CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAP.I. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Un Estudio del Nivel de Servicio y su Relación con las Velocidades Medias, nos da a conocer de antemano el comportamiento de una carretera o un tramo de ella, con condiciones de circulación prefijadas y reales, para determinar los diferentes regímenes de explotación con el propósito que en base a este tipo de estudio puedan servir como base para una planificación y poder conseguir que la circulación de personas y mercancías sea segura, eficiente y económica.

En la Ingeniería de Tráfico (1930), el objetivo principal fue el de mejorar la explotación de las redes viarias existentes, empleándose posteriormente para la planificación y el proyecto de nuevas vías.

En Ingeniería de Tráfico existen diversos métodos empíricos de análisis que en función de las características de la carretera permiten conocer la capacidad de la misma. De ellos, el principal método es el Manual de Capacidad de Carreteras HCM (Highway Capacity Manual) el cual será la herramienta básica para poder realizar el presente trabajo.

El Manual de Capacidad de las Carreteras (HCM) determina la capacidad y los niveles de servicio en condiciones ideales y posteriormente, estas variables se adaptan en función de las discrepancias que existan entre éstas condiciones y las características propias del tramo real de la carretera estudiada o proyectada.

Se entiende por Condiciones Ideales:

- ✓ Carriles con anchura de 3.6 m.
- ✓ Bermas de anchura 1.8 m.
- ✓ Sin obstáculos laterales en los márgenes.
- ✓ Circulación exclusiva de vehículos de tipo turismos.
- ✓ Terreno llano.
- ✓ Sin prohibición de adelantamiento.
- ✓ Sin accesos que interrumpan la circulación.

Se publicó la primera edición del HCM en 1950 por la Oficina de Caminos Públicos de los Estados Unidos, y nació como una guía al diseño y al análisis funcional de las carreteras, siendo el primer documento en cuantificar el concepto de capacidad para medios de transporte.

En 1965, el Concejo para la Investigación del Transporte TRB, (Transportation Research Boards), publicó la segunda edición, bajo la guía de su Comité de la Capacidad de Carreteras, y fue la primera en definir el concepto de nivel de servicio que se ha convertido en la base para determinar la suficiencia de las facilidades de transporte desde la perspectiva de planificación, diseño y operación.

La tercera edición, publicada por el TRB en 1985, reflejó más de dos décadas de investigación comprensiva conducida por una variedad de agencias bajo el patrocinio de varias organizaciones como el Programa Nacional de Cooperativa de Investigación de Carreteras y la Administración de Carreteras Federales. Como un resultado continuo de investigación acerca de la capacidad, se puso al día la cuarta edición del HCM en 1994.

Traducido a varios idiomas, se ha vuelto la norma de referencia sobre procedimientos de capacidad y del nivel de servicio. Por más de 50 años, el HCM ha cumplido esta meta, ganando un lugar único en el reconocimiento de la comunidad del transporte.

Para producir el HCM 2000, el Comité sobre Carreteras Capacidad y Calidad de Servicio del TRB desarrolló un programa integral de investigación a través del Programa de Cooperativa Nacional de Investigación para Carreteras NCHRP, (National Cooperative Highway Research Program), y el Programa de Cooperativa de Investigación del Tránsito.

El Manual de Capacidad de Carreteras HCM proporciona prácticas e investigaciones del transporte con un sistema consistente de técnicas para la evaluación de la capacidad y determinar el nivel de servicio en carreteras y calles.

El presente trabajo explicará de manera detallada la forma como calcular las Capacidades y Niveles de Servicio y su relación con la velocidad media puntual de carreteras de dos carriles indivisos, a partir de los lineamientos sugeridos en el "Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles" del año 1994 y el "Highway Capacity Manual 2000" (HCM 2000) del "Transportation Research Board" (TRB) de los Estados Unidos.

A pesar que las consideraciones iniciales para cada una de las metodologías de cálculo incluidas en ambos manuales son diferentes, resulta importante comparar los resultados obtenidos en cada caso, para tener un panorama más amplio en cuanto a lo que representan la característica de esta vía típica que nos integra Provincial y en un contexto nacional puesto que forma parte de la red nacional F001.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las carreteras de dos carriles siguen constituyendo el núcleo fundamental de la red de carreteras nacionales en razón de su longitud y del porcentaje de tráfico que soportan, los estudios e investigaciones sobre las características de su funcionamiento, condiciones de circulación y bases de proyecto deben merecer, por tanto, una atención destacada en el desarrollo de la técnica de carreteras.

La denominada curiosidad intelectual hace necesario profundizar en el contexto de situaciones problemáticas en procura de respuestas que contribuyan a su solución. Es común detectar problema de tráfico de vehículos en la vía Tarija – San Lorenzo a distintas horas del día en especial por tránsito de vehículos pesados. Es por ello que debe realizarse un diagnóstico del Nivel de Servicio que ofrece al usuario esta vía, como elemento de partida que contribuya a estudios posteriores de planeación e intervención de las vías.

Si bien es cierto que Tarija es un Departamento que está en pleno crecimiento, debe generar políticas de desarrollo y alternativitas de crecimiento planificado, lo cual amerita realizar estudios en sus diferentes áreas, la falta de un estudio adecuado que relacione el Nivel de Servicio y la Capacidad, como también la relación existente

entre las velocidades medias puntuales con el nivel de servicio es que no permiten tomar medidas de hecho en algunas carreteras ya que no sabemos lo que está sucediendo en relación a la calidad de servicio que ésta presta, por lo que no se puede tomar medidas para aumentar las características funcionales y de seguridad de la misma a la vez que no existen parámetros comparativos usando diferentes metodologías para definir el Nivel de Servicio y poder realizar comparaciones en relación a su variación ya que debemos estar siempre en constante actualización que nos permitan relacionar diferentes métodos.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Es indispensable en la Ingeniería de tráfico, realizar investigaciones y analizar diferentes métodos, para planificar la vialidad en un país, ya que no se cuenta con una relación directa entre parámetros como el volumen de tránsito y la capacidad de la vía también se quiere determinar las velocidades como la variable que describe la calidad de servicio de una vía.

Con los datos en estudio se lograra conocer la relación entre la velocidades Medias puntal con el nivel de servicio, la misma que está muy relacionada con el HCM 2000, a la vez realizar una comparación del nivel de servicio calculado con el HCM (HIGHWAY CAPACITY MANUAL) o manual de capacidades de carreteras 1994 que estima el nivel de servicio (N.S), a partir de la comparación del volumen horario equivalente con el volumen total de la calzada contra el HCM 2000 el mismo que adopta la Velocidad Media de Recorrido (VMR), como variables principales para la estimación del N.S.

Los resultados servirán para que las autoridades competentes tomen en cuenta estas relaciones en la regulación del tráfico ya que nos brindara parámetros directos entre variables como la velocidad y la capacidad o las velocidades medias puntuales y el nivel de servicio pudiendo realizar políticas de mejora para ofrecer un mejor nivel de servicio en carreteras de este tipo.

El aporte académico estará orientado a prestar mayor información como material bibliográfico y de consulta ya que con este tipo de estudio permite conocer

relaciones directas antes mencionadas y en especial conocer la relación entre dos métodos aplicados por la HCM para este tipo de carreteras. Puesto que la universidad como una entidad pionera debe brinda aportes de estudios e investigación a la sociedad y ser parte de este tipo de análisis ya que como estudiantes y futuros profesionales debemos poner en práctica nuestros conocimientos adquiridos en esta superior casa de estudios

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General.

- ✓ Analizar el Nivel de Servicio en caminos de dos carriles indivisos y su relación con la velocidad media puntual usando dos metodologías y planteados por el HCM 1995 y HCM 2000.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- ✓ Realizar mediciones de las caracteristas geométricas de la carretera para poder definir factores que afectan a el nivel de servicio.
- ✓ Establecer la capacidad y el nivel de servicio en caminos de dos carriles indivisos en el área de estudio.
- ✓ Realizar mediciones de campo de Velocidades Puntuales.
- ✓ Determinar las velocidades medias puntales en el área de estudio.
- ✓ Analizar los factores internos y externos que afectan los niveles de servicio en el área de estudio.
- ✓ Realizar el análisis de correlación entre los niveles de servicio y la velocidad media puntual en el área de estudio.
- ✓ Realizar comparación del nivel de servicio calculado con el manual de capacidad usando la metodología HCM 2000 (HIGHWAY CAPACITY MANUAL 2000) y el HCM 1994 (HIGHWAY CAPACITY MANUAL 1994), para ver los aspectos por la modificación metodológica en el proceso del cálculo.
- ✓ Establecer conclusiones y recomendaciones del estudio realizado.

1.5. ALCANCE

Las tareas a efectuarse para realizar el presente trabajo estarán relacionadas a realizar aforo volumétrico y de velocidades para determinar la velocidad puntual (VP) y luego calcular la velocidad media de los vehículos que circulen por los tramos en estudio, el primer tramo será Puente Tomatitas – Cruce Santa Bárbara y el segundo Cruce Santa Bárbara – San Lorenzo. La velocidad puntual se la calculara como la distancia recorrida en un tramo corto dividido por el tiempo que tarda un vehículo en recorrer esa distancia o longitud.

Se realizara el control de vehículo pesado como livianos para que al final poder ver la incidencia de los mismos en relación a estas velocidades y nivel de servicio. Se realizara el aforo vehicular según la normativa de la A.B.C. y el tipo de vehículos que la A.B.C. menciona en su manual luego desglosarlo según los datos que se necesiten para calcular el nivel de servicio. También se recabaran informaciones necesarias sobre los datos geométricos de la calzada. El trabajo de aforo se lo realizara en por el periodo de una semana durante 12 horas de aforo continuas para cada tramo siempre enmarcado en las recomendaciones de la normativa de la A.B.C. para luego poder tabular los datos y realizar el trabajo de gabinete que nos conducirán a lo parte de conclusión a la vez que también se analizará la incidencia del Nivel de Servicio con la Velocidad Media puntual, como también determinar el nivel de servicio de esta carretera con la aplicación de los dos métodos del Manual de Capacidades de la cuarta edición 1994 y la quinta edición del año 2000.

1.6. MEDIOS Y METODOLOGÍA

Con el fin de alcanzar los objetivos anteriormente citados se propone la obtención del NIVEL DE SERVICIO EN CARRETERAS DE DOS CARRILES INDIVISOS Y SU RELACIÓN CON LA VELOCIDAD MEDIA PUNTUAL EN CARRETERAS DEL DEPARTAMENTO APLICADO A LOS TRAMOS PUENTE TOMATITAS – CRUCE SANTA BÁRBARA Y TRAMO CRUCE SANTA BÁRBARA – SAN LORENZO mediante el desarrollo de la siguiente metodología:

Método Teórico-Empírico: Es teórico porque se realizará un análisis y una síntesis de la investigación basada en toda la bibliografía encontrada, y en los datos de campo que serán analizados para luego ser depurados y así llegar a un resultado.

Es empírico; porque se realizarán observaciones y mediciones dentro del trabajo de campo, mediante el cual se encontrarán los datos necesarios para la realización de este proyecto, sin embargo no se realizará experimentación.

Para lo cual los instrumentos requeridos son los siguientes:

- Ordenador o computadora
- Planillas de aforos
- Cronómetro
- Calculadora
- Cinta métrica

Pues bien el presente trabajo estará primeramente orientado a recopilar toda la información que fuese necesaria para tener toda la bibliografía y poder realizar un análisis y síntesis con la bibliografía conseguida también se tendrá que realizar la traducción del documento HCM 2000 puesto que este documento solo se lo consigue en el idioma de su origen (Ingles), luego se realizara la parte práctica o de aplicación en los tramos seleccionados atreves del aforo de vehículos y la medición de velocidad tanto media como de recorrido cabe mencionar que para esta parte se controlará en dos puntos para obtener los tiempos de recorrido en cada tramo para luego realizar el

trabajo de gabinete tanto con la bibliografía conseguida como con los datos obtenidos en campo para realizar todos los cálculos necesarios y poder llegar a una parte conclusiva y de recomendaciones.

A continuación se explicará de una manera resumida la metodología para el cálculo de nivel de servicio tanto del HCM 1994 como HCM 2000.

En las publicaciones de 1994 del manual de capacidades, HCM 1994, la metodología de cálculo estima el nivel de servicio a partir de comparación de volumen horario equivalente (v), con el volumen total de la calzada para las condiciones prevalecientes del camino y del tránsito calculado para cada nivel de servicio (SFi). El nivel de servicio i del camino será el mejor que cumpla con $v < SFi$.

TABLA 1.6-1. Relación volumen capacidad para cada nivel de servicio.

NS	A	B	C	D	E
v/c	0,12	0,24	0,39	0,62	1,00

Fuente: HCM 1994 capitulo 8

En la versión del año 2000, HCM2000, la metodología cambia significativamente, dejando de lado la relación v/c en el cálculo del nivel de servicio y adoptando Velocidad Media de Recorrido (VRM) y el Porcentaje de Demora en Tiempo (PTSF), como variables principales para su estimación. De la comparación de cada variable calculada, VRM Y PTSF, con los valores de la Tabla 1.6-2 se obtienen dos niveles de servicio, adoptándose el que identifica la peor condición.

TABLA 1.6-2. Relación nivel de servicio VMR – PTSF

NS	A	B	C	D	E
VMR	>90	>80	>70	>60	≤60
PTSF	≤35	≤50	≤65	≤80	>80

Fuente: HCM 2000 capítulo 20

CAPÍTULO II

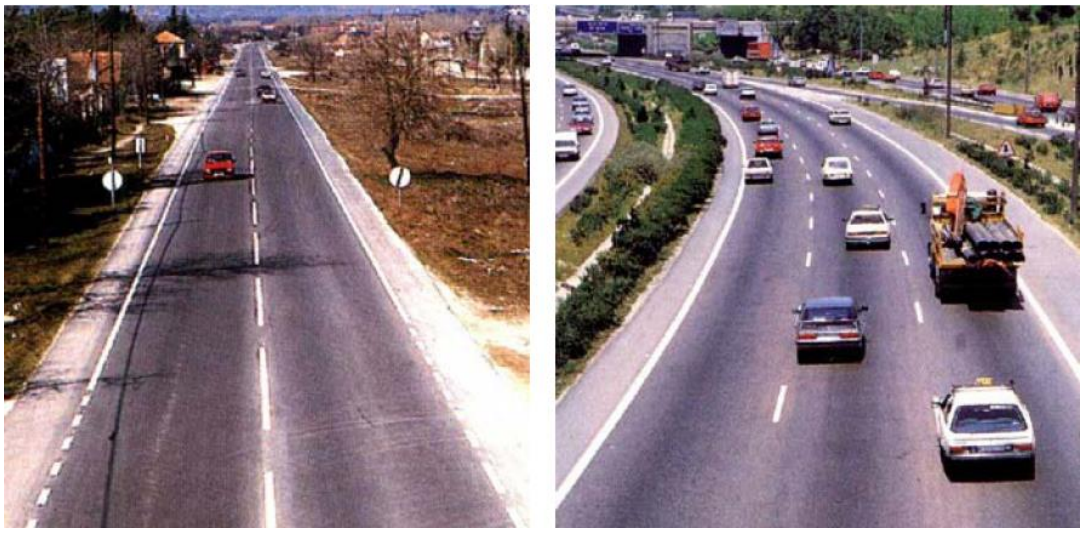
ASPECTOS GENERALES DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO

CAP. II ASPECTOS GENERALES DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO.

2.1. GENERALIDADES.

El tránsito vehicular (también llamado tráfico vehicular, o simplemente tráfico) es el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista. Antes de cualquier diseño geométrico de una vía se deben conocer las características del tránsito que va a ocupar esa carretera o calle.

FIGURA 2.1-1 Flujo vehicular



Fuente: Manual de carreteras (Luis Bañón Blázquez, y José F. Beviá García).

Mediante el análisis de los elementos de flujo vehicular se pueden entender las características y el comportamiento del tránsito, requisitos básicos para el planteamiento, proyecto y operación de carreteras, calles y sus obras complementarias dentro del sistema de transporte.

El análisis del flujo vehicular describe la forma como circulan los vehículos en cualquier tipo de vialidad, lo cual permite determinar el Nivel de eficiencia de la operación. El objetivo, al abordar el análisis del flujo vehicular, es dar a conocer algunas de las metodologías e investigaciones y sus aplicaciones más relevantes en este tema.

2.2. CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO VEHICULAR O TRÁNSITO.

El Manual de Capacidad de Carreteras 2000 /HCM 2000, por sus siglas en inglés, Highway Capacity Manual/, divide el tránsito en dos situaciones, a) el flujo ininterrumpido y b) el flujo interrumpido. Para éste análisis solo se tratará en este capítulo la descripción de las características básicas del flujo vehicular para las condiciones de operación en flujo continuo o ininterrumpido, dado que las condiciones correspondientes al flujo interrumpido no son consideradas en esta tesis, ya que el flujo interrumpido es usado para el tránsito urbano.

2.2.1. Conceptos Fundamentales.

En esta sección se presenta una descripción de algunas de las características fundamentales del flujo vehicular, representadas en sus tres parámetros básicos que pueden ser utilizados para describir el tránsito en cualquier carretera como lo son: volumen o razón de flujo, la velocidad y la densidad. Mediante la deducción de relaciones entre ellas, se puede determinar las características de la corriente de tránsito, y así predecir las consecuencias de diferentes opciones de operación o de proyecto. De igual manera, el conocimiento de estas tres variables reviste singular importancia, ya que éstas indican la calidad o Nivel de Servicio experimentado por los usuarios de cualquier sistema vial. A su vez, estas tres variables pueden ser expresadas en términos de otras, llamadas variables asociadas. El volumen, el intervalo, el espaciamiento, la distancia y el tiempo.

Las tres características principales que se pueden explicar matemáticamente son:

- ✓ La velocidad
- ✓ El volumen o intensidad de tránsito.
- ✓ La densidad

Estas tres características principales de la teoría de flujo vehicular se describen a continuación.

2.2.2. Velocidad.

La velocidad es definida como una razón de movimiento, en distancia por unidad de tiempo, generalmente como kilómetros por hora (km/h). El HCM 2000 usa la velocidad promedio de viaje como la medida de velocidad, ya que es fácil de calcular observando cada vehículo dentro del tránsito y es la medida estadística más relevante en relación con otras variables. La velocidad promedio de viaje se calcula dividiendo el largo de la carretera, sección o segmento bajo consideración entre el tiempo promedio de viaje de los vehículos que pasan por dicho segmento. La ecuación para el cálculo es como sigue:

Ecuación 2.2-1

$$S=\frac{L}{t_a}$$

Dónde:

S = Velocidad promedio de viaje (km/h),

L = Longitud del segmento de carretera (km), y

t_a = Tiempo promedio de viaje en el segmento (h).

Diferentes parámetros de velocidad pueden ser aplicados al tránsito, como los siguientes:

2.2.2.1. Velocidad promedio de rodaje

Es aquella medida de tránsito basada en la observación del tiempo de viaje de los vehículos pasando por una sección de la carretera en una longitud conocida. Calculada dividiendo la longitud del segmento entre el tiempo promedio de rodaje de los vehículos pasando por dicho segmento. El tiempo de rodaje es medido únicamente cuando los vehículos están en movimiento.

2.2.2.2. Velocidad promedio de viaje

Es una medida de tránsito basada en la observación del tiempo de viaje en una longitud dada de una carretera. Esto es la longitud del segmento dividido entre el

tiempo promedio de viaje de los vehículos que pasan por dicho segmento, incluyendo todos los tiempos de demora por paradas.

2.2.2.3. Velocidad media puntual

Promedio de las velocidades de todos los vehículos que pasan por un punto del camino o carretera**.** La idea general del estudio de velocidad puntual es cronometrar el tiempo que se demora un vehículo en recorrer una distancia predeterminada (preferentemente de 50m a 100m), sobre un tramo de una vía claramente establecido, y repetir esa medida para una cantidad de vehículos suficiente para determinar una velocidad representativa.

2.2.2.4. Velocidad media espacial

Es definida como la velocidad promedio de todos los vehículos, ocupando una sección dada de la carretera sobre un período específico de tiempo.

2.2.2.5. Velocidad media temporal

Es definida como la velocidad promedio de todos los vehículos, pasando por un punto de la carretera sobre un período específico de tiempo.

2.2.2.6. Velocidad de flujo libre

La velocidad de flujo libre FFS (por sus siglas en inglés, *free flow speed*): es la velocidad promedio de los vehículos en una carretera dada, medida bajo condiciones de un volumen bajo, cuando los conductores tienden a conducir a una velocidad alta sin restricciones de demoras.

2.2.2.7. Velocidad percentil

Es la velocidad por debajo de la cual un porcentaje de vehículos viajan en una dirección del tránsito. Así, una velocidad del 85 percentil significa que el 85% de los vehículos en el tránsito viajan a cierta velocidad o por debajo de ella. La velocidad del 85 percentil es usada como una medida de la máxima velocidad razonable para el tránsito.

Para una carretera con un nivel de servicio F, la velocidad promedio de viaje es igual a la velocidad promedio de rodaje.

La velocidad media temporal y la velocidad media espacial pueden ser calculadas de una serie de medidas de tiempo de viaje sobre una distancia, de acuerdo al siguiente ejemplo:

TABLA 2.2-1. La velocidad media temporal y la velocidad media espacial

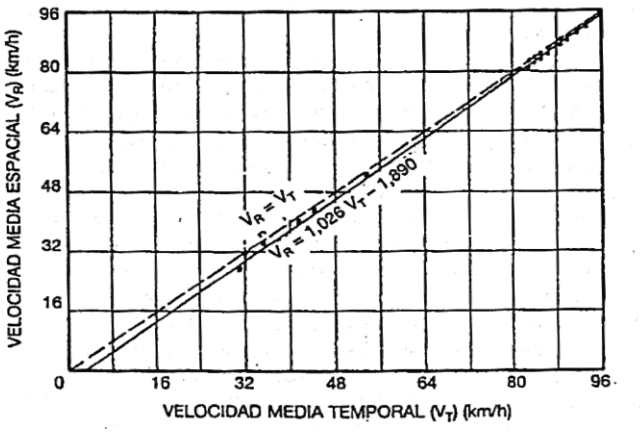
Vehículo No.	Distancia(m)	Tiempo de viaje (seg.)	Velocidad (m/seg.)
1	1000	18.0	1000/18 = 55.6
2	1000	20.0	1000/20 = 50.0
3	1000	22.0	1000/22 = 45.5
4	1000	19.0	1000/29 = 52.6
5	1000	20.0	1000/20 = 50.0
6	1000	20.0	1000/20 = 50.0
Totales	6000	119.0	303.7
Promedios		119.0/6 =19.8	303.7/6 = 50.6
SMT = 50.6 m/seg.			
SME = 1000/19.8 ó 6000/119 = 50.4 m/seg			

Dónde:

SMT = Velocidad media temporal (km/hr o m/seg.)

SME = Velocidad media espacial (km/hr o m/seg.)

FIGURA 2.2-1 Relación entre las velocidades medias temporal y la espacial



Fuente: HCM 1994 Capitulo 2

La velocidad es definida como una razón de movimiento en distancia por unidad de tiempo, generalmente como kilómetros por hora (km/h). El HCM 2000 usa la velocidad promedio de viaje como la medida de velocidad, ya que es fácil de calcular observando cada vehículo dentro del tránsito y es la medida estadística más relevante en relación con otras variables.

2.2.3. Volumen o intensidad de tránsito.

El volumen de tránsito es definido como el número de vehículos que pasan en un determinado punto durante un intervalo de tiempo. La unidad para el volumen es simplemente "vehículos" o "vehículos por unidad de tiempo". Un intervalo común de tiempo para el volumen es un día, descrito como vehículos por día. Los volúmenes diarios frecuentemente son usados como base para la planificación de las carreteras.

Para los análisis operacionales, se usan los volúmenes horarios, ya que el volumen varía considerablemente durante el curso de las 24 horas del día. La hora del día que tiene el volumen horario más alto es llamada "hora pico". Los volúmenes de hora pico son usados como la base para el diseño de carreteras y para varios tipos de análisis operacionales.

Para períodos menores a una hora, generalmente el volumen se expresa como un equivalente horario de las razones de flujo. Por ejemplo, 1000 vehículos observados en un período de 15 minutos se puede expresar como:

$$1000 \text{ veh} / 0.25 \text{ hr} = 4000 \text{ veh/hr}$$

La razón de flujo (v) es 4000 veh/hr en un intervalo de 15 minutos, en el cual fueron observados 1000 vehículos. Hay que tomar en cuenta que el volumen horario no es 4000 veh/hr, como se aprecia en el siguiente ejemplo:

TABLA 2.2-2. Volumen Horario

Intervalo de tiempo	Vehículos	Razón de flujo (veh/hr) (veh / intervalo de tiempo)
5:00 - 5:15 P.M.	1000	4000
5:15 - 5:30 P.M.	1100	4400
5:30 - 5:45 P.M.	1200	4800
5:45 - 6:00 P.M.	900	3600
5:00 - 6:00 P.M.	4200 veh/hr	= volumen horario

La relación entre el volumen horario y la máxima razón de flujo se define como el factor de hora pico (FHP):

FHP = volumen horario / máxima razón de flujo

Fuente: Elaboración Propia

2.2.4. Factor de Hora Pico.

El factor de la hora pico (FHP) representa la variación en la circulación dentro de una hora. Las observaciones de la circulación indican constantemente que los volúmenes encontrados en el periodo de 15 minutos del pico dentro de una hora no se encuentran sostenidos a través de la hora completa. El uso del factor de la hora pico en la ecuación para determinar la tasa de flujo considera este fenómeno.

FHP = volumen horario / máxima razón de flujo

Para períodos de 15 minutos, la ecuación se convierte en:

Ecuación 2.2-2

$$FHP = \frac{V}{4 \text{ X } V15}$$

Dónde:

V = Volumen horario (veh/hr)

V15 = Volumen máximo en 15 minutos de la hora (veh)

Para el ejemplo anterior el factor de hora pico, es calculado como sigue:

$$\text{FHP} = \frac{4200}{4 \text{ X } 1200} = 0.875$$

El valor del FHP está entre el rango de 0.95 y 0.75, con valores más bajos, significaría una gran variación en el flujo durante la hora pico.

Según el HCM 2000, el valor del FHP para áreas rurales es de 0.88 y el valor para áreas urbanas es de 0.92. Regularmente para el análisis de carreteras se usa el valor de 0.90, cuando no se dispone de la información de campo para obtener el valor del FHP.

En general para vías de dos carriles, los valores típicos del factor de hora pico, FHP varían entre 0.80 y 0.95. Un factor de hora pico bajo es característico de condiciones rurales. Factores altos son condiciones típicas de entornos urbanos y suburbanos en condiciones de hora pico. Los datos del campo deben ser utilizados en lo posible para desarrollar el cálculo del factor de hora pico de condiciones locales.

El factor de hora pico es la relación entre el volumen horario de máxima demanda (VHMD) y el flujo máximo ($q_{\text{máx}}$), que se presenta en un periodo dado dentro de dicha hora como se aprecia en la Ecuación 2.2-3:

Ecuación 2.2-3

$$\textbf{FHP} = \frac{\boldsymbol{VHMD}}{\boldsymbol{q_{máx} * N}}$$

El factor de la hora de pico es un indicador de las características del flujo de tránsito en periodos máximos. Si este valor es igual a 1 significa uniformidad, en cambio valores muy pequeños indicarán concentraciones de flujos máximos.

2.2.5. Densidad.

La densidad es el número de vehículos que ocupa cierta longitud dada de una carretera o carril y generalmente se expresa como vehículos por kilómetro (veh/km).

La densidad se puede calcular como se expresa en la Ecuación 2.2-4:

Ecuación 2.2-4

$$\mathbf{D} = \frac{v}{S}$$

Dónde:

v = Razón de flujo (veh p/h),

S = Velocidad promedio de viaje (km/h), y

D = Densidad (veh p/km/carril).

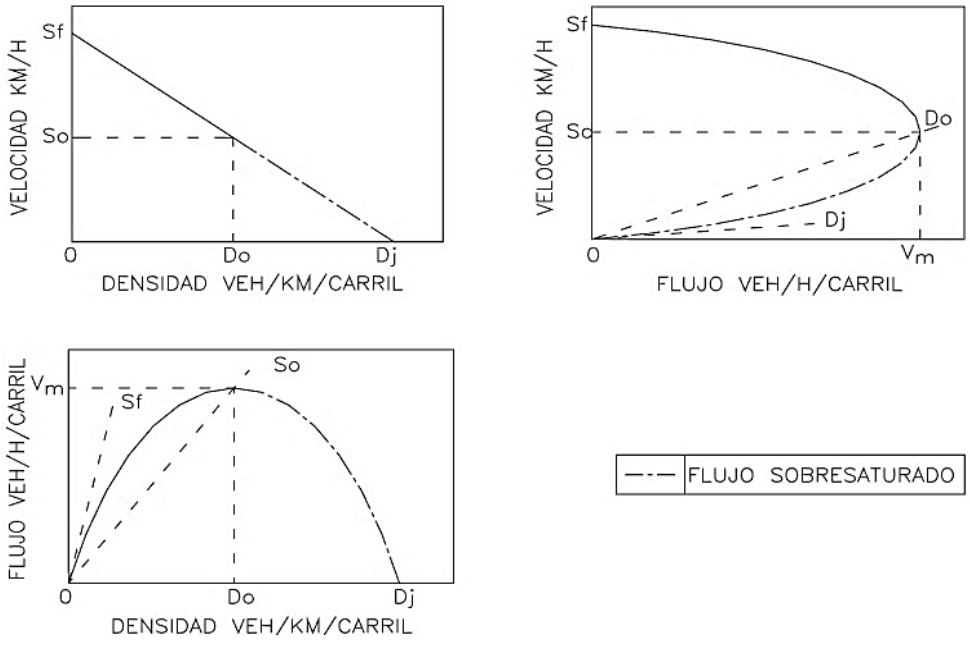
La densidad es posiblemente el parámetro más importante en el tránsito, porque es la medida más directamente relacionada con la demanda de tránsito.

A continuación se verán los principales conceptos relacionados con las variables del flujo vehicular.

2.2.6. Relación entre los tres parámetros básicos.

Existen tres gráficos que relacionan los principales parámetros, el gráfico de velocidad – densidad, el de velocidad – volumen y el de volumen – densidad.

FIGURA 2.2-2. Relación entre los tres parámetros básicos



Fuente: HCM 1994 Capítulo2

La forma de estos gráficos depende del tránsito prevaleciente y las condiciones de la carretera del segmento bajo estudio.

Las curvas ilustran varios puntos significantes. Primero, un volumen cero que ocurre en dos diferentes condiciones. Una es cuando no hay vehículos en la carretera, la densidad es cero y el volumen es cero. La velocidad es teórica para esta condición (S_f) y es seleccionada del primer conductor (presuntamente el valor más alto).

La segunda es cuando la densidad llega a ser tan alta que los vehículos deben parar, la velocidad es cero y el volumen es cero. La densidad a la cual todo movimiento se detiene es llamada densidad de embotellamiento (Dj).

Entre estos dos puntos extremos, la dinámica del tránsito produce un efecto maximizado. Como el volumen incrementa de cero, la densidad también incrementa mientras más vehículos hay en la carretera. Cuando esto pasa, la velocidad declina por la interacción de vehículos. Esta declinación es insignificante en una densidad y un volumen bajo o medio. Como la densidad incrementa, la curva sugiere que la velocidad decrece significantemente antes que la capacidad sea alcanzada. La capacidad es alcanzada cuando el producto de la densidad y la velocidad resultan en el máximo volumen. Esta condición se muestra como velocidad óptima So (velocidad crítica), densidad óptima D_o (densidad crítica) y máximo volumen V_m.

La gráfica de velocidad - densidad es usada mayormente para trabajos teóricos, y las otras dos gráficas son usadas para definir el nivel de servicio.

2.2.7. Variables relacionadas con el Flujo

Las variables relacionadas con el flujo son la tasa de flujo, el volumen, el intervalo simple entre vehículos consecutivos y el intervalo promedio entre vehículos.

1) Tasa de flujo o flujo (q) y volumen (Q)

La tasa de flujo, q, es la frecuencia a la cual pasan los vehículos por un punto o sección transversal de un carril o calzada. La tasa de flujo es pues, el número de vehículos, N, que pasan durante un intervalo de tiempo específico, T, inferior a una hora, expresada en vehículos por minuto (veh/min) o vehículos por segundo (veh/s).

No obstante, la tasa de flujo q, también puede ser expresada en vehículos por hora (veh/h), teniendo cuidado de su interpretación, pues no se trata del número de vehículos que efectivamente pasan durante una hora completa o volumen horario, Q. La tasa de flujo, q, se calcula entonces con la Ecuación 2.2-5:

Ecuación 2.2-5

$$\mathbf{q} = \frac{N}{T}$$

2) Intervalo simple (hi)

Es el intervalo de tiempo entre el paso de dos vehículos consecutivos, generalmente expresado en segundos y medido entre puntos homólogos del par de vehículos.

3) Intervalo promedio ($\overline{h}$)

Es el promedio de todos los intervalos simples, hi, existentes entre los diversos vehículos que circulan por una vialidad. Por tratarse de un promedio se expresa en segundos por vehículo (s/veh) y se calcula, de acuerdo a la Figura 2.2-2, mediante la Ecuación 2.2-6:

Ecuación 2.2-6

$$\overline{h} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} h_i}{N-1}$$

Dónde:

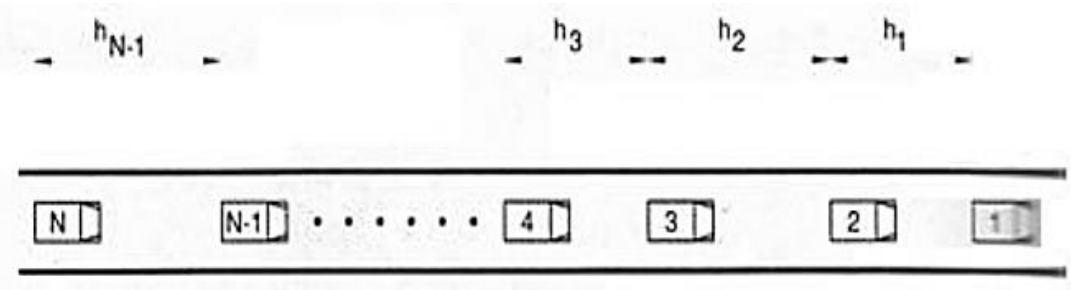
$\overline{h}$ = Intervalo promedio (s/veh),

N = Número de vehículos (veh),

N – 1 = Número de intervalos (veh), y

h_i = Intervalo simple entre el vehículo i y el vehículo i + 1

FIGURA 2.2-3 Intérvalos entre vehículos



Fuente: Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones (Reyes Espíndola, y otros, 2007).

Obsérvese que las unidades del intervalo promedio $\overline{h}$ (s/veh) son las unidades inversas de la tasa de flujo q (veh/s), por lo que también puede plantearse la Ecuación 2.2-7:

Ecuación 2.2-7

$$\overline{h} = \frac{1}{q}$$

2.2.8. Variables relacionadas con la velocidad.

Las variables del flujo vehicular relacionadas con la velocidad son la velocidad de punto, la velocidad instantánea, la velocidad media temporal, la velocidad media espacial, la velocidad de recorrido, la velocidad de marcha, la distancia de recorrido y el tiempo de recorrido.

2.2.9. Variables relacionadas con la densidad.

Las variables del flujo vehicular relacionadas con la densidad son la densidad o concentración, el espaciamiento simple entre vehículos consecutivos y el espaciamiento promedio entre varios vehículos.

1) Densidad o concentración (k)

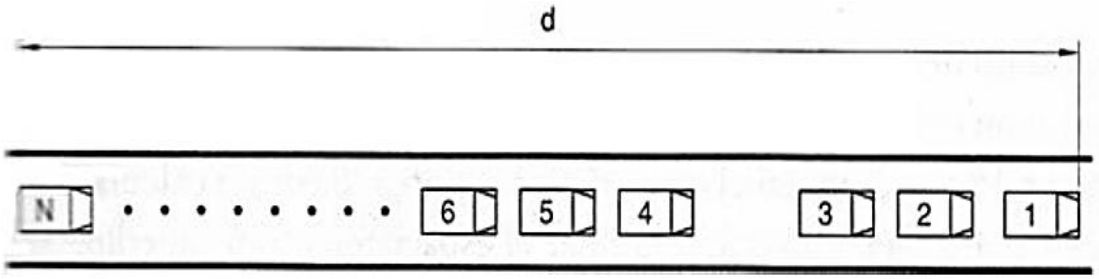
Es el número, N, de vehículos que ocupan una longitud específica, d, en una vialidad en un momento dado. Generalmente se expresa en vehículos por kilómetro

(veh/km), ya sea referido a un carril o a todos los carriles de una calzada. Según la Figura 2.2-3se calcula con la Ecuación 2.2-8:

Ecuación 2.2-8

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

FIGURA 2.2-4 Densidad o concentración



Fuente: Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones (Reyes Espíndola).

2) Espaciamiento simple (s_i)

Es la distancia entre el paso de dos vehículos consecutivos, usualmente expresada en metros y medida entre sus defensas traseras.

3) Espaciamiento promedio ($\overline{S}$)

Es el promedio de todos los espaciamientos simples, si, existentes entre los diversos vehículos que circulan por una vialidad. Por tratarse de un promedio se expresa en metros por vehículo (m/veh) y se calcula, de acuerdo a la Figura 2.2-4 mediante la Ecuación 2.2-9:

Ecuación 2.2-9

$$\overline{S} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} s_i}{N-1}$$

Dónde:

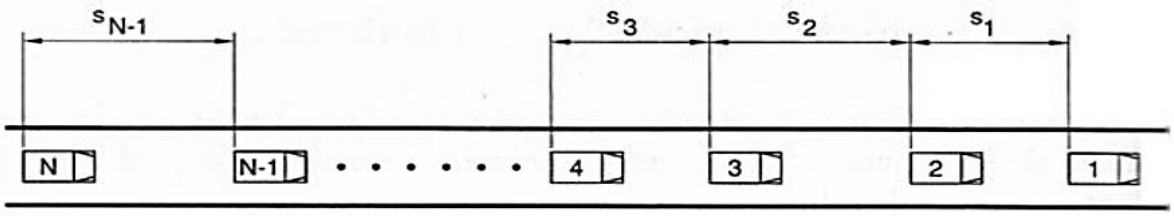
$\overline{S}$ = Espaciamiento promedio (m/veh),

N = Número de vehículos (veh),

N – 1 = Número de espaciamientos (veh), y

s_i = Espaciamiento simple entre el vehículo i y el vehículo i + 1.

FIGURA 2.2-5 Espaciamientos entre vehículos



Fuente: Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones (Reyes Espíndola).

Obsérvese que las unidades del espaciamiento promedio $\overline{\mathbf{s}}$ (m/veh) son las unidades inversas de la densidad k (veh/m), por lo que también puede plantearse la Ecuación 2.2-10:

Ecuación 2.2-10

$$\overline{\mathbf{s}} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{k}}$$

2.3. TIPOS DE FLUJO DE TRÁFICO

El Manual de Capacidad de Carreteras clasifica a los distintos tipos de caminos en dos categorías o tipos de operación del flujo vehicular:

- Continuo o ininterrumpidos y
- Discontinuo o interrumpidos

Los términos “flujo Continuo” y “flujo discontinuo” solo describen el tipo de camino y no la calidad del flujo de tránsito que en un determinado momento circula por el mismo. Así por ejemplo, una autopista que, en un momento dado, experimenta un alto grado de congestión, sigue siendo un camino de flujo continuo pues las causas que originan esa congestión son internas de la corriente de tránsito.

Las autopistas y sus componentes operan bajo las más puras condiciones de flujo continuo ya que no solo en ellas no existen interrupciones fijas al tránsito, sino que además los accesos y egresos son controlados y limitados a las ubicaciones de las ramas de entrada y salida.

Los caminos multicarril y los de dos carriles también pueden operar bajo las condiciones de flujo continuo en tramos largos ubicados entre puntos en los cuales existen elementos de control que producen la interrupción de la corriente vehicular.

En el análisis de los caminos con flujo discontinuo debe tomarse en cuenta en el impacto de las interrupciones fijas. Así por ejemplo, un semáforo limita el tiempo disponible para los distintos movimientos del tránsito de la intersección en la cual están emplazados. En consecuencia la Capacidad queda limitada no solo por el espacio físico proporcionado por la intersección, sino también por el tiempo disponible para los distintos movimientos de la corriente de tránsito.

A continuación se presentan las definiciones para ambos tipos de flujo:

2.3.1. Flujos Continuos o ininterrumpidos.

Es aquel en que el vehículo que va transitando por la vía solo se ve obligado a detenerse por razones inherentes al tráfico. Es el tráfico de las carreteras. Los vehículos se detienen cuando ocurre un accidente, cuando llegan a un destino específico, paradas intermedias, etc.

Los caminos que poseen las características de flujo continuo no tienen elementos externos a la corriente del tránsito, tales como semáforos, que puedan interrumpir el mismo. Cuando se tiene un camino que opera en estas condiciones, las características de operación de los vehículos que por él circulan son el resultado de la intersección entre los vehículos existentes en la corriente de tránsito y entre los vehículos y las características geométricas y del medio ambiente en el cual se desarrolla el camino.

En otras palabras, el flujo continuo es la circulación de vehículos donde no existen intersecciones con semáforos o con señales de alto.

2.3.2. Flujo Discontinuo o Interrumpido.

Es el característico de las calles, donde las interrupciones son frecuentes por cualquier motivo, siendo una de estas los controles de tránsito de las intersecciones como son los semáforos, los ceda el paso, etc.

Los caminos que poseen las características de flujo interrumpido poseen elementos fijos que pueden interrumpir la corriente vehicular. En esos elementos se incluyen los semáforos, las señales de alto y cualquier otro dispositivo de control del tránsito, cuya presencia origina la detención periódica de los vehículos (o la disminución significativa de su velocidad) independientemente de los volúmenes de tránsito existentes.

CAPÍTULO III

CAPACIDAD VEHICULAR Y NIVEL DE SERVICIO EN CARRETERAS DE DOS CARRILES INDIVISOS

CAP.III. CAPACIDAD VEHICULAR Y NIVEL DE SERVICIO EN CARRETERAS DE DOS CARRILES INDIVISOS

3.1. CARRETERAS DE DOS CARRILES INDIVISOS

Una carretera de dos carriles es una vía sin división con dos carriles, cada uno para el uso del tránsito en direcciones opuestas. Rebasar vehículos requiere del uso del carril opuesto, solo si el tránsito opuesto lo permite y haya buena visibilidad, así como una buena distancia de rebase. Si el volumen y las restricciones geométricas se incrementan, la habilidad para rebasar disminuye, formándose una fila en el tránsito. Los conductores dentro de la fila están sujetos a la demora, debido a no poder rebasar. La demanda por rebasar incrementa si el volumen de tránsito incrementa y la capacidad de rebase en el carril opuesto disminuye cuando el volumen aumenta, así el flujo de tránsito en una dirección influye en la otra dirección.

Hay dos medidas de funcionamiento que describen la calidad de servicio en una carretera de dos vías: El porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo y la velocidad promedio de viaje. Estas dos medidas definen el nivel de servicio de una carretera.

El porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo, es aquel porcentaje promedio de tiempo de viaje que un vehículo debe viajar en una fila detrás de un vehículo a velocidad lenta, debido a no poder rebasar.

La velocidad promedio de viaje refleja la movilidad dentro de una carretera de dos vías.

3.1.1. Clasificación de las carretera de dos carriles

Están clasificadas en función a la velocidad de viaje o con la que se espera viajar y pueden ser:

3.1.1.1. Clase I

Éstas son carreteras en donde los conductores esperan viajar a una velocidad relativamente alta. Son las principales arterias que conectan los mayores generadores

de tránsito. Este tipo de carretera la mayoría de veces sirve para hacer viajes largos. Entre estas están las de tipo C - A. Para el cálculo del LOS para este tipo de clasificación se usa el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo y la velocidad promedio de viaje.

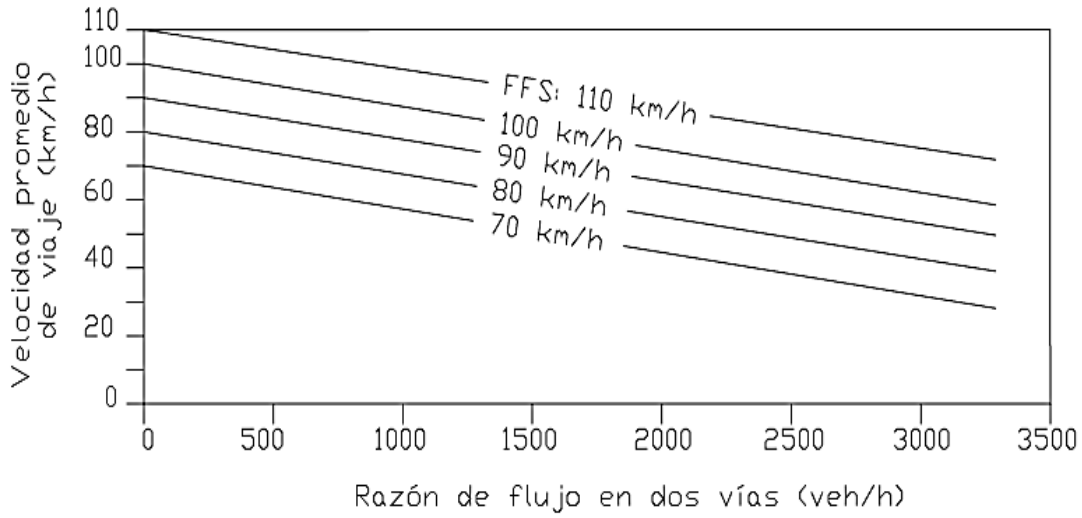
3.1.1.2. Clase II

Estas son carreteras en donde los conductores no necesariamente esperan viajar a una velocidad alta. Estas funcionan como acceso a las carreteras de clase I, son rutas recreacionales que no son arterias primarias. Este tipo de carretera la mayoría de veces sirve para hacer viajes cortos.. Para el cálculo del LOS para este tipo de clasificación se usa únicamente el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo, ya que la movilidad es menos crítica.

3.1.2. Relaciones básicas

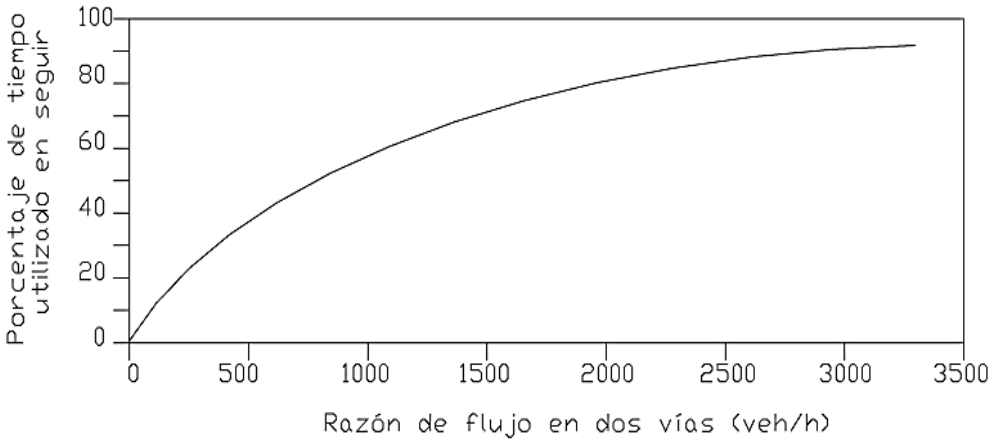
Las siguientes gráficas muestran la relación entre la razón de flujo, velocidad promedio de viaje y el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo; para condiciones ideales de una carretera de dos vías en un tramo largo.

FIGURA 3.1-1. Razón de flujo versus velocidad promedio de viaje



Fuente: HCM 2000 cap.12

FIGURA 3.1-2. Razón de flujo versus % de tiempo utilizado en seguir



Fuente: HCM 2000 cap.12

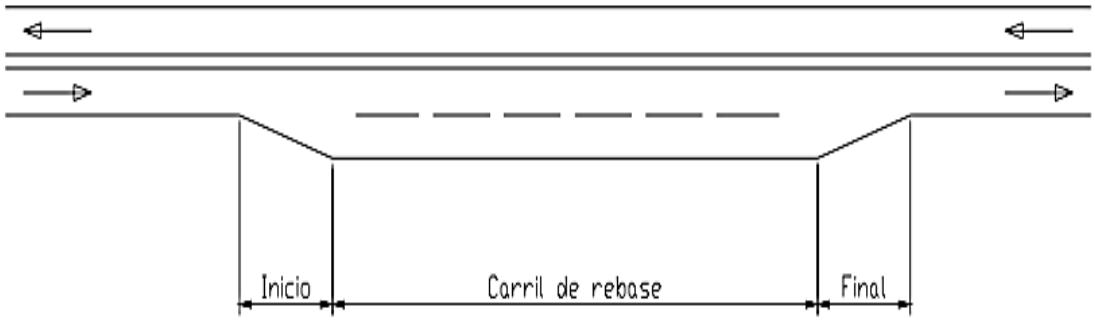
El análisis para carreteras de dos vías puede ser hecho con los dos carriles en distinta dirección cada uno o con un sólo carril en una sola dirección.

El análisis de un sólo carril es apropiado cuando existen carriles de rebase.

3.1.3. Carriles de rebase

Un carril de rebase es un carril extra en una dirección de viaje en una carretera convencional de dos carriles, para improvisar las oportunidades de rebase. Estos regularmente son usados en intervalos sobre una carretera, sobre todo en pendientes de subida donde los vehículos pesados van una velocidad baja, estos carriles en pendiente de subida son llamados carriles de ascenso.

FIGURA 4. Vista típica de un carril de rebase



Fuente: HCM 2000 cap.12

3.1.4. Terreno nivelado

El terreno nivelado es cualquier combinación de alineamiento vertical y horizontal que permite a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad que los vehículos livianos; generalmente el porcentaje de pendiente oscila entre el 1 y 2 %.

3.1.5. Terreno ondulado

El terreno ondulado es cualquier combinación de alineamiento vertical y horizontal, que causa una reducción de velocidad a los vehículos pesados sustancialmente por debajo de los vehículos livianos, generalmente se da en distancias cortas o medias, en donde el porcentaje de pendiente es del 4 %.

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

Las estimaciones de Capacidad y Niveles de Servicio son necesarias para la mayoría de las decisiones de la Ingeniería de Tránsito y planeación del transporte.

Un objetivo básico del análisis de Capacidad es la estimación del máximo número de vehículos a los que una vía puede dar Servicio con seguridad razonable dentro de un periodo de tiempo. El análisis de Capacidad proporciona una forma de estimar la máxima cantidad de flujo vehicular a la que se puede dar Servicio en una vía. El análisis de Capacidad es un conjunto de procedimientos de estimación de las posibilidades de la vía, para transportar el flujo en condiciones de operación definidas. Sin embargo, las carreteras generalmente operan pobremente o cerca de la capacidad; son raras las planificadas que operan en el rango correcto. En consecuencia, el análisis de capacidad también estima el aumento de tránsito que una carretera puede acomodar mientras mantiene su nivel de operación prescrito.

3.2. CAPACIDAD

Un objetivo principal del análisis de la capacidad, es estimar el número máximo de vehículos que una carretera puede acomodar con razonable seguridad durante un período específico de tiempo. Sin embargo, las carreteras generalmente operan pobremente o cerca de la capacidad; son raras las planificadas que operan en el rango correcto. En consecuencia, el análisis de capacidad también estima el aumento de tránsito que una carretera puede acomodar mientras mantiene su nivel de operación prescrito.

3.2.1. Definición de Capacidad.

Teóricamente la Capacidad se define como la tasa máxima de flujo que puede soportar una autopista o calle. De manera particular, la Capacidad de una infraestructura vial es el máximo número de vehículos que razonablemente pueden pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un intervalo de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del tránsito y de los dispositivos de control. Las condiciones prevalecientes de la carretera se refieren a características geométricas como el número y uso de carriles, ancho de hombro, configuración de carriles y el alineamiento horizontal y vertical. El flujo máximo del tránsito de una carretera es su capacidad, que ocurre cuando se alcanza la densidad crítica y el tránsito se mueve a la velocidad crítica. Esto regularmente ocurre en la hora pico del volumen del tránsito, la hora pico es el período más crítico. La capacidad frecuentemente se mide en vehículos por hora (veh/hr)

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 infraestructura vial, como ya se explicó en el capítulo anterior sea ésta una autopista o calle, puede ser de circulación continua o discontinua. Los sistemas viales de circulación continua no tienen elementos externos al flujo de tránsito, tales como los semáforos y señales de alto que produzcan interrupciones en el mismo. Los sistemas viales de circulación discontinua tienen elementos fijos que producen interrupciones periódicas del flujo de tránsito, independientemente de la cantidad de vehículos, tales como los semáforos, las intersecciones de prioridad con señales de alto y ceda el paso, y otros tipos de regulación.

Dependiendo del tipo de infraestructura vial a analizar, se debe establecer un procedimiento para el cálculo de su Capacidad y calidad de operación.

Por lo tanto, el principal objetivo del análisis de Capacidad, es estimar el máximo número de vehículos que un sistema vial puede acomodar con razonable seguridad durante un periodo específico. Sin embargo, los sistemas operan pobremente a Capacidad; pero generalmente ellos raramente se planifican para operar en este rango.

A su vez, mediante los análisis de Capacidad, también se estima la cantidad máxima de vehículos que el sistema vial puede acomodar mientras se mantiene una determinada calidad de operación, introduciéndose aquí el concepto de Nivel de Servicio.

3.2.2. Importancia de la Capacidad.

La capacidad de una infraestructura de transporte refleja su facultad para acomodar un flujo móvil de vehículos o de personas. Es una medida desde el punto de vista de la oferta de una infraestructura de transporte. Las estimaciones de capacidad y nivel de servicio son necesarios para la mayoría de las decisiones y acciones de ingenierías de tráfico y de planeamiento de transporte.

El análisis de capacidad da respuesta a cuestiones tales como la calidad de servicio proporcionada por una infraestructura existente durante los períodos de punta y cuál es el incremento de tráfico que todavía puede ser soportado. La capacidad

brinda información sobre el tipo de carretera y de instalaciones de transporte colectivo que son necesarias para acomodar un flujo dado de personas así como la cantidad y configuración de carriles para esos distintos niveles de intensidad media diaria en autopistas o carreteras.

La importancia del análisis de capacidad se ve reflejada en la determinación del ancho de aceras o calles de alta capacidad peatonal, y el espacio de espera en las esquinas de las calles de una intersección. Existen cuatro actividades de ingeniería de tráfico fundamentales que dependen del análisis de la capacidad y del nivel de servicio:

1. Cuando se planifican nuevas infraestructuras o se amplían las existentes, se debe determinar sus dimensiones en términos de anchura o de número de carriles.

2. Cuando se consideran instalaciones para su mejora, bien mediante el ensanchamiento o mediante cambios de sus operaciones de tráfico, se deben evaluar sus características operativas y sus niveles de servicio.

3. Cuando se planifican nuevos desarrollos territoriales, se necesitan análisis de capacidad y nivel de servicio para identificar los cambios necesarios de la circulación y de la carretera y para ayudar a definir las responsabilidades de los costes.

4. Los estudios de las condiciones operativas y de los niveles de servicio proporcionan valores base para determinar los cambios a los usuarios de la carretera, en los costes del consumo de combustible, de las emisiones de los agentes polucionadores de aire, y del ruido.

3.4.1.1. Consideraciones Básicas.

Varios puntos importantes de la definición de capacidad merecen una clarificación:

1. La capacidad se define para las condiciones prevalecientes de la carretera, la circulación, y los sistemas de control, que deben ser razonablemente uniformes para un tramo o instalación completa a analizar. Cualquier cambio en las condiciones prevalecientes supondrá un cambio en la capacidad de la instalación. La definición

asume la persistencia de buen clima, unas buenas condiciones del firme, y la inexistencia de incidentes.

2. La capacidad normalmente se refiere a una sección o segmento uniforme de la infraestructura. El análisis de capacidad se lleva a cabo en segmentos de una instalación que tienen condiciones uniformes de la circulación, la vía y los sistemas de control. Dado que la capacidad depende de estos factores, los segmentos que tienen distintas condiciones prevalecientes tendrán, a su vez capacidades diferentes. A menudo la sección o segmento con las peores condiciones de explotación determina los niveles de servicio generales de la misma.

3. La capacidad se refiere a una tasa de flujo vehicular o de personas durante un período específico de tiempo que, muy a menudo es el período de 15 min. punta.

La capacidad no se refiere al máximo volumen al que puede darse servicio durante una hora. Esta definición contempla la posibilidad de variaciones sustanciales en el flujo dentro de una hora y concentra el análisis en los períodos de máximo flujo.

La capacidad se define sobre la base de una "esperanza razonable". Es decir, una capacidad dada para una instalación es una tasa de flujo que puede ser repetidamente alcanzada durante períodos punta en los que exista suficiente demanda y que puede ser conseguida en instalaciones con características similares. No es la tasa de flujo máxima absoluta jamás.

3.2.3. Capacidad en vías ininterrumpidas

Las infraestructuras para flujo ininterrumpido no tienen elementos fijos, tales como semáforos, que sean externas al flujo de tráfico y que puedan interrumpir este flujo.

Las carreteras multicarril y de dos carriles (bidireccionales) también pueden operar como flujo ininterrumpido durante largos segmentos entre puntos donde existen interrupciones fijas.

3.2.3.1. Capacidad en condiciones ideales.

Una condición base o ideal, es una condición óptima estándar específica de referencia, que deberá ser ajustada para tener en cuenta las condiciones prevalecientes. Las condiciones base asumen buen estado del tiempo, buenas condiciones del pavimento, usuarios familiarizados con el sistema vial y sin impedimentos en el flujo vehicular.

Una condición es ideal cuando su mejora no produce incremento alguno de la capacidad. En condiciones ideales se asume la existencia de buen clima, un firme en buenas condiciones, usuarios habituados a circular por la infraestructura concreta en estudio, y la inexistencia de incidentes que obstruccionen el flujo.

Las siguientes son las condiciones ideales para carreteras de dos carriles en condiciones no restrictivas desde los puntos de vista de las características geométricas de la circulación y del entorno. En concreto son las siguientes:

- Velocidad de proyecto igual o mayor a 96 km/h.
- Anchuras de carriles iguales o superiores a 3,60 m.
- Arcenes de anchura igual o superior a 1,80 m. entre el borde exterior de la calzada y la obstrucción más cercana u objetos adyacentes a la vía o de la mediana.
- Inexistencia de tramos con prohibición de adelantamiento.
- Todos los vehículos son˝ Turísticos˜ (o vehículos ligeros). Una circulación constituida únicamente por vehículos ligeros
- Reparto del 50/50 del tráfico según los sentidos de circulación.
- Ninguna restricción de tráfico principal debida a algún tipo de control o a vehículos que giren. Inexistencia de puntos de acceso directos a lo largo de la carretera
- Terreno llano.

La capacidad de las carreteras de dos carriles en estas condiciones ideales es de 2.800 vl/h sumando ambos sentidos (total de la calzada). Debe tenerse en cuenta que estas condiciones son ideales únicamente desde el punto de vista de la capacidad y el nivel de servicio y no tienen relación alguna con factores de seguridad o de otro tipo.

3.2.3.2. El radio v/c y su uso

Un factor crítico en cualquier análisis de capacidad, es la proporción de la capacidad de la carretera siendo utilizada como proyección del tránsito. Este valor es el radio de proporción de flujo para la capacidad de la carretera.

v/c = razón de flujo / capacidad (3-1)

Este radio es usado como una medida de la suficiencia de capacidad existente o propuesta. En concepto un radio mayor a 1.00 puede existir cuando un flujo de demanda pronosticado es usado para comparar una capacidad existente o estimada. La razón de flujo nunca puede se mayor que su capacidad. En la misma situación, el radio v/c mayor a 1.00 predice que la carretera falló, siendo incapaz de descargar la demanda que llega a la sección en servicio. En otras palabras, un valor del radio v/c mayor o igual a 1.00 implica congestionamiento.

3.2.4. Factores que reducen la Capacidad en condiciones ideales

Las infraestructuras para flujo ininterrumpido no tienen elementos fijos, tales como semáforos, que sean externas al flujo de tráfico y que puedan interrumpir este flujo.

Las carreteras de dos carriles (bidireccionales) también pueden operar como flujo ininterrumpido durante largos segmentos entre puntos donde existen interrupciones fijas.

3.2.4.1. Terreno llano.

Es toda combinación de alineaciones horizontales y verticales que permite a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad que la de los

vehículos ligeros: este terreno incluye en general pequeñas inclinaciones no superiores a 1 ó 2 por ciento.

La condición de terreno llano es una condición ideal para instalaciones dedicadas a flujo ininterrumpido y para accesos a intersecciones, en la mayoría de los análisis de capacidad, las condiciones prevalecientes, no son las ideales, y los cálculos de capacidad deben incluir correcciones predictivas para reflejar la ausencia de estas condiciones ideales.

La velocidad sostenida en rampa es la máxima velocidad sostenida que los vehículos pesados pueden mantener en una alineación larga de una inclinación dada.

En general, al incrementarse la severidad del terreno, se reducen la capacidad y las intensidades. Este impacto es muy significativo en carreteras rurales de dos carriles, donde la severidad del terreno no solo afecta a las capacidades de circulación de los vehículos individuales dentro de la circulación, sino que también restringe las oportunidades de adelantar a los vehículos lentos de esta circulación.

3.2.4.2. Anchuras de carril.

La anchura de carril y de arcén puede llegar a tener un impacto significativo en la circulación. Los carriles estrechos obligan a los vehículos a circular más cerca uno del otro en sentido lateral de lo que la mayoría de los conductores preferirían. Los conductores compensan esto disminuyendo la velocidad o guardando mayor espaciamiento longitudinal para cada velocidad, lo que reduce realmente la capacidad, la intensidad o ambos.

3.2.4.3. Despejes laterales.

En cuanto al despeje lateral, se considera que un despeje total de 3,60 m. o más constituye la situación ideal. Cuando el despeje lateral combinado sea inferior a 3,60 m., tendrá un efecto negativo sobre las velocidades de recorrido. Cuando se reduce la velocidad libre, también lo hace la capacidad.

3.2.4.4. Existencia de puntos de accesos directos a lo largo de la carretera.

El número de puntos de acceso a lo largo del lateral derecho de la carretera constituye una influencia importante sobre la velocidad libre. Los conductores ajustan su velocidad de recorrido no solo sobre la base del número de entradas y salidas que se producen en esos puntos sino también por la mera existencia de estos puntos de acceso. La adición de intersecciones o vías de acceso a lo largo de una carretera de dos carriles reducirá las velocidades de recorrido.

3.2.4.5. Circulación compuesta únicamente por vehículos ligeros.

Los vehículos pesados son el segundo factor utilizada para corregir el volumen. Se utiliza un factor que convierte a los camiones, autobuses, y vehículos de recreo en un número equivalente de vehículos ligeros.

El impacto de la conversión de los vehículos pesados a vehículos ligeros equivalentes es especialmente importante en las condiciones cercanas a la capacidad lo camiones, autobuses tienden a operar como vehículos ligeros.

3.2.4.6. Velocidad libre

La velocidad libre de los vehículos es una de las características importantes de las carreteras de dos carriles. La velocidad libre es la velocidad teórica de la circulación cuando la densidad se aproxima a cero. En la práctica, es la velocidad a la que los vehículos se sienten cómodos cuando circulan en las condiciones físicas, ambientales, y de control de la circulación que existen en un tramo no congestionado de una carretera multicarril. Esta es similar a la media de la velocidad deseada de todos los conductores en un segmento arterial. Las velocidades libres tienden a ser inferiores cuando los límites de velocidad marcados son inferiores. La importancia de la velocidad libre radica en que es el punto de arranque de los análisis de capacidad y nivel de servicio en condiciones de flujo ininterrumpido.

Los factores que la afectan:

- Velocidad del proyecto
- Límites de velocidad establecidos
- Control de velocidad
- Variación de las condiciones ideales
- Medianas y separadores
- Puntos de acceso

3.3. NIVEL DE SERVICIO

Conviene aclarar que al hablar de congestionamiento en una carretera no es hablar de paralización de todo el movimiento.

El diseñador debe escoger, entre dichos extremos, el nivel de servicio que mejor se adecua a la realidad del proyecto a desarrollar. Como criterio de análisis, se expresa que el flujo vehicular de servicio para diseño debe ser mayor que el flujo de tránsito durante el período de 15 minutos de mayor demanda durante la hora de diseño.

Los criterios de nivel de servicio para las carreteras de dos carriles consideran conjuntamente los criterios de movilidad y accesibilidad. El término de **nivel de servicio**, introducido por el Manual de Capacidad del Transportation Research Board estadounidense, se define como una medida de la calidad que la vía ofrece al usuario.

3.3.1. Definición de nivel de servicio.

El concepto de niveles de servicio utiliza medidas cualitativas que caracterizan tanto las condiciones de explotación del tráfico vial como su percepción por los conductores y pasajeros.

Son varios los factores que entran en juego a la hora de definir un concepto tan poco cuantificable como es la calidad de una vía:

- Velocidad a la que se puede circular por ella.

- Tiempo de recorrido, o de otra forma, ausencia de detenciones y esperas.

- Comodidad que experimenta el usuario: ausencia de ruidos, trazados suaves.

- Seguridad que ofrece la vía, tanto activa como pasiva.

- Costes de funcionamiento.

Todos estos factores de difícil evaluación pueden relacionarse con dos variables que sí son cuantificables: la velocidad de servicio y el índice de servicio.

(a) Velocidad de servicio: Se define como la mayor velocidad media de recorrido que puede conseguir un conductor que circule por un tramo de carretera en buenas condiciones meteorológicas y bajo unas determinadas condiciones de tráfico. Estadísticamente, es aquella que sólo supera el 5% de los vehículos.

(b) Índice de servicio: Relación entre la intensidad de tráfico y la capacidad de la vía.

Dado un determinado nivel de servicio, se define intensidad de servicio como la máxima posible para que se mantenga un determinado nivel se servicio. Caso de superarse, se entraría en un nivel de servicio más bajo.

El Manual de Capacidad define seis niveles de servicio para un régimen continuo de circulación, es decir, sin detenciones producidas por intersecciones o semáforos.

Estos niveles se hallan numerados de la A la F, en orden decreciente de calidad.

3.3.2. Clasificación de los Niveles de Servicio.

Los criterios de los LOS dependen en la velocidad libre del elemento de la carretera estudiado, un elemento geométrico aislado, tal como una curvatura o una inclinación de longitud significativa que opera con una velocidad reducida, o una serie de elementos geométricos que afectan a la explotación de un segmento mayor de la carretera.

El HCM establece seis niveles de servicio LOS (por sus siglas en inglés, level of service), identificados subjetivamente por las letras desde la A hasta la F, donde al nivel de servicio A se logra un flujo vehicular totalmente libre, mientras que al nivel F se alcanza el flujo forzado que refleja condiciones de utilización a plena capacidad de la vía. Conviene aclarar que al hablar de congestionamiento en una carretera no es hablar de paralización de todo el movimiento. El diseñador debe escoger, entre dichos extremos, el nivel de servicio que mejor se adecúa a la realidad del proyecto a desarrollar. Como criterio de análisis, se expresa que el flujo vehicular de servicio para diseño debe ser mayor que el flujo de tránsito durante el período de 15 minutos de mayor demanda durante la hora de diseño.

Un nivel de servicio es una designación que describe un rango operativo sobre un tipo particular de una carretera. Las condiciones generales de operación para los niveles de servicio (del A al F), se describen de la siguiente manera:

- **NIVEL DE SERVICIO A**

FIGURA 3.3-1. Nivel de servicio A



Fuente: HCM 2000 cap.12

El nivel de servicio A describe unas condiciones de completa libertad. La circulación de los vehículos queda virtualmente libre de los efectos de la presencia de otros vehículos, y las operaciones únicamente quedan restringidas por la geometría de

la carretera y por las preferencias del conductor. Los vehículos guardan un espaciamiento medio de 134 m con una densidad máxima de 7,5 vehículos ligeros por kilómetro y carril (vl/km/c).

La maniobrabilidad dentro de la corriente circulatoria es buena. En este nivel se absorberán con facilidad las pequeñas alteraciones del flujo sin ningún cambio en la velocidad de recorrido. Flujo libre de vehículos, bajos volúmenes de tránsito y relativamente altas velocidades de operación (90 km/hr o más). La demora de los conductores no es mayor al 35% del total del tiempo de viaje y la razón de flujo total para ambas direcciones es de 490 veh/hr.

- **NIVEL DE SERVICIO B**

FIGURA 3.3-2. Nivel de servicio B



Fuente: HCM 2000 cap.12

El nivel de servicio B es también indicativo de un flujo libre, aunque empieza a ser perceptible la presencia de otros vehículos. Las velocidades medias de recorrido son las mismas que en el nivel de servicio A, pero los conductores tienen una libertad de maniobra ligeramente inferior. Los vehículos están espaciados en media a 80,5 m con una densidad máxima de 12,4 vl/km/c. En este nivel las alteraciones pequeñas todavía se absorben fácilmente, aunque se hacen más patentes ciertos deterioros locales de este nivel de servicio. Flujo libre razonable, pero la velocidad empieza a

ser restringida por las condiciones del tránsito (80 km/hr). La demora de los conductores no es mayor al 50% del total del tiempo de viaje y la razón de flujo total para ambas direcciones es de 780 veh/hr.

- **EL NIVEL DE SERVICIO C**

FIGURA 3.3-3. Nivel de servicio C



Fuente: HCM 2000 cap.12

El nivel de servicio C representa un rango en el cual queda marcada la influencia de la densidad del tráfico sobre las operaciones. Ahora la presencia de otros vehículos claramente afecta la maniobrabilidad de la corriente, circulatoria. Las velocidades medias de recorrido comienzan a mostrar alguna reducción en aquellas carreteras multicarril con velocidades libres por encima de 80,4 km/h. El espaciamiento medio de los vehículos se reduce a aproximadamente 57,6 m para una densidad máxima de 17,4 vl/km/c. Es de esperar que las pequeñas alteraciones en el flujo provoquen serios deterioros localizados del servicio, y que se formen colas detrás de cualquier alteración del tráfico. Se mantiene en zona estable, pero muchos conductores empiezan a sentir restricciones en su libertad para seleccionar su propia velocidad (70 Km./hr). La demora de los conductores alcanza el 65% del total del tiempo de viaje y la razón de flujo total para ambas direcciones es de 1,190 veh/hr.

- **NIVEL DE SERVICIO D**

FIGURA 3.3-4. Nivel de servicio D



Fuente: HCM 2000 cap.12

El nivel de servicio D representa un rango en el cual la capacidad de maniobra se ve seriamente restringida debido a la congestión de la circulación. Al incrementarse los volúmenes la velocidad de recorrido comienza a reducirse. El espaciamiento medio de los vehículos es de 47,2 m para una densidad máxima de 21 vl/km/c. Sólo es posible absorber las alteraciones pequeñas sin que se formen largas colas y sin que caiga el servicio hasta los niveles de servicio E y los niveles de servicio F. Acercándose a flujo inestable, los conductores tienen poca libertad para maniobrar. La velocidad se mantiene alrededor de los 60 Km./hr. La demora de los conductores es cercana al 80% del total del tiempo de viaje y la razón de flujo total para ambas direcciones es de 1,830veh/hr

- **NIVEL DE SERVICIO E**

El nivel de servicio E representa una explotación en, o cerca de, la capacidad y es bastante inestable. En el nivel de servicio E las densidades varían en función de la velocidad libre. En el nivel de servicio E, los vehículos ruedan con el mínimo espaciamiento para el que se puede mantener un flujo uniforme. Por lo tanto, al

aproximarse el límite inferior del nivel de servicio, no pueden absorberse o disiparse rápidamente la mayoría de las alteraciones, y la mayor parte de estas alteraciones ocasionarán la formación de colas y la caída del servicio en el Nivel de Servicio F. Flujo inestable, suceden pequeños congestionamientos. La velocidad cae hasta 40 Km./hr. La demora de los conductores es mayor al 80%del total del tiempo de viaje.

FIGURA 3.3-5. Nivel de servicio E



Fuente: HCM 2000 cap.12

- **NIVEL DE SERVICIO F**

El nivel de servicio F representa un flujo forzado o en colapso. Esto se produce bien en un punto al que los vehículos llegan a una tasa mayor que la tasa de descarga o en un punto de una carretera en planeamiento donde la demanda prevista excede la capacidad calculada. Aunque las operaciones en estos puntos (y en los tramos inmediatamente corriente abajo) parecerán estar en capacidad, ser formarán colas detrás de estos puntos de colapso. Las operaciones dentro de las colas son altamente inestables sufriendo los vehículos breves períodos de movimiento seguidos por paradas. Las velocidades medias de recorrido con colas son generalmente inferiores a 48 km/h. Debe destacarse que el término “NS F” puede caracterizar tanto el punto de colapso como el funcionamiento dentro de la cola. Debe recordarse, sin embargo, que la cola la provoca un punto de colapso, y que el funcionamiento dentro

de la cola no está en general relacionado a defectos existentes a lo largo del segmento de carretera sobre el que se extiende aquella. F Flujo forzado, condiciones de “pare y siga”, congestión de tránsito.

FIGURA 3.3-6. Nivel de servicio F



Fuente: HCM 2000 cap.12

3.3.3. Medida de efectividad

Para cada tipo de carretera, los niveles de servicio son definidos en términos de una medida de efectividad MOE (por sus siglas en inglés, measure of effectiveness). Una MOE es un parámetro que describe las operaciones de tránsito en términos discernibles para el conductor. El HCM 2000 utiliza tres medidas primarias que son: Velocidad y tiempo de viaje, densidad y demora.

3.3.3.1. Velocidad y tiempo de viaje

Una de las más discernibles medidas de la calidad de servicio es la cantidad de tiempo perdido en el viaje. La velocidad y el tiempo de viaje son utilizados para definir el nivel de servicio de una carretera.

3.3.3.2. Densidad

La densidad describe la proximidad de otros vehículos dentro del tránsito. Es

una medida sustituta para el confort del conductor y para la habilidad de maniobrar dentro del tránsito**.**

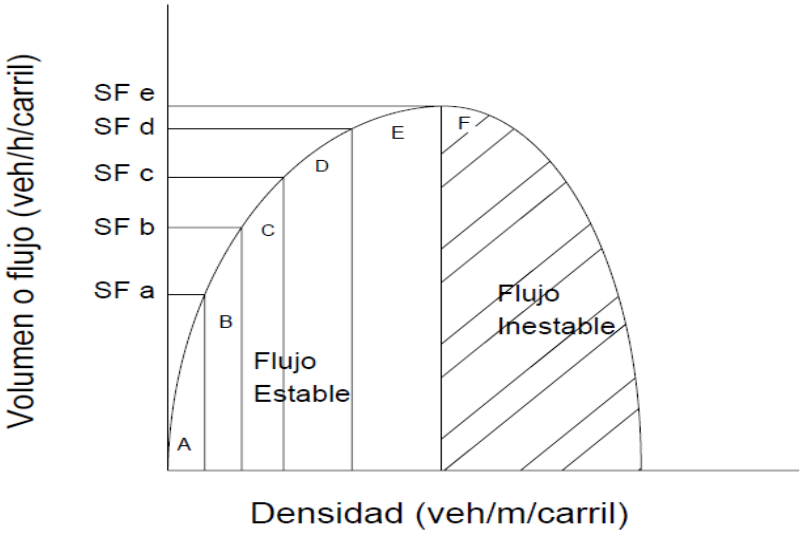
3.3.3.3. Demora

La demora es un término genérico que describe el exceso o el tiempo inesperado perdido en el viaje. La única medida de atraso utilizada para definir el nivel de servicio en una carretera de dos vías, es el porcentaje de tiempo de atraso.

3.3.4. Razones de flujo de servicio y volúmenes de servicio

La siguiente figura muestra los niveles de servicio para un segmento de carretera con flujo ininterrumpido, definida en términos de densidad.

FIGURA 3.3-7. Nivel de servicio para flujo ininterrumpido



Fuente: HCM 1994

Cada nivel de servicio representa un rango distinto de condiciones de operación. También para carreteras de flujo ininterrumpido es posible definir la máxima razón de flujo que puede ser sostenida para cualquier nivel de servicio dado. Estos valores son mostrados en la figura anterior y son llamados razón de flujo de servicio (SF).

3.4. AJUSTE DE CAPACIDAD Y NIVEL DE RAZÓN DE FLUJO DE SERVICIO PARA REFLEJAR CONDICIONES PREVALECIENTES

3.4.1. Condiciones geométricas que afectan la capacidad y los niveles de flujo de servicio

3.4.1.1. Alineamiento vertical y horizontal

El alineamiento básico de la carretera, generalmente tiene un impacto en su capacidad o razón de flujo de servicio. Para carreteras de dos carriles, el alineamiento directamente controla las oportunidades de rebasar y puede tener severo impacto en la capacidad. En las versiones anteriores del HCM se utilizaba la velocidad de diseño como una medida para calcular el alineamiento, pero era difícil aplicar esta medida en las secciones de las carreteras con elementos de alineamiento horizontal y vertical. El HCM 2000 utiliza la velocidad de flujo libre como una medida sustitutiva para el alineamiento. La velocidad no solo refleja el alineamiento vertical y horizontal, sino que también los elementos que cuantifican la dificultad en el tránsito. La capacidad tiende a declinar cuando decrece la velocidad de flujo libre. Dado que la razón de flujo es el producto de la velocidad y la densidad, es fácil observar como éstas guían al decline de la capacidad.

3.4.1.2. Ancho de carril y libertad lateral

Los carriles angostos forzan a los conductores a manejar lateralmente cerca uno de otro, tanto como les sea confortable. Los conductores compensan el manejar confortable reduciendo la velocidad. Esto hace que la capacidad dela carretera decline. Las restricciones laterales al conducir tienen efectos similares. Los conductores manejan temerosos cerca de una barrera o talud lateral dentro dela carretera que están lo suficientemente cerca para imponer un riesgo obvio al conductor. Al suceder esto, los conductores se mueven cerca a los vehículos del carril lateral, la compensación normal es manejar más despacio o dejar largas distancias entre los vehículos del mismo carril.

3.4.1.3. Porcentaje (%) de pendiente

La combinación de vehículos pesados con el porcentaje de pendiente dela carretera crea un gran impacto. Los vehículos pesados no pueden mantener la misma velocidad que los vehículos livianos sobre una tramo inclinado de la carretera, creando entonces largas brechas en el tránsito, que no pueden ser llenadas con maniobras normales de rebase. Esto sólo sucede en carreteras de dos carriles.

3.4.2. Condiciones prevalecientes del tránsito que afectan la capacidad

3.4.2.1. Distribución direccional

En carreteras de dos carriles donde las maniobras de rebase en una dirección deben ocupar el carril en el flujo opuesto, el flujo de una dirección tiene impacto sobre el flujo en la dirección contraria. La capacidad ideal de2800 veh/hr (en ambas direcciones) está basada sobre la distribución de 50%-50% del tránsito en las dos direcciones. Para cualquier otra distribución direccional, la capacidad decrece, llegando a un valor de 2000 veh/hr cuando el tránsito está al 100% en una dirección.

3.4.2.2. Vehículos pesados en el tránsito

La característica más importante que afecta la capacidad y el nivel deservicio es la presencia de vehículos pesados dentro del tránsito. El efecto de tales vehículos es doble:

a) Los vehículos pesados son más largos que un vehículo normal.

b) Los vehículos pesados tienen características de operación generalmente inferiores que los vehículos normales. La segunda es la más importante, como se mencionó en el inciso anterior, los vehículos pesados son incapaces de mantener la misma velocidad que un vehículo normal en un tramo inclinado de la carretera. Los vehículos pesados son colocados en cuatro categorías distintas, como sigue:

3.4.2.3. Camiones

Son vehículos ocupados para transportar materiales, hacer fletes, trasladar maquinaria, etc. Hay una variedad de formas y longitudes, desde los camiones con

dos ejes hasta los camiones de doble remolque. El promedio de relación entre peso y caballaje está dentro del rango de 125-150 lb./hp hasta300-400 lb./hp, para los camiones más pesados.

3.4.2.4. Vehículos recreacionales

Estos son casas rodantes individuales o remolcadas por otro tipo de vehículo. El promedio de relación entre peso y caballaje para este tipo de vehículo está dentro del rango de 30-60 lb./hp. Estos vehículos regularmente no tienen prisa alguna en llegar a algún destino, ya que son conducidos por personas que únicamente buscan disfrutar del viaje como del paisaje que la carretera les brinda.

3.4.2.5. Buses extraurbanos

Son vehículos que transportan personas de un lugar a otro, pero que no hacen paradas seguidas dentro de la carretera para recoger o bajar pasajeros. El promedio de relación entre peso y caballaje está dentro del rango de 100-135lb./hp.

3.4.2.6. Buses locales del área

Son vehículos que hacen paradas continuas, parando en la orilla de la carretera para recoger o bajar pasajeros. El promedio de relación entre peso y caballaje está dentro del rango de 90-120 lb./hp. Este tipo de vehículos añaden otro efecto a la capacidad, ya que cuando paran bloquean una porción del carril o de la carretera.

3.4.3. Condiciones prevalecientes de control que afectan la capacidad

3.4.3.1. Límites de velocidad

Los límites de velocidad no afectan directamente la capacidad, la cual tiende a ocurrir velocidades relativamente bajas. Sin embargo, afectan la velocidad de flujo libre en una carretera y las características de flujo. Esto se hace cierto cuando los límites de velocidad son irrazonablemente bajos y estrictamente forzados. En estudios realizados muestra que los conductores no se ven afectados por los límites de velocidad al menos que sean forzosos.

CAPÍTULO IV

MANUALES DE CAPACIDAD VIAL DE LOS ESTADOS UNIDOS (HCM), COMPARACIÓN EN LA APLICACIÓN DEL HCM 2000 Y EL HCM 1994

CAP.IV. CAPACIDAD VEHICULAR POR EL MÉTODO (HCM)

4.1. ANTECEDENTES

Durante los años treinta y cuarenta, cuando la ingeniería de tránsito llegaba a la mayoría de edad, hubo gran inquietud por cuantificar el diseño de las vías con respecto al tránsito que iban a servir, y de cierto modo, convertir el arte de la ingeniería de tránsito en una verdadera técnica. La demanda de tránsito, expresada en volumen, debía satisfacerse con una oferta de tránsito expresada también en volumen, que se llamaría capacidad vial. Entonces sería posible diseñar los elementos geométricos y de regulación de la circulación a fin de proporcionar una capacidad, en vehículos por hora, superior a los vehículos por hora que se estimara pasarían por la vía en el año de diseño y evitar que ocurriera la temida congestión de tránsito.

Existían diversos procedimientos teóricos que estimaban la capacidad vial basados en principios racionales, pero el fenómeno comprendía tantas variables desconocidas (especialmente en lo tocante a las reacciones humanas) que se pensó que lo más práctico sería elaborar un procedimiento basado mayormente en datos tomados en el terreno que establecieran relaciones empíricas entre las características del tránsito y las vías, y la capacidad de éstas. El objetivo de un Estudio de la Circulación es el de conocer de antemano el comportamiento de una carretera o un tramo de ella, con condiciones de circulación prefijadas y reales, para determinar los diferentes regímenes de explotación y con el objetivo principal de conseguir que la circulación de personas y mercancías sea segura, eficiente y económica.

En la Ingeniería de Tráfico (1930), el objetivo principal es el de mejorar la explotación de las redes viarias existentes, empleándose posteriormente para la planificación y el proyecto de nuevas vías.

En Ingeniería de Tráfico existen diversos métodos empíricos de análisis que en función de las características de la carretera permiten conocer la capacidad de la misma. De ellos, el principal método es el Manual de Capacidad de Carreteras HCM (Highway Capacity Manual).

El Manual de Capacidad de las Carreteras (HCM) determina la capacidad y los niveles de servicio en condiciones ideales y, posteriormente, estas variables se adaptan en función de las discrepancias que existan entre éstas condiciones y las características propias del tramo real de la carretera estudiada o proyectada. Para los Estados Unidos, la tarea de crear ese procedimiento fue acometida por el "Bureau of Public Roads" (que hoy se llama "Federal Highway Administration") y fue dirigida por el ingeniero Olav Koch Normann. El fruto de esa labor fue el primer "Manual de Capacidad Vial" norteamericano ("Highway Capacity Manual" o "HCM") que vio la luz y publicó la primera edición del HCM en 1950 por la Oficina de Caminos Públicos de los Estados Unidos, y nació como una guía al diseño y al análisis funcional de las carreteras, siendo el primer documento en cuantificar el concepto de capacidad para medios de transporte con un precio: de un dólar.

El HCM fue un éxito de librería y se tradujo a los principales idiomas del mundo inclusive el castellano. Luego, la "Highway Research Board" de los Estados Unidos (que hoy se llama "Transportation Research Board" o "TRB"), con el apoyo del "Bureau of Public Road", preparó una segunda edición del Manual de Capacidad Vial. Esta versión del manual introdujo el concepto de nivel de servicio. Casi veinte años después, en 1965, se publicó la segunda edición, bajo la guía de su Comité de la Capacidad de Carreteras, y fue la primera en definir el concepto de nivel de servicio que se ha convertido en la base para determinar la suficiencia de las facilidades de transporte desde la perspectiva de planificación, diseño y operación.

La tercera edición, publicada por el TRB en 1985, reflejó más de dos décadas de investigación comprensiva conducida por una variedad de agencias bajo el patrocinio de varias organizaciones como el Programa Nacional de Cooperativa de Investigación de Carreteras y la Administración de Carreteras Federales, como un resultado continuo de investigación acerca de la capacidad, se puso al día la cuarta edición del HCM en 1994 y 1997, en la cual se editó una actualización de ocho capítulos del HCM. Traducido a varios idiomas, se ha vuelto la norma de referencia sobre procedimientos de capacidad y del nivel de servicio. Por más de 50 años, el

HCM ha cumplido esta meta, ganando un lugar único en el reconocimiento de la comunidad del transporte.

Se proyectó una edición completamente nueva para el sugestivo año 2000.El organismo que tiene a su cargo la preparación de esos manuales es el Comité de Capacidad Vial de la TRB, que es parte de la Academia de Ciencias de los Estados Unidos. El comité se compone de una veintena de miembros honoríficos y está integrado por especialistas en capacidad vial que proceden principalmente de entidades gubernamentales, universidades y empresas consultoras de los Estados Unidos y de otros países industrializados. Dirige el comité las investigaciones sobre capacidad vial que realizan consultores patrocinados por la TRB y toma decisiones sobre el material que se va a incorporar al HCM producto de estas investigaciones y de las realizadas o patrocinadas por otras organizaciones.

Toda la investigación resultante contribuye para que el HCM 2000 esté sujeto a revisiones iterativas e interactivas. Cuando un proyecto consolidado de investigación es completado, el grupo que guía su desarrollo, revisa primero los resultados, si es aceptado por el grupo, la investigación es, entonces, presentada para consideración por uno de los 12 subcomités de trabajo del Comité sobre Carreteras, Capacidad y Calidad de Servicio. El subcomité, incluyendo varios miembros del comité, así como otros profesionales activos, proveen sus recomendaciones al comité completo. La aprobación final de cada capítulo del HCM 2000 termina en el Comité sobre Carreteras Capacidad y Calidad de Servicio, compuesto de 30 miembros representando la comunidad de investigación, agencias gubernamentales y la industria privada.

Paralelamente a la preparación del HCM se han ido elaborando programas informáticos que realizan automáticamente los procedimientos que se van plasmando en el HCM. Estos programas proceden de distintas fuentes, pero los más populares son los llamados HCS (“Highway Capacity Software”) que difunde el Centro McTrans de la Universidad de Florida en los Estados Unidos.

Los programas HCS replican fielmente los procedimientos del HCM en el computador y resuelven los problemas en una pequeña fracción del tiempo que requiere su solución manual utilizando los formatos y tablas del HCM. Otra manera más precisa de estimar la capacidad vial y el nivel de servicio es mediante *modelos de simulación microscópicos,* tales como Netsim, Fresim, TEXAS y TWOPAS. Algunos de estos modelos se han empleado para generar tablas para el HCM; sin embargo, tanto los programas HCS como esos modelos representan una manera mecánica de resolver problemas que no permite que el que los use comprenda bien lo que está haciendo. Es recomendable empezar con los procedimientos manuales antes de usar métodos computarizados.

El Manual de Capacidad de Carreteras HCM proporciona prácticas e investigaciones del transporte con un sistema consistente de técnicas para la evaluación de la capacidad y determinar el nivel de servicio en carreteras y calles. Sus objetivos incluyen proporcionar un juego lógico de métodos para evaluar las facilidades del transporte, asegurando que los practicantes tengan un acceso a los resultados de la investigación actualizada.

Sin embargo, este manual no establece una norma legal para diseño o construcción de carreteras. El manual es la fuente primaria documental que refleja hallazgos de la investigación en capacidad y calidad de servicio y presenta métodos para analizar los funcionamientos de las calles, carreteras, el peatón y la bicicleta.

El HCM es principalmente un documento que contiene una serie de procedimientos basados en modelos analíticos calibrados con datos empíricos tomados en los Estados Unidos y el Canadá. En su confección han participado personas de varios países y se han tenido en cuenta métodos usados fuera de su país de origen; no obstante, debido a su naturaleza empírica, la aplicación del HCM fuera de su ámbito de origen puede dar resultados imprecisos y hasta erróneos si no se calibra para el medio en que se vaya a usar.

4.2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA VERSIÓN DEL HCM 1994 ENCARRETERAS DE DOS CARRILES

4.2.1. Metodología

Los criterios de nivel de servicio para las Carreteras de dos carriles consideran conjuntamente los criterios de movilidad y accesibilidad. La medida esencial de la calidad del servicio es el porcentaje de demora en tiempo, utilizándose la velocidad y la utilización de la capacidad como medidas secundarias. Los criterios de nivel de servicio se definen para períodos punta de 15 minutos y están pensados para su aplicación a tramos de longitud significativa.

En la Tabla 4.2-1 se dan los criterios de nivel de servicio para tramos de características geométricas normales. Para cada nivel de servicio se indica el porcentaje de demora en tiempo. También se indica la velocidad media de recorrido con valores que varían ligeramente según el tipo de terreno. La tabla incluye los valores máximos de la relación *l/c* (intensidad/capacidad) para tres tipos de terreno y para los niveles de servicio A a F. Para las carreteras de dos carriles, los valores indicados representan la relación entre la intensidad y la “capacidad ideal" que es de 2800 vl/h para un tramo en terreno llano, condiciones geométricas ideales y sin prohibición de adelantamiento alguna.

Las carreteras de dos carriles son muy complejas y las capacidades varían en función del terreno y del grado de restricción en el adelantamiento. Para simplificar los cálculos las relaciones *I/c se* dan en función de la constante “capacidad ideal", de 2800 vl/h, total para ambos sentidos.

Los criterios de los niveles de servicio de la Tabla 4.2-1 se refieren a tramos largos de carreteras rurales de dos carriles en las que el objetivo principal de la vía es el logro de una movilidad eficiente. En tramos en que las velocidades están restringidas por ley o por señales, como por ejemplo en travesías, el porcentaje de demora en tiempo y la utilización de la capacidad (I/c) son los únicos indicadores significativos del nivel de servicio.

La Tabla 4.2-2 da el criterio de nivel de servicio para tramos en rampa de carácter especial. Este criterio relaciona la velocidad media de *subida* con el nivel de servicio: El funcionamiento de la circulación en rampas largas es sustancialmente distinto del correspondiente a tramos con condiciones geométricas normales. La velocidad de los vehículos ascendentes se ve seriamente afectada en cuanto se incrementa la formación de columnas detrás de los vehículos lentos y las maniobras de adelantamiento se hacen más difíciles. Es más, al contrario de lo que ocurre en los tramos de condiciones geométricas normales, en los que se puede hallar aproximadamente la velocidad que corresponde a la capacidad, para los tramos especiales en rampa la velocidad que corresponde a la capacidad dependen de la longitud e inclinación de la rampa y del volumen de circulación. Por ello la estimación de la capacidad es compleja. Así la Tabla 4.2-2 define criterios distintos del nivel de servicio para tramos con rampas especiales o singulares.

Estos procedimientos no contemplan específicamente la circulación en tramos en pendiente. En general la circulación en pendientes suaves (inferiores al 3 por ciento\ es comparable a la existente en tramos en llano. Para mayores Inclinaciones, la circulación en pendiente tiene un comportamiento intermedio entre el que se produce en llano y el experimentado en rampas con características del tráfico y de la carretera equivalentes. La preocupación principal en pendientes pronunciadas reside en los posibles camiones “descontrolados”.

La máxima calidad de servicio se produce cuando los conductores son capaces de circular a la velocidad que desean. En carreteras de dos carriles, cuando no hay una estricta vigilancia del cumplimiento de la normativa legal, la máxima calidad, representativa del *nivel de servicio A,* da lugar a velocidades medias próximas a 96 km/h. Para mantener estas velocidades no es precisa una gran frecuencia de adelantamientos. La demanda de adelantamiento está muy por debajo de la capacidad de adelantamiento y apenas se observan columnas de 3 o más vehículos. Los conductores no sufren demoras superiores al 30 por ciento debido a los vehículos lentos. En condiciones ideales puede alcanzarse una intensidad máxima de servicio de

420 vl/h, total para ambos sentidos. *El nivel de servido B* representa unas condiciones de circulación que en terreno llano reducen velocidades de 88 km/h o ligeramente superiores. La demanda de adelantamiento, necesaria para mantener las velocidades deseadas es significativa, y aproximadamente igual a la capacidad de adelantamiento en el límite inferior del nivel de servicio B. Los conductores sufren demoras de hasta el 45 por ciento como valor medio. Bajo condiciones ideales pueden alcanzarse intensidades máximas de servicio de 750 vl/h, total para ambos sentidos. Por encima de esta intensidad el número de columnas que se forman en la corriente circulatoria comienza a incrementarse rápidamente.

Con mayores incrementos de la intensidad se entra en el *nivel de servicio C*, dando lugar a notables incrementos del proceso de formación de columnas, de la longitud de las columnas y de la frecuencia con que está impedido el adelantamiento.

TABLA 4.2-1. Niveles de servicio para tramos de carreteras de dos carriles de características geométricas normales.

Valores de la relación I/c

NS	% DEM. EN TIEM.	RELACION *I/c** TERRENO LLANO							TERRENO ONDULADO							TERRENO MONTAÑOSO						
			% PROIHB. ADELANTAR							% PROIHB. ADELANTAR							% PROIHB. ADELANTAR						
		V_m	0	20	40	60	80	100	V_m	0	20	40	60	80	100	V_m	0	20	40	60	80	100
A	≤ 30	≥93	0.15	0,12	0,09	0,07	0,05	0.04	≤91	0,15	0,10	0,07	0,05	0,04	0,03	≥90	0,14	0,09	0,07	0,04	0,02	0,01
B	≤45	≥88	0.27	0.24	021	0,19	0,17	0,16	≥86	0,26	0.23	0,19	0,17	0,15	0,13	≥86	0,25	0,20	0,16	0,13	0,12	0,10
C	≤60	≥83	0,43	0.39	0,36	0,34	0,33	0,32	≥82	0.42	0.39	0,35	0,32	0,30	0,28	≥78	0,39	0,33	0,28	0,23	0.20	0,16
D	≤75	≥80	0,64	0.62	0.60	0.59	0,58	0.57	≥78	0,62	0.57	0,52	0,48	0,46	0,43	≥70	0,58	0,50	0,45	0,40	0,37	0.33
B	>75	≥ 72	1.00	1.00	1.00	1,00	1,00	1.00	≥64	0,97	0,94	0.92	0.91	0,90	0,90	≥56	0,91	0,87	0,84	0,82	0,80	0,78
F	100	<72	–	–	–	–	–	–	<64	–	–	–	–	–	–	<56	–	–	–	–	–	–

*Relación I/c referida a la capacidad ideal de 2.800 vl/h total de calzada.

V_m =Se ofrecen estas velocidades únicamente a título informativo, y son de aplicación a carreteras con velocidad de proyecto ≥96 km/h.

Fuente: HCM 1994 Capítulo 8

TABLA 4.2-2 Criterios de nivel de servicio para rampas singulares

NIVEL DE SERVICIO	VELOCIDAD MEDIA DE SUBIDA KM/H
A	>88
B	>80
C	>72
D	>64
E	>40 - 64[a]
F	<40-64

a La velocidad exacta a la que se produce la capacidad, varía con el porcentaje de la inclinación y la longitud de la rampa, la composición del tráfico y la intensidad

Fuente: HCM 1994 Capítulo 8

La velocidad media aún supera los 83 km/h en terreno llano, aun cuando la demanda de adelantamiento exceda la capacidad. Para mayores intensidades de circulación empieza a producirse la unión de columnas y una significativa reducción de la capacidad de adelantamiento. El porcentaje de demoras en tiempo sube hasta un máximo del 60 por ciento. Bajo condiciones ideales pueden alcanzarse intensidades de servicio de hasta 1200 vl/h total de calzada.

Al entrar la circulación en el *nivel de servicio D* se aproxima al régimen inestable. Los dos sentidos de la circulación empiezan a funcionar separadamente, puesto que el adelantamiento se hace extremadamente difícil. La demanda de adelantamiento es muy alta y en cambio, la capacidad de adelantamiento se aproxima a cero. Son frecuentes columnas de 5 a 10 vehículos aun cuando en condiciones ideales pueden mantenerse, todavía, velocidades de 80 km/h. La proporción de secciones sin visibilidad de adelantamiento a lo largo de un tramo de carretera tiene generalmente poca influencia en el adelantamiento. Los vehículos que giran y las distracciones debidas al entorno producen grandes oscilaciones en la corriente

circulatoria. El porcentaje de demoras en tiempo se acerca al 75 por ciento. Bajo condiciones ideales pueden alcanzarse intensidades de servicio de 1800 vl/h, total para ambos sentidos. Esta es la máxima intensidad que puede mantenerse durante un cierto tiempo sobre un tramo largo de carretera en terreno llano sin que se produzca una alta probabilidad de congestión.

El *nivel de servicio E* define las condiciones de circulación existentes en carreteras de dos carriles cuando se produce un porcentaje de demora en tiempo superior al 75 por ciento. Bajo condiciones ideales las velocidades bajarán de los 80 km/h. Las velocidades medias en carreteras con condiciones por debajo de las ideales serán más bajas, llegando incluso a 40 km/h en rampas prolongadas. El adelantamiento es prácticamente imposible en este nivel de servicio y la formación de columnas se hace intensa en cuanto se encuentran vehículos más lentos u otras interrupciones.

El máximo volumen alcanzable en el nivel de servicio E define la capacidad de la carretera. Esta capacidad es de 2800 vl/h total de ambos sentidos, en condiciones ideales. Para otras condiciones la capacidad disminuye. Adviértase que las relaciones *I/c* de la Tabla 4.2-1 no llegan en todos los casos a 1,00 en capacidad. Esto se debe a que estas relaciones se refieren a la "capacidad ideal". Las condiciones de la circulación en capacidad son inestables y difíciles de predecir. Rara vez se pueden observar condiciones de capacidad en carreteras rurales, fundamentalmente por falta de demanda.

La capacidad de las carreteras de dos carriles está afectada por el reparto del tráfico por sentidos. Según se separa el reparto de la situación ideal 50/50, la capacidad total de ambos sentidos (total de calzada*)(* = N. del T.: Se utilizará "total de calzada“ pues es el término habitualmente empleado en idioma español.) queda reducida como se indica a continuación:

TABLA 4.2-3. Reparto del tráfico por sentidos

Reparto por sentidos	Capacidad total (vl/h)	Relación capacidad/ capacidad ideal
50/50	2.800	1,00
50/40	2.650	0,94
70/30	2.500	0,89
80/20	2.300	0,83
90/10	2.100	0,75
100/0	2.000	0,71

Fuente: HCM 1994 Capítulo 8

En tramos cortos en carreteras de dos carriles como es el caso en túneles o puentes, las interacciones con el tráfico en sentido contrario es posible que solamente tengan efectos mínimos. La capacidad por sentido, en estos casos, puede aproximarse a la de un carril individual totalmente cargado, ajustada para tener en cuenta los efectos de la anchura de carril y arcén.

De la misma forma que con otros tipos de carretera, el *nivel de servicio F* representa una circulación muy congestionada con una demanda superior a la capacidad. Los volúmenes son Inferiores a la capacidad y las velocidades son inferiores a la velocidad de capacidad. Rara vez se sostiene el nivel de servicio E en tramos largos a nivel, sino que es un estado transitorio, lo habitual es que las perturbaciones producidas al aproximarse la circulación al nivel E provoquen una rápida transición al nivel de servicio F.

4.2.1.1. Análisis de la circulación

Este epígrafe presenta la metodología para el tratamiento de los segmentos de condiciones geométricas normales y el de las rampas especiales, dado que la dinámica de interacción del tráfico en rampas de inclinación sostenida difiere de la existente en segmentos normales. Se tratan como segmentos normales a aquéllos tramos con inclinación inferior al 3 por ciento o de longitud inferior a 800 metros. Los tramos que tengan bien inclinación o longitud superiores se tratarán como rampas especiales.

Se entiende por longitud de tramo a la longitud del tramo recto inclinado más una parte de las curvas de acuerdo vertical del comienzo y fin de la rampa. Se suele incidir la cuarta parte, aproximadamente, de las longitudes de las curvas de acuerdo existentes al principio y fin de la rampa como parta de la longitud de ésta. Cuando aparezcan dos tramos inclinados seguidos, unidos por una curva vertical, se contabilizará la mitad de la longitud de ésta con cada tramo Inclinado.

El objetivo del análisis de la circulación es en general, la determinación del nivel de servicio existente en una carretera, existente o en proyecto, sometida al tráfico, existente o previsto. También puede utilizarse el análisis de la circulación para la determinación de la capacidad de un segmento de carretera de dos carriles, o de la intensidad de servicio a la que se puede dar servicio en cualquier nivel de servicio.

4.2.1.1.1. Uso del Factor de Hora Punta

Lo mismo que para otros tipos de carretera, el análisis de las carreteras de dos carriles se basa en el análisis de intensidades para un período punta de 15 minutos dentro de la hora que se considera, que normalmente es la hora punta. Los criterios de la Tabla 4.2-1 se refieren a las intensidades horarias equivalentes basadas en la punta de los 15 minutos.

Estos criterios se utilizan para calcular intensidades de servicio que se comparan a las intensidades existentes o proyectadas para determinar el nivel de

servicio. Por lo tanto los volúmenes horarios deben convertirse a intensidades horarias para la punta de 15 minutos de la forma siguiente:

Ecuación 4.2-1

$$i = \frac{Q}{FHP}$$

Siendo:

i= intensidad horaria equivalente correspondiente a la tasa del cuarto de hora de mayor tráfico, total de calzada, en v/h;

Q = volumen horario de tráfico de una hora completa, total de calzada, en v/h; y

FHP = factor de hora punta.

Cuando se compara, intensidades con los criterios de la Tabla 4.2-1, las características previstas para la circulación se espera que prevalezcan para el periodo de 15 minutos al que la intensidad se aplica. En muchas circunstancias rurales, puede que el analista desee examinar las condiciones medias sobre una hora punta. En estos casos se comparan directamente los volúmenes de una hora completa, sin ajustar con el FHP, con los criterios de la tabla. Se hace notar, sin embargo, que un nivel de servicio medio C durante toda una hora puede incluir períodos de la hora funcionando con niveles D o E, y otros que funcionan a nivel A o B.

La decisión de utilizar intensidades horarias (de una hora completa) en un análisis, depende de que las características "punta" causen o no una fluctuación significativa dentro de la hora punta y de que el impacto de tales fluctuaciones pueda influir en las decisiones del proyecto o del funcionamiento de la circulación. En general, cuando el factor de hora punta es inferior a 0,85, las condiciones de la circulación variarán sustancialmente dentro de la hora.

Cuando el factor de hora punta pueda obtenerse de datos locales “in situ” deberá hacerse así. Cuando estos datos no estén disponibles pueden utilizarse los factores tabulados en la Tabla 4.2-4.

Estos están basados únicamente en la hipótesis de aleatoriedad de la circulación y pueden ser algo más altos que los obtenidos de datos de campo. Cuando deba calcularse el nivel de servicio para un volumen de tráfico dado, se elige un valor apropiado a este volumen en la parte superior de la tabla. Cuando tenga que calcularse la intensidad de servicio el valor se toma de la parte inferior de la tabla, porque el volumen es desconocido.

TABLA 4.2-4. Factores de hora punta para carreteras de dos carriles basados en circulación aleatoria

A. CÁLCULO DEL NIVEL DE SERVICIO			
INTENSIDAD HORARIA TOTAL DE CALZADA (v/h)	**FACTOR DE HORA PUNTA FHP**	**INTENSIDAD HORARIA TOTAL DE CALZADA (v/h)**	**FACTOR DE HORA PUNTA FHP**
100	0,83	1.000	0,93
200	0,87	1.100	0,94
300	0,90	1.200	0.94
400	0,91	1.300	0.94
500	0,91	1.400	0,94
600	0,92	1.500	0.95
700	0,92	1.600	0.95
800	0,93	1.700	0.95
900	0,93	1.800	0.95
		≥ 1.900	0.96

B. CÁLCULO DE LAS INTENSIDADES DE SERVICIO					
NIVEL DE SERVICIO	A	B	C	D	E
FACTOR DE HORA PUNTA	0.91	0,92	0,94	0,95	1,00

Fuente: HCM 1994 Capítulo 8

Estos están basados únicamente en la hipótesis de aleatoriedad de la circulación y pueden ser algo más altos que los obtenidos de datos de campo. Cuando deba calcularse el nivel de servicio para un volumen de tráfico dado, se elige un valor apropiado a este volumen en la parte superior de la tabla. Cuando tenga que calcularse la intensidad de servicio el valor se toma de la parte inferior de la tabla, porque el volumen es desconocido.

4.2.1.1.2. Análisis de tramos normales

La metodología para estos tramos calcula las medidas de funcionamiento del tráfico a lo largo de un tramo de carretera basándose en el tipo medio de terreno, en el trazado y en las condiciones de tráfico. El terreno se clasifica en llano, ondulado o montañoso, según sea determinado. El método para tramos de características geométricas normales se aplica normalmente a tramos de carreteras de longitud no inferior a 3 km.

Las características geométricas de la carretera incluyen una descripción general de las características de la sección longitudinal e información específica sobre la sección transversal. Las características de la sección longitudinal se definen por el porcentaje medio del tramo de carretera sujeto a la prohibición de adelantamiento. Se utiliza la media para ambos sentidos. El porcentaje de carretera a lo largo de la cual la distancia de visibilidad es inferior a 450 m puede utilizarse como alternativa para las zonas con prohibición de adelantamiento. Los datos sobre la sección transversal incluyen la anchura de carril y la anchura de arcén utilizable. No se usan directamente los datos geométricos sobre velocidad de proyecto y rampas especiales, sino que están implícitos en otros factores geométricos analizados.

Los datos de tráfico necesarios para aplicar el método de tramos de características geométricas normales incluye el volumen horario total de calzada, el factor de hora punta y el reparto del tráfico por sentidos. Los factores de hora punta pueden obtenerse de datos de campo o en su defecto de la Tabla 4.2-4. Los datos de tráfico incluyen también la proporción de vehículos pesados, de vehículos de recreo **y**

de autobuses en la circulación. Cuando no se disponga de estos datos, en carreteras importantes se pueden utilizar, por defecto, los siguientes valores:

- P_C = 0,14 (CAMIONES)
- P_R = 0,04 (VR)
- P_B = 0,00 (AUTOBUSES)

Las carreteras turísticas tendrán evidentemente una mayor proporción de vehículos de recreo que los indicados para las carreteras importantes.

a. Fórmula general .- La fórmula general que define el funcionamiento de la circulación en tramos de características geométricas normales es la siguiente:

Ecuación 4.2-2

$$IS_i = 2.800 \text{ x } (I/c)i \text{ x } f_R \text{ x } f_A \text{ x } f_{VP}$$

Dónde:

IS_i = intensidad total de calzada para el nivel de servicio i, en vl/h, para las condiciones prevalecientes de la carretera y de la circulación;

(I/c)i = relación de la intensidad a la capacidad ideal para el nivel de servicio i, obtenida de la tabla 4.2-1;

f_R = factor de ajuste para el reparto de la circulación por sentidos, obtenida de la Tabla 4.2-5;

f_A = factor de ajuste de la anchura de carriles y arcenes, obtenido de Tabla 4.2-6, y:

f_{VP} = factor de ajuste debido a la presencia de vehículos pesados en la circulación, calculado mediante:

Ecuación 4.2-3

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

En donde:

P_C = proporción de camiones en la circulación, expresada en tanto por uno;

P_R = proporción de VR en la circulación, expresada en tanto por uno;

P_B = proporción de autobuses en la circulación expresada en tanto por uno;

E_C = equivalente de camiones, obtenido de la Tabla 4.2-7;

E_R = equivalente de VR, obtenido de la Tabla 4.2-7; y

E_B = equivalente de autobuses, obtenido de la Tabla 4.2-7.

La ecuación 4.2-2 parte de una capacidad ideal de 1.800 vl/h y la corrige para reflejar: la relación apropiada l/c para el nivel de servicio deseado; todo reparto por sentidos distinto al 50/50; la existencia de carriles y arcenes estrechos; y los vehículos pesados en la circulación.

b. Ajustes de la relación I/c.- Los valores de la relación I/c dados en la Tabla 4.2-1 reflejan una relación compleja entre velocidad, intensidad, demora y las características geométricas de las carreteras de dos carriles. Los valores de I/c varían con el nivel de servicio, el tipo de terreno y la magnitud de las restricciones de adelantamiento. Conviene observar que las relaciones I/c para la capacidad no son iguales a 1,00 en terreno ondulado o montañoso. Esto se debe a que están basadas en la capacidad ideal de 2800 vehículos ligeros por hora la cual no puede alcanzarse en esos terrenos. Es más, el ser más frecuente la formación de columnas en terreno ondulado o montañoso las restricciones al adelantamiento tienen aquí un efecto más agudo en la capacidad y el nivel de servicio que en terreno llano.

c. Ajuste por el reparto por sentidos — Los valores de I/c de la Tabla 4.2-1 se refieren a un reparto por sentidos 50/50. Para otros repartos se deben aplicar los factores de la Tabla 4.2-5 a los valores de la Tabla 4.2-1.

d. Ajuste por reducción de la anchura de los carriles y arcenes.- Los carriles estrechos obligan a los conductores a acercarse a los vehículos del carril opuesto, y un efecto parecido se produce con los arcenes estrechos y los obstáculos fijos del borde de la calzada, frente a los cuales los conductores se "intimidan y apartan" cuando los juzgan peligrosos. Todo ello lo compensan mediante una disminución de la velocidad o aumento de los intervalos resultando una disminución de las intensidades conseguidas para cada velocidad.

La Tabla 4.2-6 muestra los factores que reflejan este comportamiento, los cuales se aplican a los valores de I/c de la Tabla 4.2-1. Los factores en capacidad son superiores al ser menos nocivo el efecto cuando los vehículos viajan ya a las velocidades reducidas existentes en capacidad.

e. Ajuste por vehículos pesados en la circulación — Los valores I/c de la Tabla 8-1 se refieren a una circulación compuesta únicamente por vehículos ligeros, considerando como tales los que tienen 4 ruedas en contacto con el pavimento. Se incluyen aquí las furgonetas y camionetas de caja abierta.

Los “vehículos pesados" se clasifican en camiones, vehículos de recreo y autobuses, caracterizándose la circulación por la proporción de estos vehículos existente en la misma. El factor de ajuste de vehículos pesados, f_{VP}, se calcula por medio de la Ec. 4.2-3 y los equivalentes en vehículos ligeros vienen dados en la Tabla 4.2-7.

Se ha observado una gran gama de proporciones de camiones y VR circulando por carreteras de dos carriles rurales. La ecuación 4.2-3 proporciona un factor de ajuste para cualquier tipo de situación. Además, existe cierta variación en la distribución de pesos entre los camiones pesados (>16.000 kg) y medios (<16.000 kg). Los equivalentes de la Tabla 4.2-7 asumen una proporción 50/50 de camiones pesados y medios. En aquellas carreteras de dos carriles por los que circulen

proporciones extraordinarias de camiones pesados, como son las dedicadas a dar servicio o transportes de carbón, grava o madera, y especialmente en terreno montañoso, se deben utilizar valores de E_c superiores a los de la Tabla.

TABLA 4.2-5. Factores de ajuste del reparto por sentidos en tramos de características geométricas normales

REPARTO POR SENTIDOS	100/0	90/10	80/20	70/30	60/40	50/50
FACTOR DE AJUSTE, fR	0,71	0,75	0,83	0,89	0,94	1,00

Fuente: HCM 1994 Capítulo 8

TABLA 4.2-6. Factores de ajuste para el efecto combinado de la anchura de los carriles y arcenes, f_A

Anchura útil del arcén[3]	**CARRILES 3,6 m**[b]		**CARRILES 3,3 m**[b]		**CARRILES 3 m**[b]		**CARRILES 2,7 m**[b]	
	NIVEL SERV. A-D	**E**	**NIVEL SERV. A-D**	**E**	**NIVEL SERV. A-D**	**E**	**NIVEL SERV. A-D**	**E**
1,8	1,00	1,00	0,93	0,94	0,84	0,87	0,70	0,76
1,2	0,92	0,97	0,85	0,92	0,77	0,85	0,65	0,74
0,6	0,81	0,93	0,75	0,88	0,68	0,81	0,57	0,70
0,0	0,70	0,88	0,65	0,82	0,58	0,75	0,49	0,66

[3] Cuando la anchura del arcén derecho es distinta a la del arcén izquierdo, tomar el valor medio.

[b] Para el análisis de rampas especiales utilícense los factores del NS E para toda velocidad <72 km/h.

Fuente: HCM 1994 Capítulo 8

TABLA 4.2-7. Equivalentes en vehículos ligeros de camiones, vehículos de recreo y autobuses para carreteras de dos carriles en tramos de condiciones geométricas normales

TIPO DE VEHÍCULO	NIVEL DE SERVICIO	TIPO DE TERRENO		
		LLANO	ONDULADO	MONTAÑOSO
Camiones, E_C	A	2,0	4,0	7,0
	B y C	2,2	5,0	10,0
	D y E	2,0	5,0	12,0
VR, E_R	A	2,2	3,2	5,0
	B y C	2,5	3,9	5,2
	D y E	1,6	3,3	5,2
Autobuses, E_B	A	1,8	3,0	5,7
	B y C	2,0	3,4	6,0
	D y E	1,6	2,9	6,5

Fuente: HCM 1994 Capítulo 8

El efecto nocivo de los vehículos pesados en las carreteras de dos carriles aumenta notablemente al hacerse el terreno más abrupto. Según reducen su velocidad los vehículos pesados en las rampas, la formación de columnas se hace más frecuente e importante. Este efecto se multiplica por el efecto de las limitaciones de visibilidad que con frecuencia acompañan al terreno accidentado, todo lo cual deteriora seriamente la circulación.

4.2.2. Procedimientos de aplicación

La metodología descrita en la sección precedente se aplica generalmente bien en la modalidad de *análisis de la circulación* o *de planeamiento.*

Los cálculos de dimensionamiento, tal y como se utilizan en el manual HCM1994 centran su atención en la determinación del número de carriles necesarios en una carretera dada. Estos cálculos tienen poca importancia en las carreteras de dos

carriles, donde el número de carriles ya viene fijado. Ciertos aspectos del dimensionamiento, tales como el trazado vertical y horizontal, tienen, sin embargo, un impacto significativo en la circulación. El análisis de la circulación puede realizarse para distintos proyectos alternativos con objeto de documentar este impacto. Allí donde los cálculos indiquen que una carretera de dos carriles no es adecuada para las demandas existentes o previstas, se pueden considerar varias opciones multicarril y analizarlas usando otros capítulos de este manual.

4.2.2.1. Análisis de la circulación de segmentos con condiciones geométricas normales

El objetivo del análisis de la circulación es la determinación del nivel de servido de un segmento, o segmentos, dado de una carretera para un conjunto de condiciones, conocidas, o para un conjunto de condiciones futuras que se hipotetizan y/o prevén. El planteamiento general será calcular las intensidades de servicio para cada nivel do servicio y comparar estos valores con lo intensidad existente en la carretera. Para ello se utiliza la Ecuación 4.2-2:

$$IS_i = 2.800 \text{ x } (I/c)i \text{ x } f_R \text{ x } f_A \text{ x } f_{VP}$$

Para la que ya se han definido todos los términos. Se calcula una intensidad de servicio para cada NS porque el factor de vehículos pesados varía con el NS, y la solución de la ecuación es un proceso iterativo para cada relación I/c. Aquellos que prefieran despajar I/c pueden hacerlo, pero deben iterar hasta que el NS asumido en el cálculo del factor de vehículos pesados sea el mismo que el indicado por la relación I/c encontrada.

En general se siguen los siguientes pasos en el cálculo. Los cálculos pueden hacerse con facilidad por medio del formularlo Ilustrado en la Figura 4.2-1.

I. Resumir todos los datos de entrada relativos a las condiciones del tráfico y la carretera, Incluyendo:

- Volumen da la hora punta existente o previsto, en v/h.

- Factor de hora punta, FHP, bien de datos locales o usando un valor sustitutivo por omisión seleccionado de la Tabla 4.2-4.
- Composición del tráfico (% de CAMIONES, % de VRs, % de AUTOBUSES).
- Reparto del tráfico por sentidos.
- Tipo de terreno.
- Anchura de carril y de los arcenes utilizables, en m.
- Velocidad de proyecto, en km/h.

II. Selección de los valores apropiados de los siguientes factores para cada NS de las tablas indicadas:

- La relación *l/c*, de la Tabla 4.2-1.
- El factor f_R, de reparto por sentidos, de la Tabla 4.2-5.
- El factor de corrección de la anchura de carril y arcenes, f_A, de la Tabla 4.2-6.
- Los equivalentes en vehículos ligeros, E_C, E_R y E_B, de camiones, VRs y autobuses, de la Tabla 4.2-7.

III. Cálculo del factor de vehículos pesados, f_{vP}, para cada NS de la fórmula (Ec. 4.2-3):

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

IV. Cálculo de la intensidad de servicio, *IS*, para cada NS mediante (Ec. 4.2-2):

$$IS_i = 2.800 \text{ x } (I/c)i \text{ x } f_R \text{ x } f_A \text{ x } f_{VP}$$

V. Conversión de los volúmenes existentes o provisionales a una intensidad equivalente (Ec. 4.2-1):

$$i = \frac{Q}{FHP}$$

VI. Comparación de la intensidad real obtenida en el paso 5 con la intensidad de servicio del paso 4 para determinar el nivel de servicio.

Allí donde el nivel de servicio sea inadecuado, se deben considerar las medidas para mejorar la situación, que se presentan en la sección siguiente, así como el ensanchamiento de la carretera a cuatro o más carriles.

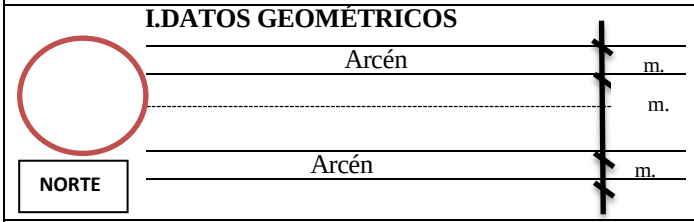
FIGURA 4.2-1. Formulario para análisis de la circulación de tramos genéricos

FORMULARIO PARA TRAMOS GENÉRICOS

Identificación del lugar:_____Día: _____
Hora:_____

Nombre:_____ Comprobado por:_____

I.DATOS GEOMÉTRICOS



Vel. Del proyecto: km/hr

Inclinación: % km

% Zonas sin adelantamiento:_____

II. DATOS DE TRÁFICO

Volumen Total de Calzada:_____veh/h

Reparto por sentidos:_____

Intensidad = Volumen + FHP

_____ = _____ + _____

Comp. del Tráfico : %C %VR %B

FHP:

III. ANÁLISIS DEL NIVEL DE SERVICIO

IS_i= 2.800 x $(I/c)_i$ x f_Rx f_A xf_{VP}

f_{VP} = 1/(1 + P_C (E_C - 1) + P_R (E_R - 1) + P_B (E_B-1)

NS	IS	= 2.800 x I/c	f_R	f_A	f_{VP}	P_C	E_C	P_R	E_R	P_B	E_B
			T. 4.2-1	T. 4.2-5	T. 4.2-6		T. 4.2-7		T. 4.2-7		T. 4.2-7
A		2.800									
B		2.800									
C		2.800									
D		2.800									
E		2.800									

IV. COMENTARIO Intensidad:_____ v/h **NS =** _____

Fuente: HCM 1994 Capítulo 8

4.3. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA VERSIÓN DEL HCM-2000 EN CARRETERAS DE DOS CARRILES.

4.3.1. Metodología

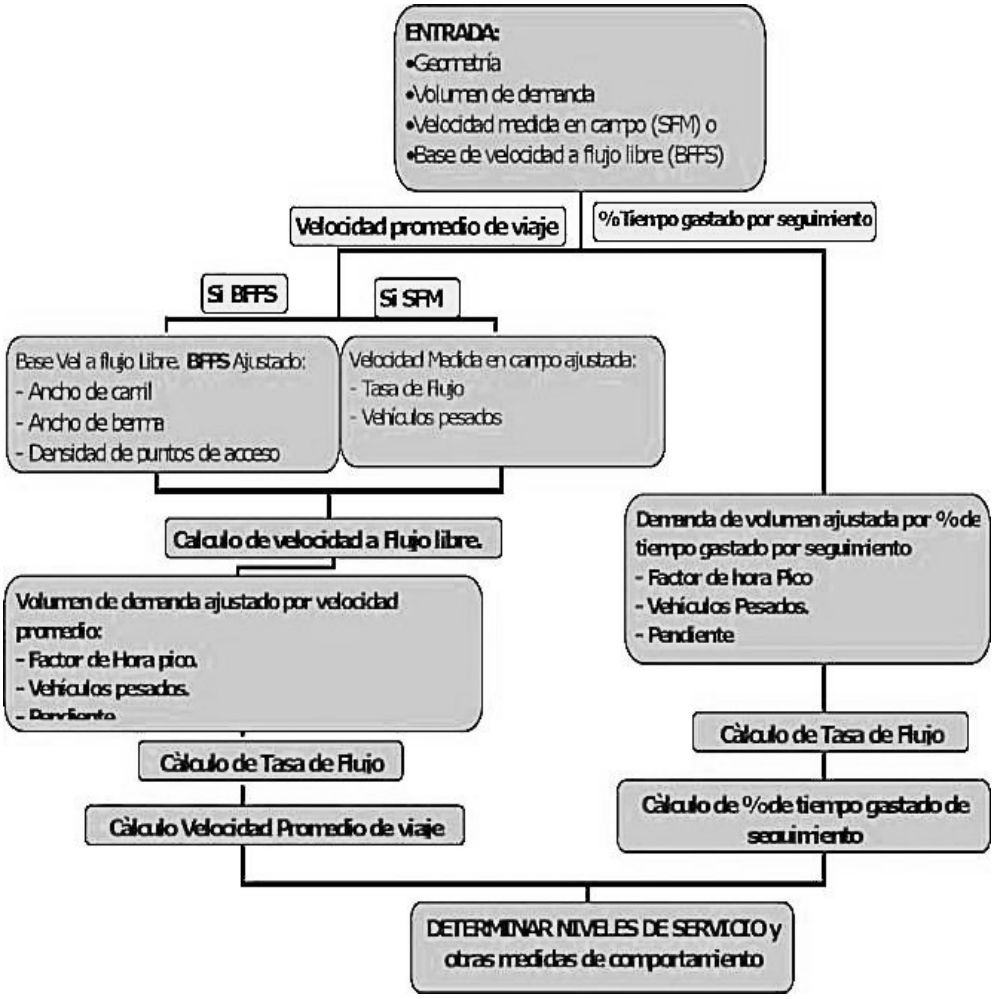
El siguiente aparte presenta estimaciones de capacidad para carretera de dos carriles, define el LOS para carretera de dos carriles y documenta la metodología para aplicaciones operacionales y de planeación. La Figura 4.3-1, resume la metodología básica para carreteras de dos carriles. El desarrollo de la metodología usó simulación microscópica, datos de campo, y conceptos teóricos. Se proveen procedimientos analíticos para dos aplicaciones, operacionales y planeación. Presenta el análisis operacional para segmentos de dos sentidos y para segmentos direccionales en carretera de dos carriles. Los segmentos de dos sentidos pueden incluir secciones extensas de carretera de dos carriles con secciones transversales homogéneas y volúmenes de demanda relativamente constante y mezcla de vehículos a lo largo del segmento. Los segmentos de dos sentidos pueden ser localizados en terreno plano o terreno ondulado. La carretera de dos carriles en terreno montañoso o con pendientes de 3% o más, para longitudes de 1.0 km o más no pueden ser analizados como segmentos de dos sentidos. En cambio, ellos son analizados como tramos o rampas específicas de ascenso o descenso. Las medidas de comportamiento para la metodología de segmentos de dos sentidos se aplican para ambas direcciones de viaje combinado.

Los segmentos direccionales llevan una dirección de recorrido sobre una carretera de dos carriles con secciones transversales homogéneas y con volúmenes de demanda relativamente constante y mezcla de vehículos. Algún segmento de la vía puede ser evaluado con un procedimiento de segmento direccional, pero el análisis separado por la dirección del recorrido es particularmente apropiado para tramos en pendiente y para carriles de segmentos que contengan carriles de adelantamiento.

El objetivo del análisis operacional es determinar el Nivel de Servicio (LOS) para una facilidad existente o propuesta operando bajo una demanda (volumen) del tráfico actual o proyectado. El análisis operacional también puede ser usado para

determinar la capacidad de un segmento de carretera de dos carriles, o la tasa del flujo del servicio (volumen de servicio) que puede ser acomodada en cualquier LOS dado.

FIGURA 4.3-1. Metodología básica para carreteras de dos carriles



Fuente: HCM 2000 Capítulo 20

4.3.1.1. Capacidad

La capacidad de una carretera de dos carriles **es** 1700 veh/hr para cada dirección de trayecto. La capacidad es cercanamente independiente de la distribución direccional del tráfico sobre la facilidad, excepto que para longitudes extensas de carreteras de dos carriles, la capacidad no excederá de 3200 veh/hr para ambas direcciones de recorrido combinado. Para longitudes cortas de carreteras de dos

carriles tales como túneles o puentes- una capacidad de 3200 a 3400 veh/hr para ambas direcciones de viaje combinado puede ser conseguida pero no puede ser esperada para una longitud extensa. Esto quiere decir que un volumen mayor de vehículos al de los datos antes descritos, representa un LOS tipo F en la carretera, para lo cual no se necesita hacer ningún tipo de análisis. Para otros niveles de servicio se utiliza el análisis que a continuación se presenta.

4.3.1.2. Nivel de servicio

La medida del servicio para la Carretera de dos Carriles ya fue definida en capítulos anteriores. Sobre la carretera clase I, la movilidad de eficiencia es máxima, y los LOS está definido en términos de porcentajes tiempo gastado en seguimiento (% de demora en tiempo) y el promedio de la velocidad de recorrido o velocidad media de recorrido (ATS). Sobre la carretera de clase II la movilidad es menos crítica, y los LOS están definidos solo en términos del porcentaje del tiempo gastado en seguimiento (% de demora en tiempo), sin considerar la velocidad promedio de recorrido. Los conductores podrán tolerar altos niveles de porcentaje de demora en tiempo sobre una vía de clase II que sobre una vía de una clase I, porque las vías de la clase II usualmente sirven para viajes cortos y diferentes propósitos de viaje.

Los criterios de LOS para Carretera de dos Carriles en clase I y II están en el Tabla 4.3-1, Tabla 4.3-2 y Tabla 4.3-3. . La Tabla 4.3-1 refleja los valores máximos de porcentaje de demora en tiempo y el promedio de velocidad de recorrido para cada uno de los Niveles de Servicio (LOS) de carretera de clase I. Un segmento de una carretera de clase I debe considerar los dos criterios, el porcentaje de demora en tiempo y el promedio de velocidad del recorrido mostrado en la 4.3-2 para ser clasificado en La Tabla 4.3-1 ilustra los criterios del LOS para carreteras clase I. Por ejemplo, una Carretera de dos Carriles clase I con porcentaje de demora en tiempo igual a 45% y un promedio de velocidad de recorrido de 65 km/h podrá ser clasificado como un LOS D, basado en la tabla 4.3-1. Sin embargo, una carretera clase II con las mismas condiciones podrá ser clasificada como un LOS B basado en

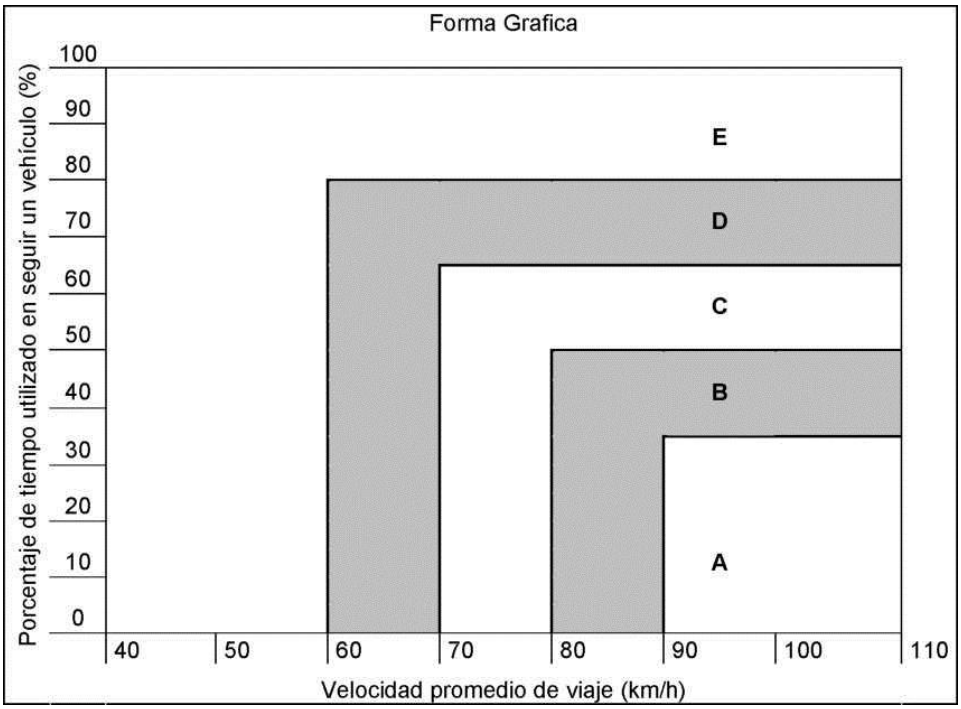
la tabla 4.3-3. La diferencia entre estos valores de LOS representa la diferencia en las expectativas de los conductores para las facilidades de clase I y II.

TABLA 4.3-1. Criterio del LOS para carreteras de dos carriles Clase I

LOS	% de tiempo utilizado en seguir un vehículo	Velocidad Promedio de viaje (km/h)
A	≤ 35	> 90
B	> 35 - 50	> 80 - 90
C	> 50 - 65	> 70 - 80
D	> 65 - 80	> 60 - 70
E	> 80	< 60
Nota: LOS F aplica cuando la razón de flujo excede la capacidad del segmento		

Fuente: HCM 2000 Capítulo 20

TABLA 4.3-2. Criterio del LOS para carreteras de dos carriles de Clase I



Fuente: HCM 2000 Capítulo 20

TABLA 4.3-3. Criterio del LOS para carreteras de dos carriles de Clase II

LOS	% de tiempo utilizado en seguir un vehículo
A	≤ 40
B	> 40 - 55
C	> 55 - 70
D	> 70 - 85
E	> 85
Nota: LOS F aplica cuando la razón de flujo excede la capacidad del segmento	

Fuente: HCM 2000 Capítulo 20

Los criterios del NS D de la tabla 4.3-1, y a través de la Tabla 4.3-2 aplican para todos los tipos de Carretera de dos Carriles, incluyendo en segmentos de dos sentidos extendidas, segmentos direccionales extendidos, ascensos específicos (rampas), y descensos específicos.

4.3.2. Limitaciones de la metodología

Algunas carreteras de dos carriles particularmente las que involucran interacciones entre varios adelantamientos o carriles de ascenso son también complejas para ser discutidos con los procedimientos en este capítulo. Para los problemas analíticos más allá del ámbito de este capítulo (ver parte V del manual HCM 2000), el cual describe la aplicación de modelos de simulación para análisis de carreteras de dos carriles. Varias adaptaciones de diseño discutidas en el apéndice A del HCM 2000 Cap. 20 no son tenidas en cuenta para esta metodología como por ejemplo: tratamientos eficaces para aliviar la congestión en el funcionamiento de carreteras dos carriles, como la ampliación de bermas para proporcionar una parada y área de recuperación para los vehículos descompuestos o desubicados, la ampliación de secciones transversales la ampliación del carril permite a los vehículos más rápidos para pasar más lento vehículos, análisis para la creación de cruces a carriles son deseables en lugares seleccionados en carreteras de dos carriles a fin de reducir

las demoras a los vehículos causado por los giro y a reducir los accidentes relacionados con los mismos, etc.

4.3.3. Segmentos en dos sentidos (TWO-WAY SEGMENTS)

La metodología de segmentos de dos sentidos estima medidas de operaciones de tráfico a lo largo de una sección de carretera, basado en el tipo de terreno, el diseño geométrico, y las condiciones de tráfico. El terreno está clasificado como plano o como ondulado, como se describe más adelante. El terreno montañoso es descrito en el análisis operacional de rampas específicas de ascensos y descensos enunciado más adelante. Esta metodología típicamente es aplicada para secciones de carreteras de por lo menos de 3.0 Km.

Los datos de tráfico necesarios para aplicar la metodología de segmentos de dos sentidos incluye el volumen de cada hora de las dos sentidos, el factor de hora pico (FPH), y la distribución direccional del flujo de tráfico. El FHP puede ser calculado desde un dato de campo, o tomado por defecto de los valores tabulados. Los datos de tráfico también incluye el porcentaje de camiones y vehículos recreacionales (VR). El análisis operacional de los segmentos extendidos de dos sentidos para una Carretera de dos Carriles involucra varios aspectos, descritos en las siguientes secciones.

4.3.3.1. Determinación de la velocidad a flujo libre (FFS)

Una clave en la valoración de los Niveles de Servicio de las Carretera de dos Carriles es determinar la velocidad a flujo libre, FFS. La FFS es medida utilizando la velocidad promedio de tráfico bajo condiciones de flujo bajo (hasta 200 veh/hr en los dos sentidos) si la medida en el campo debe ser hecha con tasas de flujo en los dos sentidos de más de 200 veh/hr debe realizarse un ajuste de volumen cuando se determina la FFS. Este volumen ajustado se discute más adelante.

Dos métodos generales pueden ser utilizados para determinar la FFS para una Carretera de dos Carriles: Medida en campo y estimada con pautas previstas en este capítulo. El procedimiento de medición de campo ayudada mediante la recolección de

estos datos directamente o incorporando las medidas dentro de programas de monitoreo de velocidad. Sin embargo, las medidas de campo no son necesarias para un análisis operacional – La FFS puede ser estimada desde unos datos de campo y conocimientos del usuario de las condiciones y características de la carretera.

4.3.3.1.1. Velocidad a Flujo Libre Medida en Campo FFS

La FFS de una carretera puede ser determinada directamente desde un estudio de velocidad dirigido en el campo. No se hacen ajustes para los datos de medida de campo. El estudio de velocidad debe ser realizado en una localización representativa dentro del segmento de la carretera que está siendo evaluada; por ejemplo, un sitio sobre un ascenso corto no debe ser seleccionado dentro de un segmento que está generalmente en terreno plano. Cualquier técnica de medida de velocidad aceptable para otros estudios de ingeniería de velocidad de tráfico puede ser usada. El estudio de campo debe ser realizado en periodos de baja circulación de tráfico (menos de 200 vh/ para los dos sentidos de circulación) y debe ser medida la velocidad de todos los vehículos o de un muestreo sistemático (ejemplo, de cada décimo vehículo). Una muestra representativa de la velocidad debe ser obtenida de al menos cien vehículos. Además orientación sobre estudios de velocidad es encontrado en textos de ingeniería de tráfico estándar tales como el Manual de Estudios de Ingeniería de Transporte.

Si el estudio de velocidad debe ser realizado para una tasa de circulación en los dos sentidos de más que 200 veh/h, la FFS puede ser hallada usando la relación entre la circulación y la velocidad mostrada en el capítulo 12, del HCM asumiendo que los datos sobre los volúmenes de tráfico son registrados al mismo tiempo. La FFS puede ser calculada con base en los datos de campo como se muestra en la Ecuación 4.3-1.

Ecuación 4.3-1.

$$FFS = S_{FM} + 0.0125 * \frac{Vf}{fHV}$$

Dónde:

FFS = Velocidad a flujo libre estimada (Km/h)

S_{FM} = Velocidad media del tráfico medida en el campo (Km/h)

Vf =Tasa de flujo observada en el periodo en que el dato del campo fue obtenido (veh/h),

FHV =Factor de ajuste de vehículo-pesado, determinado como se muestra en la ecuación 4.3-4.

Si la medida del campo de la carretera no está disponible, los datos tomados en una vía similar pueden ser usados. El camino sustituto debe ser similar con respecto a las variables que afectan la FFS, las cuales están identificadas en este capítulo. Agencias de Carreteras con continuos programas de monitoreo de velocidad o con datos de velocidad o archivos puede preferirse para usar estos más que conducir un nuevo estudio de velocidad o usar estudios estimados indirectos.

Sin embargo, estos datos deben ser usados directamente solo sí la recolección está de acuerdo con los procedimientos descritos anteriormente.

4.3.3.1.2. Velocidad a Flujo Libre Estimada, FFS.

La FFS puede ser estimada indirectamente si los datos del campo no están disponibles. Este es un gran reto sobre las Carretera de dos Carriles que sobre otros tipos de vías de circulación ininterrumpidas porque la FFS de la Carretera de dos Carriles pueden tener un rango desde 70 a 110 km/h. Para estimar una FFS, el análisis debe caracterizar las condiciones de operación de la facilidad en términos de una base de velocidad a flujo libre (BFFS), (por sus siglas en inglés, *base free flow speed)* que refleje las características del tráfico y la geometría de la vía. Porque, el rango límite de las condiciones de velocidad sobre una Carretera de dos Carriles y la importancia de factores locales y regionales que influyen en las velocidades deseadas por el conductor, no influyen sobre la estimación de la BFFS. Los estimados de la BFFS pueden ser desarrollados basado sobre los datos de la velocidad y los conocimientos locales de condiciones de operaciones sobre facilidades similares. La velocidad de

diseño y la velocidad límite permitida de la facilidad puede ser considerada en la determinación de la BFFS; Sin embargo, la velocidad de diseño y los límites de velocidades para muchas facilidades no son basados sobre las condiciones de operaciones actuales. Una vez la BFFS es estimada los ajustes pueden ser hechos por la influencia del ancho del carril, del ancho de berma, y densidad de punto de acceso. La FFS es estimada usando la ecuación 4.3-2.

Ecuación 4.3-2

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$$

Dónde:

FFS = Velocidad a flujo Libre estimada (km/h);

BFFS = Velocidad base de flujo libre FFS (km/h);

f_{LS} = Ajuste debido al ancho del carril y al ancho de berma, según tabla 4.3-4.

f_A = Factor de ajuste para puntos de acceso, según tabla 4.3-5.

TABLA 4.3-4. Ajuste (f_{LS}) por ancho de carril y arcenes

Ancho de carril (m)	**Reducción de la FFS (km/h)**			
	Ancho de hombro (m)			
	≥ 0.0 < 0.6	**≥ 0.6 < 1.2**	**≥ 1.2 < 1.8**	**≥ 1.8**
2.7 < 3.0	10.3	7.7	5.6	3.5
≥ 3.0 < 3.3	8.5	5.9	3.8	1.7
≥ 3.3 < 3.6	7.5	4.9	2.8	0.7
≥ 3.6	6.8	4.2	2.1	0.0

Fuente: HCM 2000 Capítulo 20

El primer ajuste para la FFS estimada relaciona los efectos del carril y el ancho de la berma. Las condiciones bases para Carretera de dos Carriles requiere 3.6 m de ancho de carril y 1.8 m de ancho de berma. La Tabla 18 lista los ajuste para la FFS estimada para carriles y bermas angostos. El dato del Tabla 4.3-4 indica, por

ejemplo, una Carretera de dos Carriles con 3.3 m de carril y un ancho de berma completo tiene un FFS que es 0.7 km/h menos que una carretera con un carril base y con bermas amplias. Similarmente, una Carretera de dos Carriles con 3.6 m de carril y 0.6 m de bermas tiene un FFS 4.2 Km/h menos que una carretera con carril base y amplias bermas.

La Tabla 4.3-5 lista los ajustes para densidad de puntos de acceso por kilómetro. Los datos indican que cada punto de acceso por kilómetro disminuye la FFS estimada en cerca de 0.4 km/h. La densidad de puntos de acceso es hallada dividiendo el número total de interacciones y vías de acceso en ambos lados del segmento del camino por la longitud del segmento en kilómetros. Una intersección o acceso de camino debe ser incluido solo si ésta influye en la circulación del tráfico; puntos de acceso no notados por el conductor o con una pequeña actividad no deben ser incluidos.

TABLA 4.3-5. Ajuste (f_A) para densidad de puntos de acceso

Puntos de acceso por km	Reducción de la FFS (km/h)
0	0.0
6	4.0
12	8.0
18	12.0
> 24	16.0

Fuente: HCM 2000 Capítulo 20

Si un segmento de carretera contiene curvas horizontales cerradas con velocidades de diseño especialmente por debajo del resto del segmento este puede ser ideal para determinar la FFS separadamente para curvas y tangentes y cálculos de promedio pesados de la FFS para un segmento como para todo completo.

Los datos para la relación de FFS en este capítulo incluyen ambos, viajes regulares y viajes no regulares. No hubo diferencias significativas entre los dos. Sin embargo, se espera que conductores regulares puedan usar una facilidad más

eficientemente que los usuarios recreacionales y otros conductores ocasionales. Si el efecto de una población de conductores es considerable, la FFS debe ser medida en el campo. Si los valores de campo no pueden ser hechos, se debe seleccionar una FFS para reflejar el efecto anticipado de la población de conductores. Precaución que debe ser tomada para no subestimar la BFFS de una carretera por la exageración del efecto de una población de conductores dado.

4.3.3.2. Determinación de la demanda de tasa de flujo. VP.

Se deben hacer tres ajustes para determinar el volumen de demanda horaria, si se basan en conteos de tráfico o en estimaciones, se llega a la tasa de flujo de vehículos livianos equivalente, usado en los análisis de Niveles de Servicio. Estos ajustes son el FHP, el factor de ajuste por pendiente fG, el factor de ajuste de vehículo-pesado, fHV. Estos ajustes son aplicados de acuerdo a la ecuación 4.3-3.

Ecuación 4.3-3

$$V_P = \frac{V}{FHP * fG * f\,HV}$$

Dónde:

Vp = Tasa de flujo equivalente en vehículos livianos para el periodo pico de 15 min (veh/h),

V = Demanda de volumen para una hora pico completa (veh/h).

FHP = Factor de hora pico.

fG = Factor de ajuste por pendiente según las tablas 4.3-6 y 4.3-7, y

f_{HV} = Factor de ajuste debido a los vehículos pesados, según ec. 4.3-4.

4.3.3.2.1. Factor de hora pico FHP

Representa la variación en el flujo de tráfico dentro de una hora. El análisis de C2K se basa sobre los volúmenes de demanda para un pico de un periodo de 15 min dentro de una hora de interés- usualmente la hora pico. Para análisis operacional, los

volúmenes de demanda de hora completa deben ser convertidos a tasa de flujo con base en el periodo pico de 15 min. , como se muestra en la ecuación 4.3-3.

4.3.3.2.2. Factor de ajuste por Pendiente (fG)

El fG tiene en cuenta el efecto del terreno sobre las velocidades de los vehículos y el porcentaje de tiempo de seguimiento (demora), aún si no hay vehículos pesados presentes. Los valores del fG son listados en el Tabla 4.3-6 para un estimativo de velocidades de recorrido promedio y en el Tabla 4.3-7 para estimativos de porcentaje de tiempo de seguimiento. (DEMORA EN TIEMPO)

TABLA 4.3-6. Factor de ajuste por pendiente (fG) para determinar velocidades en segmentos en dos sentidos y segmentos direccionales

Rango de flujo de dos vías (veh/h)	Rango de flujo direccional (veh/h)	Tipo de terreno	
		Nivelado	Ondulado
0 - 600	0 - 300	1.00	0.71
> 600 -1200	> 300 -600	1.00	0.93
> 1200	> 600	1.00	0.99

Fuente: HCM 2000 Capítulo 20

TABLA 4.3-7. Factor de ajuste por pendiente (fG) para determinar porcentaje de tiempo de seguimiento en segmentos en dos sentidos y direccional.

Rango de flujo de dos vías (veh/h)	Rango de flujo direccional (veh/h)	Tipo de terreno	
		Nivelado	Ondulado
0 - 600	0 - 300	1.00	0.77
> 600 -1200	> 300 -600	1.00	0.94
> 1200	> 600	1.00	1.00

Fuente: HCM 2000 Capítulo 20.

4.3.3.2.3. Ajuste por vehículos pesados (fHV)

La presencia de vehículos pesados en el tráficos disminuye la FFS, porque la base de condiciones de tráfico es asumido solamente para carros-pasajeros- una rara ocurrencia. Además, los volúmenes de tráfico deben ser ajustados para una tasa de flujo equivalente expresada en los vehículos livianos por hora, este ajuste se realiza usando el factor fHV.

El ajuste por la presencia de vehículos pesados en la tráfico de tráfico se aplica para dos tipos de vehículos: Camiones y RVS. Los buses no deben ser tratados como un tipo separado de vehículo pesado, pero deben ser incluidos con los camiones. El factor de ajuste de los vehículos pesados requiere dos adelantamientos. Primero, se debe hallar el factor equivalente de vehículo - liviano para camiones (ET) y para RVS (Er) para las condiciones actuales de operación. Entonces, usando estos valores, un factor de ajuste debe ser calculado para corregir todos los vehículos pesados en la tráfico de tráfico.

Los equivalentes vehículo liviano para segmentos extendidos de dos sentidos, son determinados desde el Tabla 4.3-8 para velocidades estimadas y desde la Tabla

4.3-9 para el porcentaje estimado tiempo de seguimiento. El terreno de segmento de dos sentidos extenso debe ser categorizado como plano u ondulado.

Terreno Plano:

El terreno plano, es una combinación del alineamiento horizontal y vertical permitiendo que los vehículos pesados mantengan aproximadamente la misma velocidad como un vehículo liviano; estos generalmente incluye pendientes cortas de no más de 1 o 2 %.

Terreno Ondulado:

El terreno ondulado es cualquier combinación de alineación horizontal y vertical que causa disminución de la velocidad de los vehículos pesados substancialmente por debajo de los vehículos livianos. Pero no para operar a marcha lenta de velocidad para una un espacio significante de tiempo o frecuencia de intervalos; generalmente, este incluye longitudes de pendientes cortas y medianas de no más del 4%. Los segmentos con longitudes substanciales de más de una pendiente de 4% debe ser analizado con un procedimiento de pendiente específica para segmentos direccionales.

TABLA 4.3-8. Equivalencias de vehículos livianos para pesados E_T y recreacionales E_R para determinar velocidades en segmentos en dos sentidos y segmentos direccionales.

Tipo de Vehículo	Rango de flujo de dos vías (veh/h)	Rango de flujo direccional (veh/h)	Tipo de terreno	
			Nivelado	Ondulado
E_T	0 - 600	0 - 300	1.7	2.5
	> 600 -1200	> 300 -600	1.2	1.9
	> 1200	> 600	1.1	1.5
E_R	0 - 600	0 - 300	1.0	1.1
	> 600 -1200	> 300 -600	1.0	1.1
	> 1200	> 600	1.0	1.1

Fuente: HCM 2000 Capítulo 20.

TABLA 4.3-9. Equivalencias de vehículos livianos para pesados E_T y recreacionales E_R para determinar tiempos de seguimiento en segmentos en dos sentidos y segmentos direccionales.

Tipo de Vehículo	Rango de flujo de dos vías (veh/h)	Rango de flujo direccional (veh/h)	Tipo de terreno	
			Nivelado	Ondulado
E_T	0 - 600	0 - 300	1.1	1.8
	> 600 -1200	> 300 -600	1.1	1.5
	> 1200	> 600	1.0	1.0
E_R	0 - 600	0 - 300	1.0	1.0
	> 600 -1200	> 300 -600	1.0	1.0
	> 1200	> 600	1.0	1.0

Fuente: HCM 2000 Capítulo 20.

Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

Una vez los valores de ET Y ER han sido determinados, el ajuste del factor para vehículos pesados es calculado usando la ecuación 4.3-4.

Ecuación 4.3-4

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + PT * (ET - 1) + PR * (ER - 1)}$$

Dónde:

P_T = Proporción de caminos en la tráfico de tráfico, expresado en decimal;

P_R = La proporción de RVs en la tráfico de tráfico, expresado como un decimal;

ET = Equivalencia de pasajero-.carro por camión, obtenido de la Tabla 4.3-8 o Tabla 4.3-9; y

E_R = Equivalente del número de vehículos por vehículo recreacional, obtenido de la Tabla 4.3-8 o Tabla 4.3-9;

- **Cálculos Iterativos**

Demo La Tabla 4.3-6 a la Tabla 4.3-9 el factor de ajuste por pendiente fG y la equivalencia de vehículo - liviano para camiones (ET) y RVs (ER) son estratificados por tasa de flujo expresada en vehículo - liviano por hora. Sin embargo, hasta que la ecuación 4.3-3 es aplicada, la tasa de flujo en vehículo - liviano por hora es desconocida. Además, debe ser aplicada una aproximación Iterativa para determinar la tasa de flujo equivalente en vehículo - liviano Vp, para cada velocidad de recorrido promedio y porcentaje de tiempo en seguimiento.

Primero, se determina la tasa de flujo, en vehículos por hora, como V/FHP. Segundo, se seleccionan valores de fG, ET, y ER apropiado para la tasa de flujo de las tablas. Entonces, se determina Vp desde estos valores usando las ecuaciones 4.3-3 y 4.3-4. Si el valor calculado de Vp es menor al límite superior del rango de tasa del flujo seleccionado para la cual fG, ET, y ER fueron determinados, entonces el valor del cálculo de Vp debe ser usado. Si la Vp es más alta que el límite superior del rango de tasa del flujo, repita el procedimiento para rangos mayores sucesivamente hasta que un valor aceptable de Vp es hallado. Porque el rango más alto incluye todas las tasas de flujo mayores que 1200 veh/h en ambas direcciones de trayecto combinado, estos pueden ser usados si el valor calculado excede el límite superior de ambos rangos de tasa de flujos bajos.

4.3.3.3. Determinación de la Velocidad Promedio de Recorrido, ATS.

La velocidad promedio de recorrido ATS, es estimada desde la FFS, la demanda de tasa de flujo, y un factor de ajuste para el porcentaje de zonas de no adelantamiento (no adelantamiento). La demanda de la tasa de flujo para un ATS es determinada con la ecuación 4.3-3 usando el valor de la fHV calculado con la equivalencia de vehículos - liviano en la Tabla 4.3-8. La ATS es entonces estimada con la ecuación 4.3-5.

Ecuación 4.3-5

$$ATS = FFS - 0.0125\text{Vp} - f_{np}$$

Dónde:

ATS = Velocidad Promedio de Recorrido para ambas direcciones de trayecto combinado (Km/h)

f_{np} = Porcentaje de ajuste para las zonas de no adelantamiento (ver Tabla 4.3-10), y

Vp = La tasa de flujo de equivalencia de vehículo liviano para un periodo pico de 15min. (veh/h).

La FFS usada en la ecuación 4.3-5 es el valor estimado con la ecuación 4.3-1 o 4.3-2. El ajuste para el efecto del porcentaje de la zona de no adelantamiento sobre la ATS (fnp) es listado en la tabla 4.3-10. El cuadro muestra que el efecto de las zonas de no adelantamiento sobre la ATS se incrementa a un máximo a una tasa de flujo de dos sentidos de 400 pc/h y que disminuye en volúmenes altos. El máximo valor de la ATS (fnp) es de 7.3 km/h.

4.3.3.4. Determinación del Porcentaje de Demora en Tiempo (PTSF)

Es estimado desde la tasa de demanda de flujo, la distribución de tráfico direccional y el porcentaje de zonas de no-adelantamiento. La demanda de tasa de flujo Vp para un PTSF es determinada con la ecuación 4.3-3 usando el valor del fHV calculado con el equivalente de vehículo liviano de la Tabla 4.3-9. PTSF es entonces estimado usando la ecuación 4.3-6. Los valores apropiados del BPTSF pueden ser determinados con la ecuación 4.3-7.

Ecuación 4.3-6

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np}$$

Donde:

PTSF = Porcentaje de demora en Tiempo.

BPTSF=Base de PTSF para ambas direcciones de recorrido combinado (use la ecuación 4.3-7), y

fd/np =Ajuste para el efecto combinado de la distribución direccional del tráfico y el porcentaje de zonas de no adelantamiento sobre el PTSF.

Vp = Tasa de flujo equivalente vehículo liviano por periodo pico de 15 min.

Ecuación 4.3-7

$$BPTSF = 100\ (1 - e^{-0.000879\ V_p})$$

Un ajuste representativo del efecto combinado de la distribución direccional de tráfico y el porcentaje de zonas de no-adelantamiento (fd/np) es presentado en el Tabla 4.3-11.

TABLA 4.3-10. Ajuste (fnp) por el efecto de zonas de no-adelantamiento sobre la velocidad en segmentos en dos sentidos.

Volumen equivalente de demanda, vp (veh/h)	Reducción de la velocidad media de viaje (km/h)					
	Porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso (%)					
	0	20	40	60	80	100
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
200	0.0	1.0	2.3	3.8	4.2	5.6
400	0.0	2.7	4.3	5.7	6.3	7.3
600	0.0	2.5	3.8	4.9	5.5	6.2
800	0.0	2.2	3.1	3.9	4.3	4.9
1000	0.0	1.8	2.5	3.2	3.6	4.2
1200	0.0	1.3	2.0	2.6	3.0	3.4
1400	0.0	0.9	1.4	1.9	2.3	2.7
1600	0.0	0.9	1.3	1.7	2.1	2.4
1800	0.0	0.8	1.1	1.6	1.8	2.1
2000	0.0	0.8	1.0	1.4	1.6	1.8
2200	0.0	0.8	1.0	1.4	1.5	1.7
2400	0.0	0.8	1.0	1.3	1.5	1.7
2600	0.0	0.8	1.0	1.3	1.4	1.6
2800	0.0	0.8	1.0	1.2	1.3	1.4
3000	0.0	0.8	0.9	1.1	1.1	1.3
3200	0.0	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1

Fuente: HCM 2000 Capítulo 20.

TABLA 4.3-11. Ajuste (fd/np) por el efecto combinado de la distribución de tráfico y el Porcentaje de zonas de no-adelantamiento en el porcentaje de demora en tiempo sobre segmentos en dos sentidos.

Volumen equivalente de demanda, vp (veh/h)	Incremento del porcentaje de tiempo perdido por viajar en pelotón (%)					
	Zona con prohibición de sobrepaso (%)					
	0	20	40	60	80	100
Distribución direccional = 50/50						
≤ 200	0.0	10.1	17.2	20.2	21.0	21.8
400	0.0	12.4	19.0	22.7	23.8	24.8
600	0.0	11.2	16.0	18.7	19.7	20.5
800	0.0	9.0	12.3	14.1	14.5	15,4
1400	0.0	3.6	5.5	6.7	7.3	7.9
2000	0.0	1.8	2.9	3.7	4.1	4.4
2600	0.0	1.1	1.6	2.0	2.3	2.4
3200	0.0	0.7	0.9	1.1	1.2	1.4
Distribución direccional = 60/40						
≤ 200	1.6	11.8	17.2	22.5	23.1	23,7
400	0.5	11.7	16.2	20,7	21,5	22.2
600	0.0	11.5	15.2	18.9	19,8	20,7
800	0.0	7.6	10.3	13.0	13.7	14.4
1400	0.0	3.7	5.4	7.1	7.6	8.1
2000	0.0	2.3	3.4	3.6	4.0	4.3
≥ 2600	0.0	0.9	1.4	1.9	2.1	2.2
Distribución direccional = 70/30:						
≤ 200	2.8	13.4	19.1	24,8	25.2	25.5
400	1.1	12.5	17.3	22.0	22,6	23.2
600	0.0	11.6	15,4	19.1	20.0	20.9
800	0.0	7.7	10.5	13.3	14.0	14.6
1400	0.0	3.8	5.6	7.4	7.9	8.3
≥ 2000	0.0	1.4	4.9	3.5	3.9	4.2
Distribución direccional = 80/20						
≤ 200	5.1	17.5	24.3	31,0	31.3	31,6
400	2.5	15.8	21,5	27.1	27.6	28.0
600	0.0	14.0	18.6	23.2	23.9	24.5
800	0.0	9.3	12.7	16.0	16.5	17.0
1400	0.0	4.6	6.7	8.7	9.1	9.5
≥ 2000	0.0	2.4	3.4	4.5	4.7	4.9
Distribución direccional = 90/10						
≤ 200	5.6	21.6	29.4	37.2	37,4	37,6
400	2.4	19.0	25,6	32.2	32.5	32,8
600	0.0	16.3	21,8	27.2	27.6	28.0
800	0.0	10.9	14.8	18.6	19.0	19.4
≥1400	0.0	5.5	7.8	10.0	10.4	10.7

Fuente: HCM 2000 Capítulo

4.3.3.5. Determinación de los Niveles de Servicio (LOS)

El primer adelantamiento en la determinación de los LOS es comparar la tasa de flujo de equivalencia de vehículo liviano (Vp) para la capacidad de dos sentidos de 3200 veh/h. Si Vp es mayor que la capacidad, entonces la carretera está sobresaturada y el LOS es F. Similarmente, si la demanda de la tasa de flujo en cada dirección del recorrido determinada desde la tasa de flujo de dos sentidos y por cada sentido - es mayor que 1700 veh/h, entonces la carretera está sobresaturada y el LOS es F. En LOS F, el PTSFF es cercano al 100% y las velocidades son altamente variables y difíciles para estimar.

Cuando un segmento de una facilidad Clase I tiene una demanda menor que su capacidad, el LOS es determinado por la localización de un punto sobre el Figura 5 que corresponde para el PTSF y la ATS. Si un segmento de una facilidad clase II tiene una demanda menor que su capacidad, el LOS es determinado comparando el PTSF con el criterio en el Tabla 4.3-1. El análisis debe incluir los LOS y los valores estimados de PTSF y la ATS. Aunque la ATS no es considerada en la determinación de los LOS para la clase de carretera II el estimado puede ser útil en evaluar la calidad del servicio de las facilidades de la Carretera de dos Carriles, de las redes de carretera y los sistemas incluyendo el segmento.

4.3.3.6. Otras Medidas de Tráfico

La proporción de v/c para un segmento extendido de dos sentidos puede ser calculada usando la ecuación 4.3-8.

Ecuación 4.3-8

$$v/c = \frac{v_p}{c}$$

Donde:

v/c = Volumen Proporcional a la Capacidad

c = Capacidad de segmento de dos sentidos - normalmente 3200

vh/h para segmento de dos sentidos y 1700 para segmento direccional; y

Vp = Tasa de flujo equivalente vehículo liviano por periodo pico de 15 min.

El total de recorrido sobre un segmento extendido de dos sentidos, durante el periodo pico de 15 minutos, es calculado usando la ecuación 4.3-9.

Ecuación 4.3-9

$$VkmT_{15} = 0.25\left(\frac{V}{FHP}\right)L_t$$

Dónde:

$VKmT_{15}$ = Total del recorrido sobre el segmento analizado durante un periodo pico de 15min (veh-Km), y

L_t = La longitud total del segmento analizado (Km).

El total del recorrido sobre el segmento de dos sentidos durante la hora pico es calculado usando la ecuación 4.3-10.

Ecuación 4.3-10

$$VkmT_{60} = V * L_t$$

Dónde:

$VKmT_{60}$ = Recorrido total sobre el segmento analizado durante la hora pico (veh-km).

Ecuación 4.3-11 puede ser usada para calcular el total del tiempo de recorrido durante el periodo de pico de 15 min. utilizando la ecuación 4.3-5 y 4.3-9.

Ecuación 4.3-11

$$TT_{15} = \frac{VkmT_{15}}{ATS}$$

Dónde:

TT_{15} = Tiempo total de todo el recorrido de todos los vehículos sobre el segmento analizado durante el periodo pico de 15 min (Veh/h).

FIGURA 4.3-2. Hoja de trabajo para carreteras de dos carriles

TWO-WAY TWO-LANE HIGHWAY SEGMENT WORKSHEET

General Information		Site Information	
Analyst		Highway	
Agency or Company		From/To	
Date Performed		Jurisdiction	
Analysis Time Period		Analysis Year	

❑ Operational (LOS) ❑ Design (v_p) ❑ Planning (LOS) ❑ Planning (v_p)

Input Data

Shoulder width _____ m
Lane width _____ m
Lane width _____ m
Shoulder width _____ m
Segment length, L_t _____ km
Show North Arrow

❑ Class I highway ❑ Class II highway
Terrain ❑ Level ❑ Rolling
Two-way hourly volume _____ veh/h
Directional split _____ / _____
Peak-hour factor, PHF _____
% Trucks and buses, P_T _____ %
% Recreational vehicles, P_R _____ %
% No-passing zone _____ %
Access points/km _____ /km

Average Travel Speed	
Grade adjustment factor, f_G (Exhibit 20-7)	
Passenger-car equivalents for trucks, E_T (Exhibit 20-9)	
Passenger-car equivalents for RVs, E_R (Exhibit 20-9)	
Heavy-vehicle adjustment factor, f_{HV} $f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$	
Two-way flow rate,[1] v_p (pc/h) $v_p = \frac{V}{PHF * f_G * f_{HV}}$	
v_p * highest directional split proportion[2] (pc/h)	
Free-Flow Speed from Field Measurement	**Estimated Free-Flow Speed**
Field measured speed, S_{FM} _____ km/h Observed volume, V_f _____ veh/h Free-flow speed, FFS _____ km/h $FFS = S_{FM} + 0.0125(\frac{V_f}{f_{HV}})$	Base free-flow speed, BFFS _____ km/h Adj. for lane width and shoulder width, f_{LS} (Exhibit 20-5) _____ km/h Adj. for access points, f_A (Exhibit 20-6) _____ km/h Free-flow speed, FFS _____ km/h $FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$
Adj. for no-passing zones, f_{np} (km/h) (Exhibit 20-11)	
Average travel speed, ATS (km/h) $ATS = FFS - 0.0125v_p - f_{np}$	
Percent Time-Spent-Following	
Grade adjustment factor, f_G (Exhibit 20-8)	
Passenger-car equivalents for trucks, E_T (Exhibit 20-10)	
Passenger-car equivalents for RVs, E_R (Exhibit 20-10)	
Heavy-vehicle adjustment factor, f_{HV} $f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$	
Two-way flow rate,[1] v_p (pc/h) $v_p = \frac{V}{PHF * f_G * f_{HV}}$	
v_p * highest directional split proportion[2] (pc/h)	
Base percent time-spent-following, BPTSF (%) $BPTSF = 100(1 - e^{-0.000879v_p})$	
Adj. for directional distribution and no-passing zone, $f_{d/np}$ (%) (Exhibit 20-12)	
Percent time-spent-following, PTSF (%) $PTSF = BPTSF + f_{d/np}$	
Level of Service and Other Performance Measures	
Level of service, LOS (Exhibit 20-3 for Class I or 20-4 for Class II)	
Volume to capacity ratio, v/c $v/c = \frac{v_p}{3,200}$	
Peak 15-min vehicle-kilometers of travel, $VkmT_{15}$ (veh-km) $VkmT_{15} = 0.25L_t(\frac{V}{PHF})$	
Peak-hour vehicle-kilometers of travel, $VkmT_{60}$ (veh-km) $VkmT_{60} = V * L_t$	
Peak 15-min total travel time, TT_{15} (veh-h) $TT_{15} = \frac{VkmT_{15}}{ATS}$	

Notes

1. If $v_p \geq 3,200$ pc/h, terminate analysis—the LOS is F.
2. If highest directional split $v_p \geq 1,700$ pc/h, terminate analysis—the LOS is F.

Fuente: HCM 2000 Capítulo 20.

CAPÍTULO V

APLICACIÓN Y PRÁCTICA

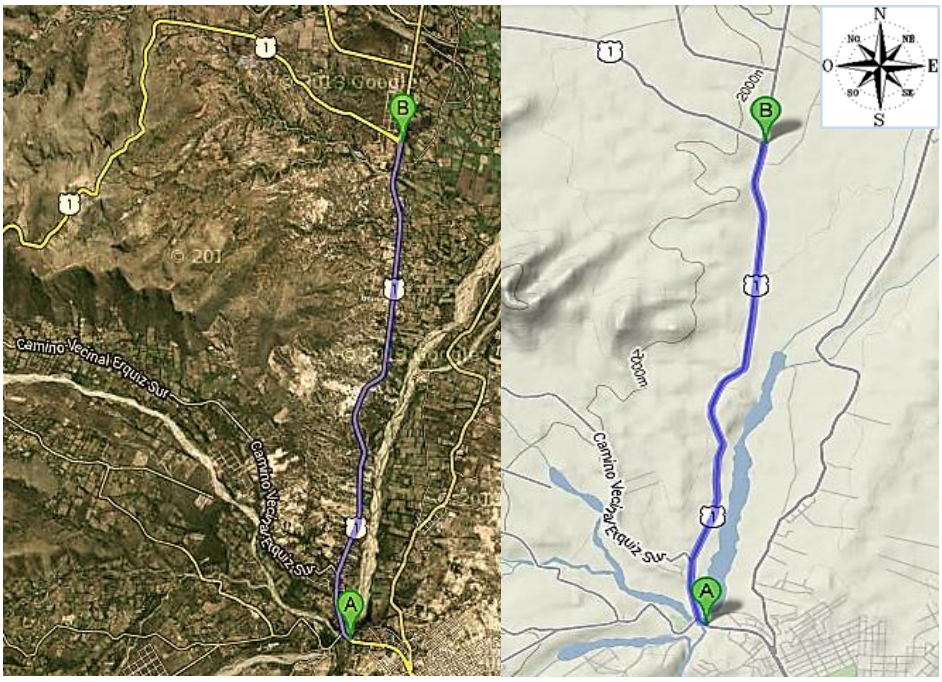
CAP.V. APLICACIÓN Y PRÁCTICA

5.1. UBICACCIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO

Los tramos en estudio de aquí en adelante denominados: Tramo 1 (Tomatitas – Cruce Santa Bárbara) y Tramo 2 (Cruce Santa Bárbara – San Lorenzo) se encuentran localizados en la provincia Méndez

El Tramo 1 (Tomatitas – Cruce Santa Bárbara), abarca parte de los distritos de Tomatitas y Santa Bárbara y que conecta a las comunidades de La Victoria, Rincón de la Victoria, El Cadillar, Coimata, el Ceibal, Erquis Oropeza, Erquis Sud, Erquis Norte, Rancho Sud, Santa Bárbara y Tucumilla, las coordenadas del punto de inicio son: Latitud 21°29'55.99"S ; longitud 64°45'36.73"O, finalizando en la entrada del cruce a Santa Bárbara con coordenadas Latitud 21°26'42.01"S; longitud 64°45'12.14"O, una ruta alterna que integra el Departamento con el norte de nuestro país.

FIGURA 5.1-1 Tramo 1 (Tomatitas – Cruce Santa Bárbara)



A. TOMATITAS
B. CRUCE SANTA BARBARA.

Fuente: Google Maps.

Esta carretera forma parte de la red Fundamental Nacional F001 de carreteras según la A.B.C. en lo que corresponde al espacio geográfico de la 1ra. Sección municipal de la Provincia Méndez, comprende vías que unen la localidad de San Lorenzo capital seccional y principal centro urbano con la capital del Departamento y otros centros urbanos nacionales. La red fundamental usando esta variable es transitable todo el año. Esta carretera usando la variante antigua tiene una extensión aproximada de 22 kilómetros, desde el puente de Tomatitas (a 5 km. de Tarija) hasta la serranía de Sama, de los cuales 6 son asfaltados y 16 con cubierta de ripio.

El Tramo 2 (Cruce Santa Bárbara – San Lorenzo), abarca parte de los distritos de Santa Bárbara y San Lorenzo, conecta a las comunidades de Santa Bárbara, Tucumilla, Rancho Norte, Lajas, Bordo Mollar, Tarija Cancha Norte, Tarija Cancha Sud y propiamente a San Lorenzo y sus diferentes Barrios, las coordenadas del punto de inicio son: Latitud 21°26'42.01"S; longitud 64°45'12.14"O, finalizando en la entrada a San Lorenzo con coordenadas Latitud 21°25'26.59"S; longitud 64°44'58.67"O.

FIGURA 5.1-2 Tramo 2 (Cruce Santa Bárbara – San Lorenzo)



A. CRUCE SANTA BARBARA.
B. SAN LORENZO.

Fuente: Google Maps.

Esta carretera forma parte de la Red complementaria que es un sistema de intercomunicación entre la Red fundamental y la Red vecinal, vincula zonas pobladas de importancia de la Sección, y comprende una extensión total de 3 km y 32 Km en su totalidad considerando otros tramos que no son parte de este estudio. Los caminos de esta red, garantizan estabilidad durante la época de estiaje de mayo a noviembre, dificultándose el tránsito en la época de lluvias por los deslizamientos en la plataforma y el cruce de quebradas, la ausencia de obras de arte, alcantarillado, ripiado, drenaje y la temporalidad del mejoramiento ocasiona que las lluvias destruyan el terraplén obstaculizando el normal flujo vehicular, lo cual no sucede propiamente con el tramo que está siendo objeto de nuestro estudio por sus características que presenta.

5.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS TRAMOS EN ESTUDIO

Los tramos en estudio comprenden carreteras de dos carriles, ambas en zonas sub urbanas y rurales de la ciudad de Tarija más propiamente provincia Méndez.

El Tramo 1 (Tomatitas – Cruce Santa Bárbara), es una carretera de dos carriles indivisos (sin ajardinamiento), a excepción de una pequeña parte justa mente en el cruce de Santa Bárbara que es el límite de este tramo, el tramo cuenta con un carril de salida o dirección al norte que conecta a San Lorenzo y el norte del país y un carril de llegada que tiene dirección hacia Tarija, convirtiéndose en una carretera de dos carriles.

El tramo consta de un tramo diferenciado por tener un diferente diseño geométrico más propiamente me refiero a la zona de Tomatitas que no cuenta con arcenes y bermas lo suficientemente necesario para permitir el paso de vehículos sin ocasionar problemas en el tráfico y además por las características dadas de la zona que es una zona muy frecuentada por visitantes y vecinos del lugar que estacionan sus vehículos obstruyendo el paso al estacionar sus vehículos en una zona donde existe prohibición de estacionamiento pero aunque su incidencia es mínima puesto que es un pequeño tramo en relación a la longitud total del tramo, después sus características son idénticas en el resto del tramo.

FIGURA 5.2-1 Fotografías tramo Tomatitas – Cruce Santa Bárbara



a. Rancho sud



b. Tomatitas

Fuente: Elaboración Propia.

El Tramo 2 (Cruce Santa Bárbara – San Lorenzo), es una carretera de dos carriles indivisos y con dos sentidos con características similares al anterior tramo con un carril de salida y otro de llegada sin ajardinamientos, esta vía actualmente se encuentra totalmente concluida, estando asfaltada en su totalidad al igual que el

anterior tramo con la diferencia de sus longitud que viene siendo aproximadamente la mitad y también que su pendiente longitudinal es más suave en relación a anterior tramo.

FIGURA 5.2-2 Fotografías tramo Cruce Santa Bárbara – San Lorenzo

a. Rancho Norte



b. Llegada a San Lorenzo



Fuente: Elaboración Propia

5.3. PROCESO DE OBTENCIÓN DE DATOS

El proceso de obtención de datos es una de las fases más importantes en la determinación del nivel de servicio de carreteras de dos carriles indivisos, los datos obtenidos fueron: volúmenes, velocidades y características físicas de las vías en estudio, las mismas que se determinaron en campo de forma manual y también con la ayuda del Google Heart para determinar algunas características necesaria para el presente trabajo, para este proceso se hizo un estudio previo a las vías, ya que para determinar la capacidad de un sistema vial no sólo es necesario conocer sus características físicas o geométricas, sino también características de los flujos vehiculares, bajo una variedad de condiciones de operación sujetas a los dispositivos de control y al medio circundante.

En los tramos 1 y 2 respectivamente que son objeto de nuestro estudio se realizaron aforos manuales ubicando los puntos de aforos en partes intermedias de cada tramo y tomando en cuenta lo que nos indica la normativa de la A.B.C. en función al tiempo de aforo y clasificación de vehículos, los aforos de volumen realizados en un punto o sección de una vía nos permiten obtener datos relacionados con el movimiento de los vehículos respecto al tiempo y espacio, al igual que el aforo de velocidades que nos generara velocidades puntuales y medias de cada tramo considerando la influencia de vehículos livianos y pesados.

5.4. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y GEOMÉTRICAS DEL TRAMO

La determinación de las propiedades del tramo 1 y tramo 2 se determinaron en campo, considerando las características físicas y geométricas pero también se pudo conseguir algunos datos con la ayuda del Google Heart que es una herramienta que nos permite obtener algunos datos y ubicaciones exactas de algunos puntos que están siendo objeto de nuestro estudio.

Nos centraremos en el estudio de los elementos compositivos de una carretera:

- Plataforma: Es la zona de la vía destinada al uso de vehículos, y que integran calzada y arcenes.

- Calzada: Parte de la vía destinada a la circulación normal de vehículos. La calzada puede ser de único o doble sentido de circulación y se compone de un determinado número de carriles. Si su anchura es igual o inferior a 6,50 m., se denomina vía estrecha. Una vía puede componerse de diversas calzadas.

- Carril: Banda longitudinal en que puede subdividirse la calzada, caracterizada por tener una anchura suficiente para permitir la circulación de una sola fila de vehículos. Los carriles suelen materializarse en el pavimento mediante marcas viales, siendo su anchura estándar es de 3,50 m.; si ésta es inferior a 3 m., el carril se denomina estrecho.

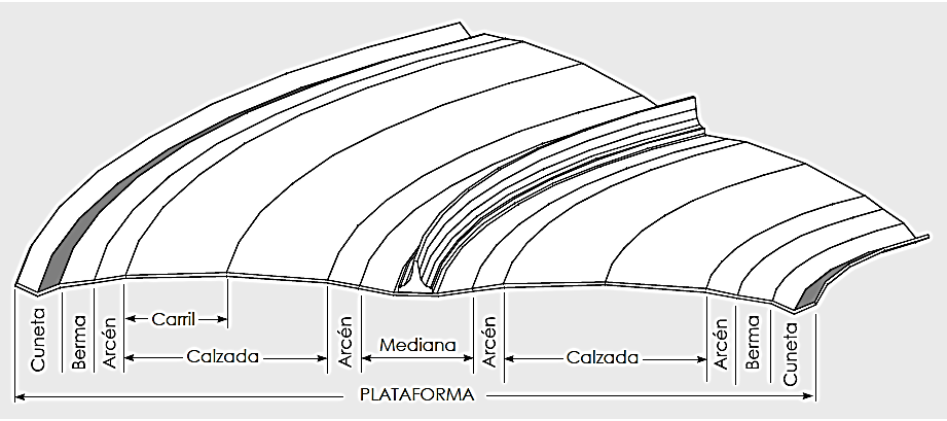
- Arcén: Es la franja longitudinal afirmada contigua a la calzada, no destinada al uso de automóviles salvo en circunstancias excepcionales.

- Berma: Zona longitudinal de la carretera comprendida entre el borde exterior del arcén pavimentado y la cuneta o terraplén. Generalmente se utiliza para señalización, iluminación, balizamiento, comunicaciones o instalación de barreras de seguridad.

- Mediana: Es la franja longitudinal del terreno no destinada a la circulación, cuya misión es la de separar dos calzadas con distinto sentido de circulación. Su anchura es variable y puede contener barreras separadoras de tráfico.

- Cunetas y caces: Conductos de sección abadernada diseñados para captar, transportar y evacuar las aguas pluviales; se hallan situadas en los extremos de la vía.

FIGURA 5.4-1 Elementos que conforman una vía



Fuente: MANUAL DE CARRETERAS Luis Bañón Blázquez

En resumen podemos indicar las siguientes características geométricas de cada tramo:

TABLA 5.4-1. PROPIEDADES FÍSICAS Y GEOMÉTRICAS TRAMO 1 (TOMATITAS – CRUCE SANTA BÁRBARA)

Nº de Carriles	ANCHO DE CALZADA (m)	ANCHO DE CARRIL (m)	ANCHO DE MEDIANA (m)	ANCHO DE ARCÉN (m)	ANCHO DE BERMA (m)	ANCHO DE CUNETA (m)	Nº DE ACCE-SOS	LONGITUD TRAMO 1 (km)	PENDIENTE LONG. (%) TRAMO 1
2	7,2	3,6	0,0	1,8	1,1	1,0	24	6	2,3

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 5.4-2. PROPIEDADES FISICAS Y GEOMETRICAS TRAMO 2 (CRUCE SANTA BÁRBARA – SAN LORENZO)

Nº de Carriles	ANCHO DE CALZADA (m)	ANCHO DE CARRIL (m)	ANCHO DE MEDIANA (m)	ANCHO DE ARCÉN (m)	ANCHO DE BERMA (m)	ANCHO DE CUNETA (m)	Nº DE ACCE-SOS	LONGITUD TRAMO 2 (km)	PENDIENTE LONG. (%) TRAMO 2
2	7,2	3,6	0,0	1.6	1,1	0.9	6	2.35	1.3

Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 5.4-1 Fotografías determinación en campo de características geométricas de la vía



Fuente: Elaboración Propia

5.5. DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE AFORO.

En primer lugar se definió una área de influencia con la finalidad de evaluar la operación de tránsito vehicular preponderante ahora bien en el caso del estudio de velocidades instantáneas se pueden hacer en ubicaciones generales o especiales.

Ubicaciones Generales: Son aquellas seleccionadas para estudios de tendencias o datos de encuestas básicas de tránsito. Para carreteras rurales, los estudios de tendencias se llevan a cabo en secciones rectas y sin mucha pendiente lejos de intersecciones o desarrollos a los lados de la vía.

Ubicaciones Especiales: Son aquellas seleccionadas para establecer límites de velocidad para calles específicas y secciones de vía, para evaluar mejoras de tránsito y para estudiar zonas de accidentes.

Además, los estudios de velocidades instantáneas se llevan a cabo en determinadas áreas para investigación y otros estudios especiales, o para evaluar la relación entre la velocidad y factores que puedan afectarla.

Para estimar la velocidad puntual en una zona de manera precisa y no sesgada, se consideró el proceder de la siguiente forma:

1. Si el observador necesita ver los vehículos, también debe esconderse.

2. Evitar tener público observando el aforo.

3. Chequear un número adecuado de velocidades de vehículos.

Con las consideraciones anterior los puntos de aforos fueron ubicados en lugares intermedios considerando el concepto de ubicaciones generales de cada tramo es decir se tiene dos puntos de aforo volumétrico y de velocidades, uno ubicado en Rancho Sud, Latitud 21°27'56.82"S y Longitud 64°45'18.10"O, el otro punto está en Rancho Norte, Latitud 21°25'50.88"S y Longitud 64°45'3.69"O, estos puntos nos permitieron obtener datos relacionados con el movimiento de automóviles respecto al tiempo y espacio.

5.6. AFORO DE VOLÚMENES DE TRÁFICO

Para la obtención de información referente a los volúmenes de transito existen los métodos de aforo vehicular. El aforo es una muestra de los volúmenes para el periodo en el que se realiza y tienen por objetivo cuantificar el número de vehículos que pasan por un punto, sección de un camino.

Para determinar las horas de mayor circulación se entrevistó a los residentes aledaños a la ruta, los que manifestaron que el flujo vehicular mayor se da en las horas de la mañana y por la tarde, y durante la noche es prácticamente nulo en relación al día; por lo que se optó por realizar el aforo durante 12 horas continuas de 07:00 AM a 19:00 PM, durante una semana como los recomendaciones que estaría dentro del rango de la norma del A.B.C.

El método de aforo utilizado es el método manual debido a que en nuestro medio no se cuenta con equipos automáticos, el cual consiste en obtener datos de volúmenes de tránsito a través de conteos vehiculares realizado por personas en el campo, es decir en la vía en estudio, este método permite la clasificación de vehículos por tamaño, tipo, y otras características de configuración por tipo de ejes según la normativa vigente de la A.B.C.

FIGURA 5.6-1 Planilla de aforos

RESUMEN DE CONTEO
CLASIFICACION DE VEHICULOS (SEGUN A.B.C.)

TRAMO: TOMATITAS - CRUCE SANTA BARBARA
ESTACION: RANCHO SUD
FECHA: LUNES 22 DE ABRIL

SENTIDO 1



HORA DE - A	AUTOMOVILES VAGONETAS JEEP	CAMIONETAS (Hasta 2 Ton.)	MINIBUSES (7 a 15) Asientos	MICRO-BUSES (16 a 21) Asientos	BUS MEDIANO (22 a 35) Asientos	BUS GRANDE (Mas de 35) Asientos	CAMION MEDIANO EJE SIMPLE (2.5 a 10 Ton.)	CAMION GRANDE EJE SIMPLE (10 Ton.ó mas)	CAMION GRANDE EJE TAMDEM (10 Ton.ó más)	CAMION SEMI REMOL-QUE	CAMION CON REMOL-QUE	OTROS VEHICU-LOS	TOTAL
7:00-8:00													
8:00-9:00													
9:00-10:00													
10:00-11:00													
11:00-12:00													
12:00-13:00													
13:00-14:00													
14:00-15:00													
15:00-16:00													
16:00-17:00													
17:00-18:00													
18:00-19:00													
Total													

Fuente: Elaboración Propia

El aforo volumétrico se realizó con el llenado de una respectiva planilla, en la cual se tiene los datos de la fecha y hora del aforo, del tipo de vehículo, de la cantidad y del sentido, el personal de campo registro los datos en formatos diseñados específicamente para este aforo en particular, el formato utilizado en el estudio realizado para esta investigación se muestra en la figura 5.6-1.

FIGURA 5.6-2 Fotografías aforo vehicular



Fuente: Elaboración Propia

5.7. MEDICIÓN DE VELOCIDADES PUNTUALES.

La importancia de la velocidad, como elemento básico para el estudio del sistema vial, queda demostrada por el parámetro de cálculo de la mayoría de los demás elementos del estudio. Finalmente, un factor que hace a la velocidad muy importante en el tránsito es que la velocidad de los vehículos de hoy en día sobrepasa los límites para los que fueron diseñadas las carreteras y las calles actuales, por lo que la mayor parte de los reglamentos resultan obsoletos, es por esta razón y con fines de determinar el nivel de servicio es que se realiza el estudio de velocidad. La Velocidad puntual en la vía es la tasa de movimiento del tránsito o de un número específico de vehículos, por lo general expresado en kilómetros por hora. Existen dos tipos de medidas de velocidades medias para expresar la tasa de movimiento. La velocidad media puntual, es la media de las velocidades puntuales de un grupo de

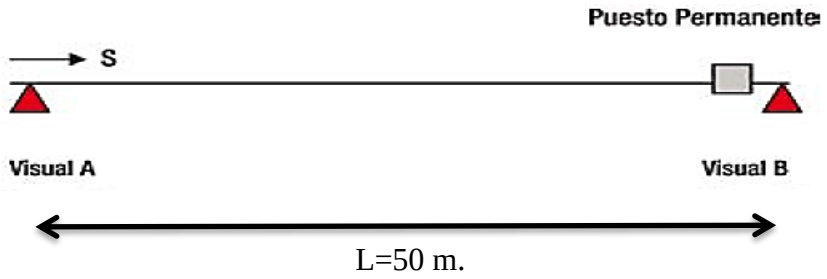
vehículos en un lugar determinado de la vía. El segundo tipo es la velocidad de recorrido, que está sujeta a los tiempos de viaje y demoras.

Los estudios de velocidades puntuales son diseñados para medir las características de la velocidad en ubicaciones específicas bajo las condiciones prevalecientes de tráfico y ambientales durante el estudio. Es necesario también obtener una muestra lo suficientemente grande de manera que los resultados sean estadísticamente significantes. La velocidad es un factor importante al momento de determinar las condiciones de funcionamiento, funcionalidad eficiencia, seguridad, comodidad y conveniencia del sistema de transporte.

La velocidad de punto permite determinar las características de la velocidad en un lugar específico, bajo condiciones de tránsito y atmosféricas prevalecientes en el momento de llevar a cabo el estudio.

La medición de las velocidades de tráfico, fue realizada en base al control del tiempo de recorrido entre dos puntos.

FIGURA 5.7-1 Figura medición de velocidades



Fuente: Elaboración Propia

Un vehículo que circula en el sentido S, fue detectado en el puesto Visual A con un tiempo entre A y B, en el caso de nuestro estudio la longitud L = 50 m.se contabilizaron tiempo de 5 vehículos livianos y 3 pesados en cada hora durante 12 horas continuas por el periodo de una semana.

5.8. DETERMINACIÓN DE RELACIONES ENTRE FACTORES FUNDAMENTALES.

Velocidad – Intensidad

La capacidad y el nivel de servicio de una carretera de dos carriles son inferiores a los de una autopista o multicarril, aun en condiciones ideales, se observa que la velocidad en una carretera de dos carriles no va a variar sino cuando la intensidad de la misma llega y pasa los 420 vl/h/c, observándose que en condiciones ideales es 2800 vl/h/c.

Intensidad – Densidad

La densidad en una carretera de dos carriles va a ir incrementando a medida que va aumentando la intensidad continuamente a lo largo de su campo, en condiciones ideales de 96 km/h la capacidad de 2800 vl/h/c representa la intensidad máxima.

Velocidad – Densidad

Para densidades pequeñas en la carretera, los vehículos que se encuentran en la carretera podrán circular muy separados y llevar la velocidad que quisieran sin que ningún otro les interfiera. 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 vehículos tendrán más dificultades para mantener la velocidad deseada porque encontrarían con cierta frecuencia vehículos más lentos delante de ellos que les impedirían mantener su velocidad. Por lo que cuando se incrementa la densidad en una carretera multicarril la velocidad media disminuye.

5.9. FASE DE GABINETE

5.9.1. Recopilación de datos.

La metodología a utilizar en el plan de aforos es por muestreo y consiste en deducir aforos con observaciones mediante aforos manuales.

Los puntos de aforo vehicular fueron sobre la carretera Vía Tomatitas cruce Santa Bárbara y cruce Santa Bárbara san Lorenzo se procedió a tomar un punto intermedio de aforo en cada tramo, determinado dentro de estas zonas de estudio.

TABLA 5.9-1 Ubicación de las estaciones de aforos

Nombre de la Estación	Nº Estación	Ubicación	Actividad realizada	Fecha de obtención de los datos
TOMATITAS CRUCE SANTA BÁRBARA	1	Punto 1 300 m. antes de la Escuela de Rancho Sud.	Aforos volumétricos y de velocidades.	A partir del 22 de Abril del 2013.
CRUCE SANTA BÁRBARA SAN LORENZO	1	Punto 2 250 m. pasando puente vehicular de Rancho Norte.	Aforos volumétricos y de velocidades.	A partir del 22 de Abril del 2013.

Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 5.9-1 Ubicación de las estaciones de aforos

a. Rancho Sud.

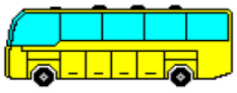
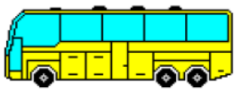
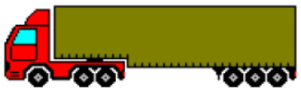
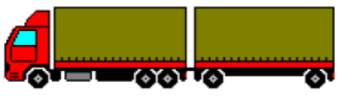


b. Rancho Norte



Fuente: Elaboración Propia

FIGURA 5.9-2 Configuración vehicular por tipo de ejes

Código	Tipo de Vehículos	Figura
1	*Automóviles y Vagonetas*	
2	*Camionetas (hasta 2 Tn.)*	
3	*Minibuses (hasta 15 pasajeros)*	
MB	*Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)*	
B2	*Buses Medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)*	
B3	*Buses Grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)*	
C2m	*Camiones Medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)*	
C2	*Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)*	
C3	*Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)*	
CSR	*Camiones Semiremolque*	
CR	*Camiones Remolque*	
12	*Otros Vehículos*	

elaborado por: Alex Arteaga

Fuente: A.B.C. Gerencia de Planificación y Desarrollo Tecnológico

• AFOROS VOLUMÉTRICOS

RESUMEN DE CONTEO
CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS (SEGÚN A.B.C.)

TRAMO: TOMATITAS - CRUCE SANTA BARBARA FECHA: **LUNES 22 DE ABRIL**
ESTACION: RANCHO SUD

AMBOS SENTIDOS



HORA DE - A	AUTOMOVILES VAGONETAS JEEP	CAMIONETAS (Hasta 2 Ton.)	MINIBUSES (7 a 15) Asientos	MICRO-BUSES (16 a 21) Asientos	BUS MEDIANO (22 a 35) Asientos	BUS GRANDE (Mas de 35) Asientos	CAMION MEDIANO EJE SIMPLE (2.5 a 10 Ton.)	CAMION GRANDE EJE SIMPLE (10 Ton.ó mas)	CAMION GRANDE EJE TAMDEM (10 Ton.ó más)	CAMION SEMI REMOL-QUE	CAMION CON REMOL-QUE	OTROS VEHICU-LOS	TOTAL	%
07:00-08:00	144	24	99	3	0	9	3	3	9	6	0	0	300	**8,74**
08:00-09:00	159	51	51	0	0	0	6	3	0	0	3	0	273	**7,95**
09:00-10:00	123	57	63	0	3	3	18	6	0	9	6	0	288	**8,39**
10:00-11:00	132	36	51	3	0	6	18	6	18	3	3	3	279	**8,13**
11:00-12:00	168	66	57	0	0	3	18	3	6	9	0	0	330	**9,62**
12:00-13:00	126	48	45	0	3	0	15	3	3	12	0	0	255	**7,43**
13:00-14:00	123	36	72	0	0	3	12	6	6	0	3	0	261	**7,60**
14:00-15:00	168	75	51	3	6	3	9	9	9	3	3	0	339	**9,88**
15:00-16:00	102	39	45	0	6	3	9	6	3	3	0	0	216	**6,29**
16:00-17:00	144	57	60	0	0	3	15	6	6	3	0	3	297	**8,65**
17:00-18:00	129	48	51	0	0	6	6	3	12	9	3	0	267	**7,78**
18:00-19:00	171	42	66	0	0	3	9	9	15	6	6	0	327	**9,53**
Total	1689	579	711	9	18	42	138	63	87	63	27	6	3432	**100,00**

RESUMEN DE CONTEO
CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS (SEGÚN A.B.C.)

TRAMO: TOMATITAS - CRUCE STA· BARBARA FECHA: MARTES 23 DE ABRIL
ESTACION: RANCHO SUD

AMBOS SENTIDOS



HORA DE - A	AUTOMOVILES VAGONETAS JEEP	CAMIONETAS (Hasta 2 Ton.)	MINIBUSES (7 a 15) Asientos	MICRO-BUSES (16 a 21) Asientos	BUS MEDIANO (22 a 35) Asientos	BUS GRANDE (Mas de 35) Asientos	CAMION MEDIANO EJE SIMPLE (2.5 a 10 Ton.)	CAMION GRANDE EJE SIMPLE (10 Ton.ó mas)	CAMION GRANDE EJE TAMDEM (10 Ton.ó más)	CAMION SEMI REMOL-QUE	CAMION CON REMOL-QUE	OTROS VEHICU-LOS	TOTAL	%
07:00-08:00	234	60	81	0	3	18	15	12	6	3	6	0	438	**11,28**
08:00-09:00	171	69	63	6	0	9	18	0	6	0	6	0	348	**8,96**
09:00-10:00	126	75	69	0	0	6	18	3	9	3	9	0	318	**8,19**
10:00-11:00	171	51	78	0	3	3	12	9	12	6	0	0	345	**8,89**
11:00-12:00	144	42	63	0	0	3	15	12	15	0	3	0	297	**7,65**
12:00-13:00	153	54	51	0	3	0	6	3	9	6	0	0	285	**7,34**
13:00-14:00	135	24	60	0	0	3	18	3	6	0	3	0	252	**6,49**
14:00-15:00	147	33	51	0	3	3	15	0	9	3	0	0	264	**6,80**
15:00-16:00	138	42	57	3	0	0	24	3	9	6	0	0	282	**7,26**
16:00-17:00	147	69	63	0	3	3	27	3	3	3	3	0	324	**8,35**
17:00-18:00	210	78	48	0	0	3	9	9	15	9	6	0	387	**9,97**
18:00-19:00	204	51	48	0	0	0	18	3	15	3	0	0	342	**8,81**
Total	1980	648	732	9	15	51	195	60	114	42	36	0	3882	**100,00**
(%)	**51,00**	**16,69**	**18,86**	**0,23**	**0,39**	**1,31**	**5,02**	**1,55**	**2,94**	**1,08**	**0,93**	**0,00**	**100,00**	

RESUMEN DE CONTEO
CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS (SEGÚN A.B.C.)

TRAMO: TOMATITAS - CRUCE STA· BARBARA FECHA: MIERCOLES 24 DE ABRIL

ESTACION: RANCHO SUD

AMBOS SENTIDOS



HORA DE - A	AUTOMOVILES VAGONETAS JEEP	CAMIONETAS (Hasta 2 Ton.)	MINIBUSES (7 a 15) Asientos	MICRO-BUSES (16 a 21) Asientos	BUS MEDIANO (22 a 35) Asientos	BUS GRANDE (Mas de 35) Asientos	CAMION MEDIANO EJE SIMPLE (2.5 a 10 Ton.)	CAMION GRANDE EJE SIMPLE (10 Ton.ó mas)	CAMION GRANDE EJE TAMDEM (10 Ton.ó más)	CAMION SEMI REMOL-QUE	CAMION CON REMOL-QUE	OTROS VEHICU-LOS	TOTAL	%
07:00-08:00	216	72	78	0	3	9	15	6	3	6	3	0	411	**11,14**
08:00-09:00	150	51	60	0	0	3	21	3	6	3	3	0	300	**8,13**
09:00-10:00	135	48	66	3	0	6	18	9	6	0	0	0	291	**7,89**
10:00-11:00	171	54	57	0	3	6	12	12	0	12	3	3	333	**9,02**
11:00-12:00	123	45	48	3	0	0	9	6	0	0	6	0	240	**6,50**
12:00-13:00	144	45	66	0	3	0	3	9	3	3	3	0	279	**7,56**
13:00-14:00	156	33	63	0	0	3	15	9	3	0	0	0	282	**7,64**
14:00-15:00	147	33	57	3	3	3	12	6	3	3	0	0	270	**7,32**
15:00-16:00	138	51	57	0	0	0	21	6	9	0	0	0	282	**7,64**
16:00-17:00	132	66	78	0	3	0	12	9	0	3	3	0	306	**8,29**
17:00-18:00	177	78	57	0	0	6	3	12	0	6	0	0	339	**9,19**
18:00-19:00	183	69	60	0	0	6	12	9	6	6	6	0	357	**9,67**
Total	1872	645	747	9	15	42	153	96	39	42	27	3	3690	**100,00**
(%)	**50,73**	**17,48**	**20,24**	**0,24**	**0,41**	**1,14**	**4,15**	**2,60**	**1,06**	**1,14**	**0,73**	**0,08**	**100,00**	

RESUMEN DE CONTEO
CLASIFICACION DE VEHICULOS (SEGÚN A.B.C.)

TRAMO: TOMATITAS - CRUCE STA. BARBARA FECHA: JUEVES 25 DE ABRIL
ESTACION: RANCHO SUD

AMBOS SENTIDOS



HORA DE - A	AUTOMOVILES VAGONETAS JEEP	CAMIONETAS (Hasta 2 Ton.)	MINIBUSES (7 a 15) Asientos	MICRO-BUSES (16 a 21) Asientos	BUS MEDIANO (22 a 35) Asientos	BUS GRANDE (Mas de 35) Asientos	CAMION MEDIANO EJE SIMPLE (2.5 a 10 Ton.)	CAMION GRANDE EJE SIMPLE (10 Ton.ó mas)	CAMION GRANDE EJE TAMDEM (10 Ton.ó más)	CAMION SEMI REMOL-QUE	CAMION CON REMOL-QUE	OTROS VEHICU-LOS	TOTAL	%
07:00-08:00	198	75	78	0	0	12	12	3	9	3	3	0	393	**9,70**
08:00-09:00	156	54	66	3	3	6	9	9	6	3	3	0	318	**7,85**
09:00-10:00	144	60	57	0	3	6	9	15	6	0	3	0	303	**7,48**
10:00-11:00	165	78	72	0	0	9	15	3	6	0	0	3	351	**8,67**
11:00-12:00	156	75	51	3	0	3	18	3	9	0	0	0	318	**7,85**
12:00-13:00	171	63	63	0	0	0	15	0	6	0	6	0	324	**8,00**
13:00-14:00	195	84	51	0	3	0	12	3	9	3	0	0	360	**8,89**
14:00-15:00	159	63	66	0	3	0	18	3	6	6	0	0	324	**8,00**
15:00-16:00	153	63	60	0	0	3	30	0	3	3	6	0	321	**7,93**
16:00-17:00	162	57	63	3	3	0	18	0	3	6	0	0	315	**7,78**
17:00-18:00	204	93	69	0	0	9	21	3	12	3	3	0	417	**10,30**
18:00-19:00	186	33	48	3	0	3	12	9	6	6	0	0	306	**7,56**
Total	2049	798	744	12	15	51	189	51	81	33	24	3	4050	**100,00**
(%)	**50,59**	**19,70**	**18,37**	**0,30**	**0,37**	**1,26**	**4,67**	**1,26**	**2,00**	**0,81**	**0,59**	**0,07**	**100,00**	

RESUMEN DE CONTEO
CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS (SEGÚN A.B.C.)

TRAMO: TOMATITAS - CRUCE SANTA BARBARA FECHA: **VIERNES 26 DE ABRIL**

ESTACION: RANCHO SUD

AMBOS SENTIDOS



HORA DE A	AUTOMOVILES VAGONETAS JEEP	CAMIONETAS (Hasta 2 Ton.)	MINIBUSES (7 a 15) Asientos	MICRO-BUSES (16 a 21) Asientos	BUS MEDIANO (22 a 35) Asientos	BUS GRANDE (Mas de 35) Asientos	CAMION MEDIANO EJE SIMPLE (2.5 a 10 Ton.)	CAMION GRANDE EJE SIMPLE (10 Ton.ó mas)	CAMION GRANDE EJE TAMDEM (10 Ton.ó más)	CAMION SEMI REMOL-QUE	CAMION CON REMOL-QUE	OTROS VEHICU-LOS	TOTAL	%
07:00-08:00	183	99	84	3	3	6	21	9	6	6	3	0	423	**10,14**
08:00-09:00	183	63	60	0	3	9	9	0	12	3	0	0	342	**8,20**
09:00-10:00	171	78	63	0	3	6	12	3	12	6	3	0	357	**8,56**
10:00-11:00	168	66	54	3	0	3	12	3	9	0	6	0	324	**7,77**
11:00-12:00	195	63	57	0	0	6	12	9	9	3	6	0	360	**8,63**
12:00-13:00	156	81	57	0	0	3	9	0	6	6	0	0	318	**7,63**
13:00-14:00	156	87	54	0	0	0	12	3	6	9	0	0	327	**7,84**
14:00-15:00	183	72	75	0	3	6	9	6	3	3	6	0	366	**8,78**
15:00-16:00	168	63	51	0	3	0	12	3	6	6	0	0	312	**7,48**
16:00-17:00	162	78	60	3	3	0	15	6	0	6	3	0	336	**8,06**
17:00-18:00	177	84	69	3	3	6	9	9	3	9	0	0	372	**8,92**
18:00-19:00	144	81	66	0	3	3	12	6	9	3	6	0	333	**7,99**
Total	2046	915	750	12	24	48	144	57	81	60	33	0	4170	**100,00**
(%)	**49,06**	**21,94**	**17,99**	**0,29**	**0,58**	**1,15**	**3,45**	**1,37**	**1,94**	**1,44**	**0,79**	**0,00**	**100,00**	

RESUMEN DE CONTEO
CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS (SEGÚN A.B.C.)

TRAMO: TOMATITAS - CRUCE STA· BARBARA FECHA: SABADO 27 DE ABRIL

ESTACION: RANCHO SUD

AMBOS SENTIDOS



HORA DE - A	AUTOMOVILES VAGONETAS JEEP	CAMIONETAS (Hasta 2 Ton.)	MINIBUSES (7 a 15) Asientos	MICRO-BUSES (16 a 21) Asientos	BUS MEDIANO (22 a 35) Asientos	BUS GRANDE (Mas de 35) Asientos	CAMION MEDIANO EJE SIMPLE (2.5 a 10 Ton.)	CAMION GRANDE EJE SIMPLE (10 Ton.ó mas)	CAMION GRANDE EJE TAMDEM (10 Ton.ó más)	CAMION SEMI REMOL-QUE	CAMION CON REMOL-QUE	OTROS VEHICU-LOS	TOTAL	%
07:00-08:00	225	84	60	0	3	12	18	6	9	6	0	3	426	**9,98**
08:00-09:00	174	69	75	0	6	3	9	6	12	0	3	0	357	**8,36**
09:00-10:00	213	75	66	0	6	12	24	3	12	0	3	0	414	**9,70**
10:00-11:00	180	66	51	3	0	3	21	6	6	6	9	0	351	**8,22**
11:00-12:00	135	60	45	0	3	3	21	6	15	0	0	3	291	**6,82**
12:00-13:00	174	45	87	3	3	0	27	18	3	3	6	0	369	**8,64**
13:00-14:00	153	42	51	0	0	3	24	9	18	3	6	0	309	**7,24**
14:00-15:00	159	45	45	6	0	3	27	9	3	3	3	3	306	**7,17**
15:00-16:00	225	69	42	0	0	0	24	12	12	3	3	0	390	**9,14**
16:00-17:00	198	45	51	0	3	0	18	3	3	3	9	0	333	**7,80**
17:00-18:00	189	42	39	0	3	9	9	3	9	6	9	0	318	**7,45**
18:00-19:00	240	45	60	3	0	12	18	3	12	3	6	3	405	**9,49**
Total	2265	687	672	15	27	60	240	84	114	36	57	12	4269	**100,00**
(%)	**53,06**	**16,09**	**15,74**	**0,35**	**0,63**	**1,41**	**5,62**	**1,97**	**2,67**	**0,84**	**1,34**	**0,28**	**100,00**	

RESUMEN DE CONTEO
CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS (SEGÚN A.B.C.)

TRAMO: TOMATITAS - CRUCE STA· BARBARA FECHA: **DOMINGO 28 DE ABRIL**

ESTACION: RANCHO SUD

AMBOS SENTIDOS



HORA DE - A	AUTOMOVILES VAGONETAS JEEP	CAMIONETAS (Hasta 2 Ton.)	MINIBUSES (7 a 15) Asientos	MICRO-BUSES (16 a 21) Asientos	BUS MEDIANO (22 a 35) Asientos	BUS GRANDE (Mas de 35) Asientos	CAMION MEDIANO EJE SIMPLE (2.5 a 10 Ton.)	CAMION GRANDE EJE SIMPLE (10 Ton.ó mas)	CAMION GRANDE EJE TAMDEM (10 Ton.ó más)	CAMION SEMI REMOL-QUE	CAMION CON REMOL-QUE	OTROS VEHICU-LOS	TOTAL	%
07:00-08:00	225	84	60	0	3	12	18	6	9	6	0	3	426	**9,95**
08:00-09:00	174	69	75	0	6	3	9	6	12	0	3	0	357	**8,34**
09:00-10:00	213	75	66	0	6	12	24	3	12	0	3	0	414	**9,67**
10:00-11:00	180	66	51	3	0	3	21	6	6	6	9	0	351	**8,20**
11:00-12:00	135	60	45	0	3	3	21	6	15	0	0	3	291	**6,80**
12:00-13:00	174	45	87	3	3	0	27	18	3	3	6	0	369	**8,62**
13:00-14:00	153	42	51	0	0	3	24	9	18	3	6	0	309	**7,22**
14:00-15:00	159	45	45	6	3	3	27	9	3	3	3	3	309	**7,22**
15:00-16:00	225	69	51	0	0	0	24	12	12	3	3	0	399	**9,32**
16:00-17:00	198	45	51	0	3	0	18	3	3	3	9	0	333	**7,78**
17:00-18:00	189	42	39	0	3	9	9	3	9	6	9	0	318	**7,43**
18:00-19:00	240	45	60	3	0	12	18	3	12	3	6	3	405	**9,46**
Total	2265	687	681	15	30	60	240	84	114	36	57	12	4281	**100,00**
(%)	**52,91**	**16,05**	**15,91**	**0,35**	**0,70**	**1,40**	**5,61**	**1,96**	**2,66**	**0,84**	**1,33**	**0,28**	**100,00**	

RESUMEN DE CONTEO
CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS (SEGÚN A.B.C.)

TRAMO: CRUCE SANTA BARBARA - SAN LORENZO FECHA: **LUNES 22 DE ABRIL**

ESTACION: RANCHO NORTE

AMBOS SENTIDOS



HORA DE - A	AUTOMOVILES VAGONETAS JEEP	CAMIONETAS (Hasta 2 Ton.)	MINIBUSES (7 a 15) Asientos	MICRO-BUSES (16 a 21) Asientos	BUS MEDIANO (22 a 35) Asientos	BUS GRANDE (Mas de 35) Asientos	CAMION MEDIANO EJE SIMPLE (2.5 a 10 Ton.)	CAMION GRANDE EJE SIMPLE (10 Ton.ó mas)	CAMION GRANDE EJE TAMDEM (10 Ton.ó más)	CAMION SEMI REMOL-QUE	CAMION CON REMOL-QUE	OTROS VEHICU-LOS	TOTAL	%
07:00-08:00	165	57	60	0	0	0	15	9	0	3	0	0	309	**12,58**
08:00-09:00	99	48	63	0	0	0	3	3	0	0	0	0	216	**8,79**
09:00-10:00	87	33	45	0	0	0	12	12	3	0	0	0	192	**7,81**
10:00-11:00	111	48	45	0	0	0	15	3	0	0	3	0	225	**9,16**
11:00-12:00	57	21	42	0	0	0	3	6	3	3	0	0	135	**5,49**
12:00-13:00	78	45	45	0	0	0	6	0	0	0	0	0	174	**7,08**
13:00-14:00	60	15	57	0	3	0	6	3	0	0	0	0	144	**5,86**
14:00-15:00	87	30	48	0	0	0	3	3	3	0	0	0	174	**7,08**
15:00-16:00	114	15	39	0	0	0	6	3	0	0	0	0	177	**7,20**
16:00-17:00	156	27	45	0	0	0	18	9	0	6	0	0	261	**10,62**
17:00-18:00	108	36	51	0	0	0	3	6	6	0	0	0	210	**8,55**
18:00-19:00	132	42	54	0	0	0	6	3	0	3	0	0	240	**9,77**
Total	1254	417	594	0	3	0	96	60	15	15	3	0	2457	**100,00**
(%)	**51,04**	**16,97**	**24,18**	**0,00**	**0,12**	**0,00**	**3,91**	**2,44**	**0,61**	**0,61**	**0,12**	**0,00**	**100,00**	

RESUMEN DE CONTEO
CLASIFICACIÓN DE VEHICULOS (SEGÚN A.B.C.)

TRAMO: CRUCE SANTA BARBARA - SAN LORENZO FECHA: **MARTES 23 DE ABRIL**

ESTACION: RANCHO NORTE

AMBOS SENTIDOS



HORA DE - A	AUTOMOVILES VAGONETAS JEEP	CAMIONETAS (Hasta 2 Ton.)	MINIBUSES (7 a 15) Asientos	MICRO-BUSES (16 a 21) Asientos	BUS MEDIANO (22 a 35) Asientos	BUS GRANDE (Mas de 35) Asientos	CAMION MEDIANO EJE SIMPLE (2.5 a 10 Ton.)	CAMION GRANDE EJE SIMPLE (10 Ton.ó mas)	CAMION GRANDE EJE TAMDEM (10 Ton.ó más)	CAMION SEMI REMOL-QUE	CAMION CON REMOL-QUE	OTROS VEHICU-LOS	TOTAL	%
07:00-08:00	129	21	75	0	0	0	9	0	0	0	0	0	234	**10,10**
08:00-09:00	72	18	54	0	0	0	6	3	0	0	0	0	153	**6,61**
09:00-10:00	102	33	51	0	0	0	3	9	0	0	0	0	198	**8,55**
10:00-11:00	120	39	66	0	0	0	9	9	3	0	0	0	246	**10,62**
11:00-12:00	84	30	39	0	0	0	9	0	0	0	0	0	162	**6,99**
12:00-13:00	75	15	36	0	0	0	0	12	0	0	0	0	138	**5,96**
13:00-14:00	51	24	45	0	3	0	6	0	3	0	0	0	132	**5,70**
14:00-15:00	102	39	48	0	0	0	12	9	0	0	0	0	210	**9,07**
15:00-16:00	96	42	66	0	0	0	6	3	0	0	0	0	213	**9,20**
16:00-17:00	111	48	39	0	3	0	3	0	0	0	0	0	204	**8,81**
17:00-18:00	111	24	60	0	3	0	6	0	3	0	0	0	207	**8,94**
18:00-19:00	114	39	57	0	0	0	3	3	0	3	0	0	219	**9,46**
Total	1167	372	636	0	9	0	72	48	9	3	0	0	2316	**100,00**
(%)	**50,39**	**16,06**	**27,46**	**0,00**	**0,39**	**0,00**	**3,11**	**2,07**	**0,39**	**0,13**	**0,00**	**0,00**	**100,00**	

RESUMEN DE CONTEO
CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS (SEGÚN A.B.C.)

TRAMO: CRUCE SANTA BARBARA - SAN LORENZO FECHA: MIERCOLES 24 DE ABRIL

ESTACION: RANCHO NORTE

AMBOS SENTIDOS



HORA DE - A	AUTOMOVILES VAGONETAS JEEP	CAMIONETAS (Hasta 2 Ton.)	MINIBUSES (7 a 15) Asientos	MICRO-BUSES (16 a 21) Asientos	BUS MEDIANO (22 a 35) Asientos	BUS GRANDE (Mas de 35) Asientos	CAMION MEDIANO EJE SIMPLE (2.5 a 10 Ton.)	CAMION GRANDE EJE SIMPLE (10 Ton.ó mas)	CAMION GRANDE EJE TAMDEM (10 Ton.ó más)	CAMION SEMI REMOL-QUE	CAMION CON REMOL-QUE	OTROS VEHICU-LOS	TOTAL	%
07:00-08:00	117	24	75	0	0	0	12	0	0	0	0	0	228	**10,24**
08:00-09:00	78	12	54	0	0	0	0	6	0	0	0	0	150	**6,74**
09:00-10:00	90	21	51	0	0	0	9	3	0	0	0	0	174	**7,82**
10:00-11:00	105	33	63	0	0	0	3	6	3	0	0	0	213	**9,57**
11:00-12:00	93	33	51	0	0	0	3	0	0	0	0	0	180	**8,09**
12:00-13:00	66	21	45	0	0	0	6	15	0	0	0	0	153	**6,87**
13:00-14:00	45	24	54	3	0	0	6	0	0	0	0	0	132	**5,93**
14:00-15:00	93	36	54	0	0	0	9	3	0	0	0	0	195	**8,76**
15:00-16:00	90	27	60	0	0	0	0	3	0	0	0	0	180	**8,09**
16:00-17:00	96	33	48	0	3	0	6	0	0	0	0	0	186	**8,36**
17:00-18:00	114	21	63	0	0	0	3	0	3	0	0	0	204	**9,16**
18:00-19:00	108	39	66	3	0	0	3	9	0	3	0	0	231	**10,38**
Total	1095	324	684	6	3	0	60	45	6	3	0	0	2226	**100,00**
(%)	**49,19**	**14,56**	**30,73**	**0,27**	**0,13**	**0,00**	**2,70**	**2,02**	**0,27**	**0,13**	**0,00**	**0,00**	**100,00**	

RESUMEN DE CONTEO
CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS (SEGÚN A.B.C.)

TRAMO: CRUCE SANTA BARBARA - SAN LORENZO FECHA: **JUEVES 25 DE ABRIL**
ESTACION: RANCHO NORTE

AMBOS SENTIDOS



HORA DE - A	AUTOMOVILES VAGONETAS JEEP	CAMIONETAS (Hasta 2 Ton.)	MINIBUSES (7 a 15) Asientos	MICRO-BUSES (16 a 21) Asientos	BUS MEDIANO (22 a 35) Asientos	BUS GRANDE (Mas de 35) Asientos	CAMION MEDIANO EJE SIMPLE (2.5 a 10 Ton.)	CAMION GRANDE EJE SIMPLE (10 Ton.ó mas)	CAMION GRANDE EJE TAMDEM (10 Ton.ó más)	CAMION SEMI REMOL-QUE	CAMION CON REMOL-QUE	OTROS VEHICU-LOS	TOTAL	%
07:00-08:00	123	27	63	0	0	0	3	6	0	0	0	0	222	**9,72**
08:00-09:00	84	24	57	0	0	0	3	6	0	0	0	0	174	**7,62**
09:00-10:00	93	15	54	0	0	0	6	3	0	0	0	0	171	**7,49**
10:00-11:00	93	36	63	0	0	0	6	9	0	0	0	0	207	**9,07**
11:00-12:00	90	27	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	171	**7,49**
12:00-13:00	90	27	54	0	0	0	6	9	0	0	0	0	186	**8,15**
13:00-14:00	66	21	54	0	0	0	0	3	0	0	0	0	144	**6,31**
14:00-15:00	102	33	51	0	0	0	12	3	0	0	0	0	201	**8,80**
15:00-16:00	90	18	60	0	0	0	3	3	0	0	0	0	174	**7,62**
16:00-17:00	93	33	60	0	0	0	9	3	0	0	0	0	198	**8,67**
17:00-18:00	126	24	72	0	0	0	3	12	0	0	0	0	237	**10,38**
18:00-19:00	90	33	54	3	0	0	6	9	3	0	0	0	198	**8,67**
Total	1140	318	696	3	0	0	57	66	3	0	0	0	2283	**100,00**
(%)	**49,93**	**13,93**	**30,49**	**0,13**	**0,00**	**0,00**	**2,50**	**2,89**	**0,13**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**100,00**	

RESUMEN DE CONTEO
CLASIFICACIÓN DE VEHICULOS (SEGÚN A.B.C.)

TRAMO: CRUCE SANTA BARBARA - SAN LORENZO FECHA: **VIERNES 26 DE ABRIL**

ESTACION: RANCHO NORTE

AMBOS SENTIDOS



HORA DE - A	AUTOMOVILES VAGONETAS JEEP	CAMIONETAS (Hasta 2 Ton.)	MINIBUSES (7 a 15) Asientos	MICRO-BUSES (16 a 21) Asientos	BUS MEDIANO (22 a 35) Asientos	BUS GRANDE (Mas de 35) Asientos	CAMION MEDIANO EJE SIMPLE (2.5 a 10 Ton.)	CAMION GRANDE EJE SIMPLE (10 Ton.ó mas)	CAMION GRANDE EJE TAMDEM (10 Ton.ó más)	CAMION SEMI REMOL-QUE	CAMION CON REMOL-QUE	OTROS VEHICU-LOS	TOTAL	%
07:00-08:00	180	63	75	0	0	0	15	15	0	3	0	0	351	**12,54**
08:00-09:00	114	51	66	0	0	0	3	12	0	0	0	0	246	**8,79**
09:00-10:00	102	48	51	0	0	0	12	21	0	0	0	0	234	**8,36**
10:00-11:00	123	42	48	0	0	0	15	3	0	0	0	0	231	**8,25**
11:00-12:00	93	36	45	0	0	0	9	0	0	3	0	0	186	**6,65**
12:00-13:00	105	48	66	0	3	0	3	3	0	0	0	0	228	**8,15**
13:00-14:00	84	21	51	0	0	0	3	3	0	0	0	0	162	**5,79**
14:00-15:00	105	39	57	0	0	0	6	9	0	0	0	0	216	**7,72**
15:00-16:00	123	27	51	0	0	0	6	12	0	0	0	0	219	**7,82**
16:00-17:00	141	33	60	0	0	0	6	9	0	3	0	0	252	**9,00**
17:00-18:00	141	30	57	0	0	0	6	9	0	0	0	0	243	**8,68**
18:00-19:00	120	39	57	0	0	0	6	6	3	0	0	0	231	**8,25**
Total	1431	477	684	0	3	0	90	102	3	9	0	0	2799	**100,00**
(%)	**51,13**	**17,04**	**24,44**	**0,00**	**0,11**	**0,00**	**3,22**	**3,64**	**0,11**	**0,32**	**0,00**	**0,00**	**100,00**	

RESUMEN DE CONTEO
CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS (SEGÚN A.B.C.)

TRAMO: CRUCE SANTA BARBARA - SAN LORENZO FECHA: **SABADO 27 DE ABRIL**

ESTACION: RANCHO NORTE

AMBOS SENTIDOS



HORA DE - A	AUTOMOVILES VAGONETAS JEEP	CAMIONETAS (Hasta 2 Ton.)	MINIBUSES (7 a 15) Asientos	MICRO-BUSES (16 a 21) Asientos	BUS MEDIANO (22 a 35) Asientos	BUS GRANDE (Mas de 35) Asientos	CAMION MEDIANO EJE SIMPLE (2.5 a 10 Ton.)	CAMION GRANDE EJE SIMPLE (10 Ton.ó mas)	CAMION GRANDE EJE TAMDEM (10 Ton.ó más)	CAMION SEMI REMOL-QUE	CAMION CON REMOL-QUE	OTROS VEHICU-LOS	TOTAL	%
07:00-08:00	138	39	72	0	0	0	9	0	0	0	0	0	258	**10,90**
08:00-09:00	87	27	51	0	0	0	6	3	0	0	0	0	174	**7,35**
09:00-10:00	69	42	45	3	0	0	6	0	3	0	0	0	168	**7,10**
10:00-11:00	75	24	36	0	0	0	15	0	0	0	0	0	150	**6,34**
11:00-12:00	108	18	42	0	0	0	21	6	0	0	0	0	195	**8,24**
12:00-13:00	102	30	42	0	0	0	9	0	0	0	0	0	183	**7,73**
13:00-14:00	93	24	33	0	0	0	3	0	0	0	0	0	153	**6,46**
14:00-15:00	114	12	60	0	0	0	15	0	3	3	0	0	207	**8,75**
15:00-16:00	111	27	57	3	0	0	12	0	0	0	0	3	213	**9,00**
16:00-17:00	105	42	48	3	3	0	3	3	0	0	0	0	207	**8,75**
17:00-18:00	141	39	48	0	0	0	12	3	0	0	0	0	243	**10,27**
18:00-19:00	120	42	48	0	0	0	6	0	0	0	0	0	216	**9,13**
Total	1263	366	582	9	3	0	117	15	6	3	0	3	2367	**100,00**
(%)	**53,36**	**15,46**	**24,59**	**0,38**	**0,13**	**0,00**	**4,94**	**0,63**	**0,25**	**0,13**	**0,00**	**0,13**	**100,00**	

RESUMEN DE CONTEO
CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS (SEGÚN A.B.C.)

TRAMO: CRUCE SANTA BARBARA - SAN LORENZO FECHA: **DOMINGO 28 DE ABRIL**

ESTACION: RANCHO NORTE

AMBOS SENTIDOS



HORA DE - A	AUTOMOVILES VAGONETAS JEEP	CAMIONETAS (Hasta 2 Ton.)	MINIBUSES (7 a 15) Asientos	MICRO-BUSES (16 a 21) Asientos	BUS MEDIANO (22 a 35) Asientos	BUS GRANDE (Mas de 35) Asientos	CAMION MEDIANO EJE SIMPLE (2.5 a 10 Ton.)	CAMION GRANDE EJE SIMPLE (10 Ton.ó mas)	CAMION GRANDE EJE TAMDEM (10 Ton.ó más)	CAMION SEMI REMOL-QUE	CAMION CON REMOL-QUE	OTROS VEHICU-LOS	TOTAL	%
07:00-08:00	108	30	42	0	0	0	9	0	0	0	0	0	189	**6,43**
08:00-09:00	114	36	54	0	0	0	6	0	0	0	0	0	210	**7,14**
09:00-10:00	111	48	57	3	0	0	6	0	0	0	0	0	225	**7,65**
10:00-11:00	141	18	42	0	0	0	3	3	0	0	0	0	207	**7,04**
11:00-12:00	186	15	42	3	0	0	3	3	0	0	0	0	252	**8,57**
12:00-13:00	210	30	54	0	0	0	9	0	0	0	0	0	303	**10,31**
13:00-14:00	183	48	51	0	0	0	15	0	0	0	0	0	297	**10,10**
14:00-15:00	135	36	48	3	0	0	6	6	0	0	0	0	234	**7,96**
15:00-16:00	168	27	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	237	**8,06**
16:00-17:00	156	24	48	0	0	0	6	0	3	0	0	0	237	**8,06**
17:00-18:00	183	42	51	0	0	0	3	0	0	0	0	0	279	**9,49**
18:00-19:00	171	30	66	0	0	0	3	0	0	0	0	0	270	**9,18**
Total	1866	384	597	9	0	0	69	12	3	0	0	0	2940	**100,00**
(%)	**63,47**	**13,06**	**20,31**	**0,31**	**0,00**	**0,00**	**2,35**	**0,41**	**0,10**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**100,00**	

INVENTARIO DE AFOROS
DE VELOCIDADES PUNTUALES (km/hr)

FECHA DEL AFORO: LUNES, 22 DE ABRIL DE 2013

TRAMO: TOMATITAS – CRUCE SANTA BÁRBARA

LUGAR: RANCHO SUD **LATITUD:** 21°27'55.33"S

ELEVACIÓN: 1965 m.s.n.m. **LONGITUD:** 64°45'17.68"O

HORA DE AFORO	TIPO DE VEHICULO							
	LIVIANOS (km/h)					PESADOS (km/h)		
	1	2	3	4	5	1	2	3
07:00	91,4	74,1	75,9	74,7	70,0	46,5	46,8	44,0
08:00	63,2	66,2	67,4	86,1	60,6	48,9	42,6	46,5
09:00	69,8	83,3	80,0	59,8	82,6	44,4	48,0	38,1
10:00	59,8	78,6	65,2	69,8	64,7	42,9	59,2	60,2
11:00	70,3	70,9	78,6	68,7	75,6	46,0	57,3	53,9
12:00	77,9	67,2	80,4	71,1	67,9	57,7	55,4	42,2
13:00	89,1	70,3	73,2	80,4	84,1	55,4	49,5	43,7
14:00	75,9	84,9	72,9	56,4	68,7	44,8	55,4	36,0
15:00	61,9	60,0	82,6	66,4	65,7	45,6	55,2	52,6
16:00	63,2	61,6	69,2	79,3	84,1	44,3	46,8	57,7
17:00	62,7	62,3	67,4	81,4	90,5	35,9	46,3	59,8
18:00	62,1	73,8	74,4	66,4	74,7	55,9	54,4	55,4

FECHA DEL AFORO: MARTES, 23 DE ABRIL DE 2013

HORA DE AFORO	TIPO DE VEHICULO							
	LIVIANOS (km/h)					PESADOS (km/h)		
	1	2	3	4	5	1	2	3
07:00	75,6	69,0	87,8	64,3	74,1	45,6	55,4	36,6
08:00	107,1	62,9	68,2	78,9	76,3	55,4	41,7	59,8
09:00	82,9	63,4	66,9	66,2	81,8	48,4	43,6	57,7
10:00	60,8	61,9	82,6	72,9	70,3	34,4	54,2	45,5
11:00	74,1	98,4	96,8	80,7	65,0	53,4	43,5	58,4
12:00	73,8	70,6	72,6	92,3	74,1	49,6	50,7	54,1
13:00	65,2	69,0	62,1	96,8	75,6	36,7	49,6	52,3
14:00	82,6	78,3	67,4	71,7	77,9	50,6	43,3	57,1
15:00	62,5	70,6	98,4	86,5	83,7	54,1	35,4	48,6
16:00	81,4	73,8	85,7	77,3	81,1	44,0	53,1	49,0
17:00	70,0	76,9	59,8	67,2	64,1	49,9	48,1	51,3
18:00	69,0	58,6	68,4	76,9	78,6	54,5	45,1	50,8

FECHA DEL AFORO: MIERCOLES, 24 DE ABRIL DE 2013

HORA DE AFORO	TIPO DE VEHICULO							
	LIVIANOS (km/h)					PESADOS (km/h)		
	1	2	3	4	5	1	2	3
07:00	68,4	62,1	82,9	69,0	74,4	57,7	55,9	48,4
08:00	65,7	79,3	77,6	89,6	69,8	53,6	50,6	55,6
09:00	75,0	70,3	98,9	69,8	75,3	58,6	54,2	49,6
10:00	75,9	73,5	59,6	71,1	84,9	57,7	56,6	52,6
11:00	68,4	62,1	81,4	65,7	97,3	50,6	53,6	36,7
12:00	65,7	75,3	78,6	93,3	65,2	48,4	57,7	35,8
13:00	71,4	75,3	83,3	74,1	75,0	58,3	47,5	41,5
14:00	90,9	80,7	65,7	68,4	67,9	54,2	44,9	45,5
15:00	78,3	69,5	80,7	68,4	87,8	46,2	56,4	40,1
16:00	72,3	63,2	78,3	67,2	86,1	58,4	55,9	46,8
17:00	77,6	71,4	90,0	62,3	60,4	52,3	54,9	40,8
18:00	74,4	89,1	92,3	74,1	83,3	49,7	50,8	40,9

FECHA DEL AFORO: JUEVES, 25 DE ABRIL DE 2013

HORA DE AFORO	TIPO DE VEHICULO							
	LIVIANOS (km/h)					PESADOS (km/h)		
	1	2	3	4	5	1	2	3
07:00	67,4	65,9	88,2	79,3	72,3	50,7	45,3	44,8
08:00	83,7	74,4	82,9	85,3	91,8	51,9	52,8	47,9
09:00	62,5	82,2	87,4	66,2	82,2	49,6	46,3	47,2
10:00	87,4	79,6	72,9	82,9	75,3	57,3	51,9	36,3
11:00	71,7	68,2	71,7	75,0	66,4	60,4	44,8	57,1
12:00	77,6	71,1	65,5	82,2	82,9	48,5	46,3	59,6
13:00	87,0	83,3	78,6	101,1	87,8	49,6	42,2	57,1
14:00	60,6	71,4	82,2	82,6	69,0	58,3	38,2	57,0
15:00	71,7	90,0	93,3	79,3	70,9	49,9	55,4	38,3
16:00	70,0	77,6	67,9	67,9	80,7	58,6	53,4	52,0
17:00	64,5	88,2	65,9	81,4	73,8	45,7	47,5	43,5
18:00	86,1	62,1	75,9	73,8	86,1	45,8	46,6	52,3

FECHA DEL AFORO: VIERNES, 26 DE ABRIL DE 2013

HORA DE AFORO	TIPO DE VEHICULO							
	LIVIANOS (km/h)					PESADOS (km/h)		
	1	2	3	4	5	1	2	3
07:00	62,7	69,0	86,1	89,6	66,4	48,4	59,8	42,5
08:00	93,8	70,3	80,7	66,2	76,3	55,7	55,4	45,5
09:00	72,6	88,2	80,7	62,9	90,9	59,0	46,6	43,4
10:00	69,5	67,4	71,4	76,6	66,7	55,7	42,6	59,6
11:00	60,8	87,4	83,3	66,4	63,4	45,3	52,9	36,8
12:00	80,0	75,3	83,7	79,6	86,1	54,1	56,3	43,2
13:00	78,3	64,7	83,7	76,3	88,7	49,6	57,3	51,9
14:00	95,7	62,9	67,4	79,3	87,8	58,4	43,6	35,9
15:00	68,2	87,8	82,6	72,9	78,6	49,5	45,1	50,7
16:00	83,3	71,4	88,2	82,9	72,6	58,8	37,1	61,6
17:00	71,4	73,2	72,6	83,7	88,7	44,9	51,7	48,5
18:00	83,7	92,3	75,9	88,7	82,2	55,9	59,2	56,3

FECHA DEL AFORO: SABADO, 27 DE ABRIL DE 2013

HORA DE AFORO	TIPO DE VEHICULO							
	LIVIANOS (km/h)					PESADOS (km/h)		
	1	2	3	4	5	1	2	3
07:00	83,7	70,9	62,7	84,1	59,8	48,4	55,9	43,7
08:00	68,4	85,3	84,1	74,4	61,2	53,6	42,8	54,5
09:00	73,5	84,9	83,7	80,4	62,3	58,6	54,2	59,4
10:00	78,6	68,4	64,7	83,7	82,9	48,4	56,6	54,4
11:00	72,6	84,5	72,3	66,2	77,9	48,4	35,7	57,7
12:00	81,4	68,2	84,1	59,2	60,6	45,7	58,1	50,6
13:00	64,7	76,9	63,4	73,2	68,4	44,7	46,2	60,0
14:00	82,2	76,9	74,7	65,2	73,5	45,7	41,3	48,4
15:00	67,4	63,6	83,7	65,2	74,1	61,2	48,1	56,4
16:00	64,1	62,7	78,6	75,9	61,9	47,9	51,6	62,5
17:00	82,2	76,9	75,9	62,3	82,9	58,4	55,9	59,8
18:00	60,4	63,4	62,7	57,3	65,2	55,9	61,9	46,9

FECHA DEL AFORO: DOMINGO, 28 DE ABRIL DE 2013

HORA DE AFORO	TIPO DE VEHICULO							
	LIVIANOS (km/h)					PESADOS (km/h)		
	1	2	3	4	5	1	2	3
07:00	77,9	64,3	90,5	80,4	85,3	59,0	52,5	37,0
08:00	95,2	66,2	81,8	98,9	61,0	45,6	44,8	57,1
09:00	67,2	96,3	88,7	75,3	68,4	53,1	53,9	43,2
10:00	77,6	71,7	72,0	63,2	82,2	51,7	59,0	47,1
11:00	65,0	61,0	65,5	66,4	63,4	52,0	55,2	59,8
12:00	73,5	75,3	72,0	79,3	62,1	52,9	38,8	54,4
13:00	75,3	84,9	83,7	73,5	80,7	53,6	59,4	55,0
14:00	60,2	62,9	71,7	66,4	62,9	53,9	46,8	51,4
15:00	65,0	89,1	69,8	71,7	72,3	43,3	53,4	57,3
16:00	62,9	62,3	65,0	73,2	61,9	32,4	47,6	55,4
17:00	63,2	75,0	65,2	70,6	68,4	47,0	46,2	44,9
18:00	65,5	92,3	79,6	59,4	62,7	47,1	51,3	40,0

INVENTARIO DE AFOROS
DE VELOCIDADES PUNTUALES (km/hr)

FECHA DEL AFORO: DESDE EL 22 DE ABRIL AL 28 DE ABRIL

TRAMO: CRUCE SANTA BÁRBARA – SAN LORENZO

LUGAR: RANCHO NORTE **LATITUD:** 21°25'50.84"S

ELEVACIÓN: 1965 m.s.n.m. **LONGITUD:** 64°45'3.52"O

HORA DE AFORO	TIPO DE VEHICULO							
	LIVIANOS (km/h)					PESADOS (km/h)		
	1	2	3	4	5	1	2	3
07:00	70,0	58,4	74,4	101,1	69,8	44,3	51,9	59,6
08:00	86,5	66,9	77,6	88,7	75,0	51,9	51,1	61,0
09:00	95,2	61,9	76,6	58,4	83,7	48,4	52,9	45,2
10:00	66,7	109,1	72,9	87,8	62,1	49,0	51,3	55,7
11:00	64,7	95,7	82,6	66,2	104,0	47,2	57,1	37,1
12:00	66,9	105,9	70,9	69,8	91,8	45,9	59,6	42,6
13:00	66,9	64,1	97,3	60,4	79,3	55,7	46,9	59,6
14:00	100,0	71,4	103,4	70,0	62,9	56,6	44,7	60,0
15:00	87,0	95,7	84,9	83,7	69,8	60,2	56,8	49,6
16:00	80,7	83,3	92,3	91,4	81,8	47,6	55,4	49,6
17:00	95,2	61,2	90,9	78,3	70,3	50,7	49,0	55,7
18:00	78,6	76,6	88,7	78,3	76,6	46,5	51,1	51,1

FECHA DEL AFORO: MARTES, 23 DE ABRIL DE 2013

HORA DE AFORO	TIPO DE VEHICULO							
	LIVIANOS (km/h)					PESADOS (km/h)		
	1	2	3	4	5	1	2	3
07:00	62,7	95,2	86,5	72,9	78,9	49,3	56,8	55,7
08:00	73,8	75,6	77,3	87,0	80,4	45,9	47,2	43,8
09:00	80,4	75,3	101,7	72,9	77,3	52,9	48,4	51,7
10:00	92,8	83,3	80,0	80,7	64,5	45,3	49,5	54,7
11:00	74,7	63,4	72,9	66,2	84,1	47,5	55,7	57,1
12:00	75,0	79,6	88,2	79,3	74,4	47,5	55,2	57,3
13:00	74,4	84,1	94,7	75,6	71,7	59,8	46,2	46,5
14:00	70,3	59,8	62,1	89,1	85,3	48,9	44,2	56,4
15:00	93,8	76,6	72,6	75,0	64,1	51,9	57,9	59,6
16:00	83,7	66,2	88,2	79,3	86,1	55,6	47,7	53,3
17:00	69,5	66,2	85,3	81,4	64,5	48,1	56,4	46,3
18:00	67,2	60,6	64,1	84,1	87,8	45,7	51,3	57,1

FECHA DEL AFORO: MIERCOLES, 24 DE ABRIL DE 2013

HORA DE AFORO	TIPO DE VEHICULO							
	LIVIANOS (km/h)					PESADOS (km/h)		
	1	2	3	4	5	1	2	3
07:00	63,2	72,6	82,2	84,9	68,7	58,8	51,3	54,4
08:00	78,9	62,1	79,3	77,6	80,4	56,8	56,1	54,1
09:00	68,7	69,5	71,1	68,4	75,9	53,1	60,4	48,6
10:00	71,4	92,8	89,6	77,6	75,3	49,7	46,5	59,0
11:00	86,5	84,1	78,3	92,3	82,6	58,1	51,9	44,9
12:00	88,7	93,3	71,7	65,9	89,6	61,0	58,3	48,6
13:00	87,0	96,3	79,3	86,1	89,1	52,3	41,8	47,1
14:00	72,9	87,8	102,3	77,6	76,9	56,3	58,3	57,0
15:00	80,0	65,5	65,9	82,2	83,3	54,4	58,6	47,4
16:00	80,7	61,4	70,3	85,3	98,4	55,0	56,6	46,4
17:00	84,9	65,7	104,0	65,0	75,3	59,2	56,3	54,7
18:00	98,4	60,4	101,7	87,0	92,8	57,9	53,9	44,9

FECHA DEL AFORO: JUEVES, 25 DE ABRIL DE 2013

HORA DE AFORO	TIPO DE VEHICULO							
	LIVIANOS (km/h)					PESADOS (km/h)		
	1	2	3	4	5	1	2	3
07:00	80,7	98,4	84,1	77,6	66,7	52,2	51,3	62,7
08:00	68,4	75,9	72,9	63,6	84,1	56,4	58,6	44,9
09:00	81,4	102,9	76,9	97,3	84,1	57,3	61,6	50,6
10:00	82,6	83,7	70,0	87,0	72,0	48,6	50,8	53,6
11:00	96,8	62,5	83,7	90,0	98,4	57,1	55,2	45,1
12:00	86,1	80,4	70,0	65,5	89,1	46,9	57,3	51,9
13:00	82,2	71,1	95,2	69,5	79,3	43,4	53,1	55,7
14:00	74,7	79,6	65,7	62,5	82,9	50,6	65,0	48,6
15:00	77,9	74,1	66,4	71,1	82,6	51,6	37,4	57,3
16:00	80,7	77,6	70,9	83,7	81,4	44,9	57,3	54,1
17:00	75,9	84,1	62,1	92,8	83,3	49,7	55,6	52,0
18:00	82,6	71,4	98,4	76,9	89,1	57,3	57,0	65,5

FECHA DEL AFORO: VIERNES, 26 DE ABRIL DE 2013

HORA DE AFORO	TIPO DE VEHICULO							
	LIVIANOS (km/h)					PESADOS (km/h)		
	1	2	3	4	5	1	2	3
07:00	81,8	80,4	70,0	91,8	74,4	45,9	55,7	43,5
08:00	80,7	93,3	75,3	71,4	65,2	48,5	59,6	56,1
09:00	69,2	80,4	102,3	87,8	92,8	55,4	57,1	60,4
10:00	78,9	102,9	86,1	84,1	72,6	57,3	59,0	43,3
11:00	83,7	87,0	66,7	77,9	89,1	54,2	55,4	57,3
12:00	65,2	82,2	72,6	75,9	89,1	57,3	59,6	56,8
13:00	83,3	82,6	95,7	82,9	81,8	47,2	60,8	43,7
14:00	91,4	62,3	64,1	84,1	71,4	55,7	57,3	47,9
15:00	89,6	83,3	72,9	78,6	95,7	45,6	56,8	53,3
16:00	82,9	62,9	83,3	93,3	88,2	57,3	51,4	48,4
17:00	68,2	92,8	93,8	73,5	70,3	57,3	51,3	45,2
18:00	69,0	88,2	81,4	74,7	97,3	54,4	47,1	59,6

FECHA DEL AFORO: SABADO, 27 DE ABRIL DE 2013

HORA DE AFORO	TIPO DE VEHICULO							
	LIVIANOS (km/h)					PESADOS (km/h)		
	1	2	3	4	5	1	2	3
07:00	100,6	73,5	64,7	59,8	60,6	57,3	47,5	63,6
08:00	60,4	65,5	89,6	91,4	70,9	55,4	61,4	44,9
09:00	62,3	80,0	72,9	85,7	65,7	58,3	46,6	57,7
10:00	77,9	59,8	64,7	74,7	82,6	56,4	58,4	56,4
11:00	86,1	62,9	75,0	84,1	56,1	47,9	59,6	40,1
12:00	82,6	73,5	70,9	62,7	64,7	66,4	55,9	55,2
13:00	93,8	80,4	62,3	57,3	65,7	61,9	59,2	54,9
14:00	74,7	65,5	66,4	62,9	59,2	49,7	35,9	52,9
15:00	74,4	62,7	73,5	65,2	88,2	57,9	42,8	49,7
16:00	73,5	57,7	74,4	84,5	70,9	60,2	57,3	50,6
17:00	78,6	62,9	68,2	74,7	64,7	49,5	40,7	49,5
18:00	83,7	64,7	73,2	71,7	74,7	36,4	61,2	56,8

FECHA DEL AFORO: DOMINGO, 28 DE ABRIL DE 2013

HORA DE AFORO	TIPO DE VEHICULO							
	LIVIANOS (km/h)					PESADOS (km/h)		
	1	2	3	4	5	1	2	3
07:00	64,5	76,9	81,4	60,8	84,9	52,9	49,7	43,5
08:00	84,5	97,3	60,6	66,2	103,4	53,9	57,1	60,6
09:00	61,4	74,1	63,2	59,0	92,8	54,9	47,5	59,6
10:00	60,4	62,7	69,0	75,0	65,2	47,7	48,9	49,6
11:00	83,7	65,0	61,2	68,4	89,1	46,6	47,9	58,3
12:00	82,6	59,8	67,2	61,4	78,6	56,1	48,0	57,7
13:00	62,9	65,2	84,1	66,7	89,1	52,6	49,3	44,8
14:00	90,9	62,3	66,4	67,7	65,5	48,5	58,4	51,1
15:00	78,9	68,7	89,6	63,8	93,8	56,6	46,5	61,0
16:00	85,3	62,5	69,2	59,2	67,7	52,9	30,0	52,5
17:00	84,1	67,9	75,0	64,7	67,9	55,4	40,6	49,9
18:00	62,1	59,2	74,4	66,4	52,8	45,5	48,9	37,1

5.9.2. Proceso de obtención de datos.

Una vez obtenidos los datos de campo se procedió a su depuración, determinando la media de los mismos, tanto de los aforos volumétricos como de los tiempos para la determinación de la velocidad, y se determinó también el porcentaje de vehículos según la clasificación de la A.B.C. como también determinar el porcentaje de vehículos livianos, recreativo, buses y pesados según indica el manual de capacidades.

Media:

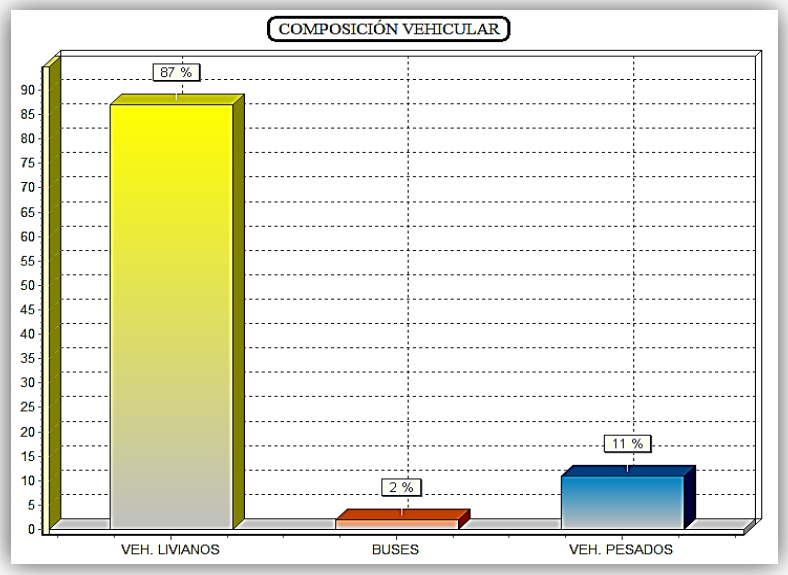
$$\bar{u} = \frac{\sum u}{N}$$

- **TRAMO 1 TOMATITAS - CRUCE SANTA BÁRBARA**
  - **PROCESAMIENTO DEL VOLUMEN DE TRÁFICO (VEH/H)**

TABLA 5.9-2 Resumen de aforos volumétricos medios por horas (remarcado volumen horario máximo)

HORA DE - A	AUTOMO-VILES VAGONETAS JEEP	CAMIONE-TAS (Hasta 2 Ton.)	MINIBUSES (7 a 15) Asientos	MICRO-BUSES (16 a 21) Asientos	BUS MEDIANO (22 a 35) Asientos	BUS GRANDE (Mas de 35) Asientos	CAMION MEDIANO EJE SIMPLE (2.5 a 10 Ton.)	CAMION GRANDE EJE SIMPLE (10 Ton.ó mas)	CAMION GRANDE EJE TAMDEM (10 Ton.ó más)	CAMION SEMI REMOL-QUE	CAMION CON REMOL-QUE	OTROS VEHICU-LOS	TOTAL	%
07:00-08:00	204	71	77	1	2	11	15	6	7	5	2	1	402	**10,14**
08:00-09:00	167	61	64	1	3	5	12	4	8	1	3	0	328	**8,26**
09:00-10:00	161	67	64	0	3	7	18	6	8	3	4	0	341	**8,59**
10:00-11:00	167	60	59	2	1	5	16	6	8	5	4	1	333	**8,40**
11:00-12:00	151	59	52	1	1	3	16	6	10	2	2	1	304	**7,66**
12:00-13:00	157	54	65	1	2	0	15	7	5	5	3	0	314	**7,92**
13:00-14:00	153	50	57	0	0	2	17	6	9	3	3	0	300	**7,56**
14:00-15:00	160	52	56	3	3	3	17	6	5	3	2	1	311	**7,84**
15:00-16:00	164	57	52	0	1	1	21	6	8	3	2	0	315	**7,93**
16:00-17:00	163	60	61	1	3	1	18	4	3	4	4	0	321	**8,08**
17:00-18:00	182	66	53	0	1	7	9	6	9	7	4	0	345	**8,71**
18:00-19:00	195	52	58	1	0	6	14	6	11	4	4	1	354	**8,91**
Total	2024	708	720	12	21	51	186	71	90	45	37	5	3968	**100,00**
(%)	**51,00**	**17,85**	**18,14**	**0,29**	**0,52**	**1,27**	**4,68**	**1,78**	**2,27**	**1,12**	**0,94**	**0,13**	**100,00**	
TIPO VEH.	VEH. LIVIANOS			BUSES			VEH. PESADOS							
(%)	87			2			11							

FIGURA 5.9-3 Composición vehicular



Fuente: Elaboración Propia

- **PROCESAMIENTO DE LA VELOCIDAD DE VEHÍCULOS LIGEROS Y PESADOS**

Para la determinación de la velocidad se procedió a hacer un estudio previo a los dos tramos, llegando a la conclusión que la velocidad se mantiene relativamente constante entre los mismos tipos de vehículos existiendo como era de esperarse una diferencia entre las velocidades de los vehículos livianos con los pesado, esto es por sus características particulares hacen que la velocidad media varíen entre los vehículos pesados y livianos, por lo que se decidió analizar las velocidades de los vehículos livianos y pesados en cada tramo de estudio.

Primero se calculó la velocidad para cada tiempo aforado:

$$V = \frac{d}{T}$$

Luego se sacó la velocidad media en cada hora de aforo:

$$V_{MEDIA} = \frac{\sum V_i}{N}$$

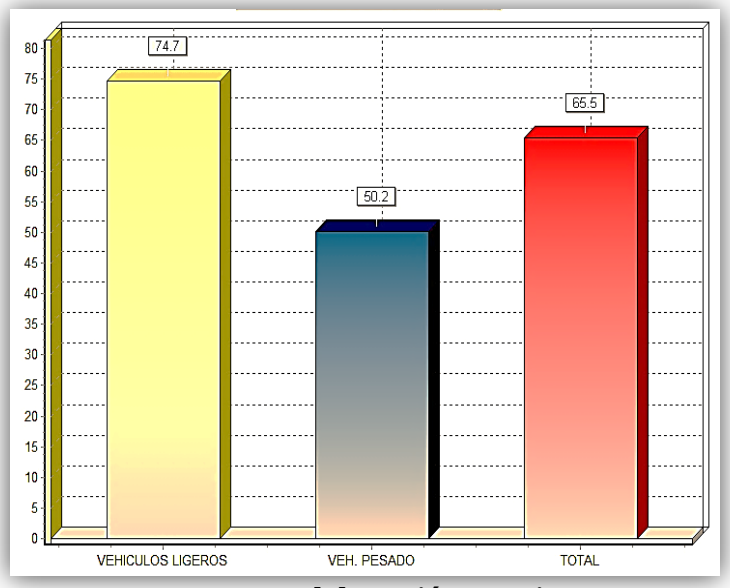
TABLA 5.9-3 Resumen de velocidades medias por horas.

HORA DE AFORO	TIPO DE VEHÍCULO							
	LIVIANOS (km/h)					PESADOS (km/h)		
	1	2	3	4	5	1	2	3
07:00	75,3	67,9	82,0	77,3	71,8	50,9	53,1	42,4
08:00	82,4	72,1	77,5	82,8	71,0	52,1	47,2	52,4
09:00	71,9	81,2	83,8	68,6	77,6	53,1	49,5	48,4
10:00	72,8	71,6	69,8	74,3	75,3	49,7	54,3	50,8
11:00	69,0	76,1	78,5	69,9	72,7	50,9	49,0	51,5
12:00	75,7	71,9	76,7	79,6	71,3	51,0	51,9	48,5
13:00	75,9	74,9	75,4	82,2	80,1	49,7	50,2	51,7
14:00	78,3	74,0	71,7	70,0	72,5	52,3	44,8	47,3
15:00	67,8	75,8	84,4	72,9	76,2	49,9	49,9	49,2
16:00	71,0	67,5	76,1	74,8	75,5	49,2	49,4	55,0
17:00	70,2	74,9	71,0	72,7	75,5	47,7	50,1	49,8
18:00	71,6	75,9	75,6	70,9	76,1	52,1	52,8	48,9

Tabla 5.9-4 Resumen velocidades medias por tipo de vehículo

VELOCIDAD MEDIA km/hr		
VEH. LIGEROS	**VEH. PESADOS**	**TOTAL**
74,7	50,2	65,5

FIGURA 5.9-4 Velocidades medias según el tipo de vehículo



Fuente: Elaboración Propia

➢ TRAMO 2 CRUCE SANTA BÁRBARA – SAN LORENZO

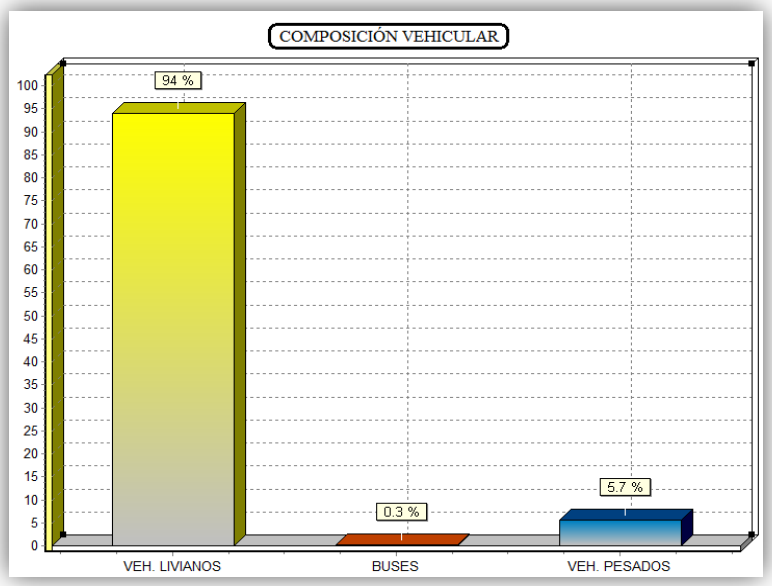
- **PROCESAMIENTO DEL VOLUMEN DE TRÁFICO (VEH/H)**

TABLA 5.9-5 Resumen de aforos volumétricos medios por horas (remarcado volumen horario máximo)

HORA DE - A	AUTOMOVILES VAGONETAS JEEP	CAMIONETAS (Hasta 2 Ton.)	MINIBUSES (7 a 15) Asientos	MICRO-BUSES (16 a 21) Asientos	BUS MEDIANO (22 a 35) Asientos	BUS GRANDE (Mas de 35) Asientos	CAMION MEDIANO EJE SIMPLE (2.5 a 10 Ton.)	CAMION GRANDE EJE SIMPLE (10 Ton.ó mas)	CAMION GRANDE EJE TAMDEM (10 Ton.ó más)	CAMION SEMI REMOL-QUE	CAMION CON REMOL-QUE	OTROS VEHICU-LOS	TOTAL	%
07:00-08:00	137	37	66	0	0	0	10	4	0	1	0	0	256	**10,30**
08:00-09:00	93	31	57	0	0	0	4	5	0	0	0	0	189	**7,61**
09:00-10:00	93	34	51	1	0	0	8	7	1	0	0	0	195	**7,83**
10:00-11:00	110	34	52	0	0	0	9	5	1	0	0	0	211	**8,51**
11:00-12:00	102	26	45	0	0	0	7	2	0	1	0	0	183	**7,37**
12:00-13:00	104	31	49	0	0	0	6	6	0	0	0	0	195	**7,85**
13:00-14:00	83	25	49	0	1	0	6	1	0	0	0	0	166	**6,69**
14:00-15:00	105	32	52	0	0	0	9	5	1	0	0	0	205	**8,26**
15:00-16:00	113	26	54	0	0	0	5	3	0	0	0	0	202	**8,13**
16:00-17:00	123	34	50	0	1	0	7	3	0	1	0	0	221	**8,89**
17:00-18:00	132	31	57	0	0	0	5	4	2	0	0	0	232	**9,33**
18:00-19:00	122	38	57	1	0	0	5	4	1	1	0	0	229	**9,23**
Total	1317	380	639	4	3	0	80	50	6	5	0	0	2484	**100,00**
(%)	**53,00**	**15,29**	**25,72**	**0,16**	**0,12**	**0,00**	**3,23**	**2,00**	**0,26**	**0,19**	**0,0**	**0,0**	**100,00**	

TIPO VEH.	VEH. LIVIANOS	BUSES	VEH. PESADOS
(%)	94,0	0,3	5,7

FIGURA 5.9-5 Composición vehicular



Fuente: Elaboración Propia

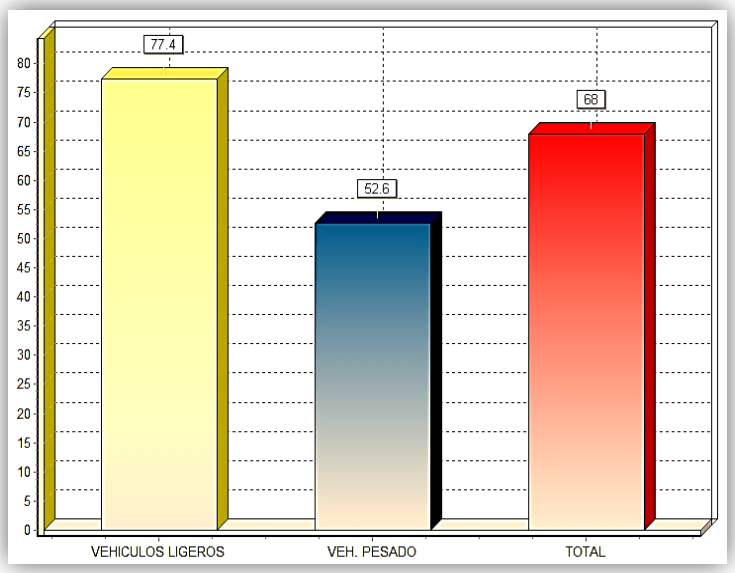
TABLA 5.9-6 Resumen de aforos velocidades medias por horas

HORA DE AFORO	TIPO DE VEHÍCULO							
	LIVIANOS (km/h)					PESADOS (km/h)		
	1	2	3	4	5	1	2	3
07:00	74,8	79,3	77,6	78,4	72,0	51,5	52,0	54,7
08:00	76,2	76,7	76,1	78,0	79,9	52,7	55,9	52,2
09:00	74,1	77,7	80,7	75,7	81,8	54,3	53,5	53,4
10:00	75,8	84,9	76,0	81,0	70,6	50,6	52,1	53,2
11:00	82,3	74,4	74,3	77,9	86,2	51,2	54,7	48,6
12:00	78,2	82,1	73,1	68,7	82,5	54,4	56,3	52,9
13:00	78,6	77,7	87,0	71,2	79,4	53,3	51,0	50,3
14:00	82,1	69,8	75,8	73,4	72,0	52,3	52,0	53,4
15:00	83,1	75,2	75,1	74,2	82,5	54,0	51,0	54,0
16:00	81,1	67,4	78,4	82,4	82,1	53,4	50,8	50,7
17:00	79,5	71,6	82,8	75,8	70,9	52,8	50,0	50,5
18:00	77,4	68,7	83,1	77,0	81,6	49,1	52,9	53,2

TABLA 5.9-7 Resumen velocidades medias por tipo de vehículo

VELOCIDAD MEDIA km/hr		
VEH. LIGEROS	VEH. PESADOS	TOTAL
77,4	52,6	68,0

FIGURA 5.9-6 Velocidades medias según el tipo de vehículo



Fuente: Elaboración Propia

5.9.3. Análisis y determinación de la capacidad y nivel de servicio de los tramos con las dos metodologías.

5.9.3.1. Metodología HCM 1994

- **TRAMO TOMATITAS – CRUCE SANTA BÁRBARA.**

Partimos de los datos de estudio de tráfico y de las caracteristas geométricas de la carretera. Estos son:

- Volumen da la hora punta existente o previsto, en v/h.
  Vhp = 402 v/h. Tabla 5.9-2.
- Factor de hora punta, FHP, bien de datos locales o usando un valor sustitutivo por omisión seleccionado de la Tabla 4.2-4.
  FHP = 0.91
- Composición del tráfico (% de LIVIANOS, % de CAMIONES, % de VRs, % de AUTOBUSES).
  % de LIVIANOS = 87 = 0.87
  % de CAMIONES = 11 = 0.11
  % de VRs = 0 = 0.00
  % de AUTOBUSES = 0.02
- Reparto del tráfico por sentidos.
  49.99/ 50,01 ≈ 50/50
- Tipo de terreno.
  Ondulado
- Anchura de carril y de los arcenes utilizables, en m.
  3,60 / 1,80
- Velocidad de proyecto, en km/h.
  65.5 Km / hr.
- Rebase Restringido en %
  40 %
- Inclinaciones promedio
  2,3 %

I. Selección de los valores apropiados de los siguientes factores para cada NS de las tablas indicadas:

- La relación *l/c*, de la Tabla 4.2-1.

NS	% DEM. EN TIEM.	RELACION *I/c**																		
		TERRENO LLANO							TERRENO ONDULADO							TERRENO MONTAÑOSO						
			% PROIHB. ADELANTAR							% PROIHB. ADELANTAR							% PROIHB. ADELANTAR					
		V_m	0	20	40	60	80	100	V_m	0	20	40	60	80	100	V_m	0	20	40	60	80	100
A	≤ 30	≥93	0.15	0,12	0,09	0,07	0,05	0.04	≤91	0,15	0,10	0,07	0,05	0,04	0,03	≥90	0,14	0,09	0,07	0,04	0,02	0,01
B	≤45	≥88	0.27	0.24	021	0,19	0,17	0,16	≥86	0,26	0.23	0,19	0,17	0,15	0,13	≥86	0,25	0,20	0,16	0,13	0,12	0,10
C	≤60	≥83	0,43	0.39	0,36	0,34	0,33	0,32	≥82	0.42	0.39	0,35	0,32	0,30	0,28	≥78	0,39	0,33	0,28	0,23	0.20	0,16
D	≤75	≥80	0,64	0.62	0.60	0.59	0,58	0.57	≥78	0,62	0.57	0,52	0,48	0,46	0,43	≥70	0,58	0,50	0,45	0,40	0,37	0.33
B	>75	≥ 72	1.00	1.00	1.00	1,00	1,00	1.00	≥64	0,97	0,94	0.92	0.91	0,90	0,90	≥56	0,91	0,87	0,84	0,82	0,80	0,78
F	100	<72	–	–	–	–	–	–	<64	–	–	–	–	–	–	<56	–	–	–	–	–	–

Dado que el terreno es ondulado los valores V/C serán:

Nivel de Servicio (NS)	V/C
A	0.07
B	0.19
C	0.35
D	0.52
E	0.92

- El factor f_R, de reparto por sentidos, de la Tabla 4.2-5.

REPARTO POR SENTIDOS	100/0	90/10	80/20	70/30	60/40	50/50
FACTOR DE AJUSTE, fR	0,71	0,75	0,83	0,89	0,94	1,00

- El factor de corrección de la anchura de carril y arcenes, f_A, de la Tabla 4.2-6.

Anchura útil del arcén[3]	CARRILES 3,6 m[b]		CARRILES 3,3 m[b]		CARRILES 3 m[b]		CARRILES 2,7 m[b]	
	NIVEL SERV. A-D	E	NIVEL SERV. A-D	E	NIVEL SERV. A-D	E	NIVEL SERV. A-D	E
1,8	1,00	1,00	0,93	0,94	0,84	0,87	0,70	0,76
1,2	0,92	0,97	0,85	0,92	0,77	0,85	0,65	0,74
0,6	0,81	0,93	0,75	0,88	0,68	0,81	0,57	0,70
0,0	0,70	0,88	0,65	0,82	0,58	0,75	0,49	0,66

- Los equivalentes en vehículos ligeros, E_C, E_R y E_B, de camiones, VRs y autobuses, de la Tabla 4.2-7.

TIPO DE VEHICULO	NIVEL DE SERVICIO	TIPO DE TERRENO
		ONDULADO
Camiones, E_C	A	4,0
	B y C	5,0
	D y E	5,0
VR, E_R	A	3,2
	B y C	3,9
	D y E	3,3
Autobuses, E_B	A	3,0
	B y C	3,4
	D y E	2,9

En resumen usaremos los siguientes valores:

NS	AUTOS EQUIVALENTES		
	EC	ER	EB
A	4,0	3,2	3.0
B	5,0	3,9	3.4
C	5,0	3,9	3,4
D	5,0	3,3	2,9
E	5,0	3,3	2,9

II. Cálculo del factor de vehículos pesados, f_{vP}, para cada NS de la fórmula (Ec. 4.2-3):

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

Sabemos que la composición vehicular es:

Tipo Vehículos	Código	% del Total
Vehiculos Liv	-	0.87
Buses	EB	0.02
Camiones	ET (Truck)	0.11
Recreativos	ER	0.00

$f_{VP_{NIVEL\ A}} = 1/(1 + (\ 0.11\ (4 - 1)) + 0\ (3.2 - 1) + 0.02\ (3\text{-}1) = 0{,}730$

$f_{VP_{NIVEL\ B}} = 1/(1 + (\ 0.11\ (5 - 1)) + 0\ (3.9 - 1) + 0.02\ (3{,}4\text{-}1) = 0{,}726$

$f_{VP_{NIVEL\ C}} = 1/(1 + (\ 0.11\ (5 - 1)) + 0\ (3.9 - 1) + 0.02\ (3{,}4\text{-}1) = 0{,}726$

$f_{VP_{NIVEL\ D}} = 1/(1 + (\ 0.11\ (5 - 1)) + 0\ (3.3 - 1) + 0.02\ (2{,}9\text{-}1) = 0{,}677$

$f_{VP_{NIVEL\ E}} = 1/(1 + (\ 0.11\ (5 - 1)) + 0\ (3.3 - 1) + 0.02\ (2{,}9\text{-}1) = 0{,}677$

III. Cálculo de la intensidad **o** volúmenes para niveles de servicio, *IS*, para cada NS mediante (Ec. 4.2-2):

$$IS_i = 2.800 \text{ x } (I/c)i \text{ x } f_R \text{ x } f_A \text{ x } f_{VP}$$

$IS_{NIVEL\ A}$= 2.800 x 0.07 x 1 x 1 x 0,73 = 143 Vehículos/hora.

$IS_{NIVEL\ B}$= 2.800 x 0.19 x 1 x 1 x 0,67 = 386 Vehículos/hora.

$IS_{NIVEL\ C}$= 2.800 x 0.35 x 1 x 1 x 0,67 = 711 Vehículos/hora.

$IS_{NIVEL\ D}$= 2.800 x 0.52 x 1 x 1 x 0,68 = 985 Vehículos/hora.

$IS_{NIVEL\ E}$= 2.800 x 0.92 x 1 x 1 x 0,68 = 1743 Vehículos/hora.

IV. Conversión de los volúmenes existentes o provisionales a una intensidad equivalente (Ec. 4.2-1):

$$i = \frac{Q}{FHP}$$

$$i = \frac{402}{0.91} = 442 \text{ VPH}$$

Volumen máximo Horario	FPH	Volumen de demanda máxima (vph)
402	0.91	442

NIVEL DE SERVICIO C

- **Capacidad Máxima (Tramo 1)**

La Capacidad máxima del tramo es de 711 Vehículos/hora para que pueda mantener un nivel de servicio C y de 1743 Vehículos/hora, con este volumen la carretera estaría trabajando a una capacidad máxima en un nivel de servicio máximo E, antes de pasar a un *nivel de servicio F* que representaría una circulación muy congestionada con una demanda superior a la capacidad máxima como se puede observar para que una carretera obtenga una capacidad máxima sus factores deben ser uno o cercanos a uno para que esta carretera pueda tener una capacidad máxima o cercana a la ideal de 2800 Vehículos/hora.

- **TRAMO CRUCE SANTA BÁRBARA – SAN LORENZO.**

Con las mismas consideraciones del anterior tramo partimos de los datos de estudio de tráfico y de las caracteristas geométricas de la carretera. Estos son:

- Volumen da la hora punta existente o previsto, en v/h.
  Vhp = 256 v/h
- Factor de hora punta, FHP, bien de datos locales o usando un valor sustitutivo por omisión seleccionado de la Tabla 4.2-4.
  FHP = 0.89
- Composición del tráfico (% de LIVIANOS, % de CAMIONES, % de VRs, % de AUTOBUSES).
  % de LIVIANOS = 94 = 0,94
  % de CAMIONES = 5,71 = 0,057
  % de VRs = 0 = 0,00
  % de AUTOBUSES = 0,3 =0.003
- Reparto del tráfico por sentidos.
  49.85/ 50.15 ≈ 50/50
- Tipo de terreno.
  Llano
- Anchura de carril y de los arcenes utilizables, en m.
  3,60 / 1,60
- Velocidad de proyecto, en km/h.
  68 Km / hr.
- Rebase Restringido en %
  20 %
- Inclinaciones promedio
  1,3 %

I. Selección de los valores apropiados de los siguientes factores para cada NS de las tablas indicadas:

- La relación *l/c*, de la Tabla 4.2-1.

NS	% DEM. EN TIEM.	RELACION *I/c**																		
		TERRENO LLANO							TERRENO ONDULADO							TERRENO MONTAÑOSO						
		V_m	% PROIHB. ADELANTAR						V_m	% PROIHB. ADELANTAR						V_m	% PROIHB. ADELANTAR					
			0	20	40	60	80	100		0	20	40	60	80	100		0	20	40	60	80	100
A	≤ 30	≥93	0.15	0,12	0,09	0,07	0,05	0.04	≤91	0,15	0,10	0,07	0,05	0,04	0,03	≥90	0,14	0,09	0,07	0,04	0,02	0,01
B	≤45	≥88	0.27	0.24	021	0,19	0,17	0,16	≥86	0,26	0.23	0,19	0,17	0,15	0,13	≥86	0,25	0,20	0,16	0,13	0,12	0,10
C	≤60	≥83	0,43	0.39	0,36	0,34	0,33	0,32	≥82	0.42	0.39	0,35	0,32	0,30	0,28	≥78	0,39	0,33	0,28	0,23	0.20	0,16
D	≤75	≥80	0,64	0.62	0.60	0.59	0,58	0.57	≥78	0,62	0.57	0,52	0,48	0,46	0,43	≥70	0,58	0,50	0,45	0,40	0,37	0.33
B	>75	≥ 72	1.00	1.00	1.00	1,00	1,00	1.00	≥64	0,97	0,94	0.92	0.91	0,90	0,90	≥56	0,91	0,87	0,84	0,82	0,80	0,78
F	100	<72	–	–	–	–	–	–	<64	–	–	–	–	–	–	<56	–	–	–	–	–	–

Dado que el terreno es ondulado los valores V/C serán:

Nivel de Servicio (NS)	V/C
A	0.12
B	0.24
C	0.39
D	0.62
E	1,00

- El factor f_R, de reparto por sentidos, de la Tabla 4.2-5.

REPARTO POR SENTIDOS	100/0	90/10	80/20	70/30	60/40	50/50
FACTOR DE AJUSTE, fR	0,71	0,75	0,83	0,89	0,94	1,00

- El factor de corrección de la anchura de carril y arcenes, f_A, de la Tabla 4.2-6.

Anchura útil del arcén[3]	CARRILES 3,6 m[b]		CARRILES 3,3 m[b]		CARRILES 3 m[b]		CARRILES 2,7 m[b]	
	NIVEL SERV. A-D	E	A-D	E	A-D	E	A-D	E
1,8	1,00	1,00	0,93	0,94	0,84	0,87	0,70	0,76
1,2	0,92	0,97	0,85	0,92	0,77	0,85	0,65	0,74
0,6	0,81	0,93	0,75	0,88	0,68	0,81	0,57	0,70
0,0	0,70	0,88	0,65	0,82	0,58	0,75	0,49	0,66

Interpolando:

NS	CARRILES 3.6 m
	ANCHO DE ARCÉN 1,6
A	0,97
B	0,97
C	0,97
D	0,97
E	0,99

- Los equivalentes en vehículos ligeros, E_C, E_R y E_B, de camiones, VRs y autobuses, de la Tabla 4.2-7.

TIPO DE VEHICULO	NIVEL DE SERVICIO	TIPO DE TERRENO
		LLANO
Camiones, E_C	A	2,0
	B y C	2,2
	D y E	2,0
VR, E_R	A	2,2
	B y C	2,5
	D y E	1,6
Autobuses, E_B	A	1,8
	B y C	2,0
	D y E	1,6

En resumen usaremos los siguientes valores:

NS	AUTOS EQUIVALENTES		
	EC	**ER**	**EB**
A	2,0	2,2	1.8
B	2,2	2,5	2.0
C	2,2	2,5	2,0
D	2,0	1,6	1,6
E	2,0	1,6	1,6

II. Cálculo del factor de vehículos pesados, f_{vP}, para cada NS de la fórmula (Ec. 4.2-3):

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

Sabemos que la composición vehicular es:

Tipo Vehículos	Código	% del Total
Vehículos Liv	-	0.94
Buses	EB	0.003
Camiones	ET (Truck)	0.057
Recreativos	ER	0.00

$f_{VP_{NIVEL\ A}} = 1/(1 + (\ 0.057\ (2 - 1)) + 0\ (2.2 - 1) + 0.003\ (1{,}8\text{-}1) = 0{,}944$

$f_{VP_{NIVEL\ B}} = 1/(1 + (\ 0.057\ (2{,}2 - 1)) + 0\ (2.5 - 1) + 0.003\ (2{,}0\text{-}1) = 0{,}933$

$f_{VP_{NIVEL\ C}} = 1/(1 + (\ 0.057\ (2{,}2 - 1)) + 0\ (2.5 - 1) + 0.003\ (2{,}0\text{-}1) = 0{,}933$

$f_{VP_{NIVEL\ D}} = 1/(1 + (\ 0.057\ (2 - 1)) + 0\ (1.6 - 1) + 0.003\ (1{,}6\text{-}1) = 0{,}944$

$f_{VP_{NIVEL\ E}} = 1/(1 + (\ 0.057\ (2 - 1)) + 0\ (1.6 - 1) + 0.003\ (1{,}6\text{-}1) = 0{,}944$

III. Cálculo de la intensidad **o** volúmenes para niveles de servicio, *IS*, para cada NS mediante (Ec. 4.2-2):

$$IS_i = 2.800 \text{ x } (I/c)i \text{ x } f_R \text{x } f_A \text{ x } f_{VP}$$

$IS_{NIVEL\ A}$= 2.800 x 0,12 x 1 x 0,97 x 0,944 = 308 Vehículos/hora.

$IS_{NIVEL\ B}$= 2.800 x 0,24 x 1 x 0,97 x 0,933 = 608 Vehículos/hora.

$IS_{NIVEL\ C}$= 2.800 x 0.39 x 1 x 0,97 x 0,933 = 989 Vehículos/hora.

$IS_{NIVEL\ D}$= 2.800 x 0.62 x 1 x 0,97 x 0,944 = 1590 Vehículos/hora.

$IS_{NIVEL\ E}$= 2.800 x 1,00 x 1 x 0,99 x 0,944 = 2618 Vehículos/hora.

IV. Conversión de los volúmenes existentes o provisionales a una intensidad equivalente (Ec. 4.2-1):

$$i = \frac{Q}{FHP}$$

$$i = \frac{256}{0,89} = 288 \text{ VPH}$$

Volumen máximo Horario	FPH	Volumen de demanda máxima (vph)
256	0.89	288

NIVEL DE SERVICIO A

- **Capacidad (Tramo 2)**

La Capacidad máxima del tramo es de 308 Vehículos/hora para que pueda mantener un nivel de servicio A y de 2618 Vehículos/hora, con este volumen la carretera estaría trabajando a una capacidad máxima en un nivel de servicio máximo E, antes de pasar a un *nivel de servicio F* que representaría una circulación muy congestionada con una demanda superior a la capacidad máxima como se puede observar para que una carretera obtenga una capacidad máxima sus factores deben ser uno o cercanos a uno para que esta carretera pueda tener una capacidad máxima o cercana a la ideal de 2800 Vehículos/hora.

5.9.3.2. Metodología HCM 2000.

- **TRAMO TOMATITAS – CRUCE SANTA BÁRBARA.**

Datos de estudio de tráfico y de las caracteristas geométricas de la carretera:

•Clase I

•Tipo de terreno ondulado

•Ancho de carriles de 3,6 m

•Ancho de acotamientos de 1,8 m

•Longitud de rebase restringida del 40 %

•Distribución direccional de 50/50

•BFFS de 65.5 km/h (velocidad media de aforos)

•Volumen máximo de demanda de 402 veh. mixtos/h/en ambos sentidos, distribuidos en 11% camiones, 2% autobuses y 87% livianos, con un FHP de 0,91.

•Longitud del tramo de 6 km

•Densidad de puntos de acceso de 3 por kilómetro

I. Determinación de la velocidad a flujo libre ec.4.3-2

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$$

BFFS = 65.5 km/h.

f_{LS} = 0,0 según tabla 4.3-4.

f_A = 2 según tabla 4.3-5.

FFS = 65.5 - 0 – 2 = 63.5 km/h.

II. Determinación de la demanda de tasa de flujo VP. Ecuación 4.3-3

$$V_P = \frac{V}{FHP * fG * f\,HV}$$

V = 402 veh. mixtos/h/en ambos sentidos

FHP = 0.91

fG = 0,71 según la tabla 4.3-6 .

El factor de presencia de vehículos pesados fHV usando la ecuación 4.3-4.

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + PT * (ET - 1) + PR * (ER - 1)}$$

PT = 13 %

ET = 2,5 obtenido de la Tabla 4.3-8

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.13 * (2,5 - 1)} = 0,837$$

Por tanto:

$$V_P = \frac{402}{0,91 * 0,71 * 0.837} = 744 \text{ vehículos /h/ambos sentidos.}$$

III. Determinación de la Velocidad Promedio de Recorrido, ATS. Usando ecuación 4.3-5:

$$ATS = FFS - 0.0125Vp - f_{np}$$

FFS = 63,5 km/h.

Vp = 744 vehículos livianos/h/ambos sentidos.

f_{np} = 4.295 km/h .Tabla 4.3-10

ATS = 63,5 - 0.0125*744 – 4.295= 49,911 km/h.

IV. Determinación del Porcentaje de Demora en Tiempo (PTSF).

Primero es necesario calcular la tasa de flujo bajo esta situación.

$$V_P = \frac{V}{FHP * fG * f\,HV}$$

V = 402 veh. mixt

FHP = 0.91

fG = 0,77 según la tabla 4.3-7.

El factor de presencia de vehículos pesados fHV usando la ecuación 4.3-4.

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + PT * (ET - 1) + PR * (ER - 1)}$$

PT = 13 % = 0,13

ET = 1,8 obtenido de la Tabla 4.3-9

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.13 * (1{,}8 - 1)} = 0.906$$

Por tanto:

$$V_P = \frac{402}{0{,}91 * 0{,}77 * 0.906} = 633 \text{ vehículos /h/ambos sentidos.}$$

De esta manera, el porcentaje de tiempo empleado en seguimiento se estima a partir de las siguientes ecuaciones 4.3-6:

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np}$$

Dónde:

$f_{d/np}$ = 18,97 % obtenido de la Tabla 4.3-11

$$BPTSF = 100\ (1 - e^{-0.000879\ V_p})$$

$BPTSF$=100*(1−$e^{-0.000879\ (633)}$) = 42,693 %

Dónde:

$PTSF$=42,693+19 = 61,693 %

V. Determinación del Nivel de Servicio.

El primer paso es comparar la tasa de flujo con la capacidad. La tasa máxima de flujo direccional es:

Vpx0,5=744x0,50=371,761 veh /h/$sentido$< 1700 veh /h/sentidos

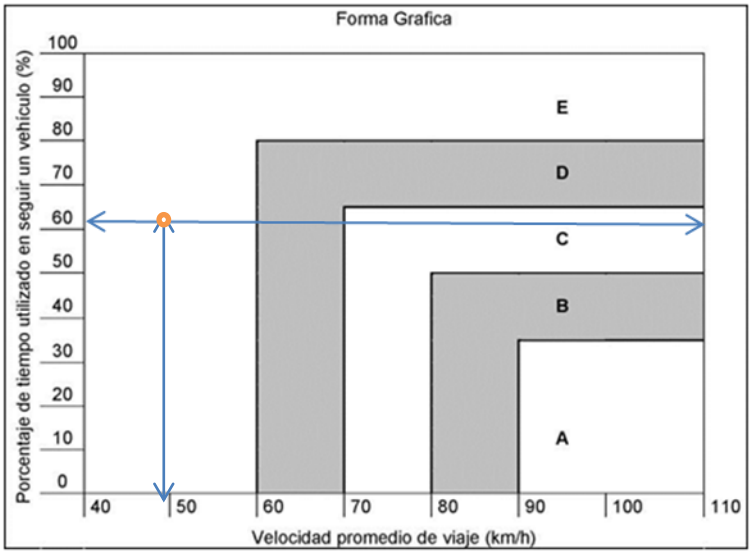
Y 744 veh /h/ambos $sentido$ < 3200 veh livianos/h/ambos sentidos

Como el segmento tiene una demanda menor que su capacidad, en la tabla 4.3-1 para una velocidad media de viaje ATS de 47,906 km/h y un tiempo empleado en seguimiento PTSF del 61,693 %, se determina que el tramo de carretera opera a un **NIVEL DE SERVICIO E** aunque el porcentaje de tiempo empleado en seguimiento está dentro de un rango de una carretera tipo **C,** pero corroborando con el método grafico que presenta este manual en esta versión nos confirman el nivel de servicio **E.**

Tabla 4.3-1:

LOS	% de tiempo utilizado en seguir un vehículo	Velocidad Promedio de viaje (km/h)
A	≤ 35	> 90
B	> 35 - 50	> 80 - 90
C	> 50 - 65	> 70 - 80
D	> 65 - 80	> 60 - 70
E	> 80	< 60
Nota: LOS F aplica cuando la razón de flujo excede la capacidad del segmento		

Tabla 4.3-2. Criterio del LOS para carreteras de dos carriles de Clase I



Pero, si consideramos la carretera como un tramo **CLASE II** entonces el **NIVEL DE SERVICIO** seria **C,** según tabla 4.3-3, ya que estaria dentro del rango de este nivel de servicio según se muestra en la mencionada tabla:

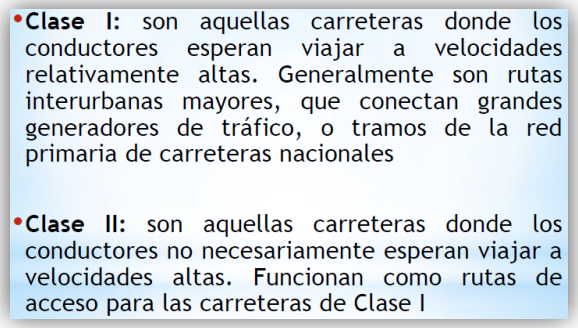
Tabla 4.3-3. Criterio del LOS para carreteras de dos carriles de Clase II

LOS	% de tiempo utilizado en seguir un vehículo
A	≤ 40
B	> 40 - 55
C	> 55 - 70
D	> 70 - 85
E	> 85
Nota: LOS F aplica cuando la razón de flujo excede la capacidad del segmento	

Fuente: HCM 2000 Capitulo 20

Ahora bien recodemos lo que el manual nos dice en relacion a las carreteras de dos carriles en relación a la CLASE I y II:

FIGURA 5.9-7



FUENTE: HCM 2000

El tramo Tomatitas – Cruce Santa Bárbara al ser parte de una red primaria, como es lo de la red nacional F001, perteneceria a la CLASE I.

- **CRUCE SANTA BÁRBARA – SAN LORENZO.**

Datos de estudio de tráfico y de las caracteristas geométricas de la carretera:

- Clase II
- Tipo de terreno plano o nivelado
- Ancho de carriles de 3,6 m
- Ancho de acotamientos de 1,6 m
- Longitud de rebase restringida del 20 %
- Distribución direccional de 50/50
- BFFS de 68 km/h
- Volumen máximo de demanda de 256 veh. mixtos/h/en ambos sentidos, distribuidos en 5,7% camiones, 0,3% autobuses y 94% livianos, con un FHP de 0,89.
- Longitud del tramo de 2,35 km
- Densidad de puntos de acceso de 2,55 por kilómetro

I. Determinación de la velocidad a flujo libre ec.4.3-2

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$$

BFFS = 68 km/h.

f_{LS} = 2,1 según tabla 4.3-4.

f_A = 1,7 según tabla 4.3-5.

$$FFS = 100 – 2.1 – 1,7 = 64,2 \text{ km/h.}$$

II. Determinación de la demanda de tasa de flujo VP. Ecuación 4.3-3

$$V_P = \frac{V}{FHP * fG * f\,HV}$$

V = 256 veh. mixtos/h/en ambos sentidos

FHP = 0.89

fG = 1,0 según la tabla 4.3-6 .

El factor de presencia de vehículos pesados fHV usando la ecuación 4.3-4.

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + PT * (ET - 1) + PR * (ER - 1)}$$

PT = 6 %

ET = 1,7 obtenido de la Tabla 4.3-8

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.06 * (1,7 - 1)} = 0.960$$

Por tanto:

$$V_P = \frac{256}{0,89 * 1,0 * 0.960} = 300 \text{ vehículos /h/ambos sentidos.}$$

III. Determinación de la Velocidad Promedio de Recorrido, ATS. Usando ecuación 4.3-5:

$$ATS = FFS - 0.0125Vp - f_{np}$$

FFS = 64,2 km/h.

Vp = 300 vehículos livianos/h/ambos sentidos.

f_{np} = 1.476 km/h .Interpolando Tabla 4.3-10

$$ATS = 64,2 - 0.0125*300 - 1,768 = 58,977 \text{ km/h.}$$

IV. Determinación del Porcentaje de Demora en Tiempo (PTSF).

Primero es necesario calcular la tasa de flujo bajo esta situación.

$$V_P = \frac{V}{FHP * fG * f\,HV}$$

V = 256 veh. mixtos/hr/en ambos sentidos

FHP = 0.89

fG = 1,0 según la tabla 4.3-7.

El factor de presencia de vehículos pesados fHV usando la ecuación 4.3-4.

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + PT * (ET - 1) + PR * (ER - 1)}$$

PT = 6 % (5,7 % camiones y 0,3% autobuses) = 0,06

ET = 1,1 obtenido de la Tabla 4.3-9

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0.06 * (1{,}1 - 1)} = 0.994$$

Por tanto:

$V_P = \frac{256}{0{,}89 * 1{,}0 * 0{,}994}$ = 289 vehículos livianos/h/ambos sentidos.

De esta manera, el porcentaje de tiempo empleado en seguimiento se estima a partir de las siguientes ecuaciones 4.3-6:

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np}$$

Dónde:

$f_{d/np}$ = 10,744 % (interpolado) Tabla 4.3-11

$$BPTSF = 100\ (1 - e^{-0.000879\ V_P})$$

$BPTSF$=100*(1−$e^{-0.000879\ (289)}$) = 22,458%

Dónde:

$PTSF$=23,18+10,74= 33.202%

V .Determinación del Nivel de Servicio.

El primer paso es comparar la tasa de flujo con la capacidad. La tasa máxima de flujo direccional es:

$Vpx0{,}5=300x0{,}50=150\ veh/h/sentido < 1700$ veh /h/sentidos

Y 300 veh/h/ambos $sentido$ < 3200 veh livianos/h/ambos sentidos

Como el segmento tiene una demanda menor que su capacidad, en la tabla 4.3-3 para una velocidad media de viaje ATS de 58,977 km/h y un tiempo empleado en seguimiento PTSF del 33,202 %, se determina que el tramo de carretera opera a un nivel de servicio C.

Tabla 4.3-3. Criterio del LOS para carreteras de dos carriles de Clase II

LOS	% de tiempo utilizado en seguir un vehículo
A	≤ 40
B	> 40 - 55
C	> 55 - 70
D	> 70 - 85
E	> 85
Nota: LOS F aplica cuando la razón de flujo excede la capacidad del segmento	

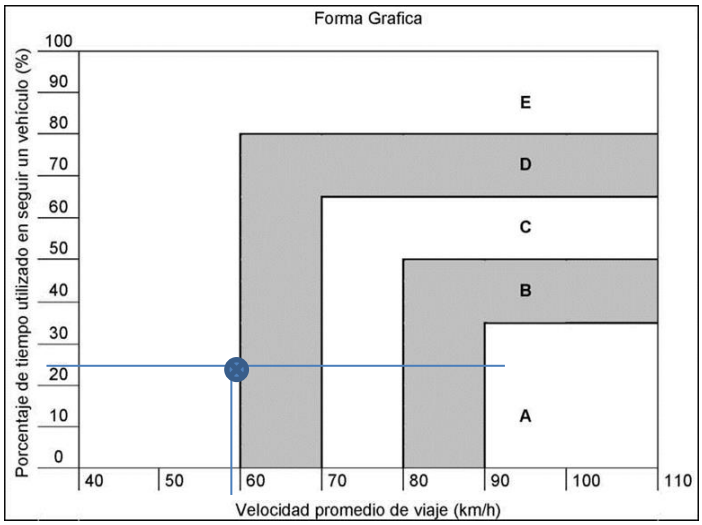
Pero ahora analizaremos en caso de que se tratarse de una carretera CLASE I, puesto que existe una mínima parte del tramo que forma parte de la red nacional fundamental F001, aunque más conceptualmente se trataría de una CLASE II.

Tabla 4.3-1:

LOS	% de tiempo utilizado en seguir un vehículo	Velocidad Promedio de viaje (km/h)
A	≤ 35	> 90
B	> 35 - 50	> 80 - 90
C	> 50 - 65	> 70 - 80
D	> 65 - 80	> 60 - 70
E	> 80	< 60
Nota: LOS F aplica cuando la razón de flujo excede la capacidad del segmento		

Como podemos observar sería un caso similar al tramo anterior en que el porcentaje de tiempo utilizado a seguir un vehículo estaría dentro de un rango de Nivel de Servicio pero sus velocidad promedio de viaje en otro mucho más bajo.

Observaremos que pasa con el método gráfico:



Nos indica que el tramo estaria con un nivel de sevicio **E.** De alli parte la importancia del analisis de las velocidades medias.

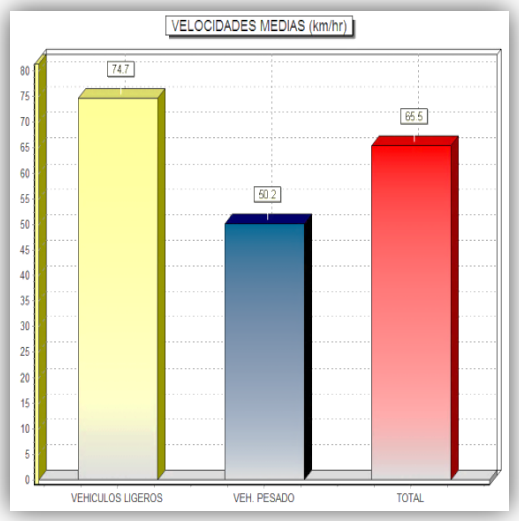
5.9.4. Relación de la velocidad media puntual con el nivel de servicio.

El HCM1994 no tuvo una inferencia directa con la velocidad media pero si en el HCM2000, que toma como base el % del tiempo empleado en seguimiento PTSF como también la velocidad media para carreteras de Clase I, es allí donde enfocaremos la relación de la velocidad media con el nivel de servicio utilizando velocidades media recomendadas por el manual como también las recopiladas en los 2 tramos a través de los aforos de velocidades.

Partiendo del conocimiento del porcentaje de tiempo empleado en seguimiento PTSF, analizaremos que pasaría si utilizaríamos Velocidad BFFS base de flujo libre FFS, tomando como dato la velocidades medias de vehículos pesados, livianos, la media entre ambos y también el rango desde 70 a 110 km/h sugeridos por el manual HCM2000 en este caso tomaremos los valores extremos y el valor medio (70, 90 y 110 Km/h), los dos tramos.

- **TRAMO TOMATITAS – CRUCE SANTA BÁRBARA**

PTSF = 61,663 %



✓ Considerando:

BFFS = 74,7 Km/hr (velocidad media vehículos livianos)

Se obtendría los siguientes valores:

Velocidad a flujo libre:

FFS = 72,7 Km/hr

Velocidad Promedio de Recorrido:

ATS = 59,111 Km/hr ⟹ **NIVEL DE SERVICIO = E**

✓ Considerando:

BFFS = 50,2 Km/hr (velocidad media vehículos pesados)

Se obtendría los siguientes valores:

Velocidad a flujo libre:

FFS = 48,2 Km/hr

Velocidad Promedio de Recorrido:

ATS = 34,611 Km/hr ⟹ **NIVEL DE SERVICIO = E**

✓ Considerando:

BFFS = 70 Km/hr (velocidad rango recomendado HCM)

Se obtendría los siguientes valores:

Velocidad a flujo libre:

FFS = 68 Km/hr

Velocidad Promedio de Recorrido:

ATS = 54,411 Km/hr ⟹ **NIVEL DE SERVICIO = E**

- ✓ Considerando:

BFFS = 90 Km/hr (velocidad dentro del rango recomendado HCM)

Se obtendría los siguientes valores:

Velocidad a flujo libre:

FFS = 88 Km/hr

Velocidad Promedio de Recorrido:

ATS = 74,411 Km/hr ⟹ **NIVEL DE SERVICIO = C**

- ✓ Considerando:

BFFS = 110 Km/hr (velocidad rango recomendado HCM)

Se obtendría los siguientes valores:

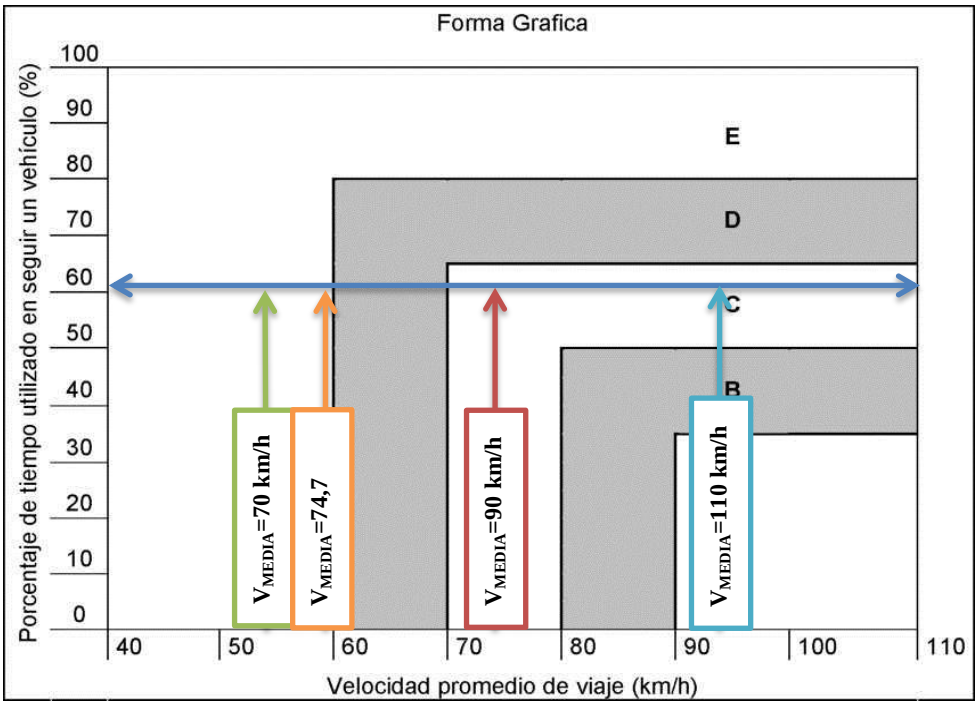
Velocidad a flujo libre:

FFS = 108 Km/hr

Velocidad Promedio de Recorrido:

ATS = 94,411 Km/hr ⟹ **NIVEL DE SERVICIO = C**

FIGURA 5.9-8. RELACIÓN ENTRE NIVEL DE SERVICIO Y VELOCIDAD MEDIA FORMA GRÁFICA TRAMO 1

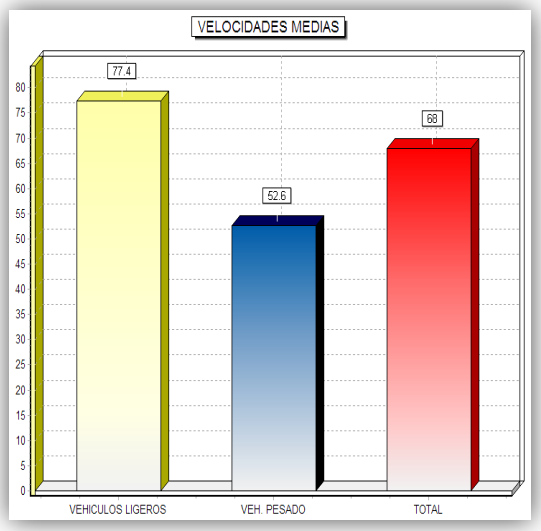


- **TRAMO CRUCE SANTA BÁRBARA – SAN LORENZO**

PTSF = 33,202 %

✓ Considerando:

BFFS = 77,4 Km/hr (velocidad media vehículos livianos)



Se obtendría los siguientes valores:

Velocidad a flujo libre:

FFS = 73,6 Km/hr

Velocidad Promedio de Recorrido:

ATS = 68,377 Km/hr ⟹ **NIVEL DE SERVICIO = D**

- ✓ Considerando:

BFFS = 52,6 Km/hr (velocidad media vehículos pesados)

Se obtendría los siguientes valores:

Velocidad a flujo libre:

FFS = 48,8 Km/hr

Velocidad Promedio de Recorrido:

ATS = 43,577 Km/hr ⟹ **NIVEL DE SERVICIO = E**

- ✓ Considerando:

BFFS = 70 Km/hr (velocidad rango recomendado HCM)

Se obtendría los siguientes valores:

Velocidad a flujo libre:

FFS = 66,2 Km/hr

Velocidad Promedio de Recorrido:

ATS = 60,977 Km/hr ⟹ **NIVEL DE SERVICIO = D**

- ✓ Considerando:

BFFS = 90 Km/hr (velocidad dentro del rango recomendado HCM)

Se obtendra los siguientes valores:

Velocidad a flujo libre:

FFS = 86,2 Km/hr

Velocidad Promedio de Recorrido:

ATS = 80,977 Km/hr ⟹ **NIVEL DE SERVICIO = B**

✓ Considerando:

BFFS = 110 Km/hr (velocidad rango recomendado HCM)

Se obtendra los siguientes valores:

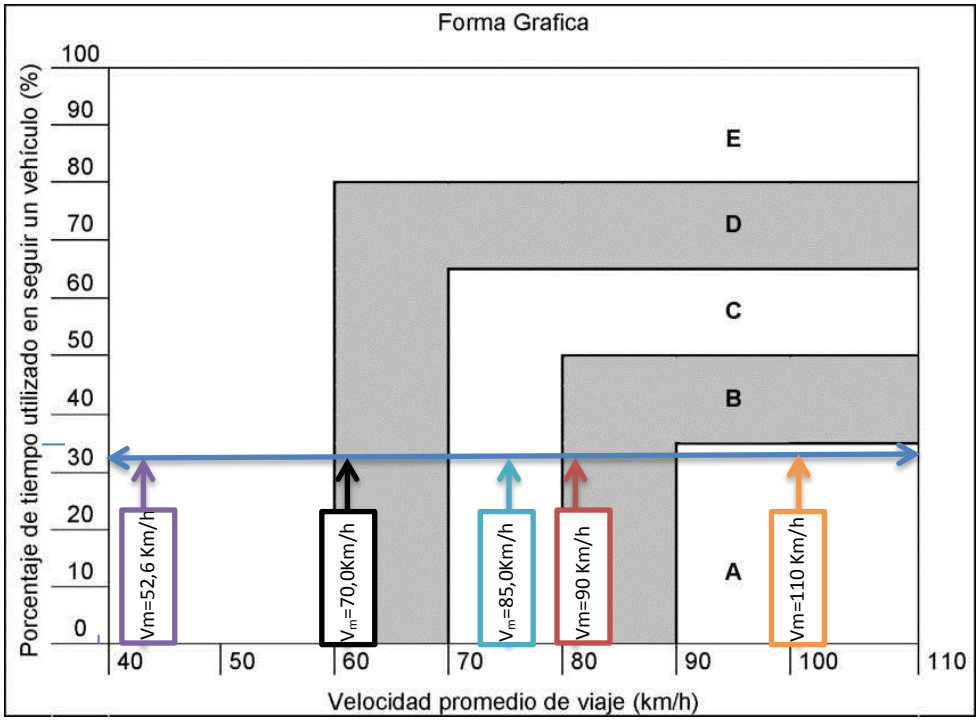
Velocidad a flujo libre:

FFS = 106,2 Km/hr

Velocidad Promedio de Recorrido:

ATS = 100,977 Km/hr ⟹ **NIVEL DE SERVICIO = A**

FIGURA 5.9-9. RELACIÓN ENTRE NIVEL DE SERVICIO Y VELOCIDAD MEDIA FORMA GRÁFICA TRAMO 2



✓ Considerando:

BFFS = 85 Km/hr (velocidad dentro del rango recomendado HCM)

Se obtendrá los siguientes valores:

Velocidad a flujo libre:

FFS = 81,2 Km/hr

Velocidad Promedio de Recorrido:

ATS = 75,977 Km/hr ⟹ **NIVEL DE SERVICIO = C**

5.9.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El estudio del nivel de servicio y relación entre la velocidad media puntual de los tramos Tomatitas – Cruce Santa Bárbara y Cruce Santa Bárbara – San Lorenzo permitió evaluar la suficiencia y la calidad de servicio ofrecido por el sistema a los usuarios y la relación que existe entre la velocidad media puntual con el nivel de servicio específicamente con el HCM 2000.

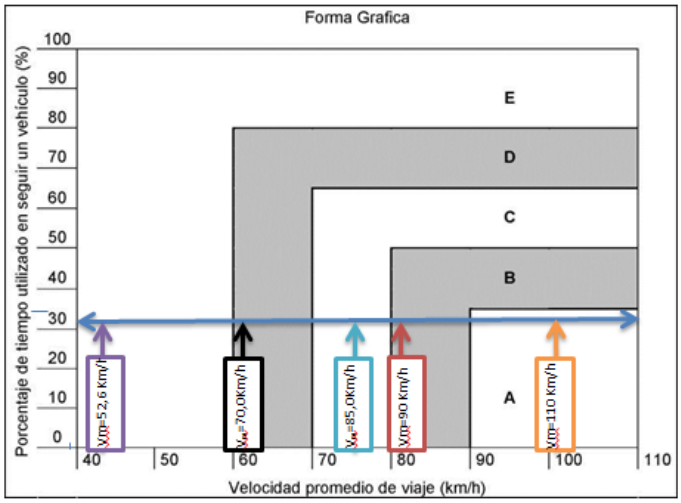
Los sistemas viales analizados son de circulación continua, o que no tiene semáforos que producen interrupciones en los mismos, si se cuenta con restricciones de velocidad pero es en lugares poblados o características geométricas del terreno que así lo requiera.

Partiendo desde la obtención de datos se puede mencionar que en caso de los aforos volumétricos es importante previamente realizar un recorrido al tramo para poder identificar nuestros puntos de aforo. Los aforo en el caso del presente estudio se realizó enmarcado en el la normativa de la ABC, que no indican que para aforos largos, se hacen los registros vehiculares entre 12 y 16 horas al día y en períodos que oscilan entre 3 y 10 días. Ahora los volúmenes máximos horarios y velocidad media obtenidos en el trabajo de aforo tanto volumétrico como vehicular esta reflejados en la tabla tabla 5.9-8.

En el proceso de aplicación de las dos metodologías, los factores que inciden directamente en el cálculo de nivel de servicio varían, porque el HCM 1994 utiliza como base la intensidad de servicio cada uno de los niveles de servicio y la relaciona con la intensidad equivalente que se calcula de una manera directa usando el volumen

máximo horario dividido entre el factor de hora punta. mientras que el HCM 2000 utiliza el ATS (velocidad media de viaje) y el PTSF (tiempo empleado en seguimiento en %), para las carreteras de clase I mientras que para las carretas de clase II solamente utiliza el PTSF de allí la importancia de la relación del nivel de servicio con la velocidad media puntual, como menciono anteriormente la velocidad es uno de los dos factores importantes en determinación del nivel de servicio con el HCM 2000 para carreteras tipo I, porque al existir la variación de la velocidad media puede cambiar significativamente el nivel de servicio de la carretera como se vio en el análisis de velocidades como ejemplo mostraremos la siguiente figura del Tramo 2:

FIGURA 5.9-7. RELACIÓN ENTRE NIVEL DE SERVICIO Y VELOCIDAD MEDIA FORMA GRÁFICA TRAMO 2



Es un ejemplo muy claro que nos muestra que con el cambio de velocidad media en el tramo puede pasar de un nivel de servicio A hasta un nivel de servicio E. Y esto se reflejó en los resultados obtenidos puesto que el nivel de servicio ejemplo en el Tramo 1 que es tramo de Clase I con el HCM 1994 se obtuvo un nivel de servicio C mientras que con el HCM 2000 un nivel de servicio E, lo que sucede es que en los Estados y Canadá (países para los cuales fueron diseñados el manual), utilizan como base márgenes de velocidades rígidas o altas puesto que para poder clasificar una carretera con nivel de servicio A tendría que tener una velocidad base de flujo libre de arriba de los 100 km/hr.

Los resultados obtenidos están reflejados en la tabla 5.9-8:

Con el análisis del nivel de servicio se obtuvo características operativas del flujo circulatorio de los tramos estudiados.

TABLA 5.9-8 Nivel de servicio HCM ambas metodologías

TRAMO	VEL_{MEDIA} (km/hr)	VOL $_{MAX}$ HORARIO (vh/h)		CAP. MAXIMA (vh/h)	NIVEL DE SEVICIO		
					HCM 1994	HCM 2000	
		HR	VOL			Clase I	Clase II
1	65.5	07:00 AM	402	1752	**C**	**E**	
2	68	07:00 AM	256	2633	**A**		**A**

Fuente: Elaboración propia

El nivel de servicio **C** obtenidos con el HCM 1994 en el Tramo 1 (Tomatitas – Cruce Santa Bárbara) describe condiciones de estabilidad, pero muchos conductores empiezan a sentir restricciones en su libertad para seleccionar su propia velocidad, en este tramo se pudo observar que uno de los problemas que tiene son las restringidas por la geometría de la carretera y por la presencia de vehículos pesados aunque en un no en porcentaje considerable pero puede observarse velocidades casi a la mitad de un vehículo ligero lo que produce demoras. También se puede decir que la maniobrabilidad dentro de la corriente circulatoria es buena ya cuenta con arcenes que están dentro los rango de una carretera ideal de dos carriles. Pero si consideramos el resultado con la metodología HCM 2000 nos indicaría un nivel de servicio E, Flujo inestable, donde suceden pequeños congestionamientos.

El tramo 2 (cruce Santa Bárbara – San Lorenzo) presenta un nivel de servicio A con la aplicación de ambas metodologías donde se puede observar que los vehículos circulan virtualmente libre de los efectos de la presencia de otros vehículos, guardan un espaciamiento media considerable, con este nivel los vehículos absorben con facilidad las pequeñas alteraciones del flujo sin cambio de velocidad de recorrido

operación ya que cuenta con bajos volúmenes de tránsito lo que conduce a que la demora de los conductores sea mínima.

Con el estudio de la Capacidad se estimó el máximo número de vehículos que los tramos en estudio pueden acomodar con razonable seguridad.

5.9.6. VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS Y VALIDACIÓN DE APLICACIÓN EN LAS VÍAS DE ESTUDIO

La capacidad y el nivel de servicio en condiciones básicas se estima basándose en los volúmenes más altos observados en vías consideradas básicas en su clase y eligiendo no el más elevado de todos, sino uno que parezca razonable según el criterio de profesionales expertos, por lo que con este trabajo se consideró datos de nuestro medio, obteniendo así valores reales y válidos a tomar como parámetros locales.

Este documento contiene una serie de procedimientos basados en el Manual de Capacidad en sus versiones 1994 y 2000 los cuales fueron calibrados con datos empíricos tomados en Estados Unidos y Canadá por eso es que debido a su naturaleza empírica la aplicación fuera del ámbito de origen resulta imprecisa si no se calibra a nuestro medio aunque de alguna manera es válida al no contar con un propio método para poder cuantificar el nivel de servicio de nuestras carreteras como lo existen en otros países.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Sobre la base de los antecedentes analizados en el presente estudio, se establece lo siguiente:

- Mediante la aplicación de la metodología HCM 1994, se ha demostrado en forma cuantitativa que de acuerdo con los antecedentes recopilados no existe congestión en el tramo 2, porque presenta un nivel de servicio A, flujo libre de vehículos, bajos volúmenes de tránsito y velocidades de operación relativamente altas V_m= 68 Km/hr, mientras que el tramo 1 presenta un nivel de servicio C, en el cual se mantiene en zona estable pero algunos conductores ya empiezan a sentir restricciones en su libertad para seleccionar su propia velocidad cuenta con una V_m= 65,5 Km/hr. Ahora aplicando la metodología HCM 2000 el nivel de servicio en el tramo 2 no cambia, pero si el nivel de servicio del tramo 1 ya que con esta metodología tendría un nivel de servicio E en el cual el flujo se vuelve inestable presentando pequeños congestionamientos.

- Una diferencia quizás más importante entre ambas metodologías está principalmente cuando se trata de una carretera de clase I puesto que el HCM 2000 utiliza valores de V_{media} altos como parámetros para que una vía tenga un nivel de servicio óptimo (tendría que tener una V_m > a 85 km/hr, para obtener un nivel de servicio C refiriéndose al tramo 1), y este tramo cuenta con una V_m= 65,5 Km/hr.

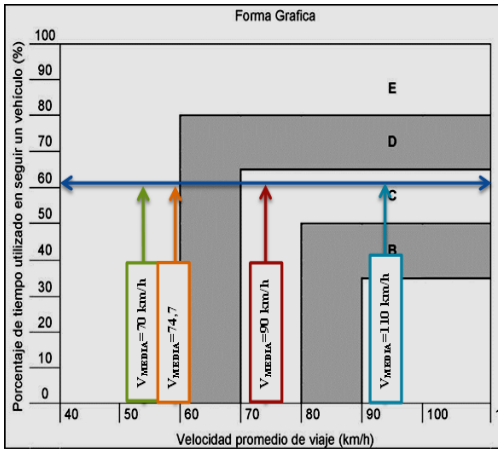
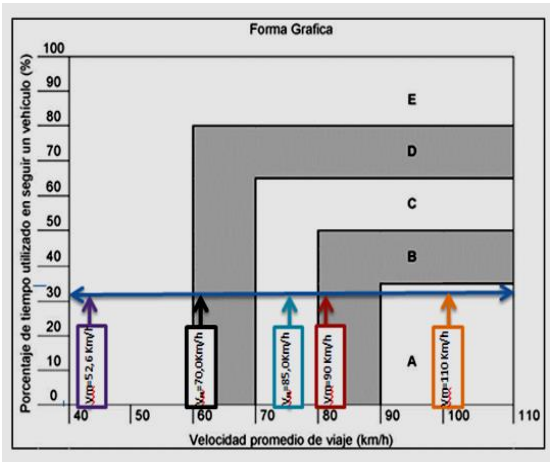
- El análisis de los 2 tramos en estudio arrojan valores tanto de capacidad como parámetros de tráfico de acuerdo a nuestro medio, a ser tomados en cuenta, los factores que afectan a nuestras vías, su geometría y su velocidad libre.

TRAMO	VEL_{MEDIA} (km/hr)	VOL MAX HORARIO (vh/h)		CAP. MAXIMA (vh/h)	% Rebase Restrin-gido	Pendiente Promedio (%)	Longitud Tramo (km)
		HR	VOL				
1	65.5	07:00 AM	402	1752	40	2,3	6
2	68	07:00 AM	256	2633	20	1,3	2,35

- Con la determinación de la Capacidad se estimó el máximo número de vehículos que los tramos en estudio pueden admitir sin que exista un cambio de nivel de servicio o como también la capacidad máxima que puede tener cada tramo.

TRAMO	Cap_{Maximo} ANTES DE QUE CAMBIE DE N.S.(vh/hr)	$Cap_{Máximo}$ HORARIO que puede adquirir la carretera (vh/h)
1	711	1743
2	308	2618

- Las relaciones del nivel de servicio con la velocidad media puntual considerando que se trataría de dos tramos clase 1 están reflejado en el siguiente cuadro:

TRAMO 1	*TRAMO 2*
	

HCM 2000 a mayor velocidad y menor porcentaje de utilizado en seguimiento, nivel de servicio más óptimo.

- En el proceso de aplicación de las dos metodologías, pudimos darnos cuenta que los factores que inciden directamente en el cálculo de nivel de servicio varían, entre ambas metodologías:

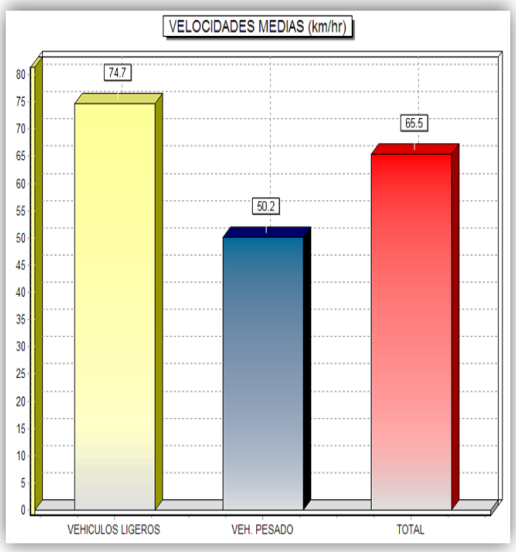
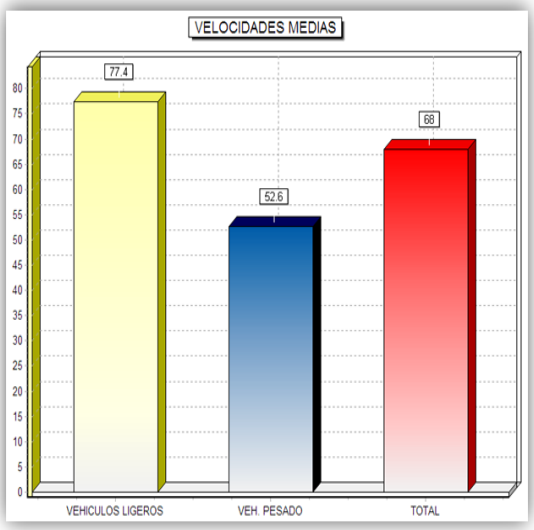
HCM 1994	HCM 2000
✓ Intensidad de servicio ✓ Vol_{max} Horario ✓ FHP	✓ Tiempo empleado en seguimiento (%) PTSF. ✓ Velocidad $_{media}$ de viaje ATS (para carretas Clase I)

- Mediante el estudio de las dos metodologías realizado se logró determinar la Capacidad y nivel de los 2 tramos, los mismos datos que servirán como guía para conocer el funcionamiento real de estos tramos y como referencia para su aplicación en otros estudios o de carácter académico puesto que quiso desarrollar este trabajo de la manera más didáctica posible para su utilización.

TRAMO	NIVEL DE SEVICIO		
	HCM 1994	HCM 2000	
		Clase I	Clase II
1	**C**	**E**	
2	**A**		**A**

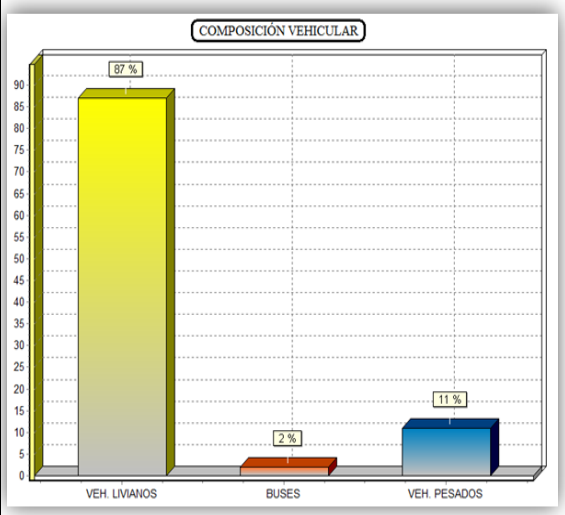
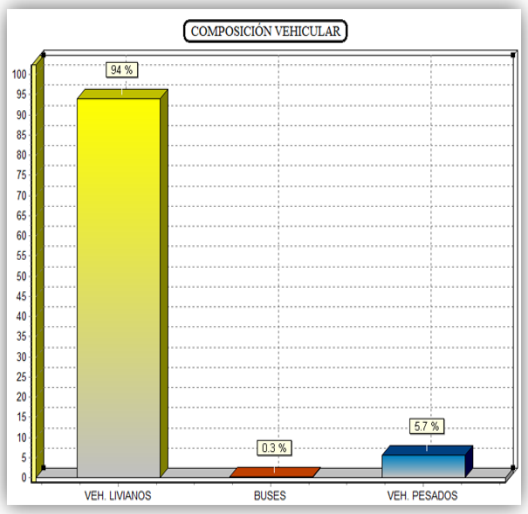
- Las velocidades medidas son diferentes porque los vehículos pesados tienden a ser algo más lentos, lo que se traduce directamente en que estos vehículos constituyen la gran mayoría de vehículos sean adelantados entre vehículos. Es decir, que los vehículos adelantados por más de un vehículo son en su mayoría vehículos pesados, mientras que los que adelantan a varios son prácticamente y casi siempre

vehículos livianos. La conclusión es que el adelantamiento es una maniobra utilizada por conductores que circulan a todas las velocidades, por lo que es efectivamente una operación que, de ser favorecida, redundará en una mejora del nivel de servicio percibido por los conductores.

TRAMO 1	**TRAMO 2**
	

- En caso de la relación de la velocidad media con el nivel de servicio se pudo establecer con la metodología que sí existe una relación directa es con la del HCM 2000 si se trataría de una carreta Clase I puesto que podría pasar de un nivel de servicio A, hasta un nivel de servicio E en función a su velocidad pero también se debe considerar el tiempo empleado en seguimiento, a mayor velocidad nivel de servicio más óptimo.

- Se pudo evidenciar también que la porcentaje de vehículos pesados en tramo 1 es del 11% y el tramo 2 del 5,7 %.

TRAMO 1	TRAMO 2
	

- Los factores que afectan el nivel de servicio pueden ser: internos y externos:

  - ✓ Los internos son aquellos que corresponden a variaciones: en la velocidad, en el volumen, en la composición del tránsito, en el porcentaje de movimientos de entrecruzamiento o direccionales.
  - ✓ Y los externos están las características físicas, tales como el ancho de carril, la distancia libre lateral, el ancho de arcenes, las pendientes, la prohibición de sobre paso.

6.2. RECOMENDACIONES

- Es recomendable siempre trabajar con datos obtenidos en campo puesto que existen datos que se pueden asumir en función a experiencias de otras carreteras pero que tal vez no sean los más adecuados para nuestro tramo en estudio.

- Los valores obtenidos con este estudio carreteras de dos carriles, pueden ser tomados en cuenta para determinar parámetros en dichas vías y de esta manera, permita brindar herramientas para el planeamiento o para implementaciones que se quieran realizar a futuro.

- Se recomienda la aplicación de la metodología HCM 1994 en vías, en las cuales las velocidades no sean tan elevadas o en vías en las cuales la velocidad no sea un factor principal a considerar, puesto que el HCM 2000 restringe mucho en el nivel de servicio en función a la velocidad en carretas Clase I.

- Por otro lado, para alcanzar un nivel de servicio A sería necesario corregir la geometría de toda la carretera hasta que la velocidad de proyecto fuera mayor de 90 km/h. Por ello esta visión equivalía a condenar a administraciones locales de carreteras a tener niveles de servicio malos en regiones enteras, y esto es difícil de admitir, si no se está dispuesto a corregirlo.