



**Universidad de San Carlos de Guatemala**

**Facultad de ingeniería**

**Escuela de ingeniería civil**

**Aplicación del manual de capacidad de carreteras (HCM)  
versión 2,000, para la evaluación del nivel de servicio de  
carreteras de dos carriles**

**Raúl Iván Palma Álvarez**

Asesorado por el Ing. Edgar Daniel De León Maldonado

Guatemala, marzo de 2006

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**APLICACIÓN DEL MANUAL DE CAPACIDAD DE  
CARRETERAS (HCM) VERSIÓN 2,000, PARA LA  
EVALUACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO DE CARRETERAS  
DE DOS CARRILES**

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**RAÚL IVÁN PALMA ÁLVAREZ**

ASESORADO POR EL ING. EDGAR DANIEL DE LEÓN MALDONADO  
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, MARZO DE 2006

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO: Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
VOCAL I:  
VOCAL II: Lic. Amahán Sánchez Álvarez  
VOCAL III: Ing. Julio David Galicia Celada  
VOCAL IV: Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz  
VOCAL V: Br. Elisa Yazminda Vides Leiva  
SECRETARIA: Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO: Ing. Sydney Alexander Samuels Milson  
EXAMINADOR: Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno  
EXAMINADOR: Ing. Edgar Enrique Gramajo Barrios  
EXAMINADOR: Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Saenz  
SECRETARIO: Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**Aplicación del manual de capacidad de carreteras (HCM)  
versión 2,000, para la evaluación del nivel de servicio de  
carreteras de dos carriles,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 18 de abril de 2005.

**Raúl Iván Palma Álvarez**

Guatemala, 10 de octubre de 2005

Ingeniero  
Rolando Vargas Oliva  
Jefe del Departamento de Transporte  
Escuela de Ingeniería Civil  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Vargas:

Me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado **APLICACIÓN DEL MANUAL DE CAPACIDAD DE CARRETERAS (HCM) VERSIÓN 2,000, PARA LA EVALUACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO DE CARRETERAS DE DOS CARRILES**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil **Raúl Iván Palma Álvarez**, quien contó con la asesoría del suscrito.

Considero que el trabajo desarrollado por el estudiante **Palma Álvarez**, satisface los requisitos exigidos, por lo cual recomiendo su aprobación.

Sin otro particular me suscribo.

Atentamente,

Ing. Edgar Daniel De León Maldonado  
Asesor

Guatemala, 18 de noviembre de 2005

Ingeniero  
Oswaldo Escobar  
Director de Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Escobar:

Me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado **APLICACIÓN DEL MANUAL DE CAPACIDAD DE CARRETERAS (HCM) VERSIÓN 2,000, PARA LA EVALUACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO DE CARRETERAS DE DOS CARRILES**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil **Raúl Iván Palma Álvarez**, quien contó con la asesoría del Ing. Edgar Daniel De León Maldonado.

Considero que el trabajo desarrollado por el estudiante **Palma Álvarez**, satisface los requisitos exigidos, por lo cual recomiendo su aprobación.

Sin otro particular me suscribo.

Atentamente,

Ing. Rolando Vargas Oliva  
Jefe del Departamento de Transporte  
Facultad de Ingeniería - USAC

## DEDICATORIA A:

Dios                      Por haberme dado la vida y la sabiduría para poder concluir con éxito mi carrera.

Mi madre                Margarita Álvarez  
Por el amor, apoyo y sacrificio brindado durante toda mi vida y mi carrera.

Mi padre                Raúl Iván Palma (†)

Mi esposa               Imelda Estela  
Por su paciencia, amor y apoyo brindado.

Mis hijas                Gabriela Margarita y Estefanía Isabel  
Con amor.

Mis hermanas          Celeste Hada Marina, Amelia Argentina, Geraldina Abigail, Valquiria Margarita.  
Con cariño y aprecio.

Toda mi familia en general.

Mis compañeros y amigos.

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	V
<b>ABREVIATURAS</b>	VII
<b>GLOSARIO</b>	IX
<b>OBJETIVOS</b>	XI
<b>ANTECEDENTES HISTÓRICOS</b>	XIII
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XV
<b>1. CARACTERÍSTICAS DE TRÁNSITO</b>	1
1.1. Volumen	1
1.2. Velocidad	3
1.2.1. Velocidad promedio de rodaje	3
1.2.2. Velocidad promedio de viaje	4
1.2.3. Velocidad media espacial	4
1.2.4. Velocidad media temporal	5
1.2.5. Velocidad de flujo libre	5
1.2.6. Velocidad percentil	5
1.3. Densidad	6
1.4. Relación entre los tres parámetros básicos	7
<b>2. CONCEPTOS DE CARRETERA</b>	9
2.1. Carreteras de dos carriles	9
2.2. Clasificación de las carretera de dos carriles	10
2.2.1. Clase I	10
2.2.2. Clase II	10



2.3.	Relaciones básicas	10
2.4.	Carriles de rebase	12
2.5.	Terreno nivelado	12
2.6.	Terreno ondulado	12
<b>3.</b>	<b>CAPACIDAD</b>	<b>13</b>
3.1.	Definición de Capacidad	13
3.2.	Valores de la Capacidad para condiciones ideales	14
3.3.	El radio v/c y su uso	15
<b>4.</b>	<b>NIVEL DE SERVICIO</b>	<b>17</b>
4.1.	Concepto del Nivel de Servicio	17
4.2.	Medida de efectividad	21
4.2.1.	Velocidad y tiempo de viaje	21
4.2.2.	Densidad	21
4.2.3.	Demora	21
4.3.	Razones de flujo de servicio y volúmenes de servicio	22
<b>5.</b>	<b>AJUSTE DE CAPACIDAD Y NIVEL DE RAZÓN DE FLUJO DE SERVICIO PARA REFLEJAR CONDICIONES PREVALECIENTES</b>	<b>23</b>
5.1.	Condiciones geométricas que afectan la capacidad y los niveles de flujo de servicio	23
5.1.1.	Alineamiento vertical y horizontal	23
5.1.2.	Ancho de carril y libertad lateral	24
5.1.3.	Porcentaje (%) de pendiente	24
5.2.	Condiciones prevalecientes del tránsito que afectan la Capacidad	25
5.2.1.	Distribución direccional	25
5.2.2.	Vehículos pesados en el tránsito	25

5.2.2.1.	Camiones	26
5.2.2.2.	Vehículos recreacionales	26
5.2.2.3.	Buses extraurbanos	26
5.2.2.4.	Buses locales del área	27
5.3.	Condiciones prevalecientes de control que afectan la capacidad	27
5.3.1.	Limites de velocidad	27
5.3.2.	Señales de tránsito	27
<b>6.</b>	<b>PROCEDIMIENTO Y EJEMPLO DE ANÁLISIS DEL NIVEL DE SERVICIO DE UNA CARRETERA DE DOS VÍAS, TRAMO AGUA CALIENTE – DESVÍO A SANARATE</b>	<b>29</b>
6.1.	Capacidad	29
6.2.	Nivel de servicio	29
6.3.	Determinando la velocidad de flujo libre (FFS)	31
6.3.1.	Medida de campo	31
6.3.2.	Estimando la FFS	32
6.4.	Determinando la demanda de razón de flujo	33
6.5.	Factor de ajuste para vehículos pesados	35
6.6.	Determinando la velocidad promedio de viaje	36
6.7.	Determinando el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo	38
6.8.	Determinando el LOS	40
6.9.	Otras medidas del desempeño del tránsito	41
6.10.	Interpolación lineal	42
6.11.	Ejemplo 1	44
6.12.	Ejemplo 2	47

<b>CONCLUSIONES</b>	51
<b>RECOMENDACIONES</b>	53
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	55

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1 Relación entre los tres parámetros básicos	7
2 Razón de flujo versus velocidad promedio de viaje	11
3 Razón de flujo versus % de tiempo utilizado en seguir	11
4 Vista típica de un carril de rebase	12
5 Nivel de servicio A	18
6 Nivel de servicio B	18
7 Nivel de servicio C	19
8 Nivel de servicio D	19
9 Nivel de servicio E	20
10 Nivel de servicio F	20
11 Nivel de servicio para flujo ininterrumpido	22
12 Factores para la interpolación lineal	43
13 Hoja de trabajo para segmento direccional en carretera de dos vías	46
14 Hoja de trabajo para segmento direccional en carretera de dos vías	49

### TABLAS

I Ejemplo de razón de flujo ( $v$ )	2
II La velocidad media temporal y la velocidad media espacial	6
III Criterio del LOS para carreteras de dos carriles Clase I	30
IV Criterio del LOS para carreteras de dos carriles de Clase I	30

V	Criterio del LOS para carreteras de dos carriles Clase II	31
VI	Ajuste debido al ancho de carril y al ancho de hombro ( $f_{LS}$ )	32
VII	Ajuste debido a la cantidad de puntos de acceso ( $f_A$ )	33
VIII	Factor de ajuste ( $f_G$ ) para determinar la velocidad sobre segmentos de dos vías y direccional.	34
IX	Factor de ajuste ( $f_G$ ) para determinar el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo sobre segmentos de dos vías y direccionales.	34
X	Equivalente del número de vehículos por camión y vehículo recreacional, para determinar la velocidad en segmentos de dos vías y direccional.	35
XI	Equivalente del número de vehículos por camión y vehículo recreacional, para determinar el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo en segmentos de dos vías y direccional.	36
XII	Ajuste ( $f_{np}$ ) para la velocidad promedio de viaje debido al porcentaje de zonas de "no rebasar" en segmento direccional.	37
XIII	Ajuste ( $f_{np}$ ) para el porcentaje de tiempo utilizado en seguir debido al porcentaje de zonas de "no rebasar" en segmento direccional.	39
XIV	Valores de los coeficientes utilizados en estimar BPTSF para segmento direccional.	40

## ABREVIATURAS

<b>ATS</b>	Velocidad promedio de viaje
<b>ATS<sub>d</sub></b>	Velocidad promedio de viaje direccional
<b>BFFS</b>	Velocidad base de flujo libre
<b>C</b>	Capacidad
<b>D</b>	Densidad
<b>D<sub>j</sub></b>	Densidad de embotellamiento
<b>D<sub>o</sub></b>	Densidad optima
<b>E<sub>R</sub></b>	Equivalente de número de vehículos por vehículo recreacional
<b>E<sub>T</sub></b>	Equivalente de número de vehículos por camión
<b>FHP</b>	Factor de hora pico
<b>FFS</b>	Velocidad de flujo libre
<b>FFS<sub>d</sub></b>	Velocidad de flujo libre direccional
<b>f<sub>HV</sub></b>	Factor de ajuste de vehículos pesados
<b>f<sub>A</sub></b>	Factor de ajuste para puntos de acceso
<b>f<sub>LS</sub></b>	Factor de ajuste debido al ancho de carril y al ancho de hombro
<b>f<sub>np</sub></b>	Factor de ajuste para porcentaje de zonas de “no rebasar”
<b>f<sub>G</sub></b>	Factor de ajuste debido al grado de inclinación
<b>HCM</b>	Highway Capacity Manual
<b>hr</b>	Hora
<b>hp</b>	Caballo de fuerza
<b>km</b>	Kilómetro
<b>LOS</b>	Nivel de servicio
<b>L</b>	Longitud de segmento de la carretera
<b>lb</b>	Libra

<b>m</b>	Metro
<b>MOE</b>	Medida de efectividad
<b>NCHRP</b>	National Cooperative Highway Research Program
<b>P<sub>T</sub></b>	Proporción de camiones en el tránsito
<b>P<sub>R</sub></b>	Proporción de vehículos recreacionales en el tránsito
<b>PTSF</b>	Porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo
<b>s</b>	Segundos
<b>S</b>	Velocidad promedio de viaje
<b>S<sub>MT</sub></b>	Velocidad media temporal
<b>S<sub>ME</sub></b>	Velocidad media espacial
<b>S<sub>FM</sub></b>	Velocidad principal de tránsito medida en campo
<b>S<sub>o</sub></b>	Velocidad crítica
<b>ta</b>	Tiempo promedio de viaje
<b>v</b>	Razón de flujo
<b>V</b>	Volumen horario
<b>V<sub>d</sub></b>	Volumen horario direccional
<b>V<sub>o</sub></b>	Volumen horario opuesto
<b>V<sub>m</sub></b>	Volumen máximo
<b>veh</b>	Vehículos

## GLOSARIO

<b>Confort</b>	Sinónimo a comodidad.
<b>Embotellamiento</b>	Período de tiempo en el cual los vehículos deben parar al no poder circular debido al demasiado tránsito vehicular, siendo cero la velocidad y el volumen.
<b>Flujo Ininterrumpido</b>	Circulación de vehículos en las carreteras donde no existen intersecciones con semáforos o con señales de alto.
<b>Hora Pico</b>	Hora en la cual el tránsito llega a su volumen más alto.
<b>Tránsito</b>	Circulación vehicular dentro de una carretera.
<b>Vehículo Recreacional</b>	Es aquel vehículo en el cual se hacen viajes familiares o de turismo, tal como las casas rodantes y los remolques.





## **OBJETIVOS**

### **GENERALES**

1. Ampliar el conocimiento de las técnicas de evaluación del Nivel de Servicio de Carreteras, como parte de la Ingeniería de Tránsito en Guatemala.
2. Aportar recursos de diseño a los cursos del Departamento de Transporte, especialmente para los cursos de Vías Terrestres 1 e Ingeniería de Tránsito.

### **ESPECÍFICOS**

1. Ampliar el conocimiento sobre los conceptos básicos de Ingeniería de Tránsito.
2. Introducir el concepto de capacidad, bajo los nuevos criterios del HCM 2,000.
3. Introducir el concepto de Nivel de Servicio, como una medida de la servicialidad de una carretera bajo distintas condiciones.
4. Proveer al estudiante de Ingeniería Civil, en el área de Transportes, la posibilidad de practicar el manejo y la aplicación del HCM 2,000.
5. Proveer una guía para determinar el Nivel de Servicio en una carretera de dos carriles.



## ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Se publicó la primera edición del HCM en 1950 por la Oficina de Caminos Públicos de los Estados Unidos como una guía al diseño y análisis operacional de las carreteras, siendo el primer documento en cuantificar el concepto de capacidad para medios de transporte. En 1965 El Consejo para la Investigación del Transporte TRB, /por sus siglas en ingles, *Transportation Research Boards*/, publicó la segunda edición, bajo la guía de su Comité de la Capacidad de Carreteras, fue la primera en definir el concepto de nivel de servicio que se ha vuelto la base para determinar la suficiencia de las facilidades de transporte desde la perspectiva de planificación, diseño y operación. La tercera edición, publicada por el TRB en 1985, reflejó más de dos décadas de investigación comprensiva conducida por una variedad de agencias bajo el patrocinio de varias organizaciones, principalmente, El Programa Nacional de Cooperativa de Investigación de Carreteras y la Administración de Carreteras Federales. Como un resultado continuo de investigación acerca de la capacidad, se puso al día la tercera edición del HCM en 1994 y 1997. La actualización de 1997 incluye revisiones extensivas.

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

Para producir el HCM 2000, el Comité sobre Carreteras Capacidad y Calidad de Servicio del TRB desarrolló un programa integral de investigación. La investigación se llevó a cabo por los esfuerzos del Programa de Cooperativa Nacional de Investigación para Carreteras NCHRP, /por sus siglas en ingles, *National Cooperative Highway Research Program*/, y el Programa de Cooperativa de Investigación del Tránsito. Toda la investigación resultante contribuye para que el HCM 2000 esté sujeto a revisiones iterativas e interactivas. Cuando un proyecto consolidado de investigación es completado, el grupo que guía su desarrollo, /por ejemplo, un panel del NCHRP/, revisa primero los resultados, si es aceptado por el grupo, la investigación es, entonces, presentada para consideración por uno de los 12 subcomités de trabajo del Comité sobre Carreteras, Capacidad y Calidad de Servicio. El subcomité, incluyendo varios miembros del comité, así como otros profesionales activos, proveen sus recomendaciones al comité completo. La aprobación final de cada capítulo del HCM 2000 termina en el Comité sobre Carreteras Capacidad y Calidad de Servicio, compuesto de 30 miembros representando la comunidad de investigación, agencias gubernamentales y la industria privada.

## INTRODUCCIÓN

El Manual de Capacidad de Carreteras HCM, /por sus siglas en ingles, *Highway Capacity Manual*, proporciona prácticas e investigaciones del transporte con un sistema consistente de técnicas para la evaluación de la capacidad y determinar el nivel de servicio en carreteras y calles. Sus objetivos incluyen proporcionar un juego lógico de métodos para evaluar las facilidades del transporte, asegurando que los practicantes tengan un acceso a los resultados de la investigación actualizada. Esta nueva edición, HCM 2000, presenta la mejor técnica disponible para determinar la capacidad y el nivel de servicio para las facilidades de transporte al comienzo del nuevo milenio. Sin embargo, este manual no establece una norma legal para diseño o construcción de carreteras. El manual es la fuente primaria documental que refleja hallazgos de la investigación en capacidad y calidad de servicio y presenta métodos para analizar los funcionamientos de las calles, carreteras, el peatón y la bicicleta. Durante 1990 el análisis de la capacidad y el nivel de servicio generaron interés en una escala internacional. Por consiguiente, el incremento de la atención y el esfuerzo fueron enfocados en incorporar en el HCM resultados de investigaciones y procedimientos de propuestas de varios países alrededor del mundo.

# 1. CARACTERÍSTICAS DE TRÁNSITO

Tres parámetros básicos pueden ser utilizados para describir el tránsito en cualquier carretera: a) Volumen o razón de flujo, b) velocidad y c) densidad. El Manual de Capacidad de Carreteras 2,000 /HCM 2,000, por sus siglas en inglés, *Highway Capacity Manual*, divide el tránsito en dos situaciones, a) el flujo ininterrumpido y b) el flujo interrumpido. Para éste análisis, se usará como base el flujo ininterrumpido, ya que el flujo interrumpido es usado para el tránsito urbano.

## 1.1. Volumen

El volumen de tránsito es definido como el número de vehículos que pasan en un determinado punto durante un intervalo de tiempo. La unidad para el volumen es simplemente “vehículos” o “vehículos por unidad de tiempo”.

Un intervalo común de tiempo para el volumen es un día, descrito como vehículos por día. Los volúmenes diarios frecuentemente son usados como base para la planificación de las carreteras.

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

Para períodos menores a una hora, generalmente el volumen se expresa como un equivalente horario de las razones de flujo. Por ejemplo, 1,000 vehículos observados en un período de 15 minutos se puede expresar como:

$$1,000 \text{ veh} / 0.25 \text{ hr} = 4,000 \text{ veh/hr}$$

La razón de flujo ( $v$ ) es 4,000 veh/hr en un intervalo de 15 minutos, en el cual fueron observados 1,000 vehículos. Hay que tomar en cuenta que el volumen horario no es 4,000 veh/hr, como se aprecia en el siguiente ejemplo:

**Tabla I. Ejemplo de razón de flujo ( $v$ )**

Intervalo de tiempo	Vehículos	Razón de flujo (veh/hr) (veh / intervalo de tiempo)
5:00 – 5:15 P.M.	1,000	4,000
5:15 – 5:30 P.M.	1,100	4,400
5:30 – 5:45 P.M.	1,200	4,800
5:45 – 6:00 P.M.	900	3,600
5:00 – 6:00 P.M.	4,200 veh/hr	= volumen horario

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

$$\text{FHP} = \text{volumen horario} / \text{máxima razón de flujo}$$

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

$$\text{FHP} = V / (4 \times V_{15}) \quad (1-1)$$



Donde:  $V$  = Volumen horario (veh/hr)

$V_{15}$  = Volumen máximo en 15 minutos de la hora (veh)

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

$$FHP = 4,200 / (4 \times 1,200) = 0.875$$

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

Según el HCM 2,000, el valor del FHP para áreas rurales es de 0.88 y el valor para áreas urbanas es de 0.92. Regularmente para el análisis de carreteras se usa el valor de 0.90, cuando no se dispone de la información de campo para obtener el valor del FHP.

## 1.2. Velocidad

La velocidad es definida como una razón de movimiento, en distancia por unidad de tiempo, generalmente como kilómetros por hora (km/h). El HCM 2,000 usa la velocidad promedio de viaje como la medida de velocidad, ya que es fácil de calcular observando cada vehículo dentro del tránsito y es la medida estadística más relevante en relación con otras variables. La velocidad promedio de viaje se calcula dividiendo el largo de la carretera, sección o segmento bajo consideración entre el tiempo promedio de viaje de los vehículos que pasan por dicho segmento. La ecuación para el cálculo es como sigue:

$$S = L / t_a \quad (1-2)$$

Donde:  $S$  = Velocidad promedio de viaje (km/hr)

$L$  = Longitud del segmento de la carretera (km)

$t_a$  = Tiempo promedio de viaje en el segmento (hr)

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

### **1.2.1. Velocidad promedio de rodaje**

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

### **1.2.2. Velocidad promedio de viaje**

Es una medida de tránsito basada en la observación del tiempo de viaje en una longitud dada de una carretera. Esto es la longitud del segmento dividido entre el tiempo promedio de viaje de los vehículos que pasan por dicho segmento, incluyendo todos los tiempos de demora por paradas.

### **1.2.3. Velocidad media espacial**

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

#### **1.2.4. Velocidad media temporal**

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

#### **1.2.5. Velocidad de flujo libre**

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

#### **1.2.6. Velocidad percentil**

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

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

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

**Tabla II. La velocidad media temporal y la velocidad media espacial**

Vehículo No.	Distancia (m)	Tiempo de viaje (seg.)	Velocidad (m/seg.)
1	1,000	18.0	1,000/18 = 55.6
2	1,000	20.0	1,000/20 = 50.0
3	1,000	22.0	1,000/22 = 45.5
4	1,000	19.0	1,000/29 = 52.6
5	1,000	20.0	1,000/20 = 50.0
6	1,000	20.0	1,000/20 = 50.0
Totales	6,000	119.0	303.7
Promedios	119.0/6 = 19.8		303.7/6 = 50.6
SMT = 50.6 m/seg.			
SME = 1,000/19.8 ó 6,000/119 = 50.4 m/seg.			

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

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

### 1.3. Densidad

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

La densidad se puede calcular como sigue:

$$D = v / S \quad (1-3)$$

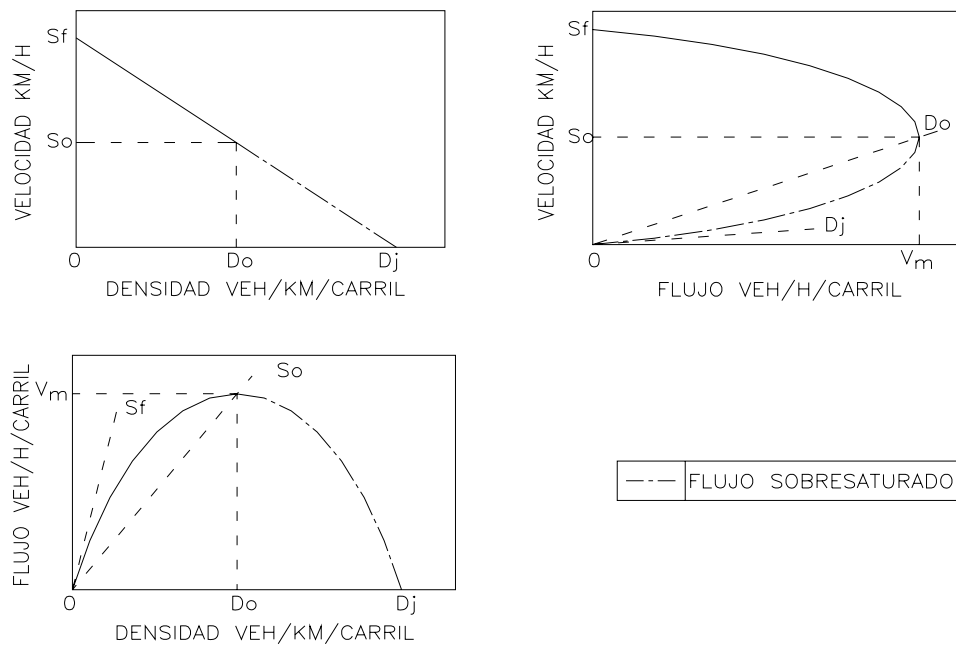
Donde:  $v$  = razón de flujo (veh/hr)  
 $S$  = Velocidad promedio de viaje (km/hr)  
 $D$  = Densidad (veh/km)

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

#### 1.4. Relación entre los tres parámetros básicos

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

**Figura 1. Relación entre los tres parámetros básicos**



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

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

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

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

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

## **2. CONCEPTOS DE CARRETERA**

### **2.1. Carreteras de dos carriles**

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

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

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

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

## **2.2. Clasificación de las carretera de dos carriles**

### **2.2.1. Clase I**

Estas son carreteras en donde los conductores esperan viajar a una velocidad relativamente alta. Son las principales arterias que conectan los mayores generadores de tránsito. Este tipo de carretera la mayoría de veces sirve para hacer viajes largos. Entre estas están las de tipo CA. Para el cálculo del LOS para este tipo de clasificación se usa el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo y la velocidad promedio de viaje.

### **2.2.2. Clase II**

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

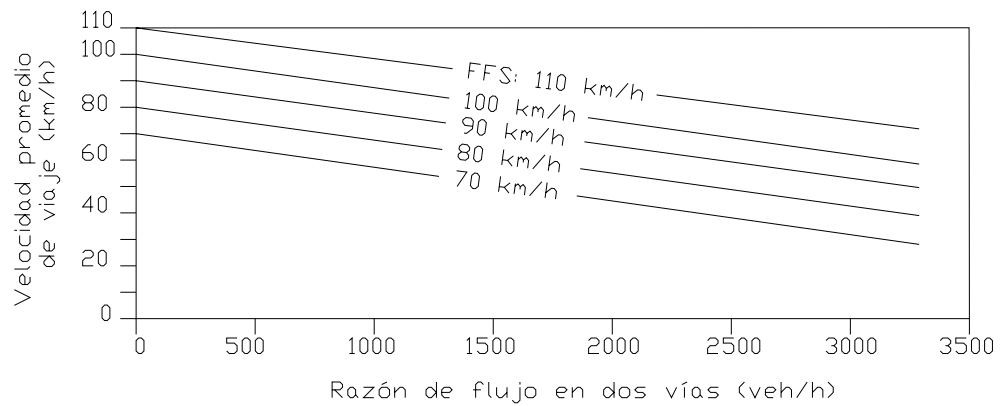
## **2.3. Relaciones básicas**

Las siguientes gráficas muestran la relación entre la razón de flujo, velocidad promedio de viaje y el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un

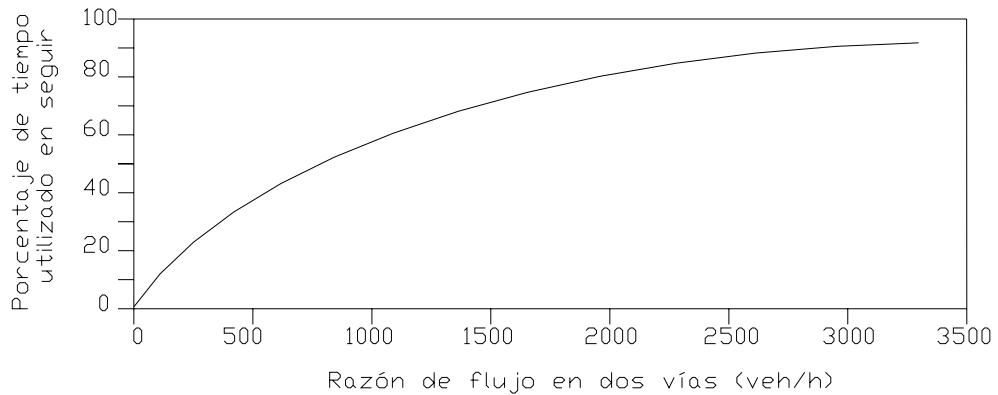


vehículo; para condiciones ideales de una carretera de dos vías en un tramo largo.

**Figura 2. Razón de flujo versus velocidad promedio de viaje**



**Figura 3. Razón de flujo versus % de tiempo utilizado en seguir**

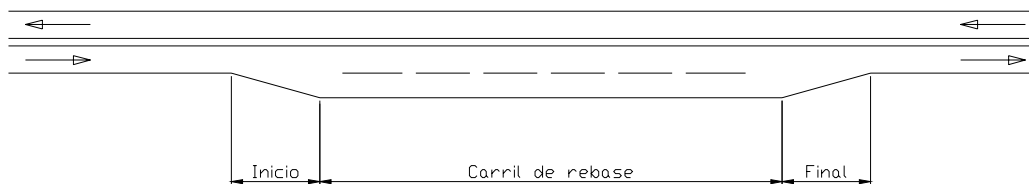


El análisis para carreteras de dos vías puede ser hecho con los dos carriles en distinta dirección cada uno o con un sólo carril en una sola dirección. El análisis de un sólo carril es apropiado cuando existen carriles de rebase.

## 2.4. Carriles de rebase

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

**Figura 4. Vista típica de un carril de rebase**



## 2.5. Terreno nivelado

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

## 2.6. Terreno ondulado

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

### **3. CAPACIDAD**

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

#### **3.1. Definición de Capacidad**

La capacidad es el máximo número de vehículos que pueden circular en un punto dado durante un período específico de tiempo, bajo condiciones prevalecientes de la carretera y el tránsito. Asumiendo que no hay influencia del tránsito más adelante, dentro del punto en análisis.

Las condiciones prevalecientes de la carretera se refieren a características geométricas como el número y uso de carriles, ancho de hombro, configuración de carriles y el alineamiento horizontal y vertical.

El flujo máximo del tránsito de una carretera es su capacidad, que ocurre cuando se alcanza la densidad crítica y el tránsito se mueve a la velocidad crítica. Esto regularmente ocurre en la hora pico del volumen del tránsito, la hora pico es el período más crítico.

La capacidad frecuentemente se mide en vehículos por hora (veh/hr).

### **3.2. Valores de la capacidad para condiciones ideales**

Para carreteras de dos vías, los valores básicos de la capacidad bajo condiciones ideales son descritos como sigue:

Condiciones ideales:

- Flujo ininterrumpido.
- 3.60 metros de ancho de carril.
- 1.80 metros de distancia mínima lateral (ancho de hombro)
- Sin vehículos pesados.
- Velocidad de diseño  $\geq 90$  Km./hr.
- Carencia de restricciones en la distancia de visibilidad de rebase.
- Sin interferencia de paso de peatones.
- En ambas direcciones el tránsito debe ser igual (50/50).

La capacidad de las carreteras de dos carriles, según el HCM 2,000 es de 2800 (veh/hr/carril) en ambas direcciones.

En algunos casos el rango en la dirección de tránsito se considera con una relación de 70/30, incluso en rutas recreacionales, la distribución puede ser tan alta como de 80/20 o mas durante un día festivo u otros períodos pico.

El tránsito puede operar idealmente solo si el ancho de los carriles y de los hombros tienen los valores descritos arriba, de no ser así la velocidad se reduce y aumenta el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo.

### 3.3. El radio v/c y su uso

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

$$v/c = \text{razón de flujo} / \text{capacidad} \quad (3-1)$$

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



## 4. NIVEL DE SERVICIO

El HCM 2,000 establece seis niveles de servicio LOS (por sus siglas en inglés, *level of service*), identificados subjetivamente por las letras desde la A hasta la F, donde al nivel de servicio A se logra un flujo vehicular totalmente libre, mientras que al nivel F se alcanza el flujo forzado que refleja condiciones de utilización a plena capacidad de la vía.

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

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

### 4.1. Concepto del nivel de servicio

Un nivel de servicio es una designación que describe un rango operativo sobre un tipo particular de una carretera.

Las condiciones generales de operación para los niveles de servicio (del A al F), se describen de la siguiente manera:

- A Flujo libre de vehículos, bajos volúmenes de tránsito y relativamente altas velocidades de operación (90 km/hr o más). La demora de los conductores no es mayor al 35% del total del tiempo de viaje y la razón de flujo total para ambas direcciones es de 490 veh/hr.

**Figura 5. Nivel de servicio A**



- B Flujo libre razonable, pero la velocidad empieza a restringirse por las condiciones del tránsito (80 km/hr). La demora de los conductores no es mayor al 50% del total del tiempo de viaje y la razón de flujo total para ambas direcciones es de 780 veh/hr.

**Figura 6. Nivel de servicio B**





- C Se mantiene en zona estable, pero muchos conductores empiezan a sentir restricciones en su libertad para seleccionar su propia velocidad (70 Km./hr). La demora de los conductores alcanza el 65% del total del tiempo de viaje y la razón de flujo total para ambas direcciones es de 1,190 veh/hr.

**Figura 7. Nivel de servicio C**



- D Acercándose a flujo inestable, los conductores tienen poca libertad para maniobrar. La velocidad se mantiene alrededor de los 60 Km./hr. La demora de los conductores es cercana al 80% del total del tiempo de viaje y la razón de flujo total para ambas direcciones es de 1,830 veh/hr.

**Figura 8. Nivel de servicio D**



- E Flujo inestable, suceden pequeños congestionamientos. La velocidad cae hasta 40 Km./hr. La demora de los conductores es mayor al 80% del total del tiempo de viaje.

**Figura 9. Nivel de servicio E**



- F Flujo forzado, condiciones de “pare y siga”, congestión de tránsito.

**Figura 10. Nivel de servicio F**



## **4.2. Medida de efectividad**

Para cada tipo de carretera, los niveles de servicio son definidos en términos de una medida de efectividad MOE (por sus siglas en inglés, *measure of effectiveness*). Una MOE es un parámetro que describe las operaciones de tránsito en términos discernibles para el conductor. El HCM 2,000 utiliza tres medidas primarias que son: Velocidad y tiempo de viaje, densidad y demora.

### **4.2.1. Velocidad y tiempo de viaje**

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

### **4.2.2. Densidad**

La densidad describe la proximidad de otros vehículos dentro del tránsito. Es una medida sustituta para el confort del conductor y para la habilidad de maniobrar dentro del tránsito.

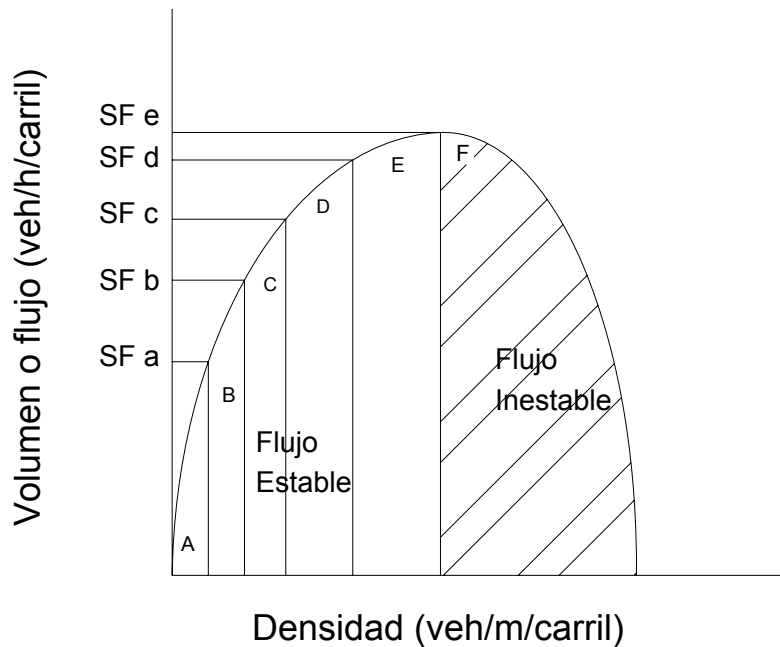
### **4.2.3. Demora**

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

### 4.3. Razones de flujo de servicio y volúmenes de servicio

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

**Figura 11. Nivel de servicio para flujo ininterrumpido**



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

## **5. AJUSTE DE CAPACIDAD Y NIVEL DE RAZÓN DE FLUJO DE SERVICIO PARA REFLEJAR CONDICIONES PREVALECIENTES**

### **5.1. Condiciones geométricas que afectan la capacidad y los niveles de flujo de servicio**

#### **5.1.1. Alineamiento vertical y horizontal**

El alineamiento básico de la carretera, generalmente tiene un impacto en su capacidad o razón de flujo de servicio. Para carreteras de dos carriles, el alineamiento directamente controla las oportunidades de rebasar y puede tener severo impacto en la capacidad.

En las versiones anteriores del HCM se utilizaba la velocidad de diseño como una medida para calcular el alineamiento, pero era difícil aplicar esta medida en las secciones de las carreteras con elementos de alineamiento horizontal y vertical. El HCM 2000 utiliza la velocidad de flujo libre como una medida sustitutiva para el alineamiento. La velocidad no solo refleja el alineamiento vertical y horizontal, sino que también los elementos que cuantifican la dificultad en el tránsito.

La capacidad tiende a declinar cuando decrece la velocidad de flujo libre. Dado que la razón de flujo es el producto de la velocidad y la densidad, es fácil observar como éstas guían al decline de la capacidad.

### **5.1.2. Ancho de carril y libertad lateral**

Los carriles angostos forzan a los conductores a manejar lateralmente cerca uno de otro, tanto como les sea confortable. Los conductores compensan el manejar confortable reduciendo la velocidad. Esto hace que la capacidad de la carretera decline.

Las restricciones laterales al conducir tienen efectos similares. Los conductores manejan temerosos cerca de una barrera o talud lateral dentro de la carretera que están lo suficientemente cerca para imponer un riesgo obvio al conductor. Al suceder esto, los conductores se mueven cerca a los vehículos del carril lateral, la compensación normal es manejar mas despacio o dejar largas distancias entre los vehículos del mismo carril.

### **5.1.3. Porcentaje (%) de pendiente**

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

## **5.2. Condiciones prevaletientes del tránsito que afectan la capacidad**

### **5.2.1. Distribución direccional**

En carreteras de dos carriles donde las maniobras de rebase en una dirección deben ocupar el carril en el flujo opuesto, el flujo de una dirección tiene impacto sobre el flujo en la dirección contraria. La capacidad ideal de 2,800 veh/hr (en ambas direcciones) esta basada sobre la distribución de 50%-50% del tránsito en las dos direcciones. Para cualquier otra distribución direccional, la capacidad decrece, llegando a un valor de 2,000 veh/hr cuando el tránsito esta al 100% en una dirección.

### **5.2.2. Vehículos pesados en el tránsito**

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

- a) Los vehículos pesados son más largos que un vehículo normal.
- b) Los vehículos pesados tienen características de operación generalmente inferiores que los vehículos normales.

La segunda es la más importante, como se mencionó en el inciso anterior, los vehículos pesados son incapaces de mantener la misma velocidad que un vehículo normal en un tramo inclinado de la carretera.

Los vehículos pesados son colocados en cuatro categorías distintas, como sigue:

### **5.2.2.1. Camiones**

Son vehículos ocupados para transportar materiales, hacer fletes, trasladar maquinaria, etc. Hay una variedad de formas y longitudes, desde los camiones con dos ejes hasta los camiones de doble remolque. El promedio de relación entre peso y caballaje esta dentro del rango de 125-150 lb./hp hasta 300-400 lb./hp, para los camiones mas pesados.

### **5.2.2.2. Vehículos recreacionales**

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

### **5.2.2.3. Buses extraurbanos**

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



#### **5.2.2.4. Buses locales del área**

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

### **5.3. Condiciones prevalecientes de control que afectan la capacidad**

#### **5.3.1. Limites de velocidad**

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

#### **5.3.2. 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.



## **6. PROCEDIMIENTO Y EJEMPLO DE ANÁLISIS DEL NIVEL DE SERVICIO DE UNA CARRETERA DE DOS VÍAS, TRAMO AGUA CALIENTE – DESVIO A SANARATE.**

### **6.1. Capacidad**

Según el HCM 2,000, la capacidad máxima de una carretera de dos vías es de 1,700 veh/hr en cada dirección y de 3,200 en ambas direcciones combinadas, cuando el tramo es largo. Esto quiere decir que un volumen mayor de vehículos al de los datos antes descritos, representa un LOS tipo F en la carretera, para lo cual no se necesita hacer ningún tipo de análisis. Para otros niveles de servicio se utiliza el análisis que a continuación se presenta.

### **6.2. Nivel de servicio**

La tablas III, IV y V muestran los máximos valores del porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo y la velocidad promedio de viaje para cada LOS de las carreteras de dos carriles clase I y clase II.

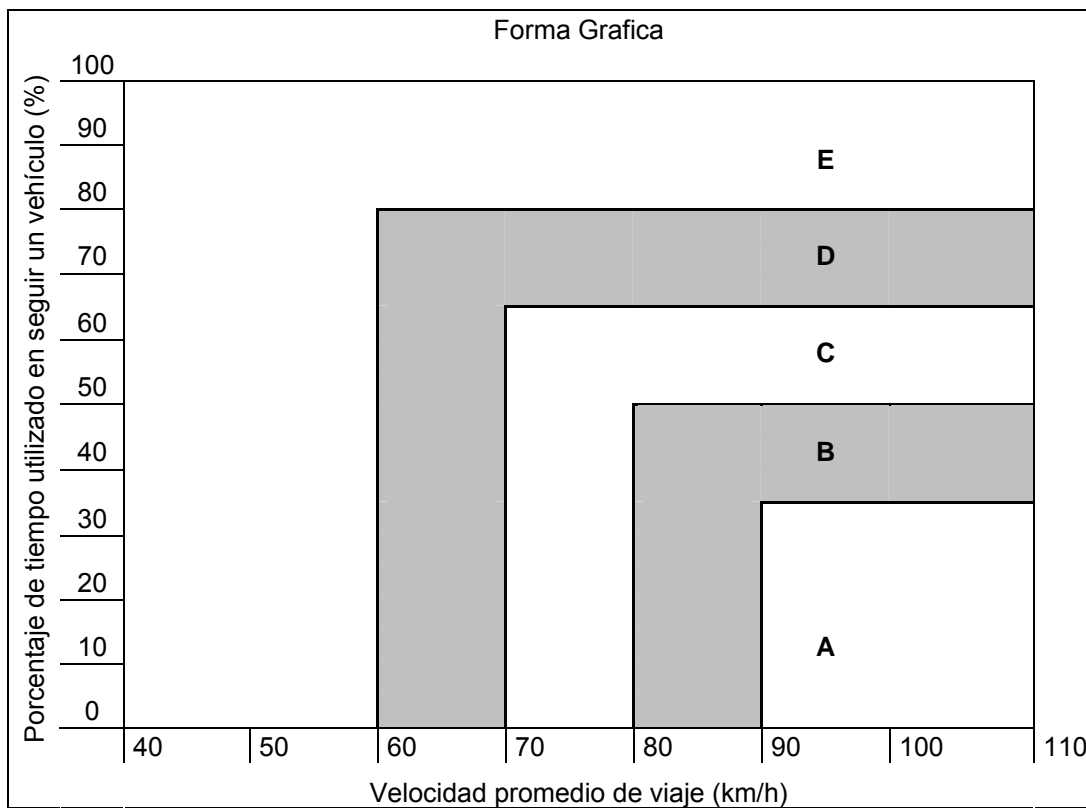
**Tabla III. Criterio del LOS para carreteras de dos carriles Clase I**

LOS	% de tiempo utilizado en seguir un vehículo	Velocidad Promedio de viaje (km/h)
A	≤ 35	> 90
B	> 35 – 50	> 80 - 90
C	> 50 – 65	> 70 - 80
D	> 65 – 80	> 60 - 70
E	> 80	≤ 60

Nota:

LOS F aplica cuando la razón de flujo excede la capacidad del segmento

**Tabla IV. Criterio del LOS para carreteras de dos carriles de Clase I**



**Tabla V. Criterio del LOS para carreteras de dos carriles Clase II**

LOS	% de tiempo utilizado en seguir un vehículo
A	≤ 40
B	> 40 - 55
C	> 55 - 70
D	> 70 - 85
E	> 85

Nota:  
LOS F aplica cuando la razón de flujo excede la capacidad del segmento

### **6.3. Determinando la velocidad de flujo libre (FFS)**

#### **6.3.1. Medida de campo**

La FFS puede es calculada en campo según la siguiente formula. El análisis se debe hacer cuando el flujo vehicular sea bajo, pero mayor que 200 veh/hr.

$$FFS = S_{FM} + 0.0125 * (V_f / f_{HV}) \quad (6-1)$$

Donde:

FFS = Velocidad estimada de flujo libre (km/h)

$S_{FM}$  = Velocidad principal de tránsito medida en campo (km/h)

$V_f$  = Observación del volumen en el período en el cual se obtuvo la medición de campo (veh/h)

$f_{HV}$  = Factor de ajuste de vehículos pesados, determinado como se muestra en la ecuación 6-4

### 6.3.2. Estimando la FFS

La FFS puede ser estimada indirectamente si la medida de campo no se puede realizar por cualquier circunstancia. La FFS para carreteras de dos vías tiene un rango entre 70 y 110 km/hr. Para estimar la FFS, el analista debe caracterizar las condiciones de operación de la carretera en términos de una velocidad base de flujo libre BFFS (por sus siglas en ingles, *base free flow speed*) que refleje el carácter del tránsito y el alineamiento de la carretera. La BFFS se puede estimar del conocimiento local de la operación de la carretera, de carreteras similares, de la velocidad de diseño de la carretera y de los límites de velocidad. Media vez es estimada la BFFS, ésta es multiplicada por varios factores para determinar la FFS, como sigue:

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A \quad (6-2)$$

Donde:

FFS = Velocidad estimada de flujo libre (km/h)

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

$f_{LS}$  = Ajuste debido al ancho del carril y al ancho del hombro, según tabla VI

$f_A$  = Factor de ajuste para puntos de acceso, según tabla VII

**Tabla VI. Ajuste debido al ancho de carril y al ancho de hombro ( $f_{LS}$ )**

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

**Tabla VII. Ajuste debido a la cantidad de puntos de acceso ( $f_A$ )**

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

Si la carretera contiene segmentos con curvas horizontales pronunciadas, en donde la velocidad de diseño sea baja comparada con el resto del segmento, es aconsejable calcular las velocidades de las curvas y luego promediar la velocidad de todo el segmento a analizar.

#### **6.4. Determinando la demanda de razón de flujo**

Tres ajustes deben ser hechos a la demanda del volumen horario, estos ajustes son el FHP, el factor de ajuste debido al porcentaje de pendiente de la carretera y el factor de ajuste debido a los vehículos pesados. Estos ajustes son aplicados de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$v_i = V_i / (FHP * f_G * f_{HV}) \quad (6-3)$$

Donde:

$v_i$  = Equivalente de vehículos para la razón de flujo en un período pico de 15 minutos en la dirección de análisis (veh/h)

$V_i$  = Demanda del volumen para la hora pico en la dirección de análisis (veh/h)

FHP = Factor de hora pico

$f_G$  = Factor de ajuste debido al grado de inclinación, según las tablas VIII y IX

$f_{HV}$  = Factor de ajuste debido a los vehículos pesados, según ecuación 6-4

**Tabla VIII. Factor de ajuste ( $f_G$ ) para determinar la velocidad sobre segmentos de dos vías y direccionales**

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

**Tabla IX. Factor de ajuste ( $f_G$ ) para determinar el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo sobre segmentos de dos vías y direccionales**

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



## 6.5. Factor de ajuste para vehículos pesados

El factor de ajuste para vehículos pesados se da conforme la siguiente ecuación:

$$f_{HV} = 1 / [1 + P_T * (E_T - 1) + P_R * (E_R - 1)] \quad (6-4)$$

Donde:

$P_T$  = Proporción de camiones en el tránsito, expresado en decimal

$P_R$  = Proporción de vehículos recreacionales en el tránsito, expresado en decimal

$E_T$  = Equivalente del número de vehículos por camión

$E_R$  = Equivalente del número de vehículos por vehículo recreacional

Las tablas X y XI muestran los factores de ajuste  $E_T$  y  $E_R$ , para determinar la velocidad y el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo. En este concepto, los autobuses son incluidos como camiones.

**Tabla X. Equivalente del número de vehículos por camión y vehículo recreacional, para determinar la velocidad en segmentos de dos vías y direccional**

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

**Tabla XI. Equivalente del numero de vehículos por camión y vehículo recreacional, para determinar el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo en segmentos de dos vías y direccional**

Tipo de Vehículo	Rango de flujo de dos vías (veh/h)	Rango de flujo direccional (veh/h)	Tipo de terreno	
			Nivelado	Ondulado
E <sub>T</sub>	0 - 600	0 - 300	1.1	1.8
	> 600 -1200	> 300 -600	1.1	1.5
	> 1200	> 600	1.0	1.0
E <sub>R</sub>	0 - 600	0 - 300	1.0	1.0
	> 600 -1200	> 300 -600	1.0	1.0
	> 1200	> 600	1.0	1.0

### 6.6. Determinando la velocidad promedio de viaje

La velocidad promedio de viaje es estimada de la FFS, de la demanda de razón de flujo, la razón de flujo en dirección opuesta y de un factor de ajuste para el porcentaje de las zonas donde no se puede rebasar en la dirección de análisis. La velocidad promedio de viaje es estimada de la siguiente formula.

$$ATS_d = FFS_d - 0.0125 * (v_d + v_o) - f_{np} \quad (6-5)$$

Donde:

- ATS<sub>d</sub> = Velocidad promedio de viaje en la dirección de análisis (km/h)
- FFS<sub>d</sub> = Velocidad de flujo libre en la dirección de análisis (km/h)
- v<sub>d</sub> = Razón de flujo equivalente de vehículos livianos para un periodo pico de 15 minutos en la dirección de análisis (veh/h)
- v<sub>o</sub> = Razón de flujo equivalente de vehículos livianos para un periodo pico de 15 minutos en la dirección opuesta (veh/h)
- f<sub>np</sub> = Ajuste para porcentaje de zonas de “no rebasar” en la dirección de análisis, tabla XII

Los valores v<sub>d</sub> y v<sub>o</sub> son determinados según el valor v<sub>i</sub> de la ecuación 6-3, descrita anteriormente.

**Tabla XII. Ajuste ( $f_{np}$ ) para la velocidad promedio de viaje debido al porcentaje de zonas de "no rebasar" en segmento direccional**

Demanda de razón de flujo opuesto, $v_o$ (veh/h)	Zonas de "no rebasar" (%)				
	≤20	40	60	80	100
FFS = 110 km/h					
≤ 100	1,7	3,5	4,5	4,8	5,0
200	3,5	5,3	6,2	6,5	6,8
400	2,6	3,7	4,4	4,5	4,7
600	2,2	2,4	2,8	3,1	3,3
800	1,1	1,6	2,0	2,2	2,4
1000	1,0	1,3	1,7	1,8	1,9
1200	0,9	1,3	1,5	1,6	1,7
1400	0,9	1,2	1,4	1,4	1,5
≥ 1600	0,9	1,1	1,2	1,2	1,3
FFS = 100 km/h					
≤ 100	1,2	2,7	4,0	4,5	4,7
200	3,0	4,6	5,9	6,4	6,7
400	2,3	3,3	4,1	4,4	4,6
600	1,8	2,1	2,6	3,0	3,2
800	0,9	1,4	1,8	2,1	2,3
1000	0,9	1,1	1,5	1,7	1,9
1200	0,8	1,1	1,4	1,5	1,7
1400	0,8	1,0	1,3	1,3	1,4
≥ 1600	0,8	1,0	1,1	1,1	1,2
FFS = 90 km/h					
≤ 100	0,8	1,9	3,6	4,2	4,4
200	2,4	3,9	5,6	6,3	6,6
400	2,1	3,0	3,8	4,3	4,5
600	1,4	1,8	2,5	2,9	3,1
800	0,8	1,1	1,7	2,0	2,2
1000	0,8	0,9	1,3	1,5	1,8
1200	0,8	0,9	1,2	1,4	1,6
1400	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4
≥ 1600	0,8	0,8	0,9	0,9	1,1
FFS = 80 km/h					
≤ 100	0,3	1,1	3,1	3,9	4,1
200	1,9	3,2	5,3	6,2	6,5
400	1,8	2,6	3,5	4,2	4,4
600	1,0	1,5	2,3	2,8	3,0
800	0,6	0,9	1,5	1,9	2,1
1000	0,6	0,7	1,1	1,4	1,8
1200	0,6	0,7	1,1	1,3	1,6
1400	0,6	0,7	1,0	1,1	1,3
≥ 1600	0,6	0,7	0,8	0,8	1,0
FFS = 70 km/h					
≤ 100	0,1	0,6	2,7	3,6	3,8
200	1,5	2,6	5,0	6,1	6,4
400	1,5	0,8	3,2	4,1	4,3
600	0,7	0,5	2,1	2,7	2,9
800	0,5	0,5	1,3	1,8	2,0
1000	0,5	0,5	1,0	1,3	1,8
1200	0,5	0,5	1,0	1,2	1,6
1400	0,5	0,5	1,0	1,0	1,2
≥ 1600	0,5	0,5	0,7	0,7	0,9

## 6.7. Determinando el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo

Este porcentaje es estimado de la demanda de razón de flujo, la razón de flujo opuesto y un factor de ajuste para el porcentaje de zonas donde no se puede rebasar en la dirección de análisis. El valor se puede determinar de la siguiente ecuación:

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np} \quad (6-6)$$

Donde:

$PTSF_d$  = Porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo en la dirección de análisis

$BPTSF_d$  = Porcentaje base de tiempo utilizado en seguir un vehículo en la dirección de análisis, según ecuación 6-7

$f_{np}$  = Ajuste para el porcentaje de zonas de "no rebasar" en la dirección de análisis, tabla XIII

La siguiente ecuación determina el valor del  $BPTSF_d$

$$BPTSF_d = 100 * (1 - e^{-a * V_d^b}) \quad (6-7)$$

Los valores de los coeficientes  $a$  y  $b$  de la ecuación 6-7, son determinados de la razón de flujo en la dirección opuesta de viaje, según tabla XIV.

<b>Tabla XIII. Ajuste (<math>f_{np}</math>) para el porcentaje de tiempo utilizado en seguir debido al porcentaje de zonas de "no rebasar" en segmento direccional</b>					
Demanda de razón de flujo opuesto, $v_o$ (veh/h)	Zonas de "no rebasar" (%)				
	≤20	40	60	80	100
FFS = 110 km/h					
≤ 100	10,1	17,2	20,2	21,0	21,8
200	12,4	19,0	22,7	23,8	24,8
400	9,0	12,3	14,1	14,4	15,4
600	5,3	7,7	9,2	9,7	10,4
800	3,0	4,6	5,7	6,2	6,7
1000	1,8	2,9	3,7	4,1	4,4
1200	1,3	2,0	2,6	2,9	3,1
1400	0,9	1,4	1,7	1,9	2,1
≥ 1600	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4
FFS = 100 km/h					
≤ 100	8,4	14,9	20,9	22,8	26,6
200	11,5	18,2	24,1	26,2	29,7
400	8,6	12,1	14,8	15,9	18,1
600	5,1	7,5	9,6	10,6	12,1
800	2,8	4,5	5,9	6,7	7,7
1000	1,6	2,8	3,7	4,3	4,9
1200	1,2	1,9	2,6	3,0	3,4
1400	0,8	1,3	1,7	2,0	2,3
≥ 1600	0,6	0,9	1,1	1,2	1,5
FFS = 90 km/h					
≤ 100	6,7	12,7	21,7	24,5	31,3
200	10,5	17,5	25,4	28,6	34,7
400	8,3	11,8	15,5	17,5	20,7
600	4,9	7,3	10,0	11,5	13,9
800	2,7	4,3	6,1	7,2	8,8
1000	1,5	2,7	3,8	4,5	5,4
1200	1,0	1,8	2,6	3,1	3,8
1400	0,7	1,2	1,7	2,0	2,4
≥ 1600	0,6	0,9	1,2	1,3	1,5
FFS = 80 km/h					
≤ 100	5,0	10,4	22,4	26,3	36,1
200	9,6	16,7	26,8	31,0	39,6
400	7,9	11,6	16,2	19,0	23,4
600	4,7	7,1	10,4	12,4	15,6
800	2,5	4,2	6,3	7,7	9,8
1000	1,3	2,6	3,8	4,7	5,9
1200	0,9	1,7	2,6	3,2	4,1
1400	0,6	1,1	1,7	2,1	2,6
≥ 1600	0,5	0,9	1,2	1,3	1,6
FFS = 70 km/h					
≤ 100	3,7	8,5	23,2	28,2	41,6
200	8,7	16,0	28,2	33,6	45,2
400	7,5	11,4	16,9	20,7	26,4
600	4,5	6,9	10,8	13,4	17,6
800	2,3	4,1	6,5	8,2	11,0
1000	1,2	2,5	3,8	4,9	6,4
1200	0,8	1,6	2,6	3,3	4,5
1400	0,5	1,0	1,7	2,2	2,8
≥ 1600	0,4	0,9	1,2	1,3	1,7

**Tabla XIV. Valores de los coeficientes utilizados en estimar BPTSF para segmento direccional**

Demanda de razón de flujo opuesta, $v_o$ (veh/h)	a	b
$\leq 200$	-0.013	0.668
400	-0.057	0.479
600	-0.100	0.413
800	-0.173	0.349
1,000	-0.320	0.276
1,200	-0.430	0.242
1,400	-0.522	0.225
$\geq 1600$	-0.665	0.199

### 6.8. Determinando el LOS

El primer paso en determinar el LOS es comparar el equivalente de la razón de flujo de vehículos livianos ( $V_p$ ) con la capacidad máxima de la carretera, 3,200 veh/hr. Si  $V_p$  es mayor que la capacidad, entonces la carretera esta sobresaturada y el LOS es F. Similarmente ocurre para cada dirección, si el  $V_d$  es mayor que 1,700 veh/hr, entonces el LOS es F. En el LOS F, el porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo es cercano al 100% y la velocidad es bastante variable y difícil de estimar.

Cuando un segmento de una carretera clase I tiene una demanda menor que la capacidad, el nivel de servicio es determinado de la tabla IX, según el valor que le corresponda en base a la velocidad promedio de viaje y al porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo. Cuando un segmento de una carretera clase II tiene una demanda menor que la capacidad, el nivel de servicio es determinado de la tabla V, según el valor que le corresponda en base porcentaje de tiempo gastado en seguir un vehículo.

## 6.9. Otra medidas del desempeño del tránsito

El radio v/c para un segmento largo de dos vías puede ser calculado de la siguiente ecuación:

$$v/c = v_i / C \quad (6-8)$$

Donde:

v/c = radio volumen capacidad

C = Capacidad para el segmento de dos vías, normalmente 3,200 veh/hr para segmentos de dos vías y 1,700 veh/hr para un segmento direccional

$v_i$  = Equivalente de vehículos livianos en el flujo para un periodo pico de 15 minutos (veh/h)

El viaje total en un segmento largo de dos vías durante el periodo pico de 15 minutos puede ser calculado como sigue:

$$V_{kmT_{15}} = 0.25 * (V_i / PHF) * L_t \quad (6-9)$$

Donde:

$V_{kmT_{15}}$  = Viaje total en el segmento en análisis durante un periodo pico de 15 minutos (veh-km)

$L_t$  = Longitud total del segmento en análisis (km)

El viaje total en un segmento largo de dos vías durante el periodo de una hora puede ser calculado como sigue:

$$VkmT_{60} = V_i * L_t \quad (6-10)$$

Donde:

$VkmT_{60}$  = Viaje total en el segmento en análisis durante la hora pico  
(veh-km)

El tiempo total de viaje para todos los vehículos durante el período pico de 15 minutos puede ser calculado como sigue:

$$TT_{15} = VkmT_{15} / ATS \quad (6-11)$$

Donde:

$TT_{15}$  = Tiempo total de viaje para todos los vehículos en el segmento analizado durante un periodo pico de 15 minutos (veh-h)

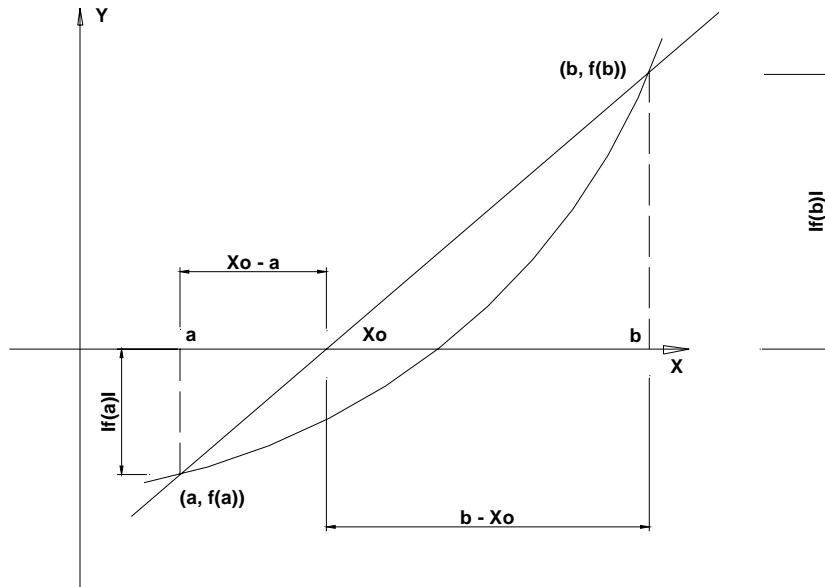
### **6.10. Interpolación lineal**

Para los valores del ejemplo que no correspondan con los datos exactos de las tablas, se tendrá que interpolar entre los mismos para obtener el valor real requerido; para lo cual se utilizará la fórmula de la interpolación lineal según los valores que correspondan para cada caso.

$$X_o = (a * f(b) - b * f(a)) / (f(b) - f(a)) \quad (6-12)$$



Figura 12. Factores para la interpolación lineal



## 6.11. Ejemplo I

El tramo a analizar es de Agua Caliente hacia el desvío a Sanarate, ruta CA-9 norte (clase I) del kilómetro 29 al kilómetro 52.

El conteo de vehículos realizado es tipo B direccional de 12 horas, el conteo total de vehículos en la dirección de análisis es de 3,338 veh y en la dirección opuesta es de 2,681 veh (Datos obtenidos de la Dirección General de Caminos, del Departamento de Ingeniería de Tránsito de la División de planificación y estudios)

Para pasar el conteo total de vehículos a un volumen de 24 horas, se multiplica por 1.27 (factor según estudio del Anillo Metropolitano), para encontrar el volumen de la hora pico se multiplica el valor por 0.09 (factor del Departamento de Tránsito de DGC).

Entonces:

$$3,338 \times 1.27 \times 0.09 = 382 \text{ veh/h (en dirección de análisis)}$$

$$2,681 \times 1.27 \times 0.09 = 307 \text{ veh/h (en dirección opuesta)}$$

Vehículos pesados	=	1,118 veh
Vehículos recreacionales	=	67 veh
Porcentaje de vehículos pesados (1,118 / 3,338)	=	33.50 %
Porcentaje de vehículos recreacionales (67 / 3,338)	=	2.00 %
Ancho de carril	=	3.40 metros
Ancho de hombro	=	0.20 metros
Longitud del tramo	=	23.00 km
Puntos de acceso por kilómetro	=	1 acceso/km

Porcentaje de áreas de no rebasar	=	52.00 %
Factor de hora pico (FHP)	=	0.90

Los valores anteriores son ingresados en la siguiente hoja de trabajo, con estos valores se van obteniendo los demás resultados según las tablas y ecuaciones de este capítulo. Los valores que no coinciden con las tablas habrá que interpolarlos.

Figura 13. HOJA DE TRABAJO PARA SEGMENTO DIRECCIONAL EN CARRETERA DE DOS VÍAS

Información General				Información del sitio			
Analista	Raúl Iván Palma Álvarez			Carretera / Dirección de viaje	CA-9 / Norte		
Compañía	USAC			De / Hacia	Agua Caliente / Desvío Sanarate		
Fecha	Septiembre 2005			Jurisdicción			
Período de tiempo de análisis				Año de análisis	2005		
<input checked="" type="checkbox"/> Operacional (LOS)	<input type="checkbox"/> Diseño (vp)			<input type="checkbox"/> Planeamiento (LOS)	<input type="checkbox"/> Planeamiento (vp)		
<b>Datos</b>							
				<input checked="" type="checkbox"/> Carretera Clase I <input type="checkbox"/> Carretera Clase I Terreno <input type="checkbox"/> Plano <input checked="" type="checkbox"/> Ondulado Pendiente      Long. _____ km + / - _____ %			
				Norte Factor de hora pico, FHP      0,90 % Camiones y buses, P <sub>T</sub> 33,50 % % de vehículos recreacionales, P <sub>R</sub> 2,00 % % de zonas de no rebasar      52,00 % Puntos de acceso por kilómetro      1 /km			
Ancho de hombro      0.20 m							
Ancho de carril      3.40 m							
Ancho de carril      3.40 m							
Ancho de hombro      0.20 m							
Longitud del segmento, L <sub>t</sub> 23,00 km							
Volumen dirección de análisis, V <sub>d</sub> 382 veh/h				Volumen en dirección opuesta, V <sub>o</sub> 307 veh/h			
<b>Velocidad Promedio de Viaje</b>							
				Dirección de análisis (d)		Dirección Opuesta (o)	
Equivalente de vehículos por camión, E <sub>T</sub> (tabla 6-8)				1,9		1,9	
Equivalente de vehículos por vehículo recreacional, E <sub>R</sub> (tabla 6-8)				1,1		1,1	
Factor ajuste para vehículos pesados, f <sub>HV</sub> = 1/(1+P <sub>T</sub> *(E <sub>T</sub> -1)+P <sub>R</sub> (E <sub>R</sub> -1))				0,767		0,767	
Factor de ajuste de pendiente, <sup>1</sup> f <sub>g</sub> (tabla 6-6)				0,93		0,93	
Razón de flujo direccional, <sup>2</sup> (veh/h) v <sub>f</sub> = V <sub>d</sub> / (FHP*f <sub>HV</sub> *f <sub>g</sub> )				595		478	
Velocidad de flujo libre medida en campo				Velocidad de flujo libre estimada			
Velocidad medida en campo, <sup>3</sup> S <sub>FM</sub> km/h				Velocidad de flujo libre base, <sup>3</sup> BFFS      90 km/h			
Volumen observado, <sup>3</sup> v <sub>f</sub> veh/h				Ajuste ancho de carril y de hombro, <sup>3</sup> f <sub>LS</sub> (tabla 6-4)      7,5 km/h			
Velocidad de flujo libre, FFS <sub>d</sub> km/h				Ajuste por puntos de acceso, <sup>3</sup> f <sub>a</sub> (tabla 6-5)      0,67 km/h			
FFS <sub>d</sub> = S <sub>FM</sub> + 0.0125 * (V <sub>d</sub> / f <sub>HV</sub> )				Velocidad de flujo libre, FFS <sub>d</sub> 81,83 km/h			
				FFS <sub>d</sub> = BFFS - f <sub>LS</sub> - f <sub>a</sub>			
Ajuste para zonas de no rebasar, f <sub>z</sub> (km/h) (Tabla 6-10)				2,61			
Velocidad promedio de viaje, (km/h) ATS <sub>d</sub> = FFS <sub>d</sub> - 0.0125 * (v <sub>d</sub> + v <sub>o</sub> ) - f <sub>z</sub>				65,81			
<b>Porcentaje de tiempo utilizado en seguir</b>							
				Dirección de análisis (d)		Dirección Opuesta (o)	
Equivalente de vehículos por camión, E <sub>T</sub> (tabla 6-9)				1,5		1,5	
Equivalente de vehículos por vehículo recreacional, E <sub>R</sub> (tabla 6-9)				1,0		1,0	
Factor ajuste para vehículos pesados, f <sub>HV</sub> = 1/(1+P <sub>T</sub> *(E <sub>T</sub> -1)+P <sub>R</sub> (E <sub>R</sub> -1))				0,856		0,856	
Factor de ajuste de pendiente, <sup>1</sup> f <sub>g</sub> (tabla 6-7)				0,94		0,94	
Razón de flujo direccional, <sup>2</sup> (veh/h) v <sub>f</sub> = V <sub>d</sub> / (FHP*f <sub>HV</sub> *f <sub>g</sub> )				528		424	
Porcentaje base de tiempo utilizado en seguir, <sup>4</sup> BPTS <sub>d</sub> (%)				69,62			
BPTS <sub>d</sub> = 100 (1 - e <sup>-v<sub>f</sub></sup> )							
Ajuste para zonas de no rebasar, f <sub>z</sub> (Tabla 6-11)				13,47			
Porcentaje de tiempo siguiendo, (%) PTS <sub>d</sub> = BPTS <sub>d</sub> + f <sub>z</sub>				83,09			
<b>Nivel de Servicio y otras medidas de desempeño</b>							
Nivel de Servicio, LOS (Tabla 6-2 o 6-3)				E			
Volumen para el radio de capacidad, w <sub>c</sub> = v <sub>d</sub> / 1700				0,35			
Pico de 15-min vehículo-kilómetros de viaje, VkmT <sub>15</sub> (veh-Km.)				2441			
VkmT <sub>15</sub> = 0.25 * L <sub>t</sub> * (V <sub>d</sub> / PHF)							
Hora pico vehículo-kilómetros de viaje, (veh-Km.) VkmT <sub>ad</sub> = V <sub>d</sub> * L <sub>t</sub>				8786			
Pico de 15-min del tiempo total de viaje, (veh-h) TT <sub>15</sub> = VkmT <sub>15</sub> / ATS <sub>d</sub>				37			
<b>Notas</b>							
1. Si la carretera es un segmento largo u ondulado, f <sub>g</sub> =1.0							
2. Si v <sub>f</sub> (v <sub>d</sub> o v <sub>o</sub> ) > 1,700 veh/h, termina el análisis, el LOS es F							
3. Únicamente para análisis direccional							
4. Tabla 6-12 provee los factores a y b							

## 6.12. Ejemplo 2

El tramo a analizar es del desvío de Sanarate hacia Agua Caliente, ruta CA-9 norte (clase I) del kilómetro 52 al kilómetro 23.

El conteo de vehículos realizado es tipo B direccional de 12 horas, el conteo total de vehículos en la dirección de análisis es de 2,681 veh y en la dirección opuesta es de 3,338 veh (Datos obtenidos de la Dirección General de Caminos, del Departamento de Ingeniería de Tránsito (División de planificación y estudios))

Para pasar el conteo total de vehículos a un volumen de 24 horas, se multiplica por 1.27 (factor según estudio del Anillo Metropolitano), para encontrar el volumen de la hora pico se multiplica el valor por 0.09 (factor del Departamento de Tránsito de DGC).

Entonces:

$$2,681 \times 1.27 \times 0.09 = 307 \text{ veh/h (en dirección de análisis)}$$

$$3,338 \times 1.27 \times 0.09 = 382 \text{ veh/h (en dirección opuesta)}$$

Vehículos pesados	=	1,073 veh
Vehículos recreacionales	=	47 veh
Porcentaje de vehículos pesados (1,073 / 2,681)	=	40.00 %
Porcentaje de vehículos recreacionales (47 / 2,681)	=	1.80 %
Ancho de carril	=	3.40 metros
Ancho de hombro	=	0.20 metros
Longitud del tramo	=	23.00 km
Puntos de acceso por kilómetro	=	1 acceso/km

Porcentaje de áreas de no rebasar = 75.00 %  
Factor de hora pico (FHP) = 0.90

Los valores anteriores son ingresados en la siguiente hoja de trabajo, con estos valores se van obteniendo los demás resultados según las tablas y ecuaciones de este capítulo. Los valores que no coinciden con las tablas habrá que interpolarlos.

Figura 14. HOJA DE TRABAJO PARA SEGMENTO DIRECCIONAL EN CARRETERA DE DOS VÍAS

Información General				Información del sitio			
Analista	Raúl Iván Palma Álvarez			Carretera / Dirección de viaje	CA-9 / Norte		
Compañía	USAC			De / Hacia	Desvío Sanarate / Agua Caliente		
Fecha	Septiembre 2005			Jurisdicción			
Período de tiempo de análisis				Año de análisis	2005		
<input checked="" type="checkbox"/> Operacional (LOS)	<input type="checkbox"/> Diseño (vp)	<input type="checkbox"/> Planeamiento (LOS)	<input type="checkbox"/> Planeamiento (vp)				
<b>Datos</b>							
				<input checked="" type="checkbox"/> Carretera Clase I	<input type="checkbox"/> Carretera Clase I		
				Terreno	<input type="checkbox"/> Plano	<input checked="" type="checkbox"/> Ondulado	
				Pendiente	Long. _____ km +/- _____ %		
				Factor de hora pico, FHP	0,90		
				% Camiones y buses, P <sub>T</sub>	40,00 %		
				% de vehículos recreacionales, P <sub>R</sub>	1,80 %		
				% de zonas de no rebasar	75,00 %		
				Puntos de acceso por kilómetro	1 /km		
Volumen dirección de análisis, V <sub>d</sub>	307	veh/h	Volumen en dirección opuesta, V <sub>o</sub>	382	veh/h		
<b>Velocidad Promedio de Viaje</b>							
				Dirección de análisis (d)	Dirección Opuesta (o)		
Equivalente de vehículos por camión, E <sub>T</sub> (tabla 6-8)				1,9	1,9		
Equivalente de vehículos por vehículo recreacional, E <sub>R</sub> (tabla 6-8)				1,1	1,1		
Factor ajuste para vehículos pesados, f <sub>HV</sub> = 1/(1+P <sub>T</sub> *(E <sub>T</sub> -1)+P <sub>R</sub> (E <sub>R</sub> -1))				0,734	0,734		
Factor de ajuste de pendiente, <sup>1</sup> f <sub>g</sub> (tabla 6-6)				0,93	0,93		
Razón de flujo direccional, <sup>2</sup> (veh/h) v <sub>F</sub> = V <sub>d</sub> / (FHP*f <sub>HV</sub> *f <sub>g</sub> )				500	622		
Velocidad de flujo libre medida en campo				Velocidad de flujo libre estimada			
Velocidad medida en campo, <sup>3</sup> S <sub>FM</sub>	km/h			Velocidad de flujo libre base, <sup>3</sup> BFFS	90 km/h		
Volumen observado, <sup>3</sup> V <sub>F</sub>	veh/h			Ajuste ancho de carril y de hombro, <sup>3</sup> f <sub>LS</sub> (tabla 6-4)	7,5 km/h		
Velocidad de flujo libre, FFS <sub>d</sub>	km/h			Ajuste por puntos de acceso, <sup>3</sup> f <sub>A</sub> (tabla 6-5)	0,67 km/h		
FFS <sub>d</sub> = S <sub>FM</sub> + 0.0125 * (V <sub>F</sub> /f <sub>HV</sub> )				Velocidad de flujo libre, FFS <sub>d</sub>	81,83 km/h		
				FFS <sub>d</sub> = BFFS - f <sub>LS</sub> - f <sub>A</sub>			
Ajuste para zonas de no rebasar, f <sub>zp</sub> (km/h) (Tabla 6-10)				2,6			
Velocidad promedio de viaje, (km/h) ATS <sub>d</sub> = FFS <sub>d</sub> - 0.0125 * (v <sub>d</sub> +v <sub>o</sub> ) - f <sub>zp</sub>				65,21			
<b>Porcentaje de tiempo utilizado en seguir</b>							
				Dirección de análisis (d)	Dirección Opuesta (o)		
Equivalente de vehículos por camión, E <sub>T</sub> (tabla 6-9)				1,5	1,0		
Equivalente de vehículos por vehículo recreacional, E <sub>R</sub> (tabla 6-9)				1,0	1,0		
Factor ajuste para vehículos pesados, f <sub>HV</sub> = 1/(1+P <sub>T</sub> *(E <sub>T</sub> -1)+P <sub>R</sub> (E <sub>R</sub> -1))				0,833	1,0		
Factor de ajuste de pendiente, <sup>1</sup> f <sub>g</sub> (tabla 6-7)				0,94	1,0		
Razón de flujo direccional, <sup>2</sup> (veh/h) v <sub>F</sub> = V <sub>d</sub> / (FHP*f <sub>HV</sub> *f <sub>g</sub> )				436	424		
Porcentaje base de tiempo utilizado en seguir, <sup>4</sup> BPTSF <sub>d</sub> (%)				65,85			
BPTSF <sub>d</sub> = 100 (1 - e <sup>-av<sub>F</sub></sup> )							
Ajuste para zonas de no rebasar, f <sub>zp</sub> (Tabla 6-11)				11,26			
Porcentaje de tiempo siguiendo, (%) PTSF <sub>d</sub> = BPTSF <sub>d</sub> + f <sub>zp</sub>				77,11			
<b>Nivel de Servicio y otras medidas de desempeño</b>							
Nivel de Servicio, LOS (Tabla 6-2 o 6-3)				D			
Volumen para el radio de capacidad, w <sub>c</sub> = v <sub>d</sub> / 1700				0,294			
Pico de 15-min vehículo-kilómetros de viaje, VkmT <sub>15</sub> (veh-Km.)				1961			
VkmT <sub>15</sub> = 0.25 * L <sub>t</sub> * (V <sub>d</sub> / PHF)							
Hora pico vehículo-kilómetros de viaje, (veh-Km.) VkmT <sub>60</sub> = V <sub>d</sub> * L <sub>t</sub>				7061			
Pico de 15-min del tiempo total de viaje, (veh-h) TT <sub>15</sub> = VkmT <sub>15</sub> / ATS <sub>d</sub>				30			
<b>Notas</b>							
1. Si la carretera es un segmento largo u ondulado, f <sub>g</sub> =1.0							
2. Si v <sub>d</sub> (v <sub>d</sub> o v <sub>o</sub> ) > 1,700 veh/h, termina el análisis, el LOS es F							
3. Únicamente para análisis direccional							
4. Tabla 6-12 provee los factores a y b							





## CONCLUSIONES

1. Para los análisis operacionales en las carreteras se debe usar la hora pico como base del análisis, ya que, es la hora en la que la razón de flujo es más alta, siendo el período más crítico; además se debe tomar en cuenta la velocidad promedio de viaje como la velocidad de análisis.
2. El porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo y la velocidad promedio de viaje, son las unidades que definen el nivel de servicio en una carretera.
3. Para que la capacidad de una carretera no se vea afectada, se debe tomar en cuenta para el diseño de carreteras que los hombros y los carriles deben ser bastante anchos, para que los conductores manejen con más libertad, evitando así demoras en el viaje.

4. Las condiciones geométricas de la carretera afectan el nivel de servicio de la misma, pues, si en la mayoría del recorrido hay zonas de no rebasar y, en algunos tramos, la pendiente es bastante pronunciada, la demora se incrementa, aumentando el tiempo de viaje.
  
5. Si el flujo vehicular en una carretera es bajo pero el flujo de vehículos pesados es bastante alto, arriba del 30 %, el nivel de servicio de una carretera se ve afectado debido a que se incrementa la demora y baja la velocidad promedio de viaje.

## RECOMENDACIONES

1. En áreas donde la topografía del terreno lo permite, se debe ampliar el ancho del hombro, ya que, en todo el recorrido del tramo carretero éste es nulo; dicha ampliación permitiría más confort al conductor y por lo tanto disminuye la demora.
2. Debido al Tratado de Libre Comercio (TLC) y al Plan Puebla Panamá (PPP) firmado por las autoridades del Gobierno de Guatemala, se prevé aumento en las importaciones, lo cual afecta directamente a la red vial del país y sobre todo a este tramo de estudio, pues, es un acceso directo a la ciudad, al sur y occidente del país, proveniente de Puerto Barrios. Esto implica aumento del transporte pesado, por lo que el nivel de servicio podría llegar a un nivel F, por lo que se debe tomar en consideración la ampliación de la carretera de dos carriles, a una carretera de cuatro carriles. La ampliación a cuatro carriles daría más fluidez al tránsito, evitando demoras en el viaje. Otra razón para la ampliación es el simple hecho de observar las zonas de no rebasar, que están sobre el 50% de la longitud del tramo, al ampliar la carretera no se perdería tiempo en ir atrás de un vehículo lento en el tránsito para tratar de rebasarlo, evitando así largas filas en el tránsito.



## BIBLIOGRAFÍA

1. **HCM 2,000**, soportado por el Comité Ejecutivo 2,000 de la TRB (*Transportation Research Board*).
2. *William R. McShane, Roger P. Roess, Elena S. Prassas. **Traffic Engineering***. Segunda edición en idioma inglés, *McGraw Hill* 1999. pp. 206-216, 309-333.
3. Julio Ruiz Tejada. **Estudio de la capacidad de carreteras de dos carriles y su aplicación en Guatemala**. Tesis Ingeniería Civil Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1975. pp. 1-69.
4. Manual Centroamericano SIECA. 2-14 – 2-20.
5. *Edwards y Penney. **Cálculo y Geometría Analítica***, Segunda edición, *Prentice Hall* 1987, página 162.