

APLICACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL FLUJO VEHICULAR EN PELOTONES EN UN TRAMO DE LA AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA ENTRE AVENIDA LOS MEMBRILLOS Y CALLE ESPAÑA

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN.

Se entiende por flujo vehicular en pelotón, aquel que se manifiesta de manera discontinua por grupos de vehículos que recorren casi juntos, espaciados una cierta distancia, determinando un comportamiento singular a las características de dicho tramo. Esto quiere decir que las causales para la formación de pelotones de vehículos, generalmente se encuentran en el inicio de los tramos de recorrido, éstos pueden ser: semáforos, puentes, señalizaciones, u otros que determinan la retención por tiempos cortos al flujo vehicular. Por ejemplo un puente elevadizo un cruce con vías del tren, etc.

En Bolivia; el estudio de tráfico, solamente es analizado para el cómputo (Determinación de la cantidad) de vehículos que fluyen por las diversas arterias de la ciudad, estos aforos determinan el número, tipo de vehículos, velocidad, distancias de frenado entre otros, pero no se determinan aforamientos que ayudan a definir el comportamiento de vehículos en movimiento cuando éstos adquieren ciertas características como ser la formación de pelotones.

Es obvio, que los vehículos en formación de pelotones, hace que los parámetros de flujo, de cada vehículo, sean interrelacionados y dependientes de los movimientos propios de otros vehículos, o sea que el pelotón se mueve como si fuera un solo cuerpo. Esta disposición es muy riesgosa, y cualquier cambio de decisión, en algún conductor, hace peligrar al flujo en pelotón y este pierda la coordinación general, pudiendo ocasionar accidentes que pueden tener consecuencias fatales.

En la avenida Jaime Paz Zamora, frente a la Universidad en sus tres carriles, tienen diferentes comportamientos vehiculares, unos condicionados por elementos externos a la vía, semáforos en intersección y otros independientes, que hacen al flujo libre, sin condiciones. y señalizaciones que regulen el normal desarrollo del flujo vehicular.

Las características físicas encontradas en el tramo en estudio se presentan en tabla N° 1.1

TABLA No 1.1
CARACTERÍSTICAS ACTUALES DE LOS CARRILES FRENTE A
INGRESO A U.A.J.M.S.
UBICACIÓN: AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA

TRAMO	N° CARRILES	DIRECCIONES	INTERSECCIONES		
			INICIO	INTERMEDIAS	FINAL
PTE1	2	2	1	4	1
PTE2	2	1	0	1	1
PTE3	3	1	1	1	1

TRAMO	N° CARRILES	ELEMENTO EXTERNOS SEMÁFORO INICIO	ELEMENTOS INDEPENDIENTES SEMÁFORO FINAL	FLUJO CANTIDAD VEH/HORA PROMEDIO	OBSERVACIONES
PTE1	2	0	1	750	TRAMO DE TESIS
PTE2	2	0	1		
PTE3	3	1	0		

FUENTE: Elaboración propia, por convención los puentes se enumeran en el sentido del escurrimiento del agua de la Quebrada El Monte.

Según el aforo realizado la intensidad de tráfico en el tramo en estudio es de 750 veh/h (valor promedio).

En la actualidad el flujo vehicular en el tramo ubicado en la Avenida Jaime Paz Zamora entre Avenida Los Membrillos y la calle España es extremadamente conflictivo, observándose aglomeraciones de vehículos que impiden la transitabilidad en condiciones normales del flujo vehicular debido a la numerosa cantidad de vehículos que circulan por dicho tramo.

Dicho problema tiende a empeorar debido al aumento de vehículos que generalmente es proporcional al crecimiento poblacional.

El tramo en estudio forma parte del ingreso y salida de vehículos de carácter público destinados a ser el transporte de los estudiantes de la Universidad Juan Misael Saracho. Por

lo tanto, el congestionamiento de vehículos genera un flujo vehicular interrumpido, que conlleva a pérdidas de tiempo y aumentan la probabilidad de accidentes de tránsito.

Ante estos antecedentes, el autor, propone un estudio que ayude a definir el comportamiento vehicular en dicho tramo, debido a que el mismo aparentemente no tiene influencias externas, pero sus características geométricas particulares como ser el ingreso y la salida de un puente originan la formación de pelotones de vehículos, brindando de esta manera los elementos necesarios para ser considerados útiles y elaborar un estudio de tráfico, que ayude en primera instancia a determinar un diagnóstico elemental del tramo, para así, según sea requerido considerar las alternativas de solución tomando en cuenta siempre a los elementos de diseño del tráfico, como por ejemplo división de carriles en trochas, mayor señalización vertical, horizontal , etc.

Las alternativas de solución, estarán basadas en cambios estratégicos en la vía, los mismos que pueden ser, mejor señalización vertical y horizontal, subdivisión de trochas, semaforización y otros que según los cálculos puedan solucionar y mejorar el comportamiento vehicular en el tramo de estudio. Vale recordar, que el estudio considera los elementos de cálculo establecidos por normas, de tal manera se garantice la veracidad de los resultados y cumplir así con los objetivos seguidamente planteados.

Las constantes aglomeraciones y formación de pelotones descontrolados de vehículos en el tramo en estudio afectan la transitabilidad y ocasionan mayor riesgo de accidentes y congestionamiento. Los resultados del presente trabajo beneficiarán directamente tanto a peatones como conductores de vehículos, de tal manera que realizando un estudio más amplio de toda la Avenida Jaime Paz Zamora se podría mejorar el flujo vehicular haciendo de esta manera que esta importante vía se transforme a una de mayor servicio y seguridad.

- Este estudio ayudará a resolver de manera práctica el congestionamiento existente, permitiendo tomar decisiones técnicas a partir de elementos claros para mejorar el flujo vehicular.

- Mediante el presente trabajo se logrará ampliar el conocimiento del comportamiento de los vehículos en pelotón para poder generalizar los resultados a principios mucho más amplios.

El autor estima que el trabajo tendrá una buena aplicación teórica y práctica, además que sus resultados tendrán connotación social, puesto que soluciona un problema que actualmente ocasiona trastornos dentro de la sociedad.

1.1. SITUACIÓN PROBLÉMICA.

El carril de ancho 10 m de doble circulación de la Av. Jaime Paz Zamora al lado de SENAMHI, entre Avenida Los Membrillos y calle España más propiamente en PASAJE J.M. SUAREZ y GRAL. D. SOSSA, que divide a la misma en dos trochas de direcciones contrarias. Las mismas no tienen división física, lo que ocasiona que algún vehículo pueda invadir el carril vecino, esta situación es común en el flujo vehicular de dicho tramo.

Sin embargo, también se observa que este tramo en determinados momentos (Distintos de las horas pico), no tiene un flujo importante, pero en otros sí, la observación principal es que el mismo es interrumpido y no continuo, por lo que se verifica la formación del flujo de vehículos formando grupos o pelotones durante y después de pasar por el Puente 1.

El flujo en pelotón, no guarda condiciones de seguridad, es decir que los vehículos no respetan la distancia pertinentes (distancia mínima de seguridad entre vehículos); objeto de nuestro estudio; durante el recorrido, inclusive algunos incrementan su velocidad para adelantar al vehículo anterior, para lo cual siempre tiene que invadir el carril vecino, esto produce que el vehículo que está transitando por el carril vecino y en dirección contraria, tenga un tiempo de percepción y reacción más reducido, por lo que recurre a frenados bruscos generándose así, una inminente colisión que puede ser a gran escala.

Se observa también que no existen señalizaciones suficientes que sean restrictivas de velocidad y sobrepaso en el tramo de estudio pero si existe señalización vertical direccional e identificativa pero no horizontal, es decir, no se indica la velocidad máxima, distancia mínima de seguridad, no adelantar, precaución y otros.



**Figura 1.1 FOTOGRAFÍA QUE MUESTRA LA FORMACIÓN DE PELOTONES
EN EL TRAMO DE ESTUDIO**

Situación que deja al conductor a tomar decisiones espontáneas; que pueden carecer de buen criterio; propias de acuerdo a las circunstancias.

El tramo en estudio, tiene intercepta con seis calles de la ciudad (Av. Los Membrillos, Pasaje s/n, Pasaje J.M. Suarez, Gral. D. Sossa, Carlos Lazcano y Calle España) que tienen un aporte vehicular bajo, pero que no deja de ser importante, sobre todo en el momento que se produce el pelotón, ya que los vehículos entrantes al tramo, suelen hacerlo en las dos direcciones y casi siempre quieren adelantar al pelotón y tomar su trocha respectiva, esto aumenta el riesgo de ocasionar accidentes.

También podemos mencionar la apertura de un acceso hacia la calle Gral. D. Sossa desde el carril central de la avenida hacia el tramo en estudio, lo que ocasiona mayor peligro y solo aumenta el riesgo de producir accidentes.

Es también apreciable observar que las velocidades de flujo no son elevadas (de 17 a 53 km/h), y que de alguna manera disminuyen el riesgo, pero no lo eliminan, porque tampoco existe una limitante o señalización del tipo mencionado anteriormente.



Figura 1.2 FOTOGRAFÍA QUE MUESTRA PELOTÓN FORMADO POR UN MICRO COMO VEHÍCULO LIDER

1.2. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.

Al inicio del tramo en estudio existe un puente (Puente 1) cuyas condiciones y características particulares fomentan la formación de pelotones y seguidamente se evidencia un mal comportamiento vehicular, con distancias de brechas entre vehículos reducidas y velocidades elevadas, con sobrepasos forzados y detenimientos que elevan la tendencia de accidentes.

1.2.1 Objeto de investigación.

Este corresponde a un tramo de 50 m ubicado dentro del tramo de la avenida Jaime Paz Zamora, entre Avenida Los Membrillos y calle España. Mas precisamente a 70 m de la salida del Puente 1.

1.2.2 Campo de Acción.

Estudio de tráfico de vehículos en pelotón basado en las Teorías de Seguimiento de Vehículos de Pipes y Forbes.

1.3 OBJETIVOS.

1.3.1 Objetivo General.

Es elaborar un análisis teórico – práctico sobre el comportamiento del flujo vehicular en pelotón, identificando particularidades del comportamiento vehicular en el tramo en estudio, para así determinar algunos parámetros comparados con las teorías de PIPES y FORBES que permitan conocer y caracterizar el fenómeno. Mejorando el comportamiento del flujo vehicular en el tramo de la Avenida Jaime Paz Zamora, entre Avenida Los Membrillos y calle España.

1.3.2 Objetivos Específicos.-

Los objetivos específicos del presente trabajo son:

- Identificar y caracterizar física el tramo objeto del estudio.
- Realizar aforos para conocer las velocidades de los vehículos en pelotón, para luego determinar las distancias entre vehículos (d_{min}).
- Utilización de los datos de aforo para realizar un análisis teórico- práctico mediante regresiones tomando en cuenta las Teorías de Seguimiento de Pipes y Forbes.
- Comparación de los resultados reales del análisis práctico con las teorías sobre seguimiento de vehículos de Pipes y Forbes, mediante un gráfico. Distancia Mínima de Seguridad Vs Velocidad e intervalo mínimo (tiempo). Vs. Velocidad.
- Realizar un análisis del comportamiento de los vehículos identificando parámetros que permitan conocer claramente cuales son los problemas para el mal comportamiento de los vehículos en Pelotón.
- Realizar las recomendaciones y sugerencias para el mejoramiento del flujo vehicular en el tramo objeto del estudio.

1.4 ALCANCE DEL ESTUDIO.

Con el presente trabajo se pretende estudiar en forma más detallada el comportamiento de vehículos que transitan en pelotón aplicando las teorías de Pipes y Forbes, para poder sugerir parámetros que ayuden a minorar el riesgo de accidentes, existiendo la posibilidad

de mejorar el nivel de servicio del tramo en estudio y poder proyectarlos o aplicarlos a carreteras futuras.

1.5 DISEÑO METODOLÓGICO.

Este estudio se realizará en la Avenida Jaime Paz ubicado entre Avenida Los Membrillos y calle España escogiendo este tramo debido a que en el mismo se presenta un tráfico interrumpido presentando un flujo vehicular en pelotón que no guarda condiciones de seguridad, es decir que los vehículos no respetan la distancia mínima de seguridad, pudiéndose observar que algunos vehículos incrementan su velocidad para adelantar al vehículo anterior, invadiendo el carril vecino, provocando una tendencia a la generación de accidentes.

Se realizará un aforo manual para conocer las velocidades de los vehículos en pelotón haciendo uso de un cronómetro en una distancia de 50 metros marcando en el pavimento con dos rayas de pintura y midiendo el tiempo que tardan los vehículos en recorrerla. Esta medición se realizará poniendo el cronómetro en marcha cuando un vehículo entra en el tramo marcado en el pavimento (estación A) deteniendo el mismo cuando el vehículo sale de ella (estación B). La velocidad será igual al espacio recorrido entre el tiempo empleado en recorrerlo.

Realizaremos un análisis teórico práctico utilizando las velocidades Vs. La distancia mínima de seguridad para conocer mediante semejanzas con las teorías de Pipes y Forbes el comportamiento de los vehículos en pelotón y así poder determinar y emitir sugerencias para mejorar el nivel de servicio del tramo en estudio.

1.5.1 Teoría de Pipes:

Mínima separación segura aumenta con la velocidad.

Según regla de conducción en California:

$$be = L * m / (10 \text{ (millas/h)}) = L * m / (16 \text{ (km/h)})$$

Según Pipes: $d_{\min.} = L (m/16) + L$

$d_{\min} = 0,375 m + 6$

Dónde: d_{\min} = Separación mínima (m)

m : = Velocidad del seguidor (km/h)

L = Longitud del vehículo líder (m)

como :

$$h_{\min} = d_{\min} / (m/3,6)$$

h_{\min} = intervalo mínimo (s) y para esta tesis se adopta por convención como t_{\min}

$$t_{\min} = 1,36 + 21,6/m$$

1.5.2 Teoría de Forbes:

Tiempo de percepción y reacción (TPR) para frenar o acelerar:

$$t_{\min} = \text{TPR} + L / (m/3,6)$$

Dónde:

t_{\min} . = Intervalo Mínimo (s)

TPR: 1,5 s (asumido por Forbes)

m = Velocidad del seguidor (km/h)

L = 6 asumido por Forbes (m.)

$$t_{\min} = 1,5 + 21,6/m$$

$$d_{\min} = t_{\min} (m/3,6)$$

$$d_{\min} = 0,416 m + 6$$

$$d_{\min} = 0,416 m + 6$$

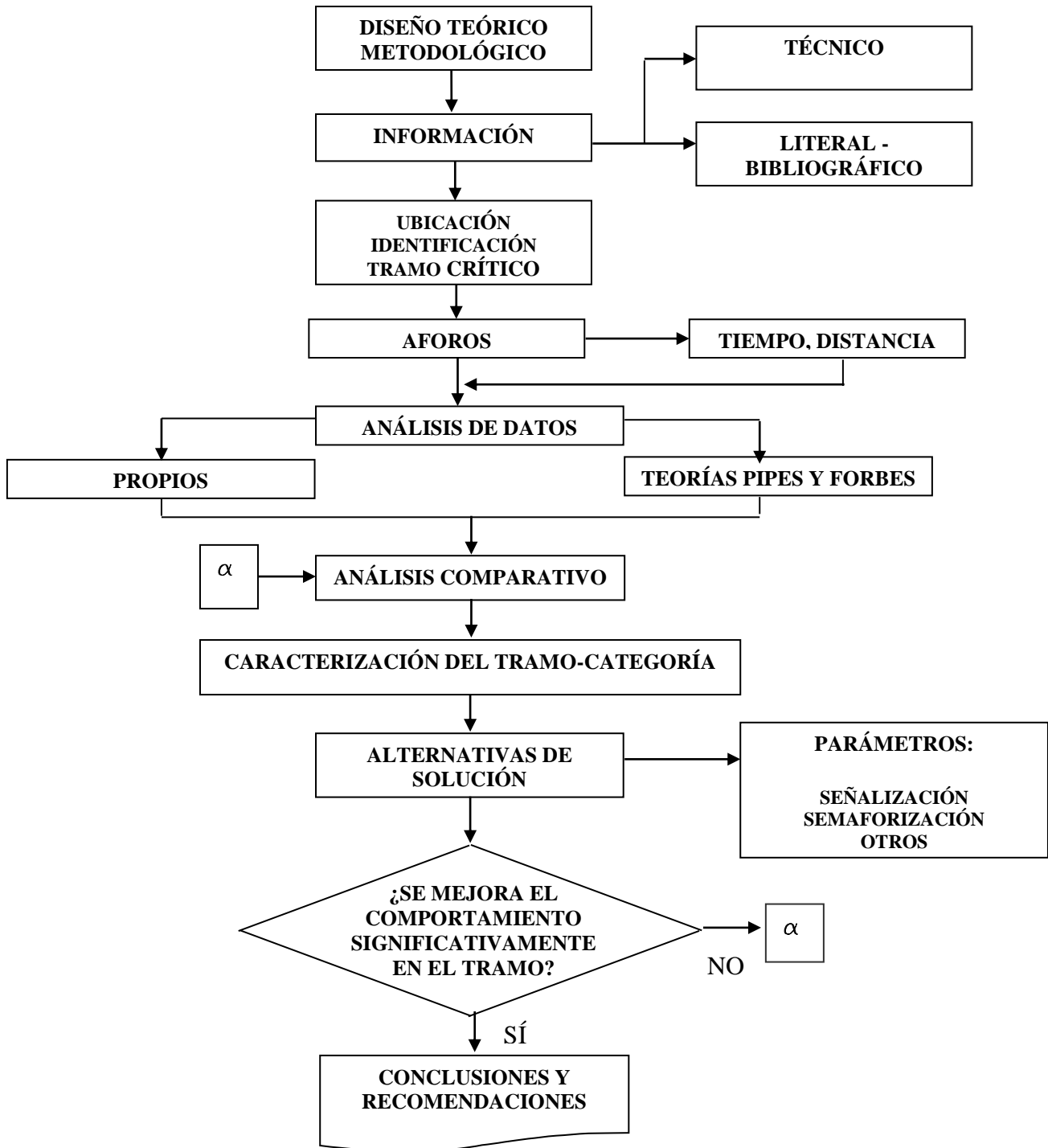


Figura 1.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGÍA UTILIZADA EN ESTUDIO

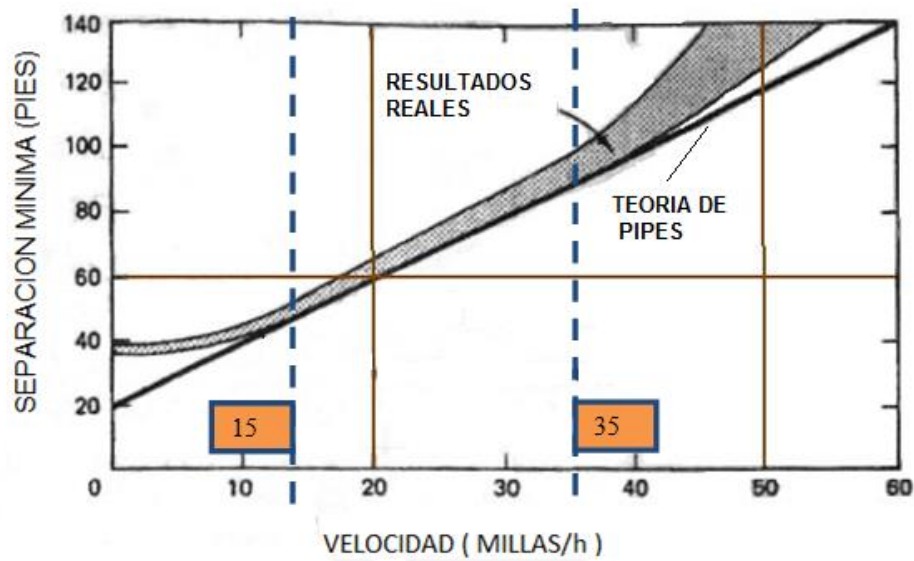


FIGURA 1.4 El Modelo de Pipes d_{mim} (ft) Vs. Velocidad (millas/h)

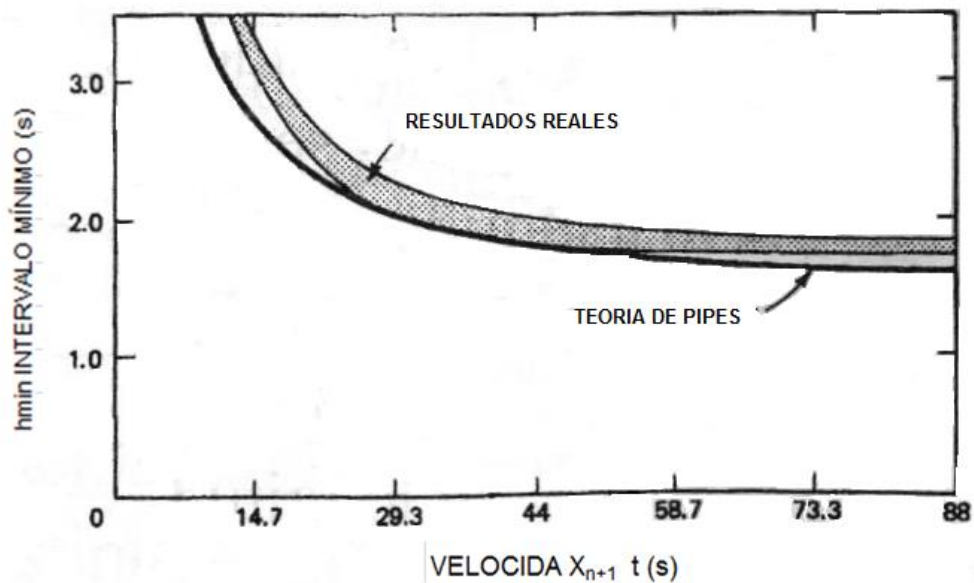


FIGURA 1.5 El Modelo de Pipes t_{mim} (s) Vs. Velocidad (Pies/s)

La separaciones mínimas para Pipes son ligeramente menores que Forbes, las medidas entre 15 y 35 millas por hora (4.2 y 9.7 Km/h) y considerablemente más bajas para velocidades más bajas y más altas. La mínima separación segura aumenta con la velocidad. El mínimo intervalo seguro decrece con la velocidad hasta 1,36 para velocidad infinita.

CAPÍTULO II

MARCO CONCEPTUAL

2.1 CONCEPTO Y OBJETIVOS DEL TRÁFICO.

2.1.1 Concepto de Tráfico.- Tráfico es el tránsito de vehículos por vía terrestre cuyo estudio es fundamental en el proceso de planificación, diseño y operación de los sistemas de transporte.

2.1.2 Objetivos del Tráfico.- El dato básico para la realización de cualquier estudio de planeamiento, proyecto y estudio de redes viarias es la intensidad de circulación. Para conocerla es necesario contar o aforar el número de vehículos que pasan por determinadas secciones de la red.

Esta operación puede realizarse manualmente o por medio de aparatos especiales y puede hacerse clasificando más o menos detalladamente los tipos de vehículos que circulan.

La precisión y el costo del estudio dependerán del número de secciones en que se realicen los aforos y de la duración de los mismos. Por consiguiente será necesario estudiar

- Los medios de que se dispone para realizar los aforos
- Los métodos para elegir las secciones donde aforar y la duración de los aforos.
- Los procedimientos para la obtención de los datos necesarios a partir de los resultados de los aforos.

2.2. CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO.

2.2.1 Capacidad.- Se define como el número máximo de vehículos que tienen una probabilidad razonable de atravesar una sección durante un periodo dado de tiempo; que generalmente es de quince minutos, en unas condiciones determinadas de la carretera y del tráfico, expresado en vehículos /hora.

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. Como se sabe que el volumen en 15 minutos así obtenido es convertido a tasa de flujo horaria, entonces la Capacidad de un sistema vial es la tasa máxima horaria.

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

Por lo anteriormente mencionado la capacidad de una sección de 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*.

Las condiciones ideales en carreteras de dos carriles objeto de este estudio son las siguientes:

- Carriles de 3.60 m.
- Sobreebancho de 1.80 m.
- Sin acceso a las propiedades colindantes
- Terreno llano (sin inclinaciones de más del 2%; en otro caso se considera terreno ondulado)
- Tráfico formado exclusivamente por coches
- Sin prohibiciones del adelantamiento
- Reparto de tráfico total entre sentidos, 50% en cada sentido en caso de dos sentidos de circulación.

2.2.2 Niveles de Servicio.- El conocimiento de la capacidad de una sección de carretera es absolutamente necesaria para diseñarla de forma que permita hacer frente a la demanda prevista. Sin embargo, no es suficiente en la práctica, porque las condiciones de circulación cuando se alcanza la capacidad son muy deficientes. La velocidad media, incluso en carreteras con buen trazado es normalmente del orden de 50-60 Km/h; las separaciones entre vehículos son muy pequeñas, y es prácticamente nula la libertad de maniobra. Por todo ello, será conveniente que la carretera funcione con intensidades de tráfico inferiores a la capacidad.

Ahora bien, una carretera que se construye con una capacidad mucho mayor que la demanda del tráfico prevista representa un despilfarro económico que se debe evitar.

En la práctica es necesario proceder de una forma más sencilla. Para ello hay que definir unas condiciones de la circulación que se consideren aceptables, teniendo en cuenta los factores que intervienen en ella: velocidad, seguridad, comodidad, etc.

El nivel de servicio es una medida puramente cualitativa de las condiciones de circulación, que tiene en cuenta el efecto de varios factores como la velocidad y el tiempo de recorrido, la seguridad, la comodidad de conducción y los costos de funcionamiento. La manera de combinar estos factores depende del tipo o elemento de carretera que se esté considerando, por lo que la definición de cada nivel de servicio particular es diferente en intersecciones, en tramos de carreteras de dos carriles, en autopistas, etc. Se emplean 6 niveles de servicio que se designa de mejor a peor, por las letras mayúsculas de A a la F.

Nivel de servicio A.- La velocidad de los vehículos es prácticamente igual a la que libremente elegirían sus conductores si no se vieran obligados a modificarla a causa de otros vehículos. Este nivel de servicio corresponde a unas condiciones de circulación libre con gran comodidad física para los conductores.

Nivel de servicio B.- Representa unas condiciones razonablemente buenas dentro del régimen de circulación libre. La velocidad de los vehículos, especialmente la de los más rápidos, se ve influida por otros vehículos, y pueden verse demorados durante ciertos

intervalos por otros más lentos, pero no llegan a formarse colas porque hay oportunidades de adelantamiento, o sea sin pelotones. Este nivel de servicio corresponde a unas condiciones de circulación estable.

Nivel de Servicio C.- La mayor parte de los conductores deberán ajustar su velocidad teniendo en cuenta la de los vehículos que les preceden, porque las posibilidades de adelantamiento son reducidas y se forman grupos de vehículos que circulan a la misma velocidad (Pelotones). La circulación sigue siendo estable, porque las perturbaciones debidas a los cambios de velocidad se pueden disipar sin llegar a producir una detención total.

Nivel de Servicio D.- Todos los vehículos deben regular su velocidad teniendo en cuenta la marcha de los vehículos precedentes. La velocidad media se reduce y se forman largas caravanas, ya que resulta difícil adelantar a otros vehículos.

La circulación se aproxima a la inestabilidad, y cualquier incremento en la intensidad de tráfico puede dar lugar a la detención de la circulación. Estas condiciones de circulación sólo resultan tolerables durante cortos periodos de tiempo.

Nivel de Servicio E.- Corresponde a condiciones de circulación en la que la intensidad de tráfico llega a alcanzar a la capacidad de la carretera. La velocidad media de todos los vehículos es prácticamente igual, y se forman largas caravanas con separaciones muy pequeñas entre vehículos, ya que resulta imposible cualquier maniobra de adelantamiento o cambio de carril. Son frecuentes las detenciones bruscas debidas a cualquier tipo de incidente.

Nivel de Servicio F.- Corresponde a la situación de congestión, producida cuando la intensidad del tráfico que entra en un tramo de carretera sobrepasa la capacidad en la salida del mismo. Mientras se mantenga esta situación se irá formando una cola de vehículos, que avanzaran muy lentamente y con frecuentes paradas hasta conseguir atravesar la zona congestionada. En estas condiciones la velocidad media es muy baja y dependerá del tiempo transcurrido desde que empezó la congestión, ya que al ir aumentando la longitud de la cola de vehículos se tardará más tiempo en recorrer la zona congestionada.

La situación resulta completamente inaceptable y denota la existencia de una sección cuya capacidad es insuficiente para la demanda.

Al estudiar la capacidad y las intensidades de servicio en una carretera de calzada única con dos carriles con doble sentido de circulación, se tiene en cuenta la capacidad conjunta de ambos sentidos. En condiciones ideales, la capacidad de una carretera de este tipo es como máximo de 3200 vehículos/hora, siempre que tomando por separado la intensidad de cada sentido, en ninguno de ellos se sobrepasen los 1700 vehículos/hora.

2.3 VEHÍCULOS.

2.3.1 Tipos de Vehículos.- Para que la circulación sea segura, económica y cómoda para conductores y pasajeros, al proyectar las carreteras es necesario tener en cuenta las características de los vehículos. Estas características pueden ser muy diferentes de unos vehículos a otros, ya que actualmente circulan tipos muy variados. Para simplificar su estudio es conveniente agruparlos en varias categorías constituidas por vehículos de características parecidas. Los criterios de clasificación pueden variar según la finalidad perseguida. Así, es posible diferenciarlos según el sistema de propulsión, la finalidad del transporte realizado, su tamaño, peso y movilidad, etc. En España, para la realización de los aforos y estudios de tráfico, se utiliza la siguiente clasificación:

- A) Carros
- B) Bicicletas
- C) Vehículos de tracción mecánica
 - C – 1) Vehículos de dos ruedas
 - 1. Ciclomotores
 - 2. Motocicletas
 - C – 2) Vehículos ligeros
 - 1. Coches
 - 2. Camionetas
 - 3. Tractores
 - C – 3) Vehículos pesados

1. Camiones sin remolque
2. Camiones articulados o con remolque
3. Autocares

La inmensa mayoría de los vehículos son de tracción mecánica, ya que los de tracción animal han desaparecido prácticamente de las carreteras y calles españolas, mientras que las bicicletas sin motor sólo se utilizan ocasionalmente en zonas urbanas o suburbanas.

Entre los vehículos de tracción mecánica, los de dos ruedas (ciclomotores y motocicletas) contribuyen en una proporción reducida al tráfico total. Son más frecuentes en zonas urbanas donde predominan los ciclomotores y motos de pequeña cilindrada, mientras que fuera de poblado se emplean motocicletas de gran potencia que se mueven a velocidades similares a las de los coches. El principal problema que plantean estos vehículos es el de la seguridad, especialmente por la escasa protección que tienen sus ocupantes.

Los vehículos más numerosos son los coches, destinados al transporte de viajeros (normalmente con capacidad para cuatro o cinco pasajeros). Suelen ser los que definen el trazado de las carreteras por su mayor velocidad. Les siguen en importancia los vehículos destinados al transporte de mercancías, entre los que hay tipos muy diferentes: desde las pequeñas furgonetas semejantes a los coches, que realizan transportes a corta distancia en zonas urbanas o suburbanas, hasta los grandes camiones que se emplean en los transportes a larga distancia. Entre éstos pueden distinguirse los camiones rígidos con 2, 3 o 4 ejes; los vehículos articulados formados por un vehículo tractor y un semirremolque (que precisa apoyarse sobre el tractor al carecer de eje delantero), y los tres de carretera formados por un camión rígido que arrastra uno o dos remolques. Estos grandes vehículos tienen mucha importancia al considerar los esfuerzos a los que están sometidos los firmes o paquetes estructurales y las obras de fábrica como ser adoquines. Los autobuses y autocares destinados al transporte de viajeros tienen dimensiones similares a las de los grandes camiones, pero su peso total suele ser menor y pueden viajar a mayores velocidades.

2.3.2 Vehículo Tipo.- Dada la gran diversidad de características de los vehículos, para el proyecto de una carretera o de sus elementos auxiliares es necesario elegir unos vehículos tipo, a los que se considera representativos del conjunto de usuarios de la vía. Se eligen estos vehículos de modo que si los elementos de la vía son adecuados para ellos, lo sean también para la inmensa mayoría de los de su clase. Sus dimensiones, radios de giro, etc., son superadas únicamente por una pequeña proporción de vehículos de su grupo. Habitualmente, suelen elegirse como vehículos tipo un coche de tamaño grande, un camión rígido o un autobús y un vehículo articulado.

Normalmente los vehículos más grandes exigen mayor espacio y encarecen la construcción de las carreteras. En las zonas residenciales será suficiente utilizar el coche tipo, ya que el número de camiones que utilicen las calles será muy reducido. En carreteras será necesario considerar los camiones. En carreteras locales será suficiente con tener en cuenta el vehículo comercial rígido, ya que los grandes vehículos articulados utilizan poco estos caminos. Por el contrario, en los itinerarios principales y en autopistas será preciso tener en cuenta los vehículos articulados de mayores dimensiones. En algunas situaciones, tener en cuenta únicamente los vehículos tipo puede representar un dimensionamiento excesivo, que luego no se aprovecha completamente. Un ejemplo típico son las áreas de estacionamiento, donde si se dimensionan todas las celdas para los vehículos mayores, quedará una gran cantidad de espacio desaprovechado. En casos como éstos interesará estudiar detalladamente la distribución de las características de los vehículos que utilizarán las instalaciones, para dimensionarlas de forma eficiente.

2.4 CARACTERÍSTICAS DE LA CIRCULACIÓN.

El estudio de la circulación tiene como objetivo el conocimiento del comportamiento de la circulación de vehículos por la red viaria, tanto como en el aspecto general del fenómeno como en el particular de la circulación en un determinado tramo, segmento o intersección. Conociendo las causas y los efectos del fenómeno observado se pueden predecir efectos futuros e intervenir en la medida de las posibilidades en la infraestructura, los usuarios o los vehículos.

En la práctica de la explotación de las redes viarias, los ingenieros han tenido que solucionar los problemas que se presentaban con los instrumentos que en cada caso disponía, que habitualmente eran modelos de tipo empírico.

2.4.1 Principales Características de la Circulación.-

2.4.1.1 Intensidad.- Se llama intensidad de tráfico al número de vehículos que pasa a través de una sección fija de una carretera por una unidad de tiempo. Las unidades más usadas son vehículos /hora y vehículos /día. Cuando se emplea como unidad los vehículos/hora se habla de intensidad horaria, y cuando se utilizan los vehículos/día se habla de intensidad diaria. La intensidad es la característica más importante de la circulación vial ya que las demás pueden relacionarse con ella más o menos fácilmente. Proporciona una descripción muy intuitiva del comportamiento del tráfico en cada momento y además, al haber sido la variable más utilizada por la ingeniería del tráfico, existe una gran cantidad de datos y estudios de la misma.

2.4.1.2 Volumen.-

Es el número total de vehículos que pasa por un punto o sección transversal o por un tramo de un carril o carretera durante un intervalo de tiempo dado; los volúmenes pueden expresarse en términos anuales, diarios, horarios o en periodos inferiores de una hora.

El volumen y la intensidad son dos variables utilizadas para cuantificar la demanda, esto se refiere al número de viajeros o conductores (normalmente expresado como número de vehículos) que desean usar una infraestructura viaria dada durante un periodo específico. La congestión influye los patrones de demanda, y los volúmenes observados son a veces más un reflejo de las restricciones de la capacidad que la demanda real.

Es importante la distinción entre volumen e intensidad. El primero es un número real de vehículos observados, o previstos, que pasan o van a pasar por un perfil transversal durante un intervalo de tiempo. La intensidad representa el número de vehículos que pasan por una sección durante un intervalo de tiempo inferior a una hora, pero expresado como una tasa

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

La variación del volumen con respecto al tiempo ha dado origen a otros parámetros como:

- a. Tránsito promedio diario o TPD
- b. Tránsito promedio horario o TPH.
- c. Volumen directriz
- d. Composición vehicular
- e. Flujo direccional

Para un mayor conocimiento del tema, definiremos los mismos solamente orientados a las infraestructuras viarias en estudio, que son las carreteras.

a) Tránsito Promedio Diario (TPD).- Se entiende por tránsito promedio diario a la cantidad de vehículos que circulan por una carretera en un periodo de tiempo de 24 horas. Este parámetro es un valor indicativo muy importante de la intensidad del volumen de tráfico, sin embargo no muestra las variaciones en tiempos más cortos, por lo que su utilización no es recomendable en diseño. Si los aforos corresponden a todos los días de un año, suele conocerse al valor promedio como tránsito promedio diario anual o TPDA.

b) Tránsito Promedio horario (TPH).- Es la cantidad de vehículos que circulan por una sección de una carretera en un periodo de tiempo de una hora a diferencia del TPD el TPH nos permite conocer las variaciones del volumen en tiempos cortos de una hora que muestran más claramente la intensidad del tráfico y sus variaciones.

Si no es posible realizar aforamientos del TPH, de acuerdo a varios estudios en calles y carreteras se podría considerar que el TPH está entre el 12% al 15% del TPD. Si el TPH ha sido aforado en todas las horas correspondientes a los 365 días del año, se puede considerar a ese valor como TPHA. Tampoco es aplicable para fines de diseño este parámetro, ya que de aplicarse se tomaría el TPH máximo considerado a éste como el

más desfavorable, pero debido a que este valor máximo, se presenta en muy pocas horas dentro del registro anual, esto implicaría un sobre dimensionamiento, por ello se establece otro parámetro para fines de diseño denominado Volumen Directriz.

c) Volumen Directriz.- Es un parámetro que refleja la cantidad de vehículos por hora que circula normalmente por la sección de una carretera. Este parámetro no es medible directamente, si no que se establece por definición que es valor trigésimo de un ordenamiento descendente de los volúmenes horarios máximos correspondientes a los 365 días del año.

d) Composición del Volumen.- Con el fin de diseñar o planificar la circulación vehicular en carreteras no sólo interesa la cantidad de vehículos que circulan por la carretera, sino la composición de esa cantidad, de tal manera se ha visto por conveniente clasificar el tráfico que circula en:

TABLA 2.1

CLASIFICACIÓN CONVENCIONAL DE TIPOS DE VEHÍCULOS

PESADOS	MEDIANOS	LIVIANOS	OTROS
Camiones	Automóviles	Automóviles	Motocicletas
Autobuses	medianos	livianos	Bicicletas

Clasificación del tráfico según su composición vehicular.

Además de clasificarlos más o menos por sus dimensiones y magnitud de peso a la cual correspondería la anterior clasificación, se puede clasificar por el tipo de transporte, de circulación, etc.

e) Flujo Direccional.- Se considera al flujo direccional como la ruta marcada por los volúmenes promedios máximos horarios dentro de una red de carreteras.

Establecer los flujos más importantes es fundamental, debido a que potencialmente se dan dentro de ese flujo las posibilidades de que estén la mayor cantidad de problemas de tráfico donde haya que plantear soluciones.

2.5. ESTUDIOS DE TRÁFICO.

Para conocer las características del tráfico es necesario realizar medidas y estudios en las carreteras existentes. Los datos obtenidos se utilizan como base para el planeamiento y explotación de las redes viarias, la aplicación de regulaciones del tráfico y la investigación de los efectos de los diferentes elementos de la carretera en la circulación de vehículos. Existen técnicas para la realización de estos estudios que, basándose en experiencias anteriores, permiten la obtención de datos suficientemente seguros con un costo mínimo. Estas técnicas y métodos de estudio dependen de la clase de datos que se desee obtener y de la extensión y precisión con que haya de realizarse el estudio. Las principales características del tráfico que suelen estudiarse son: las intensidades de circulación, las velocidades y los tiempos de recorrido de los vehículos, el origen, destino y objeto de los viajes, los accidentes, etc.

Entre los que se emplean con mayor generalidad destacan los correspondientes a las intensidades de circulación.

2.5.1. Objetivo.- El dato básico para la realización de cualquier estudio de planeamiento, proyecto y explotación de redes viarias es la intensidad de circulación. Para conocerla es necesario contar o aforar el número de vehículos que pasan por determinadas secciones de la red.

Esta operación puede realizarse manualmente o por medio de aparatos especiales, y puede hacerse clasificando más o menos detalladamente los tipos de vehículos que circulan. La precisión y el costo del estudio dependerán del número de secciones en que se realicen los aforos y de la duración de los mismos. Por consiguiente será necesario estudiar:

- Los medios de que se dispone para realizar los aforos.
- Los métodos para elegir las secciones donde aforar y la duración de los aforos.

- Los procedimientos para la obtención de los datos necesarios a partir de los resultados de los aforos.

2.5.2. Procedimientos de aforo.- La intensidad del tráfico en una sección puede medirse manualmente situando un observador que cuente todos los vehículos que pasan por ella durante un período determinado. Para facilitar la tarea se utilizan generalmente unos impresos preparados con la clasificación de los vehículos que interesa contar. Para realizar más cómodamente el aforo pueden utilizarse contadores manuales que el operador acciona cada vez que pasa un vehículo. Se suelen disponer varios contadores en una especie de bandeja, correspondiendo cada contador a una de las categorías de vehículos que interesa contar.

Los aforos manuales tienen la ventaja de que permiten distinguir entre distintos tipos de vehículo, lo que puede resultar imposible con aparatos automáticos, y con personal bien entrenado su exactitud es superior. El inconveniente principal es su alto costo, que hace normalmente imposible su utilización en conteos de duración superior a las 24 horas. Por ello, este tipo de aforos se emplea como complemento a los aforos automáticos para obtener informaciones que de otra forma sería imposible obtener, como la clasificación detallada de los vehículos los distintos movimientos de giro en nudos viarios. También se utilizan en aforos de corta duración (una hora o menos), en los que no merecería la pena instalar aparatos automáticos.

La mayor parte de los aforos en carreteras y calles se realizan de forma automática empleando unos aparatos que son capaces de detectar el paso de los vehículos, contar el número de paso detectados y registrar el número de pasos contados en un período de tiempo. En las estaciones de aforos que se instalan de forma permanente en un punto, se utilizan detectores que no se deterioran con el paso de los vehículos. Existen diferentes tipos, pero los más utilizados son los detectores de lazo o bucle de inducción magnética, que consisten en un cable enterrado en el pavimento formando un lazo por el que circula corriente eléctrica. Al pasar sobre el lazo la masa metálica del vehículo, se produce un cambio en las características de la corriente eléctrica que acciona el contador, y los

resultados se almacenan periódicamente en soportes magnéticos, o se envían por vía telefónica o por radio a un centro encargado de la elaboración de los aforos.

Cuando se realizan aforos ocasionales en instalaciones provisionales se emplean detectores que puedan colocarse fácilmente sobre la calzada. Es muy corriente el uso de un tubo de goma cerrado por un extremo y colocado transversalmente sobre la calzada. Cuando pasan sobre él las ruedas de los vehículos aumenta la presión de aire en su interior, lo que hace que se cierre un contacto eléctrico, que acciona el dispositivo contador. Actualmente se emplean como detectores unas pastillas colocadas sobre la calzada, que contienen un pequeño detector de lazo que detecta el paso de los vehículos y envía la señal al aparato contador. Este sistema es más costoso que el tubo de goma, pero tiene menos averías y resiste mejor el paso de los vehículos, ya que la mayor parte de ellos no pisa la pastilla. En el contador se registra en un soporte magnético el número de vehículos detectados desde que se realizó el último registro. Con estos aparatos basta retirar los soportes magnéticos con cierta periodicidad para obtener la información deseada.

Los aparatos que emplean detectores de lazo no sólo pueden contar el número total de vehículos que pasan, sino que pueden clasificarlos por su longitud y número de ejes, y empleando dos lazos próximos pueden medir las velocidades de los vehículos.

2.5.2.1 Contadores automático de vehículos.- Son aparatos utilizados para realizar el aforo automático de vehículos y también para accionar los semáforos, conseguir un sistema de control electrónico del tráfico en un cruce comprobar barreras de peaje, etc. , pueden ser de diferentes tipos:

- Neumáticos
- De presión
- Electromagnéticos
- Electrónicos :De radar, ultrasónicos o infrarrojos
- Fotoeléctricos

2.5.2.2 Planes de aforo en redes viarias.- Para conocer el tráfico que circula por las distintas carreteras de una red es necesario elegir las secciones donde se han de realizar los

aforos, de forma que estén representadas todas las vías de la red. Para determinar las intensidades con cierta exactitud es necesario realizar los aforos durante un tiempo suficiente para registrar las variaciones de tráfico, aunque por otra parte conviene reducir la duración de estos aforos para disminuir el costo del plan de aforos. Por consiguiente, interesa organizar los aforos de forma que se pueda aprovechar la información obtenida en unas secciones para estimar los datos de otras. Para ello se realizan unos aforos más completos en algunas secciones escogidas, y de ellos se deducen las leyes de variación de la circulación, que luego se aplican a los resultados de aforos de corta duración obtenidos en otras secciones.

Casi todas las administraciones de carreteras realizan periódicamente campañas de aforos para conocer la evolución del tráfico en toda la red. Para escoger los puntos de aforo y la duración de los aforos se siguen unas normas parecidas en todas ellas. Además de conocer el número total de vehículos, se suele tratar de conocer también su composición según tipos de vehículos.

Empleando detectores de lazo pueden clasificarse los vehículos en ligeros y pesados, pero si se desea una clasificación más detallada hay que realizar recuentos manuales. Suele ser suficiente con realizar aforos clasificatorios durante algunos días al año (por ejemplo, 6 días laborables y 6 festivos).

El detector de lazo es un dispositivo constituido por un lazo que se empotra en el pavimento, conectado a un amplificador y que detecta la variación de inductancia que se produce cuando pasa un vehículo por encima del mismo. Normalmente se conecta a un contador de vehículos.

En zonas urbanas se establecen estaciones en distintas calles. El número de aforos realizados es mayor en las calles que forman la red arterial, que soportan la mayor parte del tráfico, que en las calles de tráfico local. Se suelen establecer estaciones a lo largo de líneas que limitan zonas importantes de la ciudad, por ejemplo, alrededor del centro urbano.

2.5.2.3 Selección de estaciones y programación de aforos.- Las estaciones se clasifican según la duración de las medidas que se realizan en ellas en:

1. **Estaciones permanentes.**- Son estaciones en las que se realizan un aforo continuo por medio de un contador automático. De esta forma se conoce la intensidad del tráfico de todas las horas del año. Estas estaciones permiten un conocimiento de las variaciones típicas del tráfico (estacionales, semanales y diarias), y de la frecuencia de las intensidades horarias a lo largo del año, así como la obtención de las tendencias del tráfico a largo plazo. Interesa disponer un cierto número de estaciones permanentes para registrar estas características en todos los tipos de carretera representativos de la red, ya que los datos obtenidos sirven para deducir las características del tráfico en otras secciones. El número total de estaciones depende de las características de la red de carreteras y de las disponibilidades económicas.

2. **Estaciones de control.**- Tienen por objeto conocer las variaciones diarias, semanales y estacionales para establecer unas leyes que puedan aplicarse a un grupo de estaciones similares o afines. Se pueden distinguir dos tipos de estaciones de control:
 - a) **Primarias.**- En ellas se obtiene información sobre las variaciones diarias, semanales y estacionales. Normalmente se recomienda realizar aforos continuos, como mínimo, durante un período de 4 días que incluya dos días laborables, un sábado y un domingo, y repetir estos aforos cada mes o cada dos meses. Sería preferible realizar un aforo continuo de una semana de duración cada mes, si los recursos disponibles lo permiten.

 - b) **Secundarias.**- En ellas se miden las variaciones diarias y estacionales de forma menos completa. En este caso suele aforarse, como mínimo, un día laborable completo cada dos meses, y sería preferible aforar dos días laborables.

3. **Estaciones de cobertura.** En este tipo de estación se realiza, como mínimo, un aforo anual, durante 16 horas (de 6h a 22h), generalmente en primavera u otoño, ya que en estas épocas la intensidad de tráfico es similar a la media anual. Sería

preferible realizar aforos de 24 horas dos días al año (uno en primavera y otro en otoño) para mejorar la precisión de las estimaciones obtenidas. Para conseguir una buena estimación de las intensidades en toda la red, se debe colocar una estación de cobertura por cada tramo de carretera en el que se pueda suponer que se conserva constante la intensidad del tráfico, normalmente tramos entre intersecciones sucesivas.

Para conseguir una información adecuada del tráfico en una red interurbana se necesita colocar una estación cada 5 Km en la red primaria o arterial, mientras que en redes de segundo orden puede ser suficiente con una estación cada 10 Km. Del 2 al 5 por 100 de las estaciones suelen ser estaciones permanentes, y del 15 al 20 por 100 estaciones de control.

En zonas urbanas se emplean también estaciones de control y de cobertura, de forma que al menos haya una estación en cada calle, utilizando un número mayor en las vías de la red arterial (una estación en cada tramo entre intersecciones). El número de estaciones en una ciudad suele ser elevado, aunque la duración y frecuencia de los aforos suelen ser menores que en carreteras.

2.5.2.4 Elaboración y presentación de resultados.- Los datos obtenidos de los aforos son resumidos y presentados en planillas y almacenados en soportes digitales para ser procesados incluyendo la información de otros aforos, que afinan el ajuste de algún modelo de tráfico adoptado.

2.5.2.5 Utilización de los datos de aforo.- Los datos obtenidos en los planes de aforo se utilizan en el proyecto de las actuaciones que se hayan de efectuar en las carreteras. Es necesario disponer de los resultados de los planes de aforo en una forma que facilite su utilización. Una forma de presentación muy utilizada es la de los denominados mapas de tráfico, que consisten en una representación esquemática de la red de carreteras (nacional, regional, municipal, etc.), en la que las distintas vías aparecen representadas con grosores de línea y colores que indican la magnitud de la IMD que circula por ellas. Esta

representación gráfica permite darse una idea clara de la distribución del tráfico en la red, y localizar los tramos en los que pueden presentarse problemas de congestión a corto plazo.

Junto a estos mapas se publican los resultados obtenidos en todas las estaciones de aforo, incluyendo la IMD y la composición del tráfico (al menos proporciones de ligeros y pesados). Además se publican las variaciones estacionales, semanales y diarias de la IMD obtenidas en las estaciones permanentes y de control, y las frecuencias de las intensidades horarias registradas durante todo el año en las estaciones permanentes. Finalmente, la comparación de los resultados de años sucesivos permite analizar la evolución del tráfico.

Un dato esencial es la IMD en el tramo de carretera que se esté estudiando. Muchas veces este dato puede obtenerse directamente de los resultados del Plan de aforos, por existir estaciones en el tramo en estudio. Pero en ocasiones no existen, o no son representativas. En estos casos se realizan aforos de corta duración (por ejemplo, un día durante 16 horas) y se estima la IMD a partir de esos aforos. Para prever el tráfico dentro de unos años se parte de la tendencia registrada en los aforos de los últimos años, para extrapolarla hacia el futuro. Para dimensionar los elementos de la carretera no basta con conocer la IMD, sino que se precisa saber el tráfico en las horas punta, que puede estimarse si se conoce la distribución de las frecuencias horarias obtenida en una estación permanente afín a la estudiada.

2.5.3 Densidad del Tráfico.- Se denomina densidad del tráfico al número de vehículos que hay por unidad de longitud sobre una carretera. Se puede medir, por ejemplo, obteniendo una fotografía de un tramo de carretera y contando los vehículos que hay en él. Pero realmente esta magnitud rara vez se mide directamente, ya que es posible calcularla fácilmente a partir de medidas de velocidad e intensidad.

Evidentemente existe un valor máximo de la densidad del tráfico, que se obtiene cuando todos los vehículos están parados en fila, sin huecos entre ellos. Esta densidad máxima será igual al producto de la inversa de la longitud media de los vehículos por el número de carriles. En estas condiciones, a los vehículos les resultarán imposible moverse incluso a pequeña velocidad sin chocar unos con otros.

La densidad del tráfico influye de forma directa en la calidad de la circulación, ya que al aumentar la densidad resulta más difícil mantener la velocidad que el conductor desea, y éste se ve obligado a realizar un mayor número de maniobras (cambios de carril, aceleraciones y frenados), lo que hace la conducción más incómoda. Si la densidad se acerca a su valor máximo, se circula muy lentamente con frecuentes paradas arranques. Por ello, la densidad se utiliza como variable definitoria del nivel de calidad de la circulación en una vía, al estudiar el nivel de servicio en ella.

La distancia media entre vehículos sucesivos (medida de parachoques delantero a parachoques delantero) es igual a la inversa de la densidad. Las separaciones entre vehículos sucesivos tienen distribuciones de frecuencias similares a la que se mencionaron al considerar los intervalos entre pasos sucesivos de vehículos.

Relacionada con la densidad está la ocupación, que puede definirse como la relación entre la longitud ocupada por vehículos en un momento dado y la longitud total de los carriles disponibles. Por tanto, su valor sería igual a la densidad por longitud media de los vehículos (medidas ambas en magnitudes homogéneas). La ocupación es también igual a la intensidad por el tiempo medio que tardan los vehículos en pasar por una sección transversal de la carretera. Por tanto, se puede medir la ocupación sumando los tiempos que tardan en atravesar una sección todos los vehículos que pasan durante una unidad de tiempo.

2.5.3.1 Relaciones entre magnitudes de tráfico.- Entre las principales características de la circulación estudiadas existen relaciones que permiten deducir de ellas a partir de las demás. Algunas de estas relaciones se deducen de su propia definición, mientras que otras se han obtenido de forma empírica a partir de numerosos datos recogidos en estudios reales. Estas relaciones son muy utilizadas en estudios de tráfico. Así, cuando se proyecta una nueva carretera o se estudia el acondicionamiento de una existente, por la que se prevé que se registrará un cierta intensidad de tráfico, se podrá estimar la velocidad de los vehículos en esas condiciones si se conoce la “Relación Velocidad/Intensidad“ en una carretera de características análogas.

En lo que sigue se supone que los vehículos se mueven a lo largo de un tramo de carretera, sin interrupciones a la circulación. Por consiguiente, si los vehículos llegan a detenerse, será debido a las propias circunstancias del tráfico y no a medidas exteriores como pueden ser las indicaciones de un semáforo o de una señal.

Relación básica entre las tres magnitudes

Al estudiar las distribuciones de velocidad se obtuvo la relación básica entre las tres magnitudes, intensidad, velocidad y densidad:

$$I = V_e * D$$

Siendo:

I : Intensidad del tráfico

D : Densidad del tráfico

V_e : Velocidad media de la distribución espacial

Esta relación se obtiene por consideraciones racionales, y es válida en todas las circunstancias. Por tanto, conocidas dos de las magnitudes, la otra está totalmente determinada. Para poder estimar las otras dos magnitudes cuando se conoce una sola, se precisa una relación adicional, que se obtiene a partir de observaciones empíricas.

2.5.3.2 Influencia de la densidad en la velocidad

Basándose en unas consideraciones sencillas, es fácil ver qué tipo de relación puede existir entre la velocidad media de los vehículos y la densidad del tráfico.

- Si la densidad fuera pequeña, los pocos vehículos que estuvieran en la carretera podrían circular muy separados y llevar la velocidad que quisieran sus conductores, sin que ningún otro les interfiriera. En estas condiciones, la velocidad de los vehículos podría ser tan alta como lo permitieran las características de la carretera y del propio vehículo.

- Con densidades mayores los conductores tendrían más dificultades para mantener la velocidad deseada, porque encontrarían con cierta frecuencia delante de ellos vehículos más lentos que les impedirían mantener su velocidad. Por tanto, al aumentar la densidad del tráfico la velocidad media disminuye.
- En el límite, cuando se alcance la densidad máxima (es decir, cuando la carretera esté totalmente ocupada por vehículos, parachoques contra parachoques), será absolutamente imposible mover un vehículo sin chocar con el que le precede, y la velocidad de todos los vehículos será igual a cero.

La velocidad media resulta así una función de la densidad que alcanza un valor máximo cuando la densidad es nula, se mantiene casi constante mientras la densidad es baja y disminuye rápidamente al aumentar la densidad, hasta llegar a anularse cuando la densidad de tráfico alcanza su valor máximo.

Esta función variará de unas carreteras a otras, pero indudablemente la influencia del tipo de carretera será mayor cuando la densidad sea baja; en estas condiciones ya se vio que la velocidad no depende de los demás vehículos, sino de las características de la carretera. Por el contrario, cuando la densidad es alta, los conductores deben preocuparse principalmente de los vehículos que les preceden por lo que la velocidad depende más de las condiciones del tráfico que de las de la carretera. Si se representa la variación de la velocidad media en función de la densidad del tráfico (midiéndola en vehículos por Km y carril, para evitar la influencia de la anchura de la carretera), en las que las mayores variaciones entre tipos de carretera se producen en las zonas de baja densidad.

2.5.3.3 Relación Básica entre Intensidad, velocidad.

Esta relación es mucho más sencilla de obtener en la práctica, ya que es más fácil medir velocidades e intensidades que densidades. Además, la intensidad es una magnitud que define la demanda de tráfico en la carretera, y es por tanto un dato básico, mientras que la velocidad media define la calidad de la circulación, al influir en el costo total del recorrido. Frecuentemente, el problema será deducir las condiciones de tráfico (que pueden definirse por la velocidad), conociendo la demanda de tráfico (definida por la intensidad). Esto hace

que las relaciones velocidad-intensidad tengan una gran importancia práctica, y que hayan sido objeto de numerosos estudios empíricos.

2.5.3.4 Velocidad.- Mientras que los volúmenes de tráfico proporcionan un método para cuantificar valores de capacidad, la velocidad (o su recíproco, el tiempo de recorrido) es una medida importante de la calidad del servicio proporcionado al motorista. Se utiliza como una medida de eficacia importante que define los niveles de servicio en muchos tipos de vías.

La velocidad se define como la tasa de movimiento expresada como distancia por unidad de tiempo, generalmente como kilómetros a la hora (Km/h). Se debe utilizar algún valor representativo para caracterizar la velocidad en un corriente de tráfico, porque generalmente se puede observar una amplia distribución de velocidades individuales dentro de dicha corriente.

Generalmente se suele usar la Velocidad Media de Recorrido, esta medida se utiliza porque es fácil de calcular partiendo de las observaciones de vehículos individuales dentro de la corriente y porque es la media estadísticamente más relevante en las relaciones con otras variables. Existen diferentes velocidades de circulación como ser:

- a) Velocidad de Punto.
- b) Velocidad de Recorrido Total.
- c) Velocidad de Crucero.
- d) Velocidad de Circulación Media.
- e) Velocidad de Directriz.

a) Velocidad de Punto.- La velocidad de punto es aquella velocidad que es considerada como flujo libre, se toma en cuenta el movimiento del vehículo de forma que esté libre en velocidades, maniobras y operaciones. Si bien es una velocidad un tanto ideal, sirve como un parámetro referencial para ver el comportamiento de las velocidades en diferentes condiciones de circulación.

La velocidad de punto se determina en secciones de carreteras cuyas distancias estén definidas entre 25, 50, 75 o 100 metros, determinando el tiempo que tarda en recorrer esa distancia definida, obteniéndose así la velocidad de punto.

Para medir o aforar la velocidad de punto se pueden usar diferentes métodos, entre ellos tenemos los métodos del cronómetro, enoscopio y el radar métrico. El método más sencillo y económico es el del cronómetro, además de ser el que más se usa en nuestro medio con mayor frecuencia, este método consiste en medir el tiempo que tarda un vehículo en recorrer una distancia definida en la carretera y determina la velocidad como relación de distancias sobre ese tiempo.

Normalmente se utilizan dos observadores, uno al inicio de la sección y otro al final de la sección, el primero deberá dar la señal inicial para que el segundo observador active el cronómetro hasta que el vehículo llegue a la sección final.

El recuento de la velocidad de punto para estudios de velocidad se debe realizar en tres horas pico del día, tres días diferentes de la semana y en tres épocas del año. En cada hora de observación dada la diversidad de vehículos que pueden circular en esa hora, se establece como metodología que cada 5 vehículos que pasan se haga el respectivo aforamiento.

b) Velocidad de Recorrido Total.- Es otra forma de medir la velocidad de circulación total en carreteras, cuya particularidad es que en esta velocidad se toma la medición de un tramo relativamente largo, donde los vehículos no tengan movimiento de flujo libre, por lo tanto existirán tiempos de circulación y tiempos de demora. Al ser una carretera de dos carriles de flujo continuo, no es recomendable este tipo de análisis en la circulación.

c) Velocidad de Crucero.- Es una velocidad establecida para determinar una velocidad neta de circulación en flujos interrumpidos, la que no es aplicable a carreteras de dos carriles.

d) Velocidad de Circulación Media.- Ninguna de las velocidades anteriores en forma aislada nos sirve como velocidad de diseño, por ello es que se usa el promedio de las velocidades de punto registradas en un tiempo determinado, ese valor lo consideramos como valor de diseño.

f) **Velocidad Directriz.-** Esta velocidad está ligada con el dimensionamiento geométrico de las carreteras, es decir, que se establece un valor medio entre todas las velocidades de circulación que se establece para el dimensionamiento geométrico.

CAPÍTULO III

TEORÍAS DE SEGUIMIENTO DE VEHÍCULOS

3.1. TEORÍAS DE SEGUIMIENTO DE VEHÍCULOS

Para mejor comprensión de las teorías seguidamente expuestas se presenta el siguiente esquema:

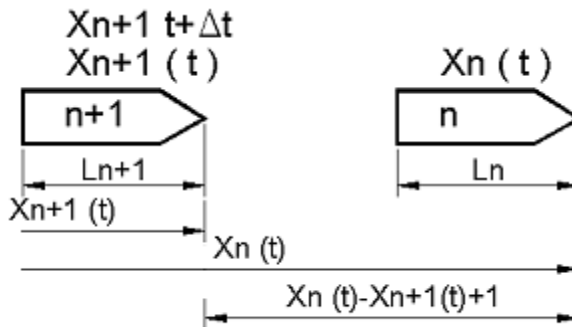


Figura 3.1 Esquema de la teoría de seguimiento de vehículos

Simbología:

- n = Vehículo líder
- $n+1$ = vehículo en seguimiento
- L_n = longitud del vehículo líder
- L_{n+1} = longitud del vehículo en seguimiento
- X_n = Posición del vehículo líder
- X_{n+1} = Posición del vehículo en seguimiento
- $X_n(t)$ = Velocidad del vehículo líder
- $X_{n+1}(t)$ = Velocidad del vehículo en seguimiento
- $X_{n+1}(t+\Delta t)$ = Aceleración del vehículo en seguimiento
- (t) = Un instante determinado
- $A(t)$ = Tiempo de reacción

El tiempo entre la cola del vehículo líder y el frente del vehículo en seguimiento debería ser siempre igual o más grande que el tiempo de reacción.

3.2 TEORÍA DE PIPES

Indica que la mínima separación segura aumenta con la velocidad.

Según regla de conducción en California:

$$be = L * m / (10 \text{ (millas/h)}) = L * m / (16 \text{ (km/h)})$$

Según Pipes : $d_{\min} = L (m/16) + L$

$$d_{\min} = 0,375 m + 6$$

Dónde: d_{\min} = Separación mínima (m)

m = Velocidad del seguidor (km/h)

L = Longitud del vehículo líder (m)

Como : $h_{\min} = d_{\min} / (m/3,6)$

h_{\min} = intervalo mínimo (s) y para esta tesis se adopta por convención como t_{\min}

$$t_{\min} = 1,36 + 21,6/m$$

3.3 TEORÍA DE FORBES

Tiempo de percepción y reacción (TPR) para frenar o acelerar:

$$t_{\min} = \text{TPR} + L / (m/3,6)$$

Dónde:

t_{\min} = Intervalo Mínimo (s)

m = Velocidad del seguidor (km/h)

$L = 6$ asumido por Forbes

TPR: 1,5 s (asumido por Forbes)

$$t_{\min} = 1,5 + 21,6/m$$

$$d_{\min} = t_{\min} (m/3,6)$$

$$d_{\min} = 0,416 m + 6$$

$$d_{\min} = 0,416 m + 6$$

3.4 INTERVALO DE TIEMPO MÍNIMO

El intervalo de tiempo mínimo es el tiempo mínimo que deben tener los vehículos en seguimiento para poder transitar en pelotón con tranquilidad, y así poder evitar accidentes o malas maniobras cuando éstos se encuentren en tránsito.

Según Pipes:

$$t_{\min} = 1,36 + 21,6/m$$

Según Forbes:

$$t_{\min} = 1,5 + 21,6/m$$

Donde: t_{\min} = Intervalo Mínimo (s)
 m = Velocidad del seguidor (km/h)

3.5 TIEMPO DE PERCEPCIÓN Y REACCIÓN (TPR)

El tiempo de percepción y reacción es aquel tiempo que transcurre desde que el conductor recibe la información del riesgo o peligro hasta que inicia la respuesta de su conducido.

En reconstrucción de accidentes, la determinación de dicho tiempo es utilizada para estimar la posible distancia de frenado total (generalmente para determinar si el peligro pudo haber sido evitado bajo ciertas circunstancias) o para determinar si la respuesta del conductor a la situación de peligro fue la mejor posible bajo las condiciones existentes.

El tiempo de percepción y reacción está formado por diferentes etapas, para cuyo reconocimiento y relación con la reconstrucción de accidentes es conveniente identificar previamente una serie de puntos accidentológicos característicos.

Éstos deberán definirse mínimamente con una coordenada espacial sobre las trayectorias de los protagonistas y una temporal.

Ellos se muestran en la siguiente figura:

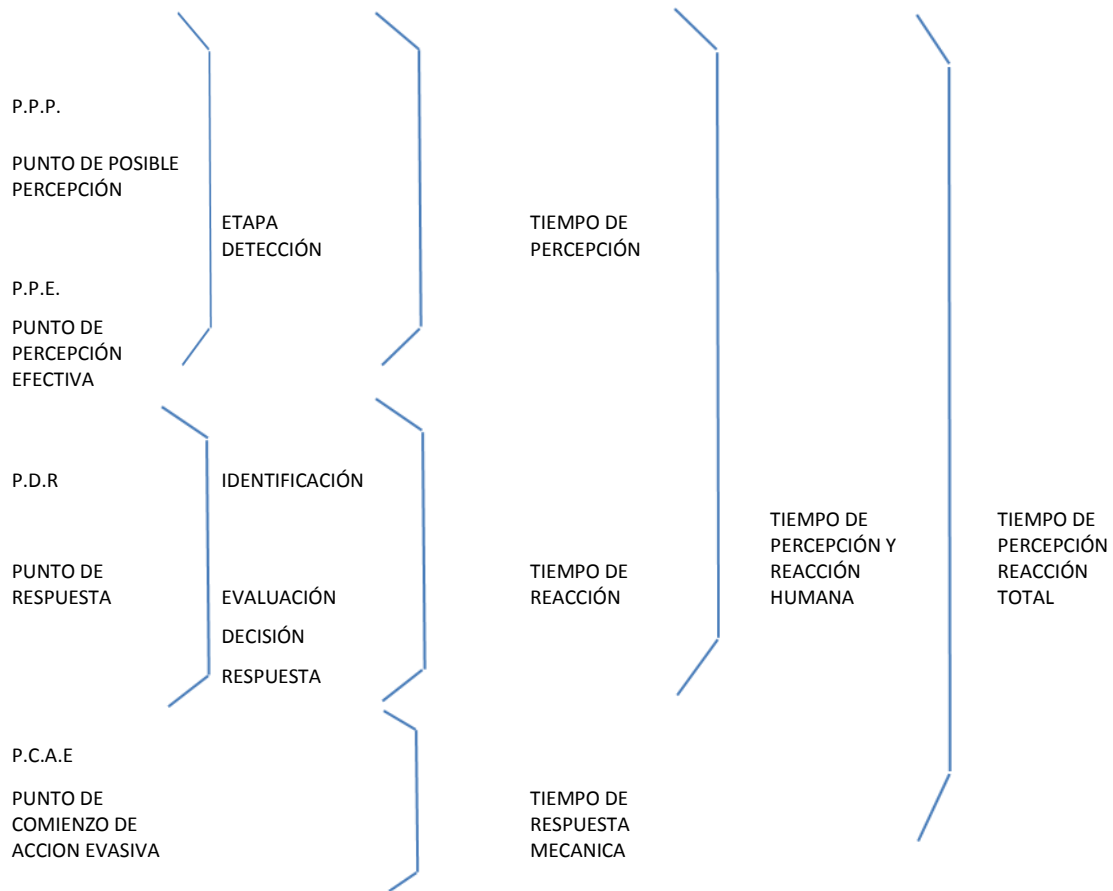


Figura 3.2 Esquema de etapas del tiempo de Percepción y Reacción

- **PPP:** Punto de Posible Percepción. Es aquel punto de la trayectoria desde el cual es posible, para toda persona habilitada para conducir, percibir el riesgo o peligro. Depende básicamente del entorno, visibilidad, topografía, etc. En este punto comienza la etapa de detección y con ella, comienza el tiempo de percepción y en consecuencia, el tiempo de percepción y reacción.
- **PPE:** Punto de Percepción Efectiva. Es el punto de la trayectoria en el cual efectivamente se advierte que algo ocurre. Marca el fin de la etapa de detección y fin del tiempo de percepción e indica el comienzo de la etapa de identificación, y con ella el comienzo del tiempo de reacción.

- PDR: Punto de Respuesta. Es el punto de la trayectoria donde se inician las acciones de respuesta tendiente a la evasión. Marca el fin del tiempo de percepción y reacción humana y comienzo del tiempo de respuesta mecánica.
- PCAE: Punto de Comienzo de Acción Evasiva: Es el punto en el cual el vehículo comienza a variar sus parámetros cinemáticos (frenando, acelerando, girando, etc.) Los parámetros modificables son: velocidad, dirección y aceleración. Marca el fin del tiempo de percepción y reacción total.
- PDI: Punto de Impacto. Es el punto en que se produce la interacción de las fuerzas entre dos cuerpos. Este punto puede ser considerado cuando se produce el contacto inicial, el máximo contacto o el último contacto (o punto de desenganche), los que presentan muy pequeñas diferencias. La práctica indica que, si bien el punto de impacto físicamente debiera determinarse cuando se produce el primer contacto, las infinitésimas fuerzas actuantes en ese momento no provocan efectos apreciables que puedan dejar huellas de utilidad para la reconstrucción, por lo que se aconseja tomar como punto de impacto el instante de máximo contacto.
- PDPF: Punto de Posición Final. Es el punto donde finaliza el movimiento (salvo casos excepcionales de fuga). Es por ello que se lo suele definir como el punto donde la situación dinámica del vehículo se ha estabilizado, habiendo ya ocurrido las consecuencias.
- PSS: Punto Sin Solución. Es el punto de la trayectoria, desde el cual la mejor percepción y las maniobras más adecuadas realizadas correctamente, no pueden impedir que el accidente ocurra. No depende de las aptitudes o actitudes del conductor, pues para su determinación se usan valores de tiempos de percepción y reacción medios y maniobras adecuadas, realizadas en tiempo apropiado en un vehículo apto para circular. Este punto accidentológico característico es de suma utilidad para la evaluación de la evitabilidad o inevitabilidad física de un accidente.

El tiempo de percepción y reacción total puede desagregarse entonces, en el tiempo de percepción, tiempo de reacción (la suma de estos dos términos da el tiempo de percepción – reacción humana) y tiempo de reacción mecánica.

El tiempo de percepción corresponde a la etapa de detección; coincide su comienzo con el comienzo del tiempo de percepción y reacción y finaliza cuando el conductor “focaliza” lo que ha detectado (fin del tiempo de percepción y comienzo del tiempo de reacción).

La duración de la detección depende de numerosos factores entre los que pueden citarse: capacidades sensoriales del protagonista, características del objeto de la detección, grado de atención del conductor, etc.

Un valor medio es del orden de 0,3 segundos.

Dentro del tiempo de reacción, se reconocen cuatro etapas:

- 1ra.- Identificación (identificación del riesgo o peligro, información sobre el mismo).
- 2da.-Evaluación o intelección (comprensión de la situación, interpretación del riesgo o peligro).
- 3ra.-Decisión o emoción (adopción de la maniobra más conveniente)
- 4ta.-Respuesta o volición (acción sobre los mandos del vehículo).

La identificación o percepción marca el comienzo del tiempo de reacción. Esta etapa finaliza cuando se ha recolectado la información necesaria y suficiente como para valorar el riesgo.

Su duración también depende de los mismos factores que intervienen en el tiempo de percepción, además de aquellos factores modificantes de las capacidades sensoriales del sujeto o conductor tales como cansancio, fatiga, alcoholemia, intoxicación, los que retardan el proceso mental de identificación.

Un valor medio de la duración de esta etapa es del orden de 0.3 segundos.

La evaluación comienza cuando finaliza la etapa anterior y termina cuando, una vez procesada la información se concluye se el riesgo es tal o no. Muchos errores en esta etapa de evaluación, son causas de accidentes.

Su duración aproximada es de 0.5 segundos.

La decisión comienza cuando finaliza la etapa anterior y termina al iniciarse la respuesta. En esta etapa se resuelve si es conveniente modificar la velocidad, o la dirección, o la aceleración, etc.

La duración de esta etapa depende de la complejidad, variedad y combinaciones de opciones que se presenten. En términos generales, los valores medios oscilan entre 0.5 y 1 segundo.

La respuesta, comienza cuando el cerebro envía la orden al grupo de músculos que corresponda y termina cuando los músculos comienzan a ejecutar la acción (por ejemplo, cuando los brazos inician el giro de volante, la extremidad inferior cambia la presión sobre el pedal del acelerador, etc.).

La duración media de esta etapa es de 0.2 segundo.

El tiempo de respuesta mecánica comienza al terminar la etapa de respuesta y finaliza cuando el vehículo empieza a modificar sus parámetros cinemáticos.

Su duración media es del orden de 0.5 segundo.

En el esquema de la figura 3.2 se han distinguido las diferentes etapas y componentes que determinan el tiempo de percepción y reacción total y su relación con los puntos accidentológicos característicos descrito anteriormente.

Cabe acotar que la suma directa de los tiempos indicados para cada etapa puede diferir del valor necesario para el tiempo de percepción y reacción, pues pueden presentarse superposiciones de tiempos o saltos de etapas, así como aumentos o disminuciones en los valores medios mencionados anteriormente.

3.6 DISTANCIA MÍNIMA DE SEGURIDAD.

Es la distancia mínima que deben respetar los vehículos en pelotón para poder transitar sin la ocurrencia de accidentes de tránsito, con esta distancia al conductor le da el suficiente tiempo para poder percibir, reaccionar y frenar.

SEGÚN PIPES:

$$d_{\min} = 0,375 m+6$$

SEGÚN FORBES:

$$d_{\min} = 0,416 m+6$$

Donde:

d_{\min} = Separación mínima (m)

m = Velocidad del seguidor (km/h)

3.7 ANÁLISIS DE APLICACIÓN.

En las formulas presentadas de Pipes y Forbes, la distancia varía linealmente respecto a la velocidad, y el tiempo varía inversamente con la velocidad, su aplicación no presenta mucha dificultad, ya que todos los datos necesarios para la aplicación de estas teorías las obtenemos mediante aforos que bien pueden ser manuales o computarizados (Utilización de Programas específicos).

CAPÍTULO IV

MUESTREO Y APLICACIÓN DE TEORÍAS



Figura 4.1 Fotografía aérea del tramo en estudio

4.1. CRITERIOS PARA LA UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

Para la determinación de la ubicación del tramo en estudio se consideraron algunas de las características físicas de los carriles ubicados al frente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (Ver Tabla N° 1.1, Figura 4.1 y plano tramo de estudio en planta en anexo), para facilitar la ubicación de cada tramo se consideró el orden en que cada puente de cada tramo intercepta a la corriente superficial de la Quebrada El Monte, por observación se determinó que en el tramo puente 3 y puente 2, no eran muy frecuentes la formación de pelotones, mientras que en el tramo puente 1 la formación de pelotones era superior, este presenta dos carriles y solo dos direcciones de circulación, se cuenta con 6 intersecciones dos extremas una de ellas semaforizada (Av. Los Membrillos y Calle España) y cuatro intermedias (Pasaje s/n, Pasaje J.M. Suarez, Calle Gral. Sossa y Calle Carlos Lazcano). Observando el fenómeno de cómo se forman los pelotones indicamos que para el tramo puente 1 ocurre lo siguiente:

- El flujo vehicular en sentido E-W es mayor que en el sentido contrario.

- Los vehículos forman pelotones al salir del puente 1 presentando velocidades que no son elevadas, teniéndose una distancia de aproximadamente 500 m antes, dentro de la cual ocurre como un acomodo de los vehículos y pareciese que se uniformizaran y disminuyen sus velocidades hasta unos 100 m antes de pasar el puente, respetando un vehículo que circula a menor a velocidad como líder por ejemplo un micro.
- Luego de pasar el puente algunos vehículos del pelotón realizan una maniobra de sobrepaso, en una distancia del orden de 100 m, incrementando la probabilidad de accidentes.
- Se observa también que no existen señalizaciones en el tramo de estudio, es decir, no se indica la velocidad máxima, distancia de seguridad mínima, no adelantamiento, precaución y otros. Situación que deja al conductor a tomar decisiones espontáneas y que pueden carecer de un buen criterio aumentando el riesgo de accidentes.
- La longitud elegida del Tramo de Prueba fue de 50 m, dentro del cual se evidencio pocas perturbaciones en la velocidad del pelotón, pese a maniobras de sobrepaso, paradas e ingresos de vehículos, este último fue incluido a propósito para poder determinar su influencia, la cual se verifico como no influyente.
- El tramo en estudio tiene una pendiente longitudinal del 0,85 % y se considera terreno llano.
- Velocidad de crucero varía entre 35 y 45 Km/h.
- Algunos otros criterios utilizados para determinar el punto de aforo fueron los siguientes:

La ubicación del punto de aforo debía presentar un sector típico del tramo en estudio.

El punto de aforo tenía que tener buena perspectiva de observación.

Existencia de salidas o accesos

- Las condiciones geométricas del tramo en estudio son:

Largo de Tramo en Estudio = 300m.

Largo de tramo de prueba (Medición o aforo) = 50 m

Número de trochas = 2

Dirección de trochas = (E – W).

Ancho de vía = 10 m.

Pendiente Longitudinal = -0.85 %

Pendiente de bombeo = 2 %

Ver en anexo: plano “Tramo de estudio en planta”

TABLA No 4.1
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS 3 CARRILES AVENIDA FRENTE A U.A.J.M.S.
UBICACIÓN: AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA

TRAMO	No CARRILES	DIRECCIONES	INTERSECCIONES		
			INICIO	INTERMEDIAS	FINAL
PTE1	2	2	1	4	1
PTE2	2	1	0	1	1
PTE3	3	1	1	1	1

TRAMO	No CARRILES	ELEMENTO EXTERNOS SEMAFORO INICIO	ELEMENTOS INDEPENDIENTES SEMAFORO FINAL	CANTIDAD VEH/HORA PROMEDIO	OBSERVACIONES
		PTE1	2	0	
PTE2	2	0	1		
PTE3	3	1	0		

Nota : Elaboración propia

TABLA No 4.2
CARACTERÍSTICAS DE LOS NIVELES DE SERVICIO DE UNA CARRETERA

TIPO	VELOCIDAD VEHICULO	OPORTUNIDADES ADELANTAMIENTO	FORMACION DE PELOTONES	PERTURBACIONES DIF VELOCIDAD
A	LIBRE >V	SI	NO	
B	BUENA >V	SI	NO	
C	DEPENDIENTE > ó = V	REDUCIDAS	SI	DISIPABLES
D	DEPENDIENTE REDUCIDA < V	DIFICIL	SI	INESTABLE
E	PROMEDIO < V	IMPOSIBLE	SI	SI
F	MUY BAJA	NINGUNA	SI	SI

TIPO	DENSIDAD DE TRAFICO	TIEMPO TOLERABLE	CAPACIDAD CARRETERA	DETENCION TRAFICO
A	MUY BAJA			
B	BAJA			
C	INTERMEDIAINFERIOR			
D	MEDIA	CORTO	750 Veh/h.	SI
E	INTERMEDIA SUPERIOR	MEDIO	ALCANZADA	SI
F	MAXIMA O ALTA	LARGO	SOBREPASADA	SI

Nota.- V = Velocidad de Proyecto.

Por las características producto del estudio de nuestro tramo, podemos indicar que el tramo tiene un nivel de servicio “D”.

4.2 PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL TRAMO EN ESTUDIO.

Las características principales de nuestro tramo las describiremos a continuación:

4.2.1 Velocidad del vehículo.-La velocidad promedio de los vehículos en el tramo en estudio es de 37 Km/h. Por lo que podemos decir que es una velocidad dependiente de las maniobras de otros vehículos denominados líderes cuando se circula en pelotón.

4.2.2 Oportunidades de Adelantamiento.- Las oportunidades de adelantamiento son difíciles ya que este tramo presenta dos carriles y dos direcciones de circulación y cualquier ocurrencia de adelantamiento puede derivar en un accidente que puede ser de consideraciones fatales.

4.2.3 Formación de Pelotones.- Es un tramo donde la formación de pelotones es evidente por las características físicas del mismo ya que en el inicio del mismo presenta un puente vehicular (denominado Puente 1), calles intermedias, y al final del tramo existe semáforos que de alguna manera detienen momentáneamente los vehículos provocando la formación de pelotones.

4.2.4 Perturbaciones ocasionan Diferentes Velocidades.- Podemos indicar que las velocidades de un mismo vehículo son diferentes a lo largo del tramo, ocasionando que se tengan velocidades desde 15 a 50 km/h, por las perturbaciones originadas en la formación de pelotones.

4.2.5 Densidad e Intensidad del tráfico.- El tramo en estudio tiene una densidad de 216 Veh/Km y la intensidad de 750 veh/h tomando en cuenta el número de vehículos y la longitud real de los mismos en una longitud aproximada de un kilómetro. Ver Tabla N° A-8 en anexo.

4.2.6 Tiempo Tolerable.- A pesar de que la formación de pelotones es inminente en el tramo, el tiempo tolerable es corto para los vehículos ya que de alguna manera los pelotones en formación se disipan rápidamente porque el tiempo en tramo conflictivo resulta ser relativamente corto.

4.2.7 Capacidad del tramo.

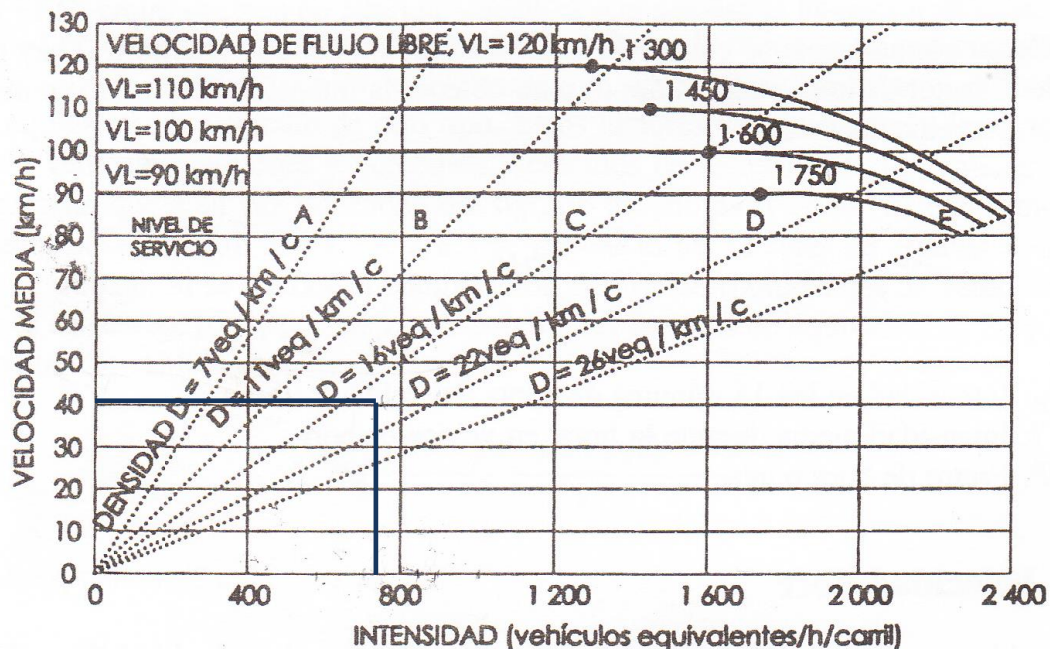


Figura 4.2

Característica de la Relación Velocidad – intensidad en tramos básicos de autopista

Observando la figura anterior Intensidad Vs. Velocidad Media según referencia bibliográfica 1, podemos indicar que el nivel de servicio obtenido (D) coincide con los datos del estudio.

4.2.8 Detención del Tráfico.- Es evidente que en el trayecto del tramo existe una detención del tráfico esto es debido a la presencia de factores como la existencia de un puente vehicular al inicio del tramo, calles intermedias, y la ubicación de semáforos al finalizar el tramo en estudio, todos estos factores anteriormente mencionados originan de alguna manera la detención del tráfico.

Las mismas no tienen divisiones, lo que ocasiona que algún vehículo pueda invadir la trocha vecina para realizar maniobras de sobrepaso, esta situación es común en el flujo vehicular de dicho tramo.

Sin embargo, también se observa que este tramo en determinados periodos de tiempo no tiene un flujo vehicular importante, pero en otros sí, la observación principal es que el mismo es interrumpido y no continuo, por lo que se verifica la formación de flujo de vehículos formando pelotones; estas formaciones son más frecuentes en el carril de este a oeste, mientras en la otra dirección prácticamente no se verifica formación de pelotones.

TABLA 4.3
CAPACIDAD DEL TRAMO DE ESTUDIO (veh/h)

	t (s)	#V =cant vehículos	t (h)	#V/t (veh/h)	
P4C-OK	610.42	111	0.16956111	654.6312375	
SC1	451.75	84	0.12548611	669.3967903	
SC2	656.19	139	0.182275	762.5840077	
SC3	772.41	180	0.21455833	838.9326912	
SC4	150.15	33	0.04170833	791.2087912	
SC5	663.34	140	0.18426111	759.7913589	
Capacidad máxima				838.93	promedio
intensidad				746.09	

	Vprom Km/h	SLi m	SLi Km	#V/SLi
P4C-OK	40.13	519	0.519	213.9
SC1	25.6	403.8	0.4038	208.0
SC2	46.36	645.8	0.6458	215.2
SC3	36.43	829.8	0.8298	216.9
SC4	38	146.8	0.1468	224.8
SC5	35.08	648.5	0.6485	215.9
36.93			Promedio	215.8
			densidad	

TABLA 4.4
COMPOSICIÓN DEL VOLUMEN VEHICULAR POR ORDEN PORCENTUAL

RESUMEN	#veh	%
TAXI	247	41.0
MICRO	71	11.8
TAXI-TRUFI	62	10.3
PARTICULAR	44	7.3
MOTO	53	8.8
VAGONETA	57	9.5
CMT	35	5.8
VITARA	17	2.8
CAMION	12	2.0
VOLQUETA	3	0.5
TRUFI	1	0.2
TOTAL	602	100

TABLA 4.4A
COMPOSICIÓN DEL VOLUMEN VEHICULAR POR ORDEN PORCENTUAL
AGRUPANDO ÚNICAMENTE VEHÍCULOS DE LONGITUD 4,4 m

RESUMEN	#veh	%
TAXI, TAXI-TRUFI, PARTICULAR	353	58,6%
MICRO	71	11,8%
MOTO	53	8,8%
VAGONETA	57	9,5%
CMT	35	5,8%
VITARA	17	2,8%
CAMION	12	2,0%
VOLQUETA	3	0,5%
TRUFI	1	0,2%
TOTAL	602	100

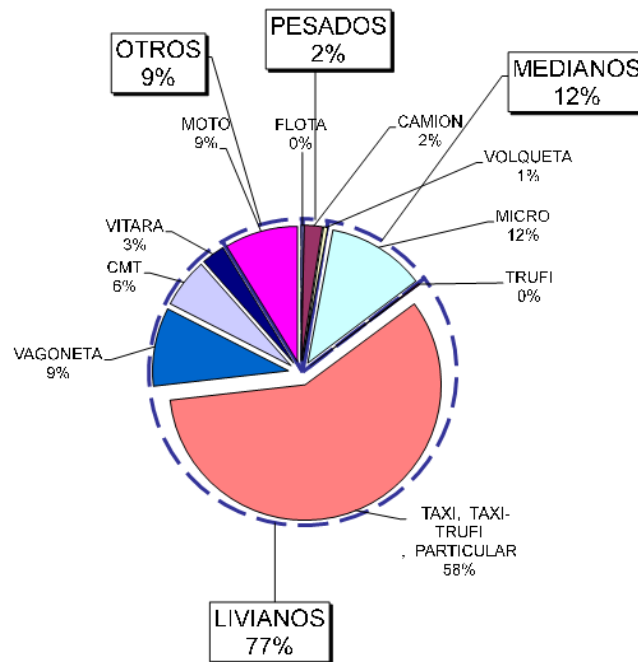


Figura 4.3

Torta de la composición del volumen vehicular

El flujo en pelotón, no guarda condiciones de seguridad, es decir que los vehículos no respetan la distancia mínima de seguridad pertinente durante el recorrido, inclusive algunos incrementan su velocidad para adelantar al vehículo anterior, para lo cual siempre tiene que invadir el carril vecino, esto produce que el vehículo que esta transitando por el carril vecino, tenga un tiempo de percepción y reacción más pequeño, por lo que se recurre a frenados bruscos generándose potencialmente una colisión que puede ser a gran escala.

4.3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN GENERAL.

Actualmente el tramo estudiado, existe poca información oficial, debido a que el tramo no está siendo atendido por las instituciones pertinentes, por lo que la gran mayoría de la información, solamente se pudo obtener mediante las técnicas manuales, especificando los datos concernientes al tipo de estudio y al campo de acción del mismo.

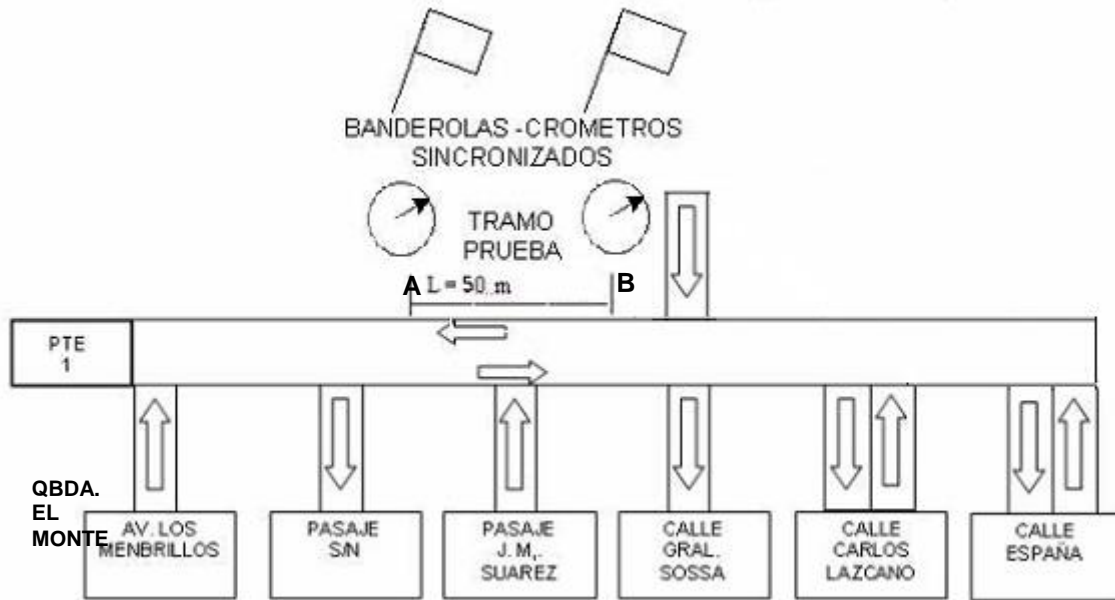


Fig.4.4 Esquema de ubicación del tramo en estudio



Figura 4.5 Fotografía Estación de medición "B"

La técnica de emplear computadores portátiles y un software o programa adecuado, genera ventajas en la toma de datos, volumen de información útil rescatable y facilidades en el procesamiento posterior.

4.3.1 Método para la recolección de información de tráfico.- El método utilizado en primera instancia para este estudio fue el Método Manual utilizando observadores, que a pesar de ser muy antiguo permite la obtención de volúmenes de tráfico, velocidades e intervalos de tiempo de los vehículos en pelotón. La ventaja de este método es su economía que nos permite conocer al mismo tiempo la cantidad de vehículos, su velocidad y la composición de los mismos.

4.3.2 Descripción del método utilizado.- En primera instancia se realizó el aforo utilizando 4 personas para los aforamientos de vehículos en pelotón ,2 en cada punto de aforo provisto con cronómetros y planillas y cada punto distanciado en 50 metros.

Pero determinada la necesidad y para mayor exactitud se tuvo que diseñar un software de apoyo consistente en un programa elaborado específicamente para esta tesis donde se registra fácilmente el tiempo, con una precisión de milésimas de segundo, además del tipo de vehículo; para poder luego almacenar dichos registros en una tabla en Excel, y luego procesarlos según nuestro requerimiento, con lo cual fue más que suficiente para lograr datos confiables y minimizándose posibles errores.

A continuación se muestra la ventana de aplicación del programa “Cronómetro” utilizado para el registro y aforo de datos.

El programa es de ejecución automática y consiste en una ventana que tiene los siguientes comandos en pantalla ver Figura 4.6:

Iniciar: Este botón inicializa el reloj que aparece en la parte media derecha.

Detener: Este botón detiene el reloj que aparece en la parte inferior derecha.

Exportar: Este botón permite la exportación al programa Excel los datos que se fueron almacenando en la pantalla visual que presenta dos columnas Tiempo y Tipo.

Limpiar: Este botón permite limpiar o borrar los registros de una anterior medición, no está demás el indicar que la pantalla visual debe de estar limpia previo a presionar Iniciar.

Los botones que llevan el nombre de tipos de vehículos se presionan según vayan presentándose estos.

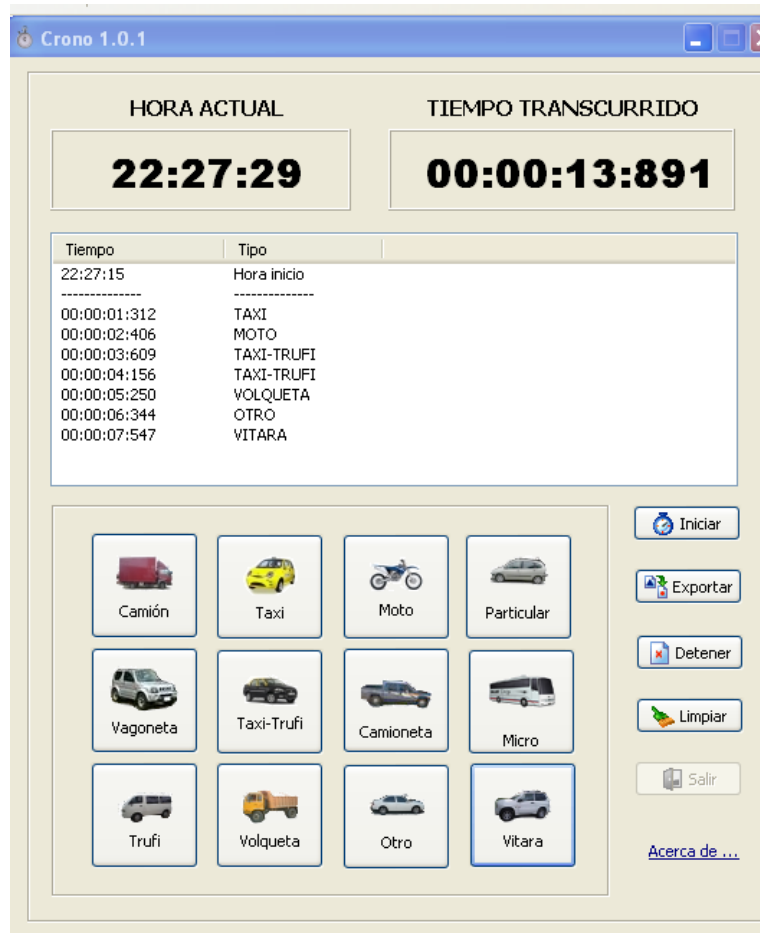


Figura 4.6 Ventana Principal del Software “Cronómetro”

Entonces luego de registrar los tipos de vehículos y paralelamente los tiempos de paso en las dos estaciones de medición ubicadas en los extremos del tramo de prueba, con el botón “Detener” y luego “Exportar” automáticamente se abre el programa EXCEL, que en una hoja electrónica (lista) presenta los datos recolectados en dos columnas denominadas tiempo y tipo ver Figura 4.7, los cuales pueden ser almacenados en un archivo de nombre personalizado.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Tiempo	Tipo							
2									
3	22:27:15	Hora inicio							
4	-----	-----							
5	00:00:01:312	TAXI							
6	00:00:02:406	MOTO							
7	00:00:03:609	TAXI-TRUFI							
8	00:00:04:156	TAXI-TRUFI							
9	00:00:05:250	VOLQUETA							
10	00:00:06:344	OTRO							
11	00:00:07:547	VITARA							
12	-----	-----							
13	22:35:18	Hora fin							
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									

Figura 4.7 Resultado del botón “Exportar” perteneciente Software “Cronómetro”

4.4 CONFIABILIDAD DE MUESTREO.

Se aplica a la información obtenida la determinación de aforos, mediciones y funcionalidad del actual del tramo, cuyos resultados brindan confiabilidad para el uso de los mismos en la aplicación de las teorías de seguimiento, vale hacer notar que algunos resultados, fueron omitidos o depurados, por presentar irregularidades o errores sistemáticos atribuibles al humano. Esta depuración obedece a criterios estadísticos de la teoría de muestreo.

La teoría de muestreo, Afirma que se pueden omitir datos que no presenten comportamientos similares al total de la representatividad de la muestra, es decir que no tiene significancia relevante.

De tal manera se puede afirmar que los datos muestreados en este estudio ascienden a más de 695 de los cuales 608 vehículos forman pelotón originando, 608 tiempos (t1) y 608

tiempos (t_2), los depurados corresponden a un 14 %, valor que no tiene incidencia en el total de datos, ya que el ajuste lineal origina un coeficiente de correlación muy elevado.

4.5 TABULACIÓN Y CÁLCULOS.

Para una mejor interpretación y aplicación de los datos, en los cálculos pertinentes, se manejan en planillas especialmente diseñadas, por lo que su descripción consiste en lo siguiente.

4.6 DESCRIPCIÓN DE PLANILLAS

Este detalle y disposición de las planillas, corresponde a tener una visión de uso en un análisis estadístico, que se puede fácilmente acomodar a un programa de software tipo Excel, que nos permitirá la generación de los gráficos correspondientes para el análisis pertinente.

Para nuestro estudio utilizamos planillas que describiremos de la siguiente manera.

Tabla No 4.5

DATOS DE CAMPO Y SU PROCESAMIENTO (PLANILLA N° 1)

LUGAR: AV. JAIME PAZ . TRAMO PUENTE 1

DISTANCIA = d = 50.00 m

HORA DE MEDICION: 11 am- 13:00 pm

DATOS DE CAMPO				PROCESAMIENTO DE DATOS DE CAMPO						
(1) N°	(2) TIPO DE VEHICULO	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)		(9)	
		t1	t2	Intervalo t=T2-T1	Vel V= d/t	Vel V1=V*3.6	S/ MODELO PIPES		S/ MODELO FORBES	
		s	s	s	m/s	Km/h	d min 0,375*V+6 m	h min 1,36+(21,6/V) s	h min 1,5+(21,6/V) s	d min 0,416*V+6 m
1	TAXI	0	5.02	5.02	9.96	35.86	19.45	1.96	2.10	20.92
2	MOTO	11.38	15.51	4.13	12.11	43.58	22.34	1.86	2.00	24.13
3	MOTO	14.88	19.44	4.56	10.96	39.47	20.80	1.91	2.05	22.42
4	FLOTA	27.34	31.23	3.89	12.85	46.27	23.35	1.83	1.97	25.25
5	CAMION	30.84	35.05	4.21	11.88	42.76	22.03	1.87	2.01	23.79
6	TAXI	32.38	36.58	4.2	11.90	42.86	22.07	1.86	2.00	23.83
7	TAXI	37.41	45.21	7.8	6.41	23.08	14.65	2.30	2.44	15.60
8	TAXI	39.16	46.27	7.11	7.03	25.32	15.49	2.21	2.35	16.53

Esta planilla se divide en 9 columnas, en la primera columna se describe el número de vehículos ; en la segunda columna se describe el tipo de vehículo que se afora ; en la tercera

columna el tiempo inicial (t_1) de cada vehículo que pasa por la estación o punto de aforo 1; en la cuarta columna se indica el tiempo final (t_2) de cada vehículo que pasa por el aforo 2; en la quinta columna se señala el tiempo que tarda cada vehículo en pasar desde la estación 1 hasta la estación (t_2-t_1); en la sexta columna se calcula la velocidad de cada vehículo con su tiempo correspondiente (m/s); en la séptima columna se calcula la velocidad en Km/h ;en la Octava Columna se calcula la distancia y el tiempo mínimo según la teoría de seguimiento de Pipes ; en la novena columna se calcula la distancia y el tiempo mínimo según la teoría de seguimiento de Forbes.

Seguidamente describimos la Tabla N° 4.6:

Tabla N° 4.6
DETERMINACIÓN t_{min} Y d_{min} DE CAMPO (PLANILLA N° 2)

LUGAR: AV. JAIME PAZ

DISTANCIA $d =$

50.00 m

HORA DE MEDICION: 11 am- 13:00 pm

DATOS DE CAMPO				PROCESAMIENTO DE DATOS DE CAMPO					
(1) N°	(2) TIPO DE VEHICULO	(3) t_1 s	(4) t_2 s	(5) Intervalo $t=T_2-T_1$ s	(6) $V= d/t$ m/s	(7) dt_1 $(t_{1i+1})-t_{1i}$ s	(8) dt_2 $(t_{2i+1})-t_{2i}$ s	(9) t_{min} $dt =$ $(dt_1+dt_2)/2$ s	(10) d_{min} $V*t_{min}$ m
6	TAXI	32.38	36.58	4.2	11.90	1.54	1.53	1.54	18.27
8	TAXI	39.16	46.27	7.11	7.03	1.75	1.06	1.41	9.88
10	PARTICULAR	44.63	49.91	5.28	9.47	1.65	1.64	1.65	15.58
11	TAXI	46.05	51.65	5.6	8.93	1.42	1.74	1.58	14.11
12	VAGONETA	47.8	53.73	5.93	8.43	1.75	2.08	1.92	16.15
24	MOTO	111.34	115.64	4.3	11.63	2.18	1.74	1.96	22.79
26	PARTICULAR	117.91	123.07	5.16	9.69	1.64	1.64	1.64	15.89
27	TAXI	119.66	124.6	4.94	10.12	1.75	1.53	1.64	16.60
31	TAXI	132.02	135.85	3.83	13.05	2.19	1.10	1.65	21.48

Las columnas de 1 a 6 fueron explicadas anteriormente,

La columna 7 indica $dt_1=(t_{1i+1})-t_{1i}$ es el intervalo de tiempo entre dos vehículos consecutivos pertenecientes a un pelotón en la estación de aforo 1

La columna 8 indica $dt_2= (t_{2i+1})-t_{2i}$ es el intervalo de tiempo entre dos vehículos consecutivos pertenecientes a un pelotón en la estación de aforo 2

La columna 8 indica $t_{min} = dt = (dt_1+dt_2)/2$ es el intervalo de tiempo promedio entre dos vehículos consecutivos pertenecientes a un pelotón que atravesaron el tramo de prueba.

La columna 9 indica $d_{\min} = V \cdot t_{\min}$ es la distancia real entre parachoques delanteros entre dos vehículos consecutivos pertenecientes a un pelotón que atravesaron el tramo el prueba.

4.6.1 Metodología para la identificación de pelotones

Debido a que dentro el tiempo de medición no todos los grupos de vehículos forman pelotones es que se deben de identificar o separar los datos pertenecientes a únicamente los pelotones para lo cual se aplicaron los siguientes criterios que originaron las siguientes restricciones:

- 1) La velocidad debe estar dentro de un rango de 24 a 56 Km/h, recomendación según Pipes.
- 2) t_{\min} menor a 2 s. para separación mínima, que corresponde al tiempo de percepción reacción total (TPR), recomendado como valor medio según María Graciela Berardo en su libro “Accidentes de tránsito” ver referencia 5 de CAPÍTULO V: BIBLIOGRAFÍA
- 3) La brecha es función de la velocidad y de t_{\min} .

Tabla No 4.7
RESTRICCIONES ADOPTADAS

$t_{\min} < 2 \text{ s}$
$d_{\min} < 11 \text{ m}$
d_{\min} utilizados para ajuste son los menores

Luego se realizo la selección de los valores mínimos de t_{\min} y d_{\min} dándonos un registro de 17 datos, para encontrar la regresión que mejor se ajuste a los datos, buscando el coeficiente de correlación más alto. Ver TABLA N° A-7 VALORES MÍNIMOS PARA AJUSTE DE d_{\min} Y t_{\min} EN FUNCION DE LA VELOCIDAD.

$d_{\min} = 0.217 V + 4.40$
con V en Km/h

Encontrada la ecuación de ajuste se la denomino “ AVILA” y se re-calcularon los valores de d_{\min} ajustados y seguidamente se determino t_{\min} , considerando la ecuación básica $v=d/t$ se deduce :

$t_{\min} = 0.78 + 15.84/V$
con V en Km/h

4.7 APLICACIÓN DE TEORÍAS: PIPES Y FORBES.

En el presente trabajo se realizaron el análisis comparativo del d_{\min} y t_{\min} que a continuación detallamos:

4.8 ANÁLISIS COMPARATIVO. d_{min} y t_{min} .

4.8.1 Análisis del d_{min} .

Aplicando las teorías de Pipes y Forbes obtenemos el siguiente gráfico, los cálculos correspondientes se presentan en anexos. A través de un ajuste lineal, sugerido por Pipes y Forbes, encontramos la recta “Avila” que obedece ciertamente a un comportamiento lineal.

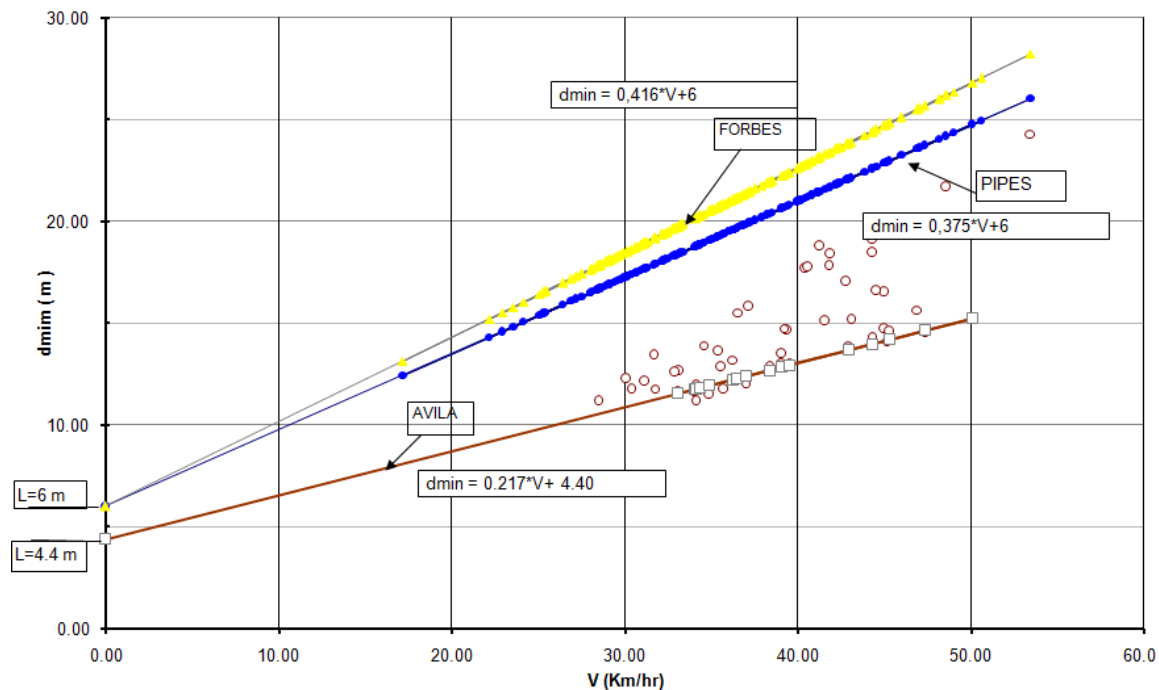


Figura. 4.8 Representación gráfica de d_{min} Vs. Velocidad

Analizando las ecuaciones lineales de Pipes y Forbes estos adoptan una longitud de vehículo tipo de 6 m, nosotros hemos encontrado que el vehículo tipo del tramo en estudio es 4.4 m, valor que corresponde a la longitud del vehículo de mayor porcentaje de nuestros aforos que son el taxi, taxi trufi y vehículo particular, cuya longitud es de 4.4 m. Y tienen un 76% de frecuencia porcentual en promedio.

Además Pipes y Forbes indican que el valor d_{min} varía en un rango del 38 al 42 % de la velocidad mas la longitud del vehículo tipo (6 m), nuestro estudio indica que el valor de d_{min} es un 22 % de la velocidad mas la longitud del vehículo tipo (4,4 m), podríamos

explicar estas diferencias porque en nuestro tramo hemos apreciado que los pelotones formados presentaron un d_{min} menor que las distancias de Pipes y Forbes, que reflejaría un comportamiento muy particular de los pelotones formados.

Observando la Figura 4.8, para velocidades de 30 Km/h. el d_{min} según Pipes y Forbes estaría por los 17 m, según Avila sería 11 m. pero si la velocidad se incrementaría a 50 Km/h. Pipes y Forbes indicarían una d_{min} de 25 m a 27 m respectivamente, según Avila sería 15 m, lo cual nos demuestra que el comportamiento vehicular en pelotón no guarda las d_{min} de seguridad que recomiendan estos investigadores, creemos que esto debido al desconocimiento de normativas al respecto que son consideradas en distintas regiones y con distintos actores, a la imprudencia y la pericia de los conductores que conducen confiados en sus capacidades de maniobra y frenado.

4.8.2 Análisis del t_{min}

Aplicando las teorías de Pipes y Forbes obtenemos el siguiente gráfico ver Figura 4.9, donde se muestra que el comportamiento de los vehículos en pelotón tienen la misma forma gráfica, los cálculos correspondientes se presentan en anexos. El modo de obtención fue el siguiente:

La ecuación d_{min} la dividimos entre V (Velocidad P85), según la relación básica siguiente:

$$V = d/t$$

Entonces: $t = d/V$

Podemos afirmar que Pipes y Forbes utilizan un TPR (Tiempo de Percepción y Reacción) de 1.36 s. y 1.5 s. respectivamente, nuestro estudio indica que el valor de TPR es 0.7789 seg. aproximadamente 0.8 seg., lo que nos indicaría que el TPR real utilizado por los vehículos en pelotón es 41% y 47% menores a los de Pipes y Forbes, la posible explicación sería que los valores utilizados por estos investigadores dan cierto margen de seguridad y fueron obtenidas en condiciones foráneas y no detalladas en las mismas, nuestra ecuación muestra la realidad del comportamiento vehicular en pelotón en el tramo en estudio siendo el TPR de “AVILA” un valor muy por debajo del sugerido por los investigadores denotaría una tendencia a la inseguridad por que se estaría empleando t_{min} muy alejados de los sugeridos por estos investigadores.

Además indicamos que el segundo termino de la ecuación corresponde a la multiplicación de la longitud del vehículo tipo por 3.6 esta constante es un factor de conversión de unidades de Km/h. a m/s. Esto con el objetivo de uniformizar unidades a segundos. Pipes y Forbes presentan el mismo segundo término:

$$21.6/V = 6 * 3.6 / V = L / (V/3.6) \quad \text{donde } L = \text{longitud del Vehículo tipo} = 6 \text{ m}$$

Mientras en la ecuación de Ávila el segundo termino es:

$$15.84/V = 4.4 * 3.6 / V = L / (V/3.6) \quad \text{donde } L = \text{longitud del Vehículo tipo} = 4.4 \text{ m}$$

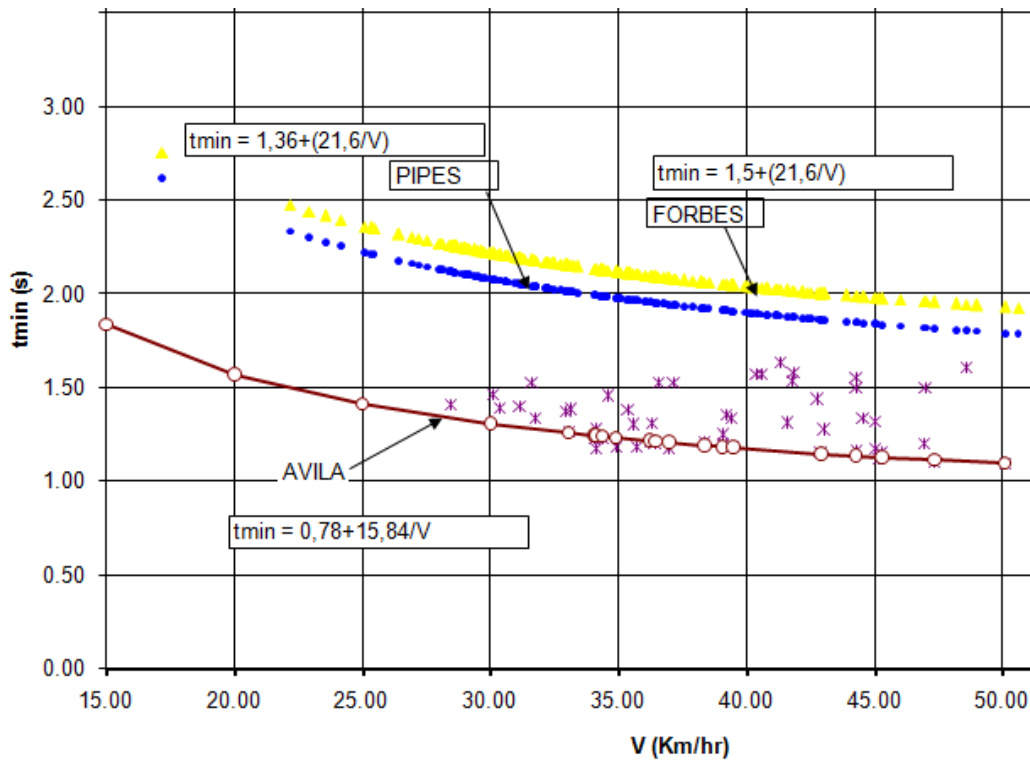


Figura. 4.9 Representación gráfica tmin Vs. Velocidad

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.

Al dar término a los capítulos precedentes llegamos a las siguientes conclusiones:

- **El muestreo realizado es representativo de la realidad.-** Se determinó que el mejor ajuste para nuestros datos es idéntico a los sugeridos a las teorías de Pipes y Forbes que sugieren que el comportamiento vehicular para d_{min} Vs. V es lineal (directamente proporcional) y el t_{min} Vs. V es curvilíneo (Inversamente proporcional). EL ajuste mediante regresiones nos arroja un coeficiente de correlación elevado $R^2 = 0.985$, esto es reflejado en los resultados gráficos que brindan una información real de lo observado en campo, ver Tabla N° A-7 valores mínimos para ajuste de d_{min} y t_{min} en función de velocidad.
- **Los t_{min} medidos en el tramo en estudio son diferentes a los recomendados por las teorías de Pipes y Forbes.-** Los t_{min} medidos en el tramo en estudio son menores a los recomendados por las teorías de Pipes y Forbes para una misma velocidad de circulación, lo que deriva en un mal comportamiento vehicular en pelotón en nuestro tramo en estudio y mayor probabilidad de ocurrencia de accidentes y congestionamientos por detenimientos.
- **Existe diferencia en los d_{min} del tramo en estudio con las teorías de Pipes y Forbes:** Estas teorías son muy conservadoras, en comparación con las medidas en nuestro tramo. Una de las observaciones en el muestreo de vehículos, es que muchas veces el pelotón se encontraba con distancias exageradamente pequeñas entre los vehículos, sobre todo cuando las velocidades están por el rango de 33 a 45 Km/h, La d_{min} se presenta en un rango de 11 m a 15 m, mientras que en Pipes y Forbes estaría en un rango de 18 m a 25 m. En este caso los datos de campo están por debajo de la teoría de Pipes y Forbes ya sea para distancias mínimas como para los intervalos de tiempo mínimos de seguridad. Lo que nos indicaría un mal

comportamiento vehicular en pelotón en nuestro tramo en estudio y mayor probabilidad de ocurrencia de accidentes. Figura N° 4.8 relación t_{min} Vs. V y Figura N° 4.9 relación d_{min} Vs. V .

Creemos que las teorías de Pipes y Forbes, no se ajustan ni corresponden a nuestro medio, porque las condiciones físicas en las cuales se determinaron son características de la norma americana y no se dan mayores detalles al respecto de su determinación.

- **Posible descenso de Nivel de Servicio.-** De persistir las condiciones actuales, el comportamiento vehicular en el tramo en estudio se encontraría en un límite crítico y el tendiente crecimiento vehicular ocasionaría el descenso de su nivel de “D “ a “ E “ y existiría más probabilidad de ocurrencia de accidentes y congestionamientos.
- **Servir de base a otros estudios similares.-** El presente trabajo servirá para futuros estudios, primero como un registro histórico y segundo para ayudar a proyectar una posible solución en el tráfico vehicular en pelotón.
- **Explicaciones posibles acerca de brechas reales encontradas.-** Creemos que las diferencias en distancias mínimas entre vehículos se deben a una clara falta de conocimiento de normativa vial de parte de los conductores y que en definitiva realizan malas maniobras según se presente un evento, que pueden conllevar a accidentes de tránsito.
- **El vehículo más representativo en el tramo en estudio es el taxi con una longitud de 4,4 m.-** El vehículo más representativo del presente estudio es el taxi con una longitud promedio de 4,4 m que discrepa con la teorías de Pipes y Forbes que indican que es 6 m, entonces cuando se encare este tipo de diseños urbanos se deberá tener en cuenta el tipo de vehículo más representativo, esto podría tener una repercusión económica ya que realizándose el diseño de un paquete estructural el cálculo de los ejes equivalentes arrojarían valores menores.

5.2 RECOMENDACIONES.-

- Es mejor una metodología de muestreo con computadora portátil ya que la planificación realizada tuvo éxito en el muestreo de datos, aunque en los primeros intentos se tuvieron errores al utilizar la metodología manual con cronómetro, que se ajustaron luego a una metodología más práctica y eficiente con la utilización de un Software o programa elaborado específicamente para este propósito, el denominado Programa “Cronómetro”.
- Se debería incluir información al respecto de la distancia mínima de seguridad entre vehículos en pelotón en los cursos de conducción brindados por el Tránsito.
- Tener señalización vertical al respecto de brechas entre vehículos, en los tramos donde exista formación de pelotones.
- Se debe hacer énfasis en la educación vial debido a la poca información e instrucción sobre las reglas de tránsito.
- Se recomienda evitar el estacionamiento de vehículos en el tramo en estudio para evitar posibles accidentes y congestionamientos innecesarios.
- Las metodologías de levantamiento de datos de tráfico deberían de ser mejoradas y más frecuentes en la ciudad, realizando y adoptando metodologías con ayuda de aforos automáticos basados en las teorías del manual de tráfico y porque no decirlo en base a esta experiencia y dejar de lado la utilización de planillas de llenado manual.
- Con la finalidad de brindar seguridad al flujo vehicular en pelotón en el tramo en estudio, se recomiendan los siguientes d_{min} según ecuación deducida en este proyecto de tesis.

V	Km/hr	20	30	40	41.14	50
d_{min}	m	9.0	11.0	13.0	13.33 (*)	15.0

NOTA : (*) d_{min} para P85