



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  
MULTICARRILES**

Guillermo Augusto Ordóñez Moss  
Asesorado por el Ing. Edgar Daniel de León Maldonado

Guatemala, agosto de 2009

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  
MULTICARRILES**

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**GUILLERMO AUGUSTO ORDOÑEZ MOSS**

ASESORADO POR EL ING. EDGAR DANIEL DE LEÓN  
MALDONADO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2009

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



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I:	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II:	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III:	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV:	Br. Milton De León Bran
VOCAL V:	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA:	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR:	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR:	Inga. Carmen Marina Mérida Alva
EXAMINADOR:	Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
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 multicarriles,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha de marzo de 2,007.



**Guillermo Augusto Ordóñez Moss**

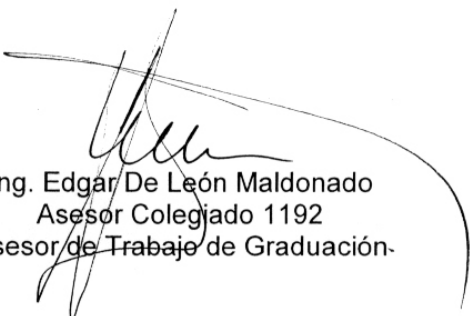
Guatemala, Febrero de 2009

Ingeniero  
Sydney Alexander Samuels Milson  
Dirección Escuela de Ingeniería Civil  
Presente.

Estimado Ingeniero Samuels:

Por este medio tengo el gusto de saludarlo y hacerle saber que he revisado el trabajo de graduación APLICACIÓN DEL MANUAL DE CAPACIDAD DE CARRETERAS (HCM) VERSIÓN 2,000, PARA LA EVALUACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO DE CARRETERAS MULTICARRILES, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Guillermo Augusto Ordóñez Moss, quien contó con la asesoría del suscrito.

Sin otro particular me suscribo de usted, atentamente.



Ing. Edgar De León Maldonado  
Asesor Colegiado 1192  
Asesor de Trabajo de Graduación

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



Guatemala,  
6 de agosto de 2009

FACULTAD DE INGENIERIA

Ingeniero  
Sydney Alexander Samuels Milson  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Samuels.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **APLICACIÓN DEL MANUAL DE CAPACIDAD DE CARRETERAS (HCM) VERSIÓN 2,000, PARA LA EVALUACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO DE CARRETERAS MULTICARRILES**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Guillermo Augusto Ordóñez Moss, quien contó con la asesoría del Ing. Edgar Daniel de León Maldonado.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Fernando Amilcar Boiton Velásquez  
Coordinador del Área de Topografía y Transporte



FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO  
DE  
TRANSPORTES  
USAC

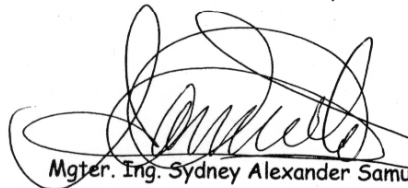
/bbdeb.


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Edgar Daniel de León Maldonado y del Coordinador del Área de Topografía y Transportes, Ing. Fernando Amilcar Boiton Velásquez, al trabajo de graduación del estudiante Guillermo Augusto Ordóñez Moss, titulado APLICACIÓN DEL MANUAL DE CAPACIDAD DE CARRETERAS (HCM) VERSIÓN 2,000, PARA LA EVALUACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO DE CARRETERAS MULTICARRILES, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Mgter. Ing. Sydney Alexander Samuels



Guatemala, agosto 2009

/bbdeb.

Universidad de San Carlos  
de Guatemala




Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.302.2009

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **APLICACIÓN DEL MANUAL DE CAPACIDAD DE CARRETERAS (HCM) VERSIÓN 2,000, PARA LA EVALUACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO DE CARRETERAS MULTICARRILES**, presentado por el estudiante universitario **Guillermo Augusto Ordóñez Moss**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, agosto de 2009

/gdech



## **AGRADECIMIENTOS A:**

**DIOS**                    Por guiar mi camino, darme sabiduría y perseverancia para lograr alcanzar esta importante meta en mi vida.

**MIS PADRES**        Guillermo Ordóñez Marcucci y Mercedes Moss de Ordóñez, por ser los pilares más importantes en este logro y apoyarme a lo largo de toda mi carrera. Y por siempre estar en las buenas y malas en éste largo camino.

**MIS HIJOS**            Gracias Guillermo José y Nathalia Andreé por ser mis razones principales para llegar a la meta y culminar mi carrera.

**MI FAMILIA**        Por estar siempre integrada apoyándome.

**MI NOVIA**            Por tu gran apoyo emocional en la recta final.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE ABREVIATURAS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
<b>1. CARACTERÍSTICAS DE TRÁNSITO</b>	<b>1</b>
1.1. Velocidad	1
1.1.1. Velocidad promedio de rodaje	2
1.1.2. Velocidad promedio de viaje	2
1.1.3. Velocidad media espacial	2
1.1.4. Velocidad media temporal	2
1.1.5. Velocidad de flujo libre	2
1.1.6. Velocidad percentil	3
1.2. Densidad	4
1.3. Volumen	4
1.3.1 El Tránsito de la Hora Pico o de Punta	5
1.4. Relación entre los tres parámetros básicos	7
<b>2. CONCEPTOS DE CARRETERA</b>	<b>9</b>
2.1. Carreteras multicarriles	9
2.2. Clasificación de las carretera multicarriles	10
2.3. Terreno nivelado	11
2.4. Terreno montañoso	11
2.5. Terreno ondulado	12
<b>3. CAPACIDAD</b>	<b>13</b>

3.1.	Definición de capacidad	13
3.2.	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	18
4.2.	Medida de efectividad	20
4.2.1.	Velocidad y tiempo de viaje	22
4.2.2.	Densidad	22
4.2.3.	Demora	22
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>25</b>
5.1.	Condiciones geométricas que afectan la capacidad y los niveles de flujo de servicio	25
5.1.1.	Alineamiento vertical y horizontal	25
5.1.2.	Ancho de carril y libertad lateral	25
5.1.3.	Porcentaje (%) de pendiente	26
5.2.	Condiciones prevalecientes del tránsito que afectan la Capacidad	26
5.2.1.	Vehículos pesados en el tránsito	26
5.2.1.1.	Vehículos recreacionales	27
5.2.1.2.	Camiones	27
5.2.1.3.	Buses locales del área	27
5.2.1.4.	Buses extraurbanos	28
5.3.	Condiciones prevalecientes de control que afectan la capacidad	28

5.3.1. Señales de tránsito	28
5.3.2. Límites de velocidad	28
<b>6. PROCEDIMIENTO Y EJEMPLO DE ANÁLISIS DEL NIVEL DE SERVICIO DE UNA CARRETERA MULTICARRILES, TRAMO PALÍN – ESCUINTLA</b>	29
6.1. Descripción del tramo	29
6.2. Cálculo del nivel de servicio	30
6.2.1. Nivel de servicio	30
6.2.2. Tránsito clasificado	31
6.2.3. Factor Direccional (F.D)	32
6.2.4. Cálculo del tránsito estandarizado	32
6.2.5. Condiciones geométricas para un Subtramo en evaluación	35
6.2.6. Cálculo de capacidad por sentido	36
6.2.7. Cálculo de la relación v/c	37
6.2.8. Condiciones de velocidad de operación siniestral	40
<b>CONCLUSIONES</b>	45
<b>RECOMENDACIONES</b>	47
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	49
<b>APÉNDICE</b>	51



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1	Relación entre los tres parámetros básicos	7
2	Nivel de servicio A	17
3	Nivel de servicio B	18
4	Nivel de servicio C	18
5	Nivel de servicio D	19
6	Nivel de servicio E	19
7	Nivel de servicio F	20
8	Nivel de servicio para flujo ininterrumpido	22
9	Tramo carretero Palín- Escuintla	27
10	Velocidades en el carril izquierdo donde la velocidad límite Máxima es de 80 k/h	40
11	Velocidades en el carril derecho donde la velocidad límite Máxima es de 60 k/h	40
12	Siniestros Autopista Palín- Escuintla	41

### TABLAS

I	Volúmenes de tránsito diario o TPDA	4
II	Conteos visuales, estructura de la composición clasificada del tránsito (ejemplo)	29
III	Proyecciones para 20 años de tránsito estandarizado para la hora pico (vehículos livianos por sentido por hora)	32,33
IV	Proyección índice de congestión	36
V	Criterios para el LOS	37,38
VI	Resultados de la velocidad por tipo de vehículo promedio	39



## LISTA DE ABREVIATURAS

HCM	Highway Capacity Manual
S	Velocidad promedio de viaje
L	Longitud de segmento de la carretera
ta	Tiempo promedio de viaje en el segmento
Sr	Velocidad de rodaje
Se	Velocidad media espacial
St	Velocidad media temporal
FFS	Velocidad de flujo libre
Sp	Velocidad percentil
TPDA	Tráfico promedio diario anual
D	Densidad
V	Razón de flujo
FHP	Factor de hora pico
Dj	Densidad de embotellamiento
Do	Densidad crítica
Vm	Máximo volumen
v/c	Radio de proporción de flujo
LOS	Nivel de servicio
VS <sub>i</sub>	Volumen de servicio para LOS <sub>i</sub>
SF <sub>i</sub>	Razón de flujo de servicio para LOS <sub>i</sub>
FHP	Factor de hora pico
Lb/hp	Relación entre peso y caballaje de un vehículo
FD	Factor direccional
Et	Factor de equivalencia de camiones
Eb	Factor de equivalencia de buses





## GLOSARIO

<b>Capacidad</b>	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.
<b>Confort</b>	Sinónimo a comodidad.
<b>Congestionamiento</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>Densidad Crítica (Do)</b>	Ésta se alcanza cuando el flujo es el máximo del tránsito de una carretera, es decir su capacidad.
<b>Facilidad</b>	Toda infraestructura diferente a la carretera que le presta un servicio complementario a la misma.
<b>Factor de hora pico</b>	La relación entre el volumen horario y la máxima razón de flujo se define como el factor de hora pico (FHP)

<b>Flujo ininterrumpido</b>	Circulación de vehículos en las carreteras donde no existen intersecciones con semáforos o con señales de alto.
<b>Flujo interrumpido</b>	Circulación de vehículos en las carreteras donde existen intersecciones como semáforos o señales de alto y es utilizado para el tránsito urbano.
<b>Flujo libre</b>	Son las condiciones que se dan cuando la densidad y el volumen son bajas y la velocidad alta.
<b>Nivel de Servicio (LOS)</b>	Un nivel de Servicio (LOS) es una designación que describe un rango operativo sobre un tipo particular de una carretera.
<b>Período pico</b>	Período de tiempo en la cual el tránsito llega a su volumen más alto. Puede ser en períodos de una hora en cuyo caso se denomina hora pico.
<b>Razón de flujo</b>	Es la cantidad de vehículos que pasan en un tramo en un período de tiempo determinado. Para períodos menores a una hora, generalmente el volumen se expresa como un equivalente horario de las razones de flujo.
<b>SIECA</b>	Secretaría de Integración Económica Centroamericana
<b>Tránsito</b>	Es el flujo vehicular sobre una vía pública .

<b>TPDA</b>	Tránsito Promedio Diario Anual. Es el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un período de tiempo determinado, que es mayor de un día y menor o igual a un año, dividido por el número de días comprendido en dicho período de medición.
<b>TRB</b>	Transportation Research Boards ( Consejo o Comité para la Investigación de Transportes).
<b>Vehículos de diseño</b>	Son los vehículos automotores predominantes y de mayores exigencias en el tránsito que se desplaza por las carreteras regionales,
<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.
<b>Velocidad crítica (So)</b>	Es la velocidad que ocurre cuando la densidad es muy alta o crítica. Cuando la carretera llega a su capacidad máxima.
<b>Volumen horario</b>	Se define como la cantidad de vehículos que circulan en un tramo durante una hora, si no se tiene el dato de la hora se hace el cálculo según el período que se tenga calculado.



## RESUMEN

La aplicación del Manual HCM al tramo carretero Palín-Escuintla es importante y trata sobre la elaboración de un estudio relacionado con el nivel de servicio del tramo carretero multicarriles Palín-Escuintla. Este manual será la guía para indicarnos el nivel de servicio que ofrece el actual tramo y el nivel de servicio que tendrá en varios años, haciendo una proyección del TPDA actual a varios años. Esto nos indicará que el nivel de servicio de dicho tramo para este período ira decreciendo proporcionalmente al parque vehicular existente, reduciendo el nivel de servicio para el tramo norte-sur debido a que cuenta con 2 carriles. El tramo sur-norte con pendiente negativa cuenta con 3 carriles.

Se observará los distintas capacidades del tramo en distintas temporadas, la cual varía por la demanda en ciertos días de la semana y en algunos meses del año los cuales tienen mayor demanda.

Se aprenderá a clasificar el tráfico según el tipo de vehículo, se hará un ajuste con los distintos valores establecidos para hacer la equivalencia con los factores de equivalencia a vehículos estándar y se tomará el período de hora pico que es cuando la capacidad del tramo carretero tiene mayor circulación de vehículos.



## **OBJETIVOS**

### **GENERALES:**

- 1 Utilización de las técnicas de evaluación del Nivel de Servicio de Carreteras, como parte de la Ingeniería de Tránsito en Guatemala.
- 2 Referencia para 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. Orientar al estudiante en el correcto uso de la metodología para el cálculo de la capacidad de tramos carreteros, con el ejemplo del tramo carretero Palín-Escuintla, bajo los nuevos criterios del HCM 2000.
3. Introducir el concepto de Nivel de Servicio como una medida de la servicialidad de una carretera bajo distintas condiciones.
4. Ofrecerle al estudiante una guía para determinar el Nivel de Servicio en una carretera multicarriles.





## INTRODUCCIÓN

El Manual de Capacidad de Carreteras HCM (por sus siglas en inglés, *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 urbanas y rurales. 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.

En los últimos años en la planificación de carreteras en Guatemala se ha desarrollado bastante la práctica del cálculo de Nivel de Servicio que en su procedimiento lleva implícito los análisis de capacidad, índice de congestión,

vehículo estándar, etc. Éstos conocimientos son parte del curso de Ingeniería de Tránsito en la carrera de Ingeniería Civil así como en los cursos de Planificación de Transporte en el Programa de Maestría de Ingeniería Vial de la Escuela de Posgrados de la Facultad de Ingeniería de la USAC.

## 1. CARACTERÍSTICAS DE TRÁNSITO

El tránsito en una carretera podemos definirlo o describirlo según varios parámetros de medición vial que son la base del buen funcionamiento o funcionamiento óptimo de una carretera y son: a) Velocidad, b) Densidad y c) Volumen o razón de flujo.

El Manual de Capacidad de Carreteras 2000 (HCM 2000, por sus siglas en inglés, *Highway Capacity Manual*), divide el tránsito en dos situaciones:

- a) el flujo ininterrumpido y
- b) el flujo interrumpido.

Para éste análisis, se usará como base el flujo ininterrumpido, ya que el flujo interrumpido es usado para el tránsito urbano.

### 1.1. Velocidad (S)

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

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

- donde:
- S = Velocidad promedio de viaje (km/hr)
  - L = Longitud del segmento de la carretera (km)
  - t<sub>a</sub> = Tiempo promedio de viaje en el segmento (hr)

Se puede aplicar al tránsito diferentes parámetros de velocidad, como lo siguientes:

#### 1.1.1. Velocidad promedio de rodaje ( $S_r$ )

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.

#### 1.1.2. Velocidad promedio de viaje ( $S$ )

Es una medida de tránsito basada en la observación del tiempo de viaje en una longitud dada de una carretera. Se calcula como 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.

#### 1.1.3. 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.

#### 1.1.4. 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.

#### 1.1.5. Velocidad de flujo libre (FFS)

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.

#### 1.1.6. Velocidad percentil (Sp)

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:

Veh Núm.	Distancia (m)	Tiempo de viaje (seg.)	Velocidad (m/seg.)
1	1000	18.0	1000/18 = 55.6
2	1000	20.0	1000/20 = 50.0
3	1000	22.0	1000/22 = 45.5
4	1000	19.0	1000/19 = 52.6
5	1000	20.0	1000/20 = 50.0
6	1000	20.0	1000/20 = 50.0
Totales	6000	119.0	303.7
Promedios	119.0/6 = 19.8		303.7/6 = 50.6
St = 50.6 m/seg.			
Se = 1000/19.8 ó 6000/119 = 50.4 m/seg.			

donde: St = Velocidad media temporal (km/hr o m/seg.)

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

Tabla I. Volúmenes de tránsito Diario o TPDA, en vpd

Tipo de Terreno				
	>20,000	20,000-10,000	10,000-3,000	3,000-500
Plano	110	90	80	70
Ondulado	90	80	70	60
Montañoso	70	70	60	50

### 1.2. 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:

$$D = v / S \quad (1-2)$$

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.

### 1.3 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”.

### 1.3.1 El 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. El tránsito de la hora pico o de la hora punta, recoge la necesidad de referir el diseño no a la hora máxima que se registra en un año ni a la hora promedio, sino a una hora intermedia que admita cierto grado de tolerancia a la ocurrencia de demandas horarias extremas, que podrían quedar insatisfechas o con menores niveles de comodidad para la conducción.

Los volúmenes de tránsito promedio diario anual, que en forma abreviada se reconocen también como los TPDA, se constituyen así, en el factor determinante primario de las características geométricas de las carreteras, agrupados convenientemente por rangos de tránsito elevado, mediano y ligero. Como alternativa se pueden fijar rangos de volúmenes que varían de un extremo a otro, desde mayores de 5,000 vehículos por día, que justifican la construcción de vías de cuatro carriles, hasta menores de 50 vehículos por día, que aceptan soluciones restringidas a un solo carril de circulación, con refugios discretos para el encuentro ocasional de dos vehículos o, más convenientemente, a la construcción de una superficie de grava con un ancho de 6.0 metros de rodamiento.



Los volúmenes de hora pico son usados como la base para el diseño de carreteras y para varios tipos de análisis operacionales de la carretera.

Para períodos menores a una hora, generalmente el volumen se expresa como un equivalente horario de las razones de flujo. Por ejemplo, 2000 vehículos observados en un período de 15 minutos se puede expresar como:  
 $2000 \text{ veh} / 0.25 \text{ hr} = 8000 \text{ veh/hr}$

La razón de flujo ( $v$ ) es 8000 veh/hr en un intervalo de 15 minutos, en el cual fueron observados 2000 vehículos. Hay que tomar en cuenta que el volumen horario no es 8000 veh/hr, como se aprecia en el siguiente ejemplo:

Intervalo de tiempo	Vehículos	Razón de flujo (veh/hr) (veh / intervalo de tiempo)
4:00 – 4:15 P.M.	1000	4000
4:15 – 4:30 P.M.	1100	4400
4:30 – 4:45 P.M.	1200	4800
4:45 – 5:00 P.M.	900	3600
4:00 – 5:00 P.M.	4200 veh/hr	= volumen horario

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

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

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

$$\text{FHP} = V / (4 \times V_{15}) \quad (1-3)$$

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:

$$\text{FHP} = 4200 / (4 \times 1200) = 0.875.$$

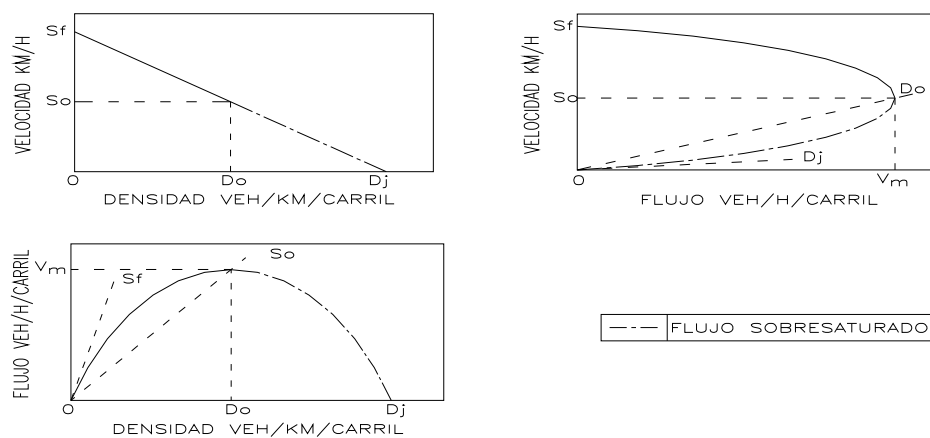
El valor del FHP está entre el rango de 0.95 y 0.75, con valores más bajos, significaría una gran variación en el flujo durante la hora pico.

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

#### 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 prevaleciente y las condiciones de la carretera del segmento bajo estudio.

Las curvas ilustran varios puntos significantes. Primero, un volumen cero que ocurre en dos diferentes condiciones. La primera 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 de la carretera o tramo analizado.

## 2. CONCEPTOS DE CARRETERA

### 2.1. Carreteras multicarriles

Se considera que las carreteras multicarriles regionales deben construirse cuando los volúmenes de tránsito para diseño resultan mayores de 20,000 vehículos promedio diario. La demanda de este tipo de instalaciones de primera categoría en exigencias de calidad y elevación de costos por kilómetro, se encuentra usualmente situada en un entorno suburbano, a la salida de las ciudades principales de Centroamérica, o como soluciones para circunvalar con anillos perimetrales las mismas.

Por otra parte, todas las intersecciones deben ser construidas con separación de niveles para los diferentes movimientos, recomendándose como regla que los intercambios o entronques a desnivel dispongan de un espaciamiento mínimo entre ellos de 3 kilómetros. Siendo su función primordial la movilidad, este tipo de vías mayores debe contar con control total en los accesos, esto es, que se otorga preferencia al tránsito de paso y se limitan las conexiones a determinadas arterias principales, sin posibilidades de acceso a las propiedades colindantes. Sin embargo y bajo determinadas circunstancias, es admisible ejercer el control parcial y discreto de los accesos.

Las paradas de transporte público no se permiten en este tipo de vías, por lo que es recomendable prever su desplazamiento a través de calles marginales a la pista principal. Los cruces peatonales deben localizarse en aquellos puntos de mayor movimiento de peatones y construirse a desnivel, ya sea sobre la carretera multicarriles o subterráneos, aprovechando en lo posible su integración con propuestas de atractivos comerciales y servicios sanitarios.

Las barandas para encauzar la corriente peatonal deben ser instaladas a las entradas y salidas de estas instalaciones.

En zonas densamente pobladas, este tipo de carreteras debe contar con alumbrado público apropiado a lo largo de todo su recorrido, con énfasis especial en las intersecciones mayores, admitiéndose que el alumbrado se limite a solamente estas últimas, en sitios donde el desarrollo urbano disminuya su intensidad. Se ha comprobado que la tasa de accidentes durante la conducción nocturna disminuye sensiblemente cuando una carretera multicarriles o cualquier arteria principal cuenta con el alumbrado apropiado para la conducción nocturna.

El pavimento de estas carreteras debe llenar los requisitos más exigentes en la materia, para soportar las elevadas demandas del tránsito proyectado. La superficie de rodamiento debe consistir en un concreto hidráulico o asfáltico, con los espesores y el control de calidad que el caso requiere.

## 2.2 Clasificación de las carreteras multicarriles

La clasificación funcional agrupa a las carreteras según la naturaleza del servicio que están supuestas a brindar, lo cual a su vez tiene íntima relación con la estructura y categorización de los viajes. A semejanza de la estructura de un árbol, la realización de un viaje normal de origen a destino, por ejemplo del hogar al trabajo, implica el escalamiento gradual en la estructura de la red, para movilizarse por carreteras que evidencian su naturaleza por operar con volúmenes de tránsito de menor a mayor intensidad, para luego invertir la relación hasta alcanzar el lugar donde completa su recorrido. Esto trae a cuenta los dos elementos esenciales para la clasificación de las carreteras, que su función primordial sea de brindar movilidad, acceso o un balance de ambas

características de los viajes.

Cuando la función que se persigue es predominantemente de movilidad, la mejor ilustración la ofrecen las carreteras multicarriles, que están previstas para facilitar el desplazamiento a distancias relativamente grandes, en volúmenes considerables y a las mayores velocidades compatibles con el medio. En las áreas urbanas y suburbanas se evalúa la funcionalidad de estas instalaciones por los tiempos efectivos de viaje. A mayor pretensión de movilidad, mayor sacrificio habrá en los accesos, que estarán muy controlados por restricciones físicas y operativas.

Por otra parte, la función de acceso de una carretera, tipificada por un camino vecinal o una calle local, dice de una red bastante densa de vías, con generosa accesibilidad a las propiedades colindantes o dentro de su limitada área de influencia, modesta demanda del tránsito de paso y velocidades moderadas de operación.

### 2.3 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 %.

### 2.4 Terreno montañoso

En los terrenos montañosos la superficie de rodamiento es restringida por la necesidad del banqueo o de la excavación en ladera.

## 2.5. Terreno ondulado

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

### 3. CAPACIDAD

El análisis de la capacidad tiene como uno de sus objetivos principales 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 su capacidad máxima; son raras las planificadas que operan en el rango correcto u óptimo. Por lo tanto, el análisis de la capacidad de una carretera también estima el aumento de tránsito que la misma 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.

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.

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.

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



### 3.2 Capacidad para condiciones ideales

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. En carreteras de dos carriles, por otra parte, se alcanzan capacidades de 2,800 automóviles por hora en ambos sentidos de la circulación.

Las condiciones ideales se alcanzan con flujos ininterrumpidos, sin interferencia lateral de vehículos o peatones, sin mezcla de vehículos pesados en la corriente del tránsito, con carriles normales de 3.6 metros de anchos, hombros de ancho apropiado, altas velocidades de diseño y carencia de restricciones en la distancia de visibilidad de adelantamiento o rebase.

El referido Manual de Capacidades de Carreteras, señala las siguientes condiciones de operación del tránsito, que aparentan ser satisfactorias a los niveles de servicio mencionados en el capítulo IV.

#### Carreteras multicarriles especiales (Nivel de Servicio C)

Operación estable, pero crecientemente más crítica. Velocidad promedio de viaje de 110 kilómetros por hora. Flujo de servicio a 75 por ciento de la capacidad, o no más de 1,640 automóviles o vehículos livianos por hora carril.

Carreteras Rurales de cuatro o más Carriles, sin Control en los Accesos (Nivel de Servicio D).

Se aproxima la situación de flujo inestable, con tasas de 89 por ciento de la capacidad o sea 1,940 automóviles por hora carril, a una velocidad de viaje de 92 kilómetros por hora bajo condiciones ideales.

### 3.3 El radio de proporción de flujo (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 2000 establece seis niveles de servicio LOS (por sus siglas en inglés, *Level Of Service*), identificados subjetivamente por las letras desde la A hasta la F, donde al nivel de servicio A se logra un flujo vehicular totalmente libre, mientras que al nivel F se alcanza el flujo forzado que refleja condiciones de utilización a plena capacidad de la vía.

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

El diseñador debe escoger, entre dichos extremos, el nivel de servicio que mejor se 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.

### 4.4. Concepto del nivel de servicio

Un nivel de servicio (LOS) describe un rango operativo de diferentes tipos de carreteras o tramos carreteros. Es asimismo un término que denota un número de condiciones de operación diferentes que pueden ocurrir en un carril o camino dado, cuando aloja varios volúmenes de tránsito. Es una medida cualitativa del efecto de una serie de factores, entre los cuales se pueden citar: la velocidad, el tiempo de recorrido, las interrupciones del tránsito, la libertad de manejo, la seguridad, la comodidad y los costos de operación.

Un determinado carril o camino puede proporcionar un rango muy amplio de niveles de servicio. Los diferentes niveles de servicio de un camino específico son función del volumen y composición del tránsito, así como de las velocidades que pueden alcanzarse en ese camino.

Un carril o camino proyectado para un determinado nivel de servicio, en realidad operará a muchos niveles, conforme varía el volumen durante una hora o durante diferentes horas del día, durante días de la semana o durante períodos del año y aún durante diferentes años, con el crecimiento del tránsito.

Las condiciones generales de operación para los niveles de servicio, se describen de la siguiente manera:

<b>LOS</b>	<b>Descripción</b>
<b>A</b>	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 2. 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 3. 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 1190 veh/hr.

Figura 4. 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 1830 veh/hr.

Figura 5. 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 6. Nivel de servicio E.



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

Figura 7. Nivel de servicio F.



Las condiciones de la circulación en una carretera multicarriles son el resultado, en primer lugar, de las interacciones entre los vehículos y los conductores de la corriente circulatoria y, por otra parte, entre los vehículos con sus conductores y las particularidades geométricas de las carreteras multicarriles. Las operaciones también se ven afectadas por las características ambientales, tales como las condiciones climatológicas, el alumbrado público en la vía, las condiciones físicas del pavimento y su superficie de rodamiento, y por la existencia de incidencias y perturbaciones en el tránsito.

#### 4.5. Medida de efectividad

Para cada tipo de carretera, los niveles de servicio son definidos en términos de una medida de efectividad MOE (por sus siglas en inglés, *Measure of Effectiveness*). Una MOE es un parámetro que describe las operaciones de



tránsito en términos discernibles para el conductor. El HCM 2000 utiliza tres medidas primarias que son: Velocidad y tiempo de viaje, densidad y demora.

#### 4.5.1. 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.

#### 4.5.2. 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.

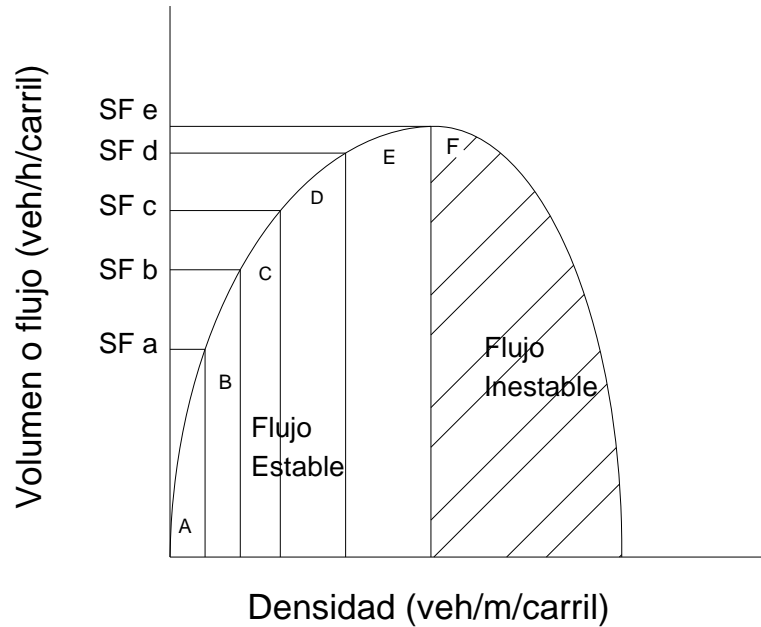
#### 4.5.3. Demora

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 multicarriles, es el porcentaje de tiempo de atraso.

#### 4.6. 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 8. 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).

Por convención, la capacidad es mayormente definida en términos de razones de flujo para períodos pico de 15 minutos. Sin embargo, la razón de flujo de servicio puede ser convertida a un equivalente de volumen de hora completa usando el FHP:

$$VS_i = SF_i * FHP \quad (4-1)$$

- Donde:
- $VS_i$  = Volumen de servicio para LOS  $i$ , (veh/hr)
  - $SF_i$  = Razón de flujo de servicio para LOS  $i$ , (veh/hr)
  - FHP = Factor de hora pico



## **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**

#### **5.4.1. Alineamiento vertical y horizontal**

El alineamiento básico de la carretera, generalmente tiene un impacto en su capacidad o razón de flujo de servicio.

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.

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

Los carriles angostos forzan a los conductores a manejar lateralmente cerca uno de otro, tanto como les sea comfortable. Los conductores compensan el manejar comfortable reduciendo la velocidad. Esto hace que la capacidad de la carretera decline, así como el nivel de servicio de la misma. 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, lo cual repercute en el nivel de servicio nuevamente de la carretera.

#### 5.4.3. 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 que no son de dos carriles y tiene repercusión leve en las carreteras multicarriles.

### 5.2. Condiciones prevaecientes del tránsito que afectan la capacidad

#### 5.2.1. Vehículos pesados en el tránsito

La característica más importante que afecta la capacidad y el nivel de servicio (LOS) de una carretera multicarriles es la presencia de vehículos pesados dentro del tránsito. El efecto de tales vehículos es doble:

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

El inciso a) 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:

#### 5.2.1.1. Vehículos recreacionales

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

#### 5.2.1.2. Camiones

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

#### 5.2.1.3. Buses locales del área

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

bloquean una porción del carril o de la carretera y la capacidad de la carretera cambia.

#### 5.2.1.4. 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.

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

#### 5.3.1. 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.

#### 5.3.2. Límites de velocidad

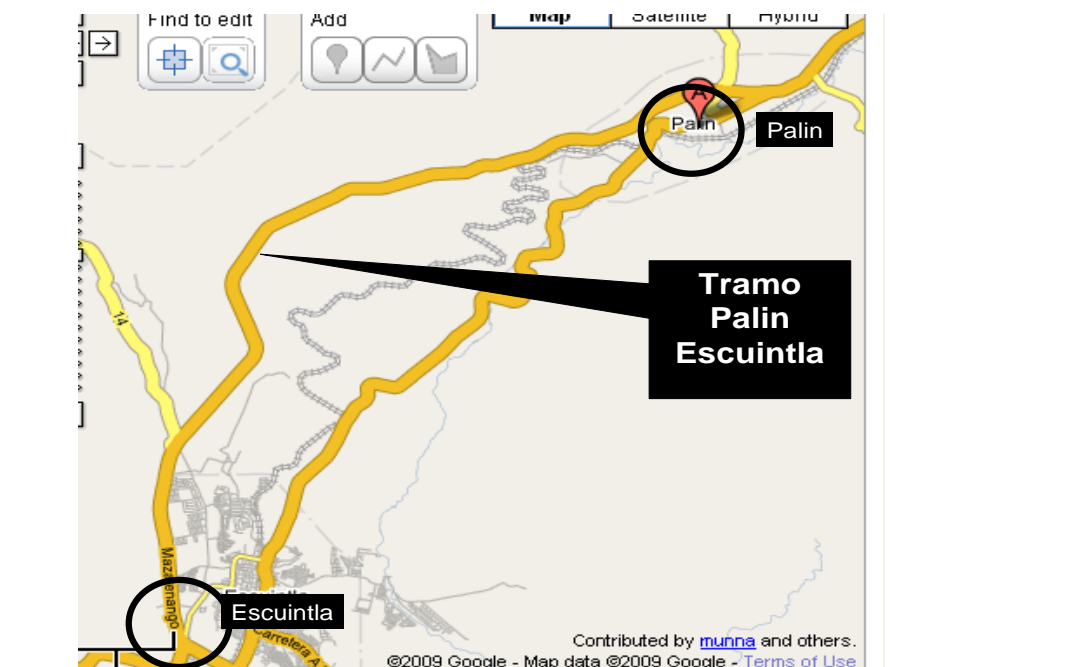
Los límites de velocidad no afectan directamente la capacidad, la cual tiende a ocurrir velocidades relativamente bajas. Sin embargo, afectan la velocidad de flujo libre en una carretera y las características de flujo. Esto se hace cierto cuando los límites de velocidad son irrazonablemente bajos y estrictamente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

## 6. PROCEDIMIENTO Y EJEMPLO DE ANÁLISIS DEL NIVEL DE SERVICIO DE UNA CARRETERA MULTICARRILES, TRAMO PALÍN - ESCUINTLA.

### 6.1 Descripción del tramo

El tramo, del tramo carretero con peaje conocido como carretera multicarriles Palín-Escuintla, es un tramo de 30 kms. con características de carretera ondulada, con 5 carriles; 3 en el sentido sur-norte y 2 en el sentido norte-sur, con una garita de peaje en el kilómetro 52.

Figura 9. Tramo carretero Palín-Escuintla





## **6.2 Cálculo del nivel de servicio**

### 6.2.1 Nivel de Servicio

Este tema es importante, ya que el contrato y el reglamento de la concesión mencionan la calidad del servicio del proyecto, sin relacionarlo con los procedimientos vigentes para la evaluación del nivel de servicio de un tramo carretero, y por otro lado se ha prestado a confundirlo con el nivel de serviciabilidad de los pavimentos.

Con el objeto de presentar una evaluación del nivel de servicio de un tramo del proyecto se presenta a continuación el análisis del nivel servicio para las condiciones actuales y al final del período de la concesión, basado en la metodología de HCM 2000.

#### Procedimiento

Para calcular el nivel de servicio de un tramo carretero se debe clasificar el tránsito haciendo un conteo visual, tomando en cuenta el día de mayor incidencia o flujo vehicular.

Se toman como base vehículos livianos, buses y camiones, analizando sus respectivos porcentajes. A continuación se determina el Factor Direccional y se calcula el tránsito estandarizado; se ajusta dependiendo el tipo de terreno.

Posterior utilizamos el Factor de Equivalencia para camiones y buses, para calcular las conversiones para ambas direcciones. Se hace una proyección a

20 años del tránsito estandarizado en la hora pico.

Seguidamente se calcula la capacidad y el índice de congestión por sentido.

Se evalúa las condiciones de velocidad de operación-siniestralidad utilizando un radar y se sacan los resultados de la velocidad por tipo de vehículo.

### 6.2.2 Tránsito clasificado

De los conteos visuales se obtuvieron datos diarios para una semana, de lunes a domingo, se tomó para el análisis, el día viernes, por ser el día laborable más alto. Y se toman datos durante toda la semana tomando en cuenta el día de mayor índice laboral para que sea más representativa la muestra y los resultados. Esto se trabaja con los parámetros más altos, ya que derivado de estos conteos se obtienen los datos para el cálculo del ejemplo. La estructura de la composición clasificada del tránsito se presenta a continuación:

**Tabla II. Conteos visuales, estructura de la composición clasificada del tránsito**

Resumen	Livianos	Buses	Camiones	Total	Día	Dirección	F.D.
15/12/2006	6934	320	937	8191	viernes	n/sur	50.4
Porcentaje (%)	85	4	11	100			
15/12/2006	6818	295	953	8066	viernes	sur/n	49.6
Porcentaje (%)	85	3	12	100			100
F.D Factor Direccional							

Los datos se registraron a partir de un conteo realizado por personas que

Entonces:

Livianos	85 %
Camiones	11 %
Buses	4 %

### 6.2.3 Factor Direccional (F.D)

Este factor se usa cuando el tránsito promedio diario no tiene descomposición por dirección. Pero en este caso se tiene ya separados los datos.

### 6.2.4 Cálculo del tránsito estandarizado

Para el cálculo de la relación Volumen / capacidad es necesario trasladar el tránsito mixto a tránsito estandarizado, es decir equivalente a vehículos livianos (vehículo estándar es de 5 plazas).

Dependiendo del tipo de terreno en el tramo en estudio, se afectan por factores de ajuste, tomando en cuenta los siguientes:

- i). Plano, (tránsito pesado mantiene la misma velocidad que el liviano, pendiente menor del 2% );
- ii). Ondulado,( tránsito pesado reduce la velocidad del flujo del carril ); y
- iii). Montañoso, (tránsito pesado opera a una velocidad de arrastre, es decir velocidad lenta).

Los factores de ajuste dependerán de estas condiciones del tramo.

Para ello se usan los Factores de Equivalencia siguientes:

Et, Factor de Equivalencia de camiones = 3.0

Eb, Factor de Equivalencia de buses = 3.0

Generalmente, los factores de camión y de bus son diferentes cuando en los tramos existen muchas paradas de autobús, sin embargo para este caso en la cual los camiones y buses tiene las mismas características de operación se han asumido igual.

Calculando las conversiones con los factores de equivalencia tenemos para la dirección norte sur (vpe/día = vehículos personales estándar al día):

Livianos.....	6934 x 1 =	6 934 vpe/día
Camiones.....	320 x 3 =	960 vpe/día
Buses.....	937 x 3 =	2 811 vpe/día
<b>Total de tránsito diario estandarizado.....</b>		<b>10 705 vpe/día</b>

Para la dirección sur norte:

Livianos.....	6818 x 1 =	6 818 vpe/día
Camiones.....	295 x 3 =	885 vpe/día
Buses.....	953 x 3 =	2 859 vpe/día
<b>Total de tránsito diario estandarizado.....</b>		<b>10 562 vpe/día</b>

Para evaluar la capacidad es necesario tener volúmenes de

tránsito horario, por lo que se calcula el volumen de la hora pico, que corresponde a un 9 %, por lo que el volumen de tránsito estandarizado en la hora pico (período de análisis), en el sentido norte- sur es de:

Total de tránsito en la hora pico, estandarizado.....963 vpe/hora,

y en el sentido sur-norte es de:

Total de tránsito en la hora pico, estandarizado.....945 vpe/hora,

Para evaluar preliminarmente, el comportamiento de la demanda en la hora pico a lo largo de los próximos 16 años, periodo en el cual se cumple el plazo de la concesión se realizan las proyecciones respectivas en función de las tasas derivadas, de la siguiente forma

Criterios para la proyección del tránsito estandarizado en la hora pico peaje de un día laborable:

Tasa global =..... 7.0%

**Tabla III. Proyecciones para 20 años de tránsito estandarizado para la hora pico (Vehículos livianos por sentido por hora)**

<b>Período</b>	<b>Norte-sur</b>	<b>Sur-norte</b>
<b>Año base 2006</b>	<b>963</b>	<b>945</b>
<b>2007</b>	<b>1030</b>	<b>1011</b>
<b>2008</b>	<b>1103</b>	<b>1082</b>
<b>2009</b>	<b>1180</b>	<b>1158</b>
<b>2010</b>	<b>1262</b>	<b>1239</b>
<b>2011</b>	<b>1351</b>	<b>1325</b>
<b>2012</b>	<b>1445</b>	<b>1418</b>
<b>2013</b>	<b>1546</b>	<b>1517</b>
<b>2014</b>	<b>1655</b>	<b>1624</b>
<b>2015</b>	<b>1770</b>	<b>1737</b>
<b>2016</b>	<b>1894</b>	<b>1859</b>
<b>2017</b>	<b>2027</b>	<b>1989</b>
<b>2018</b>	<b>2169</b>	<b>2128</b>
<b>2019</b>	<b>2321</b>	<b>2277</b>
<b>2020</b>	<b>2483</b>	<b>2437</b>
<b>2021</b>	<b>2657</b>	<b>2607</b>
<b>2022</b>	<b>2843</b>	<b>2790</b>
<b>2023</b>	<b>3042</b>	<b>2985</b>
<b>2024</b>	<b>3255</b>	<b>3194</b>
<b>2025</b>	<b>3483</b>	<b>3418</b>
<b>2026</b>	<b>3727</b>	<b>3657</b>

6.2.5 Condiciones geométricas para un sub-tramo en evaluación.

**DE NORTE A SUR**

Número de carriles                    2  
 Ancho de carril                        3.65 metros  
 Hombros                                 2.00 metros

Pendiente + 7% promedio  
Sin accesos

### **DE SUR A NORTE**

Número de carriles 3  
Ancho de carril 3.65 metros  
Hombros 2.00 metros  
Pendiente - 7% promedio  
Sin accesos

#### 6.2.6 Cálculo de capacidad por sentido:

iv). De norte a sur

$C = n \times 2000 \times F_{t+b} \times F_a \times F_{obs} \times F_{acc}$ ; en donde:

C = capacidad del tramo, por calcular

n = número de carriles

2000 es la capacidad ideal, establecida por manual. ( HCM 2000 )

$F_{t+b}$  = factor de ajuste para camiones y buses

$F_a$  = factor de ajuste por ancho de carril

$F_{obs}$  = factor de ajuste por ajuste por obstáculos laterales

$F_{acc}$  = factor de ajuste por accesos laterales en el tramo

Entonces:

$F_{t+b}$  = factor de ajuste para camiones y buses

se calcula con la siguiente fórmula

$F_{t+b} = 1 / 1 + P_{t+b} ( E_{t-1} )$ , por lo que resolviendo nos queda

$$F_{t+b} = 1 / 1 + 0.09 ( 3 - 1 ) = 1 / 1.18 = 0.84$$

Sustituyendo en

$$C = 2 \times 2000 \times 0.84 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 = 3360 \text{ ve/hora/sentido}$$

#### ii). DE SUR A NORTE

Entonces:

$F_{t+b}$  = factor de ajuste para camiones y buses  
se calcula con la siguiente fórmula

$F_{t+b} = 1 / 1 + P_{t+b} ( E_{t-1} )$ , por lo que resolviendo nos queda

$$F_{t+b} = 1 / 1 + 0.09 ( 3 - 1 ) = 1 / 1.18 = 0.84$$

Sustituyendo en

$$C = 3 \times 2000 \times 0.84 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 = 5040 \text{ ve/hora/sentido}$$

#### 6.2.7 Cálculo de la relación v/c (ÍNDICE DE CONGESTION)

Como puede observarse en el cuadro 6, el nivel del servicio a lo largo del período de la concesión del tramo estará desarrollándose entre los niveles A al D.



**Tabla IV. Proyección índice de congestión**

<b>Período</b>	<b>Norte-sur</b>		<b>Sur-norte</b>	
	<b>V/C</b>	<b>LOS</b>	<b>V/C</b>	<b>LOS</b>
<b>Año base 2006</b>	<b>0.29</b>	<b>A</b>	<b>0.19</b>	<b>A</b>
<b>2007</b>	<b>0.31</b>	<b>A</b>	<b>0.2</b>	<b>A</b>
<b>2008</b>	<b>0.33</b>	<b>B</b>	<b>0.21</b>	<b>A</b>
<b>2009</b>	<b>0.35</b>	<b>B</b>	<b>0.23</b>	<b>A</b>
<b>2010</b>	<b>0.38</b>	<b>B</b>	<b>0.25</b>	<b>A</b>
<b>2011</b>	<b>0.4</b>	<b>B</b>	<b>0.26</b>	<b>A</b>
<b>2012</b>	<b>0.43</b>	<b>B</b>	<b>0.28</b>	<b>A</b>
<b>2013</b>	<b>0.46</b>	<b>B</b>	<b>0.3</b>	<b>A</b>
<b>2014</b>	<b>0.49</b>	<b>B</b>	<b>0.32</b>	<b>A</b>
<b>2015</b>	<b>0.53</b>	<b>B</b>	<b>0.34</b>	<b>B</b>
<b>2016</b>	<b>0.56</b>	<b>C</b>	<b>0.37</b>	<b>B</b>
<b>2017</b>	<b>0.6</b>	<b>C</b>	<b>0.39</b>	<b>B</b>
<b>2018</b>	<b>0.65</b>	<b>C</b>	<b>0.42</b>	<b>B</b>
<b>2019</b>	<b>0.69</b>	<b>C</b>	<b>0.45</b>	<b>B</b>
<b>2020</b>	<b>0.74</b>	<b>C</b>	<b>0.48</b>	<b>B</b>
<b>2021</b>	<b>0.79</b>	<b>D</b>	<b>0.52</b>	<b>B</b>
<b>2022</b>	<b>0.85</b>	<b>D</b>	<b>0.55</b>	<b>B</b>
<b>2023</b>	<b>0.91</b>	<b>E</b>	<b>0.59</b>	<b>C</b>
<b>2024</b>	<b>0.97</b>	<b>E</b>	<b>0.63</b>	<b>C</b>
<b>2025</b>	<b>1.04</b>	<b>E</b>	<b>0.68</b>	<b>C</b>
<b>2026</b>	<b>1.11</b>	<b>E</b>	<b>0.73</b>	<b>C</b>

De acuerdo a tabla 10.4 del Manual HCM

Tabla V. Criterios para el Nivel de Servicio  
(Tabla 10.4 Manual HCM 2000)

Tabla LOS para secciones de carreteras multicarriles

LOS	Densidad Máxima	Velocidad mínima	Rango de Flujo de Servicio máximo	Radio v/c máximo
A	12.0	60.0	720	0.33
B	20.0	60.0	1,200	0.55
C	28.0	59.0	1,650	0.75
D	34.0	57.0	1,940	0.89
E	40.0	53.0	2,200	1.00
F	varios	varios	varios	varios

FFS = 55 mph

LOS	Densidad Máxima	Velocidad mínima	Rango de Flujo de Servicio máximo	Radio v/c máximo
A	12.0	55.0	660	0.31
B	20.0	55.0	1,100	0.52
C	28.0	54.0	1,510	0.72
D	34.0	53.0	1,800	0.86
E	41.0	51.0	2,100	1.00
F	varios	varios	varios	varios

FFS = 50 mph

LOS	Densidad Máxima	Velocidad mínima	Rango de Flujo de Servicio máximo	Radio v/c máximo
A	12.0	50.0	600	0.30
B	20.0	50.0	1,000	0.50
C	28.0	50.0	1,400	0.70
D	34.0	49.0	1,670	0.84
E	43.0	47.0	2,000	1.00
F	varios	varios	varios	varios

FFS = 45 mph

LOS	Densidad Máxima	Velocidad mínima	Rango de Flujo de Servicio máximo	Radio v/c máximo
A	12.0	45.0	540	0.28
B	20.0	45.0	900	0.47
C	28.0	45.0	1,260	0.66
D	34.0	44.0	1,500	0.79
E	45.0	42.0	1,900	1.00
F	varios	varios	varios	varios

### 6.2.8 Condiciones de velocidad de operación-siniestralidad

Con el objeto de caracterizar las condiciones de velocidad en un tramo, del kilómetros 48, se realizó una investigación el día jueves 11 de enero

del 2007 entre las 7 y 9 de la mañana. Empleando un radar marca Bushnell, de tipo liviano y con una muestra del 20 %, registros que se midieron en cada carril y por tipo de vehículo.



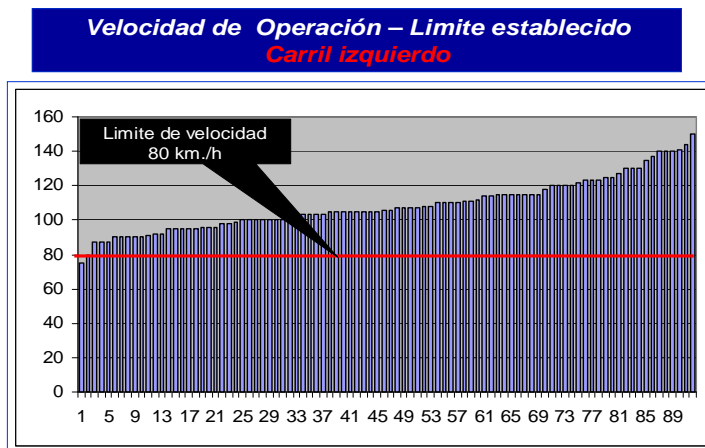
Resultados de la investigación de velocidad en el tramo KM-48.

**Tabla VI. Resultados de las velocidades por tipo de vehículo-Promedios**

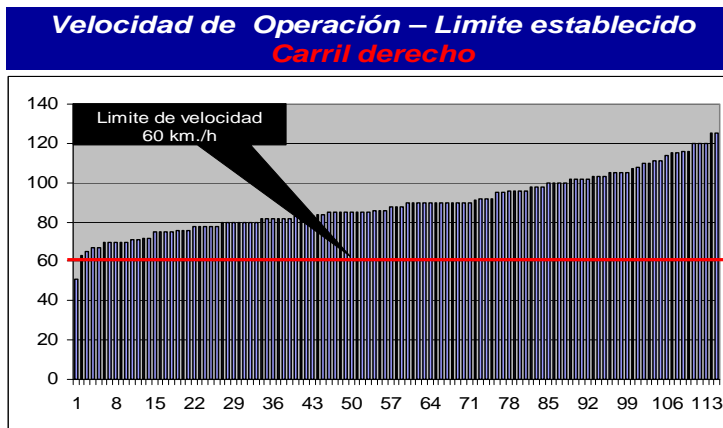
Dirección	Livianos	Pesados	Buses	Amplitud liv.	Amplitud pes.	Amplitud bus.
Izq.	109	86	102	150 – 85	107 - 85	110 – 95
Der.	89	71	93	125 – 51	98 - 47	118 – 75
Ambos	98	75	95	150 – 51	107 - 47	118 – 75

Ambos significan ponderados.

**Figura 10. Velocidades en el carril izquierdo donde la velocidad límite máxima es de 80 kilómetros por hora**

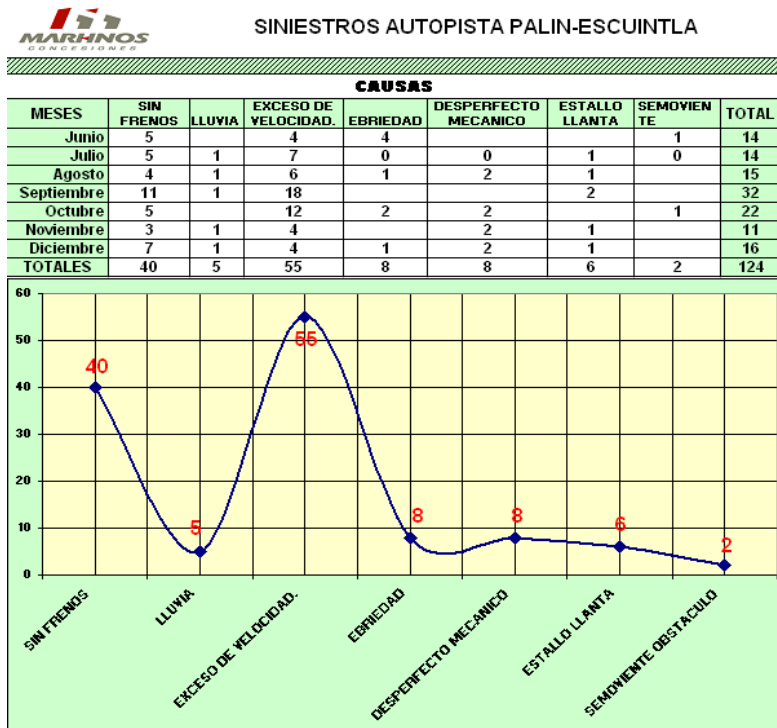


**Figura 11. Velocidades en el carril derecho donde la velocidad límite máxima es de 60 kilómetros por hora**



Las circunstancias arriba señaladas e ilustradas sobre el exceso de velocidad, se reflejan en los registros de siniestralidad de los últimos 7 meses, cuyo registro lo lleva la sub-gerencia de operaciones y que se muestra a continuación.

Figura 12. Siniestros autopista Palín-Escuintla



La causa principal de los accidentes es el exceso de velocidad representando casi la mitad de todos los accidente, y dentro de este porcentaje la mitad ocurrieron en los meses de septiembre y octubre, meses muy lluviosos.

El segundo factor determinante en la siniestralidad es sin frenos son un 35% del total de ese período analizado.



## CONCLUSIONES

1. Se observa que no se respetan los límites de velocidad que están calculados y normados, según el diseño y las velocidades de diseño para dicho tramo. Derivado del exceso de velocidad de los vehículos, se han incrementado los accidentes.
2. Una de las principales razones de siniestralidad en el tramo carretero Palín-Escuintla es la siniestralidad derivado del no mantenimiento a los frenos de los vehículos y el exceso de velocidad.
3. La proyección de vehículos por sentido por hora muestra que para el año 2026 tendremos una cantidad de vehículos muy parecida del tramo norte-sur al sur-norte a pesar que los tramos tienen distinta cantidad de carriles; esto derivado del sentido de la carretera, es decir que el tramo hacia el Sur va a favor de la pendiente y el tramo Sur-Norte en contra de la misma, por lo mismo el nivel de servicio para dicho año es diferente.
4. EL nivel de servicio para el año 2026 según la proyección hecha es diferente y esto derivado de la cantidad de carriles en cada sentido. En sentido contra pendiente al tener 1 carril más que a favor de la misma nos permite proyectar un mejor LOS en el sentido Sur-Norte.
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, en este tramo no se tiene problema con esto porque el porcentaje actual de vehículos pesados es del 15%.





## RECOMENDACIONES

1. Que durante la temporada de invierno y de acuerdo a las condiciones climáticas del lugar se establezcan medidas de prevención de accidentes, debido al alto índice de siniestralidad en estos meses.
2. Construir otra rampa de frenado en áreas que se prestan a tomar velocidades mayores, para evitar los accidentes derivados de problemas en el sistema de frenos de los vehículos ya que es una de las mayores razones de siniestros en el tramo carretero Palín-Escuintla.
3. Establecer límites de velocidad distintos para los distintos tipos de vehículos, ya que los vehículos pesados reaccionan en un tramo mayor al de los vehículos livianos.
4. Darle mantenimiento frecuente al tramo Palín-Escuintla especialmente antes y después de temporadas lluviosas, para evitar accidentes y daños en los vehículos que le transitan.
5. El nivel de servicio más crítico lo tiene la carretera en temporadas de verano derivado de la cantidad de vehículos que viajan al Sur del país, entiéndase Escuintla, Suchitepéquez, Retalhuleu por las vacaciones de Semana Santa, por lo que recomiendo medidas preventivas para estas fechas.



## BIBLIOGRAFÍA

1. **HCM 2,000**, soportado por el Comité Ejecutivo 2,000 de la TRB (*Transportation Research Board*).
2. *McShane William R., P. Roess, Roger., Prassas, Elena S. Traffic Engineering*, Segunda edición en idioma inglés, *McGraw Hill* 1999. pp. 69-70, 206-216, 309-333.
3. *Ruiz Tejada, Julio. 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.** .
5. *Edwards y Penney, Cálculo y Geometría Analítica*, Segunda edición, *Prentice Hall* 1987, página 162.
6. **Informe del Estudio Tramo Carretero con Peaje Palín-Escuintla**, *CIV Unidad de Concesiones* 2006.
7. **Informes Periódicos**, *Empresa Marhnos*, Concesionario del Peaje. CIV, Unidad de Concesiones 2006.



## APÉNDICE

### 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 inglés, *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 Cooperativo de Investigación de Carreteras y la Administración de Carreteras Federales. Como un resultado continuo de investigación sobre 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 Cooperativo

Nacional de Investigación para Autopistas NCHRP (por sus siglas en inglés, *National Cooperative Highway Research Program*) y el Programa Cooperativo de Investigación del Tránsito. Toda la investigación resultante contribuye para que el HCM 2000 este 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.

En Guatemala a partir de los años 70 se inició la aplicación del Manual de una forma muy incipiente, en materia de planificación especialmente. A la fecha los cálculos derivados de la Metodología del HCM 2000 se pueden realizar por medio del software HCS 2000 (Highway Capacity Software).