procesadas en tiempo real y comparadas con valores de base estadística a fin de establecer estrategias de ajustes en la programación de tiempos de los equipos que regulan el avance de las distintas corrientes vehiculares que se desplazan por sistemas sincronizados de semáforos.

Son variados y múltiples los sistemas de control utilizados en la actualidad y su eficiencia se basa fundamentalmente en la adecuación que hagan de ello, los Ingenieros de Tránsito a los problemas a resolver. La complejidad de las tecnologías no son suficiente garantía de eficiencia sino por el contrario es muy útil que cualquiera sea el control a usar, se tenga en cuenta que las mejores soluciones se basan en la ajustada programación para la puesta en marcha del equipamiento y posteriormente en su supervisión permanente complementado todo por el mantenimiento del conjunto.

### **3.9.- SEÑALIZACIÓN**

La señalización es otro parámetro dentro de la ingeniería de tránsito cuyo objetivo es que a través de señales se pueda ayudar al ordenamiento vial tanto en zonas urbanas como en carreteras.

Entre las funciones de estos dispositivos se encuentran prevenir a conductores y peatones sobre peligros existentes y guiarlos en su recorrido por las vías además de asignar alternativamente el derecho de paso a distintas corrientes vehiculares.

#### **3.9.1.- TIPOS DE SEÑALES**

##### **3.9.1.1.- Señalización vertical**



Las señales verticales son placas fijadas en postes o estructuras instaladas sobre la vía o adyacentes a ella, que mediante símbolos o leyendas determinadas cumplen la función de prevenir a los usuarios sobre existencia de peligros y su naturaleza, reglamentar las prohibiciones o restricciones respecto al uso de las vías, así como brindar la información necesaria para guiar a los usuarios de las mismas.

- **Señales preventivas:** Tienen como propósito advertir a los usuarios la existencia y naturaleza de riesgos y/o situaciones imprevistas presentes en la vía.
- **Señales reglamentarias:** Tiene por finalidad notificar a los usuarios de las vías las prioridades en el uso de las mismas, así como las prohibiciones, restricciones y autorizaciones existentes.
- **Señales informativas:** Estas señales tienen como propósito orientar y guiar a los usuarios del sistema vial, entregándoles información necesaria para que puedan llegar a sus destinos de la forma más segura, simple y directa posible.

#### 3.9.1.2.- Señalización horizontal

Las señales horizontales son marcas o elementos instalados sobre el pavimento, que mediante el uso de símbolos y leyendas determinadas cumplen la función de ordenar y regular el uso de la calzada.

De acuerdo a la función de cumplir, se clasifican en: Líneas Longitudinales, Líneas Transversales, Símbolos y Leyendas y otras demarcaciones.

#### Señalización vertical

Señales preventivas



Fig 3.4 (Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito; señales preventivas verticales)

## Señales reglamentarias



Fig 3.5 (Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito; señales reglamentarias verticales)

Señales informativas:

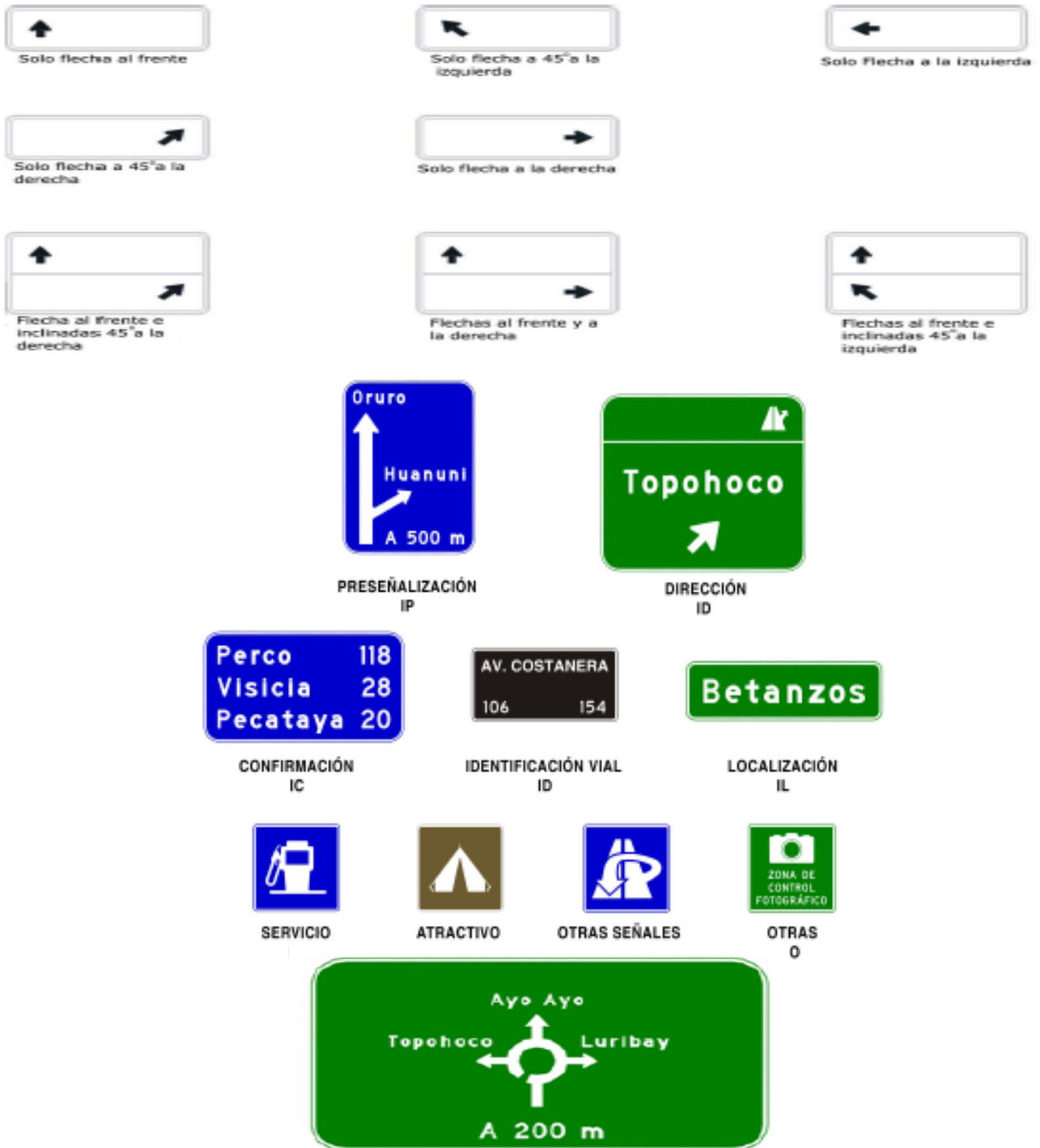
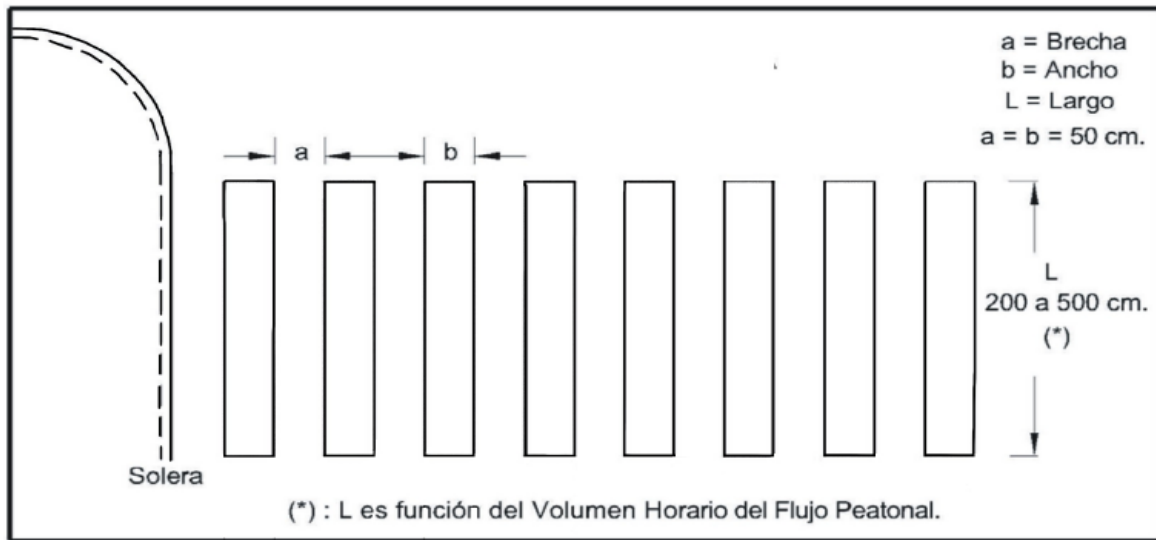


Fig 3.6 (Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito; señales informativas verticales)

Señalización horizontal

LINEAS DE CRUCE EN PASO PEATONAL TIPO CEBRA



FLECHAS DIRECCIONES DE RECTA Y VIRAJE

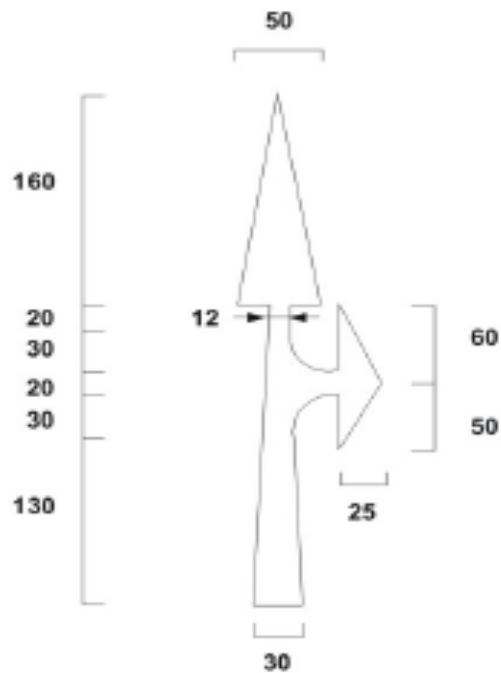


Fig 3.7 (Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito; señales horizontales)

## CAPÍTULO IV

### APLICACIÓN PRÁCTICA EN LA CIUDAD DE YACUIBA

#### 4.1.- UBICACIÓN DEL PROYECTO

El análisis para la determinación del congestionamiento y su utilización en programas de control semafórico se realiza en la ciudad de Yacuiba, que se encuentra ubicada en la 1<sup>ra</sup> sección de la provincia del Gran Chaco en el departamento de Tarija – Bolivia, la cual limita al norte con el municipio de Villamontes, al oeste con el municipio de Carapari, al este con la Republica de Paraguay y finalmente al sur con la Republica Argentina.

La ciudad de Yacuiba se caracteriza por tener un clima cálido, con altas temperaturas en la mayor parte del año debido a que se encuentra situada en una zona del Chaco Boliviano.



Fig. 4.1 Fuente: www.Google.com



Fig. 4.2 Fuente: Google Earth

La ciudad de Yacuiba se encuentra a una latitud de 22°00'51.57" (S), una longitud de 63°40'39.10" (O) con una elevación de 629 m (m.s.n.m.) estos datos son brindados del Google Earth, de la plaza principal de la ciudad.



#### 4.2.- DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El análisis metodológico para la determinación de la congestión vehicular se lleva a cabo en 20 puntos o intersecciones dispersas por la zona urbana y sub urbana de la ciudad.

Estas zonas de estudio se las puede clasificar en: Zona Central (1) Zona Avenida Libertadores (2) y la Zona del Mercado Campesino (3).



Fig. 4.3 Delimitación realizada en el plano Municipal de la Ciudad de Yacuiba (Auto Cad).

#### Zona 1

Centro de la Ciudad

#### Zona 2

Avenida Libertadores

#### Zona3

M.Campesino





#### 4.3.1.- AFORO VEHICULAR

Para la realización del aforo vehicular se utilizó la metodología que dictamina la ABC, la cual nos solicita medir durante 7 días, 12hrs y seleccionando el tipo de vehículo que circula por cada una de las intersecciones de estudio, dichos aforos fueron realizados de forma manual y con la planilla de control correspondiente. La siguiente tabla detalla los aforos del día más congestionado en cada punto de intersección de la zona de estudio.

PUNTOS	CALLE	VEHÍCULOS LIVIANOS		VEHÍCULOS MEDIANOS		VEH PESADOS	TOTAL Volumen Máximo Diario	TOTAL Volumen Máximo Horario
		PRIVADO	PÚBLICO	PRIVADO	PÚBLICO	PRIVADO		
		Veh/Día	Veh/Día	Veh/Día	Veh/Día	Veh/Día	Veh/Día	Veh/h
PUNTO 1	Santa Cruz	1462	2119	27	102	11	3721	310
	San Pedro	1473	1910	37	149	8	3577	298
	INTERSECCION 1	2935	4029	64	251	19	7298	608
PUNTO 2	Santa Cruz	1421	1975	27	99	14	3536	295
	Campero	1307	1617	15	80	14	3033	253
	INTERSECCION 2	2728	3592	42	179	28	6569	548
PUNTO 3	Comercio	1897	2566	33	152	10	4658	388
	San Pedro	1944	2194	31	95	12	4276	356
	INTERSECCION 3	3841	4760	64	247	22	8934	744
PUNTO 4	Comercio	1758	2399	31	175	13	4376	365
	Campero	1528	2535	17	0	10	4090	341
	INTERSECCION 4	3286	4934	48	175	23	8466	706
PUNTO 5	Santa Cruz	1098	1883	48	126	12	3177	265
	Sucre	715	859	35	0	18	1617	135
	INTERSECCION 5	1813	2742	83	126	30	4794	400
PUNTO 6	Santa Cruz	971	1283	48	204	3	2516	210
	Crevaux	935	1007	38	0	2	1975	165
	INTERSECCION 6	1906	2290	86	204	5	4491	375
PUNTO 7	Comercio	1062	1465	45	93	17	2682	224
	Sucre	816	910	30	80	12	1848	154
	INTERSECCION 7	1878	2375	75	173	29	4530	378

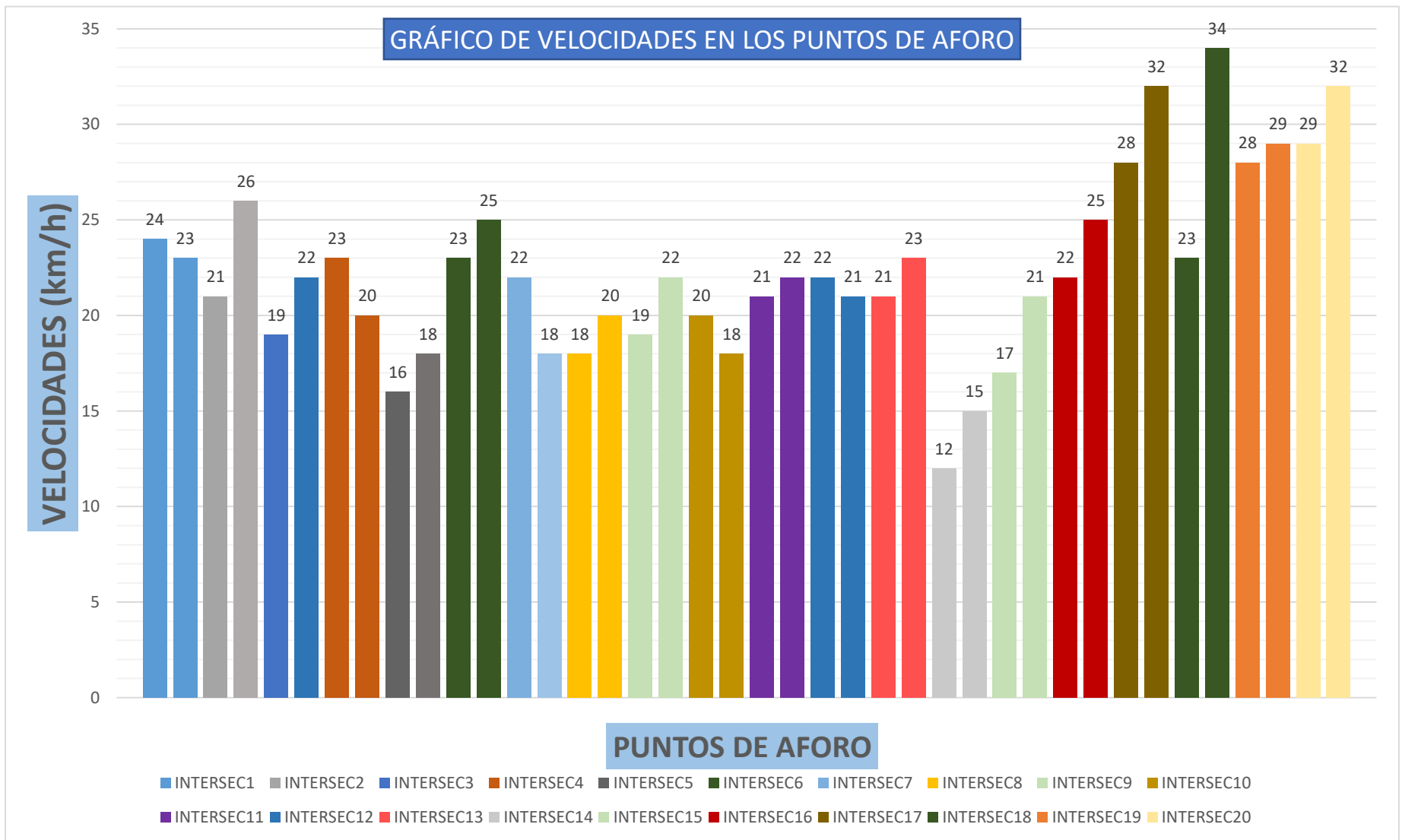


PUNTO 8	Comercio	1066	1392	60	189	3	2708	226
	Crevaux	812	1265	45	58	3	2185	182
	INTERSECCION 8	1878	2657	105	247	6	4893	408
PUNTO 9	Santa Cruz	1256	3872	13	99	10	5250	375
	Beneméritos 1	562	634	15	0	4	1215	101
	Beneméritos 2	560	523	8	0	2	1093	91
	INTERSECCION 9	2378	5029	36	99	16	7558	630
PUNTO 10	Santa Cruz 1	954	3246	8	100	14	4329	309
	Santa Cruz 2	200	300	7	0	2	507	42
	Independencia	872	1465	10	107	7	2457	205
	INTERSECCION 10	2026	5011	25	207	23	7293	608
PUNTO 11	Comercio	1549	4148	40	159	25	5921	423
	Beneméritos	407	491	17	0	8	923	77
	INTERSECCION 11	1956	4639	57	159	33	6844	570
PUNTO 12	Comercio	1188	3688	39	84	19	5018	358
	Independencia	672	1828	46	104	14	2664	222
	INTERSECCION 12	1860	5516	85	188	33	7682	640
PUNTO 13	Avaroa II	143	2642	62	114	23	2984	213
	Chañares	103	775	46	84	19	1027	86
	INTERSECCION 13	246	3417	108	188	42	4011	335
PUNTO 14	Avaroa II	105	2634	64	83	23	2909	208
	Cebiles	98	1668	46	94	9	1915	160
	INTERSECCION 14	203	4302	110	177	32	4824	402
PUNTO 15	Avaroa I	128	3321	58	178	31	3716	265
	Cebiles	108	1665	30	59	19	1881	157
	INTERSECCION 15	236	4986	88	237	50	5597	467
PUNTO 16	Avaroa I	147	3288	50	77	28	3590	256
	Quebrachos	102	1911	37	161	28	2239	187



	INTERSECCION 16	249	5199	87	238	56	5829	486
PUNTO 17	Libertadores 1	1505	1924	70	23	54	3576	298
	Libertadores 2	1025	1855	60	25	56	3021	252
	Campero	353	415	42	0	4	814	68
	INTERSECCION 17	2883	4194	172	48	114	7411	618
PUNTO 18	Libertadores 1	1352	2286	140	44	57	3879	323
	Libertadores 2	1037	1879	72	20	69	3077	256
	Sucre	539	936	55	17	5	1552	129
	INTERSECCION 18	2928	5101	267	81	131	8508	708
PUNTO 19	Libertadores 1	1572	2661	141	40	37	4451	371
	Libertadores 2	1064	2265	85	32	44	3490	291
	Crevaux	202	276	42	0	10	530	44
	INTERSECCION 19	2838	5202	268	72	91	8471	706
PUNTO 20	Libertadores 1	1540	2270	140	38	47	4035	336
	Libertadores 2	1578	2222	124	42	56	4022	335
	Independencia	395	588	86	0	11	1080	90
	INTERSECCION 20	3513	5080	350	80	114	9137	761

Tabla 4.1 Fuente: Elaboración Propia



#### 4.4.- FLUJO DIRECCIONAL VEHICULAR

ZONA 1

CENTRO

VIA PRINCIPAL – FLUJO DIRECCIONAL



Según los volúmenes aforados, se pudo determinar el comportamiento del tráfico en las intersecciones de estudio, lo que nos permite definir una cierta tendencia de flujo direccional de las intersecciones.

En la zona central de la ciudad de Yacuiba se puede observar que el flujo principal (donde existe mayor cantidad de volumen vehicular) se encuentra en las calles Santa Cruz en su movimiento hacia el sur y en la calle Comercio en su flujo direccional hacia el norte, haciendo que las vías secundarias colaboren con el volumen vehicular a estas vías principales.

**ZONA 2**

**AVENIDA LIBERTADORES**

**VIA PRINCIPAL – FLUJO DIRECCIONAL**



En esta zona, el flujo vehicular tiene una tendencia a movilizarse del extremo norte al extremo sur de la ciudad, donde su volumen vehicular se va descargando hacia sus vías secundarias que se movilizan hacia el centro de la ciudad en varias de sus intersecciones.

**ZONA 3**

**MERCADO CAMPESINO**

**VIA PRINCIPAL – FLUJO DIRECCIONAL**





En esta zona se puede observar una tendencia clara, que los conductores hacen su ingreso la zona del mercado campesino principalmente por la calle Avaroa II y despejan la misma por su paralela la calle Avaroa I, manteniendo sus vías secundarias con un flujo vehicular más modesto.

#### 4.5.- CRECIMIENTO ANUAL DEL MOTORIZADO EN LA ZONA DE ESTUDIO

Al hablar de congestionamiento en las intersecciones de estudio de la ciudad, y al indicar que uno de los factores de congestión es el elevado número de vehículos que existen en la misma, se encuentra la necesidad de tener un dato lo más verosímil posible de vehículos que transitan por la ciudad de Yacuiba, por lo que se solicitó a la Honorable Alcaldía Municipal de Yacuiba nos brinde algunos datos sobre el número de vehículos registrados en la ciudad.

Dichos datos se encuentran plasmados en las siguientes tablas:

PARQUE AUTOMOTOR DE LA CIUDAD DE YACUIBA		INCREMENTO
Fecha	Vehículos	Vehículos
Al 31/12/2009	6065	
Al 31/12/2010	7469	1404
Al 31/12/2011	8422	953
Al 31/12/2012	9273	851
Al 31/12/2013	10230	957

CLASE	VEH OFICIAL	VEH PARTICULAR	VEH PUBLICO	TOTAL VEHICULOS
Automóvil	10	1819	34	<b>1863</b>
Camión	31	800	69	<b>900</b>
Camioneta	44	1508	8	<b>1560</b>
Furgón	0	19	0	<b>19</b>
Jeep	4	330	0	<b>334</b>
Microbús	0	183	133	<b>316</b>
Minibús	0	128	1	<b>129</b>
Moto	78	1755	0	<b>1833</b>





<b>Ómnibus</b>	0	33	41	<b>74</b>
<b>Quadtrack</b>	36	7	0	<b>43</b>
<b>Tracto-Camión</b>	2	73	47	<b>122</b>
<b>Vagoneta</b>	15	5511	93	<b>5619</b>
<b>TOTAL</b>	<b>200</b>	<b>12166</b>	<b>426</b>	<b>12812</b>
<b>PORCENTAJE</b>	<b>1,72%</b>	<b>94,96%</b>	<b>3,33%</b>	

Tabla 4.4 realizada por la Honorable Alcaldía Municipal de Yacuiba

Donde se puede acotar que estos datos tan solo son de los vehículos que están registrados en la alcaldía, sin tomar en cuenta aquellos que están de tránsito por la ciudad o que simplemente están indocumentados, pero nos sirven para tener una idea del crecimiento del parque automotor de la ciudad en el transcurso del tiempo.

#### **4.6.- HECHOS DE TRANSITO EN LA CIUDAD DE YACUIBA**

El organismo operativo de tránsito de la ciudad de Yacuiba nos brindó un resumen de los acontecimientos de índole vehicular más destacados del presente año, de los que podemos destacar la gran cantidad de colisiones de vehículos y de atropellos en la ciudad. A pesar que los automóviles no pueden circular a gran velocidad, el conductor suele perder la calma al encontrarse estático por mucho tiempo en un lugar de la vía, lo cual deriva en violencia vial, esto debido a la falta de educación vial tanto para conductores como para peatones.

La gran mayoría de estos hechos de tránsito, según el organismo operativo, se produjeron en las zonas de estudio.



Tabla 4.5 realizada por el Organismo Operativo De Transito

#### 4.7.- CONGESTIONAMIENTO

Es el fenómeno de espera o demora de los motorizados, donde el flujo de vehicular se ve saturado debido al exceso de demanda de vías, produciendo incrementos en los tiempos de viaje. Este fenómeno se produce comúnmente en las horas pico, y resultan frustrantes para los automovilistas, ya que resultan en pérdidas de tiempo y consumo excesivo de combustible.

Para la realización del análisis del congestionamiento se utilizó del libro: Ingeniería de Transito de

TIPO DE HECHOS	TOTAL	ENERO	FEBR	MAR	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEM
Atropellos	61	5	3	7	8	8	10	6	8	6
Colisiones	134	13	13	15	21	14	18	11	15	14
Choque A Objeto Fijo	20	0	1	3	6	2	0	4	1	3
Choque A Vehículos Detenidos	29	2	0	0	0	8	1	3	4	11
Vuelcos	10	0	0	0	0	3	3	0	3	1
Embarrancamientos	3	0	0	0	1	0	1	1	0	0
Encunet./Deslizamiento	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Caída De Motociclista	12	2	0	3	1	1	0	0	1	4
Atricciónamiento	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>272</b>	<b>22</b>	<b>17</b>	<b>31</b>	<b>37</b>	<b>36</b>	<b>33</b>	<b>25</b>	<b>32</b>	<b>39</b>

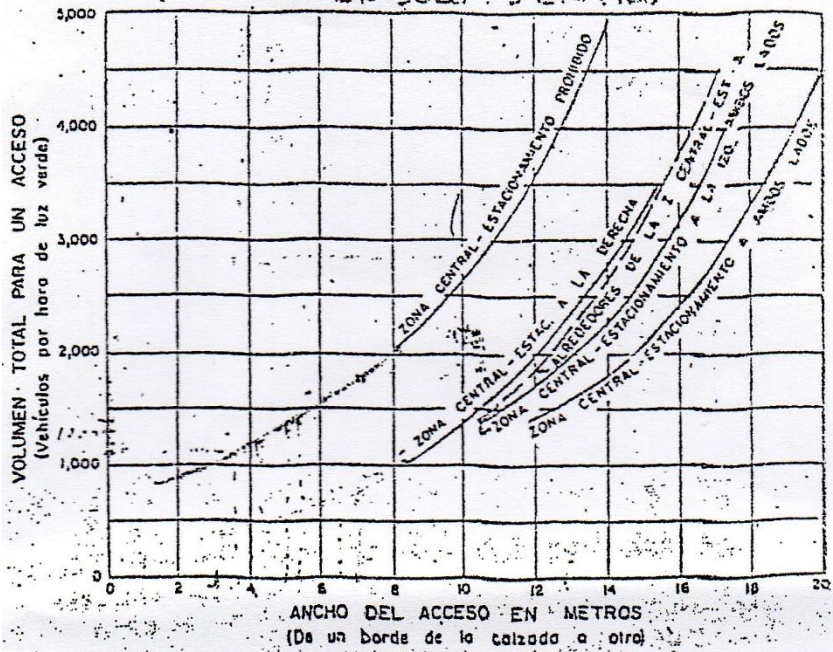
los autores Rafael Cal y Mayor y James Cárdenas, del capítulo de congestionamiento, el Subtítulo de *Análisis de Intersecciones Con Semáforo con régimen D/D/1*, el cual nos solicita cierto tipo de datos para su análisis, los cuales indicamos a continuación.

- 1) *Flujo de Saturación.*- El cual se obtiene con las tablas de capacidad de vías interrumpidas para uno y dos sentidos del Manual de Ingeniería de Transito, donde utilizamos como dato el ancho de acceso en metros y algunas características de la intersección, como ser la zona (central, urbana), y los tipos de estacionamientos (permitidos o restringidos), los cuales relacionamos para poder calcular el flujo de saturación de vehículos por hora de luz verde.

#### Tabla Para Una Sola Vía

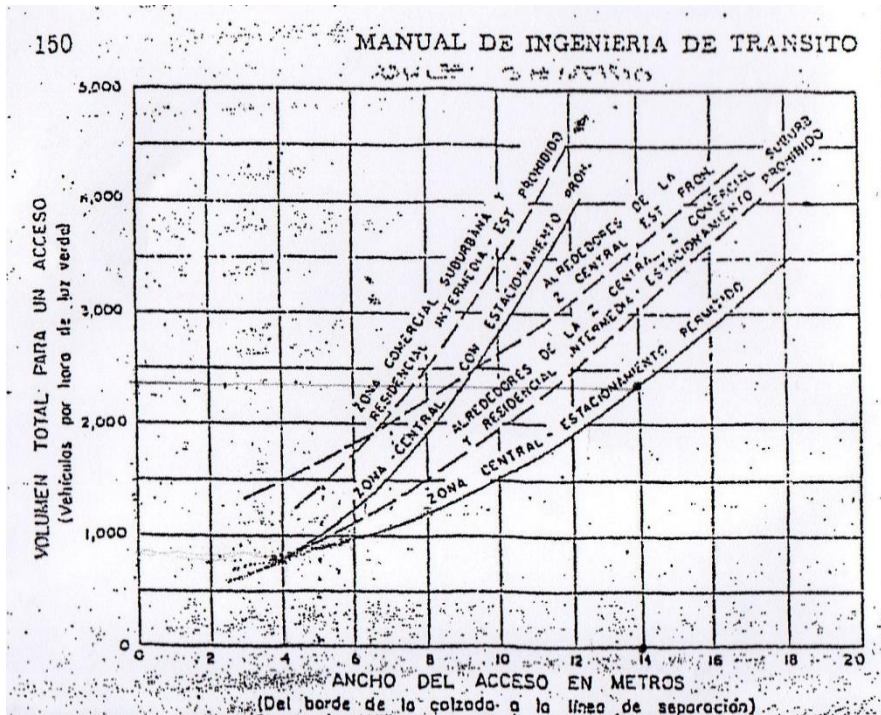


CAPACIDAD PARA CORRIENTES INTERRUPTIDAS 151



- (1) Zona central - Estacionamiento Prohibido.
- (2) Zona central - Estacionamiento a la Derecha.
- (3) Alrededores de la Zona central - Estacionamiento a ambos lados.
- (4) Zona central - Estacionamiento a la Izquierda.
- (5) Zona central - Estacionamiento a ambos

Tabla Para Doble Vía



- (1) Zona central Suburbana y Residencial intermedia - Estacionamiento Prohibido.
- (2) Zona central - Estacionamiento Prohibido.
- (3) Alrededores de la Zona central - Estacionamiento prohibido.
- (4) Alrededores de Z. central Suburbana y Residencial intermedia - Estacionamiento Prohibido.
- (5) Zona central - Estacionamiento permitido.

2) *Tasa Media de Llegadas*.- Este dato se lo obtuvo del volumen máximo diario, del día mas congestionado, dividido entre las horas aforadas, que por norma de ABC (que es la utilizada) son 12 horas de aforo.



- 3) *Tiempo Verde Efectivo*.- Se lo atribuye al tiempo en verde actual con el que el semáforo trabaja de la intersección en estudio.
- 4) *Ciclo de Longitud*.- Es el tiempo que tarda el semáforo de estar en rojo, pasar a amarillo, volverse verde, hacer amarillo de nuevo y volver al rojo.

**4.7.1.- CALCULO DEL ANÁLISIS DE INTERSECCIONES CON SEMÁFORO CON RÉGIMEN D/D/1**

Con los datos solicitados para realizar el análisis de intersecciones con semáforo con régimen D/D/1, podemos iniciar el cálculo correspondiente para hallar la demora promedio del tránsito por ciclo que nos ayudara a analizar si las intersecciones de estudio están o no congestionadas.

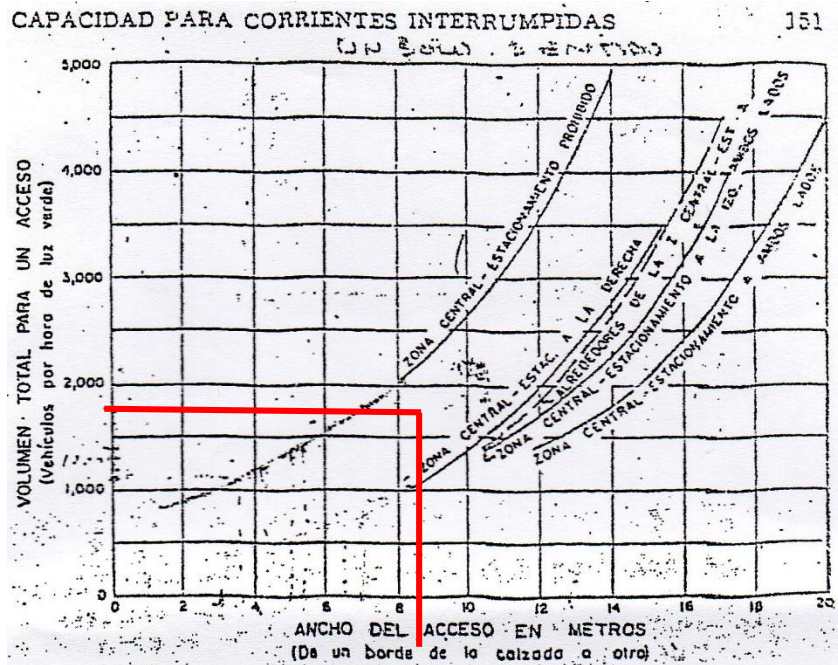
Se pasará a explicar la realización paso por paso de cómo se determinó la demora promedio del tránsito, con datos de nuestro primer punto de intersección.

**Paso 1.-** Es necesario hacer el cálculo del flujo de saturación, para lo cual necesitamos hacer uso de la tabla de capacidades, donde también se utilizarán el ancho de la calzada y las características de nuestro punto de estudio.

**Ancho de la Calle Santa Cruz esq. San Pedro (m) = 8.5m**

**Numero de Accesos: 1**

**Características de la calle:** Zona Central con estacionamiento prohibido (Caso 1)



- (1) Zona central - Estacionamiento Prohibido.
- (2) Zona central - Estacionamiento a la Derecha.
- (3) Alrededores de la Zona central - Estacionamiento a ambos lados.
- (4) Zona central - Estacionamiento a la Izquierda.
- (5) Zona central - Estacionamiento a ambos

Según la

tabla nos indica un flujo de saturación de



2300 Veh/hra.

**Paso 2.-** Se debe calcular la Tasa Media de la intersección en estudio, la cual calculamos con el Volumen Máximo Diario del día con más congestión de nuestro punto de estudio.

Volumen Máximo Diario del día con mayor congestión = 3721 veh/dia.

Este valor se lo divide entre 12 que son las horas de estudio:

310 veh/hra.

**Paso 3.-** Se miden los tiempos de los semáforos existentes, para obtener los verdes efectivos y los ciclos de longitud actuales.

Tiempo en Verde = 23 s

Ciclo de Longitud = 50 s

**Paso 4.-** Se convierte el *Flujo de Saturación* de veh/hra a veh/s.

$$S = N^{\circ} \text{ de vehiculos } \left( \frac{1 h}{3600s} \right)$$

$$S = 2300 * \left( \frac{1 h}{3600s} \right)$$

S = 0,639 veh/s

**Paso 5.-** Es necesario convertir también la *Tasa Media de Llegadas* de veh/hra a veh/s.

$$\lambda = N^{\circ} \text{ de la media de vehiculos } \left( \frac{1 h}{3600 s} \right)$$

$$\lambda = 310 * \left( \frac{1 h}{3600s} \right)$$



$$\lambda = 0,086 \text{ veh/s}$$

**Paso 6.-** Con ambos parámetros convertidos en veh/s, se procede a encontrar el Factor de utilización o **Intensidad del Tránsito**.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

Donde  $\mu = 5$  cuando el semáforo esta en verde y aún existe cola.

$$\rho = \frac{0,086}{0,639}$$

$$\rho = 0,135$$

**Paso 7.-** Siendo conocidos la longitud de ciclo y el tiempo verde efectivo, se procede a realizar el cálculo del **Rojo Efectivo**.

$$r = 50 - 23$$

$$r = 27 \text{ s}$$

**Paso 8.-** Para realizar el cálculo del **Tiempo para que se Disipe la Cola del Verde Efectivo** es necesario la utilización del tiempo rojo efectivo y de la intensidad de tránsito previamente calculados.

$$t_0 = \frac{\rho * r}{1 - \rho}$$

$$t_0 = \frac{0,135 * 27}{1 - 0,135}$$

$$t_0 = 4.207 \text{ s}$$

**Paso 9.-** Conociendo el tiempo para que se disipe la cola del verde efectivo, se le suma el rojo efectivo para conocer el tiempo en cola, y así, junto a longitud del ciclo, se realiza una relación de ambos para poder conocer la **Proporción del Ciclo con Cola**.



$$P_q = \frac{\text{tiempo en la cola}}{\text{longitud de ciclo}}$$

$$P_q = \frac{r + t_0}{C}$$

$$P_q = 0,624$$

**Paso 10.-** La **Proporción de Vehículos Detenidos** es la relación entre los vehículos detenidos y los vehículos totales por ciclo.

$$P_s = \frac{\text{vehiculos detenidos}}{\text{vehiculos totales por ciclo}}$$

$$P_s = \frac{t_0}{\rho * C}$$

$$P_s = \frac{4,207}{0,135 * 50}$$

$$P_s = 0,624$$

**Paso 11.-** Es de necesidad tener conocimiento de la longitud de cola existente en la intercesión, por lo que se debe de calcular la **Longitud Máxima de la Cola** con la relación demanda – servicio, pero como esta relación ocurre al final del rojo, se puede decir que el servicio en ese instante es cero, entonces:

$$Q_m = \lambda * r$$

$$Q_m = 0,086 * 27$$

$$Q_m = 2,322 \text{ veh}$$

**Paso 12.-** En este paso se calcula la **longitud promedio de la cola**, mientras exista.

$$\bar{Q}_q = \frac{Q_m}{2} = \frac{\lambda * r}{2} \bar{Q}_q = \frac{0,086 * 27}{2}$$

$$\bar{Q}_q = 1.2 \text{ veh}$$

**Paso 13.-** Para este caso hallaremos la **Longitud Promedio de la Cola por Ciclo**, que es la relación entre la proporción del ciclo con cola y la longitud promedio de la cola.

$$\bar{Q} = \frac{r + t_0}{C} * \left(\frac{\lambda * r}{2}\right)$$



$$\bar{Q} = P_q * \bar{Q}_q$$

$$\bar{Q} = 0,624 * 1,2$$

$$\bar{Q} = 0,72 \approx 1 \text{ veh}$$

**Paso 14.-** Se calcula Demora Total para todo el Transito por Ciclo, reemplazando el valor de  $t_0$  para facilitar la solución para la ecuación.

$$D = \frac{\lambda * r^2 + \lambda * r * (\frac{\rho * r}{1 - \rho})}{2}$$

$$D = \frac{\lambda * r^2}{2(1 - \rho)}$$

$$D = \frac{0,086 * 27^2}{2(1 - 0,135)}$$

$$D = 36 \text{ s} - \text{veh}$$

**Paso 15.- La Demora Promedio del Tránsito por Ciclo**, es el último paso que se realiza para conocer si una vía se encuentra congestionada o libre, y para calcular este promedio solo se divide la demora total entre el número de vehículos.

$$d = \frac{D}{\lambda * C} = \frac{\lambda * r^2}{2 * (1 - \rho) * \lambda * C}$$

$$d = \frac{r^2}{2 * C * (1 - \rho)}$$

$$d = \frac{27^2}{2 * 50 * (1 - 0.135)}$$

$$d = 8 \text{ s/veh}$$





**4.7.2.- DATOS Y RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL CONGESTIONAMIENTO (Vía Principal).**- Conocido el procedimiento para el cálculo de *La Demora Promedio del Tránsito por Ciclo*, se procede a calcular todos los puntos, iniciando por las intersecciones con Volúmenes Máximos Horarios más elevados, es decir, las calles congestionadas en las que basaremos el estudio. (Aparecen puntos “a” referidos a las intersecciones doble vía)

**DATOS UTILIZADOS PARA EL CALCULO DEL ANÁLISIS DETERMINISTICO DEL CONGESTIONAMIENTO**

PUNTOS	CALLE	Capacidad Vías Interrumpidas	Caso Tabla	Ancho de Calle (m)	Flujo de Saturación (tabla)	Volumen Max Diario (veh/h)	Tasa Media (veh/h)	Tiempo Verde (s)	Ciclo (s)
PUNTO 1	Calle Santa Cruz esq. San Pedro	Un Acceso	caso 1	8,5	2300	3721	310	23	50
PUNTO 2	Calle Santa Cruz esq. Campero	Un Acceso	caso 1	8,5	2300	3536	295	23	50
PUNTO 3	Calle Comercio esq. San Pedro	Un Acceso	caso 1	8,5	2300	4658	388	23	50
PUNTO 4	Calle Comercio esq. Campero	Un Acceso	caso 1	9,5	2450	4376	365	23	50
PUNTO 5	Calle Santa Cruz esq. Sucre	Un Acceso	caso 1	9	2350	3177	265	23	50
PUNTO 6	Calle Santa Cruz esq. Crevaux	Un Acceso	caso 2	12	2000	2516	210	23	50
PUNTO 7	Calle Comercio esq. Sucre	Un Acceso	caso 1	9,5	2450	2682	224	23	50
PUNTO 8	Calle Comercio esq. Crevaux	Un Acceso	caso 1	9,5	2450	2708	226	23	50
PUNTO 9	Calle Santa Cruz esq. Benemérito	Dos Accesos (entrada)	caso 3	6,5	1950	5250	375	30	60
PUNTO 9a	Calle Santa Cruz esq. Independencia	Dos Accesos (salida)	caso 3	6,5	1950	850	61	27	60
PUNTO 10	Calle Santa Cruz esq. Independencia	Dos Accesos (entrada)	caso 3	6,5	1950	4329	309	30	60
PUNTO 10a	Calle Santa Cruz esq. 27 De Mayo	Dos Accesos (salida)	caso 3	6,5	1950	1105	79	27	60



PUNTO 11	Calle Comercio esq. Beneméritos	Un Acceso	caso 1	8,5	2300	5921	423	23	50
PUNTO 12	Calle Comercio esq. Independencia	Un Acceso	caso 1	8,5	2300	5018	358	23	50
PUNTO 13	Calle Avaroa II esq. Chañares	Un Acceso	caso 2	8,5	1000	2984	213	23	50
PUNTO 14	Calle Avaroa II esq. Cebiles	Un Acceso	caso 2	8,5	1000	2909	208	23	50
PUNTO 15	Calle Avaroa I esq. Cebiles	Un Acceso	caso 2	8,5	1000	3716	265	23	50
PUNTO 16	Calle Avaroa I esq. Quebracho	Un Acceso	caso 5	12	1500	3590	256	23	50
PUNTO 17	Av. Libertadores esq. Campero	Dos Accesos (salida)	caso 3	8,5	2300	3576	298	30	60
PUNTO 17a	Av. Libertadores esq. Sucre	Dos Accesos (entrada)	caso 3	8,5	2300	2639	220	27	60
PUNTO 18	Av. Libertadores esq. Sucre	Dos Accesos (salida)	caso 3	8,5	2300	4019	335	30	60
PUNTO 18a	Av. Libertadores esq. Crevaux	Dos Accesos (entrada)	caso 3	8,5	2300	3576	298	27	60
PUNTO 19	Av. Libertadores esq. Crevaux	Dos Accesos (salida)	caso 3	8,75	2400	4451	371	30	60
PUNTO 19a	Av. Libertadores esq. Cochabamba	Dos Accesos (entrada)	caso 3	8,75	2400	3244	270	27	60
PUNTO 20	Av. Libertadores esq. Independencia	Dos Accesos (salida)	caso 3	9,5	2500	4272	356	30	60
PUNTO 20a	Av. Libertadores esq. 27 De Mayo	Dos Accesos (entrada)	caso 3	9,5	2500	4035	336	27	60

**TABLA DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DETERMINISTICO DEL CONGESTIONAMIENTO**

INTERSEC	FLUJO DE SATURACION	TASA MEDIA	TIEMPO VERDE	CICLO DE LONGITUD	FLUJO DE SATURACION	TASA MEDIA LLEGADAS	INTENSIDAD	ROJO EFECTIVO	TIEMPO DISIPACION COLA	PROPORCION DEL CICLO CON COLA	PROPORCION DE VEH DETENIDOS	LONGITUD MAX DE COLA	LONGITUD PROM COLA	LONG PROM COLA POR CICLO	DEMORA TOTAL CICLO	DEMORA PROMEDIO DEL TRANSITO	OBSERVACION
				C	S	$\lambda$	$\rho$	r	$t_o$	$P_q$	$P_s$	$Q_m$	$\bar{Q}_q$	$\bar{Q}$	D	d	
	veh/h	veh/h	s	s	veh/s	veh/s		s	s			veh	veh	veh	s - veh	s/veh	

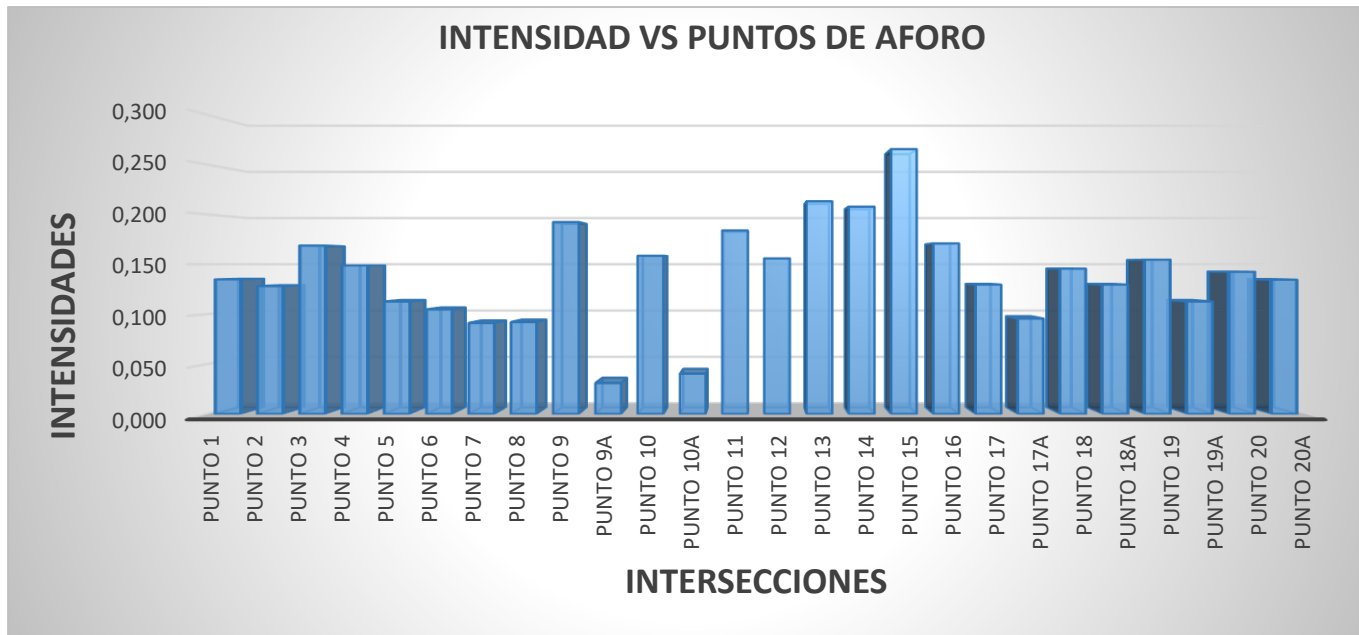


PUNTO 1	2300	310	23	50	0,639	0,086	0,135	27	4,207	0,624	0,624	2,3	1,2	1	36	8	Congestión
PUNTO 2	2300	295	23	50	0,639	0,082	0,128	27	3,967	0,619	0,619	2,2	1,1	1	34	8	Congestión
PUNTO 3	2300	388	23	50	0,639	0,108	0,169	27	5,482	0,650	0,650	2,9	1,5	1	47	9	Congestión
PUNTO 4	2450	365	23	50	0,681	0,101	0,149	27	4,722	0,634	0,634	2,7	1,4	1	43	9	Congestión
PUNTO 5	2350	265	23	50	0,653	0,074	0,113	27	3,428	0,609	0,609	2,0	1,0	1	30	8	Congestión
PUNTO 6	2000	210	23	50	0,556	0,058	0,105	27	3,162	0,603	0,603	1,6	0,8	0	24	8	Congestión
PUNTO 7	2450	224	23	50	0,681	0,062	0,091	27	2,710	0,594	0,594	1,7	0,8	0	25	8	Congestión
PUNTO 8	2450	226	23	50	0,681	0,063	0,092	27	2,739	0,595	0,595	1,7	0,8	1	25	8	Congestión
PUNTO 9	1950	375	30	60	0,542	0,104	0,192	30	7,143	0,619	0,619	3,1	1,6	1	58	9	Congestión
PUNTO 9a	1950	61	27	60	0,542	0,017	0,031	33	1,060	0,568	0,568	0,6	0,3	0	9	9	Congestión
PUNTO 10	1950	309	30	60	0,542	0,086	0,159	30	5,654	0,594	0,594	2,6	1,3	1	46	9	Congestión
PUNTO 10a	1950	79	27	60	0,542	0,022	0,040	33	1,392	0,573	0,573	0,7	0,4	0	12	9	Congestión
PUNTO 11	2300	423	23	50	0,639	0,117	0,184	27	6,083	0,662	0,662	3,2	1,6	1	52	9	Congestión
PUNTO 12	2300	358	23	50	0,639	0,100	0,156	27	4,984	0,640	0,640	2,7	1,3	1	43	9	Congestión
PUNTO 13	1000	213	23	50	0,278	0,059	0,213	27	7,314	0,686	0,686	1,6	0,8	1	27	9	Congestión
PUNTO 14	1000	208	23	50	0,278	0,058	0,208	27	7,082	0,682	0,682	1,6	0,8	1	27	9	Congestión
PUNTO 15	1000	265	23	50	0,278	0,074	0,265	27	9,756	0,735	0,735	2,0	1,0	1	37	10	Congestión
PUNTO 16	1500	256	23	50	0,417	0,071	0,171	27	5,567	0,651	0,651	1,9	1,0	1	31	9	Congestión
PUNTO 17	2300	298	30	60	0,639	0,083	0,130	30	4,466	0,574	0,574	2,5	1,2	1	43	9	Congestión
PUNTO 17a	2300	220	27	60	0,639	0,061	0,096	33	3,489	0,608	0,608	2,0	1,0	1	37	10	Congestión
PUNTO 18	2300	335	30	60	0,639	0,093	0,146	30	5,113	0,585	0,585	2,8	1,4	1	49	9	Congestión
PUNTO 18a	2300	298	27	60	0,639	0,083	0,130	33	4,912	0,632	0,632	2,7	1,4	1	52	10	Congestión
PUNTO 19	2400	371	30	60	0,667	0,103	0,155	30	5,484	0,591	0,591	3,1	1,5	1	55	9	Congestión
PUNTO 19a	2400	270	27	60	0,667	0,075	0,113	33	4,189	0,620	0,620	2,5	1,2	1	46	10	Congestión
PUNTO 20	2500	356	30	60	0,694	0,099	0,142	30	4,981	0,583	0,583	3,0	1,5	1	52	9	Congestión
PUNTO 20a	2500	336	27	60	0,694	0,093	0,135	33	5,128	0,635	0,635	3,1	1,5	1	59	10	Congestión





4.7.2.1.- INTENSIDADES ACTUALES



INTENSIDADES							
Punto 1	0,135	Punto 8	0,092	Punto 13	0,213	Punto 18a	0,130
Punto 2	0,128	Punto 9	0,192	Punto 14	0,208	Punto 19	0,155
Punto 3	0,169	Punto 9a	0,031	Punto 15	0,265	Punto 19a	0,113
Punto 4	0,149	Punto 10	0,159	Punto 16	0,171	Punto 20	0,142
Punto 5	0,113	Punto 10a	0,040	Punto 17	0,130	Punto 20a	0,135
Punto 6	0,105	Punto 11	0,184	Punto 17a	0,096		
Punto 7	0,091	Punto 12	0,156	Punto 18	0,146		

DATOS ESTADÍSTICOS DE INTENSIDADES			
Máxima	0,265	Media Aritmética	0,140



Mínima	0,031	Desviación Estándar	0,051
--------	-------	---------------------	-------

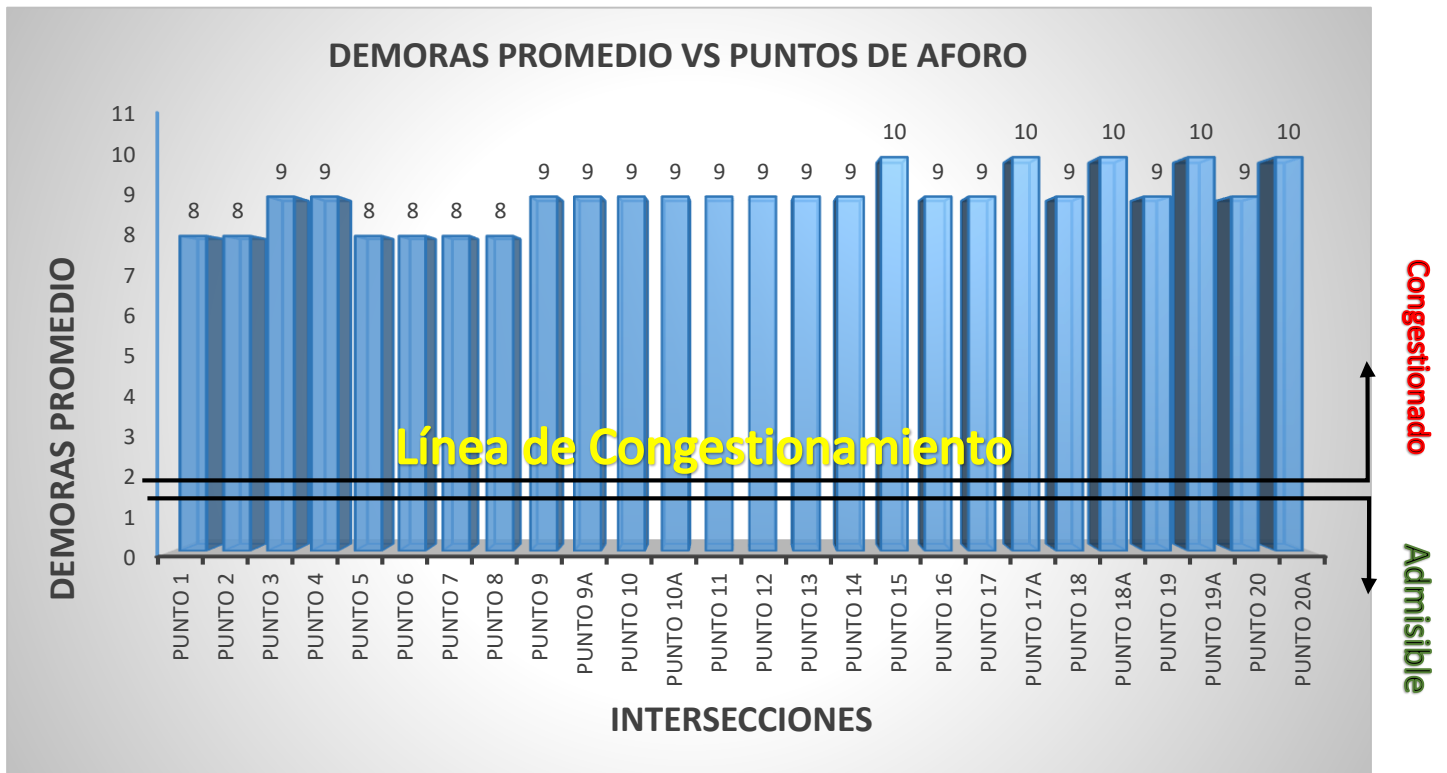
Se denomina intensidad al número de vehículos que atraviesa una determinada sección de la vía en la unidad de tiempo, para su medición se realizaron aforos en determinados puntos de la calle, de forma manual.

El valor encontrado de intensidad para cada punto de aforo, se calculó con la relación del flujo de saturación obtenido de la tabla de capacidad de vías interrumpidas para uno y dos accesos y la tasa media de llegadas que es el promedio de los aforos obtenido de la práctica.

Como se puede observar en el grafico se tiene gran variedad de intensidades, esto se debe a las diferentes características de las zonas de estudio, por motivo de las longitudes y anchos desiguales de las calles y de los distintos volúmenes con los que cuentan cada uno de nuestros puntos aforados.

El dato de la intensidad se nos hace indispensable para el cálculo del tiempo de disipación de cola, proporción del ciclo, demora total del ciclo para así llegar al dato que es de importancia, como es el de demora promedio del tránsito.

**4.7.2.2.- DEMORAS EN PUNTOS ACTUALES**





DATOS ESTADÍSTICOS DE INTENSIDADES			
Máxima	10	Media Aritmética	9
Mínima	8	Desviación Estándar	0,718
N° No Congestionados	0	N° Congestionados	26

Como puede

se

apreciar en esta gráfica y en los datos estadísticos, con la disposición de los ciclos y de los tiempos en verde de los semáforos que existen en la actualidad en todos los puntos de estudio, que todos se encuentran en congestión, por lo que se ve la necesidad de hacer un análisis y un cálculo de nuevos ciclos y nuevos tiempos en verde en los semáforos, que nos den una solución rápida y factible a nuestros problemas de congestión.







4.7.3.- DATOS Y RESULTADOS DE LOS NUEVOS TIEMPOS PARA EL ANÁLISIS DEL CONGESTIONAMIENTO (Vía Principal)

NUEVA TABLA DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DETERMINISTICO DEL CONGESTIONAMIENTO CON LOS NUEVOS TIEMPOS DE VERDE																	
INTERSEC	FLUJO DE SATURACION	TASA MEDIA	TIEMPO VERDE	CICLO DE LONGITUD	FLUJO DE SATURACION	TASA MEDIA LLEGADAS	INTENSIDAD	ROJO EFECTIVO	TIEMPO DISPACION COLA	PROPORCION DEL CICLO CON COLA	PROPORCION DE VEH DETENIDOS	LONGITUD MAX DE COLA	LONGITUD PROM COLA	LONG PROM COLA POR CICLO	DEMORA TOTAL CICLO	DEMORA PROMEDIO DEL TRANSITO	OBSERVACION
				C	S	$\lambda$	$\rho$	r	$t_o$	$P_q$	$P_s$	$Q_m$	$\bar{Q}_q$	$\bar{Q}$	D	d	
	veh/h	veh/h	s	s	veh/s	veh/s		s	s			veh	veh	veh	s - veh	s/veh	
PUNTO 1	2300	310	37	55	0,639	0,086	0,135	18	2,805	0,378	0,378	2	0,8	0	16	3	Admisible
PUNTO 2	2300	295	37	55	0,639	0,082	0,128	18	2,645	0,375	0,375	1	0,7	0	15	3	Admisible
PUNTO 3	2300	388	37	55	0,639	0,101	0,158	18	3,384	0,389	0,389	2	0,9	0	19	3	Admisible
PUNTO 4	2450	365	37	55	0,681	0,101	0,149	18	3,148	0,385	0,385	2	0,9	0	19	3	Admisible
PUNTO 5	2350	265	37	55	0,653	0,074	0,113	18	2,285	0,369	0,369	1	0,7	0	13	3	Admisible
PUNTO 6	2000	210	37	55	0,556	0,058	0,105	18	2,108	0,366	0,366	1	0,5	0	11	3	Admisible
PUNTO 7	2450	224	37	55	0,681	0,062	0,091	18	1,807	0,360	0,360	1	0,6	0	11	3	Admisible
PUNTO 8	2450	226	37	55	0,681	0,063	0,092	18	1,826	0,360	0,360	1	0,6	0	11	3	Admisible
PUNTO 9	1950	375	40	58	0,542	0,109	0,201	18	4,529	0,388	0,388	2	1	0	22	3	Admisible
PUNTO 9a	1950	61	40	60	0,542	0,020	0,036	20	0,754	0,346	0,346	0	0,2	0	4	3	Admisible
PUNTO 10	1950	309	40	58	0,542	0,100	0,185	18	4,086	0,381	0,381	2	0,9	0	20	3	Admisible
PUNTO 10a	1950	79	40	60	0,542	0,026	0,047	20	0,991	0,350	0,350	1	0,3	0	5	3	Admisible
PUNTO 11	2300	423	38	55	0,639	0,137	0,215	17	4,643	0,394	0,394	2	1,2	0	25	3	Admisible
PUNTO 12	2300	358	38	55	0,639	0,116	0,182	17	3,778	0,378	0,378	2	1	0	21	3	Admisible
PUNTO 13	1000	213	38	55	0,278	0,069	0,249	17	5,626	0,411	0,411	1	0,6	0	13	3	Admisible
PUNTO 14	1000	208	38	55	0,278	0,067	0,242	17	5,440	0,408	0,408	1	0,6	0	13	3	Admisible
PUNTO 15	1000	265	38	55	0,278	0,069	0,249	17	5,636	0,412	0,412	1	0,6	0	13	3	Admisible
PUNTO 16	1500	256	38	55	0,417	0,083	0,199	17	4,235	0,386	0,386	1	0,7	0	15	3	Admisible
PUNTO 17	2300	298	41	60	0,639	0,083	0,130	19	2,828	0,364	0,364	2	0,8	0	17	3	Admisible
PUNTO 17a	2300	220	41	60	0,639	0,061	0,096	19	2,009	0,350	0,350	1	0,6	0	12	3	Admisible
PUNTO 18	2300	335	41	60	0,639	0,090	0,140	19	3,104	0,368	0,368	2	0,9	0	19	3	Admisible
PUNTO 18a	2300	298	41	60	0,639	0,083	0,130	19	2,828	0,364	0,364	2	0,8	0	17	3	Admisible



PUNTO 19	2400	371	41	60	0,667	0,094	0,140	19	3,104	0,368	0,368	2	0,9	0	20	3	Admisible
PUNTO 19a	2400	270	41	60	0,667	0,075	0,113	19	2,412	0,357	0,357	1	0,7	0	15	3	Admisible
PUNTO 20	2500	356	41	60	0,694	0,098	0,140	19	3,103	0,368	0,368	2	0,9	0	20	3	Admisible
PUNTO 20a	2500	336	41	60	0,694	0,093	0,135	19	2,953	0,366	0,366	2	0,9	0	19	3	Admisible

**NUEVOS DATOS UTILIZADOS PARA EL CALCULO DEL ANALISIS DETERMINISTICO DEL CONGESTIONAMIENTO**

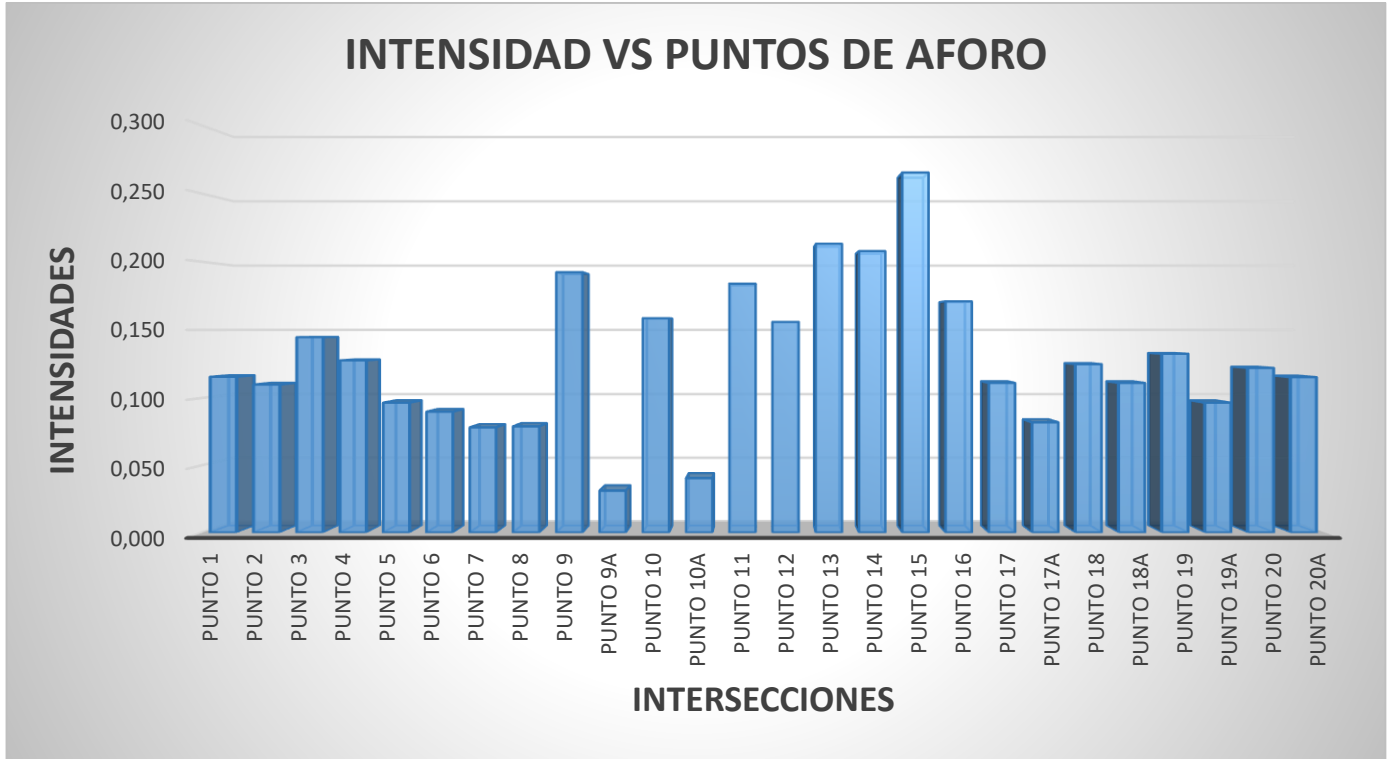
PUNTOS	CALLE	Capacidad Vías Interrumpidas	Caso Tabla	Ancho de Calle (m)	Flujo de Saturación	Volumen Max Diario (veh/h)	Tasa Media (veh/h)	Tiempo Verde (s)	Ciclo
PUNTO 1	Calle Santa Cruz esq. San pedro	Un Acceso	caso 1	8,5	2300	3721	310	37	55
PUNTO 2	Calle Santa Cruz esq. Campero	Un Acceso	caso 1	8,5	2300	3536	295	37	55
PUNTO 3	Calle Comercio esq. San pedro	Un Acceso	caso 1	8,5	2300	4658	388	37	55
PUNTO 4	Calle Comercio esq. Campero	Un Acceso	caso 1	9,5	2450	4376	365	37	55
PUNTO 5	Calle Santa Cruz esq. Sucre	Un Acceso	caso 1	9	2350	3177	265	37	55
PUNTO 6	Calle Santa Cruz esq. Crevaux	Un Acceso	caso 2	12	2000	2516	210	37	55
PUNTO 7	Calle Comercio esq. Sucre	Un Acceso	caso 1	9,5	2450	2682	224	37	55
PUNTO 8	Calle Comercio esq. Crevaux	Un Acceso	caso 1	9,5	2450	2708	226	37	55
PUNTO 9	Calle Santa Cruz esq. Benemérito	Dos Accesos (entrada)	caso 3	6,5	1950	5250	375	40	58
PUNTO 9a	Calle Santa Cruz esq. Independencia	Dos Accesos (salida)	caso 3	6,5	1950	850	61	40	60
PUNTO 10	Calle Santa Cruz esq. Independencia	Dos Accesos (entrada)	caso 3	6,5	1950	4329	309	40	58



PUNTO 10a	Calle Santa Cruz esq. 27 de Mayo	Dos Accesos (salida)	caso 3	6,5	1950	1105	79	40	60
PUNTO 11	Calle Comercio esq. Beneméritos	Un Acceso	caso 1	8,5	2300	5921	423	38	55
PUNTO 12	Calle Comercio esq. Independencia	Un Acceso	caso 1	8,5	2300	5018	358	38	55
PUNTO 13	Calle Avaroa II esq. Chañares	Un Acceso	caso 2	8,5	1000	2984	213	38	55
PUNTO 14	Calle Avaroa II esq. Cebiles	Un Acceso	caso 2	8,5	1000	2909	208	38	55
PUNTO 15	Calle Avaroa I esq. Cebiles	Un Acceso	caso 2	8,5	1000	3489	265	38	55
PUNTO 16	Calle Avaroa I esq. Quebracho	Un Acceso	caso 5	12	1500	3590	256	38	55
PUNTO 17	Av. Libertadores esq. Campero	Dos Accesos (salida)	caso 3	8,5	2300	3576	298	41	60
PUNTO 17a	Av. Libertadores esq. Sucre	Dos Accesos (entrada)	caso 3	8,5	2300	2639	220	41	60
PUNTO 18	Av. Libertadores esq. Sucre	Dos Accesos (salida)	caso 3	8,5	2300	4019	335	41	60
PUNTO 18a	Av. Libertadores esq. Crevaux	Dos Accesos (entrada)	caso 3	8,5	2300	3576	298	41	60
PUNTO 19	Av. Libertadores esq. Crevaux	Dos Accesos (salida)	caso 3	8,75	2400	4451	371	41	60
PUNTO 19a	Av. Libertadores esq. Cochabamba	Dos Accesos (entrada)	caso 3	8,75	2400	3244	270	41	60
PUNTO 20	Av. Libertadores esq. Independencia	Dos Accesos (salida)	caso 3	9,5	2500	4272	356	41	60
PUNTO 20a	Av. Libertadores esq. 27 de Mayo	Dos Accesos (entrada)	caso 3	9,5	2500	4035	336	41	60



4.7.3.1.- INTENSIDADES NUEVAS



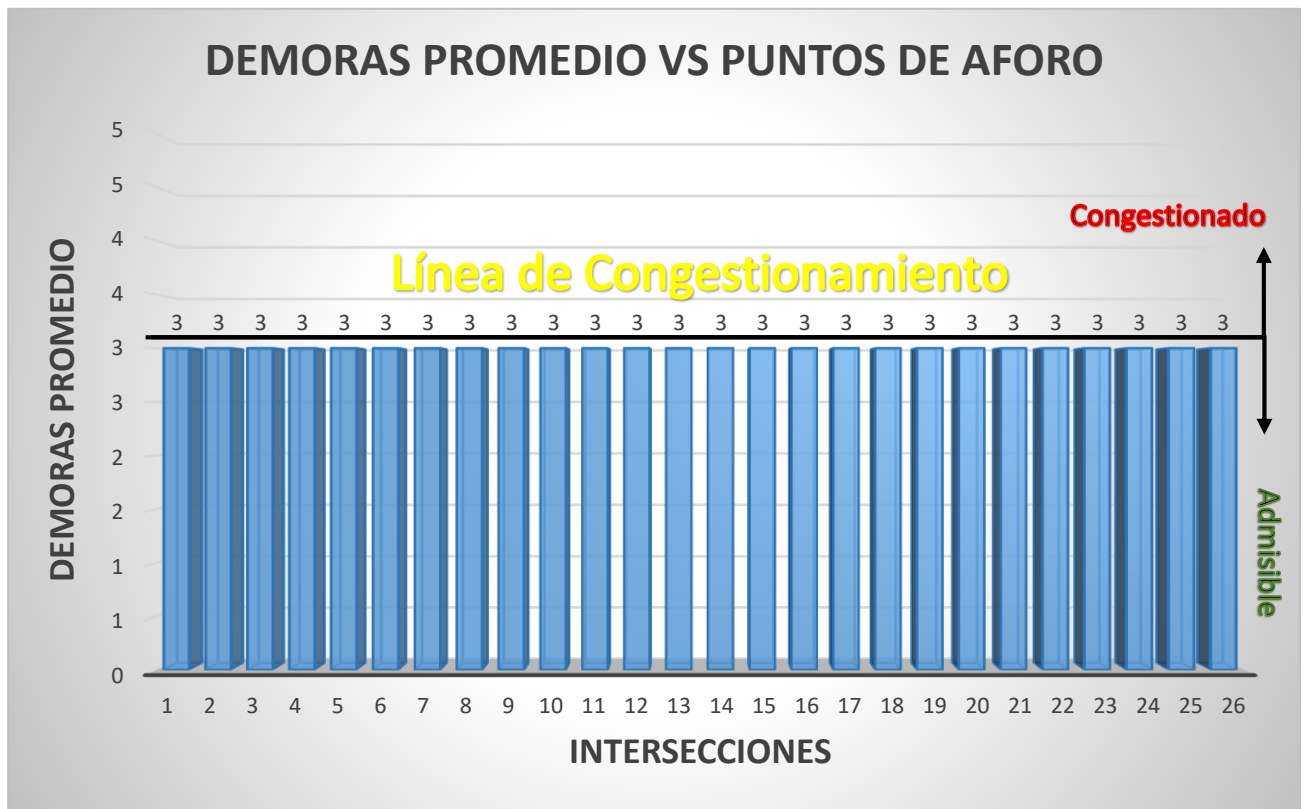
Punto 1	0,135	Punto 8	0,092	Punto 13	0,213	Punto 18a	0,130
Punto 2	0,128	Punto 9	0,192	Punto 14	0,208	Punto 19	0,155
Punto 3	0,169	Punto 9a	0,031	Punto 15	0,265	Punto 19a	0,113
Punto 4	0,149	Punto 10	0,159	Punto 16	0,171	Punto 20	0,142
Punto 5	0,113	Punto 10a	0,040	Punto 17	0,130	Punto 20a	0,135
Punto 6	0,105	Punto 11	0,184	Punto 17a	0,096		
Punto 7	0,091	Punto 12	0,156	Punto 18	0,146		



DATOS ESTADÍSTICOS			
Máxima	0,249	Media Aritmética	0,146
Mínima	0,036	Desviación Estándar	0,056

La intensidad en el nuevo programa de control semafórico, será la misma, como nos lo demuestra la gráfica, debido a que los valores utilizados para su cálculo, no varían, es decir, que su flujo de saturación y su tasa media de llegadas mantienen los mismos parámetros, porque se habla de la misma zona de estudio, con los mismos valores de anchos de vía, y se utiliza el mismo volumen aforado en los puntos de análisis.

**4.7.3.2.- DEMORAS EN PUNTOS CON NUEVOS TIEMPOS**





DATOS ESTADÍSTICOS DE INTENSIDADES			
Máxima	3	Media Aritmética	3
Mínima	3	Desviación Estándar	0,095
N° No Congestionados	26	N° Congestionados	0

La

gráfica nos presenta las nuevas demoras promedio, donde observamos que, al aumentar los ciclos y los tiempos en verde de los semáforos, se ayuda a aliviar la congestión vehicular, dando prioridad con estos cambios a las calles más congestionadas.

Como conclusión se deduce que, con un simple cambio en la disposición de los tiempos semafóricos, se puede descongestionar en lo posible las intersecciones con mayor afluencia vehicular, y así mejorar la calidad de los viajes que realice el conductor reduciendo el tiempo de los mismo y así también ayudar a la comodidad del tráfico peatonal dando tiempos más largos para que los peatones se movilen por las intersecciones aledañas.

Se puede amplificar el resultado, si tanto los conductores como los peatones, hacen uso de manera adecuada las normas indicadas en la educación vial.





**4.7.4.- DATOS Y RESULTADOS DE LOS NUEVOS TIEMPOS PARA EL ANALISIS DEL CONGESTIONAMIENTO (Vía Secundaria)**

DATOS UTILIZADOS PARA EL CALCULO DEL ANALISIS DETERMINISTICO DEL CONGESTIONAMIENTO (Vis Secundaria)									
PUNTOS	CALLE	Capacidad Vías Interrumpidas	Caso Tabla	Ancho de Calle (m)	Flujo de Saturación	Volumen Max Diario (veh/h)	Tasa Media (veh/h)	Tiempo Verde (s)	Ciclo
PUNTO 1	Calle San Pedro esq. Santa Cruz	Un Acceso	caso 2	8	1000	3577	298	18	55
PUNTO 2	Calle Campero esq. Santa Cruz	Un Acceso	caso 2	9	1200	3033	253	18	55
PUNTO 3	Calle San Pedro esq. Comercio	Un Acceso	caso 2	8	1000	4276	356	18	55
PUNTO 4	Calle Campero esq. Comercio	Un Acceso	caso 2	9	1200	2045	170	18	55
PUNTO 5	Calle Sucre esq. Santa Cruz	Un Acceso	caso 2	9	1200	1617	135	18	55
PUNTO 6	Calle Crevaux esq. Santa Cruz	Un Acceso	caso 2	8,5	1100	1975	165	18	55
PUNTO 7	Calle Sucre esq. Comercio	Un Acceso	caso 2	9	1200	1848	154	18	55
PUNTO 8	Calle Crevaux esq. Comercio	Un Acceso	caso 1	4,5	1200	2185	182	18	55
PUNTO 9	Calle Benemérito esq. Santa Cruz	Un Acceso	caso 2	8	1000	1215	101	18	58
PUNTO 10	Calle Independencia esq. Santa Cruz	Un Acceso	caso 2	9	1200	2457	205	18	58
PUNTO 11	Calle Beneméritos esq. Comercio	Un Acceso	caso 1	6	1500	923	77	17	55
PUNTO 12	Calle Independencia esq. Comercio	Un Acceso	caso 2	9	1200	2664	222	17	55
PUNTO 13	Calle Chañares esq. Avaroa II	Un Acceso	caso 2	9	1200	1027	86	17	55
PUNTO 14	Calle Cebiles esq. Avaroa II	Un Acceso	caso 2	9	1200	1915	160	17	55
PUNTO 15	Calle Cebiles esq. Avaroa I	Un Acceso	caso 2	9	1200	1881	157	17	55
PUNTO 16	Calle Quebracho esq. Avaroa I	Un Acceso	caso 2	9	1200	2239	187	17	55
PUNTO 17	Calle Campero esq. Av. Libertadores	Un Acceso	caso 2	9,5	1400	814	68	19	60
PUNTO 18	Calle Sucre esq. Av. Libertadores	Un Acceso	caso 2	8,5	1100	1552	129	19	60
PUNTO 19	Calle Crevaux esq. Av. Libertadores	Un Acceso	caso 2	8	1000	530	44	19	60
PUNTO 20	Calle Independencia esq. Av. Libertadores	Un Acceso	caso 2	8	1000	1080	90	19	60





NUEVA TABLA DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DETERMINISTICO DEL CONGESTIONAMIENTO CON LOS NUEVOS TIEMPOS DE VERDE (Vía Secundaria)																	
Análisis de intersecciones con semáforo con régimen D/D/1																	
INTERSEC	FLUJO DE SATURACION	TASA MEDIA	TIEMPO VERDE	CICLO DE LONGITUD	FLUJO DE SATURACION	TASA MEDIA LLEGADAS	INTENSIDAD	ROJO EFECTIVO	ROJO EFECTIVO	PROPORCION DEL CICLO CON COLA	PROPORCION DE VEH DETENIDOS	LONGITUD MAX DE COLA	LONGITUD PROM COLA	LONG PROM COLA POR CICLO	DEMORA TOTAL CICLO	DEMORA TOTAL CICLO	OBSERVACION
	veh/h	veh/h	s	C	S	$\lambda$	$\rho$	r	$t_o$	$P_q$	$P_s$	$Q_m$	$\bar{Q}_q$	$\bar{Q}$	D	d	
	veh/h	veh/h	s	s	veh/s	veh/s		s	s			veh	veh	veh	s - veh	s/veh	
PUNTO 1	1000	256	21	55	0,278	0,071	0,256	34	5,505	0,391	0,391	1	0,6	0	12	3	Admisible
PUNTO 2	1200	217	21	55	0,333	0,060	0,181	34	3,532	0,355	0,355	1	0,5	0	9	3	Admisible
PUNTO 3	1000	305	21	55	0,278	0,085	0,305	34	7,022	0,419	0,419	1	0,7	0	16	3	Admisible
PUNTO 4	1200	146	21	55	0,333	0,041	0,122	34	2,216	0,331	0,331	1	0,3	0	6	3	Admisible
PUNTO 5	1200	116	21	55	0,333	0,032	0,097	34	1,712	0,322	0,322	1	0,3	0	5	3	Admisible
PUNTO 6	1100	141	21	55	0,306	0,039	0,128	34	2,352	0,334	0,334	1	0,3	0	6	3	Admisible
PUNTO 7	1200	132	21	55	0,333	0,037	0,110	34	1,978	0,327	0,327	1	0,3	0	5	3	Admisible
PUNTO 8	1200	156	21	55	0,333	0,043	0,130	34	2,391	0,334	0,334	1	0,3	0	6	3	Admisible
PUNTO 9	1000	87	21	58	0,278	0,024	0,087	37	1,811	0,359	0,359	0	0,2	0	5	3	Admisible
PUNTO 10	1200	176	21	58	0,333	0,049	0,147	37	3,094	0,364	0,364	1	0,4	0	9	3	Admisible
PUNTO 11	1500	66	20	55	0,417	0,018	0,044	35	0,736	0,304	0,304	0	0,1	0	2	2	Admisible
PUNTO 12	1200	190	20	55	0,333	0,053	0,158	35	3,010	0,346	0,346	1	0,4	0	8	3	Admisible
PUNTO 13	1200	73	20	55	0,333	0,020	0,061	35	1,036	0,310	0,310	0	0,2	0	3	2	Admisible
PUNTO 14	1200	137	20	55	0,333	0,038	0,114	35	2,062	0,328	0,328	1	0,3	0	5	3	Admisible
PUNTO 15	1200	134	20	55	0,333	0,037	0,112	35	2,011	0,327	0,327	1	0,3	0	5	3	Admisible
PUNTO 16	1200	160	20	55	0,333	0,044	0,133	35	2,462	0,336	0,336	1	0,4	0	7	3	Admisible
PUNTO 17	1400	58	22	60	0,389	0,016	0,041	38	0,864	0,348	0,348	0	0,2	0	3	3	Admisible
PUNTO 18	1100	111	22	60	0,306	0,031	0,101	38	2,132	0,352	0,352	1	0,3	0	6	3	Admisible
PUNTO 19	1000	38	22	60	0,278	0,011	0,038	38	0,790	0,347	0,347	0	0,1	0	2	3	Admisible

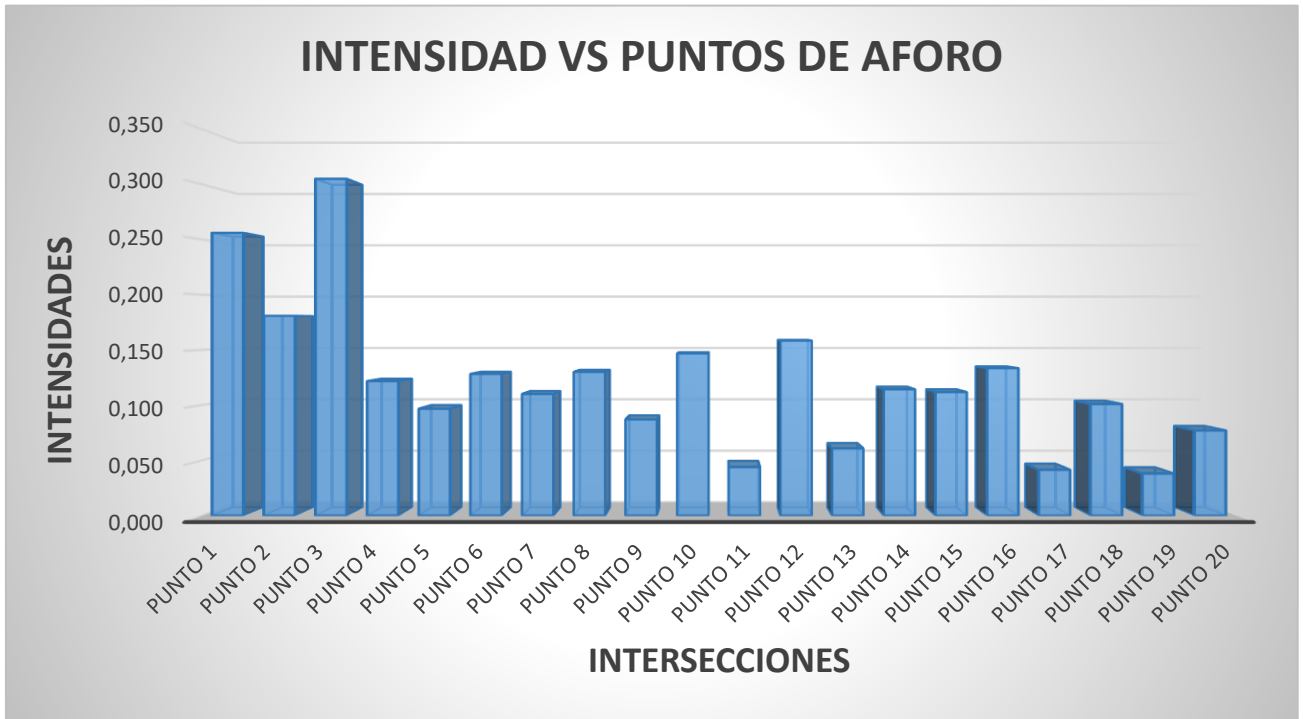


---

PUNTO 20	1000	77	22	60	0,278	0,021	0,077	38	1,585	0,343	0,343	0	0,2	0	4	3	Admisible
----------	------	----	----	----	-------	-------	-------	----	-------	-------	-------	---	-----	---	---	---	-----------



4.7.4.1.- NUEVAS INTENSIDADES (VÍA SECUNDARIA)



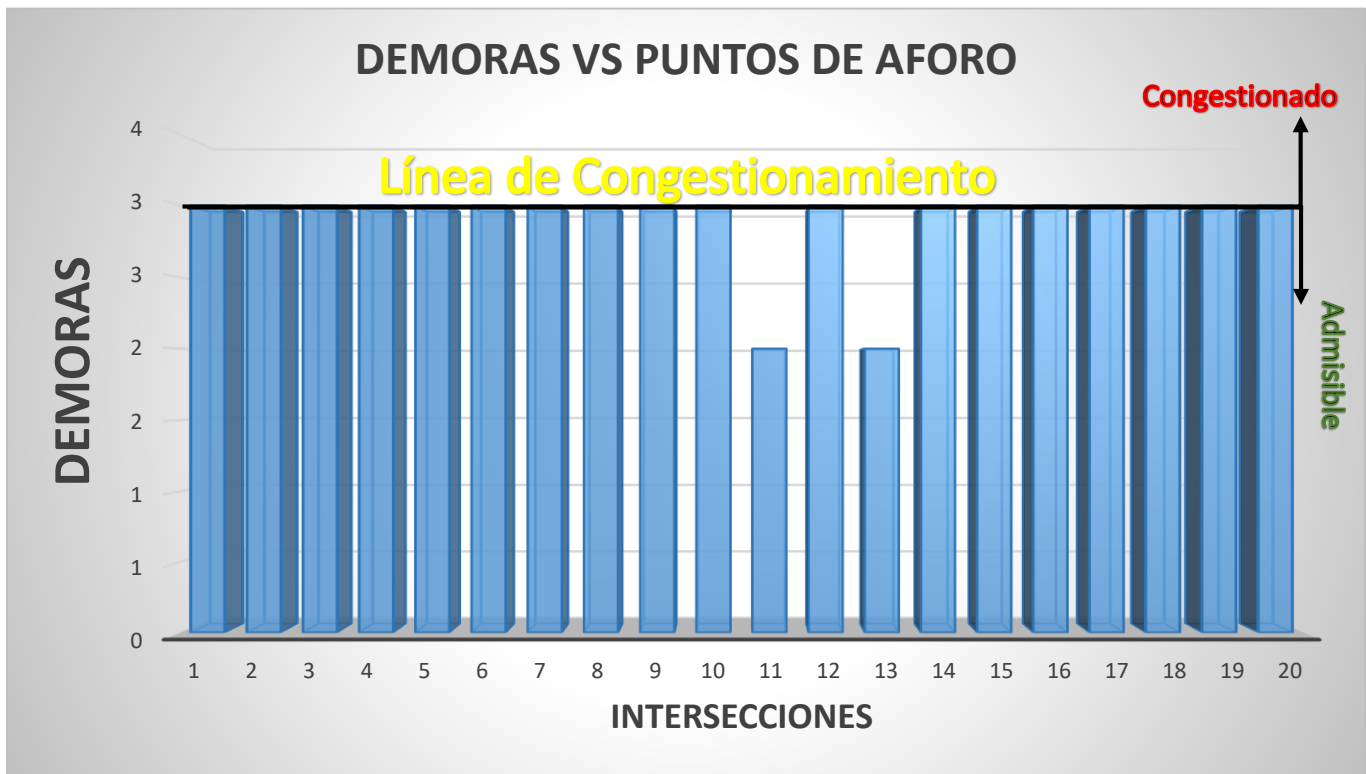
Punto 1	0,256	Punto 6	0,128	Punto 11	0,044	Punto 16	0,133
Punto 2	0,181	Punto 7	0,110	Punto 12	0,158	Punto 17	0,041
Punto 3	0,305	Punto 8	0,130	Punto 13	0,061	Punto 18	0,101
Punto 4	0,122	Punto 9	0,087	Punto 14	0,114	Punto 19	0,038
Punto 5	0,097	Punto 10	0,147	Punto 15	0,112	Punto 20	0,077

DATOS ESTADISTICOS			
Máxima	0,305	Media Aritmética	0,122
Mínima	0,038	Desviación Estándar	0,067



Los datos estadísticos nos brindan la información sobre las vías secundarias, y se puede observar que la media de estas vías es menor a la media encontrada en las vías principales, puesto que es menor el flujo de vehículos q transcurren por estas vías.

**4.7.4.2.- DEMORAS EN PUNTOS CON NUEVOS TIEMPOS (VÍA SECUNDARIA)**



DATOS ESTADÍSTICOS DE INTENSIDADES			
Máxima	3	Media Aritmética	3
Mínima	2	Desviación Estándar	0,369



N° No Congestionados	20	N° Congestionados	0
----------------------	----	-------------------	---

Con nuestros nuevos tiempos en verde, podemos cumplir en ambas vías, aliviando el congestionamiento y dando tiempos más adecuados a las características de los volúmenes de las intersecciones, cumpliendo así con uno de los objetivos planteados para este proyecto.

#### 4.8.- CONTROL SEMAFORICO

##### 4.8.1.- DATOS PARA CONTROL SEMAFÓRICO

CALLE	INTERSECCION	LONGITUD CALLE (m)	ANCHO CALLE (m)	TIEMPO VERDE (s)	VELOCIDAD (km/h)
SAN PEDRO	ENTRE: SANTA CRUZ Y COMERCIO	130	8	21	24
SANTA CRUZ	ENTRE: SAN PEDRO Y CAMPERO	128	8,5	37	23
CAMPERO	ENTRE: SANTA CRUZ Y BALLIVIAN	123	9	21	21
SANTA CRUZ	ENTRE: CAMPERO Y SUCRE	123	8,5	37	26
SAN PEDRO	ENTRE: COMERCIO Y MARTIN BARROSO	126	8	21	19
COMERCIO	ENTRE: SAN PEDRO Y JUAN XXIII	132	8,5	37	22
CAMPERO	ENTRE: COMERCIO Y SANTA CRUZ	113	9	21	23
COMERCIO	ENTRE: CAMPERO Y SAN PEDRO	132	9,5	37	20
SANTA CRUZ	ENTRE: SUCRE Y CREVAUX	130	9	37	16
SUCRE	ENTRE: SANTA CRUZ Y COMERCIO	105	9	21	18
SANTA CRUZ	ENTRE: CREVAUX Y COCHABAMBA	120	12	37	23
CREVAUX	ENTRE: BALLIVIAN Y SANTA CRUZ	118	8,5	21	25



SUCRE	ENTRE: COMERCIO Y MARTIN BARROSO	130	9	21	22
COMERCIO	ENTRE: CAMPERO Y SUCRE	125	9,5	37	18
COMERCIO	ENTRE: SUCRE Y CREVAUX	130	9,5	37	18
CREVAUX	ENTRE: SANTA CRUZ Y COMERCIO	90	4,5	21	20
BENEMERITOS	ENTRE: BALLIVIAN Y SANTA CRUZ	95	8	21	19
SANTA CRUZ	ENTRE: BENEMERITOS E INDEPENDENCIA	97	6,5	40	22
INDEPENDENCIA	ENTRE: SANTA CRUZ Y COMERCIO	81	9	21	20
SANTA CRUZ	ENTRE: INDEPENDENCIA Y 27 DE MAYO	103	6,5	40	18
BENEMERITOS	ENTRE: SANTA CRUZ Y COMERCIO	80	6	20	21
COMERCIO	ENTRE: BENEMERITOS Y COCHABAMBA	95	8,5	38	22
INDEPENDENCIA	ENTRE: COMERCIO Y MARTIN BARROSO	100	9	20	22
COMERCIO	ENTRE: BENEMERITOS E INDEPENDENCIA	98	8,5	38	21
AVAROA II	ENTRE: CHAÑARES Y YATEBUTE	85	8,5	38	21
CHAÑARES	ENTRE: AVAROA II Y LIBERTADORES	102	9	20	23
AVAROA II	ENTRE: CHAÑARES Y CEBILES	85	8,5	38	12
CEBILES	ENTRE: AVAROA II Y AVAROA	103	9	20	15
AVAROA I	ENTRE: CHAÑARES Y CEBILES	85	8,5	38	17
CEBILES	ENTRE: AVAROA I Y BALLIVIAN	105	9	20	21
AVAROA I	ENTRE: QUEBRACHOS Y ALGARROBOS	86	12	38	22
QUEBRACHOS	ENTRE: AVAROA II Y AVAROA I	105	9	20	25
CAMPERO	ENTRE: LIBERTADORES Y BENI	103	9,5	22	28
LIBERTADORES	ENTRE: CAMPERO Y SUCRE	131	8,5	41	32
SUCRE	ENTRE: LIBERTADORES Y AVAROA I	140	8,5	22	23
LIBERTADORES	ENTRE: CREVAUX Y SUCRE	98	8,5	41	34



CREVAUX	ENTRE: LIBERTADORES Y BENI	95	8	22	28
LIBERTADORES	ENTRE: CREVAUX Y GUAYABILLAS	92	8,75	41	29
INDEPENDENCIA	ENTRE: LIBERTADORES Y AVAROA I	100	8	22	29
LIBERTADORES	ENTRE: INDEPENDENCIA Y BENEMERITOS	90	9.5	41	32

— Vía Principal.

— Vía Secundaria.

#### 4.8.2.- RESULTADO DE CONTROL SEMAFÓRICO (VÍA PRINCIPAL)

CALLE	INTERSECCION	LONGITUD CALLE (m) $d_o$	VELOCIDAD PROMEDIO CALCULADA (km/h)	VELOCIDAD PROMEDIO CALCULADA (m/S)	TIEMPO VERDE CALCULADO (s)	DISTANCIA POSIBLE DE RECORRIDO (m) $d_a$
SANTA CRUZ	ENTRE: SAN PEDRO Y CAMPERO	128	23	6	37	236
SANTA CRUZ	ENTRE: CAMPERO Y SUCRE	123	26	7	37	216
COMERCIO	ENTRE: SAN PEDRO Y JUAN XXIII	132	22	6	37	226
COMERCIO	ENTRE: CAMPERO Y SAN PEDRO	132	20	6	37	206
SANTA CRUZ	ENTRE: SUCRE Y CREVAUX	130	16	4	37	164
SANTA CRUZ	ENTRE: CREVAUX Y COCHABAMBA	120	23	6	37	236
COMERCIO	ENTRE: CAMPERO Y SUCRE	125	18	5	37	185
COMERCIO	ENTRE: SUCRE Y CREVAUX	130	18	5	37	185
SANTA CRUZ	ENTRE: BENEMERITOS E INDEPENDENCIA	97	22	6	40	244
SANTA CRUZ	ENTRE: INDEPENDENCIA Y 27 DE MAYO	103	18	5	40	200
COMERCIO	ENTRE: BENEMERITOS Y COCHABAMBA	95	22	6	38	232
COMERCIO	ENTRE: BENEMERITOS E INDEPENDENCIA	98	21	6	38	222
AVAROA II	ENTRE: CHAÑARES Y YATEBUTE	85	21	6	38	222
AVAROA II	ENTRE: CHAÑARES Y CEBILES	85	12	3	38	127
AVAROA I	ENTRE: CHAÑARES Y CEBILES	85	17	5	38	179



AVAROA I	ENTRE: QUEBRACHOS Y ALGARROBOS	86	22	6	38	232
LIBERTADORES	ENTRE: CAMPERO Y SUCRE	131	32	9	41	364
LIBERTADORES	ENTRE: CREVAUX Y SUCRE	98	34	9	41	387
LIBERTADORES	ENTRE: CREVAUX Y GUAYABILLAS	92	29	8	41	330
LIBERTADORES	ENTRE: INDEPENDENCIA Y BENEMERITOS	90	32	9	41	364

La distancia  $d_a$  nos indica cuantos metros puede recorrer un vehículo en el tiempo verde asignado por el semáforo, siempre que este mantenga la velocidad promedio de la vía en estudio, si esta distancia es mayor que la distancia  $d_o$  (distancia de la calle de estudio) nos indica que un vehículo puede pasar tranquilamente el semáforo, llegando hasta la otra intersección, lo que permite hacer una clasificación del orden de cambio de semáforo de las intersecciones.

#### 4.8.3.- TABLA CONTROL SEMAFÓRICO

ZONA 1 – CALLE 1			
	Independencia	Benemérito	Cochabamba
Calle Santa Cruz	VERDE	VERDE	ROJO
	Crevaux	Sucre	Campero
Calle Santa Cruz	VERDE	VERDE	ROJO
	San Pedro	Juan XXIII	
Calle Santa Cruz	VERDE	VERDE	

ZONA 1 – CALLE 2			
	San Pedro	Campero	Sucre
Calle Comercio	VERDE	VERDE	ROJO
	Crevaux	Cochabamba	Benemérito
Calle Comercio	VERDE	VERDE	ROJO
	Independencia	27 de Mayo	





<b>Calle Comercio</b>	VERDE	VERDE
-----------------------	-------	-------

ZONA 2 – AVENIDA			
	Independencia	Cochabamba	Crevaux
<b>Av. Libertadores</b>	VERDE	VERDE	ROJO
	Sucre	Campero	San Pedro
<b>Av. Libertadores</b>	VERDE	VERDE	ROJO

ZONA 3 – MERCADO CAMPESINO			
	Chañares	Cebiles	Quebrachos
<b>Avaroa II</b>	VERDE	VERDE	ROJO
	Quebrachos	Cebiles	Chañares
<b>Avaroa I</b>	VERDE	VERDE	ROJO

Lo que indica que los cálculos realizados que se observan en las tablas de las diferentes zonas y calles, permitirían transitar tranquilamente con una progresión sucesiva de verdes mayores a uno por las distancias que se tiene entre intersecciones y semáforos.

#### 4.9.- SEÑALIZACIÓN VERTICAL Y HORIZONTAL

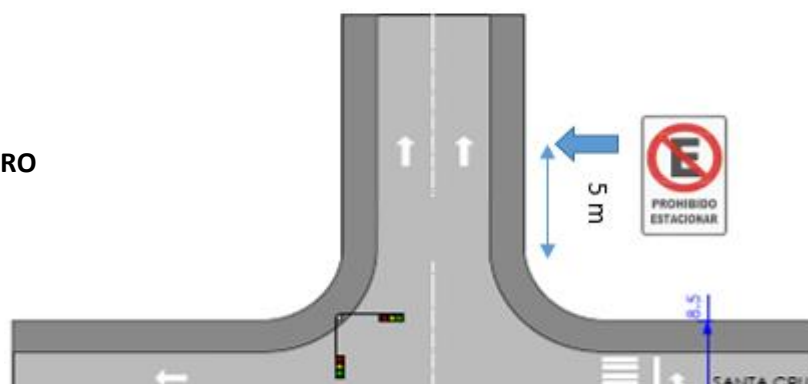
En todas las intersecciones analizadas en este proyecto, existe la necesidad de utilizar señales verticales, sean estas preventivas, reglamentarias e informativas, como así utilizar señalización horizontal, citando líneas de cruce peatonal, líneas de parada y flechas direccionales de recta y viraje.

Haciendo el análisis correspondiente se determinó el tipo de señalización que deben de tener las intersecciones con mayor flujo vehicular y peatonal principalmente.

#### PUNTO 1

#### INTERSECCIÓN

#### SANTA CRUZ – SAN PEDRO





## SEÑALIZACIÓN VERTICAL

### SEÑALES REGLAMENTARIAS



Esta señal se usa para indicar la prohibición de estacionar a partir del lugar donde ella se encuentra, esta prohibición puede ser limitada a determinados horarios, tipos de vehículo y tramos de vía, debiendo agregarse la leyenda respectiva

Se colocará la señal “PROHIBIDO ESTACIONAR” en la vía indicada debido a que se encuentran las oficinas de la H.A.M.Y.

**UBICACIÓN:** La señal estará ubicada sobre la vereda, a mano derecha, 5 metros antes de la puerta principal de la alcaldía.

## SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL

### LÍNEAS DE CRUCE PEATONAL (TIPO CEBRA)

Esta demarcación se utiliza para delimitar una zona de la calzada donde el peatón tiene derecho de paso en forma irrestricta.

### LÍNEA DE PARADA

Corresponde a las líneas de demarcación, que delimitan el sector de la calzada empleada para la detención total de los vehículos.

### FLECHAS DIRECCIONES DE RECTA Y VIRAJE

Esta señal indica que la pista donde se ubica, está destinada tanto al tránsito que continua en línea recta como al que vira en la dirección y sentido indicado por la flecha de viraje.

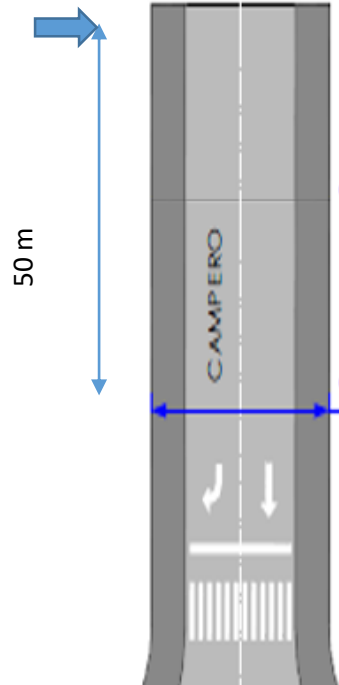
## PUNTO 2





## INTERSECCIÓN

### SANTA CRUZ – CAMPERO



## SEÑALIZACIÓN VERTICAL

### SEÑALES PREVENTIVAS



Esta señal advierte la posible presencia de escolares en la vía, debiendo ubicarse en las proximidades de recintos escolares, solo debe ser instalada en vías donde la velocidad máxima es menor o igual a 50 km/h.

Debido a la existencia de la Unidad Educativa Estenssoro, es necesario el colocado de la señal "ZONA ESCOLAR".

**UBICACIÓN:** La señal estará ubicada sobre la vereda, a mano derecha, 50 metros antes de la puerta principal de la Unidad Educativa.

## SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL

### LÍNEAS DE CRUCE PEATONAL (TIPO CEBRA)

Esta demarcación se utiliza para delimitar una zona de la calzada donde el peatón tiene derecho de paso en forma irrestricta.

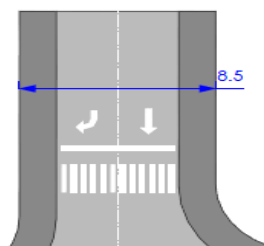
### LÍNEA DE PARADA

Corresponde a las líneas de demarcación, que delimitan el sector de la calzada empleada para la detención total de los vehículos.

### FLECHAS DIRECCIONES DE RECTA Y VIRAJE

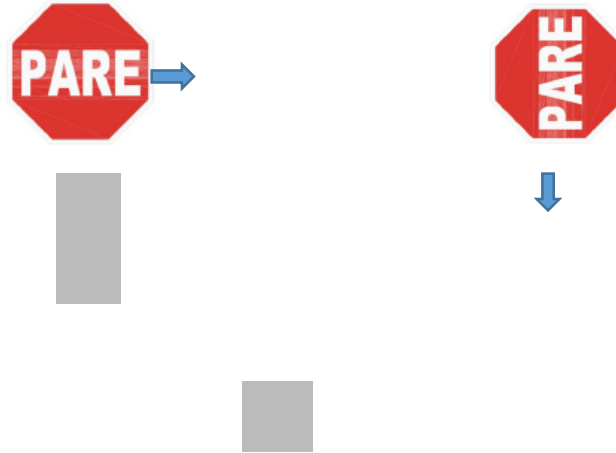
Esta señal indica que la pista donde se ubica, está destinada tanto al tránsito que continua en línea recta como al que vira en la dirección y sentido indicado por la flecha de viraje.

## PUNTO 6



## INTERSECCIÓN

### SANTA CRUZ – CREVAUX



## SEÑALIZACIÓN VERTICAL

### SEÑALES REGLAMENTARIAS



Su propósito es ordenar a los conductores que detentan completamente su vehículo y que reanuden la marcha solo cuando puedan hacerlo en condiciones que eliminen totalmente la posibilidad de accidente.

Al encontrarse en inmediaciones de la plaza, este punto se ve en la obligación de contar con la señal de “PARE” en ambas calles de la intersección.

**UBICACIÓN:** La señal estará ubicada sobre la vereda, a mano derecha, justo después de finalizar la línea de cebra.

## SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL

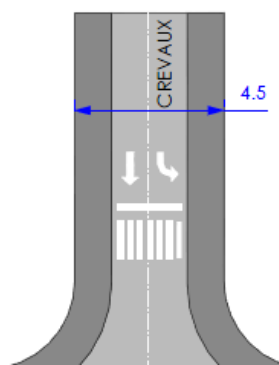
### LÍNEAS DE CRUCE PEATONAL (TIPO CEBRA)

Esta demarcación se utiliza para delimitar una zona de la calzada donde el peatón tiene derecho de paso en forma irrestricta

### FLECHAS DIRECCIONES DE RECTA Y VIRAJE

Esta señal indica que la pista donde se ubica, está destinada tanto al tránsito que continua en línea recta como al que vira en la dirección y sentido indicado por la flecha de viraje.

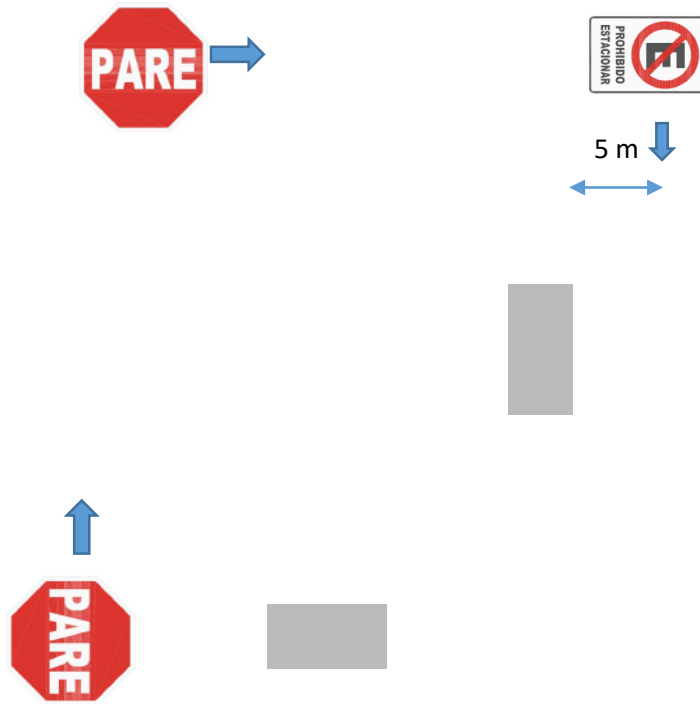
## PUNTO 8





## INTERSECCIÓN

### COMERCIO – CREVAUX



### SEÑALIZACIÓN VERTICAL

#### SEÑALES REGLAMENTARIAS

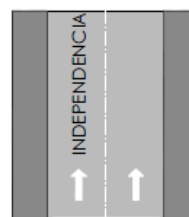


Su propósito es ordenar a los conductores que detentan completamente su vehículo y que reanuden la marcha solo cuando puedan hacerlo en condiciones que eliminen totalmente la posibilidad de accidente.

Al encontrarse en inmediaciones de la Plaza Principal, este punto se ve en la obligación de contar con la señal de "PARE" en ambas calles de la intersección debido a la afluencia considerable de gente.

**UBICACIÓN:** La señal estará ubicada sobre la vereda, a mano derecha, justo después de finalizar la línea de cebra.

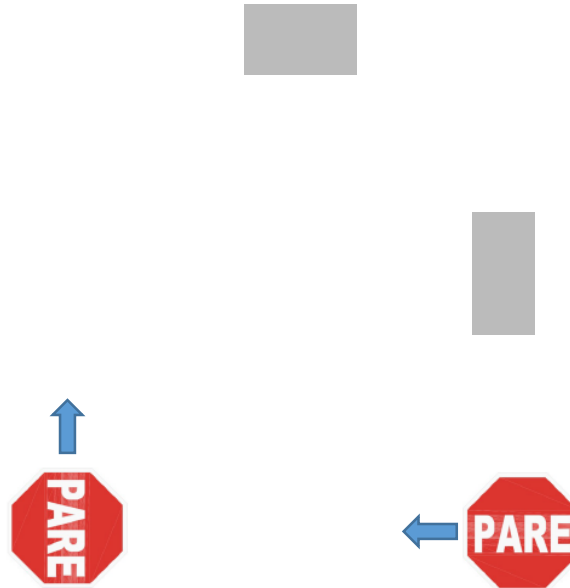
### PUNTO 12





## INTERSECCIÓN

### COMERCIO – CREVAUX



## SEÑALIZACIÓN VERTICAL

### SEÑALES REGLAMENTARIAS



Su propósito es ordenar a los conductores que detentan completamente su vehículo y que reanuden la marcha solo cuando puedan hacerlo en condiciones que eliminen totalmente la posibilidad de accidente.

Al encontrarse en inmediaciones de El Mercado Lourdes, este punto se ve en la obligación de contar con la señal de “PARE” en ambas calles de la intersección debido a la afluencia considerable de gente.

**UBICACIÓN:** La señal estará ubicada sobre la vereda, a mano derecha, justo después de finalizar la línea de cebra.

## SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL

### LÍNEAS DE CRUCE PEATONAL (TIPO CEBRA)

Esta demarcación se utiliza para delimitar una zona de la calzada donde el peatón tiene derecho de paso en forma irrestricta.



**LÍNEA DE PARADA**

Corresponde a las líneas de demarcación, que delimitan el sector de la calzada empleada para la detención total de los vehículos.

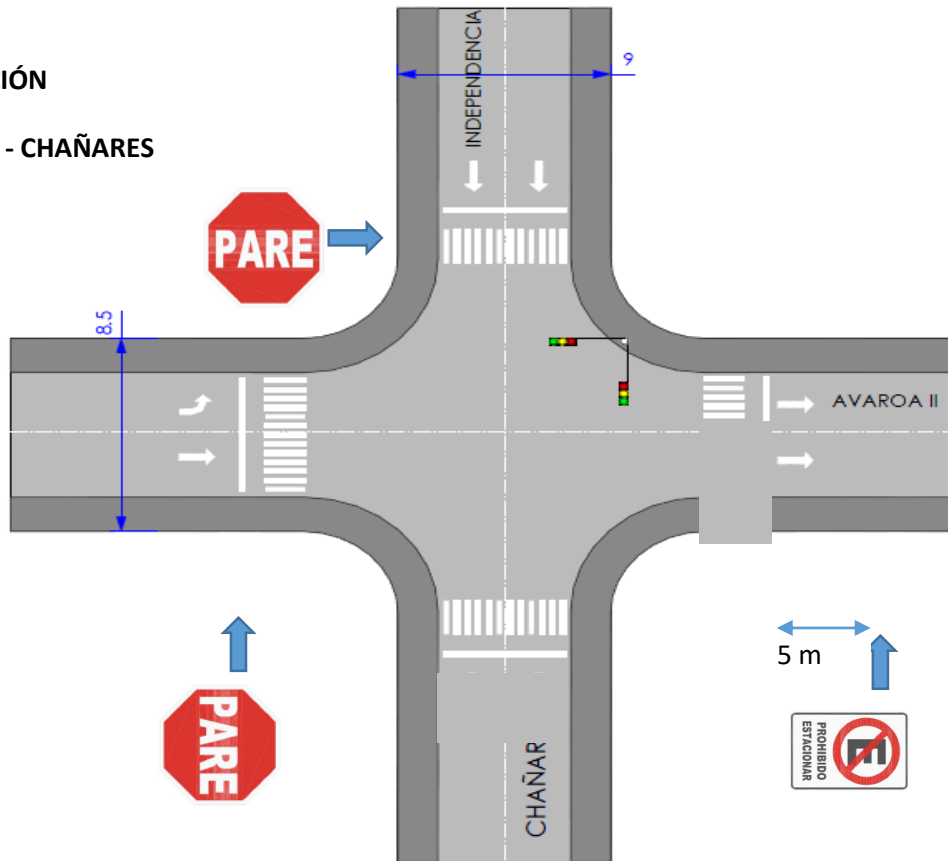
**FLECHAS DIRECCIONES DE RECTA Y VIRAJE**

Esta señal indica que la pista donde se ubica, está destinada tanto al tránsito que continua en línea recta como al que vira en la dirección y sentido indicado por la flecha de viraje.

**PUNTO 13**

**INTERSECCIÓN**

**AVAROA II - CHAÑARES**



**SEÑALIZACIÓN VERTICAL**

**SEÑALES REGLAMENTARIAS**



Su propósito es ordenar a los conductores que detentan completamente su vehículo y que reanuden la marcha solo cuando puedan hacerlo en condiciones que eliminen totalmente la posibilidad de accidente.

Al encontrarse en inmediaciones de El Mercado Campesino, este punto se ve en la obligación de contar con la señal de “PARE” en ambas calles de la intersección debido a la afluencia considerable de gente.

**UBICACIÓN:** La señal estará ubicada sobre la vereda, a mano derecha, justo después de finalizar la línea de cebra.

**SEÑALES REGLAMENTARIAS**

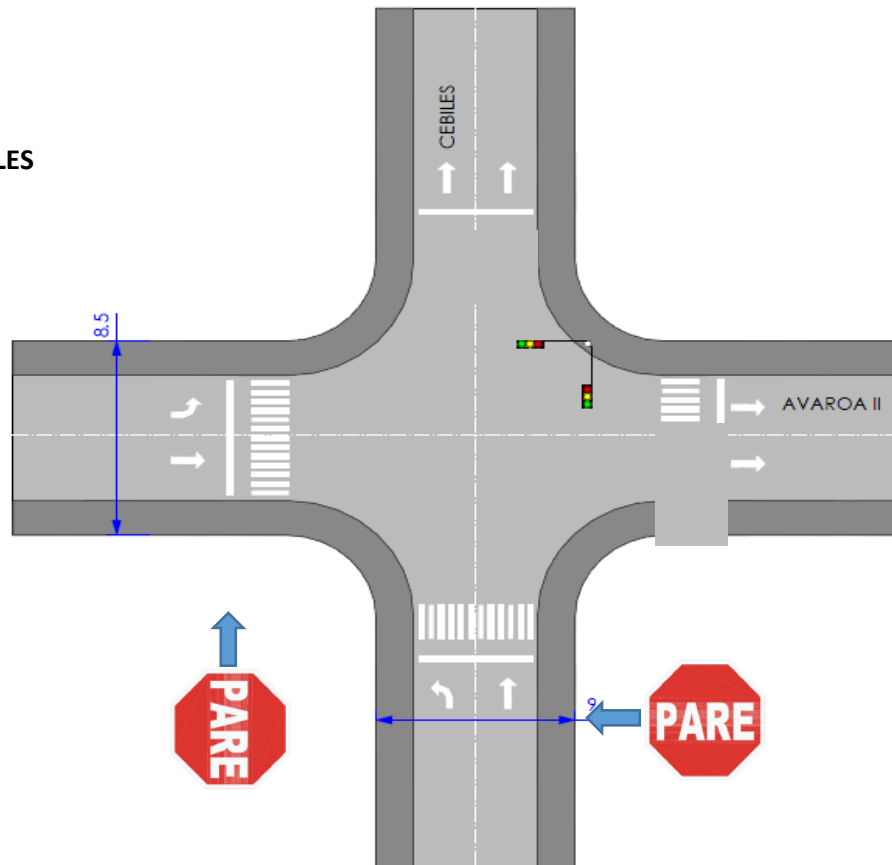


Esta señal se usa para indicar la prohibición de estacionar a partir del lugar donde ella se encuentra, esta prohibición puede ser limitada a determinados horarios, tipos de vehículo y tramos de vía, debiendo agregarse la leyenda respectiva

Se colocará la señal “PROHIBIDO ESTACIONAR” en la vía indicada debido a que se encuentran en inmediaciones del Mercado Campesino.

**UBICACIÓN:** La señal estará ubicada sobre la vereda, a mano derecha, 5 metros pasada la esquina.

**PUNTO 14  
INTERSECCIÓN  
AVAROA II – CEBILES**





## SEÑALIZACIÓN VERTICAL

### SEÑALES REGLAMENTARIAS



Su propósito es ordenar a los conductores que detentan completamente su vehículo y que reanuden la marcha solo cuando puedan hacerlo en condiciones que eliminen totalmente la posibilidad de accidente.

Al encontrarse en inmediaciones de El Mercado Campesino, este punto se ve en la obligación de contar con la señal de “PARE” en ambas calles de la intersección debido a la afluencia considerable de gente.

**UBICACIÓN:** La señal estará ubicada sobre la vereda, a mano derecha, justo después de finalizar la línea de cebra.

## SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL

### LÍNEAS DE CRUCE PEATONAL (TIPO CEBRA)

Esta demarcación se utiliza para delimitar una zona de la calzada donde el peatón tiene derecho de paso en forma irrestricta.

### LÍNEA DE PARADA

Corresponde a las líneas de demarcación, que delimitan el sector de la calzada empleada para la detención total de los vehículos.

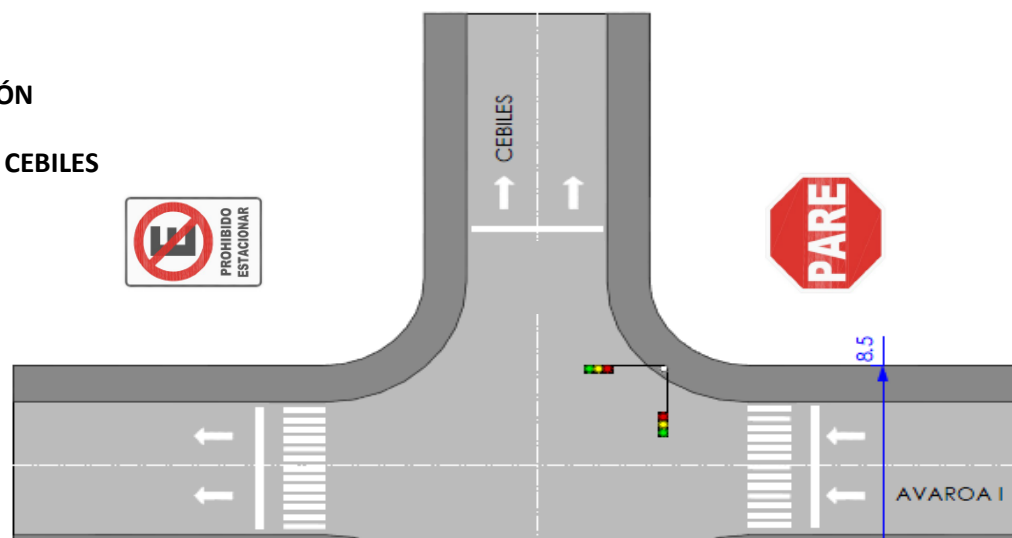
### FLECHAS DIRECCIONES DE RECTA Y VIRAJE

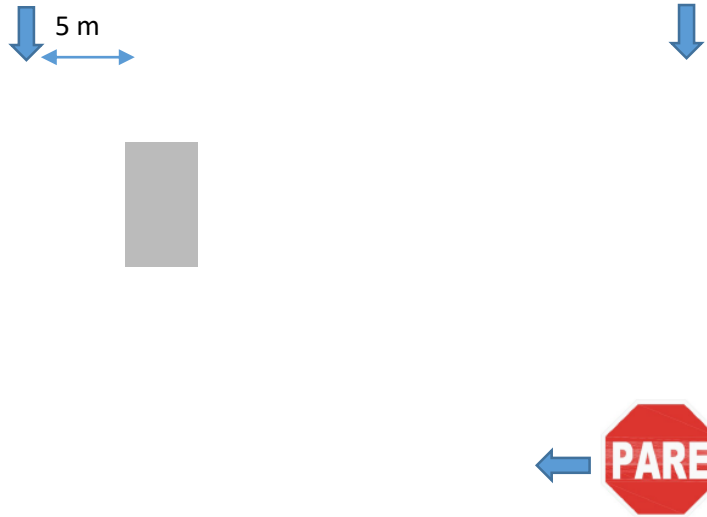
Esta señal indica que la pista donde se ubica, está destinada tanto al tránsito que continua en línea recta como al que vira en la dirección y sentido indicado por la flecha de viraje.

## PUNTO 15

### INTERSECCIÓN

### AVAROA I – CEBILES





#### SEÑALIZACIÓN VERTICAL

#### SEÑALES REGLAMENTARIAS



Su propósito es ordenar a los conductores que detentan completamente su vehículo y que reanuden la marcha solo cuando puedan hacerlo en condiciones que eliminen totalmente la posibilidad de accidente.

Al encontrarse en inmediaciones de El Mercado Campesino, este punto se ve en la obligación de contar con la señal de "PARE" en ambas calles de la intersección debido a la afluencia considerable de gente.

**UBICACIÓN:** La señal estará ubicada sobre la vereda, a mano derecha, justo después de finalizar la línea de cebra.

#### SEÑALES REGLAMENTARIAS



Esta señal se usa para indicar la prohibición de estacionar a partir del lugar donde ella se encuentra, esta prohibición puede ser limitada a determinados horarios, tipos de vehículo y tramos de vía, debiendo agregarse la leyenda respectiva

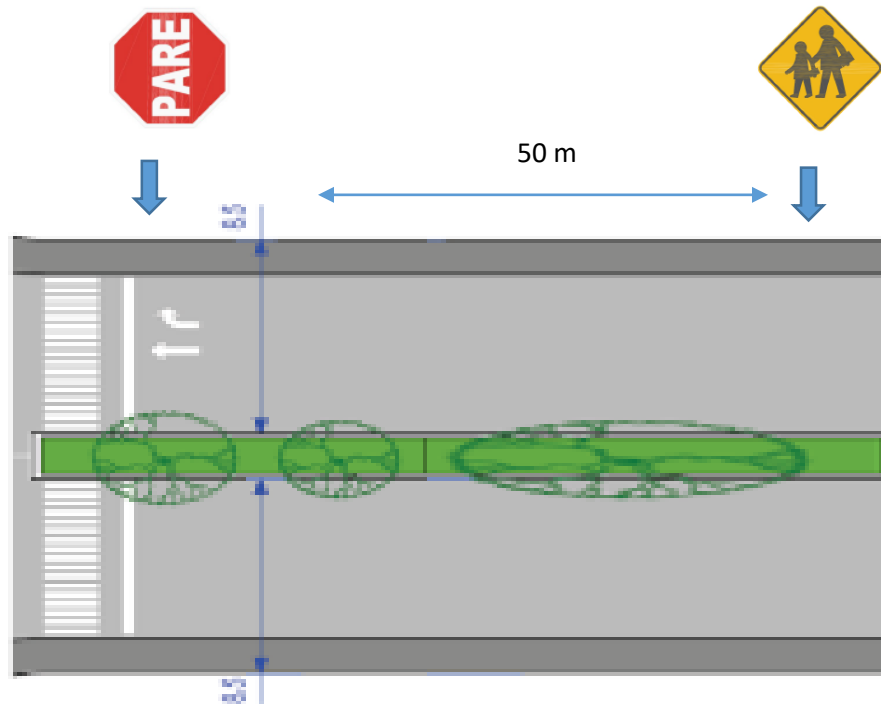
Se colocará la señal "PROHIBIDO ESTACIONAR" en la vía indicada debido a que se encuentran en inmediaciones del Mercado Campesino.

**UBICACIÓN:** La señal estará ubicada sobre la vereda, a mano derecha, 5 metros pasada la esquina.

#### PUNTO 18

#### INTERSECCIÓN

AV. LIBERTADORES – SUCRE



SEÑALIZACIÓN VERTICAL

SEÑALES REGLAMENTARIAS



Su propósito es ordenar a los conductores que detentan completamente su vehículo y que reanuden la marcha solo cuando puedan hacerlo en condiciones que eliminen totalmente la posibilidad de accidente.

Al encontrarse en inmediaciones de El Mercado Campesino, este punto se ve en la obligación de contar con la señal de “PARE” en ambas calles de la intersección debido a la afluencia considerable de gente.

**UBICACIÓN:** La señal estará ubicada sobre la vereda, a mano derecha, justo después de finalizar la línea de cebra.

SEÑALES PREVENTIVAS



Esta señal advierte la posible presencia de escolares en la vía, debiendo ubicarse en las proximidades de recintos escolares, solo debe ser instalada en vías donde la velocidad máxima es menor o igual a 50 km/h.

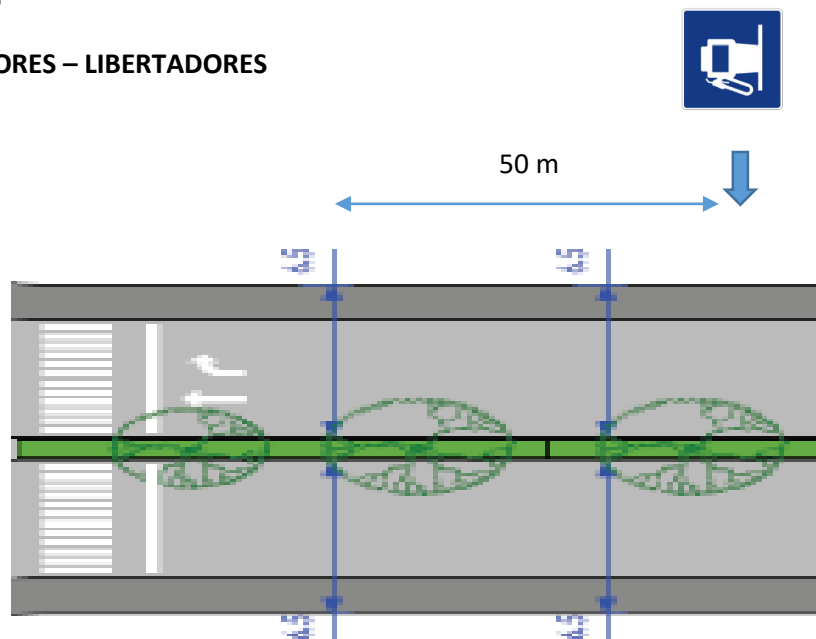
Debido a la existencia de la Unidad Educativa Estenssoro, es necesario el colocado de la señal "ZONA ESCOLAR".

**UBICACIÓN:** Esta señal se ubicará siempre al lado derecho de la pista de circulación entre 50 antes de la Unidad Educativa.

## PUNTO 20

### INTERSECCIÓN

#### AV. LIBERTADORES – LIBERTADORES



## SEÑALIZACIÓN VERTICAL

### SEÑALES INFORMATIVAS

Señales de servicios al usuario



Existe una familia de señales cuya función es informar a los usuarios respecto de los servicios, como ser Estaciones de Servicio.

Debido a que en la esquina de la intersección se encuentra la "Estación de Servicio Vangas", nos encontramos con la necesidad de colocar esta Señal de servicio al usuario.

**UBICACIÓN:** Esta señal se ubicará siempre al lado derecho de la pista de circulación entre 50 m y 300 m antes del establecimiento.



## **SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL**

### **LÍNEAS DE CRUCE PEATONAL (TIPO CEBRA)**

Esta demarcación se utiliza para delimitar una zona de la calzada donde el peatón tiene derecho de paso en forma irrestricta.

### **LÍNEA DE PARADA**

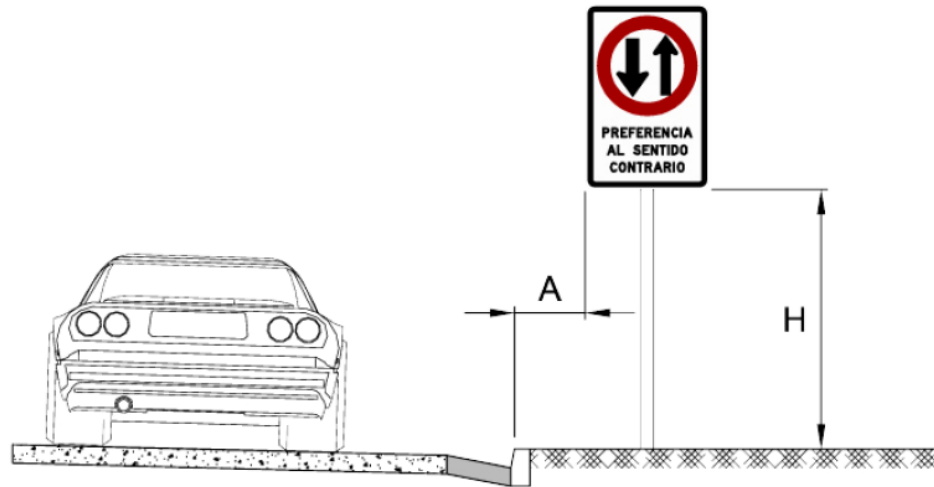
Corresponde a las líneas de demarcación, que delimitan el sector de la calzada empleada para la detención total de los vehículos.

### **FLECHAS DIRECCIONES DE RECTA Y VIRAJE**

Esta señal indica que la pista donde se ubica, está destinada tanto al tránsito que continua en línea recta como al que vira en la dirección y sentido indicado por la flecha de viraje.

## **4.9.1.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS SEÑALES VERTICALES**

Según el manual de dispositivos de control de tránsito, que utiliza la Administradora Bolivia de Caminos, las señales de control de tránsito deben cumplir con las siguientes especificaciones técnicas.



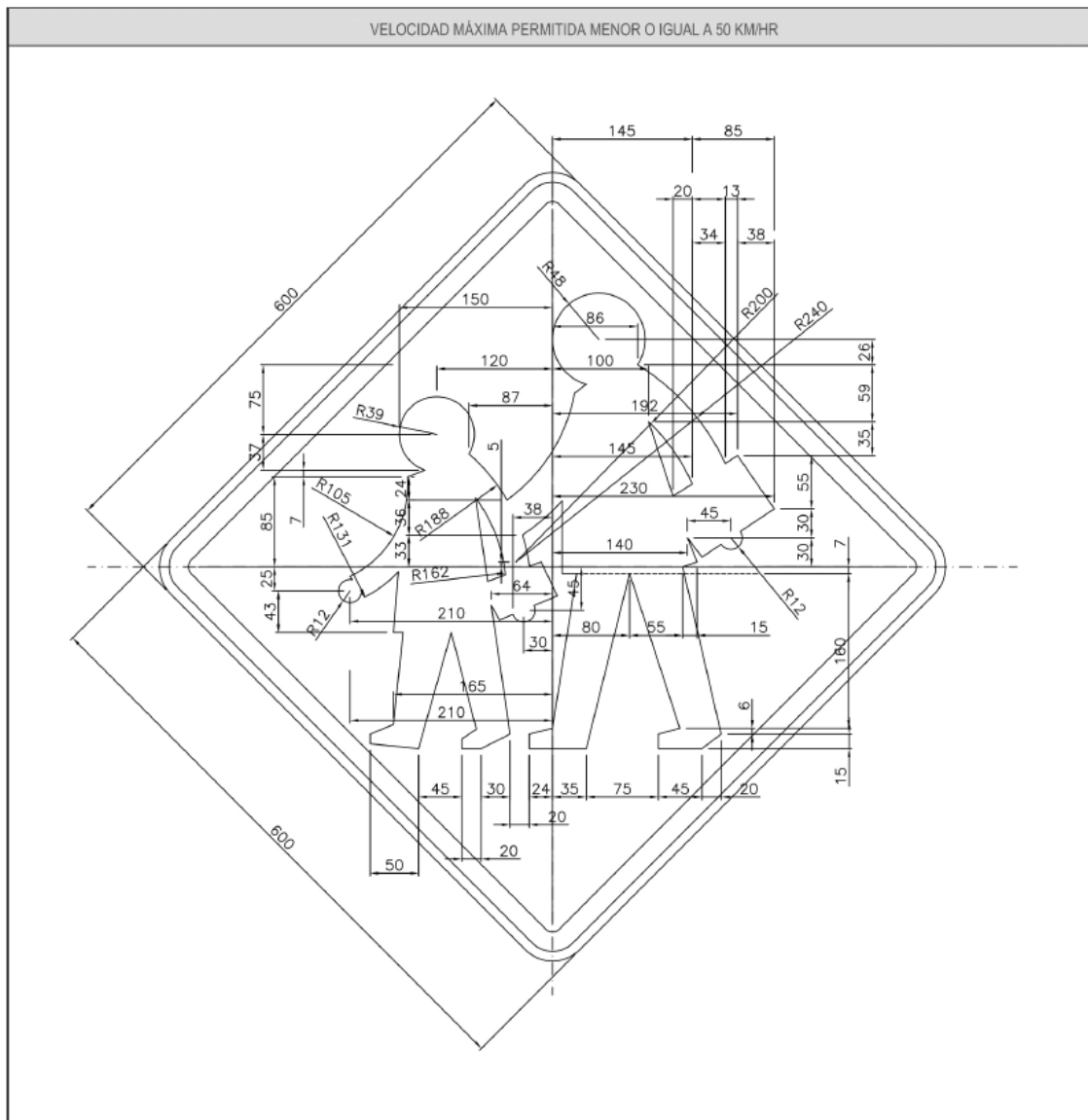
### En Zona Urbana

Donde deberá cumplir con una ubicación trasversal de señales verticales para zonas urbanas.

TIPO DE VÍA	A (m)	H (m)	
	Mínimo	Mínimo	Máximo
Camino	1,5	1,5	2,2

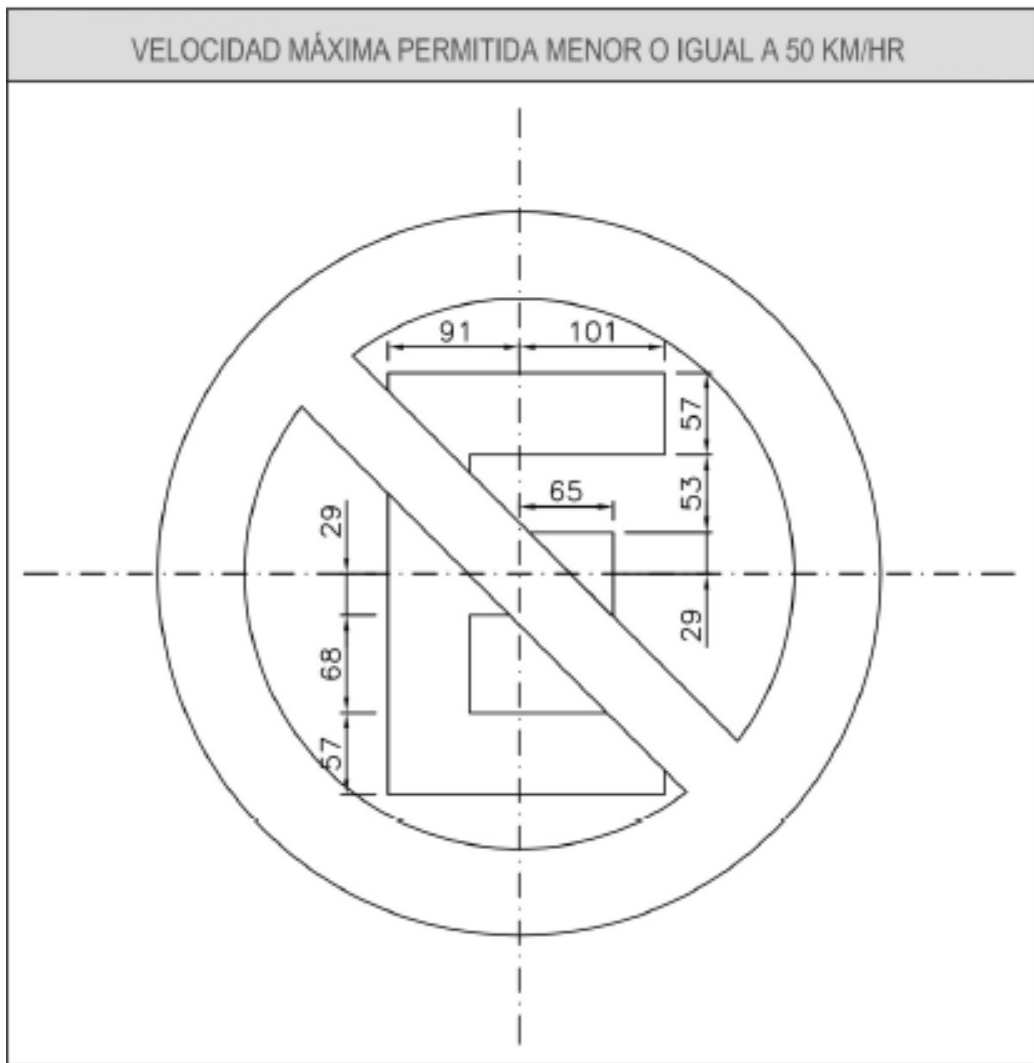


ZONA ESCOLAR





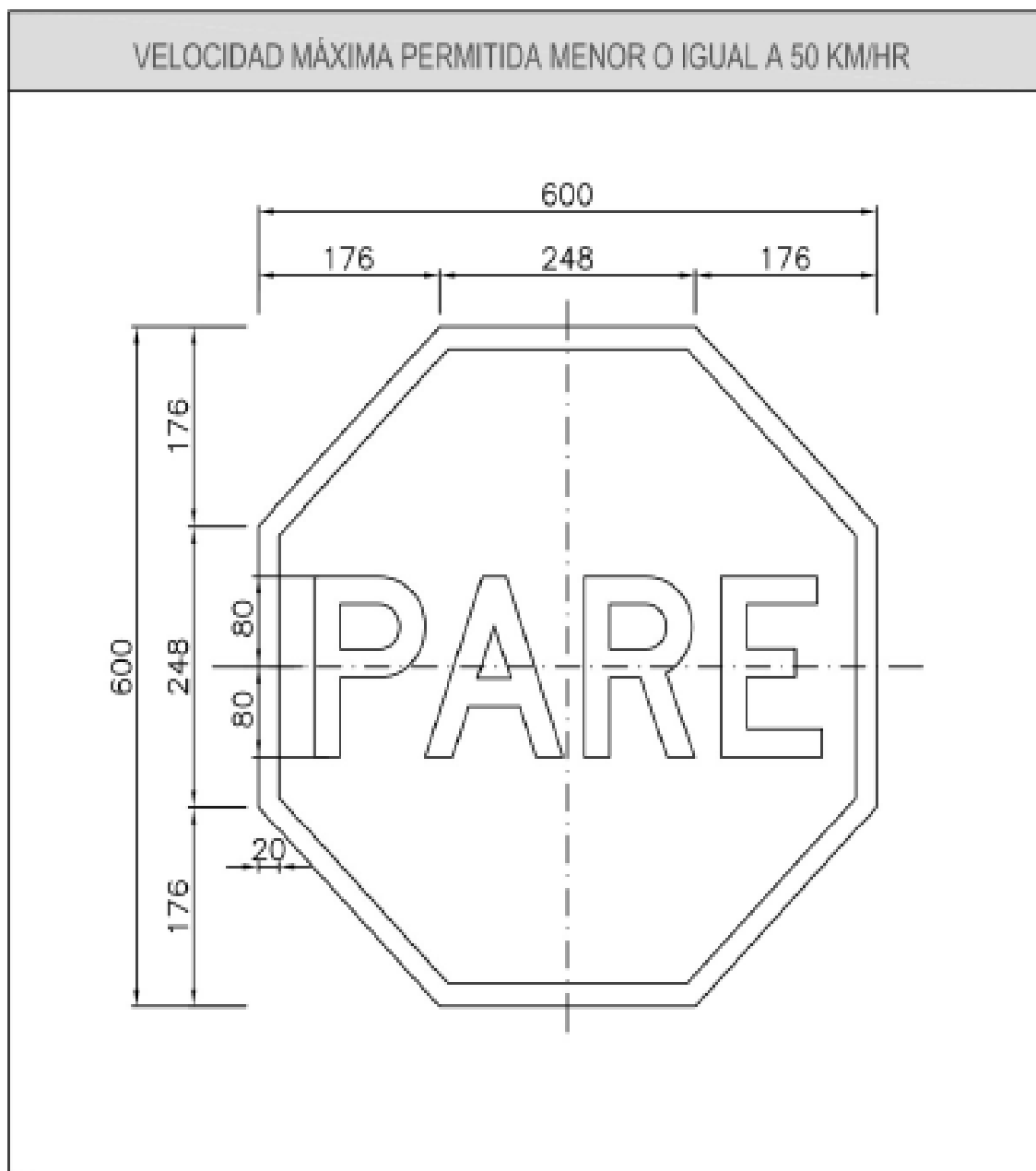
**PROHIBIDO ESTACIONAR**



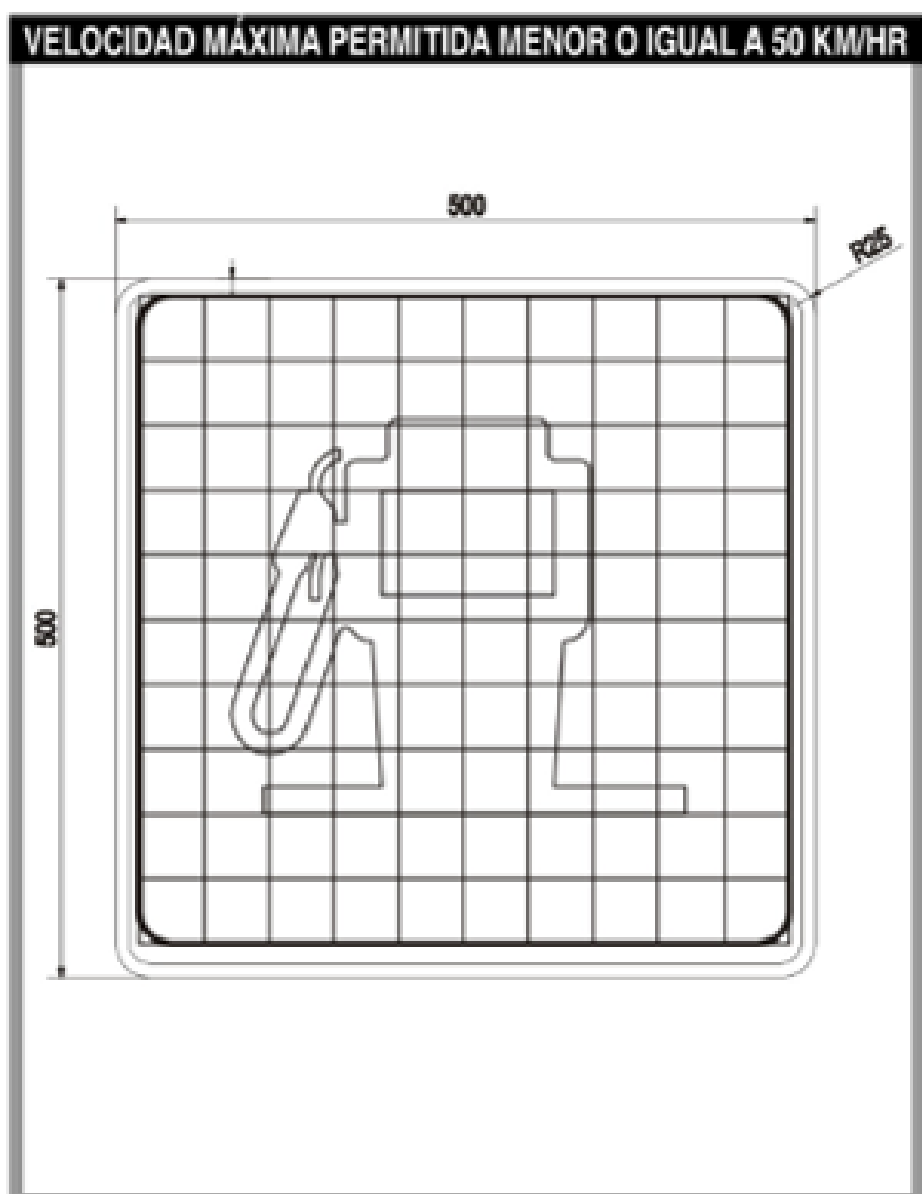




**PARE**



ESTACIÓN DE SERVICIO

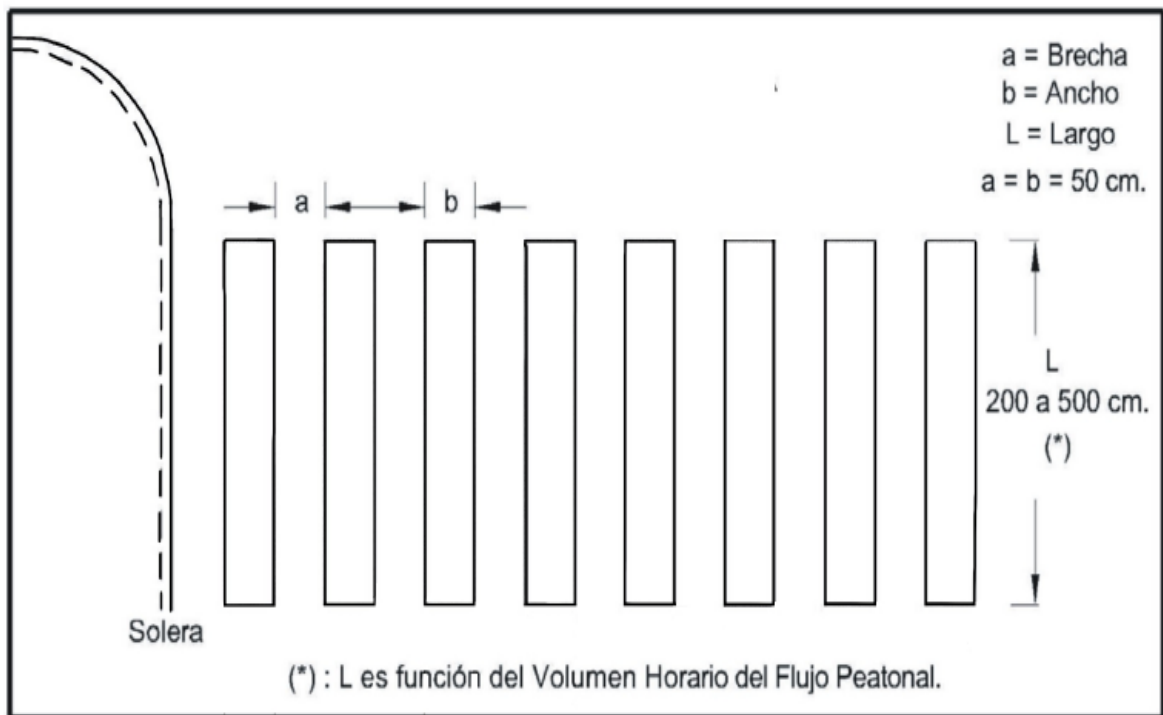




#### 4.9.2.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS SEÑALES HORIZONTALES

Para las señales horizontales el manual de dispositivos de control de tránsito de la Administradora Bolivia de Caminos, indica que estas señales de control de tránsito deben cumplir con las siguientes especificaciones técnicas.

#### LÍNEAS DE CRUCE EN PASO PEATONAL TIPO CEBRA

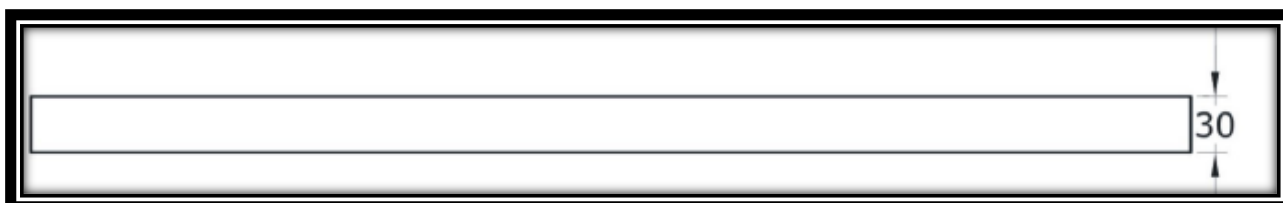


Flujo Peatonal (peatones/h)	Ancho Mínimo (m)
Menor o igual a 500	2,0
501 a 750	2,5



751 a 1000	3,0
1001 a 1250	3,5
1251 a 1500	4,0

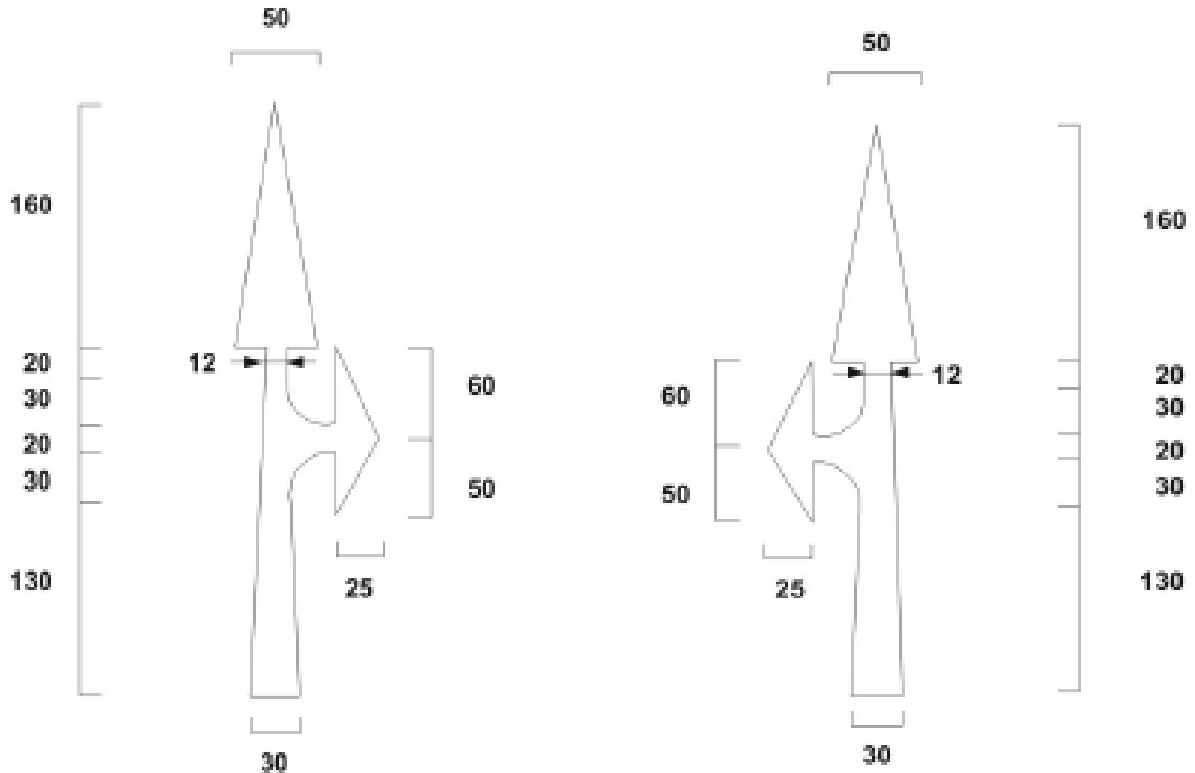
**LINEA DE PARADA (cm)**



**FLECHAS DIRECCIONES DE RECTA Y VIRAJE (cm)**



## CAPÍTULO V



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1.- CONCLUSIONES

Finalizado el presente trabajo, se tienen las siguientes conclusiones.

- Al realizarse un análisis metodológico para la determinación de la congestión vehicular, y al aumentar los tiempos en los ciclos y en los tiempos en verde en los semáforos, se pudo dar solución al problema del tráfico vehicular.
- El estudio de varios procedimientos para definir el congestionamiento en un tramo urbano facilita la determinación de la posible solución con nuevos tiempos de fase verde.
- Realizado el análisis de los métodos para la determinación de la congestión, se pudo determinar que el método de, "Cálculo del Análisis de Intersecciones con Semáforo con Régimen D/D/1" del capítulo de congestionamiento del libro Ingeniería de Transito del autor



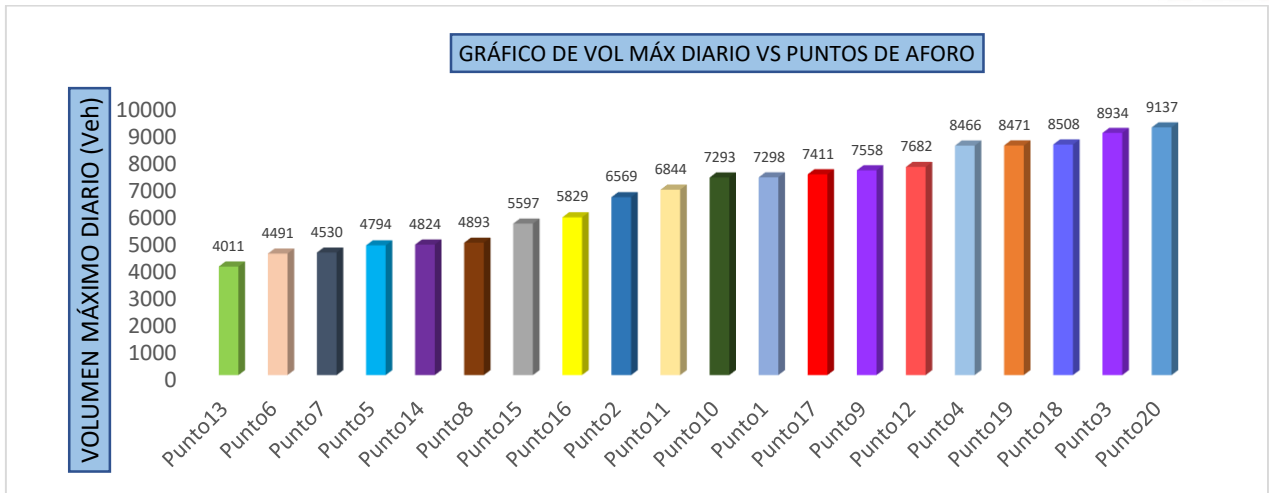
Rafael Cal y Mayor y James Cárdenas, es el más apropiado para las características del sector en estudio.

- El área de estudio establecida para la aplicación práctica del presente trabajo evidentemente se encuentra congestionada, esto a través de la observación de los valores obtenidos de las demoras promedio de tránsito en dicha área.

<u>Punto</u>	<u>Demora (s/veh)</u>	<u>Observación</u>
PUNTO 1	8	Congestión
PUNTO 2	8	Congestión
PUNTO 3	9	Congestión
PUNTO 4	9	Congestión
PUNTO 5	8	Congestión
PUNTO 6	8	Congestión
PUNTO 7	8	Congestión
PUNTO 8	8	Congestión
PUNTO 9	9	Congestión
PUNTO 9a	9	Congestión
PUNTO 10	9	Congestión
PUNTO 10a	9	Congestión
PUNTO 11	9	Congestión

<u>Punto</u>	<u>Demora (s/veh)</u>	<u>Observación</u>
PUNTO 12	9	Congestión
PUNTO 13	9	Congestión
PUNTO 14	9	Congestión
PUNTO 15	10	Congestión
PUNTO 16	9	Congestión
PUNTO 17	9	Congestión
PUNTO 17a	10	Congestión
PUNTO 18	9	Congestión
PUNTO 18a	10	Congestión
PUNTO 19	9	Congestión
PUNTO 19a	10	Congestión
PUNTO 20	9	Congestión
PUNTO 20a	10	Congestión

- Que los puntos más conflictivos del área de estudio con mayor congestión son:



PUNTOS	VOL. MAX. DIARIO	PUNTOS	VOL. MAX. DIARIO	PUNTOS	VOL. MAX. DIARIO
Punto 11	6844	Punto 9	7558	Punto 18	8508
Punto 10	7293	Punto 12	7682	Punto 3	8934
Punto 1	7298	Punto 4	8466	Punto 20	9137
Punto 17	7411	Punto 19	8471		

Son todos los volúmenes máximos diarios mayores a la media aritmética calculada.

- Que medidos los tiempos de fases de cada semáforo se aprecia que la fase verde esta subdimensionada para las intersecciones con mayor volumen (Vías Principales), siendo éstas las siguientes:

PUNTO	CALLE	VOLUMEN MAX DIARIO (veh/h)	TIEMPO VERDE (s)	CICLO (s)
PUNTO 3	Calle Comercio esq. San Pedro	4658	23	50
PUNTO 4	Calle Comercio esq. Campero	4376	23	50
PUNTO 9	Calle Santa Cruz esq. Benemérito	5250	30	60
PUNTO 10	Calle Santa Cruz esq. Independencia	4329	23	60



PUNTO 11	Calle Comercio esq. Beneméritos	5921	23	50
PUNTO 12	Calle Comercio esq. Independencia	5018	30	50
PUNTO 18	Av. Libertadores esq. Sucre	4019	30	60
PUNTO 19	Av. Libertadores esq. Crevaux	4451	30	60
PUNTO 20	Av. Libertadores esq. Independencia	4272	30	60

Donde se observa que los tiempos en verde son menores o iguales a la mitad del ciclo, lo que nos indica tiempos mayores o iguales para las vías secundarias, lo cual provoca congestión.

- Calculados los nuevos tiempos de verde y de ciclo en vías principales como en vías secundarias, se puede concluir que en las vías principales se ha logrado disminuir la demora total de ciclo hasta alcanzar valores admisibles, y en las vías secundarias se ha mantenido la demora total de ciclo con valores admisibles.

VÍA PRINCIPAL					
PUNTO	CALLE	TIEMPO VERDE (s)	CICLO (s)	DEMORA PROM. (s-veh)	OBSERVACION
PUNTO 3	Calle Comercio esq. San Pedro	37	55	3	Admisible
PUNTO 4	Calle Comercio esq. Campero	37	55	3	Admisible
PUNTO 9	Calle Santa Cruz esq. Benemérito	40	58	3	Admisible
PUNTO 10	Calle Santa Cruz esq. Independencia	40	58	3	Admisible
PUNTO 11	Calle Comercio esq. Beneméritos	38	55	3	Admisible
PUNTO 12	Calle Comercio esq. Independencia	38	55	3	Admisible
PUNTO 18	Av. Libertadores esq. Sucre	41	60	3	Admisible
PUNTO 19	Av. Libertadores esq. Crevaux	41	60	3	Admisible
PUNTO 20	Av. Libertadores esq. Independencia	41	60	3	Admisible





VÍA SECUNDARIA					
PUNTO	CALLE	TIEMPO VERDE (s)	CICLO (s)	DEMORA PROM. (s-veh)	OBSERVACION
PUNTO 3	Calle San Pedro esq. Comercio	18	55	3	Admisible
PUNTO 4	Calle Campero esq. Comercio	18	55	3	Admisible
PUNTO 9	Calle Benemérito esq. Santa Cruz	18	58	3	Admisible
PUNTO 10	Calle Independencia esq. Santa Cruz	18	58	3	Admisible
PUNTO 11	Calle Beneméritos esq. Comercio	17	55	2	Admisible
PUNTO 12	Calle Independencia esq. Comercio	17	55	3	Admisible
PUNTO 18	Calle Sucre esq. Av. Libertadores	19	60	3	Admisible
PUNTO 19	Calle Crevaux esq. Av. Libertadores	19	60	3	Admisible
PUNTO 20	Calle Independencia esq. Av. Libertadores	19	60	3	Admisible

- Realizando el levantamiento de datos en las zonas de estudio, se pudo apreciar la falta de educación vial en el global de las calles, ya sea cuando se menciona a peatones, los cuales cruzan indebidamente las calles por lugares inseguros y en momentos imprecisos, como los conductores, que se detienen inapropiadamente, ambos pudiendo provocar accidentes, se espera que alivianando la congestión vehicular con una apropiada semaforización, se ayude a disminuir las faltas en la educación vial que existen y así reducir los casos de accidentes.
- Al alivianar la congestión, se espera poder optimizar la circulación del flujo vehicular y peatonal en las intersecciones estudiadas y en las calles adyacentes a estas.

Se espera que la semaforización eficiente que se propone es este estudio, disminuya el congestionamiento, regularice velocidades y tiempos de recorrido para todos los usuarios de las vías.

Es de conocimiento general que esto no se cumplirá mientras el transporte público siga incumpliendo las leyes y reglas de tránsito.



- Las velocidades promedio en la Zona 1 y Zona 2 del estudio, son de carácter similar, debido a la similitud de las dimensiones de sus calles, a diferencia de la Zona 3, que se trata de una avenida con diferentes características, lo que le brinda la posibilidad de contar con velocidades de recorrido promedio mayores.

ZONAS	VELOCIDADES (km/h)
ZONA 1: CENTRAL	21
ZONA 2: AVENIDA LIBERTADORES	30
ZONA 3: MERCADO CAMPESINO	20

- Investigada la distancia de recorrido que tienen los vehículos, tomando en cuenta la velocidad de circulación y las distancias entre semáforos, se puede determinar que la mayoría de sus vehículos recorren más de una cuadra, lo que indica que es posible optar por semáforos progresivos, es decir, semáforos que en la vía en estudio tengan un régimen de verde, verde, rojo, en las esquenas respectivas.
- Con las condiciones numéricas calculadas se opta en hacer una asignación progresiva de los semáforos, en dicha progresión sucesiva, se puede adoptar como diseño en las intersecciones, que la mejor condición es la progresiva de Verde, Verde, Rojo para todas las zonas de estudio, debido a que la mayoría asegura que sí recorrerá 2 intersecciones.
- Se pudo apreciar que las características físicas de las vías de estudio, son muy parecidas, con excepción de las avenidas en estudio.

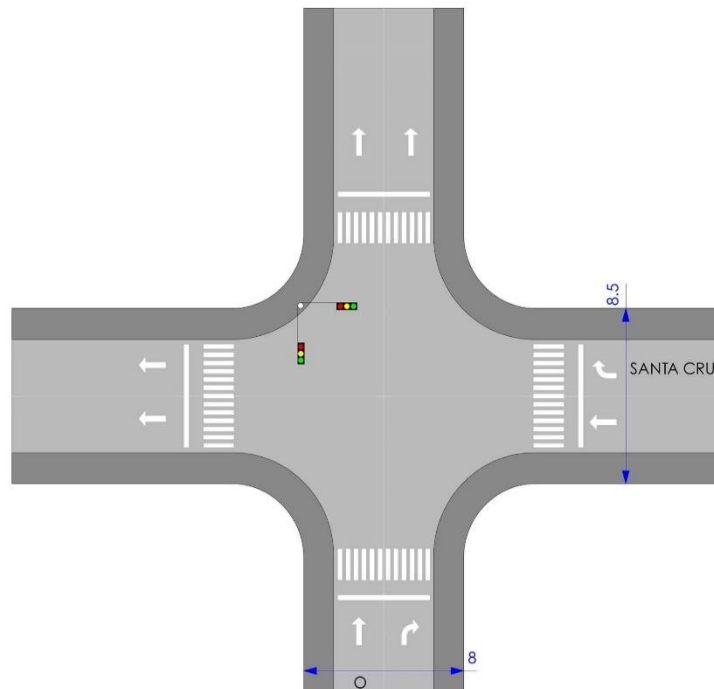


Fig. 5.2 Intersecciones normales de estudio

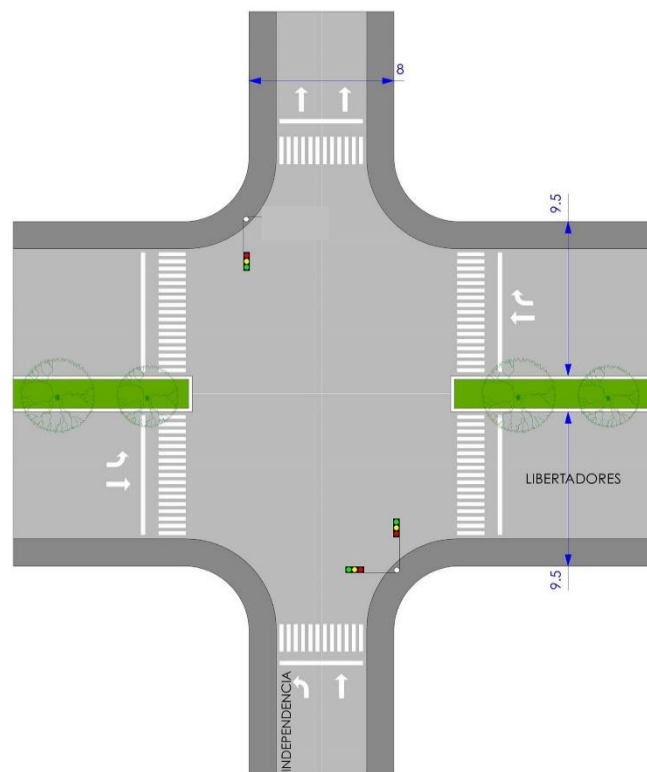


Fig. 5.3 Intersecciones de Avenidas en estudio

- Las zonas prohibidas para realizar estacionamientos, no se encuentran delimitadas correctamente, lo que provoca que los conductores infrinjan leyes de tránsito y perjudiquen el flujo vehicular incrementando el congestionamiento en dichas calles.
- Se realizan los cálculos de los ciclos y de las fases con los tiempos más similarmente parecidos entre sí, siempre y cuando cumplan con los tiempos de demoras admisibles, para facilitar el cambio de los mismos en los semáforos ya existentes.



## 5.2.- RECOMENDACIONES

Concluido el presente trabajo, se brindan las siguientes recomendaciones generales:

- Delimitar claramente los puntos congestionados de estudio, donde se realizarán los aforos vehiculares, de velocidades y el levantamiento de datos geométricos de las intersecciones.
- Contar con tablas de aforo de vehículos lo más específicas y amplias posibles, para poder anotar la mayoría de las características de la intersección, como ser el tipo de vehículos que transitan por la misma, los giros que realizan los vehículos, las velocidades que alcanzan y las colas de espera que se crean.
- El manejo de los datos obtenidos en campo, deben de estar ordenados y bien anotados para facilitar el trabajo en gabinete.
- Se recomienda una vez finalizado el proyecto, revisar si los datos arrojados como soluciones son coherentes, puesto que existe la posibilidad de haber tomada mal un dato, y que nuestros resultados salgan disparados o no tengan relación.
- Realizar trabajos coordinadamente entre el Organismo Operativo de Transito y las oficinas de Trafico de la H.A.M.Y. con el fin de divulgar y enseñar sobre la educación vial como motivo principal (con la utilización de personajes como las cebritas), puesto que por más que se realicen he implementen todas las tecnologías para promover un mejor flujo vehicular, y si los usuarios de las vías no las respeten ni las conocen, no se dará una verdadera solución al problema de tránsito.



- Así mismo es recomendable la educación vial referente a la preferencia al uso del servicio de transporte público, ya que esta conducta ayuda también a disminuir el congestionamiento vehicular y contribuye a otros aspectos ambientales como ser consumo de combustible, contaminación atmosférica, contaminación auditiva, estrés de conductores, estrés de peatones y otros.
- También es recomendable un rediseño del circuito del transporte público, lo cual puede contribuir a reducir el congestionamiento vehicular, ya que el rediseño puede llegar a la conclusión de que el transporte público debe desplazarse por otros tramos sin congestionamiento y por ende contribuir a reducir la demora en el tramo congestionado.
- Para aquellas intersecciones que tienen un considerable volumen de tráfico, pero pese a eso no cumplen con las condiciones para instalar semáforos, se recomienda la utilización de espejos viales, que son espejos convexos que ayudan a la visibilidad de automotores de ambas vías, evitando algunos accidentes que se podrían suscitar por la excesiva velocidad y a la falta de dispositivos de control de tráfico. Estos son dispositivos de bajo costo y que, si son bien colocados, trabajan de forma efectiva.
- Implementar una señalización horizontal y vertical que sea lo suficientemente visible para los usuarios de las vías, tomando en cuenta todos los elementos perjudiciales como árboles, pasacalles y postes que limitan la visión.
- Se recomienda la instalación de semáforos peatonales donde estos se requieran, y que cumplan con condiciones de tráfico peatonal, tomando en cuenta principalmente zonas escolares, de la alcaldía y de la gobernación.
- Minimizar las obras de tráfico improvisadas y sin estudio, debido a que estas se traducen en pérdidas económicas y de recursos humanos, y crean molestias en los usuarios que hacen uso de las mismas.
- Se recomienda que se realicen estudios de actualización de los tiempos de los semáforos, dependiendo del índice de crecimiento del parque automotor, para evitar así problemas futuros de congestionamiento.