

## ANEXO 2

### METODOLOGÍA UTILIZADA EN EL CÁLCULO DE LA VELOCIDAD

La velocidad que puede desarrollar un vehículo en un tramo carretero esta en función de las características físicas y geométricas de la carpeta, así como del estado del tiempo, del volumen de tránsito y de las características propias del conductor. Esto hace ver que la velocidad desarrollada por un vehículo en un trecho no es constante, por lo que se vuelve necesario para su medición y estimación, tomar valores promedio de velocidad.

En el presente estudio es conveniente conocer la velocidad promedio a la que viaja el conductor típico, ya que ésta determinará el tiempo de recorrido y por tanto el ahorro del tiempo que se pueda obtener al desarrollar una velocidad más alta en una carretera mejorada.

Sabemos que a una mayor velocidad el tiempo de recorrido será menor, pero hay que tener en cuenta que el ahorro en el tiempo será más significativo si la velocidad promedio inicial es baja (aprox. 30 ó 40 km./hr) en comparación a si la velocidad en la situación sin proyecto ya es alta ( 90 km./hr). En base a estudios se ha determinado que a partir de los 90 km./hr los ahorros en el tiempo por incrementos en la velocidad son relativamente pequeños.

Existen diversas formas para medir la velocidad de los vehículos en un tramo de la carretera, una de las más comunes en estudios de velocidad es la *Velocidad de Recorrido Total*. Esta se obtiene de dividir la distancia recorrida de principio a fin, entre el tiempo total que se empleó en recorrerla. En ese tiempo de recorrido estarán incluidos todos los tiempos en que el vehículo haya variado la velocidad o se haya detenido por cualquier causa, excepto cuando ésta sea ajena a la vía.

El conocimiento de la velocidad de recorrido total, sirve para evaluar la eficiencia de una vía, o bien comparar condiciones de fluidez cuando se hayan hecho cambios en el estándar de la carretera y así medir los efectos.

Los períodos de tiempo recomendados por la S.C.T. para realizar las muestras de la velocidad y hacer las mediciones a los cuales el equipo evaluador se acato, se dividen en tres partes durante es día las cuales son:

- I) una hora entre las 9 y las 12 horas
- II) una hora entre las 15 y las 18 horas
- III) una hora entre las 20 y las 22 horas

## **METODOLOGÍA UTILIZADA PARA LA PROYECCIÓN DE LA VELOCIDAD EN LA SITUACIÓN SIN PROYECTO (POR CAPACIDAD).**

Con el objeto de calcular los costos de operación y tiempo de viaje, se requirió determinar la proyección de la velocidad durante el horizonte de planeación; ya que de ésta, dependen también los costos generalizados de viaje ( CGV ).

Para estos efectos se utilizó una expresión que relaciona la velocidad en función de la relación volumen/capacidad.

Es importante establecer que se debió considerar otras variables relacionadas con las características que prevalecen en la carretera; ya que de ellas depende la velocidad a la cual el usuario decide transitar, tomando como base el Manual de Capacidad Vial.<sup>9</sup>

Antes de indicar la expresión que se utilizó, es preciso aclarar que el análisis de carreteras de dos carriles y carreteras de carriles múltiples son diferentes, ya que la capacidad y las características que prevalecen en ellas también lo son; por lo que para proyectar la velocidad en la situación sin proyecto, se empleó una expresión relacionada a carreteras de dos carriles, y para la situación con proyecto se utilizó otra expresión relacionada a carreteras de carriles múltiples.

Las velocidades obtenidas por capacidad se consideran como velocidades deseadas en condiciones ideales de la carretera, por lo que se utilizó el programa HDM - VOC para calcular la velocidad de operación, suministrando como velocidad deseada la calculada por capacidad como una variable del programa, ya que en éste programa se considera el índice de rugosidad como una variable que afecta a la velocidad y que por capacidad este índice no se toma en cuenta o sea que una carretera no ve afectada su velocidad ideal por mejoramiento en la superficie de rodamiento.

### **DEFINICIONES**

#### **1. Capacidad**

Capacidad de un camino o de un carril , es el número Máximo de vehículos que pueden circular por él durante un período de tiempo determinado y bajo condiciones prevalecientes, tanto del propio camino como de la operación del tránsito.

La capacidad normalmente no puede ser excedida sin cambiar una o más de las condiciones prevalecientes. Al expresar la capacidad, es esencial plantear cuáles son las condiciones prevalecientes del camino del tránsito.

---

9 SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES, Manual de Capacidad Vial, 1a. Ed., (México D.F. 1991).

## 2. Condiciones prevalecientes

- Composición del tránsito.
- Los alineamiento horizontal y vertical.
- Número y anchos de carriles.

Las condiciones prevalecientes se pueden dividir en dos grupos generales:

- a).- Condiciones establecidas por las características físicas del camino.
- b).- Condiciones que dependen de la naturaleza del tránsito del camino.

Las condiciones prevalecientes del camino no pueden ser cambiadas, a menos a que se lleven a cabo una reconstrucción del camino. Las condiciones prevalecientes del tránsito pueden cambiar o ser cambiadas de hora en hora, o durante varios períodos del día.

Además de las condiciones del camino y del tránsito están las condiciones ambientales, como son el frío, el calor, la lluvia, la nieve, los vientos, la niebla, la visibilidad, etc., condiciones que afectan la capacidad de un camino; sin embargo debido a que los datos disponibles son limitados, la cuantificación de su efecto no se consideró en el cálculo de los volúmenes de servicio y las velocidades.

## 3. Nivel de servicio.

Nivel de servicio (  $N_s$  ) es un término que denota un numero de condiciones de operación diferente 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 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 las velocidades que pueden alcanzarse en ese camino.

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

Cuando el volumen de tránsito iguala a la capacidad de la carretera, las condiciones de operación son deficientes aun bajo condiciones ideales de la vía y del tránsito, ya que las velocidades son bajas, con frecuentes paros y demoras. Para que una carretera suministre un nivel de servicio aceptable, es necesario que

el volumen de servicio sea menor que la capacidad de la carretera. El volumen máximo que puede transportarse en cualquier nivel de servicio seleccionado, es llamado volumen de servicio para ese nivel.

Para efecto de este estudio se considera el volumen promedio de cada nivel de servicio de A, B, C, D, E Y F, para determinar la velocidad de tránsito de este volumen, siendo el nivel A de una circulación de flujo libre, nivel B flujo estable, teniendo cada vez más problemas de flujo hasta el Nivel F, en que las condiciones del flujo es forzado, donde la operación se caracteriza por la existencia de ondas de parada y arranque, extremadamente inestables.

#### 4. Volumen de servicio.

A cada nivel de servicio le corresponde un volumen de tránsito, al cual se le llama Volumen de Servicio (  $V_s$  ) para ese nivel. Por lo tanto, puede definirse el volumen de servicio, como el máximo número de vehículos que pueden circular por un carril durante un período de tiempo determinado, bajo las condiciones de operación correspondiente a un seleccionado nivel de servicio. El volumen de servicio máximo equivale a la capacidad, y lo mismo que ésta, los volúmenes de servicio se expresan normalmente como volúmenes horarios.

#### 5. Tipo de terreno.<sup>10</sup>

- Montañoso, terreno con promedio de inclinación mayor de 4% en una longitud de 30 km.
- Lomerío, si el promedio de inclinación fluctúa entre 4% y 2%.
- Plano, si el promedio de inclinación es menor del 2%

### **EXPRESIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA PROYECCIÓN DE LA VELOCIDAD EN LA SITUACIÓN SIN PROYECTO.**

$$VS_i = c (V/c)_i * f_D * f_A * f_{VP} * f_P$$

La expresión anterior permitirá calcular el volumen de servicio para cada nivel de servicio al que puede operar la carretera.

en donde:

$VS_i$  = Volumen de servicio para el nivel de servicio i, en vehículos por hora (vph) en ambos sentidos de circulación. Este volumen de servicio puede convertirse a volumen multiplicándolo por el factor de hora de máxima

---

10 CRESPO VILLALAZ, Carlos., Vías de comunicación, 2a edición (México, Editorial Limusa, 1982)

demanda (FHMD). Cuando no se conoce este factor pueden utilizarse los valores del cuadro No. A.2.1\*.

$c$  = Capacidad en condiciones ideales en ambas direcciones (2,800 vehículos por hora).

$(V/c)_i$  = Máxima relación volumen/capacidad asociada al nivel de servicio  $i$ . Se obtiene del cuadro No. A.2.2\* cuando el análisis es generalizado; esto es, cuando se consideran tramos largos de carretera con características más o menos uniformes o cuando se analizan tangentes con pendientes menores de 3% o con longitudes menores que 800 m. Las tangentes con otras características se analizan con el cuadro No. A.2.3\*

$f_D$  = Factor de ajuste por efecto de la distribución direcciones. Se obtiene del cuadro No. A.2.4\* de acuerdo con la distribución observada, que usualmente varía entre 55/45 y 70/30; aunque en caminos turísticos puede ser de Hasta de 80/20

$f_A$  = Factor de ajuste por efecto de restricción en el ancho de carril y acotamientos o distancias a obstáculos laterales. Se obtiene del cuadro No. A.2.5\*

$f_P$  = Factor de ajuste por efecto sobre los automóviles de la pendiente de tangentes verticales. Es igual a uno si el análisis es generalizado; pero en análisis de pendientes específicas se calcula con la expresión:

$$f_P = \{ 1 + P_p [ 0.02 ( E - E_o ) ] \}^{-1}$$

En donde:

$P_p$  = es la proporción de automóviles en la corriente de tránsito.

$E$  = automóviles para la pendiente específica.

$E_o$  = automóviles equivalentes<sup>1</sup> para pendiente 0.

$f_{VP}$  = Factor de ajuste por efecto de vehículos pesados. Para análisis generalizados se obtiene de la expresión:

$$F_{VP} = [ P_P + P_C E_C + P_R E_R ]^{-1}$$

Siendo  $P_P$ ,  $P_C$ , y  $P_R$  las proporciones de automóviles, camiones y autobuses respectivamente, y  $E_C$ , y  $E_B$  los automóviles equivalentes respectivos, que se

---

\* Cuadros que corresponden al Manual de Capacidad de Vial,

1 Es una equivalencia de vehículos pesados a vehículos ligeros, tomando en cuenta su comportamiento en términos de velocidad.

obtienen del Cuadro No. A.2.6\* . Para análisis de pendientes específicas, este factor se obtiene con la expresión:

$$f_V = [ P_P + P_{VP} E_{VP} ]^{-1}$$

Siendo  $P_P$  y  $P_{VP}$  las proporciones de automóviles y vehículos, y  $E_{VP}$  los automóviles equivalentes por vehículo pesado, determinados por la expresión:

$$E_{VP} = 1 + ( 0.25 + P_C / v_p ) ( E - 1 )$$

En donde,  $P_C / v_p$  es la proporción de camiones en relación con el total de vehículos pesados y  $E$  los automóviles equivalentes determinados del Cuadro No. A.2.7

Una vez determinados todos estos factores, se sustituye en la expresión básica y se calcula el volumen de servicio para cada nivel de servicio  $i$ , se compara el Volumen Horario de Máxima Demanda actual y se determina el nivel de servicio al que esta operando la carretera; finalmente, se interpola para determinar la velocidad que corresponde al Volumen Horario de Máxima Demanda actual. Posteriormente, sólo se proyecta el Volumen Horario de Máxima Demanda para cada año, encontrando una velocidad para cada uno de ellos.

### **EXPRESIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA PROYECCIÓN DE LA VELOCIDAD EN LA SITUACIÓN CON PROYECTO.**

Las carreteras de carriles múltiples son las que tienen dos o más carriles por sentido, no tienen control de acceso y no necesariamente están divididas como las autopistas. Estas características generan ciertas interferencias y/o fricciones entre los flujos de tránsito, ocasionando que la operación sea de menor calidad a la obtenida en autopistas.

La expresión básica para el análisis de estas carreteras es :

$$Vs_i = c (V/c)_i * N * f_A * f_{VP} * f_C * f_T$$

En donde las variable y factores tienen el mismo significado que la expresión para carreteras de dos carriles, excepto  $f_T$  que corresponde al factor de influencia del tipo de carretera: dividida o no dividida y rural o suburbana. La diferencia entre carreteras divididas o no divididas es la presencia o ausencia de la faja separadora central. La diferencia entre rural o suburbana depende del desarrollo en las zonas aledañas, como pueden ser intersecciones, estacionamientos, accesos a servicios diversos, etc. En términos muy generales, una carretera con más de seis entradas o salidas por kilómetro, se considera suburbana.

---

$c$  = Capacidad por carril en condiciones ideales. Es de 2000 automóviles por hora por carril (aphpc) para velocidades de proyecto de 90 kph o mayores, y de 1900 (aphpc) para velocidades menores.

$(V/c)$  = Máxima relación volumen/capacidad asociada al volumen de servicio  $i$  (se obtiene del Cuadro No. A.2.8 )\*

$N$  = Número de carriles por sentido.

$f_A$  = Factor de ajuste por efecto de restricción en el ancho de carriles y obstáculos laterales ( se obtienen de los Cuadros No. A.2.9 y A.2.10 ).\*

$f_C$  = Factor de ajuste por efecto de los conductores. Es de 1.00 cuando están familiarizados con la carretera; en caso contrario varía entre 0.90 y 0.75.

$f_T$  = Factor de ajuste por efecto del tipo de carretera: dividida o no dividida y rural o suburbana ( este factor se obtiene del Cuadro No. A.2.11)\*.

$f_{VP}$  = Factor de ajuste por efectos de vehículos pesados. La cual se calcula con la siguiente expresión

$$f_{VP} = [ 1 + P_C (E_C - 1) + P_B (E_B - 1) ]^{-1}$$

En donde  $P_P$ ,  $P_C$ , y  $P_R$  son las proporciones de automóviles, camiones y autobuses respectivamente, y  $E_C$ , y  $E_B$  los automóviles equivalentes respectivos, que se obtienen de los cuadro No. A.2.12 y A.2.13\*

Una vez determinados todos estos factores, se sustituyen en la expresión básica y se calcula la densidad vehicular, dado que se conoce el Volumen Horario de Máxima Demanda actual, se determina el nivel de servicio al que esta operando la carretera; finalmente se interpola para determinar la velocidad que corresponde al Volumen Horario de Máxima Demanda actual. Posteriormente solo se proyecta el Volumen Horario de Máxima Demanda para cada año, encontrando una densidad vehicular y una velocidad para cada uno de ellos.

Los Cuadros No. A.2.1 al A.2.13; que se presentan a continuación corresponden al Manual de Capacidad Vial.

---

\* Ibid. pág. 81

**Cuadro A.2.1** Actores de hora máxima para carreteras de dos carriles basados en distribución aleatoria de flujo

PARA DETERMINACIÓN DE NIVELES DE SERVICIOS					
VHP AMBAS DIRECCIONES	FHDM	VHP AMBAS DIRECCIONES	FHDM		
100	0.83	1000	0.93		
200	0.87	1100	0.94		
300	0.90	1200	.094		
400	0.91	1300	.094		
500	0.91	1400	0.94		
600	0.92	1500	0.95		
700	0.92	1600	0.95		
800	0.93	1700	0.95		
900	0.93	1800	0.95		
		mayor o igual a 1900	0.96		
PARA DETERMINACIONES DE VOLUMENES DE SERVICIO					
NIVEL DE SERVICIO	A	B	C	D	E
FACTOR HORA DE MÁXIMA DEMANDA	0.91	0.92	0.94	0.95	1.00

FUENTE: Manual de Capacidad Vial

**Cuadro A.2.2** Niveles de servicio para análisis generalizado de las carreteras de dos carriles, ambas direcciones

Date	Time	Location	Weather	Wind	Temp	Humidity	Pressure	Visibility	Clouds	Precip	Remarks

FUENTE: Manual de Capacidad Vial.

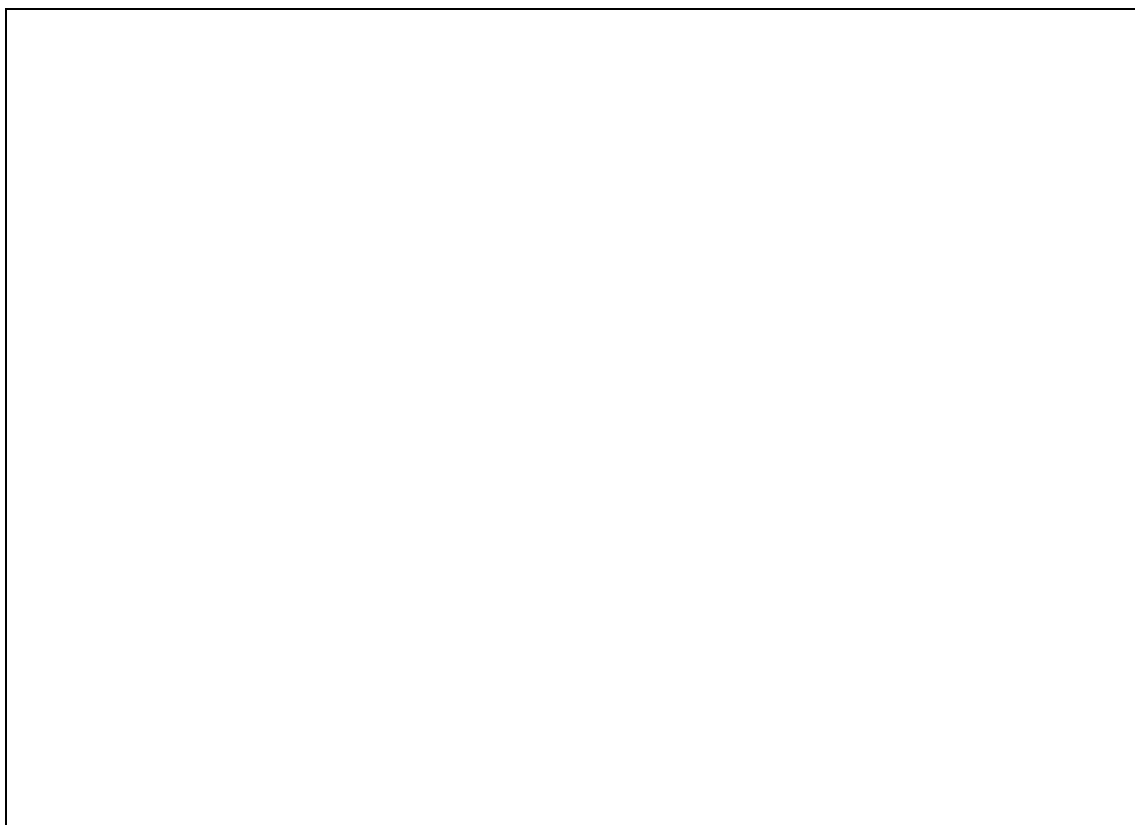
(a) Límite superior de la demora porcentual (DP), en porcentaje.



- (b) Límite inferior de la velocidad media de viaje, en kph. Esta cifra es informativa y se aplica cuando la velocidad de proyecto es al menos de 100 kph (velocidad en condiciones ideales).
- (c) La relación  $V/c$  está referida a  $c = 2800$  aph en ambas direcciones. El porcentaje de rebase restringido puede estimarse con el de longitud de carretera con distancias de visibilidad menores de 450 m.
- (d) Muy variable; el límite corresponde al nivel de servicio E.

Cuadro A.2.3

Niveles de servicio en tangentes verticales  
específicas de carreteras de dos carriles.



FUENTE: Manual de Capacidad de Vial

- (a) Velocidad media de viaje en la tangente vertical.
- (b) Relación  $V/c$  referida a 2800 aph en ambas direcciones. El porcentaje de rebase restringido puede estimarse del porcentaje de longitud con distancias de visibilidad mayores de 450 m.

- (c) La velocidad exacta a la cual ocurre la capacidad varía con el porcentaje y longitud de la pendiente, composición del tránsito y del volumen.

Nota: Interpolarse para valores intermedios de rebase restringido.

Redondear la pendiente al valor próximo más alto.

Cuadro A.2.4

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

DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL SENTIDO 1/SENTIDO 2	PARA ANÁLISIS GENERALIZADO	PARA ANÁLISIS DE TANG. ESPECÍFICAS (SENT. 1 ASCENDENTE)
100/0	0.71	0.58
90/10	0.75	0.64
80/20	0.83	0.70
70/30	0.89	0.78
60/40	0.94	0.87
50/50	1	1.00
40/60	-	1.20
30/70	-	1.50

FUENTE: Manual de Capacidad de Vial

Cuadro A.2.5

Factores de ajuste por efecto de restricciones en el ancho  
de carril y de acotamiento en carreteras de dos carriles

ANCHO DE ACOTAMIENTO EN M (a)	ANCHO DE CARRIL, EN M Y NIVEL DE SERVICIO (b)							
	3.50		3.30		3.00		2.70	
	A - D	E	A - D	E	A - D	E	A - D	E
1.80	1.00	1.00	0.93	0.94	0.84	0.87	0.70	0.76
1.20	0.92	0.97	0.85	0.92	0.77	0.85	0.65	0.74
0.60	0.81	0.93	0.75	0.88	0.68	0.81	0.57	0.70
0.00	0.70	0.88	0.65	0.82	0.58	0.75	0.49	0.66

FUENTE: Manual de Capacidad de Vial

(a) Usar ancho medio si los acotamientos tienen anchos diferentes.

(b) Para analizar tramos específicos considere NS = E para velocidades menores a 72 kph.

Cuadro A.2.6

Automóviles equivalentes para un análisis generalizado en carreteras de dos carriles

TIPO DE VEHÍCULO	SÍMBOLO	NIVEL DE SERVICIO	TIPO DE TERRENO		
			PLANO	LOMERÍO	MONTAÑOSO
CAMIÓN	E <sub>C</sub>	A	2.0	4.0	7.0
		B-C	2.2	5.0	10.0
		D-E	2.0	5.0	12.0
RECREACIONAL	E <sub>R</sub>	A	2.2	3.2	5.0
		B-C	2.5	3.9	5.2
		D-E	1.6	3.3	5.2
AUTOBUS	E <sub>B</sub>	A	1.8	3.0	5.7
		B-C	2.0	3.4	6.0
		D-E	1.6	2.9	6.5

FUENTE: Manual de Capacidad Vial.

Cuadro A.2.7

Automóviles equivalentes para análisis de tangentes  
verticales específicas en carreteras de dos carriles

PEND. TANG. (%)	LONGITUD TANGENTE (m)	VELOCIDAD MEDIA DE ASCENSO EN kph					
		88	85	80	72	64	48
	TODAS	2.1	1.8	1.6	1.4	1.3	1.3
3	400	2.9	2.3	2	1.7	1.6	1.5
	800	3.7	2.9	2.4	2	1.8	1.7
	1200	4.8	3.6	2.9	2.3	2	1.9
	1600	6.5	4.6	3.5	2.6	2.3	2.1
	2400	11.2	6.6	5.1	3.4	2.9	2.5
	3200	19.8	9.3	6.7	4.6	3.7	2.9

FUENTE: Manual de Capacidad Vial.

Nota: Si no muestra un valor, esa velocidad no se puede obtener.  
La pendiente debe redondearse al siguiente valor más alto.

Cuadro A.2.8

## Niveles de servicio en carreteras de carriles múltiples

NIVEL DE SERVICIO	DENSIDAD  a	VELOCIDAD DE PROYECTO, KPH					
		110 $\bar{V}^b$	$V/c^c$	100 - 90 $\bar{V}^b$	$V/c^c$	80 $\bar{V}^b$	$V/c^c$
A	8	87	0.38	79	0.34	( d )	
B	13	82	0.56	75	0.54	66	0.45
C	19	76	0.73	68	0.66	62	0.61
D	27	67	0.90	61	0.83	55	0.80
E	42	48	1.00	48	1.00	45	1.00
F				( e )			

FUENTE: Manual de Capacidad de Vial.

- a. Límite superior de la densidad, en apkpc.
- b. Límite inferior de la velocidad media de viaje, en kph.
- c. Límite superior de la relación  $V/c$  multiplicado por la capacidad de volumen
- d. Nivel de servicio no obtenible.
- e. Por ser flujo inestable puede variar hasta el límite del nivel E.

Cuadro A.2.9

## Factores de ajuste por restricciones en el ancho de carriles y obstáculos laterales en autopistas y en carreteras divididas de carriles múltiples

--

FUENTE: Manual de Capacidad Vial.

- (1) Algunos obstáculos, en particular barreras centrales especiales, no causan ningún efecto en el tránsito; por lo tanto los factores deben aplicarse con juicio.

Cuadro A.2.10

Factores de ajuste por restricciones del ancho del carril y/o distancia a obstáculos laterales en carreteras múltiples no divididas

[illegible]

FUENTE: Manual de Capacidad Vial.

- Si los factores están a distancias diferentes, use la distancia media.
- Los factores consideran el efecto del tránsito en el sentido opuesto.
- Por ejemplo, cuando se aloja pila a la mitad de la calzada.

NA. = no aplicable. Se usan factores para obstáculos en un lado.

Cuadro A.2.11

Factor de ajuste por tipo de carretera multicarril y desarrollo del entorno, ( $f_T$ )

Tipo	Con separación de sentidos	Sin separación de sentidos
Rural	1.0	0.95
Suburbana	0.90	0.80

FUENTE: Manual de Capacidad Vial

Cuadro A.2.12

## Automóviles equivalentes para análisis generalizado de segmentos de autopista

TIPO DE VEHÍCULO	SÍMBOLO	TIPO DE TERRENO		
		PLANO	LOMERÍO	MONTAÑOSO
Camión	E <sub>C</sub>	1.7	4.0	8.0
Autobús	E <sub>B</sub>	1.5	3.0	5.0
Recreativo	E <sub>R</sub>	1.6	3.0	4.0

**FUENTE:** Manual de Capacidad Vial.

Cuadro A.2.13

Automóviles equivalentes para análisis de tangentes específicas de autopistas de cuatro carriles

[illegible]

FUENTE: Manual de Capacidad Vial.

1. Interpolar para composiciones intermedias y aproximar al entero
2. Si la pendiente es fraccionaria redondear al entero superior

Una vez encontradas las velocidades promedio, a la cual viajan los diferentes usuarios (automóviles, camionetas, autobuses, camiones de dos ejes, y camiones de más de dos ejes), se procede a emplear las fórmulas indicadas para proyectar la velocidad en el “sin” (expresiones relacionadas a carreteras de dos carriles) y “con” proyecto (expresiones relacionadas a carreteras de carriles múltiples).

Es conveniente aclarar que para fines de la evaluación, se ha supuesto que la velocidad promedio de las camionetas es igual a la velocidad promedio de los automóviles; y para autobuses y camiones de dos ejes, y más de dos, se considera la velocidad promedio que les corresponda.

Para poder estimar los factores de ajuste se consideran las características que prevalecen en la carretera como los son:

- Factor de ajuste por efecto de distribución direcciones.
- Factor de ajuste por efecto de restricción en el ancho del carril y acotamientos.
- Factor de ajuste por efecto de vehículos pesados.
- Factor de ajuste por efecto de pendientes sobre los automóviles.
- Factor de ajuste por efecto del tipo de carretera ( dividida o no dividida y rural o suburbana).
- Factor de ajuste por efecto de los conductores), es necesario conocer otras variables relacionadas al tipo de carretera, como los son: capacidad (por carril o ambos carriles) en condiciones ideales, máxima relación volumen/capacidad, y número de carriles.

### **Ejemplo # 1, carretera de dos carriles:**

De esta manera , supongamos que se quisiera calcular la velocidad promedio en una carretera de dos carriles, donde se observa un volumen horario de 250 vph para 1995, con un rebase restringido de 20%, distribución direccional de 60/40, ancho de calzada de 6.6 mts, acotamientos de 0.60 mts en ambos carriles, terreno lomerío y una composición vehicular de: automóvil 85%, autobuses 10% y camiones 5%.

Para ello, se tiene que encontrar en que nivel de servicio le correspondería dicho flujo horario y posteriormente se calcula la velocidad promedio para ese flujo vehicular.



FHDM = 0.90 ( cuadro A 2.1, para V= 250 300 ); VDM = 250/0.90 = **277 vph**

V/c = 0.10( NS=A), 0.23 (NS=B), 0.39 (NS=C), 0.57 (NS=D), 0.94(NS=D)  
( cuadro A.2.2 con rebase restringido un 20% terreno lomerío ).

$f_D = 0.94$  ( cuadro A 2.4 con distribución 60/40 )

$f_A = 0.75$  ( NS = A a D),  $0.88$  ( NS = E ) ( cuadro A 2.5 con ancho de carril /  
acotamiento de 3.30/0.60).

$E_C = 4$  ( NS = A ),  $5$  ( NS = B, C, D, E ) ( cuadro A 2.6 terreno lomerío )

$E_B = 3$  ( NS = A),  $3.4$  ( NS = B, C ),  $2.9$  ( NS = D, E ) ( cuadro A 2.6 terreno  
Lomerío ).

Calculo del factor de ajuste por efecto de vehículos pesados. (  $f_{VP}$  ) de la  
expresión:

$$f_{VP} = ( P_P + P_C E_C + P_B E_B )^{-1}$$

$$( NS = A ) \quad ( f_{VP} ) = ( 0.85 + 0.05 ( 4 ) + 0.10 ( 3 ) )^{-1} = \mathbf{0.7407}$$

$$( NS = B,C ) \quad ( f_{VP} ) = ( 0.85 + 0.05 ( 5 ) + 0.10 ( 3.4 ) )^{-1} = \mathbf{0.6944}$$

$$( NS = D, E ) \quad ( f_{VP} ) = ( 0.85 + 0.05 ( 5 ) + 0.10 ( 2.9 ) )^{-1} = \mathbf{0.7194}$$

Una vez obtenido el factor se aplica la expresión general.

$$(VS)_i = c * (V/c) * f_D * f_A * f_P * f_{VP}$$

$$VS_A = 2800 \times 0.10 \times 0.94 \times 0.75 \times 1.00 \times 0.7407 = \mathbf{146 \text{ vph}}$$

$$VS_B = 2800 \times 0.23 \times 0.94 \times 0.75 \times 1.00 \times 0.6944 = \mathbf{315 \text{ vph}}$$

$$VS_C = 2800 \times 0.39 \times 0.94 \times 0.75 \times 1.00 \times 0.6974 = \mathbf{535 \text{ vph}}$$

$$VS_D = 2800 \times 0.57 \times 0.94 \times 0.75 \times 1.00 \times 0.7194 = \mathbf{809 \text{ vph}}$$

$$VS_E = 2800 \times 0.94 \times 0.94 \times 0.88 \times 1.00 \times 0.7194 = \mathbf{1566 \text{ vph}}$$

Como el volumen de demanda máxima es de 277 vph, el nivel que opera la  
carretera para ese volumen es “ **B** “

$$S_A = 146 \leq 277 \leq 315 = S_B$$

Del cuadro A 2.2 se toman las velocidades para niveles **A y B** y tomando en cuenta el volumen de servicio calculado para este tipo de carretera, interpolando se obtiene :

$$91 \geq \text{velocidad media de viaje} > 86$$

$$\text{velocidad media} = 91 - [ ( 91-86) ( 227- 146 ) / ( 315 - 146) ] = \mathbf{87.12 \text{ kph}}$$

### **Ejemplo # 2 carretera de 4 carriles**

Ahora supongamos que se quiere calcular la velocidad para una carretera de 4 carriles. Para calcular la velocidad promedio, primero se tiene que conocer la relación volumen-capacidad (v/c), la cual se despeja de la expresión:

$$(VS)_i = c * (V/c) * N * f_A * f_{VP} * f_C * f_T$$

Para nuestro ejemplo supongamos que sea un volumen de 2000 aphpc con una velocidad de proyecto de 100 kph

$VS_i$  = Volumen de servicio por sentido para nivel de servicio i

c = Capacidad por carril en condiciones ideales. Es de 2,000 aphpc (autos por hora por carril) para velocidades de proyecto mayores o igual a 90 km/h

$(v/c)_i$  = máxima relación volumen capacidad, asociada al nivel de servicio i

N = Número de carriles por sentido. ( N=4 )

$F_A$  = Factor de ajuste por efecto de restricción en el ancho de carril . Para nuestro ejemplo tomamos el factor igual a 1 considerando que las medidas de la carretera sean las adecuadas: ancho de carril de 3.5 m con acotamientos de 1.80 m de ancho.

$F_C$  = Factor de ajuste por efecto de los conductores. Para nuestro ejemplo consideremos que el factor sea igual a 1 suponiendo que los conductores están familiarizados con la carretera (en caso contrario varia entre 0.90 y 0.75).

$f_{vp}$  = Factor de ajuste por efecto de vehículos pesados. Se calcula con la ecuación:

$$f_{vp} = [1 + p_C (E_C - 1) + p_B (E_B - 1) ]^{-1}$$

Donde:

$P_C$  y  $P_B$  = son las proporciones de camiones y autobuses respectivamente

$E_C$  y  $E_B$  = son los autos equivalentes que representan los camiones y autobuses.

$E_C = 4.0$  (cuadro A 2.12 para terreno de lomerío )

$E_B = 3.0$  ( cuadro A 2.12 para terreno de lomerío )

Una vez que tengamos todos los valores de los factores, sustituimos en la expresión de volumen de servicio y despejamos la relación  $V/c$ :

$$f_{vp} = [1 + 0.10 (4-1) + 0.05 (3-1) ]^{-1} = \mathbf{0.7143}$$

$$VDM = V/FHMD \quad (\text{del cuadro A 2.1 FHMD} = 0.94 )$$

$$VDM = 2000/0.94 = \mathbf{2128 \text{ vph}} = (\mathbf{VS})_i$$

Aplicando la expresión :

$$(V/c)_i = \frac{VDM}{c * N * f_A * f_{VP} * f_C * f_T}$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$(V/c)_i = \frac{2128}{2000 * 4 * 1 * 0.7143 * 1 * 1} === \mathbf{0.3723}$$

De la tabla A 2.8

$$0.34 < V/c < 0.50$$

$$79 > \text{velocidad media} > 75$$

$$8 < \text{densidad} < 13$$

Interpolando valores tenemos :

$$\text{Velocidad media} = 79 - [ ( 79 - 75 ) ( 0.37 - 0.34 ) / ( 0.50 - 0.34 ) ] = \mathbf{78.25 \text{ kph}}$$

$$\text{Densidad} = 8 + [ ( 13 - 8 ) ( 0.37 - 0.34 ) / ( 0.50 - 0.34 ) ] = 8.93 = \mathbf{9 \text{ vpk}}$$

Al igual que en los ejemplos, se calcularon las velocidades promedio para la situación sin proyecto y con proyecto de la carretera objeto de estudio, mismas que se emplearon como velocidad deseada en el programa HDM - VOC para obtener las velocidades promedio que se utilizan para la cuantificación de ahorro de tiempo de viaje de los usuarios, costos de operación de los vehículos, convenientes para la obtención de los beneficios atribuibles al proyecto.



Los cuadros siguientes, muestran información básica que se empleó en la evaluación de la carretera que se evalúa.

Cuadro A.2.14

## Características de diseño de la carretera en estudio

Velocidad de diseño (km/h) (a)			
Sin Proyecto	Con proyecto		
100	100		
	Ancho de carril y acotamientos (m)		
	Situación sin proyecto	Situación con proyecto (recarpeteo)	Situación con proyecto (acotamiento)
Ancho de carril	3.50	3.50	3.5
Ancho de acotamientos	0.00	0.00	2.0

a/: Se refiere a la velocidad a la cual está diseñado la carretera.

Cuadro A.2.15

## Tipo de terreno de la carretera en estudio en los niveles de servicio A,B,C,D,E,F

Origen - Destino	sin proyecto	con proyecto (mejoramiento)	con proyecto ( 4 carriles )
Tuxpan - T.I. Tempoal	Lomerío	Lomerío	Lomerío
T.I. Tempoal - Zacamixtle.	Lomerío	Lomerío	Lomerío
Zcamixtle - Tampico.	Lomerío	Lomerío	Lomerío
Estación Manuel - Aldama	Plano	Plano	Plano
Aldama - Esperanza	Lomerío	Lomerío	Lomerío
Esperanza - La Coma	Lomerío	Lomerío	Lomerío
La Coma - San Fernando	Lomerío	Lomerío	Lomerío
San Fernando - T.I. Reynosa	Plano	Plano	Plano
T.I. Reynosa - Fco. Villarreal.	Plano	Plano	Plano
Fco. Villarreal - Matamoros.	plano	plano	plano

FUENTE: Información proporcionada por la Secretaría de Desarrollo Social, Dirección de Ingeniería del estado de Tamaulipas.

Cuadro A.2.16

Longitud de rebase restringida (%) de la carretera en estudio (en Lomerío)

Origen - Destino	sin proyecto	con proyecto (mejoramiento)	con proyecto ( 4 carriles )
Tuxpan - T.I. Tempoal	60	60	60
T.I. Tempoal - Zacamixtle.	60	60	60
Zcamixtle - Tampico.	40	40	40
Estación Manuel - Aldama	20	20	20
Aldama - Esperanza	60	60	60
Esperanza - La Coma	60	60	60
La Coma - San Fernando	20	20	20
San Fernando - T.I. Reynosa	plano	plano	plano
T.I. Reynosa - Fco. Villarreal.	plano	plano	plano
Fco. Villarreal - Matamoros.	plano	plano	plano

FUENTE: Elaboración propia, obtenida a partir del vídeo cassette de la carretera en estudio.

Cuadro A.2.17

Transito Diario Promedio Anual

(Vehículos )

Origen - Destino	sin proyecto	con proyecto (mejoramiento)	con proyecto ( 4 carriles )
Tuxpan - T.I. Tempoal	3511	3511	4359
T.I. Tempoal - Zacamixtle.	4588	4588	5436
Zcamixtle - Tampico.	3782	3782	4320
Estación Manuel - Aldama	2797	2797	4720
Aldama - Esperanza	2112	2112	6373
Esperanza - La Coma	1851	1851	2699
La Coma - San Fernando	4649	4649	7083
San Fernando - T.I. Reynosa	5625	5625	8272o
T.I. Reynosa - Fco. Villarreal.	2937	2937	4143
Fco. Villarreal - Matamoros.	3528	3528	4143

FUENTE: Secretaría de Comunicaciones y Transportes. ( Datos Viales 1985 a 1995 y Estudios de Origen- destino ).

Cuadro A.2.18

Composición Vehicular de la carretera en estudio en los niveles de servicio A,B,C,D,E,F ( en Lomerío )

Origen - Destino	sin proyecto	con proyecto (mejoramiento)	con proyecto ( 4 carriles )
Tuxpan - T.I. Tempoal	A 81 %	A 81 %	A 73 %
	B 04%	B 04%	B 06%
	C 15%	C 15%	C 21%
T.I. Tempoal - Zacamixtle.	A 80 %	A 80 %	A 74 %
	B 06%	B 06%	B 07%
	C 14%	C 14%	C 19%
Zcamixtle - Tampico.	A 78 %	A 78 %	A 71 %
	B 05%	B 05%	B 06%
	C 18%	C 18%	C 23%
Estación Manuel - Aldama	A 77 %	A 77 %	A 69 %
	B 07%	B 07%	B 09%
	C 16%	C 16%	C 22%
Aldama - Esperanza	A 65 %	A 65 %	A 58 %
	B 08%	B 08%	B 10%
	C 27%	C 27%	C 32%
Esperanza - La Coma	A 68 %	A 68 %	A 60 %
	B 05%	B 05%	B 08%
	C 27%	C 27%	C 32%
La Coma - San Fernando	A 75 %	A 75 %	A 70 %
	B 05%	B 05%	B 06%
	C 20%	C 20%	C 24%
San Fernando - T.I. Reynosa	A 75 %	A 81 %	A 71 %
	B 07%	B 04%	B 08%
	C 18%	C 15%	C 21%
T.I. Reynosa - Fco. Villarreal.	A 77 %	A 81 %	A 72 %
	B 06%	B 04%	B 08%
	C 17%	C 15%	C 20%
Fco. Villarreal - Matamoros.	A 82 %	A 81 %	A 72 %
	B 05%	B 04%	B 08%
	C 13%	C 15%	C 20%

FUENTE: Secretaría de Comunicaciones y Transportes. ( Datos Viales 1985 a 1995 y Estudios de Origen- destino ).

Cuadro A.2.19

Relación volumen/capacidad (V/c) situación sin y con proyecto ( en lomerío )

Origen - Destino	A	B	C	D	E
Tuxpan - T.I. Tempoal	0.05	0.17	0.32	0.48	0.91
T.I. Tempoal - Zacamixtle.	0.05	0.17	0.32	0.48	0.91
Zcamixtle - Tampico.	0.07	0.19	0.35	0.52	0.92
Estación Manuel - Aldama	0.07	0.19	0.35	0.52	0.92
Aldama - Esperanza	0.07	0.19	0.35	0.52	0.92
Esperanza - La Coma	0.07	0.19	0.35	0.52	0.92
La Coma - San Fernando	0.10	0.23	0.39	0.57	0.94
San Fernando - T.I. Reynosa	0.12	0.24	0.39	0.62	1.00
T.I. Reynosa - Fco. Villarreal.	0.12	0.24	0.39	0.62	1.00
Fco. Villarreal - Matamoros.	0.12	0.24	0.39	0.62	1.00

FUENTE: Elaboración propia, obtenida a partir de los cuadros No. A.2.2, A.2.15 y A.2.16

Cuadro A.2.20

Relación volumen/capacidad (V/c) situación con proyecto (4 carriles)

Origen - Destino	A	B	C	D	E
Tuxpan - T.I. Tempoal	0.38	0.56	0.73	0.90	1.00
T.I. Tempoal - Zacamixtle.	0.38	0.56	0.73	0.90	1.00
Zcamixtle - Tampico.	0.38	0.56	0.73	0.90	1.00
Estación Manuel - Aldama	0.38	0.56	0.73	0.90	1.00
Aldama - Esperanza	0.38	0.56	0.73	0.90	1.00
Esperanza - La Coma	0.38	0.56	0.73	0.90	1.00
La Coma - San Fernando	0.38	0.56	0.73	0.90	1.00
San Fernando - T.I. Reynosa	0.38	0.56	0.73	0.90	1.00
T.I. Reynosa - Fco. Villarreal.	0.38	0.56	0.73	0.90	1.00
Fco. Villarreal - Matamoros.	0.38	0.56	0.73	0.90	1.00

FUENTE: Elaboración propia, obtenida a partir de los cuadros No. A.2.2, A.2.15 y A.2.16



# Cuadro A.2.21

Volumen de servicio, correspondiente a cada uno de los tramos.  
Situación actual

Volumen de servicio, dada una restricción rebase del 60% en condiciones Ideales									
TUXPAN - T.I. TEMPOAL									
Nivel de servicio	Velocidad kph	c	Relación (v/c)	fd	fa	fp	fvp	Volumen de servicio	Restricción 60%
A	>91	2800	0.05	1	0.70	1	0.654	64	Composición
B	>86	2800	0.17	1	0.70	1	0.590	196	
C	>78	2800	0.32	1	0.70	1	0.590	370	Autos 81%
D	>64	2800	0.48	1	0.70	1	0.597	561	Autobuses 04%
E	<64	2800	0.91	1	0.88	1	0.597	1338	Camiones 15%
Volumen de servicio, dada una restricción rebase del 60% en condiciones Ideales									
T.I. TEMPOAL - ZACAMIXTLE									
Nivel de servicio	Velocidad kph	c	Relación (v/c)	fd	fa	fp	fvp	Volumen de servicio	Restricción 60%
A	>91	2800	0.05	1	0.70	1	0.645	63	Composición
B	>86	2800	0.17	1	0.70	1	0.581	194	
C	>78	2800	0.32	1	0.70	1	0.581	365	Autos 80%
D	>64	2800	0.48	1	0.70	1	0.590	595	Autobuses 6%
E	<64	2800	0.91	1	0.88	1	0.590	1323	Camiones 15%
Volumen de servicio, dada una restricción rebase del 40% en condiciones Ideales									
ZACAMIXTLE - TAMPICO									
Nivel de servicio	Velocidad kph	c	Relación (v/c)	fd	fa	fp	fvp	Volumen de servicio	Restricción 40%
A	>91	2800	0.07	1	0.81	1	0.606	83	Composición
B	>86	2800	0.19	1	0.81	1	0.541	201	
C	>78	2800	0.35	1	0.81	1	0.541	371	Autos 77%
D	>64	2800	0.52	1	0.81	1	0.548	558	Autobuses 7%
E	<64	2800	0.92	1	0.93	1	0.548	1242	Camiones 16%
Volumen de servicio, dada una restricción rebase del 30% en condiciones Ideales									
ESTACIÓN MANUEL - ALDAMA									
Nivel de servicio	Velocidad kph	c	Relación (v/c)	fd	fa	fp	fvp	Volumen de servicio	Restricción 40%
A	>91	2800	0.07	1	0.70	1	0.617	85	Composición
B	>86	2800	0.19	1	0.70	1	0.553	206	
C	>78	2800	0.35	1	0.70	1	0.553	379	Autos 77%
D	>64	2800	0.52	1	0.70	1	0.564	575	Autobuses 7%
E	<64	2800	0.92	1	0.88	1	0.564	1279	Camiones 16%
Volumen de servicio, dada una restricción rebase del 40% en condiciones Ideales									
VILLA ALDAMA - ESPERANZA									
Nivel de servicio	Velocidad kph	c	Relación (v/c)	fd	fa	fp	fvp	Volumen de servicio	Restricción 40%
A	>91	2800	0.07	1	0.07	1	0.508	70	Composición
B	>86	2800	0.19	1	0.07	1	0.440	164	
C	>78	2800	0.35	1	0.07	1	0.440	302	Autos 68%
D	>64	2800	0.52	1	0.07	1	0.448	457	Autobuses 8%
E	<64	2800	0.92	1	0.88	1	0.448	1016	Camiones 27%

FUENTE: Elaboración propia, a partir del Cuadros No. A.2.3 al A.2.19

### Cuadro A.2.20

Volumen de servicio, correspondiente a cada uno de los tramos.

Situación actual

Volumen de servicio, dada una restricción rebase del 40% en condiciones Ideales									
ESPERANZA - LA COMA									
Nivel de servicio	Velocidad kph	c	Relación (v/c)	fd	fa	fp	fvp	Volumen de servicio	Restricción 40%
A	>91	2800	0.07	1	0.07	1	0.524	72	Composición
B	>86	2800	0.19	1	0.07	1	0.455	169	
C	>78	2800	0.35	1	0.07	1	0.455	312	Autos 68%
D	>64	2800	0.52	1	0.07	1	0.460	469	Autobuses 5%
E	<64	2800	0.92	1	0.88	1	0.460	1042	Camiones 27%
Volumen de servicio, dada una restricción rebase del 20% en condiciones Ideales									
LA COMA - SAN FERNANDO									
Nivel de servicio	Velocidad kph	c	Relación (v/c)	fd	fa	fp	fvp	Volumen de servicio	Restricción 40%
A	>91	2800	0.10	1	0.07	1	0.621	122	Composición
B	>86	2800	0.23	1	0.07	1	0.554	250	
C	>78	2800	0.39	1	0.07	1	0.554	424	Autos 75%
D	>64	2800	0.57	1	0.07	1	0.564	630	Autobuses 5%
E	<64	2800	0.94	1	0.88	1	0.564	1306	Camiones 20%
Volumen de servicio, dada una restricción rebase del 20% en condiciones Ideales									
SAN FERNANDO - T. Y. REYNOSA									
Nivel de servicio	Velocidad kph	c	Relación (v/c)	fd	fa	fp	fvp	Volumen de servicio	Restricción 20%
A	>91	2800	0.12	1	0.07	1	0.595	140	Composición
B	>86	2800	0.24	1	0.07	1	0.530	249	
C	>78	2800	0.39	1	0.07	1	0.530	405	Autos 75%
D	>64	2800	0.62	1	0.07	1	0.540	656	Autobuses 7%
E	<64	2800	1	1	0.88	1	0.540	1330	Camiones 18%
Volumen de servicio, dada una restricción rebase del 20% en condiciones Ideales									
T.I. REYNOSA - FCO. VILLARREAL									
Nivel de servicio	Velocidad kph	c	Relación (v/c)	fd	fa	fp	fvp	Volumen de servicio	Restricción 20%
A	>91	2800	0.12	1	0.07	1	0.613	144	Composición
B	>86	2800	0.24	1	0.07	1	0.548	258	
C	>78	2800	0.39	1	0.07	1	0.548	419	Autos 77%
D	>64	2800	0.62	1	0.07	1	0.557	677	Autobuses 6%
E	<64	2800	1	1	0.88	1	0.557	1373	Camiones 17%
Volumen de servicio, dada una restricción rebase del 20% en condiciones Ideales									
TRAMO TUXPAN - CERRO AZUL									
Nivel de servicio	Velocidad kph	c	Relación (v/c)	fd	fa	fp	fvp	Volumen de servicio	Restricción 20%
A	>91	2800	0.12	1	0.07	1	0.671	158	Composición
B	>86	2800	0.24	1	0.07	1	0.610	287	
C	>78	2800	0.39	1	0.07	1	0.610	466	Autos 82%
D	>64	2800	0.62	1	0.07	1	0.619	752	Autobuses 5%
E	<64	2800	1	1	0.88	1	0.619	1526	Camiones 13%

FUENTE: Elaboración propia, a partir del Cuadros No. A.2.3 al A.2.19

Una vez determinado el volumen de servicio para cada nivel de servicio (para el sin proyecto), y la relación volumen/capacidad o densidad vehicular (para la situación con proyecto), y conociendo el volumen de demanda horaria de los niveles de servicio a que opera la carretera, se interpolan contra la velocidad en las tablas A.2.19 y A.2.20 respectivamente, siguiendo la secuencia de los ejemplos # 1 y 2 anteriormente descritos.

Para la proyección de la velocidad se consideró la tasa de crecimiento del PIB (descrito en el capítulo 4 cuadro 4.4) para los tramos en estudio en cada nivel de servicio en que opera la carretera.