

Universidad de Buenos Aires

HIGHWAY CAPACITY
MANUAL 2016

CAMINOS DE DOS
CARRILES

Ing. Jorge Felizia
Ing. Leonardo Felizia

2018



MAESTRIA EN PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE TRANSPORTE

TABLA DE CONTENIDO

1	CAPACIDAD	2
2	NIVEL DE SERVICIO	2
3	ALCANCE DE LA METODOLOGÍA	5
4	VELOCIDAD PROMEDIO DE VIAJE	5
4.1	CÁLCULO DE LA DEMANDA PARA VELOCIDAD PROMEDIO DE VIAJE	5
4.1.1	Factor de hora pico	6
4.1.2	Ajuste por pendiente.....	6
4.1.3	Ajuste por la presencia de vehículos pesados.....	7
4.2	VELOCIDAD EN FLUJO LIBRE	13
4.2.1	Determinación de la velocidad en flujo libre.....	13
4.3	DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD PROMEDIO DE VIAJE	16
5	TIEMPO DE VIAJE SIN POSIBILIDAD DE SOBREPASO (TSS)	17
5.1	AJUSTE DE LA DEMANDA PARA EL CÁLCULO DEL TSS	17
5.1.1	Ajuste por pendiente.....	17
5.1.2	Ajuste por la presencia de vehículos pesados.....	20
5.2	DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE SIN POSIBILIDAD DE SOBREPASO	20
6	PORCENTAJE DE LA VELOCIDAD EN FLUJO LIBRE	21
7	DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO	21
8	MEJORAS POSIBLES EN EL DISEÑO Y OPERACIÓN	24
8.1	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE SOBREPASO	25
8.2	BANQUINAS PAVIMENTADAS	25
8.3	CAMINOS DE TRES CARRILES	25
8.3.1	Carril para sobrepaso	25
8.3.2	Carril central continuo para giros a la izquierda.....	25
8.3.3	Carril reversible	26
8.4	MEJORAS EN INTERSECCIONES.....	26
8.5	CARRILES AUXILIARES PARA ASCENSO	26
8.6	CARRILES PARA PERMITIR EL SOBREPASO.....	26
8.7	TRAMOS CORTOS DE CUATRO CARRILES	27

CAMINOS DE DOS CARRILES

1 CAPACIDAD

La capacidad de un camino de dos carriles es de 1700 automóviles por hora para cada sentido de circulación. La capacidad es casi independiente de la distribución direccional del tránsito, pero debe tenerse en cuenta que la suma de las capacidades en ambos sentidos no puede exceder los 3200 automóviles por hora. Excepcionalmente, en tramos cortos, puede aceptarse hasta 3400 automóviles por hora.

2 NIVEL DE SERVICIO

Para el análisis, los caminos de dos carriles se categorizan en tres clases:

- Clase I: son los caminos sobre los que los usuarios esperan desarrollar velocidades relativamente altas. En general son rutas interurbanas, que conectan centros de generación de viajes importantes, caminos de usuarios hogar–trabajo–hogar diarios o tramos de rutas nacionales o provinciales troncales. Esta clase a menudo sirve a viajes de larga distancia.
- Clase II: son los caminos de dos carriles sobre los que los usuarios no necesariamente esperan desarrollar altas velocidades. Son las rutas turísticas, o las que pasan por terrenos escarpados o las que sirven de acceso a rutas del Grupo I. A menudo corresponden a viajes cortos o a la parte inicial o final de viajes largos.
- Clase III: son los caminos que conectan áreas moderadamente desarrolladas. Pueden ser sectores de caminos Clase I o Clase II que pasan por pueblos o áreas recreativas desarrolladas. En algunos tramos, el tránsito local se entremezcla con el pasante y la densidad de puntos de accesos sin señalizar es notablemente mayor que en un camino de una zona rural. Estos tramos están generalmente acompañados de reducciones del límite de velocidad que reflejan un mayor nivel de actividad.

Para la determinación del nivel de servicio, se utiliza la Tabla 1. En la Clase I, lo fundamental es la movilidad, por lo que se deberán verificar ambos parámetros:

- Porcentaje de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso
- Velocidad promedio de viaje

Para la Clase II, en la que la movilidad no es tan crítica, el nivel de servicio se define únicamente en función del porcentaje de viaje sin posibilidad de sobrepaso.

TABLA 1: CLASE I

Nivel de servicio	% de tiempo sin sobrepaso	Velocidad promedio de viaje (km/h)
A	<= 35	> 90
B	> 35 - 50	> 80 - 90
C	> 50 - 65	> 70 - 80
D	> 65 - 80	> 60 - 70
E	> 80	<= 60
F	La demanda excede la capacidad	

Fuente: Highway Capacity Manual 2016

TABLA 1: CLASE II

Nivel de servicio	% de tiempo sin sobrepaso
A	<= 40
B	> 40 - 55
C	> 55 - 70
D	> 70 - 85
E	> 85
F	La demanda excede la capacidad

Fuente: Highway Capacity Manual 2016

Para Clase III se considera la posibilidad que tienen los vehículos a circular cercanos a la máxima velocidad permitida, por lo cual el parámetro considerado es el Porcentaje de la Velocidad en Flujo Libre.

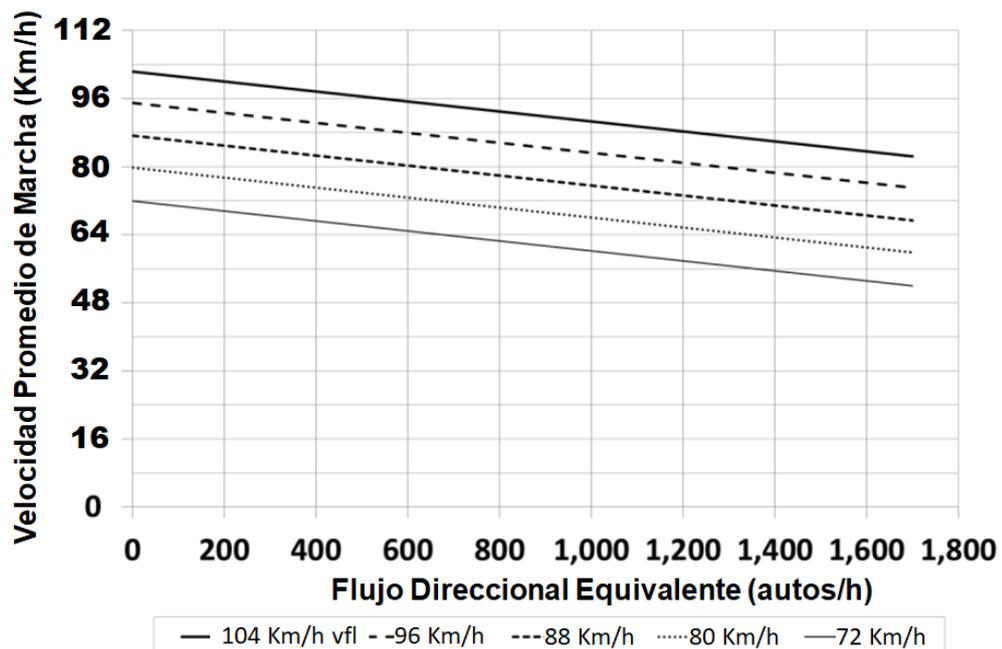
Las Figuras 1 y 2 muestran las relaciones entre el flujo equivalente, la Velocidad Promedio de Marcha (VPM) y el Porcentaje de Tiempo sin Posibilidad de Sobrepaso (PTSS), para un segmento direccional de un camino de dos carriles indivisos bajo condiciones básicas. Dado que el flujo en las dos direcciones interactúa entre sí (como consecuencia de las maniobras de sobrepaso), esta metodología analiza los dos sentidos en forma independiente.

TABLA 1: CLASE III

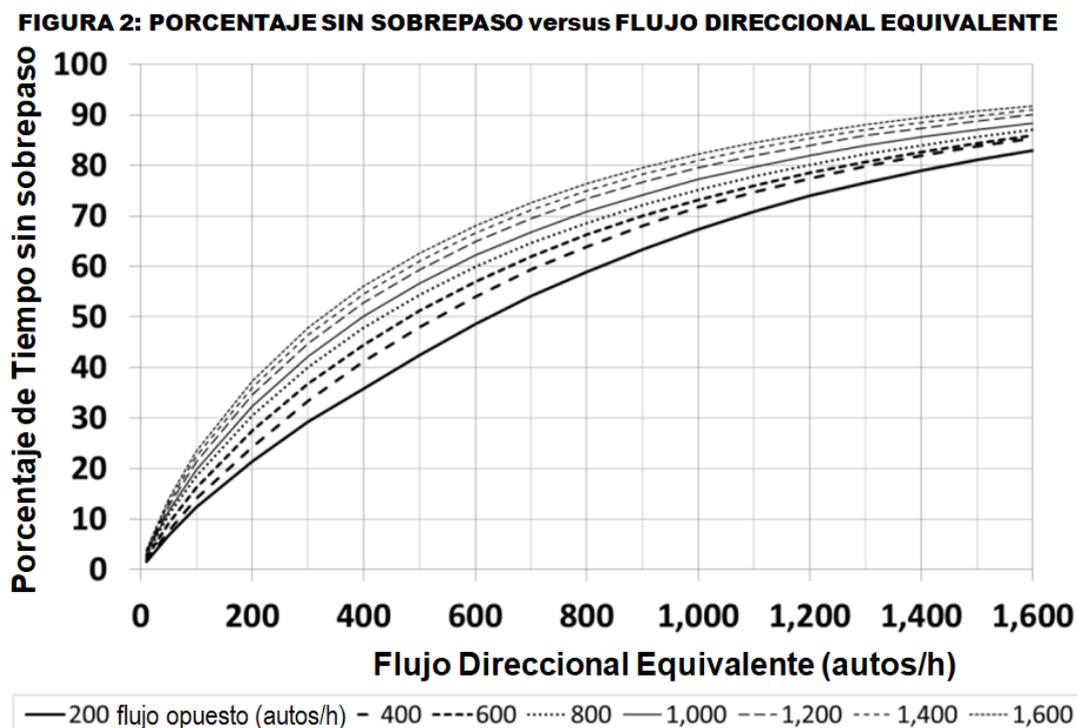
Nivel de servicio	% de la velocidad de flujo libre
A	> 91,7
B	> 83,3 - 91,7
C	> 75,0 - 83,3
D	> 66,7 - 75,0
E	<= 66,7
F	La demanda excede la capacidad

Fuente: Highway Capacity Manual 2016

La Figura 2 ilustra sobre una característica crítica de los caminos de dos carriles indivisos. Volúmenes direccionales relativamente bajos originan

FIGURA 1: VELOCIDAD PROMEDIO DE MARCHA versus FLUJO DIRECCIONAL EQUIVALENTE

Fuente: Highway Capacity Manual 2016



Fuente: Highway Capacity Manual 2016

3 ALCANCE DE LA METODOLOGÍA

El análisis se realiza por sentido de circulación y propone tres cálculos:

- Tramos generales (llanos u ondulados)
- Pendientes específicas
- Tramos con carriles de sobrepaso o de ascenso para camiones

Los tramos montañosos y cualquier pendiente de tres por ciento o más y por lo menos un kilómetro de longitud, deben analizarse como pendientes específicas.

4 VELOCIDAD PROMEDIO DE VIAJE

Este análisis se aplica únicamente a las Clases I y III, dado que en Clase II no se aplica la v_{pv} .

4.1 Cálculo de la demanda para velocidad promedio de viaje

Se deben realizar tres correcciones a los conteos o a las estimaciones de volúmenes horarios para llegar al valor de automóviles equivalentes que se utiliza en el análisis del nivel de servicio. Estas correcciones son el factor de hora pico, el factor por pendiente y el factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados. Estos factores se aplican de la siguiente manera:

$$V_{i,vpv} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,vpv} \times f_{vp,vpv}} \quad (1)$$

Donde:

$V_{i,vpv}$ = volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (automóviles por hora) para el cálculo de la v_{pv}

i = “d” (dirección en estudio) u “o” (dirección opuesta)

V_i = volumen horario en la dirección i (número de vehículos que pasan por un punto en una hora)

FHP = factor de hora pico

$f_{p,vpv}$ = factor de ajuste por pendiente (Tablas 2 o 3)

$f_{vp,vpv}$ = factor de ajuste por vehículos pesados de ecuación (2) o (3)

4.1.1 Factor de hora pico

El FHP representa la variación del tránsito dentro de la hora. Las máximas relaciones de flujo se consideran en los volúmenes horarios con el uso del **factor de hora pico**. Este factor se define como la relación entre el volumen horario total y la máxima relación de flujo durante la hora:

$$FHP = \text{Volumen horario} / \text{Máxima relación de flujo durante la hora}$$

Si se utilizan períodos de quince minutos, el FHP se puede calcular como:

$$FHP = V_h / (4 \times V_{15})$$

donde:

FHP = factor de hora pico

V_h = volumen horario (vehículos/hora)

V_{15} = volumen durante los máximos 15 minutos de la hora (vehículos/15minutos)

Donde existan conteos de tránsito disponibles y los intervalos del conteo permitan identificar el período de 15 minutos, el volumen pico se calculará directamente como 4 veces el volumen de los 15 minutos máximos.

4.1.2 Ajuste por pendiente

El ajuste por pendiente tiene en cuenta el efecto del terreno sobre las velocidades de viaje y el porcentaje del tiempo sin posibilidad de sobrepaso, aún cuando no se registre la presencia de vehículos pesados en el tránsito. Los valores del factor de ajuste por pendiente, f_p , se muestran en la Tabla 2 para tramos llanos y ondulados, más pendientes específicas descendentes, y en la Tabla 3 para pendientes específicas ascendentes.

En todas las Tablas, cuando se refiere a volúmenes, los mismos deben estar previamente corregidos con el FHP.

TABLA 2: FACTOR DE AJUSTE POR PENDIENTE		
Demanda por dirección (veh/h)	Factor de ajuste	
	Llano y pendientes específicas descendentes	Ondulado
<=100	1,00	0,67
200	1,00	0,75
300	1,00	0,83
400	1,00	0,90
500	1,00	0,95
600	1,00	0,97
700	1,00	0,98
800	1,00	0,99
>=900	1,00	1,00
<i>Se recomienda interpolar</i>		
<i>Fuente: Highway Capacity Manual 2016</i>		

4.1.3 Ajuste por la presencia de vehículos pesados

El ajuste por la presencia de vehículos pesados en el tránsito se aplica para dos tipos de vehículos: camiones y recreacionales. No hay evidencia suficiente para indicar la capacidad operativa de ómnibus en caminos de dos carriles, por lo tanto no se dispone de factores de equivalencia.

El cálculo de los valores del factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados en el tránsito, f_{vp} , requiere dos pasos:

- determinar los factores de equivalencia en automóviles de los camiones (E_c) y de los vehículos recreacionales (E_r)
- utilizando E_c y E_r calcular f_{vp}

TABLA 3: FACTOR DE AJUSTE POR PENDIENTE, F_p **Para estimar velocidad de viaje en pendientes ascendentes**

Pendiente (%)	Longitud de la pendiente (Km)	Factor de ajuste por pendiente, f_p								
		Rango de volumen direccional (veh/h)								
		<=100	200	300	400	500	600	700	800	>=900
>= 3 < 3,5	0,4	0,78	0,84	0,87	0,91	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	0,8	0,75	0,83	0,86	0,9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,2	0,73	0,81	0,85	0,89	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,6	0,73	0,79	0,83	0,88	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	2,4	0,73	0,79	0,83	0,87	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
	3,2	0,73	0,79	0,82	0,86	0,98	0,98	0,99	1,00	1,00
	4,8	0,73	0,78	0,82	0,85	0,95	0,96	0,96	0,97	0,98
	>= 6,4	0,73	0,78	0,81	0,85	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96
>= 3,5 < 4,5	0,4	0,75	0,83	0,86	0,9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	0,8	0,72	0,8	0,84	0,88	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,2	0,67	0,77	0,81	0,86	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	1,6	0,65	0,73	0,77	0,81	0,94	0,95	0,97	1,00	1,00
	2,4	0,63	0,72	0,76	0,8	0,93	0,95	0,96	1,00	1,00
	3,2	0,62	0,7	0,74	0,79	0,93	0,94	0,96	1,00	1,00
	4,8	0,61	0,69	0,74	0,78	0,92	0,93	0,94	0,98	1,00
	>= 6,4	0,61	0,69	0,73	0,78	0,91	0,91	0,92	0,96	1,00
>= 4,5 < 5,5	0,4	0,71	0,79	0,83	0,88	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	0,8	0,6	0,7	0,74	0,79	0,94	0,95	0,97	1,00	1,00
	1,2	0,55	0,65	0,7	0,75	0,91	0,93	0,95	1,00	1,00
	1,6	0,54	0,64	0,69	0,74	0,91	0,93	0,95	1,00	1,00
	2,4	0,52	0,62	0,67	0,72	0,88	0,9	0,93	1,00	1,00
	3,2	0,51	0,61	0,66	0,71	0,87	0,89	0,92	0,99	1,00
	4,8	0,51	0,61	0,65	0,7	0,86	0,88	0,91	0,98	0,99
	>= 6,4	0,51	0,6	0,65	0,69	0,84	0,86	0,88	0,95	0,97
>= 5,5 < 6,5	0,4	0,57	0,68	0,72	0,77	0,93	0,94	0,96	1,00	1,00
	0,8	0,52	0,62	0,66	0,71	0,87	0,9	0,92	1,00	1,00
	1,2	0,49	0,57	0,62	0,68	0,85	0,88	0,90	1,00	1,00
	1,6	0,46	0,56	0,6	0,65	0,82	0,85	0,88	1,00	1,00
	2,4	0,44	0,54	0,59	0,64	0,81	0,84	0,87	0,98	1,00
	3,2	0,43	0,53	0,58	0,63	0,81	0,83	0,86	0,97	0,99
	4,8	0,41	0,51	0,56	0,61	0,79	0,82	0,85	0,97	0,99
	>= 6,4	0,4	0,5	0,55	0,61	0,79	0,82	0,85	0,97	0,99
>= 6,5	0,4	0,54	0,64	0,68	0,73	0,88	0,9	0,92	1,00	1,00
	0,8	0,43	0,53	0,57	0,62	0,79	0,82	0,85	0,98	1,00
	1,2	0,39	0,49	0,54	0,59	0,77	0,8	0,83	0,96	1,00
	1,6	0,37	0,45	0,5	0,54	0,74	0,77	0,81	0,96	1,00
	2,4	0,35	0,45	0,49	0,54	0,71	0,75	0,79	0,96	1,00
	3,2	0,34	0,44	0,48	0,53	0,71	0,74	0,78	0,94	0,99
	4,8	0,34	0,44	0,48	0,53	0,7	0,73	0,77	0,93	0,98
	>= 6,4	0,33	0,43	0,47	0,52	0,7	0,73	0,77	0,91	0,95

Se sugiere interpolar para longitud de la pendiente y rango de volumen

Fuente: Highway Capacity Manual 2016

4.1.3.1 Cálculo del factor de ajuste por vehículos pesados

El factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados se calcula de la siguiente manera:

$$f_{vp, vpv} = \frac{1}{[1 + P_c \cdot (E_c - 1) + P_r \cdot (E_r - 1)]} \quad (2)$$

Donde:

- $f_{vp, vpv}$ = factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados en la corriente de tránsito para la estimación de vpv.
- E_c = automóviles equivalentes para camiones (Tablas 4 y 5).
- E_r = automóviles equivalentes para recreacionales (Tablas 4 y 6).
- P_c, P_r = proporción de camiones y recreacionales respectivamente, en la corriente de tránsito (expresado como decimal).

Para entrar a la Tabla 4, el terreno se debe categorizar en llano u ondulado, según los siguientes criterios (el terreno montañoso se analiza siempre como pendiente específica):

- Terreno llano: Cualquier combinación de trazado horizontal y vertical que permita a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad de los automóviles; esto generalmente se produce cuando las pendientes que existen son cortas y de no más de 1 a 2%.
- Terreno ondulado: Cualquier combinación de trazado horizontal y vertical que haga que los vehículos pesados deban reducir su velocidad substancialmente por debajo de los automóviles, pero sin obligarlos a circular a marcha forzada en longitudes significativas o en intervalos frecuentes; esto generalmente se produce cuando las pendientes que existen son cortas y medias y de no más del 4%.

4.1.3.2 Pendientes específicas descendentes

En terreno llano y ondulado, la mayoría de las pendientes descendentes no requiere un análisis particular, y se las considera como parte del tramo general, por lo que el factor de vehículos pesados f_{vp} se determina con los equivalentes de automóviles que se obtienen de la Tabla 4.

En el caso de pendientes descendentes lo suficientemente largas y pronunciadas, como para obligar a los vehículos pesados a circular a marcha forzada para evitar perder el control, el factor de vehículos pesados, para calcular la velocidad promedio de viaje en cualquier tipo de terreno, no se calcula con la ecuación (2), sino con la ecuación (3).

Se deben verificar todas las pendientes descendentes de tres por ciento o más, con longitud de un kilómetro o más. Si la pendiente varía, se analiza como una única pendiente compuesta, utilizando el promedio que se calcula dividiendo la diferencia

total de altura por la longitud total de la pendiente, expresando el resultado como un porcentaje. Como la definición es la misma, resulta evidente que para cualquier pendiente ascendente, se debe estudiar la descendente en el sentido opuesto.

TABLA 4: AUTOMÓVILES EQUIVALENTES PARA PESADOS

Determinación de velocidades de viaje			
Tipo de vehículo	Demanda por dirección (veh/h)	Tipo de terreno	
		Llano y pendientes descendentes	Ondulado
Camiones Ec	≤100	1,9	2,7
	200	1,5	2,3
	300	1,4	2,1
	400	1,3	2,0
	500	1,2	1,8
	600	1,1	1,7
	700	1,1	1,6
	800	1,1	1,4
	≥900	1,0	1,3
Casillas rodantes Er	Cualquier volumen	1,0	1,1
Se recomienda interpolar			
<i>Fuente: Highway Capacity Manual 2016</i>			

TABLA 5: AUTOMOVILES EQUIVALENTES PARA CAMIONES, E_c **Para estimar Velocidad Media de Viaje en pendientes ascendentes**

Pendiente (%)	Longitud de la pendiente (Km)	Rango de volumen direccional (veh/h)								
		≤ 100	200	300	400	500	600	700	800	≥ 900
$\geq 3 < 3,5$	0,4	2,6	2,4	2,3	2,2	1,8	1,8	1,7	1,3	1,1
	0,8	3,7	3,4	3,3	3,2	2,7	2,6	2,6	2,3	2,0
	1,2	4,6	4,4	4,3	4,2	3,7	3,6	3,4	2,4	1,9
	1,6	5,2	5,0	4,9	4,9	4,4	4,2	4,1	3,0	1,6
	2,4	6,2	6,0	5,9	5,8	5,3	5,0	4,8	3,6	2,9
	3,2	7,3	6,9	6,7	6,5	5,7	5,5	5,3	4,1	3,5
	4,8	8,4	8,0	7,7	7,5	6,5	6,2	6,0	4,6	3,9
$\geq 6,4$	9,4	8,8	8,6	8,3	7,2	6,9	6,6	4,8	3,7	
$\geq 3,5 < 4,5$	0,4	3,8	3,4	3,2	3,0	2,3	2,2	2,2	1,7	1,5
	0,8	5,5	5,3	5,1	5,0	4,4	4,2	4,0	2,8	2,2
	1,2	6,5	6,5	6,5	6,5	6,3	5,9	5,6	3,6	2,6
	1,6	7,9	7,6	7,4	7,3	6,7	6,6	6,4	5,3	4,7
	2,4	9,6	9,2	9,0	8,9	8,1	7,9	7,7	6,5	5,9
	3,2	10,3	10,1	10,0	9,9	9,4	9,1	8,9	7,4	6,7
	4,8	11,4	11,3	11,2	11,2	10,7	10,3	10,0	8,0	7,0
$\geq 6,4$	12,4	12,2	12,2	12,1	11,5	11,2	10,8	8,6	7,5	
$\geq 4,5 < 5,5$	0,4	4,4	4,0	3,7	3,5	2,7	2,7	2,7	2,6	2,5
	0,8	6,0	6,0	6,0	6,0	5,9	5,7	5,6	4,6	4,2
	1,2	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
	1,6	9,2	9,2	9,1	9,1	9,0	9,0	9,0	8,9	8,8
	2,4	10,6	10,6	10,6	10,6	10,5	10,4	10,4	10,2	10,1
	3,2	11,8	11,8	11,8	11,8	11,6	11,6	11,5	11,1	10,9
	4,8	13,7	13,7	13,6	13,6	13,3	13,1	13,0	11,9	11,3
$\geq 6,4$	15,3	15,3	15,2	15,2	14,6	14,2	13,8	11,3	10,0	
$\geq 5,5 < 6,5$	0,4	4,8	4,6	4,5	4,4	4,0	3,9	3,8	3,2	2,9
	0,8	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2
	1,2	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1
	1,6	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,2	10,1
	2,4	11,9	11,9	11,9	11,9	11,8	11,8	11,8	11,7	11,6
	3,2	12,8	12,8	12,8	12,8	12,7	12,7	12,7	12,6	12,5
	4,8	14,4	14,4	14,4	14,4	14,3	14,3	14,3	14,2	14,1
$\geq 6,4$	15,4	15,4	15,3	15,3	15,2	15,1	15,1	14,9	14,8	
$\geq 6,5$	0,4	5,1	5,1	5,0	5,0	4,8	4,7	4,7	4,5	4,4
	0,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
	1,2	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8
	1,6	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,3	10,2
	2,4	12,0	12,0	12,0	12,0	11,9	11,9	11,9	11,8	11,7
	3,2	12,9	12,9	12,9	12,9	12,8	12,8	12,8	12,7	12,6
	4,8	14,5	14,5	14,5	14,5	14,4	14,4	14,4	14,3	14,2
$\geq 6,4$	15,4	15,4	15,4	15,4	15,3	15,3	15,3	15,2	15,1	

Se sugiere interpolar para longitud de la pendiente y rango de volumen

Fuente Highway Capacity Manual 2016

TABLA 6: AUTOMOVILES EQUIVALENTES PARA RECREACIONALES, E_r
Para estimar Velocidad Media de Viaje en pendientes ascendentes

Pendiente (%)	Longitud de la pendiente (Km)	Rango de volumen direccional (veh/h)								
		<=100	200	300	400	500	600	700	800	>=900
>= 3 < 3,5	<=0,4	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	>0,4 <=1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	>1,2 <=2,0	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	>2,0 <=3,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	> 3,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
>= 3,5 < 4,5	<=1,2	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	>1,2 <=5,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	> 5,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
>= 4,5 < 5,5	<=4,0	1,5	1,4	1,3	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	>4,0	1,6	1,5	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
>= 5,5 < 6,5	<=1,2	1,5	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	>1,2 <=4,0	1,6	1,5	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	>4,0 <=5,6	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0
	> 5,6	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1
>= 6,5	<=4,0	1,6	1,5	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	>4,0 <=5,6	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
	> 5,6	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4
Se sugiere no interpolar										
Fuente Highway Capacity Manual 2016										

$$f_{vp,vpv} = \frac{1}{[1 + P_{cml} \times P_c \times (E_{cml} - 1) + (1 - P_{cml}) \times P_c \times (E_c - 1) + P_r \times (E_r - 1)]} \quad (3)$$

Donde:

- $f_{vp,vpv}$ = factor de ajuste por la presencia de camiones en pendientes descendentes a marcha lenta.
- E_c, E_r = automóviles equivalentes para camiones y para recreacionales respectivamente, que se obtienen de la Tabla 4 en la categoría terreno llano.
- P_c, P_r = proporción de camiones y casillas rodantes respectivamente, en la corriente de tránsito de la pendiente descendente (expresado como decimal).
- E_{cml} = automóviles equivalentes para camiones que circulan en marcha lenta de la Tabla 7.

P_{cm} = proporción de camiones que circula en marcha lenta, respecto al total de camiones en la corriente de tránsito de la pendiente descendente (expresado como decimal).

Los valores de E_{cm} se obtienen de la Tabla 7 sobre la base del volumen direccional pico y de la diferencia entre la velocidad en flujo libre y la de los camiones en marcha lenta. Si no se dispone de la proporción de camiones que circula a marcha lenta en la pendiente, se puede estimar el valor como la proporción de camiones con acoplado y semiremolque, sobre el total de camiones de la pendiente en el sentido estudiado.

TABLA 7: AUTOMÓVILES EQUIVALENTES PARA CAMIONES EN MARCHA LENTA

Diferencia entre la v_{fl} y la de camiones lentos (Km/h)	Demanda direccional (veh/h)								
	≤ 100	200	300	400	500	600	700	800	≥ 900
≤ 24	4,7	4,1	3,6	3,1	2,6	2,1	1,6	1,0	1,0
32	9,9	8,7	7,8	6,7	5,8	4,9	4,0	2,7	1,0
40	15,1	13,4	12,0	10,4	9,0	7,7	6,4	5,1	3,8
48	22,0	19,8	17,5	15,6	13,1	11,6	9,2	6,1	4,1
56	29,0	26,0	23,1	20,1	17,3	14,6	11,9	9,2	6,5
≥ 64	35,9	32,3	28,6	24,9	21,4	18,1	14,7	11,3	7,9

Se recomienda interpolar tanto para la diferencia de velocidad como para la demanda

Fuente: Highway Capacity Manual 2016

4.2 Velocidad en flujo libre

Velocidad en flujo libre de un tramo es la velocidad teórica del tránsito en dicho tramo cuando la densidad tiende a cero. Prácticamente es la velocidad a la cual los conductores conducen confortablemente bajo las condiciones del entorno y controles del tránsito existentes. Este parámetro es el punto de partida para el cálculo de la capacidad y el nivel de servicio en condiciones de flujo ininterrumpido.

4.2.1 Determinación de la velocidad en flujo libre

La velocidad en flujo libre es la velocidad promedio de todos los vehículos registrada con volúmenes de horarios de tránsito de hasta 200 automóviles equivalentes (total ambos sentidos).

Para la determinación de la velocidad en flujo libre del camino se pueden aplicar tres metodologías:

1. Medición directa en campaña
2. Medir velocidades con altos volúmenes y corregir
3. Estimarla con fórmula

4.2.1.1 *Medición directa en campaña*

No es necesario realizar ajustes posteriores a la velocidad en flujo libre. El estudio de velocidad debe realizarse en una ubicación representativa dentro del tramo que está siendo evaluado; por ejemplo no debe seleccionarse un segmento con una pendiente dentro de un tramo que es llano en su mayoría. Generalmente, las horas que no son picos son buenos momentos para obtener bajos volúmenes de tránsito.

La velocidad promedio de todos los vehículos, medida en un estudio de campaña realizado en condiciones de bajos volúmenes de tránsito, se puede usar directamente como la velocidad en flujo libre. Esta velocidad refleja los efectos de todos los elementos que pueden influir sobre la velocidad, incluyendo aquellos que se consideran en esta metodología (ancho de carril y banquina y puntos de acceso), así como otros tales como límites de velocidad y trazado vertical y horizontal.

Si un tramo contiene curvas horizontales muy pronunciadas, con velocidad directriz substancialmente menor que el resto, es aconsejable determinar la velocidad en flujo libre de dichas curvas por separado y calcular la velocidad en flujo libre del tramo como un promedio ponderado.

4.2.1.2 *Medición de velocidades con altos volúmenes y corrección*

Si el estudio de velocidad se debe realizar para volúmenes de tránsito superiores a 200 automóviles por hora (total ambos sentidos), la velocidad en flujo libre se puede obtener aplicando la fórmula siguiente (asumiendo que todos los parámetros de la misma se han determinado simultáneamente).

$$v_{fl} = v_{med} + 0,0125 \frac{V_{med}}{f_{vp,vpv}}$$

donde:

v_{fl} = velocidad en flujo libre estimada (km/h)

v_{med} = velocidad media medida en campaña (km/h)

V_{med} = volumen de tránsito total ambos sentidos, medido en campaña en el momento de la obtención de los datos (veh/h)

$f_{vp,vpv}$ = factor de vehículos pesados calculado con las ecuaciones (2) o (3)

4.2.1.3 *Velocidad en flujo libre estimada*

La velocidad en flujo libre base refleja las características del tránsito y el trazado horizontal y vertical del camino. Dado el amplio rango de condiciones de circulación en caminos de dos carriles, y la influencia de las conductas locales en las velocidades de circulación deseadas por los conductores, no hay datos de referencia para este parámetro. Es aconsejable basarse para la estimación, en caminos existentes de la región con similares condiciones de operación.

Cuando no se puede disponer de la velocidad en flujo libre medida en campaña, la misma se puede estimar utilizando la fórmula siguiente:

$$V_{fl} = V_{flb} - f_{ab} - f_e$$

donde:

v_{fl} = velocidad en flujo libre estimada (km/h)

v_{flb} = velocidad en flujo libre base (km/h)

f_{ab} = ajuste por ancho de carril y banquina

f_e = ajuste por número de puntos de entrada o acceso

Las condiciones de referencia de un camino de dos carriles requiere anchos de carril de 3,60 metros o más, y anchos de banquina de 1,80 metros o más. La Tabla 8 muestra la reducción de velocidad en flujo libre correspondiente al efecto combinado de los anchos de carril y banquina, que no alcanzan las condiciones mencionadas.

TABLA 8: AJUSTE POR ANCHOS DE CARRIL Y BANQUINAS

Ancho de carril (metros)	Reducción de la velocidad en flujo libre (km/h)			
	Ancho de banquina (metros)			
	$\geq 0,0 < 0,6$	$\geq 0,6 < 1,2$	$\geq 1,2 < 1,8$	$\geq 1,8$
$2,7 < 3,0$	10,3	7,7	5,6	3,5
$\geq 3,0 < 3,3$	8,5	5,9	3,8	1,7
$\geq 3,3 < 3,6$	7,5	4,9	2,8	0,7
$\geq 3,6$	6,8	4,2	2,1	0,0

Fuente: Highway Capacity Manual 2016

La Tabla 9 muestra los factores de ajuste para distintos niveles de densidad de acceso. Los datos indican que cada punto de acceso por kilómetro disminuye la velocidad estimada en flujo libre en aproximadamente 0,67 km/h. La densidad de los puntos de acceso se calcula dividiendo el número total de puntos de acceso (intersecciones), sobre ambos lados del camino en estudio, por la longitud de la sección en kilómetros. Una intersección o acceso se debe incluir solamente si el analista la considera significativa para influir en el flujo de tránsito. Aquellos puntos de acceso que son difíciles de identificar por el conductor, o en los que se ve muy poca actividad, no se deben considerar para la determinación de la densidad de puntos de acceso.

La Tabla 10 da una estimación general de la cantidad de puntos de acceso por kilómetro que habitualmente se encuentra según el medio donde se desarrolla el camino.

TABLA 9: AJUSTE POR DENSIDAD DE PUNTOS DE ACCESO

PUNTOS DE ACCESO POR KM	REDUCCIÓN DE LA VELOCIDAD EN FLUJO LIBRE (KM/H)
0	0
6	4
12	8
18	12
24 ó más	16

Fuente: Highway Capacity Manual 2016

TABLA 10 - PUNTOS DE ACCESO SEGÚN EL MEDIO

TIPO DE MEDIO	PUNTOS DE ACCESO POR KILÓMETRO
Rural	0 - 6
Suburbano baja densidad	7 - 12
Suburbano alta densidad	13 ó más

Fuente: Highway Capacity Manual 2016

Las relaciones de la velocidad en flujo libre propuestas en esta metodología incluyen usuarios habituales y ocasionales, entre los que no se esperan diferencias significativas para este tipo de infraestructura. No obstante, si se considera que la población de conductores puede incidir en la velocidad en flujo libre (y la misma no se mide en campaña), se la debe afectar con un coeficiente que refleje dicho efecto.

4.3 Determinación de la velocidad promedio de viaje

Como ocurre en el Punto 4, este cálculo se aplica solamente a las Clases I y III, dado que la velocidad promedio de viaje no se utiliza en caminos de Clase II.

Se estima utilizando la siguiente ecuación:

$$v_{pmd} = v_{fl} - 0,0125 \times (V_{d;vpv} + V_{o;vpv}) - f_{ss;vpv} \quad (3)$$

donde:

v_{pmd} = velocidad promedio de viaje en la dirección estudiada en Km/h.

v_{fl} = velocidad en flujo libre calculada como se indicó en el apartado 4.2.1, en Km/h.

$V_{d;vpv}$ = volumen para el período de 15 minutos pico para la determinación de la velocidad promedio de viaje en la dirección analizada (automóviles por hora).

$V_{o;vpv}$ = volumen para el período de 15 minutos pico para la determinación de la velocidad promedio de viaje en la dirección opuesta (automóviles por hora).

$f_{ss;vpv}$ = ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso para la determinación de la velocidad promedio de viaje, en la dirección analizada, de Tabla 11. En esta Tabla el volumen en sentido opuesto ya debe estar convertido en automóviles equivalentes.

5 TIEMPO DE VIAJE SIN POSIBILIDAD DE SOBREPASO (TSS)

Este cálculo se aplica solamente a caminos de Clase I y II, dado que el porcentaje de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso no se utiliza para la estimación del nivel de servicio en la Clase III.

5.1 Ajuste de la demanda para el cálculo del tss

$$V_{i,tss} = \frac{V_i}{FHP \times f_{p,tss} \times f_{vp,tss}} \quad (4)$$

Donde:

$V_{i,tss}$ = volumen equivalente i para el período de 15 minutos pico (automóviles por hora) para el cálculo del tss

i = “d” (dirección en estudio) u “o” (dirección opuesta)

$f_{p,tss}$ = factor de ajuste por pendiente (Tablas 12 o 13)

$f_{vp,tss}$ = factor de ajuste por vehículos pesados de ecuación (5) o (6)

Todos los demás parámetros son los definidos anteriormente.

5.1.1 Ajuste por pendiente

El ajuste por pendiente, al igual que en el caso del desarrollo para la determinación de la velocidad promedio de viaje, tiene en cuenta el efecto del terreno sobre las velocidades de viaje y el porcentaje del tiempo sin posibilidad de sobrepaso, aún cuando no se registre la presencia de vehículos pesados en el tránsito. Los valores del factor de ajuste por pendiente, f_p , se muestran en la Tabla 12 para tramos llanos y ondulados, más pendientes específicas descendentes, y en la Tabla 13 para pendientes específicas ascendentes.

En todas las Tablas, cuando se refiere a volúmenes, los mismos deben estar previamente corregidos con el FHP.

TABLA 11: FACTOR DE AJUSTE POR ZONAS SIN SOBREPASO

Sobre la velocidad promedio de viaje					
Volumen equivalente sentido opuesto (aut/h)	Zonas sin sobrepaso (%)				
	<= 20	40	60	80	100
Velocidad en flujo libre = 110 Km/h					
<=100	1,8	3,5	4,5	4,8	5,0
200	3,5	5,3	6,2	6,4	6,7
400	2,6	3,7	4,3	4,5	4,6
600	2,2	2,4	2,7	3,0	3,2
800	1,1	1,6	1,9	2,2	2,4
1000	1,0	1,3	1,8	1,8	1,9
1200	1,0	1,3	1,4	1,6	1,8
1400	1,0	1,1	1,4	1,4	1,4
>=1600	1,0	1,1	1,1	1,1	1,3
Velocidad en flujo libre = 100 Km/h					
<=100	1,1	2,7	4,0	4,5	4,6
200	3,0	4,6	5,9	6,4	6,7
400	2,2	3,2	4,0	4,3	6,2
600	1,8	2,1	2,6	3,0	3,2
800	1,0	1,4	1,8	2,1	2,2
1000	1,0	1,1	1,4	1,8	1,9
1200	0,8	1,1	1,4	1,4	1,8
1400	0,8	1,0	1,3	1,3	1,4
>=1600	0,8	1,0	1,1	1,1	1,1
Velocidad en flujo libre = 90 Km/h					
<=100	0,8	1,9	3,5	4,2	4,3
200	2,4	3,8	5,6	6,2	6,6
400	2,1	3,0	3,8	4,3	4,5
600	1,4	1,8	2,6	2,9	3,0
800	0,8	1,1	1,8	1,9	2,2
1000	0,8	1,0	1,3	1,4	1,8
1200	0,8	1,0	1,1	1,4	1,6
1400	0,8	1,0	1,1	1,1	1,4
>=1600	0,8	1,0	1,0	1,0	1,1
Velocidad en flujo libre = 80 Km/h					
<=100	0,3	1,1	3,0	3,8	4,0
200	1,9	3,2	5,3	6,2	6,4
400	1,8	2,6	3,5	4,2	4,3
600	1,0	1,4	2,2	2,7	3,0
800	0,6	1,0	1,4	1,9	2,1
1000	0,6	0,6	1,1	1,4	1,8
1200	0,6	0,6	1,1	1,3	1,6
1400	0,6	0,6	1,0	1,1	1,3
>=1600	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
Velocidad en flujo libre = 70 Km/h					
<=100	0,2	0,6	2,7	3,5	3,8
200	1,4	2,6	5,0	6,1	6,4
400	1,4	0,8	3,2	4,0	4,3
600	0,6	0,5	2,1	2,7	2,9
800	0,5	0,5	1,3	1,8	1,9
1000	0,5	0,5	1,0	1,3	1,8
1200	0,5	0,5	1,0	1,1	1,6
1400	0,5	0,5	1,0	1,0	1,1
>=1600	0,5	0,5	0,6	0,6	1,0

Se recomienda interpolar por % de zonas sin sobrepaso, por volumen en sentido opuesto y por velocidad en flujo libre

Fuente: Highway Capacity Manual 2016

TABLA 12: FACTOR DE AJUSTE POR PENDIENTE

Demanda por dirección (veh/h)	Factor de ajuste	
	Llano y pendientes específicas descendentes	Ondulado
<=100	1,00	0,73
200	1,00	0,80
300	1,00	0,85
400	1,00	0,90
500	1,00	0,96
600	1,00	0,97
700	1,00	0,99
800	1,00	1,00
>=900	1,00	1,00

Se recomienda interpolar

Fuente: Highway Capacity Manual 2016

TABLA 13: FACTOR DE AJUSTE POR PENDIENTE, F_p

Para estimar tiempo sin sobrepaso en pendientes ascendentes

Pendiente (%)	Longitud de la pendiente (Km)	Factor de ajuste por pendiente, f_p								
		Rango de volumen direccional (veh/h)								
		<=100	200	300	400	500	600	700	800	>= 900
>= 3 < 3,5	0,4	1,00	0,99	0,97	0,96	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
	0,8	1,00	0,99	0,98	0,97	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
	1,2	1,00	0,99	0,98	0,97	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
	1,6	1,00	0,99	0,98	0,97	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
	2,4	1,00	0,99	0,98	0,97	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
	3,2	1,00	0,99	0,98	0,98	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
	4,8	1,00	1,00	0,99	0,99	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96
	>= 6,4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,97	0,97
>= 3,5 < 4,5	0,4	1,00	0,99	0,98	0,97	0,94	0,93	0,93	0,92	0,92
	0,8	1,00	1,00	0,99	0,99	0,97	0,97	0,97	0,96	0,95
	1,2	1,00	1,00	0,99	0,99	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96
	1,6	1,00	1,00	0,99	0,99	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
	2,4	1,00	1,00	0,99	0,99	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
	3,2	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
	4,8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	>= 6,4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
>= 4,5 < 5,5	0,4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,97	0,97
	>= 6,4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
>= 5,5	Todas	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Se sugiere interpolar para longitud de la pendiente y rango de volumen

Fuente: Highway Capacity Manual 2016

5.1.2 Ajuste por la presencia de vehículos pesados

$$f_{vp,tss} = \frac{1}{[1 + P_c \cdot (E_c - 1) + P_r \cdot (E_r - 1)]} \quad (5)$$

Donde:

$f_{vp,tss}$ = factor de ajuste por la presencia de vehículos pesados en la corriente de tránsito para la estimación del tss.

E_c = automóviles equivalentes para camiones (Tablas 14 y 15).

E_r = automóviles equivalentes para recreacionales (Tablas 14 y 15).

Todos los demás parámetros son los definidos anteriormente.

5.2 Determinación del porcentaje sin posibilidad de sobrepaso

El porcentaje de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso se estima utilizando la siguiente ecuación:

$$P_{tssd} = PB_{tssd} + f_{ss;d} \times [V_{d;tss} / (V_{d;tss} + V_{o;tss})] \quad (6)$$

donde:

P_{tssd} = Porcentaje de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso, en la dirección estudiada.

$f_{ss;d}$ = ajuste por porcentaje de zonas con prohibición de sobrepaso en el sentido estudiado, de Tabla 16.

$V_{d;tss}$ = volumen equivalente para el período de 15 minutos pico en la dirección estudiada para el cálculo del tss (automóviles por hora).

$V_{o;tss}$ = volumen equivalente para el período de 15 minutos pico en la dirección opuesta a la estudiada para el cálculo del tss (automóviles por hora).

PB_{tssd} = Porcentaje base de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso en la dirección estudiada. Se estima con la siguiente ecuación:

$$PB_{tssd} = 100 \left(1 - e^{-aV_{d;tss}^b} \right)$$

Los valores de los coeficientes a y b se obtienen de la Tabla 17.

Los volúmenes de las Tablas 16 y 17 son automóviles equivalentes para el pico de quince minutos. En la Tabla 16, si bien el análisis corresponde a una dirección, el volumen con que se entra corresponde a ambos sentidos de circulación.

TABLA 14: AUTOMÓVILES EQUIVALENTES PARA PESADOS			
Determinación de tiempo sin sobrepaso			
Tipo de vehículo	Demanda por dirección (veh/h)	Tipo de terreno	
		Llano y pendientes descendentes	Ondulado
Camiones Ec	<=100	1,1	1,9
	200	1,1	1,8
	300	1,1	1,7
	400	1,1	1,6
	500	1,0	1,4
	600	1,0	1,2
	700	1,0	1,0
	800	1,0	1,0
	>=900	1,0	1,0
Casillas rodantes Er	Cualquier volumen	1,0	1,0
Se recomienda no interpolar			
<i>Fuente: Highway Capacity Manual 2016</i>			

6 PORCENTAJE DE LA VELOCIDAD EN FLUJO LIBRE

Este cálculo se realiza solamente para los caminos de Clase III, en los que se determina el porcentaje de la Velocidad de Flujo Libre con la siguiente relación:

$$P_{vfl} = v_{pmd} / v_{fl} \quad (7)$$

donde:

P_{vfl} = porcentaje de la velocidad en flujo libre

v_{pmd} = velocidad promedio de viaje en la dirección estudiada (km/h)

v_{fl} = velocidad en flujo libre estimada (km/h)

7 DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO

Para la determinación del nivel de servicio, se utiliza la Tabla 1. Tal como se indicó en el apartado 2, para la Clase I se deberán verificar los dos parámetros:

- Velocidad promedio de viaje; calculada con la ecuación (3)
- Porcentaje de tiempo de viaje sin posibilidad de sobrepaso; calculado con la ecuación (6)

Para la Clase II solo será necesario referirse al porcentaje de viaje sin posibilidad de sobrepaso, calculado con la ecuación (6).

Por último para la Clase III deberá calcularse el porcentaje de la velocidad en flujo libre con la ecuación (7)

TABLA 15: AUTOMÓVILES EQUIVALENTES PARA CAMIONES Y RECREACIONALES										
Para estimar tiempo sin sobrepaso en pendientes ascendentes										
Pendiente (%)	Longitud de la pendiente (Km)	Volumen direccional (veh/h)								
		<=100	200	300	400	500	600	700	800	>=900
Automóviles equivalentes para camiones, Ec										
>= 3 < 3,5	<=3,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	4,8	1,5	1,3	1,3	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	>= 6,4	1,6	1,4	1,3	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
>= 3,5 < 4,5	<=1,6	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	2,4	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	3,2	1,6	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	4,8	1,8	1,4	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	>= 6,4	2,1	1,9	1,8	1,7	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
>= 4,5 < 5,5	<=1,6	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	2,4	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	3,2	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3
	4,8	2,4	2,2	2,2	2,1	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7
	>= 6,4	3,5	3,1	2,9	2,7	2,1	2,0	2,0	1,8	1,8
>= 5,5 < 6,5	<=1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,6	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	2,4	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
	3,2	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8
	4,8	3,4	3,2	3,0	2,9	2,4	2,3	2,3	1,9	1,9
	>= 6,4	4,5	4,1	3,9	3,7	2,9	2,7	2,6	2,0	2,0
>= 6,5	<=0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0
	1,6	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,4	1,4
	2,4	2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	3,2	2,9	2,8	2,7	2,7	2,4	2,4	2,3	2,3	2,3
	4,8	4,2	3,9	3,7	3,6	3,0	2,8	2,7	2,2	2,2
	>= 6,4	5,0	4,6	4,4	4,2	3,3	3,1	2,9	2,7	2,5
Equivalentes casillas rodantes (Er)										
Cualquiera	Cualquiera	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Se sugiere interpolar para longitud de la pendiente y volumen										
Fuente: Highway Capacity Manual 2016										

TABLA 16: AJUSTE DEL FACTOR DE ZONAS SIN SOBREPASO**Para la determinación del % de tss**

Volumen equivalente total ambos sentidos (aut/h)	Zonas sin sobrepaso (%)					
	0	20	40	60	80	100
Distribución direccional 50/50						
<=200	9,0	29,2	43,4	49,4	51,0	52,6
400	16,2	41,0	54,2	61,6	63,8	65,8
600	15,8	38,2	47,8	53,2	55,2	56,8
800	15,8	33,8	40,4	44,0	44,8	46,6
1400	12,8	20,0	23,8	26,2	27,4	28,6
2000	10,0	13,6	15,8	17,4	18,2	18,8
2600	5,5	7,7	8,7	9,5	10,1	10,3
3200	3,3	4,7	5,1	5,5	5,7	6,1
Distribución direccional 60/40						
<=200	11,0	30,6	41,0	51,2	52,3	53,5
400	14,6	36,1	44,8	53,4	55,0	56,3
600	14,8	36,9	44,0	51,1	52,8	54,6
800	13,6	28,2	33,4	38,6	39,9	41,3
1400	11,8	18,9	22,1	25,4	26,4	27,3
2000	9,1	13,5	15,6	16,0	16,8	17,3
>=2600	5,9	7,7	8,6	9,6	10,0	10,2
Distribución direccional 70/30						
<=200	9,9	28,1	38,0	47,8	48,5	49,0
400	10,6	30,3	38,6	46,7	47,7	48,8
600	10,9	30,9	37,5	43,9	45,4	47,0
800	10,3	23,6	28,4	33,3	34,5	35,5
1400	8,0	14,6	17,7	20,8	21,6	22,3
>=2000	7,3	9,7	11,7	13,3	14,0	14,5
Distribución direccional 80/20						
<=200	8,9	27,1	37,1	47,0	47,4	47,9
400	6,6	26,1	34,5	42,7	43,5	44,1
600	4,0	24,5	31,3	38,1	39,1	40,0
800	3,8	18,5	23,5	28,4	29,1	29,9
1400	3,5	10,3	13,3	16,3	16,9	32,2
>=2000	3,5	7,0	8,5	10,1	10,4	10,7
Distribución direccional 90/10						
<=200	4,6	24,1	33,6	43,1	43,4	43,6
400	0,0	20,2	28,3	36,3	36,7	37,0
600	-3,1	16,8	23,5	30,1	30,6	31,1
800	-2,8	10,5	15,2	19,9	20,3	20,8
>=1400	-1,2	5,5	8,3	11,0	11,5	11,9

Se recomienda interpolar para porcentaje sin sobrepaso, volumen y distribución direccional

Fuente: Highway Capacity Manual 2016

TABLA 17: COEFICIENTES a Y b		
Volumen opuesto equivalente (aut/h)	a	b
<= 200	-0,0014	0,973
400	-0,0022	0,923
600	-0,0033	0,87
800	-0,0045	0,833
1000	-0,0049	0,829
1200	-0,0054	0,825
1400	-0,0058	0,821
>= 1600	-0,0062	0,817
Se recomienda interpolar a y b		
<i>Fuente: Highway Capacity Manual 2016</i>		

8 MEJORAS POSIBLES EN EL DISEÑO Y OPERACIÓN

Para identificar los problemas de operación que pueden existir en un camino rural de dos carriles es necesario conocer las características de la red a la cual pertenecen.

En EE.UU. únicamente el 30% de la totalidad de los viajes se desarrolla en caminos rurales de dos carriles, a pesar de que esta red comprende el 80% del total de caminos rurales pavimentados. En la mayoría de los casos los caminos rurales de dos carriles soportan tránsito liviano y tienen pocos problemas de operación. Por tal razón los entes viales se dedican al mantenimiento del pavimento y de los elementos de seguridad del camino.

Algunos caminos sin embargo sufren periódicamente agudos problemas de operación y de seguridad debido a variaciones en el tránsito, geometría y medio ambiente. Muchos de estos caminos se encuentran próximos a áreas urbanas importantes y experimentan rápidos crecimientos en el tránsito.

Casi el 60% del total de los caminos rurales de dos carriles se desarrollan en terreno ondulado o montañoso. Este hecho sumado a volúmenes elevados en sentido opuesto produce inconvenientes en las maniobras de giro o de sobrepaso. Al aumentar la cantidad de vehículos pesados aumenta la demanda de sobrepaso y las maniobras, en general, se tornan más dificultosas.

Cuando se presentan algunas de las situaciones antes mencionadas, el resultado que se tiene es un reducido nivel de servicio, aumento de los pelotones, aumento de las demoras y aumento en las maniobras de sobrepaso. A pesar de esto, no siempre se justifica la reconstrucción como camino multicarril. Para tales casos se pueden considerar las mejoras que se describen a continuación:

- a) Mejorar las distancias de visibilidad de sobrepaso.
- b) Empleo de banquetas pavimentadas.
- c) Caminos de 3 carriles con 2 de ellos para un sentido de circulación (sobrepaso prohibido en el otro sentido).

- d) Caminos de 3 carriles con carriles para giros a izquierda centrales continuos.
- e) Caminos de tres carriles, con carril central reversible.
- f) Mejoras especiales en las intersecciones.
- g) Carriles auxiliares ascendentes para camiones y vehículos pesados.
- h) Carriles para permitir el sobrepaso.
- i) Tramos cortos de cuatro carriles.

8.1 Distancia de visibilidad de sobrepaso

En el diseño de caminos de dos carriles es importante proveer distancias de visibilidad de sobrepaso ya que este elemento ejerce una marcada influencia en la capacidad y volumen de servicio. Cuando la distancia entre secciones con sobrepaso sea grande y se produzcan colas extensas se deben considerar carriles de sobrepaso periódicos para ambos sentidos.

8.2 Banquinas pavimentadas

Si las banquetas poseen una resistencia adecuada pueden utilizarse para disolver o dispersar los pelotones. Los vehículos lentos pueden circular temporariamente por la banquina para permitir el paso de los vehículos más rápidos y volver al carril de circulación finalizadas las maniobras de sobrepaso (especialmente en verano, cuando circulan vehículos turísticos).

8.3 Caminos de tres carriles

Los caminos de tres carriles son una solución intermedia para la ampliación de caminos de dos carriles a cuatro carriles. El tercer carril puede tener distintas funciones (inicialmente se emplea como carril de sobrepaso para ambos sentidos de circulación, pero es muy peligroso especialmente en terreno ondulado).

8.3.1 Carril para sobrepaso

Se asigna el *tercer* carril para sobrepaso en un sentido en una distancia pequeña (aproximadamente 1,5 Km), luego se destina para sobrepaso en el otro sentido. En general esta solución no es aconsejable cuando el T.M.D.A supera los 3000 vpd.

De un estudio analítico realizado en Ontario (Canadá) se obtuvo que la longitud recomendable para estos carriles de sobrepaso es de 1,5 a 2,0 Km. Esta longitud permite dispersar adecuadamente la mayoría de los pelotones, provee zonas de transición adicionales y no modifica las expectativas del conductor con respecto a la verdadera naturaleza del camino. Existen normas que indican los espaciamientos (recomendados por el estudio antes mencionado) entre los carriles de sobrepaso en el mismo sentido.

8.3.2 Carril central continuo para giros a la izquierda

En caminos rurales de dos carriles, con un carril para cada sentido de circulación,

que poseen un importante tránsito que gira a la izquierda se producen prolongadas demoras cuando los vehículos deben esperar la oportunidad para realizar los giros. Al incorporar un área continua para el tránsito que gira a izquierda, a ambos sentidos se puede mantener la capacidad del tránsito directo con el beneficio adicional de separar las corrientes en sentido opuesto. Se elimina la posibilidad del sobrepaso. Estos carriles no se emplean cuando las velocidades son menores a 40 Km/h ó mayores de 80 Km/h, y son mas frecuentes en áreas urbanas de borde o en rutas importantes cuando atraviesan villas o pequeñas poblaciones.

8.3.3 Carril reversible

Es otro uso del tercer carril (central). Se emplea cuando la demanda de tránsito es de naturaleza fluctuante. El sentido de circulación del carril se revierte durante el día según sean los picos de flujo, y se indica con señalización adecuada (semáforos, señales). No se permite el sobrepaso en el sentido del carril único. Se aplica en caminos que unen zonas residenciales con centros de empleo, y en numerosas rutas turísticas.

8.4 Mejoras en intersecciones

El análisis convencional de caminos de dos carriles considera flujo ininterrumpido, hipótesis que normalmente se cumple en zonas rurales. Con el aumento del desarrollo de determinadas áreas, aumenta la demanda de los ingresos y egresos. Comienzan a ser frecuentes las intersecciones que influyen en la calidad de circulación general del camino. Para minimizar las interferencias al tránsito directo son útiles los carriles protegidos para giros a izquierda y a derecha.

8.5 Carriles auxiliares para ascenso

Constituyen el tercer carril en caminos de 2 carriles. Se aplican como mejora puntual en especial en pendientes sostenidas importantes.

AASHTO aplica el criterio de reducción de velocidad en 16 km/h o más si el volumen y porcentaje de camiones pesados (135 kg/hp) justifica el costo adicional.

8.6 Carriles para permitir el sobrepaso

El uso de carriles que permiten el sobrepaso, para mejorar el nivel de servicio en caminos de dos carriles, es de uso común en el terreno ondulado y montañoso del oeste de los Estados Unidos.

Los carriles para permitir el sobrepaso son cortos tramos con un tercer carril adicionado de un lado u otro del camino, para que los vehículos lentos que se encuentran delante de pelotones puedan salir del trazado principal para facilitar el sobrepaso de vehículos más veloces. Este tipo de carriles se utilizan satisfactoriamente tanto en pendientes ascendentes y descendentes como así también en terreno llano, para mejorar el flujo de tránsito. Se debería obligar legalmente a los conductores de vehículos a utilizar los carriles para permitir el sobrepaso, bajo ciertas condiciones de operación.

Un estudio reciente sobre características operativas reveló que en la práctica, muy pocos conductores se detienen en los carriles para permitir el sobrepaso. Del mismo estudio se obtuvieron varias conclusiones adicionales:

- a) Los carriles para permitir el sobrepaso son seguros cuando se los utiliza adecuadamente.
- b) Sucesión de carriles para permitir el sobrepaso, colocados a intervalos regulares puede permitir considerables reducciones en las demoras.
- c) Los carriles para permitir el sobrepaso no substituyen los carriles de sobrepaso o ascendentes.
- d) Los grandes camiones tienden a no utilizar los carriles para permitir el sobrepaso.

Los carriles para permitir el sobrepaso son un tratamiento económico y funcional para una causa importante de demora en la operación. Se recomienda variar la longitud del carril en función de la velocidad de los potenciales usuarios según normas establecidas.

La velocidad varía con las condiciones prevalecientes del tránsito y del camino, y difiere según que la pendiente sea ascendente o descendente. Carriles para permitir el sobrepaso de longitud superior a 150 m. sólo se utilizan en pendientes descendentes de más del 3 % donde se presume hay probabilidad que se desarrollen altas velocidades. Nunca se diseñan con longitudes mayores de 180 m, ya que los conductores pueden equivocadamente intentar utilizarlos como carriles de sobrepaso.

8.7 Tramos cortos de cuatro carriles

A lo largo de caminos importantes de dos carriles, se pueden construir tramos cortos de cuatro carriles, a los efectos de desarmar pelotones, proveer zonas seguras de sobrepaso con la frecuencia deseada y eliminar la interferencia de los vehículos lentos.

Estos tramos son particularmente ventajosos en terreno ondulado donde el trazo es serpenteante o el perfil longitudinal incluye pendientes críticas en ambos sentidos.

La decisión entre utilizar tramos cortos de cuatro carriles o camino de tres carriles dependerá de los objetivos a largo plazo para la infraestructura, disponibilidad de zonas de camino, perfil transversal existente, topografía y la necesidad de reducir los pelotones y problemas de sobrepaso.

La transición de camino de dos carriles a cuatro carriles se diseñará para ir proveyendo suficiente distancia de visibilidad para el sobrepaso. Con referencia a la longitud de los tramos de cuatro carriles, AASHTO sugiere que sean lo suficientemente prolongados como para permitir a varios vehículos ubicados detrás del vehículo lento sobrepasarlo antes de alcanzar el tramo normal del camino de dos carriles. Tramos de cuatro carriles de 1600 a 2400 metros son suficientemente largos como para disipar la mayoría de las colas que se forman, dependiendo del volumen de tránsito y tipo de terreno. Por otra parte se debe destacar que tramos de

camino de cuatro carriles de más de 3,2 Km especialmente si están divididos, pueden hacer perder a los conductores la noción de que el camino es básicamente de dos carriles.