



Certificación ISO 9001:2008 ‡

---

---

## **CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN COMO INSUMO PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA CARRETERA**

Guillermo Torres Vargas  
José Alejandro González García  
José Antonio Arroyo Osorno  
Salvador Hernández García

**Publicación Técnica No. 458  
Sanfandila, Qro., 2015**



---

**SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES**  
**INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE**

**CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN COMO  
INSUMO PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA DE  
PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA CARRETERA**

**Publicación Técnica No. 458**  
**Sanfandila, Qro., 2015**

---



Este trabajo fue realizado en el Instituto Mexicano del Transporte, por el Dr. Guillermo Torres Vargas, los M. en I. José Alejandro González García, José Antonio Arroyo Osorno y Salvador Hernández García; de la Coordinación de Economía de los Transportes y Desarrollo Regional.

El presente tiene por objetivo fundamental, proporcionar -con la ayuda del Manual de Capacidad Vial de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes- una herramienta amigable y útil para los responsables de la planeación de la construcción y la modernización de la infraestructura carretera; que les permita conocer la evolución de las velocidades de operación de los distintos tipos de vehículos necesarias para estimar los beneficios derivados de los ahorros en costos de operación vehicular y en tiempo de recorrido, necesarios en la determinación de los indicadores de rentabilidad.

# Contenido

---

	<b>Resumen</b>	v
	Abstract	vii
	Resumen ejecutivo	ix
1	Introducción	1
1.1	Objeto de estudio	2
1.2	Justificación	2
1.3	Objetivos	3
1.4	Metodología	3
2	Análisis del nivel de servicio en carreteras	5
2.1	Obtención de FHMD (Factor horario de máxima demanda)	5
2.2	Volumen de servicio	6
3	Nivel de servicio y velocidades de operación en carreteras de dos carriles	9
4	Nivel de servicio y velocidades de operación en carreteras de carriles múltiples	13
5	Estimación de las velocidades de operación	17
6	Ejemplo del análisis generalizado de niveles de servicio y velocidades de operación para carreteras de dos carriles	19
7	Ejemplo del análisis generalizado de niveles de servicio y velocidades de operación para carreteras de carriles múltiples	27
	Conclusiones	33
	Bibliografía	35

# Índice de cuadros

---

CUADRO		PÁGINA
1	<i>Aforo vehicular.</i>	6
2	<i>Datos viales de la SCT.</i>	9
3	<i>Factores de hora de máxima demanda para carreteras de dos carriles, basados en distribución aleatoria de flujo.</i>	10
4	<i>Niveles de servicio para análisis generalizado de las carreteras de dos carriles en ambas direcciones.</i>	11
5	<i>Factores de ajuste por distribución direccional en carreteras de dos carriles.</i>	11
6	<i>Factores de ajuste por el efecto de restricciones en el ancho de carril y de acotamientos en carreteras de dos carriles.</i>	12
7	<i>Automóviles equivalentes para análisis generalizado de carreteras de dos carriles.</i>	12
8	<i>Niveles de servicio asociados a la velocidad del proyecto.</i>	14
9	<i>Factores de ajuste por restricciones en el ancho de carril y distancia a obstáculos laterales en carreteras de carriles múltiples.</i>	14
10	<i>Automóviles equivalentes para análisis generalizado de segmentos de autopista.</i>	15
11	<i>Factor de ajuste para convertir la velocidad del vehículo ligero en velocidad de vehículo pesado</i>	17
12	<i>Velocidades de operación de los diferentes tipos de vehículos que transitan por la carretera de dos carriles</i>	25
13	<i>Velocidades de operación de los diferentes tipos de vehículos que transitan por la carretera de carriles</i>	31

*múltiples*

# Resumen

---

Con base en la metodología analizada en el estudio, dispondremos de elementos para determinar la velocidad de operación ligada a un nivel de servicio, en la que opera una carretera determinada.

Se presenta, en primer lugar, el análisis para estimar el nivel de servicio en que opera una carretera, con base en un volumen de tránsito dado; lo anterior para conocer el año en el que dicha carretera llegará a su capacidad máxima.

En segundo lugar, con base en los resultados obtenidos al estimar el nivel de servicio, se obtienen las velocidades de operación asociadas a dichos niveles de servicio; con estos niveles de servicio -y con la ayuda de la publicación técnica del Instituto Mexicano del Transporte No 407 "Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2014"- se determinan las velocidades de operación para los diferentes tipos de vehículos circulantes en la carretera por estudiar.



# Abstract

---

Based on the methodology discussed in this study, available elements to determine the operating speed related to a service level at which a particular road operates.

It presents first analysis to estimate the level of service that is operating a road based on traffic volume given above in order to meet the year to which this road reaches its maximum capacity.

Secondly, based on the results obtained to estimate the level of service operating speeds associated with those service levels, these levels of service and with the help of the technical publication No 407 " Operating costs are obtained based on the representative 2014 intercity transport vehicles " operating speeds for different types of vehicles circulating on the road to study are obtained.



# Resumen ejecutivo

---

En este documento, se presenta el análisis realizado para determinar el nivel de servicio y las velocidades de operación de una carretera con un TDPA (transito diario promedio anual) y unas características determinadas.

Con base en la metodología analizada en el “Manual de Capacidad Vial de la SCT” utilizada en este estudio, se dispondrá de elementos para determinar la velocidad de operación ligada a un nivel de servicio en la que trabaja una carretera determinada.

Se presenta la manera de determinar los niveles de servicio y las velocidades de operación de una carretera en un horizonte de treinta años, ya que con esto tendremos un insumo necesario para la evaluación económica de proyectos de infraestructura carretera donde el horizonte de evaluación es de hasta de treinta años.

Con la obtención de los niveles de servicio ligados a velocidades de operación obtenidos al utilizar el “Manual de Capacidad Vial de la SCT”, y la publicación No. 407 del Instituto Mexicano del Transporte “Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2014”, se obtienen las velocidades de operación para los diferentes tipos de vehículos circulantes en la carretera por estudiar.



# 1 Introducción

---

El estudio forma parte de la línea de investigación “Desarrollo metodológico para la evaluación económica y social de proyectos de transporte”, la cual está vigente en el Instituto Mexicano del Transporte (IMT).

La velocidad de operación es fundamental a la hora de realizar una evaluación económica para un proyecto de infraestructura carretera, ya que resulta necesario conocer la velocidad de operación para determinar los insumos, como son el valor del tiempo de las personas y los costos de operación vehicular.

En la evaluación de proyectos de infraestructura carretera en México, la determinación de la velocidad de operación es primordial para el cálculo de los insumos necesarios para la obtención de los ahorros debidos a costos de operación vehicular y valor del tiempo de las personas. Con esto es posible estimar los beneficios que tendría el ampliar, modificar o construir una carretera.

La evolución del volumen de tránsito en una carretera es de gran importancia, pues de ella depende el costo de operación vehicular así como el tiempo de traslado de las personas y las mercancías. Con los costos de operación vehicular y el valor del tiempo de los pasajeros es posible cuantificar los beneficios derivados por ahorros en costo de operación y en tiempo de recorrido.

Al conocer la evolución del volumen vehicular en una carretera, es posible determinar para un horizonte de hasta treinta años el nivel de servicio anual en una carretera y así definir el año en el que dicha carretera alcanza su capacidad máxima.

Conociendo la capacidad máxima de una carretera, se puede prever la saturación de esta y así realizar planes de mejora para mantener la carretera en un nivel de servicio adecuado para su operación.

Con la ayuda del “Manual de Capacidad Vial” de la SCT es posible conocer el nivel de servicio en el que opera una carretera y la velocidad de operación del vehículo ligero; por lo que, con la ayuda de la publicación No 407 del Instituto Mexicano del Transporte “Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2014”, obtenemos las velocidades de operación para los diferentes tipos de vehículos circulantes en la carretera por estudiar.

## **1.1 Objeto de estudio**

El presente trabajo es el resultado de una indagación inscrita dentro de la línea de investigación de Economía de los Transportes. El subtema particular es la evaluación de proyectos de infraestructura carretera y, específicamente, se trata proporcionar un conjunto de elementos conceptuales que apoyen a los responsables de la toma de decisiones, para estimar adecuadamente el nivel de servicio y las velocidades de operación de los diferentes tipos de vehículos que transitan por una carretera.

## **1.2 Justificación**

Es de gran importancia el conocimiento de los niveles de servicio y las velocidades de operación que imperan en los diferentes tipos de carreteras que hay en el país, ya que con esto es posible planear los trabajos de ampliación, modificación o construcción de infraestructura carretera.

Este insumo será de gran utilidad para las direcciones generales operativas de la SCT, que tienen bajo su responsabilidad llevar a cabo el registro de los proyectos de inversión ante la Secretaría de Hacienda y Crédito Público; lo cual permite integrar la cartera anual de proyectos de inversión en infraestructura carretera.

La publicación fue propuesta de tal manera de que pudiéramos usar el modelo de análisis de niveles de servicio y velocidades de operación para cualquier carretera, ya sea de uno o más carriles por sentido.

Esta metodología basada en el Manual de Capacidad Vial de la SCT permite -a los autores de este estudio- proporcionar un espectro de opciones que permitan a los analistas de proyectos de inversión en infraestructura para el transporte, contar con elementos de análisis confiables que den certidumbre a los estudios relativos a la justificación económica y financiera de dichos proyectos.

La metodología utilizada en “Cálculo de la velocidad de operación como insumo para la evaluación económica de proyectos de infraestructura carretera” permitirá a los responsables de la toma de decisiones contar con una herramienta amigable y ágil para estimar los niveles de servicio, y las velocidades de operación de los diferentes vehículos que circulan por una carretera.

Esta propuesta, toma en cuenta el cálculo de las velocidades de operación en un horizonte de proyecto de hasta treinta años.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo general

El estudio tiene por objetivo fundamental crear una propuesta para determinar el nivel de servicio y las velocidades de operación de los diferentes vehículos que transitan por una carretera, los que obtenemos con las velocidades máximas de los diferentes tipos de vehículos editadas en la publicación No 407 del Instituto Mexicano del Transporte “Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2014”; y con esto dar un insumo confiable a la hora de determinar los tiempos de recorrido y los costos de operación de los diferentes tipos de vehículos.

### 1.3.2 Objetivos particulares

Como objetivos particulares tenemos los siguientes:

- Con la ayuda de aforos, conocer el origen del FHMD (factor horario de máxima demanda) con el cual se maximiza el volumen horario.
- Con base en el “Manual de Capacidad Vial” de la SCT, determinar los niveles de servicio y las velocidades de operación que registra una carretera, ya sea de uno o más carriles por sentido.
- Con la obtención de la velocidad de operación de los vehículos ligeros determinada con el “Manual de Capacidad Vial” de la SCT, determinar las velocidades de operación de los diferentes tipos de vehículos que circulan en una carretera; tomando en cuenta las máximas de los diferentes tipos de vehículos que aparecen en la publicación No 407 del Instituto Mexicano del Transporte “Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2014”.

## 1.4 Metodología

Para la realización de presente estudio, analizamos el “Manual de Capacidad Vial” de la SCT; el cual está basado en la tercera edición del “Highway Capacity Manual” de los Estados Unidos, de donde fue tomada la metodología propuesta, para determinar los niveles de servicio con los cuales opera una carretera tomando en cuenta sus características geométricas, así como su tránsito diario promedio anual.

El nivel de servicio en una medida para caracterizar las condiciones de operación del tránsito. Establecimos seis niveles de servicio denominados: A, B, C, D, E, Y F; que van del mejor al peor. Las medidas para definir estos niveles en carreteras

son: para carreteras de carriles múltiples la densidad, y para carreteras de dos carriles la demora porcentual.

Al obtener los niveles de servicio y la velocidades de operación ligadas a dichos niveles, determinamos las velocidades de operación los diferentes tipos de vehículos que transitan por dicha carretera; esto con la ayuda de la publicación No 407 del Instituto Mexicano del Transporte “Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2014”

## 2 Análisis del nivel de servicio en carreteras

Las carreteras son aquellas designadas como las vías rurales o suburbanas cuyo tránsito es considerado continuo, y las condiciones pueden variar en su separación central y en el número de accesos no controlados.

Para el análisis del nivel de servicio y velocidades de operación en carreteras, tomamos en cuenta dos metodologías; por una parte está el análisis para las carreteras de dos carriles y, por otra, el análisis para las carreteras compuestas por carriles múltiples; para fines del estudio, contemplamos la obtención de los niveles de servicio y las velocidades de operación mediante un análisis generalizado.

Con base en el manual de capacidad vial de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), determinamos el nivel de servicio y la velocidad de operación en que se encuentra operando una carretera. Tomamos en consideración el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA), con su composición vehicular correspondiente; y, a partir de este, estimamos el volumen horario de máxima demanda, que dividido entre el FHMD (factor horario de máxima demanda) constituye el insumo para obtener el volumen de servicio con que cuenta una carretera; el cual permitirá determinar el nivel de servicio y la velocidad de operación en que se funciona una carretera.

### 2.1. Obtención del FHMD (Factor horario de máxima demanda)

El factor horario de máxima demanda sirve para convertir el volumen horario de máxima demanda en el volumen de servicio.

Para la obtención del FHMD, requerimos un aforo vehicular realizado en la zona de estudio, dicho aforo debe contener el volumen de vehículos que pasan en el lugar de estudio durante un día, este aforo se divide en intervalos de 15 minutos. El cuadro 1 muestra el ejemplo de un aforo vehicular.

Cuadro 1. Aforo vehicular.

UBICACIÓN: Carretera 1												
PERIODO DE AFORO: 7:00a.m--7:00a.m												
FECHA: 26 de Octubre de 2015												
ORIENTACIÓN: Sur - Norte												
MOVIMIENTO: Ambas direcciones												
Hora	Minutos		Tipo de Vehículo								Subtotal Periodo	Total Hora
	Del :	Al:	A	B	C2	C3	T2S1	T2S2	T3S2	T2S2R2		
7	0	15	33	6	10	0	5	0	0	0	54	
	15	30	45	6	0	0	1	3	1	0	56	
	30	45	40	6	10	0	1	0	0	0	57	
	45	0	85	6	6	0	10	2	0	1	110	277
8	0	15	71	6	12	0	4	0	0	1	94	317
	15	30	73	6	7	0	3	1	1	0	91	352
	30	45	50	6	11	0	5	3	0	0	75	370
	45	0	80	6	9	0	6	4	0	1	106	366

Para fines de estudio, este aforo vehicular incluye 2 de las 24 horas en que se realizó dicho aforo.

Con la ayuda de estos datos, determinamos el FHMD (factor horario de máxima demanda) de la siguiente manera, con base en el cuadro 1:

- 1) Identifica la hora con mayor flujo vehicular, la cual es de las 7:45am a las 8:45am.
- 2) El aforo vehicular en esta hora es de 370 vehículos, estos vehículos representan el VHMD (volumen horario de máxima demanda).
- 3) De la hora con mayor flujo vehicular, identificamos el volumen máximo en un lapso de 15 minutos; el cual es de 7:45am a 8:00 am.
- 4) El aforo vehicular en estos 15 minutos es de 110 vehículos, estos representan el  $Q_{15\text{máx}}$  (volumen máximo durante 15 minutos).

Ya identificados estos datos, obtenemos el FHMD (factor horario de máxima demanda) mediante la siguiente expresión.

$$FHMD = VHMD / (4 Q_{15\text{máx}}) \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

FHMD: factor horario de máxima demanda.

VHMD: volumen horario de máxima demanda.

$Q_{15\text{máx}}$ : volumen máximo durante 15 minutos.

## **2.2. Volumen de servicio**

- *Con la ayuda de un aforo vehicular.*

Es el máximo volumen de vehículos que puede transitar sobre una carretera, en un lapso de una hora.

Con ayuda del FHMD (factor horario de máxima demanda) podemos obtener el volumen de servicio con la siguiente expresión:

$$VS = \frac{VHMD}{FHMD} \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

FHMD: factor horario de máxima demanda.

VHMD: volumen horario de máxima demanda.

VS: volumen de servicio.

Con la ayuda del VS (volumen de servicio) y el “Manual de Capacidad Vial” de la SCT, es posible obtener el nivel de servicio y las velocidades de operación.

- *Con la ayuda de los datos viales de la SCT.*

En caso de no contar con un aforo vehicular, podemos recurrir a los datos viales de la SCT; en donde encontramos información de la carretera como:

1.- LUGAR: Contiene los nombres de los puntos generadores; como son, ciudades, poblaciones y entronques.

2.- Km: Kilómetro del punto generador antes referido.

3.- TE (tipo de estación): Considerando el sentido en que crece el kilometraje de la carretera; el número “1” indica que el aforo fue efectuado antes del punto generador, el “2” que fue realizado en el punto generador y el “3” que el aforo fue determinado después del punto generador.

4.- SC (sentido de circulación): El número “1” indica que los datos corresponden al sentido de circulación en que crece el cadenamamiento del camino, el “2” al sentido en que decrece el kilometraje y el “0” a ambos sentidos.

5.- TDPA: Es el tránsito diario promedio anual registrado en el punto generador.

6.- CLASIFICACION VEHICULAR: Se refiere a los tipos de vehículos que integran al tránsito, los cuales son: “A” “B” “C2” “C3” “T3S2” “T3S3” “T3S2R4”.

7.- K': Este factor es útil para determinar el volumen horario de proyecto, el dato proporcionado es aproximado y fue obtenido a partir de relacionar los volúmenes horarios más altos registrados en la muestra de aforo semanal y el tránsito diario promedio anual.

8.- D (Factor Direccional): Este factor fue obtenido tras dividir el volumen de tránsito horario en el sentido de circulación más cargado entre el volumen en ambos sentidos a la misma hora.

9.- COORDENADAS: Presentamos las coordenadas geográficas del sitio de ubicación del equipo de aforo automático. Adicionalmente, aparecen algunos histogramas de los puntos más representativos de los aforos de muestra semanal, que indican la variación en porcentaje de los volúmenes registrados por día de la semana.

Cuadro 2. Datos Viales de la SCT

6 CARR: Querétaro - San Luis Potosí				CLAVE: 00165				RUTA: MEX-057				AÑO: 2014								
LUGAR	ESTACION			CLASIFICACION VEHICULAR EN PORCIENTO										COORDENADAS						
	KM	TE	SC	TDPA	M	A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2/4	OTROS	A	B	C	K'	D	LATITUD	LONGITUD
Querétaro	0.00																			
T. Der. Libramiento de Querétaro	6.28	3	1	42894	0.8	89.6	0.6	3.5	0.9	2.0	1.6	0.2	0.8	90.4	0.6	9.0	0.079	0.505	20.636726	-100.428729
T. Der. Libramiento de Querétaro	6.28	3	2	43695	0.9	88.8	0.6	3.7	1.1	2.1	1.7	0.2	0.9	89.7	0.6	9.7	0.075	0.505	20.636683	-100.428989
T. Izq. Juriquilla	15.63	3	1	29597	0.6	82.5	1.9	10.0	1.5	2.4	0.7	0.3	0.1	83.1	1.9	15.0	0.097	0.513	20.704647	-100.437259
T. Izq. Juriquilla	15.63	3	2	31192	0.4	86.1	0.2	3.1	1.0	4.0	3.0	0.6	1.6	86.5	0.2	13.3	0.071	0.513	20.704646	-100.437262
T. Izq. San Miguel de Allende	28.53	1	1	24423	0.6	79.6	2.0	10.3	1.8	3.6	1.0	0.8	0.3	80.2	2.0	17.8	0.136	0.505	20.809258	-100.448818
T. Izq. San Miguel de Allende	28.53	1	2	23942	0.3	78.4	2.1	10.9	1.9	3.9	1.2	1.0	0.3	78.7	2.1	19.2	0.105	0.505	20.810012	-100.449039
T. Izq. San Miguel de Allende	28.53	3	1	17300	0.8	65.3	3.1	10.4	2.9	11.2	2.7	2.6	1.0	66.1	3.1	30.8	0.070	0.503	20.823907	-100.445706
T. Izq. San Miguel de Allende	28.53	3	2	17514	0.9	61.0	3.3	11.8	3.1	13.0	3.0	2.9	1.0	61.9	3.3	34.8	0.079	0.503	20.823892	-100.445729
Lim. Edos. Terr. Oro. Ppia. Glo.	36.70																			
X. C. San José Iturbide - El Arenal	46.83	1	1	17032	1.1	66.9	3.2	4.1	2.9	14.6	2.9	3.4	0.9	68.0	3.2	28.8	0.061	0.502	20.969508	-100.429423
X. C. San José Iturbide - El Arenal	46.83	1	2	17192	1.1	63.0	3.7	4.7	3.3	16.4	3.2	3.5	1.1	64.1	3.7	32.2	0.062	0.502	20.969510	-100.429423
X. C. Ent. San Miguel de Allende - Dr. Mora	61.93	1	1	14295	2.0	63.0	5.2	7.4	3.3	11.2	4.6	2.4	0.9	65.0	5.2	29.8	0.072	0.519	21.077291	-100.513120
X. C. Ent. San Miguel de Allende - Dr. Mora	61.93	1	2	15449	2.6	59.9	5.3	7.8	3.5	12.4	4.8	2.6	1.1	62.5	5.3	32.2	0.070	0.519	21.077303	-100.513104
X. C. San Luis de La Paz - Guanajuato	86.68	1	1	12503	1.1	69.0	4.2	5.3	2.5	12.6	2.6	2.2	0.5	70.1	4.2	25.7	0.074	0.506	21.282189	-100.591727
X. C. San Luis de La Paz - Guanajuato	86.68	1	2	12810	1.1	66.2	4.6	5.7	2.9	13.4	3.1	2.5	0.5	67.3	4.6	28.1	0.076	0.506	21.282188	-100.591724
T. Izq. San Diego de La Unión	119.07	3	1	10061	2.4	66.3	3.6	5.2	3.6	11.6	4.1	2.3	0.9	68.7	3.6	27.7	0.053	0.509	21.539109	-100.746055
T. Izq. San Diego de La Unión	119.07	3	2	9716	1.3	63.9	3.9	5.4	4.1	13.2	4.4	2.7	1.1	65.2	3.9	30.9	0.064	0.509	21.539105	-100.746055

Fuente: Datos viales SCT 2015

Con la ayuda del TDPA (Transito diario promedio anual) y el factor K', podemos obtener el volumen de servicio con el cual opera cualquier carretera referida en los datos viales; al ser una aproximación de los volúmenes horarios más altos, queda a discreción si es necesario el dividirlo por el FHMD (factor horario de máxima demanda) proporcionado en el "Manual de Capacidad Vial" de la SCT.

$$VS = TDPA * K' \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

VS: Volumen de servicio.

TDPA: Transito diario promedio anual.

K': Factor K'

Al contar con la clasificación vehicular y el volumen de servicio en el que opera una carretera, es posible determinar los niveles de servicio y las velocidades de operación en carreteras.

### 3 Nivel de servicio y velocidades de operación en carreteras de dos carriles

Las carreteras de dos carriles se componen de un carril por sentido, y los rebases a los vehículos de menor velocidad se realizan mediante el carril destinado al tránsito opuesto; los rebases dependen de las características geométricas así como de las zonas de rebase restringido en las cuales no se permite el rebase de vehículos.

En la expresión diseñada para obtener el nivel de servicio en carreteras de dos carriles, existen particularidades de este tipo de carreteras.

La expresión para el análisis de carreteras de dos carriles es la siguiente:

$$(VS)_i = C \frac{V}{C} f_D f_A f_P f_{VP} \dots \dots \dots (4)$$

Donde:

$(VS)_i$  = Volumen de servicio para el nivel de servicio  $i$ , en vph (vehículos por hora) en ambos sentidos de circulación. Podemos convertir este volumen de servicio, multiplicando por el factor de hora de máxima demanda. Cuando no conocemos este factor, podemos utilizar los valores del cuadro 3.

Cuadro 3. Factores de hora de máxima demanda para carreteras de dos carriles, basados en distribución aleatoria de flujo.

VPH AMBAS DIRECCIONES	FHMD
100	0.83
200	0.87
300	0.9
400	0.91
500	0.91
600	0.92
700	0.92
800	0.93
900	0.93
1000	0.93
1100	0.94
1200	0.94
1300	0.94
1400	0.94
1500	0.95
1600	0.95
1700	0.95
1800	0.95
≥1900	0.96

NS	FHMD
A	0.91
B	0.92
C	0.94
D	0.95
E	1

$C$  = Capacidad en condiciones ideales en ambas direcciones; la cual es de 2800 vehículos por hora, en ambas direcciones.

(V/C)<sub>i</sub>= Máxima relación volumen/capacidad asociada al nivel de servicio i. Obtenida del cuadro 4, cuando el análisis es generalizado; esto es, cuando consideramos tramos largos de carretera con características más o menos uniformes o cuando analizamos tangentes con pendientes menores de 3% o con longitudes menores de 800 m.

Cuadro 4. Niveles de servicio para análisis generalizado de las carreteras de dos carriles en ambas direcciones.

TIPO DE TERRENO	NS	DP (a)	VEL (b)	(c)										
				RELACION V/C PARA CARRETERAS CON LONGITUD DE REBASE RESTRINGIDO EN % :										
				0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
PLANO	A	30	93	0.15	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04
	B	45	88	0.27	0.26	0.24	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16
	C	60	83	0.43	0.41	0.39	0.38	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32
	D	75	80	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60	0.60	0.59	0.59	0.58	0.58	0.57
	E	90	72	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	F	100		(d)										
LOMERIO	A	30	91	0.15	0.13	0.10	0.09	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03
	B	45	86	0.26	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13
	C	60	82	0.42	0.41	0.39	0.37	0.35	0.34	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28
	D	75	78	0.62	0.60	0.57	0.55	0.52	0.50	0.48	0.47	0.46	0.45	0.43
	E	90	64	0.97	0.96	0.94	0.93	0.92	0.92	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90
	F	100		(d)										
MONTAÑOSO	A	30	90	0.14	0.12	0.09	0.08	0.07	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01
	B	45	86	0.25	0.23	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	0.13	0.13	0.12	0.10
	C	60	78	0.39	0.36	0.33	0.31	0.28	0.26	0.23	0.22	0.20	0.18	0.16
	D	75	72	0.58	0.54	0.50	0.48	0.45	0.43	0.40	0.39	0.37	0.35	0.33
	E	90	56	0.91	0.89	0.87	0.86	0.84	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78
	F	100		(d)										

FD= Factor de ajuste por efecto de la distribución direccional. Obtenido del cuadro 5, de acuerdo con la distribución observada, que usualmente varía entre 55/45 y 70/30; aunque en caminos turísticos puede ser hasta de 80/20.

Cuadro 5. Factores de ajuste por distribución direccional en carreteras de dos carriles.

Factor de ajuste por distribución direccional en carreteras de dos carriles			
Distribución direccional		A. Generalizado	A. Tang. Especificas
100	0	0.71	0.58
90	10	0.75	0.64
80	20	0.83	0.7
70	30	0.89	0.78
60	40	0.94	0.87
50	50	1	1
40	60		1.2
30	70		1.5

FA= Factor de ajuste por efecto de restricciones en el ancho de carril y acotamientos o distancia a obstáculos laterales. Obtenido del cuadro 6.

Cuadro 6. Factores de ajuste por efecto de restricciones en el ancho de carril y de acotamientos en carreteras de dos carriles.

		ANCHO DE CARRIL, EN M Y NIVEL DE SERVICIO							
Ancho de acotamiento	3.5		3.3		3		2.7		
	A-D	E	A-D	E	A-D	E	A-D	E	
1.8	1	1	0.93	0.94	0.84	0.87	0.7	0.76	
1.2	0.92	0.97	0.85	0.92	0.77	0.85	0.65	0.74	
0.6	0.81	0.93	0.75	0.88	0.68	0.81	0.57	0.7	
0	0.7	0.88	0.65	0.82	0.58	0.75	0.49	0.66	

Fp= Factor de ajuste por efecto sobre los automóviles, de la pendiente en tangentes verticales. Es igual a uno, si el análisis es generalizado

Fvp= Factor de ajuste por efecto de vehículos pesados. Para análisis generalizados es obtenido de la siguiente expresión.

$$fVP = (Pp + PcEc + PrEr + PbEb)^{-1} \quad (5)$$

Donde:

Pp, Pc, Pr y Pb = las proporciones de automóviles, camiones, vehículos recreativos y autobuses.

Ec, Er y Eb = Los automóviles equivalentes respectivos, que obtenemos del cuadro 7.

Cuadro 7. Automóviles equivalentes para análisis generalizado de carreteras de dos carriles.

Tipo de Vehículo	Símbolo	NS	Plano	Lomerío	Montañoso
Camión	EC	A	2	4	7
		B-C	2.2	5	10
		D-E	2	5	12
Recreacional	ER	A	2.2	3.2	5
		B-C	2.5	3.9	5.2
		D-E	1.6	3.3	5.2
Autobus	EB	A	1.8	3	5.7
		B-C	2	3.4	6
		D-E	1.6	2.9	6.5

Con el cuadro 4 obtenemos el nivel de servicio para la carretera deseada.

Al tener el volumen VSi para cada uno de los niveles de servicio, es posible comparar el volumen de servicio derivado de los aforos y encontrar el nivel de servicio en el cual se encuentra operando la carretera en análisis.

A cada nivel de servicio se encuentra asociada la velocidad de operación por tipo de terreno. Con esta velocidad de operación estimamos un IIR para poder calcular

los costos de operación vehicular y el tiempo de recorrido del tránsito usuario; los que constituyen los insumos necesarios para realizar el análisis costo-beneficio de la evaluación económica de proyectos.

## 4 Niveles de servicio y velocidades de operación en carreteras de carriles múltiples

---

Las carreteras de carriles múltiples son aquellas que tienen dos o más carriles por sentido, no cuentan con un control de acceso y pueden o no tener separación central; estas condiciones hacen que pueda variar el flujo del tránsito, y provoca que la velocidad de operación sea menor que en las autopistas.

Al igual que para el caso de carreteras de dos carriles de circulación (un carril por sentido), en carreteras de dos o más carriles por sentido de circulación será necesario obtener el nivel de servicio en que se encuentran operando la carretera a partir del volumen de servicio dado por un aforo previo o al análisis de los datos viales de la SCT; ya que conocemos estos datos, pasamos a la expresión básica para el análisis de carreteras de carriles múltiples, mostrada con la expresión 6 siguiente.

$$V_{Si} = C * \frac{v}{c} * N * f_a * f_{VP} * f_c \quad (6)$$

Donde:

$V_{Si}$  = Volumen de servicio por sentido para el nivel de servicio  $i$ , en vph. Este volumen de servicio puede convertirse a volumen de proyecto, si lo multiplicamos por el factor de hora de máxima demanda.

$C$  = Capacidad por carril en condiciones ideales es de 2000 automóviles por hora por carril (aphpc), para velocidades de proyecto de 90 km/h o mayores; y de 1900 aphpc para velocidades menores.

$(v/c)$  = Máxima relación volumen/Capacidad asociada al nivel de servicio  $i$ , el cual obtenemos del cuadro 8.

Cuadro 8. Niveles de servicio asociados a la velocidad del proyecto.

Nivel de serv.	D	VELOCIDAD DE PROYECTO EN KM/H					
		110		100-90		80	
		V	V/C	V	V/C	V	V/C
A	8	95	0.36	95	0.36	95	0.36
B	13	90	0.6	79	0.52	79	0.52
C	19	84	0.8	74	0.7	68	0.68
D	27	70	0.95	66	0.86	61	0.86
E	42	48	1	48	1	48	1
F							

N = Número de carriles por sentido.

f<sub>A</sub> = Factor de ajuste por restricciones en el ancho de carriles y obstáculos laterales. Este factor es obtenido del cuadro 9.

Cuadro 9. Factores de ajuste por restricciones en el ancho de carril y distancia a obstáculos laterales en carreteras de carriles múltiples.

N ambos sentidos	distancia libre lateral	obstaculos en un lado, anchos de carril, en m			
		3.5	3.3	3.0	2.7
4	1.80	1.00	0.95	0.89	0.77
	1.20	0.98	0.94	0.88	0.76
	0.60	0.95	0.92	0.86	0.75
	0.00	0.88	0.85	0.80	0.70
6	1.80	1.00	0.95	0.89	0.77
	1.20	0.99	0.94	0.88	0.76
	0.60	0.97	0.93	0.86	0.75
	0.00	0.94	0.90	0.83	0.72

f<sub>c</sub> = Factor de ajuste por efecto de los conductores. Es de 1.00 cuando están familiarizados con la autopista; en caso contrario, varía entre 0.90 y 0.75.

f<sub>VP</sub> = Factor de ajuste por efecto de vehículos pesados. Lo calculamos con la expresión

$$f_{vp} = \frac{1}{1+PC(EC-1)+PB(EB-1)+PR(ER-1)} \quad (7)$$

Donde:

PC, PB Y PR son las proporciones de camiones, autobuses y vehículos recreativos, y EC, EB Y ER; los respectivos automóviles equivalentes, cuyos valores derivan del cuadro 10.

Cuadro 10. Automóviles equivalentes para análisis generalizado de segmentos de autopista

Tipo de Vehículo	Símbolo	Terreno		
		Plano	Lomerío	Montañoso
Camión	Ec	1.7	4	8
Autobus	Eb	1.5	3	5
Recreativo	Er	1.6	3	4

El volumen de servicio se obtiene utilizando la expresión 8.

$$VS = \frac{V}{FHMD} \quad (8)$$

En donde VS es el volumen de servicio en vph

V= volumen horario

FHMD= Factor de hora de máxima demanda.

Una vez estimado el VS, procedemos a obtener la relación v/c con la expresión (8)

La relación v/c está asociada a la velocidad y al nivel de servicio; tal y como muestra el cuadro 17,

$$\frac{v}{c} = \frac{VDM}{C \times N \times f_A \times f_C \times f_{VP}} \quad (9)$$

Y con el cuadro 8 determinamos el nivel de servicio y la velocidad.

Otra forma de encontrar el nivel de servicio y las velocidades con las que operan los tramos carreteros en estudio, es a partir de la determinación del VS<sub>i</sub>, con la expresión (6), los que permitirán conocer qué nivel y velocidad de operación tiene el VS.



## **5 Estimación de las velocidades de operación.**

Determinamos las velocidades de los vehículos pesados, multiplicando el promedio de la velocidad por un factor de ajuste; el que fue obtenido de la división de la velocidad del vehículo del cual queremos registrar la velocidad en condiciones ideales entre la velocidad del vehículo tipo “A”, también en condiciones ideales. Estas velocidades fueron obtenidas de la publicación técnica No 368. Con lo que tuvimos los siguientes factores de ajuste para las diferentes velocidades referenciados en el cuadro 11.

Cuadro 11. Factor de ajuste para convertir la velocidad del vehículo ligero en velocidad de vehículo pesado

TIPO DE VEHICULO	VELOCIDAD EN CONDICIONES IDEALES km/h	FACTOR DE AJUSTE
A	85	1.000
B	80	0.941
C2	69	0.812
C3	65	0.765
T3S2	73	0.859
T3S3	65	0.765
T3S2R4	54	0.635

Tomamos como referencia la publicación técnica No 368, “Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2014”.



## 6 Ejemplo del análisis generalizado de niveles de servicio y velocidades de operación para carreteras de dos carriles:

Características de la carretera por analizar	
Velocidad de proyecto(km/h)	90
Ancho de calzada (m)	6.00
Ancho de Corona (m)	7.20
Tipo de terreno	Plano
Restricción a rebases (%)	50
Volumen Horario	350
Distribución direccional (%)	50/50
Composición (A, B, C, R) (%)	80,10,10,0
Factor horario de máxima demanda	0.905

Para carreteras de dos carriles (uno por sentido), partimos de la expresión 4.

$$(VS)_i = C \frac{v}{c} f_D f_A f_P f_{VP}$$

Con la ayuda de esta ecuación y los siguientes pasos, es posible determinar la velocidad de operación y el nivel de servicio al cual opera la carretera con las anteriores características.

1.- Aplicando la expresión 2, y con ayuda del volumen horario y el FHMD (factor horario de máxima demanda), obtenemos el Vs (volumen de servicio) de la carretera en análisis:

$$Vs = \frac{350}{0.905} = 387$$

2.- La capacidad en carreteras de dos carriles en ambos sentidos es de 2800 vph (vehículos por hora, por lo tanto C=2800).

3.- Contamos con una restricción de rebases del 50% y un tipo de terreno plano, con la ayuda de estos datos determinamos la relación v/c (Volumen capacidad) con el cuadro siguiente.

Cuadro 4. Niveles de servicio para análisis generalizado de las carreteras de dos carriles en ambas direcciones.

TIPO DE TERRENO	NS	VEL (b)	(c)										
			RELACION V/C PARA CARRETERAS CON LONGITUD DE REBASE TRINGIDO EN % :										
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
PLANO	A	93	0.15	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04
	B	88	0.27	0.26	0.24	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16
	C	83	0.43	0.41	0.39	0.38	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32
	D	80	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60	0.60	0.59	0.59	0.58	0.58	0.57
	E	72	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	F		(d)										
LOMERIO	A	91	0.15	0.13	0.10	0.09	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03
	B	86	0.26	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13
	C	82	0.42	0.41	0.39	0.37	0.35	0.34	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28
	D	78	0.62	0.60	0.57	0.55	0.52	0.50	0.48	0.47	0.46	0.45	0.43
	E	64	0.97	0.96	0.94	0.93	0.92	0.92	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90
	F		(d)										
MONTAÑOSO	A	90	0.14	0.12	0.09	0.08	0.07	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01
	B	86	0.25	0.23	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	0.13	0.13	0.12	0.10
	C	78	0.39	0.36	0.33	0.31	0.28	0.26	0.23	0.22	0.20	0.18	0.16
	D	72	0.58	0.54	0.50	0.48	0.45	0.43	0.40	0.39	0.37	0.35	0.33
	E	56	0.91	0.89	0.87	0.86	0.84	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78
	F		(d)										

Relaciones volumen capacidad ligadas a los niveles de servicio.

NS	C	v/c
A	2800	0.08
B	2800	0.2
C	2800	0.35
D	2800	0.6
E	2800	1

4.- La carrteera tiene una distribución direccional de 50%/50%; por lo tanto, los factores de ajuste por distribución direccional en carreteras de dos carriles son los siguientes:

Factor de ajuste por distribución direccional en carreteras de dos carriles		
Distribución direccional	A. Generalizado	A. Tang. Especificas
100 0	0.71	0.58
90 10	0.75	0.64
80 20	0.83	0.7
70 30	0.89	0.78
60 40	0.94	0.87
50 50	1	1
40 60		1.2
30 70		1.5

Por lo tanto, los factores de ajuste por distribución direccional en carreteras de dos carriles son:

NS	C	v/c	fD
A	2800	0.08	1
B	2800	0.2	1
C	2800	0.35	1
D	2800	0.6	1
E	2800	1	1

5.- La carretera por analizar cuenta con un ancho de calzada de 6.00m y un ancho de corna de 7.20 m; con estos datos el cuadro 6 nos muestra los factores de ajuste por efecto de restricciones en el ancho de carril y de acotamientos, en carreteras de dos carriles “fA”,

Cuadro 6. Factores de ajuste por efecto de restricciones en el ancho de carril y de acotamientos, en carreteras de dos carriles.

Ancho de acotamiento	ANCHO DE CARRIL, EN M Y NIVEL DE SERVICIO							
	3.5		3.3		3		2.7	
	A-D	E	A-D	E	A-D	E	A-D	E
1.8	1	1	0.93	0.94	0.84	0.87	0.7	0.76
1.2	0.92	0.97	0.85	0.92	0.77	0.85	0.65	0.74
0.6	0.81	0.93	0.75	0.88	0.68	0.81	0.57	0.7
0	0.7	0.88	0.65	0.82	0.58	0.75	0.49	0.66

NS	C	v/c	fD	fA
A	2800	0.08	1	0.68
B	2800	0.2	1	0.68
C	2800	0.35	1	0.68
D	2800	0.6	1	0.68
E	2800	1	1	0.81

6.- Como el análisis es generalizado, el factor de ajuste por efecto sobre los automóviles de la pendiente en tangentes verticales “fP” es igual a uno.

NS	C	v/c	fD	fA	fP
A	2800	0.08	1	0.68	1
B	2800	0.2	1	0.68	1
C	2800	0.35	1	0.68	1
D	2800	0.6	1	0.68	1
E	2800	1	1	0.81	1

7.- El factor de ajuste por efecto de vehículos pesados es de suma importancia para este análisis, ya que con este obtenemos la equivalencia de vehículos pesados a vehículos ligeros, el cual deducimos con la expresión 5:

$$fVP = (Pp + PcEc + PrEr + PbEb)^{-1} \quad (5)$$

Donde:

PC, PB Y PR son las proporciones de camiones, autobuses y vehículos recreativos, y EC, EB Y ER; los respectivos automóviles equivalentes, cuyos valores están en el cuadro 10.

Cuadro 10. Automóviles equivalentes para análisis generalizado de segmentos de autopista

Tipo de Vehículo	Simbolo	NS	Plano	Lomerio	Montañoso
Camión	EC	A	2	4	7
		B-C	2.2	5	10
		D-E	2	5	12
Recreacional	ER	A	2.2	3.2	5
		B-C	2.5	3.9	5.2
		D-E	1.6	3.3	5.2
Autobus	EB	A	1.8	3	5.7
		B-C	2	3.4	6
		D-E	1.6	2.9	6.5

Para este caso, contamos con un tipo de terreno plano y un porcentaje de vehículos A = 80%, B = 10%, C = 10%, R = 0%

Con estos datos obtenemos los siguientes factores de auste por efecto de vehículos pesados ligados a los niveles de servicio:

NS	Pp	Pc	EC	Pb	EB	fVP
A	80%	10%	2	10%	1.8	0.85
B	80%	10%	2.2	10%	2	0.82
C	80%	10%	2.2	10%	2	0.82
D	80%	10%	2	10%	1.6	0.86
E	80%	10%	2	10%	1.6	0.86

8.-Con la obtención de los datos que forman la ecuación 4 para determinar el volumen de servicio para cada nivel de servicio, procedemos a determinar los volúmenes de servicio correspondientes a cada nivel de servicio.

$$(VS)_i = C \frac{v}{c} f_D f_A f_P f_{VP}$$

NS	C	v/c	fD	fA	fP	fVp	vs
A	2800	0.08	1	0.68	1	0.85	129
B	2800	0.2	1	0.68	1	0.82	312
C	2800	0.35	1	0.68	1	0.82	546
D	2800	0.6	1	0.68	1	0.86	985
E	2800	1	1	0.81	1	0.86	1955

Los volúmenes de servicio calculados serán únicamente para las características de esta carretera, los cuales serán comparados con el volumen de servicio de esta, determinado en el primer paso de este ejemplo.

9.- El volumen de servicio de esta carretera es de 387 (vph) vehículos por hora, en ambas direcciones.

$$V_s = \frac{350}{0.905} = 387$$

Por lo tanto, la carretera cuenta con un nivel de servicio “C”.

10.- Ya que Contamos con el nivel de servicio, determinamos la velocidad de operación de los vehículos ligeros, ya que en este análisis fue realizada la conversión de los vehículos pesados que circulaban por la carretera, a vehículos ligeros.

Con base en el cuadro 4, y conociendo el tipo de terreno, los volúmenes de servicio ligados a los niveles de servicio, las velocidades de operación para cada nivel de servicio y el volumen de servicio de la carretera a estudiar; determinamos la velocidad de operación, mediante una interpolación.

Cuadro 4. Niveles de servicio para análisis generalizado de las carreteras de dos carriles en ambas direcciones.

TIPO DE TERRENO	NS	VEL (b)	(c) RELACION V/C PARA CARRETERAS CON LONGITUD DE REBASE TRINGIDO EN % :										
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
PLANO	A	93	0.15	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04
	B	88	0.27	0.26	0.24	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16
	C	83	0.43	0.41	0.39	0.38	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32
	D	80	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60	0.60	0.59	0.59	0.58	0.58	0.57
	E	72	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	F		(d)										
LOMERIO	A	91	0.15	0.13	0.10	0.09	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03
	B	86	0.26	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13
	C	82	0.42	0.41	0.39	0.37	0.35	0.34	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28
	D	78	0.62	0.60	0.57	0.55	0.52	0.50	0.48	0.47	0.46	0.45	0.43
	E	64	0.97	0.96	0.94	0.93	0.92	0.92	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90
	F		(d)										
MONTAÑOSO	A	90	0.14	0.12	0.09	0.08	0.07	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01
	B	86	0.25	0.23	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	0.13	0.13	0.12	0.10
	C	78	0.39	0.36	0.33	0.31	0.28	0.26	0.23	0.22	0.20	0.18	0.16
	D	72	0.58	0.54	0.50	0.48	0.45	0.43	0.40	0.39	0.37	0.35	0.33
	E	56	0.91	0.89	0.87	0.86	0.84	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78
	F		(d)										

NS	Vel	vs
A	93	129
B	88	312
C	83	546
D	80	985
E	72	1955

$$Vel = \left[ \left( \frac{88 - 83}{546 - 312} * (546 - 386) \right) \right] + 83 = 86.41 \text{ km/h}$$

La velocidad de operación de los vehículos ligeros en la carretera estudiada es de 86.41 km/h.

11.- Con la obtención de la velocidad de operación de los vehículos ligeros, calculamos la velocidad de operación de los diferentes vehículos que conforman el TDPA (transito diario promedio anual) de la carretera, aplicando los factores de ajuste contenidos en el cuadro 11.

Factor de ajuste para convertir la velocidad del vehículo ligero en velocidad de vehículo pesado

TIPO DE VEHICULO	VELOCIDAD EN CONDICIONES IDEALES km/h	FACTOR DE AJUSTE
A	85	1.000
B	80	0.941
C2	69	0.812
C3	65	0.765
T3S2	73	0.859
T3S3	65	0.765
T3S2R4	54	0.635

Tomando en cuenta que la velocidad de operación de los vehículos ligeros es de 86.41 km/h, tenemos que las velocidades de los diferentes vehículos que conforman el TDPA son las referidas en el cuadro 12.:

Cuadro 12. Velocidades de operación de los diferentes tipos de vehículos que transitan por la carretera de dos carriles.

TIPO DE VEHICULO	FACTOR DE AJUSTE	VELOCIDAD km/h
A	1.000	86.41
B	0.941	81.33
C2	0.812	70.14
C3	0.765	66.08
T3S2	0.859	74.21
T3S3	0.765	66.08
T3S2R4	0.635	54.90

Por lo tanto, la carretera cuenta con un nivel de servicio "C" y las velocidades de operación anteriormente mencionadas en el cuadro 12. Lo cual supone que la carretera estudiada contiene fluidez pero no queda exenta de que en un futuro no muy lejano se acerque a su capacidad máxima, por lo que las autoridades deberán planear algunas mejoras.



## 7 Ejemplo del análisis generalizado de niveles de servicio y velocidades de operación, para carreteras de carriles múltiples:

Características de la carretera a analizar	
Velocidad de proyecto(km/h)	110
Carriles por sentido	2
Ancho de carril (m)	3.00
Distancia libre lateral (m)	0.60
Tipo de terreno	Plano
Volumen Horario por sentido	2100
Composición (A, B, C, R) (%)	80,10,10,0
Factor horario de máxima demanda	0.905

1.- El primer paso es obtener el VS (volumen de servicio el cual se obtien con la ayuda de la ecuación 2).

$$VS = \frac{2100}{0.905} = 2320$$

Vs
2320

2.- Para la determinación de las velocidades de operación y nivel de servicio para carreteras de carriles múltiples, utilizamos la expresión 6.

$$VS_i = C * \frac{v}{c} * N * f_a * f_{VP} * f_c \quad (6)$$

3.- Como no conocemos la relación  $v/c$ , pero si conocemos el volumen de servicio- que es de 2320 vph (vehículos por hora)-, despejamos la ecuación 6. como aparece en la ecuación 10:

$$\frac{v}{c} = \frac{VS_i}{C * N * f_a * f_{VP} * f_c} \quad (10)$$

4.- La capacidad por carril en condiciones ideales es de 2000 aphpc (automóviles por hora por carril), para velocidades de proyecto de 90 km/h o mayores, y de 1900 aphpc (automóviles por hora por carril) para velocidades menores; como en la carretera por analizar contamos con una velocidad de proyecto de 110 km/h, la capacidad es de 2000 aphpc (automóviles por hora por carril); por lo tanto  $C=2000$ .

Vs	C
2320	2000

5.- La carretera cuenta con dos carriles por sentido, por lo tanto  $N=2$ .

Vs	C	N
2320	2000	2

6.- La carretera cuenta con un ancho de carril de 3.00m y una distancia libre lateral de 0.60 m, con estos datos obtenemos el factor de ajuste por restricciones en el ancho de carril y distancia a obstáculos laterales en carreteras de carriles múltiples. El factor de ajuste llega a partir del cuadro 9, tal y como muestra el tabulado siguiente:

Factores de ajuste por restricciones en el ancho de carril y distancia a obstáculos laterales en carreteras de carriles múltiples.

N ambos sentidos	distancia libre lateral	obstaculos en un lado, anchos de carril, en m			
		3.5	3.3	3.0	2.7
4	1.80	1.00	0.95	0.89	0.77
	1.20	0.98	0.94	0.88	0.76
	0.60	0.95	0.92	0.86	0.75
	0.00	0.88	0.85	0.80	0.70
6	1.80	1.00	0.95	0.89	0.77
	1.20	0.99	0.94	0.88	0.76
	0.60	0.97	0.93	0.86	0.75
	0.00	0.94	0.90	0.83	0.72

El factor de ajuste por restricciones en el ancho de carril y distancia a obstáculos laterales en carreteras de carriles múltiples es de  $f_a=0.86$

Vs	C	N	fA
2320	2000	2	0.86

7.- Para determinar el factor de ajuste por efecto de vehículos pesados  $f_{VP}$ , utilizamos la ecuación 7.

$$f_{VP} = \frac{1}{1+PC(EC-1)+PB(EB-1)+PR(ER-1)} \quad (7)$$

La carretera cuenta con un tipo de terreno plano y un porcentaje de vehículos A=80%, B=10%, C=10%, R=0%.

Con esta clasificación vehicular, y con la ayuda del cuadro 10, obtenemos el factor de ajuste por efecto de vehículos pesados, tal y como vemos a continuación:

Automóviles equivalentes para análisis generalizado de segmentos de autopista

Tipo de Vehículo	Símbolo	Terreno		
		Plano	Lomerío	Montañoso
Camión	Ec	1.7	4	8
Autobus	Eb	1.5	3	5
Recreativo	Er	1.6	3	4

Pc	Ec	Pb	Eb	$f_{VP}$
0.1	1.7	0.1	1.5	0.89

Por lo tanto, el factor de ajuste por efecto de vehículos pesados es de  $f_{VP}=0.89$ .

Vs	C	N	fA	$f_{VP}$
2320	2000	2	0.86	0.89

8.-Con la obtención de los datos que forman la ecuación 10, determinamos la relación  $v/c$  (volumen capacidad).

$$\frac{v}{c} = \frac{VSi}{C * N * f_A * f_{VP} * f_c} \quad (10)$$

Vs	C	N	fA	$f_{VP}$	$v/c$
2320	2000	2	0.86	0.89	0.76

9.- Teniendo como dato la velocidad de proyecto -que es de 110 km/h- y conociendo la relación v/c (volumen capacidad) de 0.76, ingresamos al cuadro 8 y comparamos la relación v/c (volumen capacidad) obtenida, y la relación v/c (volumen capacidad) de cada nivel de servicio; para así conocer el nivel de servicio en el que opera la carretera:

Niveles de servicio asociados a la velocidad del proyecto.

Nivel de serv.	D	VELOCIDAD DE PROYECTO EN KM/H					
		110		100-90		80	
		V	V/C	V	V/C	V	V/C
A	8	87	0.38	79	0.34	79	0.45
B	13	82	0.56	75	0.50	66	0.61
C	19	76	0.73	68	0.66	62	0.80
D	27	67	0.90	61	0.83	55	1.00
E	42	48	1.00	48	1.00	45	1.00
F							

Para una velocidad de operación de 110 km/h y una relación v/c (volumen capacidad) de 0.76, determinamos que el nivel de servicio en el que opera la carretera es de tipo "D".

10.- La velocidad de operación en la que funciona la carretera es determinada mediante una interpolación de los valores entre los que se encuentra la relación v/c (volumen capacidad) obtenida y la relación v/c (volumen capacidad) ligada a los niveles de servicio.

$$Vel = \left[ \left( \frac{76 - 67}{0.90 - 0.73} * (0.90 - 0.76) \right) \right] + 67 = 74.41 \text{ km/h}$$

11.- Con la obtención de la velocidad de operación de los vehículos ligeros, calculamos la velocidad de operación de los diferentes vehículos que conforman el TDPA (transito diario promedio anual) de la carretera, aplicando los factores de ajuste contenidos en el cuadro 11.

Factor de ajuste para convertir la velocidad del vehículo ligero, en velocidad de vehículo pesado

TIPO DE VEHICULO	VELOCIDAD EN CONDICIONES IDEALES km/h	FACTOR DE AJUSTE
A	85	1.000
B	80	0.941
C2	69	0.812
C3	65	0.765
T3S2	73	0.859
T3S3	65	0.765
T3S2R4	54	0.635

Tomando en cuenta que la velocidad de operación de los vehículos ligeros es de 74.41 km/h, tenemos que las velocidades de los diferentes vehículos que conforman el TDPA son los referidos en el cuadro siguiente:

Cuadro 13. Velocidades de operación de los diferentes tipos de vehículos que transitan por la carretera de carriles múltiples.

TIPO DE VEHICULO	FACTOR DE AJUSTE	VELOCIDAD km/h
A	1.000	74.41
B	0.941	70.03
C2	0.812	60.40
C3	0.765	56.90
T3S2	0.859	63.91
T3S3	0.765	56.90
T3S2R4	0.635	47.27

Por lo tanto, la carretera cuenta con un nivel de servicio "D" y las velocidades de operación anteriormente mencionadas en el cuadro 13. Por lo que la carretera analizada de una mejora inmediata en sus características para poder conservar una correcta velocidad de operación.



# Conclusiones

---

El presente estudio permitirá contar con una guía para la obtención de los niveles de servicio en distintos tramos carreteros con distintas características geométricas en un horizonte de proyecto determinado; y, a su vez, poder ligar los niveles de servicio con las velocidades de operación.

Con esto pretendemos proveer de una herramienta amigable a los responsables de la toma de decisiones para la obtención de las velocidades de operación; las cuales son fundamentales para la obtención de los beneficios derivados de una modificación, ampliación o construcción de infraestructura carretera, los cuales son parte de los insumos necesarios para la evaluación económica de proyectos de infraestructura carretera.

Con la estimación de velocidades de operación de los distintos tipos de vehículos que conforman el volumen de tránsito TDPA; el analista de proyectos de inversión contará con elementos suficientes para la estimación de costos de operación vehicular por tipo de vehículo, así como con el tiempo de recorrido de dichos vehículos en las condiciones actuales (sin proyecto) y en la condición futura propuesta de modernización (ampliación de sección o de incremento en el número de carriles de circulación) o bien de la construcción de una obra nueva consideradas estas propuestas como la condición futura (con proyecto); ello permitirá que podamos obtener los beneficios debidos a los ahorros en costos de operación vehicular y a los ahorros en tiempo de recorrido necesarios para la estimación de los indicadores de rentabilidad económica de este tipo de infraestructura, y determinar -a partir de ellos- la factibilidad o viabilidad de llevar a cabo el proyecto de modernización o de construcción de carreteras.

Los beneficios podrán ser obtenidos por tipo de vehículo así como los beneficios totales derivados del proyecto que la autoridad pretenda realizar, determinando asimismo los beneficios en forma anualizada y a lo largo del horizonte económico del proyecto.

# Bibliografía

---

**ALBERRO, J.** *Costo de oportunidad social del tiempo de usuarios del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México*, El trimestre económico 297, enero-marzo de 2008, Fondo de Cultura Económica, México, 2008.

**ARROYO, J. AGUERREBERE, R y TORRES, G.** “*COSTOS DE OPERACIÓN BASE DE LOS VEHÍCULOS REPRESENTATIVOS DEL TRANSPORTE INTERURBANO 2012*” Publicación técnica N° 368, Instituto Mexicano del Transporte, 2012.

**CERVINI, Héctor F.** *Valor Social del Tiempo* (versión preliminar), Departamento de Economía Aplicada, Universidad Autónoma de Barcelona.- <[http://www.ecap.uab.es/jpasqual/materials/valor\\_social\\_tiempo.pdf](http://www.ecap.uab.es/jpasqual/materials/valor_social_tiempo.pdf)>

**CONASAMI.** *Salario Mínimo General Promedio*, Comisión Nacional de Salarios Mínimos, México, <<http://www.conasami.gob.mx>>

**CORTÉS, F.** *El ingreso y la desigualdad en su distribución, México: 1997-2000*, Papeles de Población No. 35 enero/marzo 2003. Universidad Autónoma del Estado de México. < <http://papelesdepoblacion.uaemex.mx/pp35/pp35.html> >.

**GWILLIAM, Kenneth.** *The value of time in economic evaluation of transport projects, lessons from recent research in “Infrastructure Notes” No. OT-5*, Transport Sector World Bank, January 1995 <http://www.worldbank.org/transport/publicat/td-ot5.htm>

**SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES** “*Manual de capacidad vial*” México, 1991.

**TORRES, G., HERNÁNDEZ, S. y RUVALCABA, J.** “*Actualización de la metodología para estimar el valor del tiempo de los usuarios de la red carretera nacional*”. Publicación técnica N° 381, Instituto Mexicano del Transporte, 2012.

**TRANSPORTATION RESEARCH BOARD** “*Highway capacity manual 2010*” Washington D.C. 2010.



INSTITUTO  
MEXICANO DEL  
TRANSPORTE



Carretera Querétaro-Galindo km 12+000  
CP 76700, Sanfandila  
Pedro Escobedo, Querétaro, México  
Tel +52 (442) 216 9777 ext. 2610  
Fax +52 (442) 216 9671

[publicaciones@imt.mx](mailto:publicaciones@imt.mx)

<http://www.imt.mx/>