

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PERFIL DEL PROYECTO

Tema:

Evaluación del Nivel de Servicio en la autovía
“Otavalo-Ibarra” correspondiente al corredor
norte concesionado “Rumichaca-Calderón”,
Estatal E-35 (Longitud: 18,90 Km)

Fecha:

Integrante:

Andrés Ramón

17-09-2012



ANEXO A

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

1. TITULO DEL PROYECTO

Evaluación del Nivel de Servicio en la autovía “Otavalo-Ibarra” correspondiente al corredor norte concesionado “Rumichaca-Calderón”, estatal E-35 (Longitud: 18,90 Km).

2. UNIDAD ACADÉMICA RESPONSABLE

Departamento Ciencias de la Tierra y de la Construcción
Carrera de Ingeniería Civil

3. RESPONSABLE DEL PROYECTO

Sr. Andrés Eduardo Ramón Velástegui

4. COLABORADORES CIENTÍFICOS

Director: Sr. Ing. Eduardo Carrión E., Docente de la Carrera

Codirector: Sr. Ing. Jaime Erazo P., Docente de la Carrera

5. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

Tramo de Estudio: Autovía “Otavalo-Ibarra”

Nombre: La Ruta de Los Lagos

País: Ecuador

Provincia: Imbabura

Cantones: Otavalo, Cotacachi, Antonio Ante, Ibarra, Urcuquí y Pimampiro

La autovía “Otavalo – Ibarra” se encuentra ubicada en la provincia de Imbabura. Se inicia a la salida norte de Otavalo y termina el proyecto en el sector La Florida a la entrada sur de Ibarra con una longitud de 18+893.36 (Km).

Las coordenadas UTM y cotas del proyecto son:

	SITIO	NORTE	ESTE	COTA (m.s.n.m.)
Inicio	<i>Otavalo</i>	10'027,549.336	806,203.692	2,519.487
Final	<i>Ibarra</i>	10'038,041.901	817,986.279	2,226.901

6. AREA DE INFLUENCIA

La determinación del nivel de servicio de una carretera tiene una relevante significación tanto a nivel local como nacional, ya que es un parámetro que describe el

comportamiento operacional del flujo vehicular para satisfacer los requerimientos de calidad y eficiencia que una carretera, en este caso la autovía “Otavalo-Ibarra”, debe ofrecer a los usuarios.

7. ANTECEDENTES

Durante la década de los años noventa, se inició en Latinoamérica una corriente de inversiones en autopistas y carreteras, sumamente necesarias para promover el crecimiento económico, luego de largos años de muy baja o hasta negativa inversión neta en este y otros sectores de infraestructura. Esta corriente inversora, se caracterizó en la mayoría de los casos por un nuevo enfoque hacia el desarrollo de infraestructura, en el que se incluía al sector privado como financiador, constructor y operador de la infraestructura vial. Si bien la inauguración de las concesiones en el Ecuador ha significado un importante paso hacia el manejo sostenible de la red vial nacional, con todos los aportes en materia de nuevas tecnologías para su construcción, rehabilitación, mantenimiento y especialmente en el reconocimiento y administración de los servicios viales; no es menos cierto que las concesiones no pueden sustituir la responsabilidad del Estado en la administración de la red vial nacional. En base a este criterio el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, tras la decisión del Gobierno Nacional de reconstruir el sistema vial del país, se encuentra ejecutando varias obras en todo el territorio nacional.

Una de estas obras incluye el mejoramiento de la vía Panamericana, la misma que se encuentra concesionada a la empresa Panavial S.A. quien es la encargada de mantener y ejecutar proyectos de ampliación a lo largo del corredor vial para garantizar que los niveles de servicio de la vía se cumplan regularmente. Las labores se iniciaron con la ampliación del tramo “Otavalo-Ibarra” a 6 carriles, ya que es considerada una de las vías de mayor tránsito vehicular en el norte del país, donde diariamente circulan de 12 a 15 mil vehículos diarios. Además por casi treinta años, los habitantes de la provincia de “Imbabura” se conectaban por una vía de dos carriles a provincias de la Sierra Central. El traslado intercantonal era muy demorado y los usuarios se veían afectados diariamente por la congestión vehicular existente. Esto traía inconvenientes para los transportistas del servicio público como buses cantonales, interprovinciales y de emergencia, debido a la falta de espacio en la calzada esta se convertía en la principal causa de congestión y riesgo de accidentes para los conductores. Los tiempos de recorrido calculados antes de la construcción de la autovía, oscilaban entre 20 y 30 minutos solo para trasladarse desde “Ibarra” a “Antonio Ante”, 40 minutos hasta el ingreso al cantón “Cotacachi” y casi 60 minutos a la ciudad de “Otavalo”.

Tras la inauguración formal de la nueva autovía en septiembre del año 2011, los conductores realizan el recorrido del trayecto completo “Otavalo - Ibarra” en un tiempo promedio de 15 minutos. Por cuanto, se debe considerar a la red de transporte vial como un servicio público sobre el que los ciudadanos tienen derecho a exigir niveles adecuados de calidad y eficiencia, en forma perdurable y flexible a la evolución de sus necesidades.

8. PROYECTOS RELACIONADOS O COMPLEMENTARIOS

En lo referente a un proyecto o estudio relacionados con la temática propuesta, se puede indicar el siguiente:

- Aplicación del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM) versión 2000, para la Evaluación del Nivel de Servicio de Carreteras Multicarriles, Sr. Guillermo Augusto Ordóñez Moss, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Agosto de 2009.

9. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROBLEMA A RESOLVER

La red vial en el Ecuador constituye un elemento fundamental para el desarrollo económico y social de la población, por lo cual se invierte una fracción considerable del presupuesto estatal en la construcción, ampliación y mantenimiento de carreteras. Por esta razón es que la financiación de la infraestructura viaria es de crucial importancia cualquiera que sea la etapa de desarrollo en que se encuentre el país, con la finalidad de proporcionar una red vial con condiciones de servicio que implique una superficie cómoda y segura para la circulación de los vehículos. De esta manera el principal objetivo es poder impactar positivamente en los costes sociales y económicos en cuanto a factores tales como velocidad y tiempo de recorrido se refiere, para satisfacer la necesidad de movilización de las áreas de producción y de comercialización del país. Ya que las comunidades crecen cultural, social y económicamente en la medida de que existe la posibilidad de comunicarse y trasladarse de mejor manera. Sin embargo, las malas condiciones y la incapacidad que ofrece determinado sistema vial se traducen en un bajo nivel de servicio, incidiendo negativamente en los costes de operación del transporte, incrementos en los índices de accidentalidad, mermas en el valor de la carga transportada e incomodidad al usuario, entre muchas otras consecuencias. Por esta razón se quiere realizar un análisis operativo, de dimensionamiento y planificación en cuanto a la capacidad de infraestructura del tránsito y transporte se refiere, para evaluar el Nivel de Servicio que actualmente brinda la autovía “Otavalo-Ibarra”, sub-tramo del Corredor Arterial E-35 Eje Troncal de la Sierra.

Se escogió esta obra por ser una de las más modernas del país al ofrecer amplitud y seguridad en la movilidad de los usuarios. Convirtiéndose en un aporte importante para el desarrollo integral en beneficio de la población al solucionar conflictos de tránsito. Esta vía amplia y moderna permite la transportación oportuna de bienes y servicios fortaleciendo las actividades comerciales e industriales de la zona norte del país, reflejándose en el progreso de sus principales ciudades como “Otavalo, Cotacachi, Antonio Ante e Ibarra”.

Otros factores de suma importancia son la reducción en los costos de operación, mantenimiento vehicular y la disminución de los niveles de accidentalidad garantizando mayor seguridad al usuario en su movilidad. En este caso se ha seleccionado la autovía “Otavalo-Ibarra”, por ser una obra referencial en lo que respecta a establecer la tendencia a futuro del progreso y avance de la infraestructura vial en el país.

Cualidades Técnicas de Construcción y Equipamiento:

- La autovía tiene de longitud 18,9 (km) cuanta con una calzada en pavimento flexible de 6 carriles, separados por un parterre central.
- 15 pasos peatonales y paradas de buses.
- 2 Intercambiadores o soluciones de tráfico.
- Señalización horizontal y vertical de acuerdo a la normativa vigente 2011.
- Absorbedores de Impactos y Guardavías.

- Iluminación con postes ornamentales ubicados en el parterre central con línea de conducción subterránea.



Fotografía 9.1: Autovía “Otavalo-Ibarra”
Fuente: MTOP



Gráfico 9.2: Esquema del Proyecto
Fuente: Panavial S.A., Ampliación de la Aotovía “Otavalo-Ibarra”

10. OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO

- Evaluar el nivel de servicio que brinda la autovía “Otavalo-Ibarra”, en base a su capacidad y concluir si esta presta las condiciones idóneas de operación para un tránsito seguro y eficiente.

11. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizar las técnicas de evaluación del nivel de servicio en carreteras multicarriles según manuales y normativas vigentes, con la finalidad de establecer una

metodología para calificar las condiciones operativas en las que se encuentran actualmente los diferentes elementos constitutivos de la vía en estudio.

- Ejecutar las respectivas mediciones de las condiciones de la vía en cuanto a los factores de velocidad y tiempos de recorrido, como la libertad de maniobra, interrupciones a la circulación, la comodidad, las conveniencias y lo relacionado a seguridad vial; parámetros indispensables para establecer el nivel de servicio, en base a su desarrollo y medida de la eficiencia con la que el sistema vial cuenta actualmente en relación a su operatividad del tránsito.

12. METAS DEL PROYECTO

El nivel de servicio debe ser el aspecto más importante a tomarse en consideración, pero lamentablemente es el más olvidado o menos analizado en muchos de los proyectos viales. Por este motivo se presenta un estudio cuantitativo y cualitativo, el cual permite evaluar la suficiencia y la calidad del servicio ofrecido por el sistema vial a los usuarios garantizando un nivel adecuado de satisfacción en torno a sus necesidades de forma segura y eficiente.

Se implementan los respectivos métodos de análisis para establecer el funcionamiento actual de la autovía concesionada “Otavalo-Ibarra” de 18,90 (Km), sub-tramo perteneciente al corredor Central Norte (E35). Por cuanto se considera a la calidad como un parámetro fundamental en la definición del grado de satisfacción que los usuarios presentan al transitar por la vía. Para establecer la calidad del flujo vehicular se procede a verificar que la vía cuente con un diseño moderno, generoso, seguro y acorde a las características técnicas de los vehículos predominantes, un sistema de señalización horizontal y vertical claro, bien mantenido y completo, más una amplia gama de servicios complementarios que hacen posible analizar las condiciones de operación y calidad global del servicio ofrecido.

En relación a esto se describe el procedimiento para determinar el nivel de servicio de la vía según lo estipulado por el Manual de Capacidad de Carreteras 2000 (HCM¹ por sus siglas en inglés, Highway Capacity Manual) y de acuerdo a las condiciones requeridas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) durante el periodo de concesión para establecer principios de continuidad, calidad de servicio, cobertura y seguridad vial con la finalidad de apoyar tecnicamente y objetivamente la toma de decisiones respecto a la gestión de infraestructura mediante la utilización de métodos, instalaciones y equipos modernos con tecnologías avanzadas y la prestación de un servicio normal e ininterrumpido para alcanzar un nivel de servicio acorde a las necesidades de los usuarios de la vía.

13. METODOLOGÍA

1. Modalidad de Investigación Bibliográfica: se recurre a la investigación documental bibliográfica de material inherente a la temática propuesta, con la finalidad de recopilar los criterios y bases suficientes para establecer una metodología clara de estimación del nivel de servicio de la vía en estudio.

¹ HCM son las siglas de “Highway Capacity Manual”, publicación del “Transportation Research Board” de EEUU. Es un manual para analizar la capacidad, nivel de servicio, requerimiento de carriles e impactos de tráfico y características de las carreteras.

2. Procesamiento y Selección de Información: una vez definidos los parámetros requeridos para el análisis, se selecciona la información recopilada con el objeto de propiciar toda la base teórica y así poder desarrollar el análisis operacional de acuerdo a normativas y manuales de capacidad vigentes, cuyo resultado principal es la obtención del nivel de servicio.

3. Elaboración del Proyecto: se han destinado 7 capítulos para la conformación total del proyecto. A continuación se presentan los capítulos respectivos:

Capítulo I → Generalidades y Finalidad

Capítulo II → Estudio de Tráfico

Capítulo III → Capacidad Vial

Capítulo IV → Nivel de Servicio

Capítulo V → Análisis de Condiciones Prevalcientes Autovía “Otavalo-Ibarra”

Capítulo VI → Procedimiento de Análisis del Nivel de Servicio de la Carretera Multicarriles, Tramo “Otavalo-Ibarra”

Capítulo VII → Evaluación Económica del Tramo

Capítulo VIII → Conclusiones y Recomendaciones

14. MARCO TEÓRICO

ESTUDIO DE TRÁFICO

14.1 ANÁLISIS E IMPORTANCIA

El Estudio del Tráfico es un instrumento imprescindible para conocer las funciones que una carretera cumple en el conjunto de la red de transporte y la magnitud de los impactos ambientales que puede generar sobre el medio. Asimismo, el estudio del tráfico servirá de base para determinar las características geométricas, poder estimar la intensidad y características de los vehículos que circularán por la carretera durante el periodo de vida de la misma.

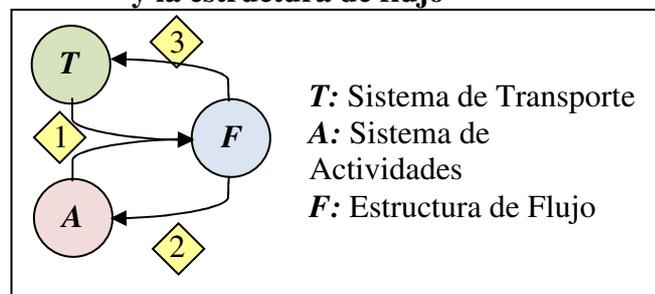
Los estudios pueden agruparse en tres categorías:

- I. Inventarios:** son una lista o exposición gráfica de la información del sitio en análisis como anchos de calle, rutas de tránsito y reglamentos. Muchos de estos requieren actualizaciones periódicas.
- II. Estudios Administrativos:** registros disponibles en las dependencias y entidades gubernamentales.
- III. Estudios Dinámicos de Tránsito:** recolección de datos en condiciones operativas donde se incluyen estudios de velocidad, volumen de tránsito, tiempo y demoras de viaje. Por estar una comunidad en permanente modificación se presentan la interrelación entre el sistema de transporte, el sistema de actividades o la estructura de flujo dando como resultado las siguientes relaciones:
 - *Tipo 1:* La interacción entre el sistema de transporte y el sistema de actividades define una estructura de flujo operando a un determinado nivel

de servicio. Tal situación es capaz de producir de mejores en el nivel de servicio y por lo tanto variar la estructura de flujo producto del cambio de modo en que es utilizada la infraestructura.

- *Tipo 2:* Variaciones en la estructura de flujo pueden generar variaciones en el sistema de actividades, generando variaciones en el nivel de servicio o en el los recursos consumidos en la provisión de dichos servicios. Como puede ser motivar el desarrollo directo de la población beneficiada por una infraestructura.
- *Tipo 3:* Cambios en la estructura de flujo pueden motivar transformaciones del sistema de transporte a lo largo del tiempo. Es el caso de la planificación que se realiza en términos de responder a las necesidades de transporte a cubrir en el futuro.

Figura 14.1.1: Relaciones entre el sistema de Transporte, el sistema de actividades y la estructura de flujo



Fuente: Ingeniería de Tránsito para Carreteras, Alfonso Montejo Fonseca, Universidad Católica de Colombia Ediciones y Publicaciones, Bogotá-Colombia, 2002

Como se requiere evaluar las condiciones actuales de la autovía “Otavalo-Ibarra” se describe en este capítulo con detalle los estudios dinámicos a desarrollarse. De acuerdo al Manual de Capacidad de Carreteras 2000 (HCM 2000, por sus siglas en inglés, Highway Capacity Manual), se divide al tráfico según el tipo del flujo presente en la vía.

Tipos de Flujo de Tráfico:

Las condiciones de circulación son el resultado de las interacciones entre los vehículos en el flujo y entre los vehículos y las características geométricas y de entorno de la carretera. En donde se incluyen autopistas, vías multicarril, vías de dos carriles, etc. El flujo de tráfico se puede clasificar en:

a) Flujo Ininterrumpido o Continuo: Estos tipos de infraestructuras no tienen elementos fijos, como los semáforos, que sean externos al flujo y que lo puedan interrumpir. De esta forma el vehículo que va transitando por la vía solo se ve obligado a detenerse por razones al tráfico.

Los vehículos en esta clasificación solamente se detienen debido a la ocurrencia de accidentes, cuando llegan al destino específico, paradas intermedias, entre otros.

b) Flujo Interrumpido: Las infraestructuras de este tipo tienen elementos fijos que pueden interrumpir el flujo vehicular. Estos elementos incluyen intersecciones de prioridad a nivel, intersecciones semaforizadas, giros izquierdos sin carriles de

retención y paraderos de buses. Estos dispositivos obligan a parar el tránsito en forma periódica o a reducir significativamente su velocidad, independiente de la magnitud del tránsito. Son ejemplos las arterias urbanas.

Nota: los términos interrumpido e ininterrumpido describen el tipo de infraestructura y no la calidad del flujo.

14.2 CARACTERÍSTICAS DEL TRÁNSITO

14.2.1. Velocidad

Es definida como una razón del movimiento, en distancia por unidad de tiempo, generalmente como kilómetros por hora (Km/h). Se puede aplicar al tránsito diferentes parámetros de velocidad, como los siguientes:

- *Velocidad Promedio de Viaje (S_r):* 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 viaje de los vehículos pasando por dicho segmento. El tiempo de viaje es medido únicamente cuando los vehículos están en movimiento.
- *Velocidad Promedio de Viaje (S):* se basa 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.
- *Velocidad Media Espacial (S_e):* Es definida como la velocidad promedio de todos los vehículos, ocupando una sección dada de la carretera sobre un período específico de tiempo.
- *Velocidad Media Temporal (S_t):* Es definida como la velocidad promedio de todos los vehículos, pasando por un punto de la carretera sobre un período específico de tiempo.
- *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.
- *Velocidad Percentil (S_p):* 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.

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 la siguiente:

Método de Cálculo:

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

Donde:

S= Velocidad promedio de viaje (Km/hr)

L= Longitud del segmento de la carretera (Km)

ta= Tiempo Promedio de Viaje en el segmento (hr)

14.2.1.2 Estudios de Velocidad

Para medir la eficacia de un sistema vial se utiliza la velocidad de punto para medir la calidad del movimiento del tránsito y la velocidad de recorrido.

a) Velocidad de Punto: Las aplicaciones de conocer la velocidad de los vehículos en determinado punto de carretera o de una calle son poder obtener tendencias de velocidad, lugares con problemas de velocidad, análisis de Accidentes, etc. Estos estudios de investigación permiten analizar la capacidad en relación con las velocidades promedio y determinar las características del flujo vehicular.

b) Velocidad de Recorrido: está asociado con las demoras y los tiempos de recorrido para poder evaluar la calidad del movimiento vehicular a lo largo de una ruta. De esta forma se puede determinar la ubicación, tipo y magnitud de las demoras del tránsito.

14.2.1.3 Estudios de Velocidad en el Sitio

Se realizan para estimar la distribución de la velocidad de los vehículos en un flujo vehicular y en un lugar específico en una carretera.

- **Ubicaciones de sitios para los estudios de velocidad:** se escoge la ubicación representativa de una carretera para su recolección básica de datos.
- **Hora del Día:** el estudio de velocidad debe ser realizado con la finalidad de establecer tendencias de velocidad cuando el tránsito esta fluyendo libremente.
- **Duración del Estudio:** se debe registrar el número mínimo que comúnmente se lo ejecuta en 1 hora y el tamaño de la muestra 30 vehículos.
- **Tamaño de la Muestra:** se utiliza la velocidad media calculada para representar un valor promedio de todas las velocidades registradas del lugar.

14.2.1.4 Métodos para Realizar Estudios de Velocidad en Sitio

Los estudios de velocidad en sitio pueden ser manuales o automáticos siendo estos últimos los más usuales puesto la probabilidad de error se reduce y son:

- Detectores de Camino
- Medidores con el Principio Doppler (tipo Radar)
- Dispositivos Electrónicos
- Cronómetro

14.2.1.5 Selección de la Ubicación

El estudio de velocidad debe ser realizado en una localización representativa dentro del segmento de la carretera que está siendo evaluada. Debe realizarse sobre un terreno plano, en periodos de baja circulación de tráfico y debe ser medida la velocidad de todos los vehículos o de un muestreo sistemático para obtener una muestra representativa.

14.2.2 Densidad (D)

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 es uno de los parámetros más importantes en el tránsito, por ser la medida más directamente relacionada con la demanda de tránsito.

Método de Cálculo:

$$D = v/S$$

Donde:

v= Razón de Flujo

S= Velocidad promedio de viaje (Km/hr)

D= Densidad (veh/Km)

14.2.2.1 Variables relacionadas con la Densidad

Las variables del flujo vehicular relacionadas con la densidad son:

a) *Densidad o Concentración (D)*: número de vehículos ubicados en una longitud específica de una vialidad en un momento dado medidos en (veh/Km) para uno o todos los carriles de la calzada.

b) *Espaciamiento Simple (S_i)*: distancia entre el paso entre las defensas traseras de dos vehículos consecutivos expresado en metros (m).

c) *Espaciamiento Promedio (S̄)*: promedio entre todos los espaciamientos simples entre los vehículos que circulan por una vía medido en (m/veh).

14.2.3 Volumen (V) ó Intensidad de Tráfico

Este estudio se ejecuta para recolectar datos del número de vehículos y/o peatones 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.

Se utiliza para el análisis del tránsito y del transporte para:

- a. La clasificación funcional de las carreteras.
- b. El diseño de las características geométricas de una carretera, por ejemplo, número de carriles, señalización de las intersecciones o la canalización.
- c. Análisis de Capacidad

Método de Cálculo:

Para los análisis operacionales, se usan los volúmenes horarios, ya que el volumen varía considerablemente durante el curso de las 24 horas del día.

- **Tránsito Diario Promedio Anual (TPDA)**: es el promedio de los conteos de 24 horas recolectados todos los días del año.
- **Tránsito Diario Promedio (TPD)**: es el promedio de los conteos de 24 horas recolectados, en un número de días mayor que uno, pero menor que un año.

- **Volumen de la Hora Pico (VPH):** la hora del día que tiene el volumen horario más alto de vehículos que pasas por un punto en una carretera.
- **Clasificación de Vehículos (CV):** registra el volumen respecto al tipo de vehículo.
- **Tráfico Proyectado:** Con las Tasas de crecimiento de tráfico determinadas para cada provincia, se obtiene el tráfico horizonte: si un tramo de carretera atraviesa 2 o más jurisdicciones provinciales, se usa la media aritmética correspondiente.
- **Tránsito de la hora pico o de punta:** Siendo el TPDA una medida muy genérica de la intensidad del tránsito a lo largo de un día, se vuelve necesario tomar en debida cuenta las variaciones extremas que registra el movimiento vehicular a lo largo de las veinticuatro horas del día, para seleccionar las horas de máxima demanda como base más apropiada para el diseño geométrico de las carreteras.

14.2.3.1 Variables relaciones con el flujo

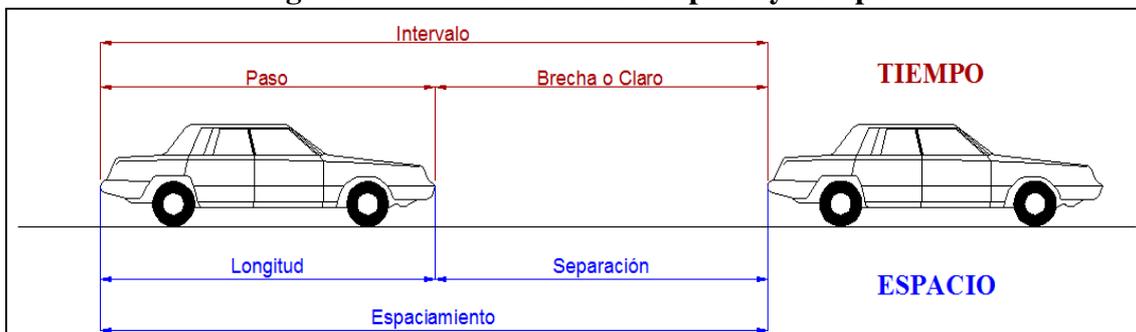
Las variables relacionadas con el flujo son las presentadas a continuación:

- Tasa de flujo o flujo (q) y Volumen (V):* la tasa de flujo es el número de vehículos que pasan por un determinado punto o sección transversal, durante un intervalo de tiempo específico expresada en (veh/horas, minutos o segundos). Esto no debe confundirse con el volumen horario (V).
- Intervalo Simple (h_i):* intervalo de tiempo entre el paso de dos vehículos consecutivos medido en segundos.
- Intervalo Promedio (\bar{h}):* promedio de todos los intervalos simples de los vehículos que circulan en la vía medido en (s/veh).

14.2.4 Relación entre el flujo, la velocidad, la densidad, el intervalo y el espaciamiento:

Mediante el establecimiento de correlaciones entre las tres variables básicas se puede diagnosticar las características de la corriente de tránsito, ya que estas reflejan la calidad o el nivel de servicio experimentado por los usuarios de una carretera. En el esquema siguiente se han representado dos vehículos consecutivos a los que se le ha asociado atributos tanto en el tiempo como en el espacio.

Figura 2.2.4.1 Relación entre espacio y tiempo



Elaborado por: Andrés Ramón

Fuente: Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones, Rafael Cal y Mayor Reyes Espíndola¹, James Cárdenas Grisales, Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

- **Paso:** tiempo necesario para el que el vehículo recorra su propia longitud.

- **Brecha o Claro:** intervalo de tiempo libre disponible entre los dos vehículos, esta separación es tomada desde la defensa trasera del primer vehículo hasta la defensa delantera del segundo vehículo, a esta medida se la divide para la velocidad del segundo vehículo o del grupo de vehículos de viaje.

En base a la fig. 2.2.4.1, se considera un grupo vehicular que se mueve a velocidad (\bar{V}_e) aproximadamente constante, su intervalo promedio (\bar{h}) y espaciamiento promedio (\bar{S}), la velocidad media espacial se puede relacionar así:

$$\bar{S} (\text{Velocidad Media Espacial}) = \bar{V}_e * \bar{h}$$

14.2.4.1 Relación entre los tres parámetros básicos:

La corriente de tránsito puede definirse en términos de sus tres variables principales: la tasa de flujo (q), la velocidad (S) y la densidad (D).

A los tres parámetros básicos se los correlaciona de la siguiente manera:

Ecuación Fundamental del Flujo Vehicular $\rightarrow q = S * D$
--

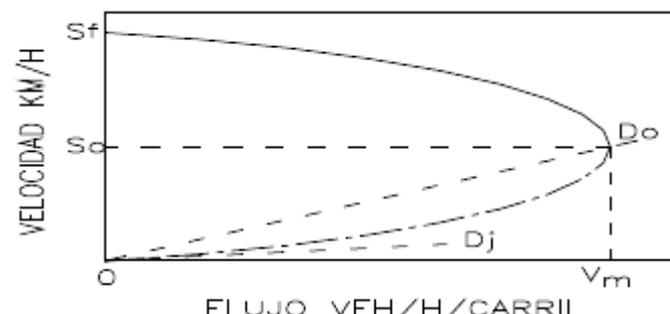
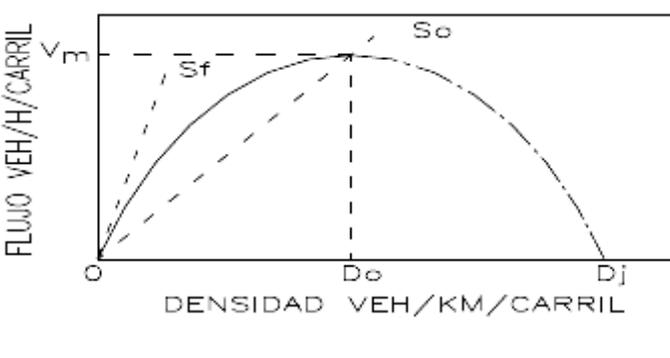
La variable más fácil de medir es el flujo (q), consecutiva a esta tenemos la velocidad (S) y la densidad (D), siendo la última considerada como dependiente. El objetivo de relacionar las variables busca crear medidas de efectividad para optimizar la operación de los sistemas de tránsito de acuerdo a sus recursos, las restricciones del usuario y del medio ambiente.

Existen tres gráficos que relacionan los principales parámetros que dependen del tránsito prevalectante en el tramo bajo análisis. Así por ejemplo su interrelación nos permite conocer:

1. *Velocidad-Densidad:* gráfica con un enfoque teórico hacia modelos de flujo vehicular.
2. *Flujo-Densidad:* nos permite tener un mejor control del tránsito y de la densidad u ocupación en determinados tramos de la vía en estudio.
3. *Velocidad-Flujo:* se utiliza para identificar los niveles de servicio y los niveles de productividad.

Cuadro 2.4.1 Relación de Parámetros Básicos

<u>Gráfico</u>	<u>Uso</u>
<p>1. Velocidad – Densidad (S, D)</p>	<p style="text-align: center;">Trabajos Teóricos</p> <p><i>Representación:</i> Se aprecia que cuando no hay vehículos en la vía, la densidad (flujo) es cero y el volumen es cero. La velocidad es teórica para esta condición (S_f). La densidad llega a ser tan alta que los vehículos deben parar. La densidad a la cual todo movimiento se detiene se llama (D_j).</p>

<p>2. Velocidad – Flujo (S, q)</p> 	<p>Nivel de Servicio del Tramo</p> <p><i>Representación:</i> Como el volumen incrementa de cero, la densidad también incrementa mientras más vehículos hay en la vía, la velocidad declina por la interacción de los vehículos.</p>
<p>3. Flujo – Densidad (q, D)</p> 	<p>Nivel de Servicio del Tramo</p> <p><i>Representación:</i> La capacidad es alcanzada cuando el producto de la densidad y la velocidad resultan en el máximo volumen. Esto se muestra como velocidad óptima S_o (Vel. Crítica), densidad óptima D_o (densidad crítica) y máximo volumen (V_m).</p>
<p>--- FLUJO SOBRESATURADO</p>	

Elaborado por: Andrés Ramón

Fuente: Ingeniería de Tránsito para Carreteras, Alfonso Montejo Fonseca, Bogotá-Colombia, 2002

14.4 CONGESTIÓN DEL TRÁNSITO:

Una congestión se produce cuando el volumen de demanda de tránsito en uno o más puntos de una vía excede el volumen máximo que puede pasar por ellos. Esto se genera debido a la intensa interacción vehicular que impide a los usuarios de la vía pueden circular por la misma cómoda y sin tener demoras excesivas. Este aumento o disminución del volumen pueden darse a lo largo de la vía originándose dos posibles situaciones:

- *1er Caso:* el volumen máximo posible en el punto de la vía considerado es menor que el que existe corriente arriba de este punto, a esto se lo denomina embotellamiento. Esto frecuentemente ocurre al comienzo de una pendiente fuerte o curva cerrada, o por la confluencia de dos o más corrientes vehiculares en el punto considerado.
- *2do Caso:* ocurre cuando la demanda de viajes aumenta de improvisto o no, o por circunstancias climáticas que reducen la velocidad generando puntos de embotellamiento por los cambios en demanda u oferta de tránsito.

CAPACIDAD VIAL

14.5 CONCEPTO DE CAPACIDAD VIAL:

Teóricamente se define como “la tasa máxima de flujo que puede soportar una carretera o calle”. La capacidad de una infraestructura vial es “el máximo número de vehículos (peatones) que pasan por un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un periodo de tiempo dado, bajo condiciones prevalecientes de la vía, del control y del tránsito”. Este análisis estima el aumento de tránsito que una carretera puede acomodar mientras se mantiene su nivel de operatividad establecido. La capacidad es medida normalmente en vehículos por hora (veh/h).

14.6 ANÁLISIS DE CAPACIDAD

La capacidad de una infraestructura de transporte refleja su facultad para acomodar un flujo móvil de personas o vehículos. Es una medida, desde el punto de vista de la oferta de una infraestructura de transporte. El nivel de servicio es una medida de la calidad del flujo.

Las estimaciones de capacidad y niveles de servicio son necesarios para la mayoría de las decisiones y acciones de ingeniería de tránsito y planeación de transporte. Existen cuatro actividades fundamentales a considerarse dentro de un estudio de capacidad y nivel de servicio:

- Cuando se planifican nuevas infraestructuras o se amplían las existentes. Para determinar las dimensiones en términos de ancho de calzada o número de carriles a proyectar.
- Al considerar instalaciones para la ejecución de una rehabilitación, ya sea, mediante la ampliación o mediante cambios de operaciones del tráfico, se deben evaluar las condiciones operativas o sea la evaluación del flujo vehicular, y sus niveles de servicio.
- En la planificación de nuevos desarrollos territoriales, se necesitan estudios de capacidad y nivel de servicio, para identificar los cambios necesarios de circulación y de la carretera.
- Proporcionar valores base a los usuarios por cambios en la vía en lo referente a costos de operación vehicular y de las concentraciones de agentes de polución ambiental.

El análisis de capacidad es, por tanto, un conjunto de procedimientos de estimación de la posibilidad de las instalaciones para transportar en un ámbito definido de condiciones de operación. Proporciona herramientas para el análisis de las instalaciones existentes y para el planeamiento y dimensionamiento de las instalaciones futuras.

14.6.1 Relación entre Demanda Vehicular y Oferta Vial

La demanda vehicular es la cantidad de vehículos que requieren desplazarse por un determinado sistema vial u oferta vial. Dentro de la demanda vehicular se tiene aquellos vehículos que se encuentran en cola esperando circular (al existir problemas de congestión) y los que deciden tomar rutas alternas (para evitar la congestión, si esta existiese).

Para observar si la operación vehicular se da en condiciones de flujo estable o saturado, es necesario comparar estos dos elementos. Para tal efecto, ellos se expresan en las

mismas unidades, por lo que la oferta vial que representa el espacio físico es decir calles y carreteras, se puede indicar en términos de sección transversal o capacidad. De esta manera, la oferta vial o capacidad representa la cantidad máxima de vehículos que finalmente pueden desplazarse o circular en dicho espacio físico.

La oferta vial es caracterizada por su capacidad en base al número de carriles y las velocidades de desplazamiento.

14.6.2 Comparación entre demanda vehicular y la oferta vial

Las principales relaciones que podemos identificar dentro de un determinado sistema vial son las siguientes:

- ***Demanda Vehicular < Oferta Vehicular*** →

Flujo no saturado y los niveles de operación variarán de óptimo a aceptable. Condición DESEABLE.

- ***Demanda Vehicular > Oferta Vial*** →

Flujo será forzado presentándose detenciones frecuentes y grandes demoras. Condición NO

- ***Demanda Vehicular = Oferta Vial*** →

Se llega a la capacidad del sistema. El tránsito se torna inestable y se puede llegar a la

14.7 CONDICIONES PREVALECIENTES

La capacidad al tener un carácter probabilístico contiene factores que la hacen variar según las condiciones prevaletientes las cuales se agrupan en:

1. Condiciones de la Infraestructura Vial: son características físicas de la carretera que comprenden condicionantes geométricas y elementos propios de un proyecto. Estos factores son los siguientes:

- Tipo de Vía según el terreno.
- La anchura de carril.
- El ancho de las bermas y los despejes laterales.
- La velocidad de proyecto.
- El alineamiento horizontal y el alineamiento vertical.
- La disponibilidad de espacio para esperar en cola en las intersecciones.

2. Condiciones del Tránsito: según el tipo de vehículo y las distribuciones de los vehículos entre carriles influyen en la capacidad y los niveles de servicio. En el caso de un análisis en estructuras multicarril se realiza en forma independiente para cada sentido de circulación.

3. Condiciones de Control: en carreteras con circulación continua el control y normas se establece los condicionantes para el rebase, la prohibición de giros, los sentidos de circulación permitidos, restricciones para estacionar, etc.

14.8 CRITERIOS DE ANÁLISIS DE CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO

No se requiere realizar estudios de capacidad para determinar la cantidad máxima de vehículos que puede alojar cierta parte de una carretera; lo que se hace es determinar el

nivel de servicio al que funciona cierto tramo, o bien la tasa de flujo admisible dentro de cierto nivel de servicio. De acuerdo al nivel de servicio tenemos el número de vehículos por unidad de tiempo que puede admitir el sistema vial, al mismo que se le conoce con el nombre de flujo de servicio.

Anteriormente el principal indicador para la identificación del nivel de servicio era la velocidad, sin embargo la metodología actualmente utilizada introducen además de la velocidad, indicadores como por ejemplo:

Densidad → circulación continua
Demora → circulación discontinua

Cualquiera sea el caso de análisis, un parámetro importante para valorar el grado de utilización de la capacidad de un sistema vial y a su vez el nivel de servicio es la relación entre el flujo y la capacidad (v/c)

14.9 RADIO DE PROPORCIÓN DE FLUJO (V/C) Y SU USO

En un análisis de capacidad, 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.

$$\frac{v}{c} = \frac{\text{Razón de Flujo}}{\text{Capacidad}}$$

Esta medida nos permite conocer la suficiencia de capacidad existente o propuesta.

Si $v/c > 1,00$ { Carretera falló → Incapacidad de Descargar la demanda en la sección
 Congestionamiento
 Nunca Puede ser mayor a 1

14.10 CRITERIOS DE OPERACIÓN DEL TRÁNSITO

El Manual de Capacidad de Carreteras (HCM), señala las siguientes condiciones de operación del tránsito aconsejables para carreteras:

Cuadro 14.10.1 Niveles de Servicio Aconsejables para el Año Horizonte

Tipo de Carretera	Nivel de Servicio	Descripción
<i>Autopistas, Autovías, Vías Rápidas Urbanas (Multicarriles)</i>	C	<i>Operación:</i> estable, pero crecientemente más crítica. <i>Velocidad Promedio de Viaje:</i> 110 (Km/h) <i>Flujo de Servicio:</i> 75% de la Capacidad, o no más de 1.640 automóviles o vehículos livianos por hora carril.
<i>Vías Arteriales o Rurales (Cuatro o más carriles)</i>	D	<i>Operación:</i> se aproxima la situación de flujo inestable. <i>Velocidad Promedio de Viaje:</i> 92 (Km/h) <i>Flujo de Servicio:</i> 89% de la Capacidad, o 1.940 automóviles o vehículos livianos por hora carril.

Elaborado por: Andrés Ramón

NIVEL DE SERVICIO

14.10 DEFINICIÓN

Las estimaciones de Capacidad y Niveles de servicio son necesarias para la mayoría de las decisiones de la Ingeniería de Tráfico y del planeamiento del transporte. Este análisis determina cual es la calidad de servicio proporcionada por una infraestructura existente durante la hora de máxima demanda, y cuál será la cantidad de tráfico que puede soportar. La definición según el “Transportation Research Board of The National Academies (TRB)” de EUA (²):

Un nivel de servicio es una designación que describe un rango operativo sobre un tipo particular de una carretera y en sus siglas en inglés se lo conoce como “LOS” (Level of Service). El Nivel de Servicio (NDS) es usado para traducir un rendimiento numérico resultante complejo, con letras que representan un sistema de calificación simple de acuerdo a la percepción del usuario sobre la calidad del servicio prestado por la instalación.

El nivel de servicio se utiliza para evaluar la calidad del flujo. Al ser una “medida cualitativa describe las condiciones de operación de un flujo de vehículo y/o personas, y de su percepción por los conductores o pasajeros” (3). En este sentido la calidad del flujo vehicular se vincula con una apreciación subjetiva de los usuarios de la vía, en función de su valorización relativa de aspectos tales como rapidez, comodidad y seguridad en el viaje, según las características propias del flujo vehicular. Pero cualquier variable que restrinja la velocidad de circulación respecto a la de diseño, o genere incomodidad o inseguridad en el manejo, atenta directamente contra la calidad del viaje y, por lo tanto, en la medida del nivel de servicio.

Para cada tipo de infraestructura se definen 6 niveles de servicio, para los cuales se disponen de procedimientos de análisis, se les otorga una letra desde la A hasta la F siendo el nivel de servicio (NS) A el que representa las mejores condiciones operativas, y el NS F, las peores.

Manual de Capacidad de Carreteras HCM (Highway Capacity Manual): Metodología para el cálculo de la capacidad y determinación del nivel de servicio en vías rurales y urbanas. Este manual será la guía para indicarnos el nivel de servicio que ofrece el actual tramo ampliado y el nivel de servicio que tendrá en varios años, haciendo una proyección del TPDA actual a varios años.

14.11 CARRETERAS MULTICARRILES

La temática de este capítulo es presentar la metodología de análisis para la determinación del nivel de servicio para una carretera de más de dos carriles o multicarril, ya que la vía en estudio está constituida de tres carriles por sentido. Las carreteras multicarriles regionales deben construirse cuando los volúmenes de tránsito para diseño resultan mayores de 20.000 vehículos promedio diario. Bajo condiciones ideales del tránsito y de la vía, las carreteras multicarriles tienen una capacidad de 2.000 automóviles o vehículos livianos por carril por hora. El análisis de capacidad proporcionado por el HCM2000 comprende únicamente las carreteras multicarril que no puedan clasificarse como autopistas. Para llevar esta distinción a cabo, el manual ha definido ciertos aspectos en función del nivel de interferencias y según el desarrollo

² Multimodal Level of Service Analysis for Urban Streets, National Cooperative Highway Research Program (TRB), Richard Dowling, Oakland- CA, November 2009,

³ Ingeniería de Tránsito para Carreteras, Alfonso Montejó Fonseca, Universidad Católica de Colombia Ediciones y Publicaciones, Bogotá-Colombia, 2002

urbanístico de la zona. Por consiguiente las cuatro clasificaciones básicas de las carreteras multicarril son:

<u>Rural</u>	{	Con separación de sentidos
		Sin separación de sentidos
<u>Suburbana</u> (⁴)	{	Con separación de sentidos
		Sin separación de sentidos

Las alternativas de contar o no con un parterre central determinan el nivel de fricción existente en las carreteras con separación de sentidos o sin ella. El manejo a darse en los giros a la izquierda dependerá de la alternativa a implementarse en relación al dimensionamiento del parterre central.

14.12 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS:

Las carreteras multicarril o de varios carriles pueden presentar algunas de las siguientes características:

- ✓ Los límites de velocidad exhibidos en general están entre 60 y 90 (Km/h).
- ✓ Pueden estar o no divididas por un parterre central.
- ✓ Se localizan en áreas suburbanas o en corredores rurales de alto volumen.
- ✓ Puede incluir carriles exclusivos para giros a la izquierda.
- ✓ Los volúmenes pueden variar desde 1500 a 40000/día.
- ✓ Existe la posibilidad de tener semáforos en los principales puntos de cruce, con un espaciamiento mayor a 3 (Km).
- ✓ Existe un control parcial y discreto de los accesos.
- ✓ Las paradas de transporte público no se permiten en este tipo de carreteras, por lo que se requiere bahías de embarque de pasajeros.
- ✓ Los cruces peatonales deben localizarse en aquellos puntos de mayor movimiento de peatones y construidos a desnivel, ya sea sobre o subterráneos a la carretera.

14.13 NIVEL DE SERVICIO PARA CARRETERAS MULTICARRILES (NDS)

Al ser el nivel de servicio una medida cualitativa de las condiciones de operación dentro de un sistema de tránsito, está relacionado con las características físicas y de operación de acuerdo a su estrecha relación con la velocidad, el flujo y la densidad, siendo todos estos los principales factores que afectan al nivel de servicio en un tramo de carretera en condiciones ideales. Otros de los factores a considerarse son el ancho de carril, obstáculos laterales, composición del tránsito, pendiente, velocidad y la población de conductores, también afectan al flujo máximo en un tramo dado de la carretera. Para comprender mejor estos aspectos se detallan las características básicas para poder estimar las condiciones ideales.

Una buena operación de una carretera, no sólo es el resultado de estar proyectada con el número de carriles necesarios, sino para que ésta funcione adecuadamente es necesario que todos los elementos que la componen estén proyectados para permitir la operación vehicular al nivel de servicio al que fue proyectada, o a un nivel próximo inferior.

14.13.1 Condiciones Prevalcientes:

⁴ El HCM2000 destaca de manera muy aproximada que las carreteras con más de 6 puntos de acceso no controlado por kilómetro serán consideradas como suburbanas.

14.13.1.1 Condiciones de Infraestructura Vial

- **Alineamiento Vertical y Horizontal:** el HCM200 utiliza la velocidad de flujo libre como una medida sustitutiva para el alineamiento. La velocidad no solo refleja el alineamiento vertical y horizontal, sino también los elementos que cuantifican la dificultad en el tránsito. Puesto que la capacidad tiende a declinar cuando decrece la velocidad.
- **Ancho de Carril:** el flujo vehicular tiende a restringirse cuando el ancho de los carriles es menor a 3,65 (m) debido a que los vehículos tienden a viajar más juntos en sentido lateral, y los conductores tienden a compensar esto con una reducción de su velocidad de crucero.
- **Holgura Lateral:** cualquier obstáculo que se encuentre muy cercano a la orilla del pavimento tiende a ser evitado por los conductores, esto conduce a distancias laterales reducidas entre vehículos reduciendo la velocidad. Este efecto de holgura lateral se produce más frecuentemente para el acotamiento derecho que para el parterre central. La distancia libre lateral debe ser considerada mayor a 1,80 (m).
- **Pendiente:** la combinación de vehículos pesados con el porcentaje de pendiente de la carretera crea un gran impacto. El efecto de la pendiente depende tanto de la longitud como de la magnitud. Las operaciones de tránsito se afectan significativamente cuando:

Pendiente	Longitud
$\geq 3\%$	$\geq 0,402$ (Km)
$\leq 3\%$	$\leq 0,805$ (Km)

14.13.1.2 Condiciones de Tránsito

- **Equivalencia de vehículos:** dentro del flujo vehicular los vehículos que no sean automóviles tales como camiones, buses y vehículos recreativos debido a su tamaño sus características de operación, y su interacción con otros vehículos reducen el flujo máximo en la carretera. Por esta razón el número de vehículos pesados del flujo vehicular son convertidos a un número equivalente de automóviles y así poder estimar la capacidad de la vía en (automóviles/hora/carril).
- **Vehículos Pesados:** son aquellos de más de 5 toneladas de capacidad y que tienen más de cuatro ruedas en contacto con el pavimento. Estos afectan la capacidad y el nivel de servicio de una carretera multicarriles. Estos efectos perjudiciales son:
 - a) Los vehículos pesados tienen características de operación generalmente inferiores que los vehículos normales, ya que son incapaces de mantener la misma velocidad que un vehículo normal en un tramo inclinado de la carretera.
 - b) Estos vehículos son más largos que un vehículo normal según el número de ejes:

Eje Sencillo: es un eje cuyos extremos lleva una o dos ruedas sencillas.

Eje Tandem: constituido por dos ejes sencillos con rueda doble en los extremos.

Eje Tridem: constituido por tres ejes sencillos con rueda doble en los extremos.

Cuadro 14.13.1.2.1 Categorías de Vehículos Pesados

Vehículos Recreacionales	Camiones	Buses
Casas Rodantes o remolcadas por otro vehículo. Estos vehículos regularmente no tienen prisa de llegar, ya que lo que son conducidos por personas que disfrutan del viaje.	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.	<i>Área Local:</i> Vehículos de transporte de personas que realizan paradas continuas para recoger o bajar pasajeros. <i>Inter-Provinciales:</i> son vehículos que transportan personas de un lugar a otro, pero que no hacen paradas seguidas dentro de la carretera.

Elaborado por: Andrés Ramón

14.13.1.3 Condiciones de Control

- **Velocidad:** Para el nivel de servicio se utiliza la velocidad media en el espacio superior a 100 (Km/h).
- **Señales de Tránsito:** Las señales de tránsito dramáticamente afectan la capacidad y la calidad de flujo en las cercanías de una intersección con otra carretera. Una señal efectivamente regula que vehículo debe parar en la intersección.

14.13.2 Criterios de Capacidad y Nivel de Servicio

La relación Intensidad/Capacidad permite obtener el nivel de servicio de una carretera. Los criterios de niveles de servicio (NDS) se describen en función de las siguientes características de desempeño:

- Tasa de Flujo (vehículos de Pasajeros/hora/carril) → V_p /carril
- Velocidad Media de un Automóvil medido en (Km/h) → S
- Densidad (número de automóviles por kilómetro), automóviles/kilómetro/carril → D

La relación entre las tres características de rendimiento, puede calcularse de la siguiente forma:

$$D = \frac{v_p}{S}$$

Donde:

D = densidad (veh. Livianos/Km/carril)

V_p = tasa de flujo equivalente (veh. Livianos/h/carril)

S = velocidad media de los automóviles (Km/h)

El usuario debe advertir que los criterios de los niveles de servicio se basan en las relaciones típicas velocidad-intensidad-densidad. Estos niveles han sido definidos para representar los dominios de funcionamiento entre estas tres variables de acuerdo a esto el nivel de servicio varía desde A al F, haciendo que el dominio de las densidades y velocidades cubierto por cada nivel vaya haciéndose más grande, mientras que el dominio correspondiente de intensidades se haga cada vez más reducido.

En la siguiente tabla se establecen los criterios y condicionantes para determinar el nivel de servicio para carreteras de varios carriles en términos de densidad máxima, velocidad

promedio y la relación máxima existente de volumen a capacidad. Las definiciones se listan para cada uno de los niveles de servicio como sigue:

Cuadro 14.13.2.1 Niveles de Servicio

Nivel de Servicio (NDS)	Descripción
A	<u>Condiciones de Viaje:</u> Completamente de Flujo Libre.
	<u>Restricción de Operación Vehicular:</u> Características geométricas del camino y en las preferencias individuales del conductor. El espaciamiento medio de los vehículos es de 125 (m) con una densidad máxima de 7 (veh/Km/carril).
	<u>Maniobrabilidad dentro del Flujo Vehicular:</u> Es buena, y las ligeras interrupciones del tránsito se absorben fácilmente, sin que tengan en la velocidad de crucero.
B	<u>Condiciones de Viaje:</u> Flujo Libre. Velocidad superior a 85(Km/h) en tramos con una velocidad de proyecto de 112 (Km/h).
	<u>Restricción de Operación Vehicular:</u> Se observa otros vehículos pero no es una restricción. El espaciamiento medio de los vehículos es de 77 (m) con una densidad máxima 12 (veh/Km/carril).
	<u>Maniobrabilidad dentro del Flujo Vehicular:</u> Interrupciones Ligeras (absorbidas fácilmente), se observan reducciones del NDS localizadas.
C	<u>Condiciones de Viaje:</u> La velocidad de crucero muestra alguna reducción cuando la velocidad de flujo libre sobrepasa los 80 (Km/h) en los tramos de 112 (Km/h) de velocidad de proyecto.
	<u>Restricción de Operación Vehicular:</u> La densidad de tránsito comienza a influir en las operaciones. El espaciamiento medio de los vehículos se reduce aproximadamente a 53 (m) con una densidad máxima de 19 (veh/Km/carril).
	<u>Maniobrabilidad dentro del Flujo Vehicular:</u> La capacidad de maniobra se ve afectada por otros vehículos y puede esperarse que estas interrupciones ligeras produzcan un deterioro local grave del servicio, y comenzar la formación de filas.
D	<u>Condiciones de Viaje:</u> La velocidad de crucero se reduce a medida que aumenta el volumen. Siendo la velocidad media de recorrido 64 (Km/h) en los tramos de 112 (Km/h) de velocidad de proyecto.
	<u>Restricción de Operación Vehicular:</u> El espaciamiento medio de los vehículos de 37 (m) con una densidad de 26 (veh/Km/carril).
	<u>Maniobrabilidad dentro del Flujo Vehicular:</u> La capacidad de maniobra está muy restringida debido a los embotellamientos. Puede esperarse que las interrupciones ligeras causen un deterioro local grave del servicio, y comenzar la formación de filas.
E	<u>Condiciones de Viaje:</u> Representa la circulación en capacidad o muy próxima a ella y es bastante inestable. La velocidad media de recorrido en capacidad son de aproximadamente 48 (Km/h).

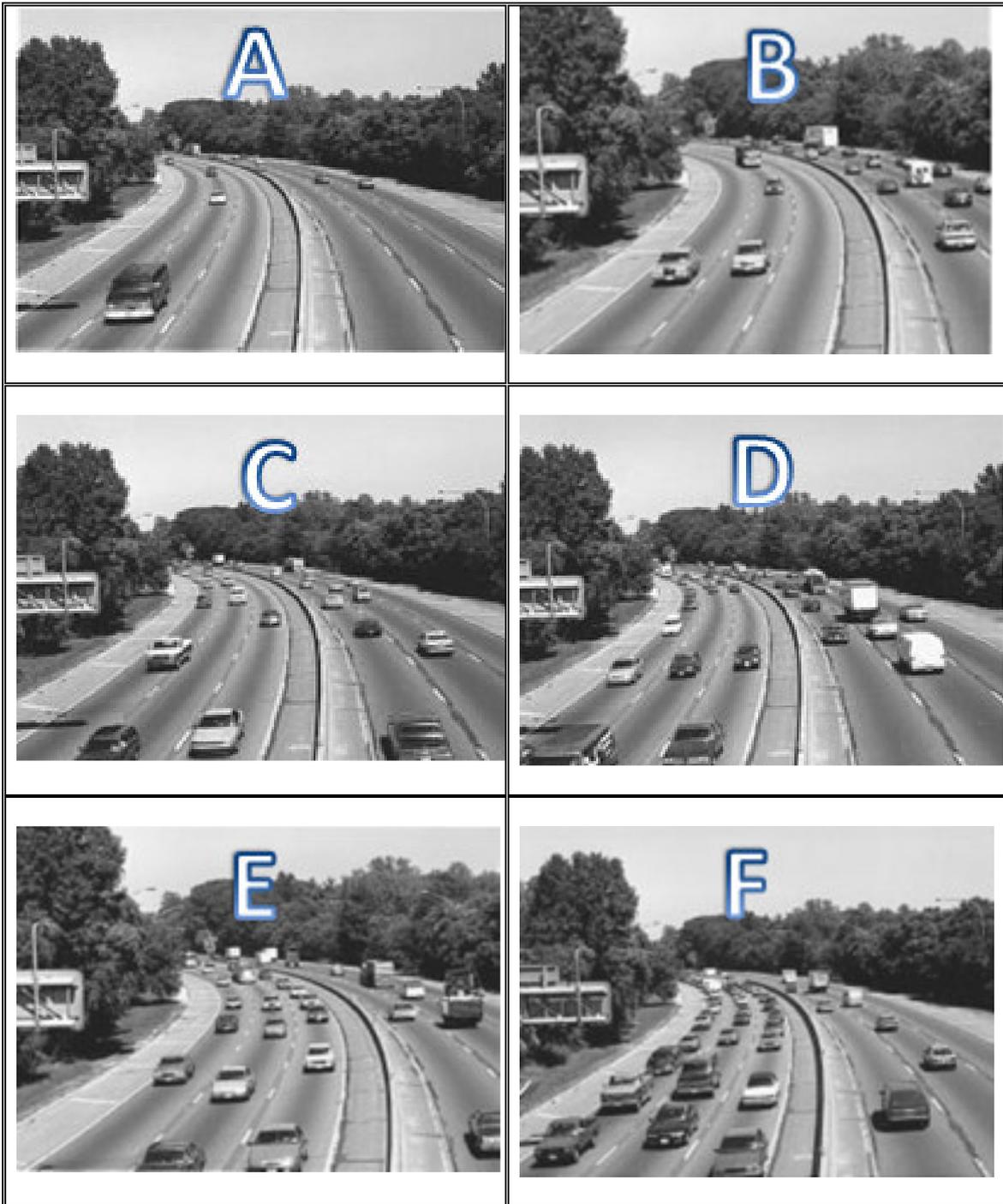
	<p><u>Restricción de Operación Vehicular:</u> Los vehículos operan con el espaciamiento mínimo de 24 (m) para que pueda mantenerse el flujo uniforme, con una densidad de 43 (veh/Km/carril).</p>
	<p><u>Maniobrabilidad dentro del Flujo Vehicular:</u> Las interrupciones no se disipan con facilidad y generalmente resultan en la formación de filas y en el deterioro del servicio.</p>
F	<p><u>Condiciones de Viaje:</u> Ocurre un colapso forzado del flujo en el punto para el cual, el número de vehículos que llegan a ese punto sobrepasa al número de vehículos desalojados, es decir la demanda prevista excede a la capacidad proyectada. Las velocidades medias de recorrido son inferiores a 48 (Km/h).</p>
	<p><u>Restricción de Operación Vehicular:</u> La circulación en el interior de las colas es muy inestable, donde los vehículos realizan súbitos arranques seguido de detenciones, extremadamente inestables. Con una densidades superiores a 42 (veh/Km/carril).</p>
	<p><u>Maniobrabilidad dentro del Flujo Vehicular:</u> En estos lugares se forman colas, las operaciones son muy inestables, típicas de los llamados “cuellos de botella”, mientras que puede parecer que los tramos camino abajo se encuentran a capacidad. Condiciones de “Pare y Siga”, congestión de tránsito.</p>

Elaborado por: Andrés Ramón

Fuente: TRB. Highway Capacity Manual. HCM2000

Cuadro 14.12.2.2 Carreteras con Distintos Niveles de Servicio

--	--



Elaborado por: Andrés Ramón
Fuente: TRB. Highway Capacity Manual. HCM2000

14.13.3 Esquema Metodológico

El siguiente esquema ilustra la entrada y el orden de cálculo de la metodología a emplearse en la estimación del nivel de servicio de una carretera de carriles múltiples según lo dictaminado por el HCM 2000:

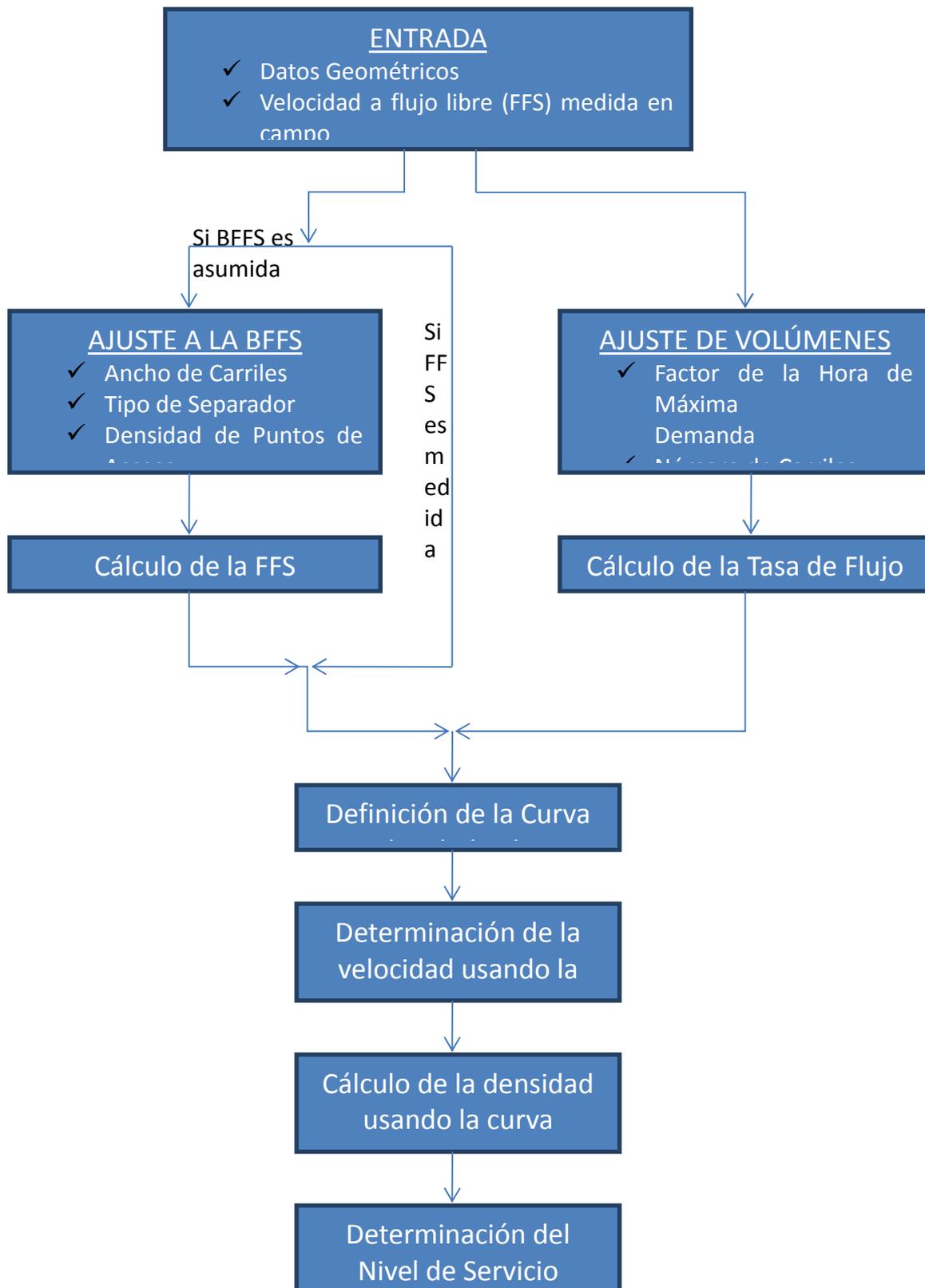


Figura 14.12.3.1 Esquema metodológico para el análisis de carreteras de carriles múltiples

Fuente: TRB, Highway Capacity Manual. HCM 2000

14.13.4 Determinación de la velocidad a flujo libre (FFS)

La velocidad de flujo libre es la velocidad media de los vehículos livianos, medida durante flujos bajos a moderados (hasta 1,400 vehículos livianos/hora/carril).

La velocidad a flujo libre (FFS) se puede determinar por:

- *Medición Directa en Campo:* si se lo va a medir directamente en campo, esta se realizará de al menos 100 vehículos livianos, tomados indistintamente en todos los carriles. El promedio de todas las velocidades obtenidas, será la velocidad a flujo libre FFS del segmento seleccionado de la vía en análisis. De esta manera no se requiere ejecutar ajustes, ya que su valor refleja el efecto neto de todas las condiciones prevalecientes del sitio de estudio que influyen en ella.
- *Medición por Estimación Indirecta:* si la velocidad es determinada indirectamente esta se la conoce como velocidad a flujo libre base (BFFS) y deberá ser ajustada de acuerdo a las siguientes características físicas que afectan a la circulación:

Cuadro 14.13.4.1 Factores de Ajuste en Condiciones Base ⁽⁵⁾

Ancho de Carriles	f_{LW}	Si el ancho del carril es menor a 3,60 (m), los conductores tienden a guardar una distancia lateral entre ellos inferior a la deseada, reflejándose en una reducción de la velocidad a flujo libre base.
Distancia Libre Lateral	f_{LC}	Las distancias libres laterales base son 1,80 (m) o más al lado derecho y 0,60 (m) o más al lado izquierdo en la faja separadora central, de la misma forma inciden en la disminución de la velocidad. Las obstrucciones fijas típicas son: señales, árboles, estribos de puentes, defensas metálicas y muros de contención, no se incluyen los bordillos.
Tipo de Faja Separadora Central	f_M	Para carreteras no divididas, este ajuste considera la fricción causada por la corriente de tránsito en el carril adyacente.
Densidad de Puntos de Acceso	f_A	La densidad base de los puntos de acceso se encuentra dividiendo el número de accesos en el lado derecho, entre la longitud total del segmento en kilómetros.

Elaborado por: Andrés Ramón

Fuente: TRB, Highway Capacity Manual. HCM 2000

La fórmula básica para estimar la velocidad de flujo libre proporcionada por el HCM 2000 para el análisis de carreteras multicarriles es:

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A$$

Donde:

BFFS= velocidad a flujo libre base, 100 (Km/h) → Urbana y Rural

14.13.5 Cálculo de la Tasa de Flujo (V_p)

En carreteras con un control completo del acceso, es decir con separación al centro y dos o más carriles en cada sentido para el movimiento del tránsito exclusivamente, la capacidad será la tasa de flujo de 15 minutos sostenida máxima, que puede ser alojada por un tramo uniforme de camino en condiciones prevalecientes y en conformidad a las características geométricas de la carretera en un sentido.

La tasa de flujo horaria deberá reflejar la variación temporal del flujo vehicular dentro de la hora, la influencia de los vehículos pesados y las características de la población de conductores o usuarios. Se deben realizar dos ajustes para convertir al volumen en una tasa de flujo equivalente en vehículos livianos, la cual es utilizada en los análisis de niveles de servicio, por medio de la siguiente expresión:

⁵ La determinación de los ajustes por BFFS, dados en (Km/h), se determinan según los cuadros del Cap. 21 del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2000)

$$V_p = \frac{V}{FMHD * N * f_{HV} * f_p}$$

Donde:

V_p = tasa de flujo equivalente → 15 minutos (veh. livianos/h/carril)

V = volumen horario por sentido (veh. Mixtos/h)

$FMHD$ = factor de la hora de máxima demanda

N = número de carriles por sentido

f_{HV} = factor ajuste por presencia de vehículos pesados

f_p = factor de ajuste por tipo de conductores

Para el cálculo de f_{HV} es indispensable contar con:

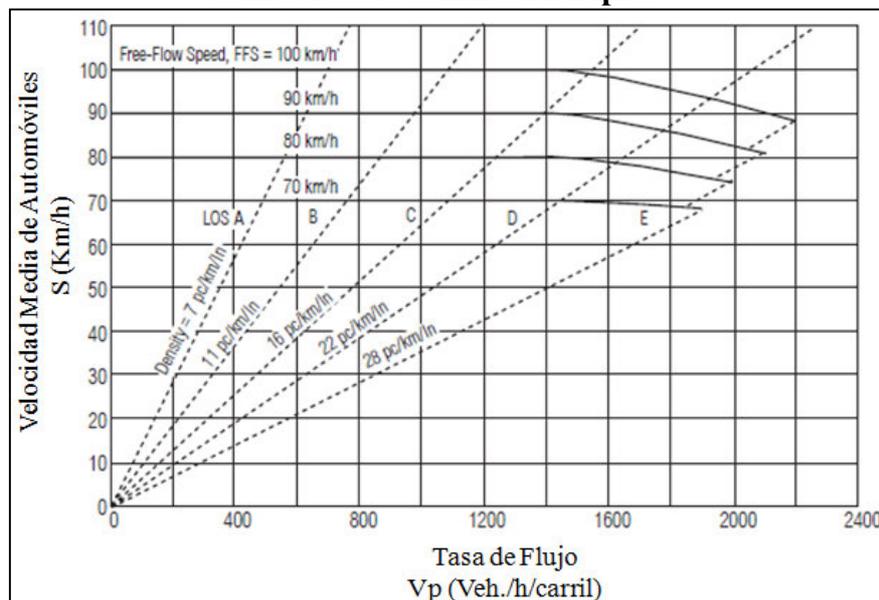
- E_T → equivalencia en automóviles de pasajeros
- E_R → equivalencia en vehículos de recreación

Los parámetros de ajuste antes anotados están en función de la pendiente, la conformación ascendente y descendente de las cuestas, y de la longitud del tramo analizado. Para lo cual el terreno puede ser llano, ondulado o montañoso. Todos estos valores ser obtenido mediante las tablas presentadas por el HCM 2000.

14.13.6 Determinación del Nivel de Servicio

Una vez obtenida la velocidad a flujo libre (FFS), medida en campo o estimada, se debe construir la curva velocidad-flujo de la misma forma que las curvas típicas presentadas en la siguiente figura:

Figura 14.12.6.1: Curvas de Velocidad-Flujo y Niveles de Servicio en Carreteras de Carriles Múltiples



Fuente: TRB, Highway Capacity Manual. HCM 2000

Finalmente se calcula la densidad y se compara con lo obtenido en la gráfica anteriormente presentada.

14.14 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CARRILES NECESARIOS

Para poder estimar el número de carriles necesarios para satisfacer correctamente la demanda de vehículos se tiene dos tipos de análisis:

- **Análisis de Proyecto**

El objeto principal de este tipo de análisis consiste en la determinación del número de carriles necesarios para lograr un nivel de servicio dado según las condiciones geométricas y del tránsito pronosticado para el año del proyecto.

- **Análisis de Planeamiento**

El criterio general de cálculo en este análisis, consiste en convertir el tránsito promedio diario anual (TPDA) del año de proyecto VHP y según la figura 14.8.6.1 una tasa máxima de flujo de servicio por carril V_{max} , que nos permita calcular de manera aproximada el número de carriles necesarios de acuerdo a la expresión:

$$\text{Número de Carriles } (N) = \frac{V}{FMHD * V_{max} * f_{HV} * f_p}$$

14.15 INTERSECCIONES CON SEMÁFOROS

El análisis del nivel de servicio en las intersecciones con semáforo de la autovía “Otavalo – Ibarra” tiene un importante efecto sobre su desempeño general operativo, por cuanto en esta sección se presentará el análisis operacional de intersecciones con semáforos bajo condiciones prevalecientes de circulación discontinua. Dichas condiciones toman en cuenta el flujo y la distribución del tránsito, las características geométricas y el sistema de señalización.



Fotografía 14.14.1: Intersección SemafORIZADA “San-Roque”,
Autovía “Otavalo-Ibarra”

Fuente: MTOP

De igual forma que en las metodologías antes analizadas, para la determinación de la capacidad y del nivel de servicio en las intersecciones señalizadas el procedimiento presentado a continuación se apoya en lo dictaminado por el HCM 2000 del TRB ⁽⁶⁾,

⁶ Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, National Research Council, Washington, D.C., 2000

con base en resultados de algunos proyectos de investigación recientes y de observaciones de campo.

14.15.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

A diferencia de los sistemas viales de circulación continua, en las intersecciones con semáforos, la capacidad no se encuentra relacionada directamente con un determinado nivel de servicio, sino que ambos estudios deben ser desarrollados por separado. De esta manera, el análisis de capacidad implica el cálculo de la relación volumen/capacidad para movimientos críticos en carriles simples o agrupados, mientras que el análisis del nivel de servicio se basa en la demora media de los vehículos detenidos por la acción de los semáforos.

Otra diferencia importante al considerar el nivel de servicio en los segmentos de una vía principal y, el nivel de servicio en las intersecciones, es que en el primer caso solamente se usan los flujos de travesía, mientras que para las intersecciones se utilizan los flujos de las maniobras de giros importantes.

14.15.2 CAPACIDAD DE LAS INTERSECCIONES SEÑALIZADAS

La capacidad en una intersección señalizada, está dada por cada grupo de carriles y se define como la tasa máxima de flujo que puede cruzar la intersección, por cada grupo de carriles que se considera, de acuerdo con las condiciones prevalecientes de tránsito, de la vía y de la señalización.

La capacidad se da en vehículos por hora (Veh./h), pero se basa en el flujo durante un periodo pico de 15 minutos. No se considera la capacidad de toda la intersección sino según los movimientos o accesos principales de la intersección.

14.15.3 NIVELES DE SERVICIO DE LA INTERSECCIONES SEÑALIZADAS

El nivel de servicio de una intersección con semáforos se define a través de las demoras, las cuales representan una medida del tiempo perdido de viaje, del consumo de combustible, de incomodidad y de frustración. En lo que respecta a la forma de evaluar el nivel de servicio, esta es expresada en términos de la demora media por vehículo producto de las detenciones en un período de análisis de 15 minutos, al cual se lo conoce como período de máxima demanda. Se han definido seis niveles de servicio que conservan las siguientes características principales:

Cuadro 14.15.3.1 Niveles de Servicio en Intersecciones con Semáforo

Nivel de Servicio	Demora por Control (Segundos/Vehículo)	Descripción
A	≤ 10	Operación con demoras muy bajas. La mayoría de vehículos llegan durante la fase verde y no se detienen del todo. Longitudes de ciclo corto pueden contribuir a demoras mínimas.
B	> 10-20	Algunos vehículos comienzan a detenerse.
C	> 20-35	Muchos vehículos cruzan la intersección sin detenerse, pero un número apreciable de ellos se detienen debido a: ✓ <i>Falla del ciclo</i> → algunos vehículos en uno de los accesos no saldrán de la intersección durante el primer ciclo, por duraciones relativamente largas del

		<p>ciclo.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Falla en el avance</i> → La mayor duración de la demora puede deberse al apreciable número de vehículos que llegan durante la fase de luz roja. ✓ <i>Ambas</i>
<i>D</i>	> 35-55	<p>Se detienen un mayor número de vehículos en la intersección, lo que conduce a una demora de mayor duración por los siguientes factores:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Fallas del Ciclo</i> → duraciones largas de los ciclos. ✓ <i>Fallas en el avance</i> → desfavorable. ✓ <i>Razones (v/c)</i> → altas.
<i>E</i>	> 55-80	<p>Se considera como el límite aceptable de demoras, las mismas que son causadas por:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Fallas del Ciclo</i> → duraciones largas de los ciclos. ✓ <i>Fallas en el avance</i> → deficiente ✓ <i>Razones (v/c)</i> → altas.
<i>F</i>	> 80	<p>Los flujos de llegadas exceden la capacidad de los accesos de la intersección, lo que ocasionan congestión y operación sobre saturada.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Fallas del Ciclo</i> → duraciones largas de los ciclos. ✓ <i>Fallas en el avance</i> → deficiente ✓ <i>Razones (v/c)</i> → elevadas, menores a 1,00.

Elaborado por: Andrés Ramón

Fuente: TRB, Highway Capacity Manual, HCM 2000

14.15.4 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS OPERACIONAL

Por medio del análisis operacional se determina la capacidad y el nivel de servicio de cada grupo de carriles o acceso, al igual que el nivel de servicio de la intersección como un todo. Para poder llevar a cabo este estudio es necesario definir los siguientes parámetros:

1. Parámetros de Entrada

Las condiciones prevalecientes requeridas para poder conducir este análisis operacional son descritas a continuación:

- *Condiciones Geométricas:* la geometría de una intersección normalmente se presenta a través de un diagrama, que representa la configuración física de una intersección en particular, donde se detalle el número de carriles, ancho de carriles, movimientos por carril, ubicación de estacionamientos, longitud de bahías para giros y las respectivas pendientes en los accesos.
- *Condiciones del Tránsito:* se debe contar con los volúmenes de tránsito para cada movimiento en cada uno de los accesos y su composición definida en automóviles, buses y camiones. Al igual que los aforos peatonales y de bicicletas que entran en conflicto con los giros a la derecha.

Conteos en Intersecciones → los conteos en intersecciones son tomados con la finalidad de determinar una clasificación de los vehículos y de los tipos de movimientos que estos realizan al entrar dentro de una intersección señalizada. Los datos recopilados son usados principalmente para establecer la duración de las

fases y el tiempo de cada uno de los ciclos. De esta manera se puede modelar la operatividad de una intersección en particular para la ejecución de diseños y realizar mejoras al sistema.

La calidad de la progresión del flujo vehicular entre intersecciones se describe a través de seis tipos de llegadas a los accesos de las intersecciones, para cada grupo de carriles, así:

Cuadro 14.15.4.1 Calidad de la Progresión del flujo vehicular entre intersecciones

	Tipos de Llegada	Calidad de Progresión
TIPO 1	Grupos densos que llegan al inicio del rojo.	<i>Deficiente</i> , como resultado de la optimización de toda la malla.
TIPO 2	Grupos moderados que llegan a la mitad del rojo.	<i>Desfavorable</i> en calles de doble sentido.
TIPO 3	Llegadas aleatorias.	<i>Beneficios</i> de la progresión son <i>Mínimos</i> , representa operaciones en intersecciones aisladas o no interconectadas.
TIPO 4	Grupos moderados que llegan a la mitad del verde.	<i>Favorable</i> en calles de doble sentido.
TIPO 5	Grupos densos que llegan al inicio del verde.	<i>Altamente favorable</i>
TIPO 6	Grupos densos que fluyen a través de varias intersecciones cortamente espaciadas.	<i>Excepcional</i>

Elaborado por: Andrés Ramón

Fuente: TRB, Highway Capacity Manual, HCM 2000

- *Condiciones de los semáforos:* se refiere a toda la información inherente al plan de fases, longitud de ciclo, tiempos de verde e intervalos de cambio y despeje, para cada uno de los movimientos dados mediante un diagrama de fases.

Semáforos→ es un aparato electromecánico proyectado específicamente para facilitar el control del tránsito de vehículos y peatones, con indicaciones visuales en el camino. Su finalidad es permitir el paso, alternadamente, a las corrientes de tránsito que se cruzan, permitiendo el uso ordenado y seguro del espacio disponible.

En cada intersección, el flujo de vehículos debe ser dividido en diferentes fases de movimiento. Ciertos movimientos reciben el derecho al uso de una señal verde o de pase, mientras que otros son detenidos por un rojo o de alto.

Fase: se denomina fase a la selección y ordenamiento de movimientos simultáneos.

Ciclo: la secuencia completa de fases, en el menor tiempo posible, constituye un ciclo de semáforos.

La distribución de tiempo a cada fase, debe estar en relación directa con volúmenes de tránsito de los movimientos correspondientes.

2. Agrupación de Carriles

El grupo de carriles hace referencia al conjunto de carriles de un acceso que contiene un conjunto de flujos vehiculares. Para esto se debe establecer en la intersección grupos de carriles apropiados, considerando tanto la geometría de la intersección como la distribución de los movimientos vehiculares. Se deben considerar grupos de carriles

separados, cuando se disponga de bahías exclusivas de giro izquierdo y si es el caso de giros a la derecha; todos los demás carriles directos se consideran un grupo simple de carriles.

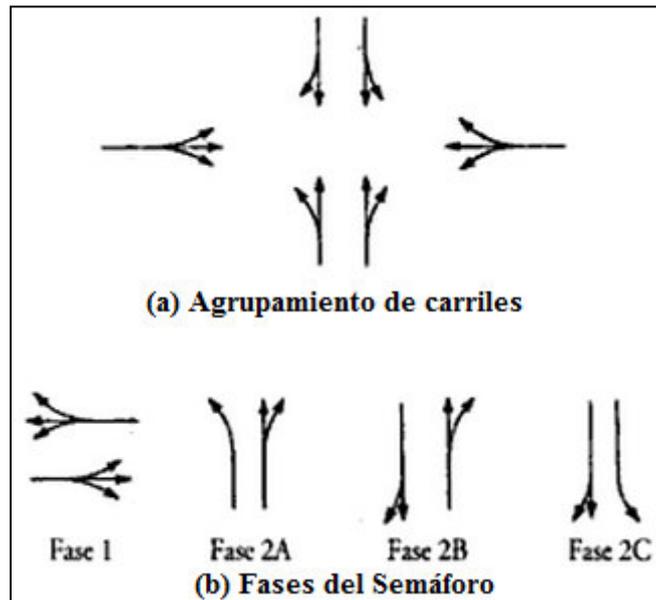


Figura 14.14.1 Ejemplo para determinar el Grupo de Carriles Crítico
Fuente: Ingeniería de Tránsito y de Carreteras, Lester A. Hoel/Nicholas J. Garber.

3. Determinación de la Tasa de Flujo

Se requiere de igual forma convertir los volúmenes horarios a tasas de flujo durante 15 minutos por medio de la hora de máxima demanda. Puesto que no todos los movimientos en la intersección tienen el volumen máximo durante el mismo intervalo de 15 minutos, es aconsejable observar directamente los flujos en cada 15 minutos y seleccionar un periodo crítico de análisis.

4. Determinación de la Tasa de Flujo de Saturación

La tasa de flujo de saturación se define como la tasa máxima de flujo, en un acceso o grupo de carriles, que puede pasar a través de la intersección bajo las condiciones prevalecientes del tránsito, la calle y del semáforo.

- *Condiciones prevalecientes del Tránsito:* Las condiciones prevalecientes del tránsito incluyen volúmenes por tipo de movimiento (izquierda, directo, derecha), composición vehicular (automóviles, buses y camiones), maniobras de estacionamiento, paradas de autobuses y conflictos con peatones y ciclistas.
- *Condiciones prevalecientes de la Calle:* estas condiciones describen aspectos geométricos de los accesos en términos del número y ancho de carriles, pendientes y uso de carriles incluyendo carriles de estacionamiento.
- *Condiciones prevalecientes del Semáforo:* incluyen la secuencia de fases, asignación de tiempos y el tipo de operación o control.

El flujo de saturación se expresa en vehículos por hora de luz verde, y puede determinarse mediante estudios de campo o calcularse mediante la siguiente expresión:

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

Ecuación base para el flujo de saturación

Donde:

S_i = tasa de flujo de saturación del grupo de carriles i (vehículos/hora verde).

S_o = tasa de flujo de saturación base por carril (autos/hora verde/carril).

N = número de carriles del grupo de carriles.

f_w = factor de ajuste por ancho de carriles.

f_{HV} = factor de ajuste por vehículos pesados.

f_g = factor de ajuste por pendiente del acceso

f_p = factor de ajuste por estacionamiento adyacente al grupo de carriles

f_{bb} = factor de ajuste por bloqueo de buses que paran en el área de la intersección.

f_a = factor de ajuste por tipo de área.

f_{LU} = factor de ajuste por utilización de carriles.

f_{LT} = factor de ajuste por giros a la izquierda.

f_{RT} = factor de ajuste por giros a la derecha.

f_{LPb} = factor de ajuste por peatones y bicicletas para giros vehiculares a la izquierda.

f_{RPb} = factor de ajuste por peatones y bicicletas para giros vehiculares a la derecha.

Nota: factores de ajuste. ⁽⁷⁾

5. Determinación de la Capacidad y la relación volumen a capacidad

Para este parámetro se utilizan los resultados de los cálculos desarrollados anteriormente para determinar las variables importantes de capacidad, que son:

- *Razón de flujo:* para los diferentes grupos de carriles.
- *Capacidad:* en una intersección con control con semáforos se define para cada acceso o grupo de carriles, como la tasa de flujo máxima que puede pasar a través de la intersección bajo condiciones prevalecientes del tránsito, de la calle y del semáforo.
- *Relación volumen a capacidad (v/c):* se conoce también con el nombre grado de saturación. Para evaluar la intersección en su totalidad se utiliza el concepto de grado de saturación crítico, la misma que considera los accesos o grupos de carriles críticos, es decir con la relación de flujo más alta para cada fase.

6. Determinación de las Demoras

Los valores derivados de los cálculos representan la demora media por control experimentada por todos los vehículos que llegan en el periodo de análisis, incluidas las demoras que ocurren antes del periodo de análisis cuando el grupo de carriles está sobre saturado. La demora por control incluye los movimientos a velocidades bajas y las detenciones en los accesos a la intersección, cuando los vehículos disminuyen la velocidad corriente arriba o cambian de posición en la cola.

- *Factor de Ajuste por Coordinación:* una buena coordinación de semáforos dará como resultado una proporción alta de vehículos que llegan en el verde.

6.1 Medidas de Desempeño

Los resultados obtenidos de los módulos de ajuste de volumen, del flujo de saturación, y del análisis de capacidad, se usan ahora para determinar la demora promedio por vehículos en cada grupo de carriles, y obtener de esta manera el nivel de servicio al cual

⁷ Todos los factores de ajuste anteriormente citados corresponden a expresiones definidas en el capítulo 16 para intersecciones señalizadas del Highway Capacity Manual, HCM 2000.

la intersección opera. Este cálculo incluye la determinación de los siguientes tipos de demoras:

- **Demora Uniforme:** la demora uniforme se da si los vehículos llegan uniformemente distribuidos y no existe saturación durante ningún ciclo.
- **Demora Incremental:** la demora por incrementos considera que las llegadas no son uniformes sino aleatorias y, que algunos ciclos tendrán sobre flujo (demora aleatoria), así como demora causada por periodos sostenidos de sobresaturación.
- **Demora por cola inicial:** esta demora se presenta como resultado de una demanda no satisfecha de vehículos presente al inicio del periodo de análisis, es decir existe un evento residual de duración al inicio del periodo de análisis. Existen cinco escenarios para estimar esta demora:
 - Caso I* → el periodo es no saturado sin cola.
 - Caso II* → el periodo de análisis es saturado.
 - Caso III* → la cola inicial se disipa durante el periodo de análisis.
 - Caso IV* → aún existe una demanda insatisfecha al final del periodo de análisis, pero de forma decreciente.
 - Caso V* → la demanda en el periodo de análisis, excede la capacidad disponible y la demanda se incrementa al final del periodo de análisis.
- **Demora agregadas:** la demora en cualquier acceso, se determina como un promedio ponderado de las demoras totales de todos los grupos de carriles del acceso, utilizando los flujos ajustados de los grupos de carriles.

7. Determinación del Nivel de Servicio

El nivel de servicio de una intersección se basa en la relación directa con la demora promedio por controles por vehículo. Una vez obtenida la demora para cada grupo de carriles y agregada para cada acceso y para la intersección como un todo, se determinan los niveles de servicio, utilizando el Cuadro 14.15.1 Niveles de Servicio en Intersecciones con Semáforo.

14.15.5 ESQUEMA METODOLÓGICO

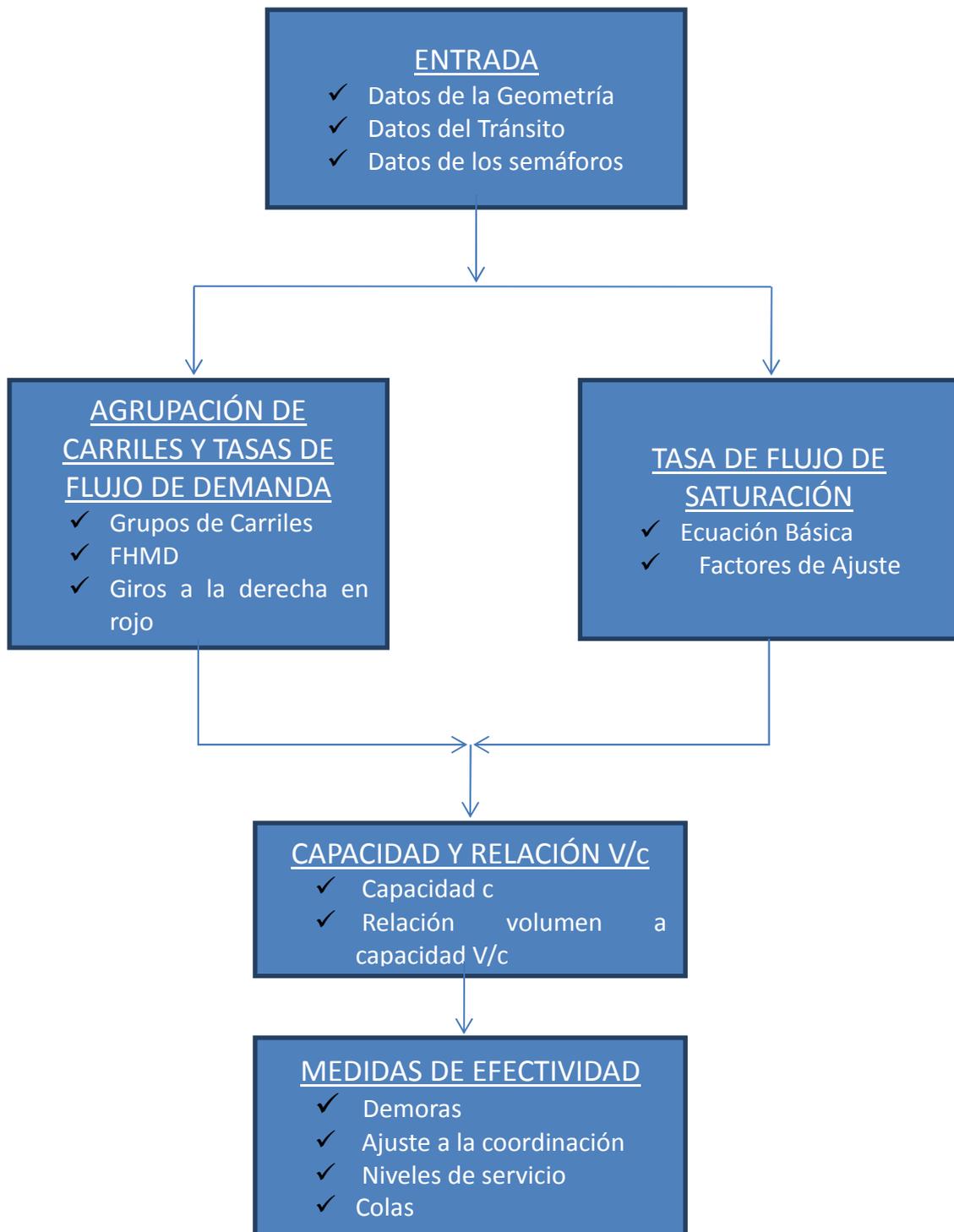


Figura 14.15.1 Esquema metodológico para el análisis de Intersecciones con Semáforo
Fuente: TRB, Highway Capacity Manual. HCM 2000

14.16 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL TRAMO

Mediante la evaluación económica de la vía se pueden valorar los beneficios directos que ésta ha contribuido para la disminución de los costos operativos de los vehículos y la reducción del tiempo de viaje de los pasajeros, garantizando a los usuarios un adecuado nivel de servicio.

La economía mundial exige un transporte de menor costo y más eficiente y minimizar los gastos, tanto de personas como de empresas e industrias. Como referencia se tomó el método del Instituto Mexicano del Transporte (IMT) para calcular los costos de operación. Este método conocido como: *Método de Redes del Costo Generalizado del Transporte*; considera las exigencias actuales de los usuarios, las mismas que incluyen los costos más representativos que repercuten en dichos usuarios, tales como, el costo de operación vehicular, el costo del tiempo de recorrido y el peaje, cuando se trate de carreteras de cuota. Los tres costos repercuten directamente en la economía del usuario y por ende, cubren esencialmente las exigencias del nuevo entorno económico. Además, en el costo del tiempo de recorrido se encuentran inmersas dos variables distancia y flujo vehicular (nivel de servicio al cual se encuentra operando el tramo en estudio). La estimación del tiempo está en función de la distancia que recorre el vehículo y de la velocidad de operación, que a su vez, está en función del flujo vehicular y de las condiciones físicas de la superficie de rodadura. Esta última siendo la de principal incidencia en los costos de operación.

Cuando el análisis del costo generalizado del transporte se realiza en una vía que cuenta con una estación de peaje se debe considerar el monto del mismo al momento de estimar el costo total del transporte.

14.16.1 COSTOS DE OPERACIÓN DE LOS VEHÍCULOS

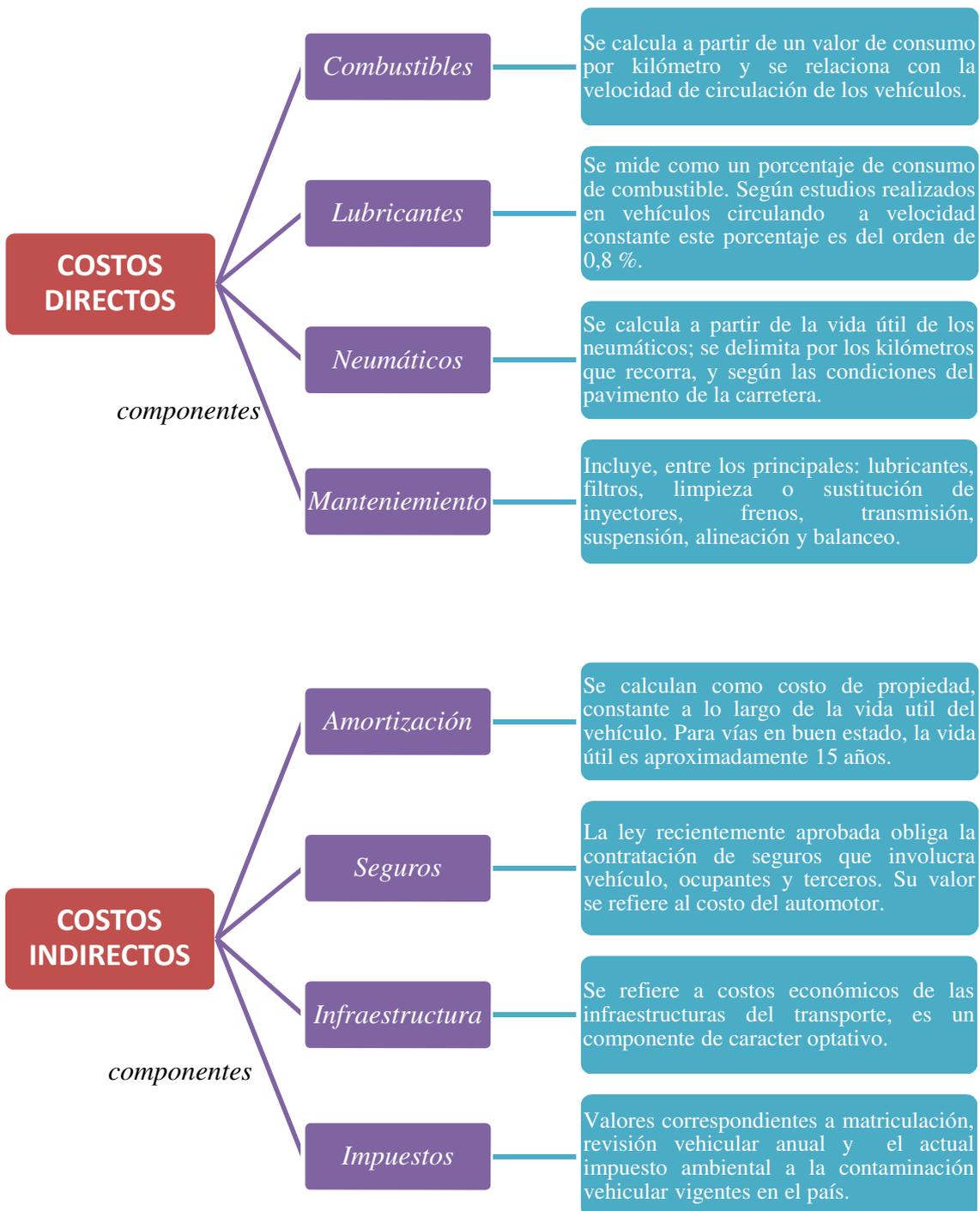
Uno de los principales impactos a la economía nacional es el concerniente al costo de operación vehicular, ya que el transporte afecta las distintas fases del ciclo productivo de bienes de consumo, que participa en el proceso de producción, distribución y el de consumo. Por otro lado la productividad del transporte a nivel nacional representa una notable mejoría en el aspecto laboral, económico y operacional, como por ejemplo una disminución en las tarifas del transporte público estimula la demanda de usuarios generando economías de escala con participación activa en todos los sectores afines al mismo.

La estructura de costos de operación vehicular es un modelo matemático que está concebido para que los involucrados cuenten con una herramienta de cálculo para determinar el costo que se ocasiona al movilizar una unidad por las vías nacionales teniendo en cuenta la configuración del vehículo. La operación de un vehículo ocasiona una serie de costos al propietario, los se clasifican en:

- Costos Variables
- Costos Fijos
- Otros costos que dependen de otros fines.

El costo de operación vehicular depende del estado físico de la superficie de rodadura, así como del tipo de terreno en que se encuentre el arco o tramo de la carretera, ya que los consumos directos (combustibles, lubricantes y llantas), y los indirectos (mantenimiento, refacciones, inversión y depreciación) del vehículo dependen de estas variables. La composición de los costos se ha dividido de la siguiente manera:

Esquema 14.16.1.1 Composición de Costos de Operación Vehicular



Elaborado por: Andrés Ramón

Fuente: MTOP, Subsecretaría de la Infraestructura del Transporte

14.16.1.1 Utilización de los vehículos

Las condiciones de utilización de los vehículos son parámetros importantes para el cálculo de los costos operativos de los vehículos y tienen relación con los siguientes aspectos:

- Recorrido Anual (Km)
- Velocidad (Km/h)

- Horas Trabajadas (h)
- Vida Útil Promedio (años)
- Uso Privado (%)
- Capacidad (ton)
- Viajes Relacionados con el Trabajo (%)

Dentro de estos parámetros, la velocidad es una de las variables que más influye en los costos de operación de los vehículos, así el consumo de combustibles varía esencialmente en función de la velocidad desarrollada, los costos imputables al factor tiempo varían en forma inversamente proporcional a la velocidad de circulación del vehículo; los cambios que se dan por las mayores relaciones peso/potencia, los diseños de los motores cada vez más eficientes y la misma modalidad de operación, tienen por cierto efectos importantes sobre las velocidades y consecuentemente sobre los costos de operación.

14.16.1.2 Tiempos de Recorrido Vehicular

Los tiempos de recorrido pueden ser obtenidos de dos formas:

- Tiempo de Recorrido Asumido:*** el cálculo del tiempo de recorrido se realiza normalmente utilizando el Manual de Capacidad Vial, el cual proporciona al analista la metodología para estimar el nivel de servicio a que opera una carretera, un tramo o un subtramo. La estimación del nivel de servicio depende de varias variables, tales como el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), la composición vehicular, el alineamiento vertical y horizontal, el tipo de terreno en que se localiza la carretera, y sus características geométricas, entre otras. En este sentido, al determinar el nivel de servicio al cual está operando un tramo de la carretera, se le asocia una velocidad de operación en función de otras características operativas, tales como la distancia de visibilidad y la distancia a obstáculos laterales. Una vez determinada la velocidad de operación, el tiempo de recorrido es el cociente de la longitud del tramo entre la velocidad de operación determinada.
- Tiempos de Recorrido medido en Campo:*** En el segundo caso, el estudio de tiempos de recorrido se realiza en campo empleando el método de placas o el método del vehículo flotante, este tipo de estudios, normalmente se llevan a cabo en forma simultánea a la encuesta Origen-Destino (O-D).

14.16.1.3 Métodos empleados en campo para estimar los tiempos de recorrido vehicular

Dos son los métodos que se emplean normalmente en campo para obtener los tiempos de recorrido vehicular y estos son:

- ***Método de placas:*** consiste en colocar dos grupos por sentido de circulación en cada uno de los tramos en que se realice la medición, integradas por dos personas. Los grupos deberán ubicarse en lugares estratégicos del tramo, de tal suerte que una persona tome la lectura de la placa y otra con cronómetro en mano la hora de lectura, estos sitios pueden ser la entrada o salida de la estación Origen-Destino, los reductores de velocidad por el paso por poblaciones, topes, puntos de inspección militar o fitosanitaria, etc.
- ***Vehículo flotante:*** consiste en que un observador conduce el automóvil de prueba a lo largo de la sección prueba, de modo que este automóvil “flote” con el tránsito. El conductor del automóvil de prueba intenta rebasar al mismo número

de vehículos que lo rebasan. Se toma nota del tiempo empleado para recorrer la sección de estudio. Los responsables del estudio de campo realizan esta medición por persecución, es decir se da seguimiento al tipo de vehículo que se está muestreando. Cuando se trate de vehículos de pasajeros, los responsables de medir los tiempos de recorrido se incorporan como usuarios en el vehículo objeto de la muestra, cronometrando los recorridos sin considerar los tiempos muertos por paradas continuas (ascenso y descenso de pasajeros, y tiempo para tomar algún refrigerio).

En ambos casos, al realizar el muestreo, es posible obtener los tiempos de recorrido promedio por tipo de vehículo y de toda la muestra vehicular.

15. ACTIVIDADES PARA LA EJECUCIÓN

- ✓ Recopilación de información relacionada a la temática propuesta.
- ✓ Revisión bibliográfica de estudios realizados para evaluar el nivel de servicio en carreteras. En base a normativa y manuales vigentes para el análisis de capacidad.
- ✓ Introducir el concepto de Nivel de Servicio como una medida del desempeño operacional para evaluar la suficiencia y calidad del servicio ofrecido por el sistema a los usuarios en carreteras de varios carriles.
- ✓ Análisis de las condiciones prevalecientes y medidas de estudio adoptadas para la ampliación de la autovía “Otavalo-Ibarra”.
- ✓ Ejecutar las respectivas mediciones de las condiciones de la vía en cuanto a los factores de velocidad y tiempos de recorrido, como la libertad de maniobra, interrupciones a la circulación, la comodidad, las conveniencias y lo relacionado a seguridad vial.
- ✓ Análisis del nivel de servicio de la carretera multicarriles e intersecciones con semáforo, tramo “Otavalo-Ibarra”.
- ✓ Evaluación económica del tramo en cuestión.
- ✓ Interpretación de los resultados obtenidos.
- ✓ Conclusiones y Recomendaciones.

16. DURACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto tendrá una duración de 6 meses.

17. BIBLIOGRAFÍA

- Capacidad y Niveles de Servicio de la Infraestructura Vial, Msc. Flor Ángela Cerquera Escobar, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia, octubre de 2007.
- Ingeniería de Tránsito para Carreteras, Alfonso Montejo Fonseca, Universidad Católica de Colombia Ediciones y Publicaciones, Colombia, 2002
- Ingeniería de Tránsito y de Carreteras, Lester A. Hoel/Nicholas J. Garber, Thomson Editores, 3ra Edición, Mexico D.F., 2005.
- Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones, Rafael Cal y Mayor Reyes Espíndola ¹, James Cárdenas Grisales, Alfaomega Grupo Editor, México, enero 2007.
- Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2000.
- Carreteras Urbanas: Recomendaciones para su planeamiento y proyecto, Ministerio de Obras Públicas y Transporte Terrestre, Centro de Publicaciones MOPT, 1era Edición, Madrid 1992.
- Carreteras, Lauro Ariel Alonzo Salomón y Gabriel J. Rodríguez Rufino, Ediciones Universidad Autónoma de Yucatán, Volumen 8, Mérida-México, 2005
- Métodos de Asignación de Tránsito en Redes Regionales de Carreteras: Dos Alternativas de Solución, Subsecretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte, Publicación Técnica No.214, Sanfandila, 2002.

NETGRAFÍA:

- http://www.mtop.gob.ec/especial_boletin_Otavalo_IBarra.php
- <http://www.panavial.com>

18. ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario (USD)	TOTAL (USD)
1	Internet	hora	200	0,8	160
2	Copias	u	1000	0,04	40
3	Resma 500h (Papel Bond)	u	5	5	25
4	Cartuchos Impresora	u	5	45	225
5	Discos Compactos	u	10	0,50	5
6	Empastados	u	10	20	200
7	Impresiones	u	600	0,25	150
8	Alimentación	global	1	100	100
9	Transporte	global	1	200	200
10	Libros	u	2	100	200
11	Material de Oficina	global	1	180	180

Sub-Total= 1485,00
Imprevistos (15%)= 222,75
TOTAL= 1707,75

19. FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO

Los gastos serán cubiertos en su totalidad por el alumno responsable del proyecto.

20. CONTENIDO

CAPÍTULO I. GENERALIDADES Y FINALIDAD

- 1.1 Antecedentes
- 1.2 Introducción
- 1.3 Objetivos
- 1.4 Alcance
- 1.5 Zona de Ubicación y de Influencia
- 1.6 Bioclima y Ecología
- 1.7 Funcionalidad de la Vía
- 1.8 Jerarquía Viaria
- 1.9 Proceso de Concesiones

CAPÍTULO II. ESTUDIO DE TRÁFICO

- 2.1 Análisis e Importancia
- 2.2 Características del Tránsito
 - 2.2.1 Velocidad
 - 2.2.1.1 Estudios de Velocidad
 - 2.2.1.2 Estudios de Velocidad en el Sitio

- 2.2.1.3 Métodos para Realizar Estudios de Velocidad en Sitio
- 2.2.1.4 Selección de la Ubicación
- 2.2.2 Densidad
 - 2.2.2.1 Variables relacionadas con la Densidad
- 2.2.3 Volumen (Q) o Intensidad de Tráfico
 - 2.2.3.1 Variables relacionadas con el flujo
- 2.2.4 Relación entre el Flujo, la Velocidad, la Densidad, el Intervalo y el Espaciamiento
 - 2.2.4.1 Relación entre los tres Parámetros Básicos
- 2.3 Congestión del Tránsito

CAPÍTULO III. CAPACIDAD VIAL:

- 3.1 Análisis de Capacidad
 - 3.1.1 Relación entre Demanda Vehicular y Oferta Vial
 - 3.1.2 Comparación entre demanda vehicular y la oferta vial
- 3.2 Criterios de Análisis de Capacidad y Niveles de Servicio
- 3.3 Condiciones Prevalecientes
- 3.4 Radio de Proporción de Flujo (v/c) y su Uso
- 3.5 Criterios de Operación del Tránsito

CAPÍTULO IV. NIVEL DE SERVICIO

- 4.1 Definición
- 4.2 Carreteras Multicarriles
- 4.3 Características Básicas
- 4.4 Nivel de Servicio para Carreteras Multicarriles (NDS)
 - 4.4.1 Condiciones Prevalecientes
 - 4.4.1.1 Condiciones de Infraestructura Vial
 - 4.4.1.2 Condiciones de Tránsito
 - 4.4.1.3 Condiciones de Control
 - 4.4.2 Criterios de Capacidad y Nivel de Servicio
 - 4.4.3 Esquema Metodológico
 - 4.4.4 Determinación de la Velocidad a Flujo Libre (FFS)
 - 4.4.5 Cálculo de la Tasa de Flujo (V_p)
 - 4.4.6 Determinación del Nivel de Servicio
- 4.5 Determinación del Número de Carriles Necesarios
- 4.6 Intersecciones con semáforos
 - 4.6.1 Características Generales
 - 4.6.2 Capacidad de las Intersecciones Señalizadas
 - 4.6.3 Niveles de servicio de la Intersecciones Señalizadas
 - 4.6.4 Metodología de Análisis Operacional
 - 4.6.5 Esquema Metodológico

CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE CONDICIONES GEOMÉTRICAS Y PREVALECIENTES DE LA AUTOVÍA “OTAVALO – IBARRA”.

- 5.1 Condiciones Geométricas que afectan a la Capacidad y los Niveles de Flujo de Servicio

- 5.1.1 Alineamiento Vertical y Horizontal
- 5.1.2 Ancho de Carril y Libertad Lateral
- 5.1.3 Porcentaje (%) de Pendiente

- 5.2. Condiciones Prevalcientes del tránsito que afectan a la Capacidad
 - 5.2.1 Vehículos Pesados en el Tránsito
 - 5.2.1.1 Camiones
 - 5.2.1.2 Buses

- 5.3 Condiciones Prevalcientes de Control que afectan la capacidad
 - 5.3.1 Señales de Tránsito
 - 5.3.2 Límites de Velocidad

CAPÍTULO VI. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DEL NIVEL DE SERVICIO DE LA CARRETERA MULTICARRILES, TRAMO “OTAVALO – IBARRA”.

- 6.1 Descripción del Tramo
- 6.2 Cálculo del Nivel de Servicio
 - 6.2.1 Nivel de Servicio
 - 6.2.2 Clasificación del Tránsito
 - 6.2.3 Factor Direccional (F.D)
 - 6.2.4 Cálculo del Tránsito Estandarizado
 - 6.2.5 Condiciones Geométricas para el Sub-ramo en Evaluación
 - 6.2.6 Cálculo de la Capacidad por Sentido
 - 6.2.7 Cálculo de la Relación v/c

CAPÍTULO VII. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL TRAMO

- 7.1 Importancia del Análisis Económico
- 7.2 Demanda
 - 7.2.1 Tráfico Promedio Diario Anual del Tramo – TPDA
 - 7.2.2 Proyección del TPDA
 - 7.2.3 Vehículos Representativos
 - 7.2.4 Utilización de los Vehículos
 - 7.2.5 Costos Unitarios de los Recursos

- 7.3 Costos de Operación de Vehículos
 - 7.3.1 Costo de operación vehicular base

- 7.4 Métodos empleados en campo para estimar los tiempos de recorrido vehicular
 - 7.4.1 Método de Placas
 - 7.4.2 Método del Vehículo Flotante

- 7.5 Cálculo del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR)

CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

21. CRONOGRAMA

Cronograma de actividades en el año 2012 y sujeta a variaciones por imprevistos.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES: Evaluación del Nivel de Servicio de la autovía "Otavalo-Ibarra"		TIEMPO																							
		1er MES				2do MES				3er MES				4to MES				5to MES				6to MES			
		SEMANA				SEMANA				SEMANA				SEMANA				SEMANA				SEMANA			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Capítulo I.	Generalidades y Finalidad	■	■	■																					
Capítulo II.	Estudio de Tráfico				■	■	■	■																	
Capítulo III.	Capacidad Vial						■	■	■																
Capítulo IV.	Nivel de Servicio									■	■	■	■												
Capítulo V.	Análisis de Condiciones Prevalcientes Autovía "Otavalo-Ibarra"													■	■	■	■								
Capítulo VI.	Procedimiento de Análisis del Nivel de Servicio de la Carretera Multicarriles, Tramo "Otavalo-Ibarra"																	■	■	■	■	■			
Capítulo VII.	Evaluación Económica del Tramo																						■	■	
Capítulo VIII.	Conclusiones y Recomendaciones																							■	

22. FECHA DE PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

Septiembre 2012

23. FIRMA DEL RESPONSABLE

Sr. Andrés Eduardo Ramón Velástegui
C.I: 171538181-8

24. FECHA DE APROBACIÓN DEL PROYECTO

Septiembre 2012

25. FIRMA DE LA AUTORIDAD

Ing. Eduardo Carrión
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Jaime Erazo
CODIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Jorge Zúñiga
COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL