

CARRETERAS DE DOS CANALES

Definición

Una carretera de dos canales es una vía no dividida que posee un canal por cada sentido. Adelantar a vehículos lentos, es una maniobra que requiere usar el canal de sentido contrario, esto es posible si la distancia de visibilidad y el volumen opuesto lo permite.

Cuando el volumen aumenta y las condiciones geométricas son restringidas, la posibilidad de paso se ve muy limitada y trae como consecuencia demoras en el tiempo de viaje.

En carreteras principales de dos canales, el usuario aspira una alta velocidad y pocas demoras por motivos de adelantamiento, en tanto en carreteras secundarias de bajo volumen, el usuario no demanda altas velocidades y por el contrario aspira facilidades en la accesibilidad.

El **Nivel de Servicio** en este tipo de carretera se mide utilizando los criterios de **Porcentaje de tiempo en seguir a otro vehículo (PTSOV)** (difícil de medir en campo) y **la Velocidad Promedio de Recorrido (VPV)**. La capacidad en una carretera de dos canales es de 1700 cp/h por sentido, en general esta no excede de 3200 cp/h en ambos sentidos pero pueden alcanzarse valores de 3400 cp/h en tramos cortos de carreteras.

Clasificación de Carreteras de dos Canales

Clase I - Carreteras donde se esperan altas velocidades, la accesibilidad usualmente no es lo exigido por el usuario. Son vías utilizadas para viajes de largas distancias y sirven de conexión con el resto de vías arteriales, expresas y autopistas.

Clase II - El usuario no necesariamente aspira altas velocidades en este tipo de vías, pero demanda la posibilidad de tener accesibilidad. Son vías que sirven a viajes cortos, usualmente de carácter turístico o de recreo.

Condiciones Básicas

Las condiciones básicas en una carretera de dos canales, son aquellas en las cuales no se consideran limitaciones por la geometría, el tránsito y las condiciones ambientales.

Las condiciones básicas son las siguientes:

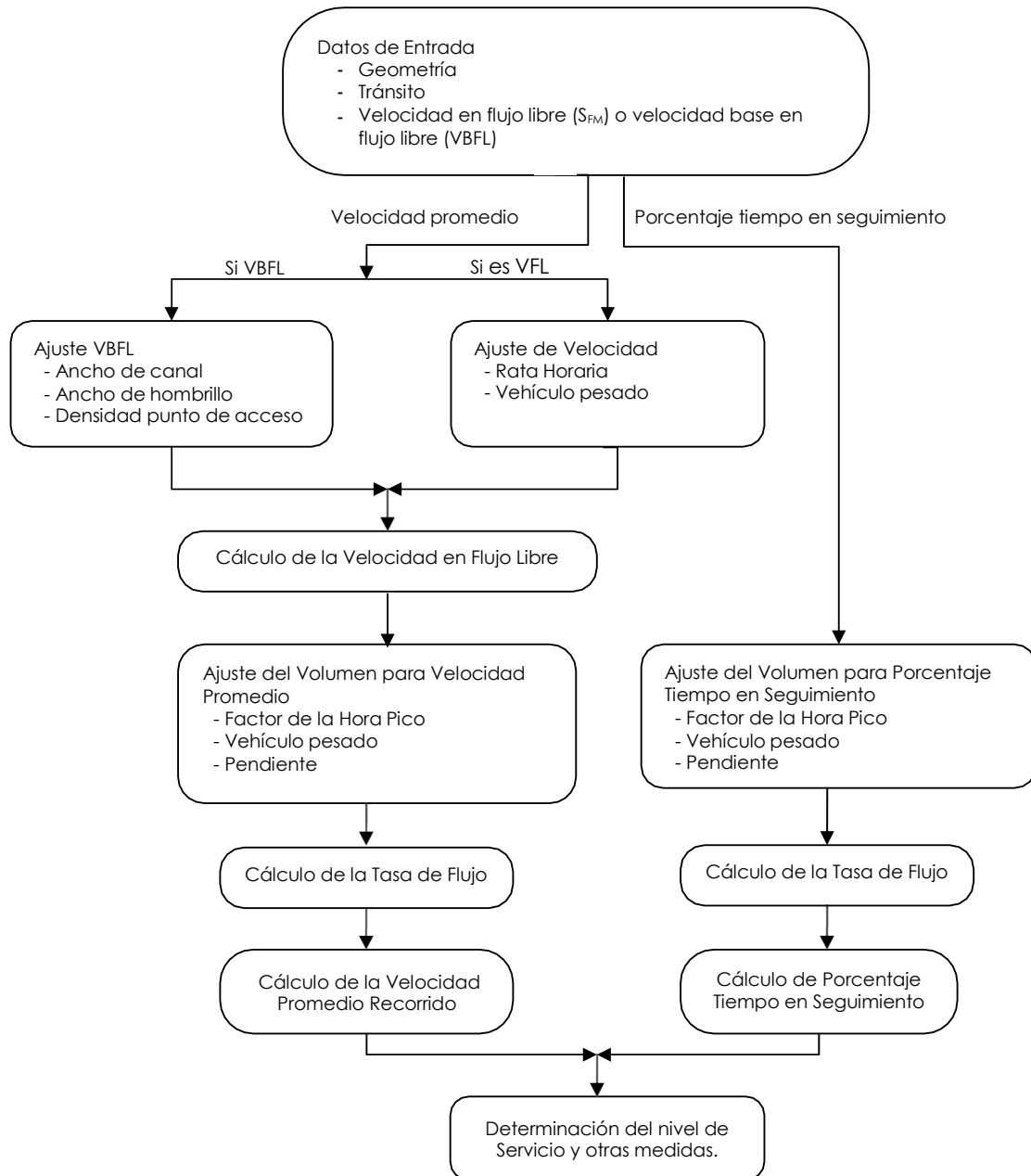
- Ancho de canal ≥ 3.6 m
- Ancho de hombrillos ≥ 1.8 m
- No hay restricciones de adelantamiento
- No hay vehículos pesados
- Terreno llano
- Distribución direccional 50/50 (para análisis de ambas direcciones)

Para el análisis operacional por sentido, la distribución direccional no se considera una condición básica.

METODOLOGÍA

En la figura 20-1 se muestra un esquema de la metodología para estudios de operación y planificación de una carretera de dos canales.

Metodología para carretera de dos canales 20-1



Limitación de la Metodología

- No se aplica en las áreas de las intersecciones de las carreteras de dos canales.
- Las intersecciones semaforizadas aisladas, pueden ser evaluadas con el capítulo 16 del Manual.
- Se prevé una metodología especial para canales adicionales.
- Casos especiales para análisis de operación y diseño, son tratados en el apéndice A del HCM 2000, tales como: uso de hombrillos, ampliaciones especiales para adelantamientos, zonas destinadas para refugios de cruces a la derecha y a la izquierda, tramos de doble vía destinados a cruces a la izquierda.

- Las carreteras de dos canales ubicadas en zonas urbanas, con intersecciones semaforizadas espaciadas a 3.2 Km o menos se analizan como vía arterial.

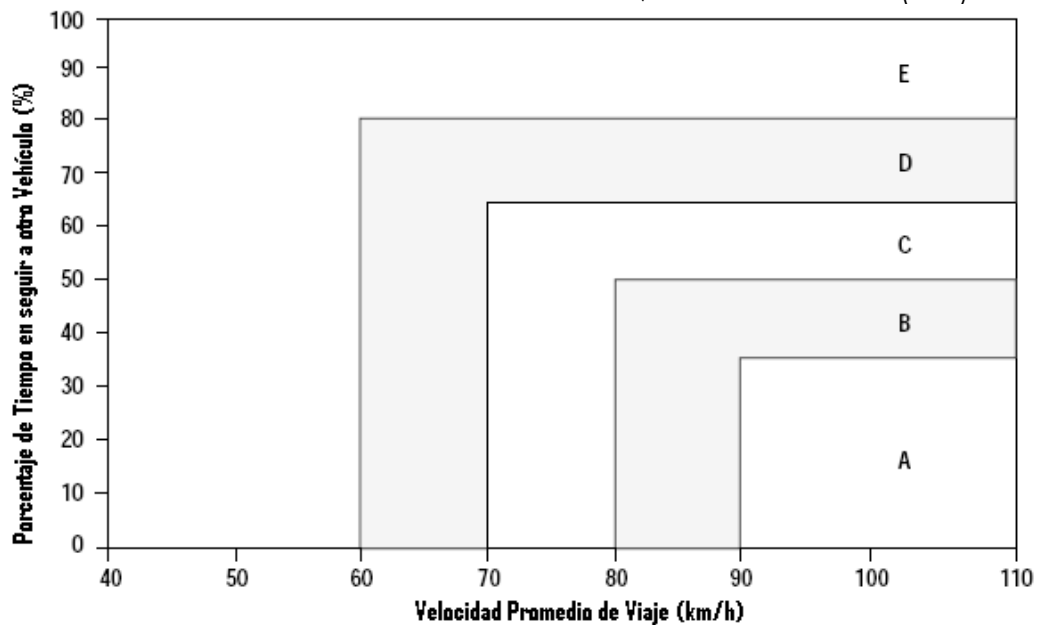
La metodología permite la determinación del Nivel de Servicio, el análisis puede ser aplicado en ambos sentidos o por cada sentido de circulación.

En las tablas siguientes se muestran los criterios para los Niveles de Servicio en las carreteras de Clase I y Clase II.

CRITERIOS PARA NIVELES DE SERVICIO, 2 CANALES-CLASE I (20-2)

Nivel de Servicio	% tiempo en seguimiento	Velocidad Promedio de recorrido
A	≤ 35	> 90
B	> 35-50	> 80-90
C	> 50-65	> 70-80
D	> 65-80	> 60-70
E	> 80	≤ 60

CRITERIO GRAFICO PARA NIVELES DE SERVICIO, 2 CANALES-CLASE I (20-3)



CRITERIOS PARA NIVELES DE SERVICIO, 2 CANALES-CLASE II (20-4)

Nivel de Servicio	% tiempo en seguimiento
A	≤ 40
B	> 40-55
C	> 55-70
D	> 70-85
E	> 85

DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

Datos de Entrada

Geometría

- Determinar las condiciones de la topografía del tramo en estudio, a fin de identificar si el análisis se debe efectuar en ambos sentidos o en un sentido. El primer caso se aplicará a aquellas secciones de vías con pendientes menores del 3%, ubicadas en zonas llanas u onduladas (segmentos generales), en este caso se recomienda analizar longitudes de vías de al menos 3Km, el segundo caso se aplicará, a tramos en zonas montañosas y a longitudes mayores de 1Km con pendientes superiores al 3% (segmentos específicos).
- Es necesario medir en campo el ancho de los canales y hombrillos, esto es posible realizarlo con instrumentos sencillos de topografía.
- La pendiente del tramo analizado es necesario medirla, para determinar si estamos en presencia de un segmento general o en un tramo específico.
- En el tramo seleccionado, es importante inventariar todos los puntos que permitan el acceso directo a la vía, esto debe realizarse por cada sentido de circulación.
- La determinación de zonas con prohibición de adelantamientos (**ZNA**), debe ser determinada, bien en campo o utilizando los planos de construcción definitivos de la vía. En una carretera de dos canales, se consideran zonas con prohibición de adelantamiento, aquellas que tengan 300 m o menos de distancias de visibilidad de paso; un rango típico de este valor en carreteras rurales es del 20% al 50%, en zonas de montañas se aproxima al 100%.
- Es conveniente, observar el estado del pavimento el Manual considera que las condiciones del pavimento son optimas, si este no fuera el caso, el analista deberá decidir la conveniencia o no de aplicar la metodología.

Tránsito

Se requiere disponer del volumen horario clasificado en ambos sentidos, este se medirá en periodos de 15 minutos. Es conveniente contar con mediciones de al menos 14 horas, a fin de seleccionar el periodo o los periodos críticos del día, esto aplica tanto para días laborables como no laborables.

- En el caso de requerirse el análisis por sentido, debe determinarse el volumen tanto en el sentido del análisis como en sentido opuesto.
- Es necesario determinar el porcentaje de vehículos pesados, (más de 6 ruedas en contacto con el pavimento) se totalizará como vehículos pesados a los camiones y buses
- Es necesario determinar el factor de la hora pico (FHP)

Velocidad en Flujo Libre (VFL) o Velocidad Base en Flujo Libre (VBFL)

Una variable de la corriente de tránsito fundamental para el análisis, es la determinación de la velocidad en flujo libre, esta ocurre cuando los volúmenes son bajos o moderados, en el caso específico de una carretera de dos canales, se considerará que los vehículos operan a la velocidad en flujo libre cuando la tasa horaria no sea superior a los 200cp/h.

Existen tres métodos para la determinación de la velocidad en flujo libre aplicables tanto a zonas llanas, onduladas y montañosas.

- La velocidad en flujo libre puede ser obtenida en campo, si se logra efectuar las mediciones en las condiciones de flujo arriba señaladas, si esto es factible, entonces la velocidad medida es la que se usará para la determinación del nivel de servicio.
- Si la medición se efectúa bajo condiciones de tasas de flujo, mayores de 200cp/h, entonces debe efectuarse el ajuste necesario con la siguiente expresión:

$$VFL = S_{FM} + 0.0125 \frac{V_f}{f_{HV}} \quad (20-1)$$

VFL = velocidad estimada en flujo libre
S_{FM} = promedio de velocidad medida en campo
V_f = volumen observado en el período de medición
f_{HV} = factor de ajuste por vehículos pesado, (su determinación será explicado más adelante)

- Si no es posible medir la velocidad en campo, se debe estimar en forma indirecta, partiendo de una velocidad base de flujo libre (VBFL), para ello es necesario conocer las características del tránsito y del alineamiento, dado que existen muchos factores que pueden influenciar, en el comportamiento del conductor en una carretera de dos canales.

Los rangos de velocidad usuales en este tipo de vías oscilan entre 70 y 110 km/h. Puede usarse como velocidad base en flujo libre (VBFL), la velocidad de diseño o los límites de velocidades.

En el caso de la presencia en el tramo, de curvas horizontales fuertes, se recomienda utilizar como velocidad base, el promedio de las velocidades de diseño de las tangentes y de las curvas.

Una vez seleccionada VBFL, la misma deberá ser ajustada por la siguiente expresión

$$VFL = VBFL - f_{LS} - f_A \quad (20-2)$$

VFL = velocidad estimada en flujo libre
VBFL = velocidad base
f_{LS} = ajuste por ancho de canal y hombrillo
f_A = ajuste por puntos acceso

Ajuste por ancho de canal y hombrillo

En la condición base, el ancho de los canales es de 3,6m y hombrillos de 1,8m, si estas condiciones varían, será necesario realizar el ajuste necesario.

La reducción de la sección transversal trae como consecuencia una disminución en la capacidad de la vía, los conductores tienden a disminuir su velocidad por la fricción existente con los otros vehículos

Puede observarse en la tabla 20-5, que para el caso extremo de canales de 2,7m sin hombrillos, la velocidad de flujo libre disminuye en 10.3 km/h.

FACTOR DE AJUSTE POR ANCHO DE CANAL Y HOMBRILLO (20-5)

Ancho canal (m)	Reducción a VFL (km/h)			
	Ancho Hombrillo (m)			
	≥ 0.0 < 0.6	≥ 0.6 < 1.2	≥ 1.2 < 1.8	≥ 1.8
2.7 < 3.0	10.3	7.7	5.6	3.5
≥ 3.0 < 3.3	8.5	5.9	3.8	1.7
≥ 3.3 < 3.6	7.5	4.9	2.8	0.7
≥ 3.6	6.8	4.2	2.1	0.0

Ajuste por puntos de acceso

En el caso de los puntos de accesos por kilómetros, un aumento en la densidad de los puntos de accesos afecta la velocidad. Los conductores se ven en la necesidad de disminuir en forma periódica su velocidad al observar la posibilidad de conflictos con otros vehículos por las entradas y salidas desde esos puntos de accesos.

En la tabla 20-6, se obtienen los valores en los cuales se debe disminuir la velocidad base.

FACTOR DE AJUSTE POR DENSIDAD DE PUNTOS DE ACCESOS (20-6)

Puntos de acceso por km	Reducción a VFL (km/h)
0	0.0
6	4.0
12	8.0
18	12.0
≥ 24	16.0

Determinación de la Tasa de Flujo

Los volúmenes horarios medidos en campo, deben ser transformados a tasas de flujo de 15 minutos para la determinación del nivel de servicio.

En el caso del análisis en ambos sentidos se determinará por la expresión:

$$V_p = \frac{V}{FHP \times f_G \times f_{HV}} \quad (20-3)$$

- V_p = tasa horaria de 15 minutos (vehículos livianos)
- V = volumen horario en ambos sentidos
- FHP = factor hora pico en ambos sentidos
- f_G = factor ajuste por pendiente
- f_{HV} = factor ajuste por vehículos pesados

Para el análisis por sentido, se deben determinar las tasas horarias en el sentido del viaje y en el sentido opuesto, por las siguientes expresiones

$$V_d = \frac{V}{FHP \times f_G \times f_{HV}} \quad (20-12)$$

- V_d = tasa horaria en el sentido de viaje
- V = volumen en sentido de viaje
- FHP = factor hora pico en sentido de viaje
- f_G = factor ajuste por pendiente
- f_{HV} = factor ajuste por vehículos pesados

$$V_o = \frac{V_o}{FHP \times f_G \times f_{HV}} \times f \quad (20-13)$$

- V_o = volumen opuesto
- FHP = factor hora pico
- f_G = factor ajuste por pendiente
- f_{HV} = factor ajuste por vehículos pesados

Factor de la Hora pico (FHP)

En las fórmulas arriba indicadas, el FHP, representa la variación del volumen dentro de la hora para el período de análisis de 15 minutos, la hora típicamente seleccionada para la determinación del nivel de servicio es la hora pico.

Factor de Ajuste por pendiente

El factor de ajuste f_G varía según el análisis, esto es, si estamos en presencia de un tramo con segmentos generales o en un tramo específico.

El segmento general debe ser definido por su topografía en: llano, ondulado o de montaña, la mayoría de las veces estos tramos se analizan en ambas direcciones aun cuando el analista puede decidir analizarlo por sentido.

En el caso de existir tramos de segmentos generales con pendientes mayores o iguales al 3% con longitudes mayores de 1.00 Km estos deben analizarse por sentido.

Para los tramos de pendientes específicas, donde las pendientes sean mayores o iguales al 3% en longitudes mayores de 1.00 Km, la vía debe ser analizada por sentido, esto permite medir el comportamiento de los vehículos en subida y bajada.

En las tablas 20-7 y 20-8, se muestran los factores de ajustes f_G que deben aplicarse para la determinación de PTSOV Y VPV en el caso de segmentos generales, bien sea que se desee hacer el análisis en ambos sentidos o por sentido.

En el caso de segmentos específicos se utilizaran las tablas 20-13 y 20-14 para la determinación del factor de ajuste por pendiente, para el cálculo de VPV y PTSOV respectivamente.

**FACTOR DE AJUSTE POR PENDIENTE (f_e) PARA DETERMINAR VELOCIDAD
(un sentido - ambos sentidos) (20-7)**

Rangos Volumen ajustado Ambos sentidos (cp/h)	Rangos Volumen ajustado Un sentido (cp/h)	Tipo de Terreno	
		Llano	Ondulado
0-600	0-300	1.00	0.71
> 600-1200	> 300-600	1.00	0.93
> 1200	> 600	1.00	0.99

**FACTOR DE AJUSTE POR PENDIENTE (f_e) PARA DETERMINAR PORCENTAJE DE TIEMPO EN
SEGUIMIENTO (un sentido - ambos sentidos) (20-8)**

Rangos Volumen ajustado Ambos sentidos (cp/h)	Rangos Volumen ajustado un sentido (cp/h)	Tipo de Terreno	
		Llano	Ondulado
0-600	0-300	1.00	0.77
> 600-1200	> 300-600	1.00	0.94
> 1200	> 600	1.00	1.00

FACTOR DE AJUSTE POR PENDIENTE (f_e) PARA ESTIMACION DE LA VELOCIDAD PROMEDIO DE RECORRIDO (SUBIDA) Segmentos Específicos (20-13)

Pendiente (%)	Longitud de Pendiente (km)	Factor de Ajuste f_e		
		Rango de Volumen ajustados (cp/h)		
		0 – 300	> 300 - 600	>600
≥ 3.0 < 3.5	0.4	0.81	1.00	1.00
	0.8	0.79	1.00	1.00
	1.2	0.77	1.00	1.00
	1.6	0.76	1.00	1.00
	2.4	0.75	0.99	1.00
	3.2	0.75	0.97	1.00
	4.8	0.75	0.95	0.97
	≥ 6.4	0.75	0.94	0.95
≥ 3.5 < 4.5	0.4	0.79	1.00	1.00
	0.8	0.76	1.00	1.00
	1.2	0.72	1.00	1.00
	1.6	0.69	0.93	1.00
	2.4	0.68	0.92	1.00
	3.2	0.66	0.91	1.00
	4.8	0.65	0.91	0.96
	≥ 6.4	0.65	0.90	0.96
≥ 4.5 < 5.5	0.4	0.75	1.00	1.00
	0.8	0.65	0.93	1.00
	1.2	0.60	0.89	1.00
	1.6	0.59	0.89	1.00
	2.4	0.57	0.86	0.99
	3.2	0.56	0.85	0.98
	4.8	0.56	0.84	0.97
	≥ 6.4	0.55	0.82	0.93
≥ 5.5 < 6.5	0.4	0.63	0.91	1.00
	0.8	0.57	0.85	0.99
	1.2	0.52	0.83	0.97
	1.6	0.51	0.79	0.97
	2.4	0.49	0.78	0.95
	3.2	0.48	0.78	0.94
	4.8	0.46	0.76	0.93
	≥ 6.4	0.45	0.76	0.93
≥ 6.5	0.4	0.59	0.86	0.98
	0.8	0.48	0.76	0.94
	1.2	0.44	0.74	0.91
	1.6	0.41	0.70	0.91
	2.4	0.40	0.67	0.91
	3.2	0.39	0.67	0.89
	4.8	0.39	0.66	0.88
	≥ 6.4	0.38	0.66	0.87

**FACTOR DE AJUSTE POR PENDIENTE (f_G) PARA ESTIMACION DEL
PORCENTAJE DE TIEMPO EN SEGUIMIENTO (SUBIDA) Segmentos Especificos (20-14)**

Pendiente (%)	Longitud de Pendiente (km)	Factor de Ajuste f_G		
		Rango de Volumen ajustados (cp/h)		
		0 – 300	> 300 – 600	>600
≥ 3.0 < 3.5	0.4	1.00	0.92	0.92
	0.8	1.00	0.93	0.93
	1.2	1.00	0.93	0.93
	1.6	1.00	0.93	0.93
	2.4	1.00	0.94	0.94
	3.2	1.00	0.95	0.95
	4.8	1.00	0.97	0.96
	≥ 6.4	1.00	1.00	0.97
≥ 3.5 < 4.5	0.4	1.00	0.94	0.92
	0.8	1.00	0.97	0.96
	1.2	1.00	0.97	0.96
	1.6	1.00	0.97	0.97
	2.4	1.00	0.97	0.97
	3.2	1.00	0.98	0.98
	4.8	1.00	1.00	1.00
	≥ 6.4	1.00	1.00	1.00
≥ 4.5 < 5.5	0.4	1.00	1.00	0.97
	0.8	1.00	1.00	1.00
	1.2	1.00	1.00	1.00
	1.6	1.00	1.00	1.00
	2.4	1.00	1.00	1.00
	3.2	1.00	1.00	1.00
	4.8	1.00	1.00	1.00
	≥ 6.4	1.00	1.00	1.00
≥ 5.5 < 6.5	0.4	1.00	1.00	1.00
	0.8	1.00	1.00	1.00
	1.2	1.00	1.00	1.00
	1.6	1.00	1.00	1.00
	2.4	1.00	1.00	1.00
	3.2	1.00	1.00	1.00
	4.8	1.00	1.00	1.00
	≥ 6.4	1.00	1.00	1.00
≥ 6.5	0.4	1.00	1.00	1.00
	0.8	1.00	1.00	1.00
	1.2	1.00	1.00	1.00
	1.6	1.00	1.00	1.00
	2.4	1.00	1.00	1.00
	3.2	1.00	1.00	1.00
	4.8	1.00	1.00	1.00
	≥ 6.4	1.00	1.00	1.00

Ajuste por vehículos pesados

La presencia de vehículos pesados (camiones y buses), debe ser convertida a vehículos livianos, para ello es necesario calcular el factor de ajuste respectivo por la expresión:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad (20-4)$$

- f_{HV} = factor ajuste por vehículos pesados
- P_T = proporción de camiones y buses
- E_T = equivalente de camiones y buses
- P_R = proporción de vehículos de recreo
- E_R = equivalente de vehículos recreacionales

En Venezuela, no es común la presencia de vehículos recreacionales, por tanto pueden eliminarse de la expresión anterior.

La proporción de camiones (P_T), es calculada como la sumatoria de camiones y buses. Los valores de los equivalentes (E_T), son determinados en forma diferente para segmentos generales y segmentos específicos.

Las tablas 20-9 y 20-10, se utilizarán para la determinación de (E_T) en el caso de segmentos generales, en ambos sentidos y por sentido, la primera corresponde a equivalentes para la estimación de VPV y la segunda para la estimación de PTSOV.

En el caso de segmentos específicos, las tablas 20-15 y 20-16, contienen los valores de equivalentes para pendientes en subida, para VPV y PTSOV respectivamente.

Las pendientes negativas o de bajadas, eventualmente necesitan un tratamiento especial para la determinación del factor de ajuste por vehículos pesados. En el caso de presentarse tramos con un - 3% o más de pendiente, en longitudes de 1km o más, una proporción de los vehículos pesados deben recortar su velocidad recorriendo el tramo a velocidad lenta y ello afecta los valores de PTSOV y VPV en estos casos se usarán la tabla 20-18 para determinar el equivalente y se usará la siguiente expresión para el cálculo del factor de ajuste.

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_{TC} * P_T (E_{TC} - 1) + (1 - P_{TC}) P_T (E_T - 1) + P_R (E_R - 1)} \quad (20-14)$$

- P_{TC} = proporción de todos los camiones que recortan velocidad
- E_{TC} = equivalente a vehículos livianos, de camiones recortando velocidad
- E_T y E_R = equivalente de las tablas 2.9 y 2.10

Las ecuaciones para la determinación de los factores de ajuste por vehículos pesados, requieren de un cálculo iterativo, para determinar los valores correctos de las tasas horarias. Como los equivalentes se determinan para unos rangos de tasas de flujo, se debe calcular en una primera iteración, un valor de V_p , V_d y V_o , si los valores obtenidos son menores a los rangos usados para determinar los equivalentes, entonces el valor calculado puede usarse en los pasos siguientes para la determinación de VPV y PTSOV, de lo contrario es necesario repetir el proceso para sucesivos rangos hasta hallar el valor aceptable.

**EQUIVALENTE DE CAMIONES Y VEHICULOS RECREACIONALES PARA DETERMINAR
VELOCIDAD (un sentido - ambos sentidos) (20-9)**

Vehículo Tipo	Rangos Volumen ajustado Ambos sentidos (cp/h)	Rangos Volumen ajustado un sentido (cp/h)	Tipo de Terreno	
			Llano	Ondulado
Camiones, E _T	0-600	0-300	1.7	2.5
	> 600-1200	> 300-600	1.2	1.9
	> 1200	> 600	1.1	1.5
Vehículo Recreacional, E _R	0-600	0- 300	1.00	1.1
	> 600-1,200	> 300-600	1.00	1.1
	> 1200	> 600	1.00	1.1

**EQUIVALENTE DE CAMIONES Y VEHICULOS RECREACIONALES PARA DETERMINAR
PORCENTAJE DE TIEMPO EN SEGUIMIENTO (un sentido - ambos sentidos) (20-10)**

Vehículo Tipo	Rangos Volumen ajustado Ambos sentidos (cp/h)	Rangos Volumen ajustado un sentido (cp/h)	Tipo de Terreno	
			Llano	Ondulado
Camiones, E _T	0-600	0-300	1.1	1.8
	> 600-1200	> 300-600	1.1	1.5
	> 1200	> 600	1.0	1.0
Vehículo Recreacional, E _R	0-600	0- 300	1.00	1.00
	> 600-1200	> 300-600	1.00	1.00
	> 1200	> 600	1.00	1.00

**EQUIVALENTE DE CAMIONES (E_T) PARA VELOCIDAD (SUBIDA, SEGMENTOS ESPECÍFICOS)
(20-15)**

Pendiente (%)	Longitud de Pendiente (km)	Equivalente de camiones a vehículos livianos (E _T)		
		Rango de Volumen ajustados (cp/h)		
		0 - 300	> 300 - 600	>600
≥ 3.0 < 3.5	0.4	2.5	1.9	1.5
	0.8	3.5	2.8	2.3
	1.2	4.5	3.9	2.9
	1.6	5.1	4.6	3.5
	2.4	6.1	5.5	4.1
	3.2	7.1	5.9	4.7
	4.8	8.2	6.7	5.3
	≥ 6.4	9.1	7.5	5.7
≥ 3.5 < 4.5	0.4	3.6	2.4	1.9
	0.8	5.4	4.6	3.4
	1.2	6.4	6.6	4.6
	1.6	7.7	6.9	5.9
	2.4	9.4	8.3	7.1
	3.2	10.2	9.6	8.1
	4.8	11.3	11.0	8.9
	≥ 6.4	12.3	11.9	9.7
≥ 4.5 < 5.5	0.4	4.2	3.7	2.6
	0.8	6.0	6.0	5.1
	1.2	7.5	7.5	7.5
	1.6	9.2	9.0	8.9
	2.4	10.6	10.5	10.3
	3.2	11.8	11.7	11.3
	4.8	13.7	13.5	12.4
	≥ 6.4	15.3	15.0	12.5
≥ 5.5 < 6.5	0.4	4.7	4.1	3.5
	0.8	7.2	7.2	7.2
	1.2	9.1	9.1	9.1
	1.6	10.3	10.3	10.2
	2.4	11.9	11.8	11.7
	3.2	12.8	12.7	12.6
	4.8	14.4	14.3	14.2
	≥ 6.4	15.4	15.2	15.0
≥ 6.5	0.4	5.1	4.8	4.6
	0.8	7.8	7.8	7.8
	1.2	9.8	9.8	9.8
	1.6	10.4	10.4	10.3
	2.4	12.0	11.9	11.8
	3.2	12.9	12.8	12.7
	4.8	14.5	14.4	14.3
	≥ 6.4	15.4	15.3	15.2

**EQUIVALENTE DE CAMIONES (E_T) PARA PORCENTAJE
DE TIEMPO EN SEGUIMIENTO (SUBIDA-SEGMENTOS ESPECÍFICOS) (20-16)**

Pendiente (%)	Longitud de Pendiente (km)	Equivalente de camiones a vehículos livianos (E_T)		
		Rango de Volumen ajustados (cp/h)		
		0 - 300	> 300 - 600	>600
≥ 3.0 < 3.5	0.4	1.0	1.0	1.0
	0.8	1.0	1.0	1.0
	1.2	1.0	1.0	1.0
	1.6	1.0	1.0	1.0
	2.4	1.0	1.0	1.0
	3.2	1.0	1.0	1.0
	4.8	1.4	1.0	1.0
	≥ 6.4	1.5	1.0	1.0
≥ 3.5 < 4.5	0.4	1.0	1.0	1.0
	0.8	1.0	1.0	1.0
	1.2	1.0	1.0	1.0
	1.6	1.0	1.0	1.0
	2.4	1.1	1.0	1.0
	3.2	1.4	1.0	1.0
	4.8	1.7	1.1	1.2
	≥ 6.4	2.0	1.5	1.4
≥ 4.5 < 5.5	0.4	1.0	1.0	1.0
	0.8	1.0	1.0	1.0
	1.2	1.0	1.0	1.0
	1.6	1.0	1.0	1.0
	2.4	1.1	1.2	1.2
	3.2	1.6	1.3	1.5
	4.8	2.3	1.9	1.7
	≥ 6.4	3.3	2.1	1.8
≥ 5.5 < 6.5	0.4	1.0	1.0	1.0
	0.8	1.0	1.0	1.0
	1.2	1.0	1.0	1.0
	1.6	1.0	1.2	1.2
	2.4	1.5	1.6	1.6
	3.2	1.9	1.9	1.8
	4.8	3.3	2.5	2.0
	≥ 6.4	4.3	3.1	2.0
≥ 6.5	0.4	1.0	1.0	1.0
	0.8	1.0	1.0	1.0
	1.2	1.0	1.0	1.3
	1.6	1.3	1.4	1.6
	2.4	2.1	2.0	2.0
	3.2	2.8	2.5	2.1
	4.8	4.0	3.1	2.2
	≥ 6.4	4.8	3.5	2.3

**EQUIVALENTE A VEHÍCULOS LIVIANOS DE CAMIONES CON VELOCIDAD REGIMEN (E_{TC})
PARA ESTIMACION DE VELOCIDAD PROMEDIO RECORRIDO
(PENDIENTES LARGAS Y BAJADA) (20-18)**

Diferencia entre velocidad de flujo libre y velocidad crítica	equivalente a vehículos livianos de camiones a velocidad crítica (E_{TC})		
	Rangos de Volumen ajustados (cp/h)		
	0 - 300	> 300 - 600	>600
≤ 20	4.4	2.8	1.4
40	14.3	9.6	5.7
≥ 60	34.1	23.1	13.0

DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD PROMEDIO DE RECORRIDO

El paso siguiente en la metodología es el cálculo de la velocidad promedio de recorrido VPV, la misma será el resultado de disminuir la velocidad en flujo libre (VFL) en los valores que resulten por la presencia de un determinado volumen horario, transformado a tasa de flujo y por la presencia de zonas con prohibición de estacionamientos (ZNA), se calculará de manera diferente para segmentos generales y para tramos específicos.

En tramos de segmentos generales se usará la expresión:

$$VPV = VFL - 0.0125 V_p - f_{np}$$

VPV = promedio velocidad recorrido

VFL = velocidad en flujo libre

V_p = volumen ajustado

f_{np} = factor de ajuste por % de zonas con prohibición de adelantamiento (ZNA)

En tramos de segmentos específicos se usará la siguiente expresión:

$$VPV_d = VFL_d - 0.0125 (V_d + V_o) - f_{np} \quad (20-15)$$

VPV_d = promedio velocidad recorrido/sentido

VFL_d = velocidad en flujo libre/sentido

V_d = tasa horaria/sentido de análisis

V_o = tasa horaria del sentido opuesto

f_{np} = factor ajuste por ZNA

Los valores de f_{np} , serán determinados en las tablas 20-11 para segmentos generales, se observa en dicha tabla que el efecto de reducción de la velocidad en flujo libre por la presencia de zonas de no adelantamiento en el análisis en ambos sentidos, alcanza un valor máximo de 7,3 km/h para una tasa de flujo de 400 cp/h y 100% de ZNA, luego decrece a medida que aumenta el volumen.

**AJUSTE POR EFECTO DE ZONAS DE NO ADELANTAMIENTO (ZNA) f_{np} SOBRE VELOCIDAD
PROMEDIO DE RECORRIDO (ambos sentidos) Segmentos Generales (20-11)**

Volumen ajustado en ambos sentidos (cp/h)	Reducción en Promedio de Velocidad de Recorrido (km/h)					
	% de Zonas de NO Adelantamiento					
	0	20	40	60	80	100
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
200	0.0	1.0	2.3	3.8	4.2	5.6
400	0.0	2.7	4.3	5.7	6.3	7.3
600	0.0	2.5	3.8	4.9	5.5	6.2
800	0.0	2.2	3.1	3.9	4.3	4.9
1000	0.0	1.8	2.5	3.2	3.6	4.2
1200	0.0	1.3	2.0	2.6	3.0	3.4
1400	0.0	0.9	1.4	1.9	2.3	2.7
1600	0.0	0.9	1.3	1.7	2.1	2.4
1800	0.0	0.8	1.1	1.6	1.8	2.1
2000	0.0	0.8	1.0	1.4	1.6	1.8
2200	0.0	0.8	1.0	1.4	1.5	1.7
2400	0.0	0.8	1.0	1.3	1.5	1.7
2600	0.0	0.8	1.0	1.3	1.4	1.6
2800	0.0	0.8	1.0	1.2	1.3	1.4
3000	0.0	0.8	0.9	1.1	1.1	1.3
3200	0.0	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1

Los valores de f_{np} en tramos específicos para el cálculo de VPV, se obtienen en la tabla 20-19.

FACTOR DE AJUSTE (f_{np}) A la VELOCIDAD PROMEDIO DE RECORRIDO POR ZNA (20-19)

Volumen Opuesto Ajustado(cp/h)	% de Zonas de NO Adelantamiento				
	≤ 20	40	60	80	100
VFL = 110 km/h					
≤100	1.7	3.5	4.5	4.8	5.0
200	3.5	5.3	6.2	6.5	6.8
400	2.6	3.7	4.4	4.5	4.7
600	2.2	2.4	2.8	3.1	3.3
800	1.1	1.6	2.0	2.2	2.4
1000	1.0	1.3	1.7	1.8	1.9
1200	0.9	1.3	1.5	1.6	1.7
1400	0.9	1.2	1.4	1.4	1.5
≥1600	0.9	1.1	1.2	1.2	1.3
VFL = 100 km/h					
≤100	1.2	2.7	4.0	4.5	4.7
200	3.0	4.6	5.9	6.4	6.7
400	2.3	3.3	4.1	4.4	4.6
600	1.8	2.1	2.6	3.0	3.2
800	0.9	1.4	1.8	2.1	2.3
1000	0.9	1.1	1.5	1.7	1.9
1200	0.8	1.1	1.4	1.5	1.7
1400	0.8	1.0	1.3	1.3	1.4
≥1600	0.8	1.0	1.1	1.1	1.2
VFL = 90 km/h					
≤100	0.8	1.9	3.6	4.2	4.4
200	2.4	3.9	5.6	6.3	6.6
400	2.1	3.0	3.8	4.3	4.5
600	1.4	1.8	2.5	2.9	3.1
800	0.8	1.1	1.7	2.0	2.2
1000	0.8	0.9	1.3	1.5	1.8
1200	0.8	0.9	1.2	1.4	1.6
1400	0.8	0.9	1.1	1.2	1.4
≥1600	0.8	0.8	0.9	0.9	1.1
VFL = 80 km/h					
≤100	0.3	1.1	3.1	3.9	4.1
200	1.9	3.2	5.3	6.2	6.5
400	1.8	2.6	3.5	4.2	4.4
600	1.0	1.5	2.3	2.8	3.0
800	0.6	0.9	1.5	1.9	2.1
1000	0.6	0.7	1.1	1.4	1.8
1200	0.6	0.7	1.1	1.3	1.6
1400	0.6	0.7	1.0	1.1	1.3
≥1600	0.6	0.7	0.8	0.8	1.0
VFL = 70 km/h					
≤100	0.1	0.6	2.7	3.6	3.8
200	1.5	2.6	5.0	6.1	6.4
400	1.5	0.8	3.2	4.1	4.3
600	0.7	0.5	2.1	2.7	2.9
800	0.5	0.5	1.3	1.8	2.0
1000	0.5	0.5	1.0	1.3	1.8
1200	0.5	0.5	1.0	1.2	1.6
1400	0.5	0.5	1.0	1.0	1.2
≥1600	0.5	0.5	0.7	0.7	0.9

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE TIEMPO EN SEGUIMIENTO (PTSOV)

El porcentaje de tiempo en seguimiento, para el caso de segmentos generales, cuando se analiza en ambos sentidos, se calcula tomando en consideración la distribución por sentidos y el porcentaje de zonas de no adelantamiento.

$$PTSOV = TBPSV + f_{d/np} \quad (20-6)$$

PTSOV = % de tiempo en seguimiento

TBPSV = % de tiempo base en seguimiento para ambos sentidos

$$TBPSV = 100 (1 - e^{-0.000879 v_p}) \quad (20-7)$$

$f_{d/np}$ = factor ajuste distribución por sentidos y ZNA

En la tabla 20-12, se muestra los valores de $f_{d/np}$

En el análisis por sentido, el porcentaje de tiempo en seguimiento se calcula con la siguiente expresión:

$$PTSOV_d = TBPSV_d + f_{np} \quad (20-16)$$

$PTSOV_d$ = % de tiempo en seguimiento/dirección

$TBPSV_d$ = tiempo base/dirección

$$TBPSV_d = 100 (1 - e^{a v_d^b}) \quad (20-17)$$

f_{np} = factor ajuste por ZNA

Los valores de los coeficientes a y b, se muestran en la tabla 20-21 y los de f_{np} en la tabla 20-20.

VALORES DE LOS COEFICIENTES USADOS PARA ESTIMACION DE PORCENTAJE DE TIEMPO EN SEGUIMIENTO POR SENTIDO EN SEGMENTO ESPECÍFICO (20-21)

Volumen Opuesto Ajustado(cp/h)	a	b
≤ 200	-0.013	0.668
400	-0.057	0.479
600	-0.100	0.413
800	-0.173	0.349
1000	-0.320	0.276
1200	-0.430	0.242
1400	-0.522	0.225
≥1600	-0.665	0.199

AJUSTE POR EFECTO COMBINADO DE DISTRIBUCION POR SENTIDO Y PORCENTAJE DE ZONAS DE NO ADELANTAMIENTO SOBRE EL PORCENTAJE DE TIEMPO EN SEGUIMIENTO (ambos sentidos $f_{d/np}$) (20-12)

Volumen ajustado en ambos sentidos (cp/h)	Reducción en Promedio de Velocidad de Recorrido (km/h)					
	% de Zonas de NO Adelantamiento					
	0	20	40	60	80	100
Distribución por sentido = 50/50						
≤200	0.0	10.1	17.2	20.2	21.0	21.8
400	0.0	12.4	19.0	22.7	23.8	24.8
600	0.0	11.2	16.0	18.7	19.7	20.5
800	0.0	9.0	12.3	14.1	14.5	15.4
1400	0.0	3.6	5.5	6.7	7.3	7.9
2000	0.0	1.8	2.9	3.7	4.1	4.4
2600	0.0	1.1	1.6	2.0	2.3	2.4
3200	0.0	0.7	0.9	1.1	1.2	1.4
Distribución por sentido = 60/40						
≤200	1.6	11.8	17.2	22.5	23.1	23.7
400	0.5	11.7	16.2	20.7	21.5	22.2
600	0.0	11.5	15.2	18.9	19.8	20.7
800	0.0	7.6	10.3	13.0	13.7	14.4
1400	0.0	3.7	5.4	7.1	7.6	8.1
2000	0.0	2.3	3.4	3.6	4.0	4.3
≥ 2600	0.0	0.9	1.4	1.9	2.1	2.2
Distribución por sentido = 70/30						
≤200	2.8	13.4	19.1	24.8	25.2	25.5
400	1.1	12.5	17.3	22.0	22.6	23.2
600	0.0	11.6	15.4	19.1	20.0	20.9
800	0.0	7.7	10.5	13.3	14.0	14.6
1400	0.0	3.8	5.6	7.4	7.9	8.3
≥ 2000	0.0	1.4	4.9	3.5	3.9	4.2
Distribución por sentido = 80/20						
≤200	5.1	17.5	24.3	31.0	31.3	31.6
400	2.5	15.8	21.5	27.1	27.6	28.0
600	0.0	14.0	18.6	23.2	23.9	24.5
800	0.0	9.3	12.7	16.0	16.5	17.0
1400	0.0	4.6	6.7	8.7	9.1	9.5
≥ 2000	0.0	2.4	3.4	4.5	4.7	4.9
Distribución por sentido = 90/10						
≤200	5.6	21.6	29.4	37.2	37.4	37.6
400	2.4	19.0	25.6	32.2	32.5	32.8
600	0.0	16.3	21.8	27.2	27.6	28.0
800	0.0	10.9	14.8	18.6	19.0	19.4
≥ 1400	0.0	5.5	7.8	10.0	10.4	10.7

FACTOR DE AJUSTE (f_{np}) A PORCENTAJE DE TIEMPO EN SEGUIMIENTO POR EFECTOS DE ZONAS DE NO ADELANTAMIENTO POR SENTIDO ENSEGMENTOS ESPECÍFICOS (20-20)

Volumen Opuesto Ajustado(cp/h)	% de Zonas de NO Adelantamiento				
	≤ 20	40	60	80	100
VFL = 110 km/h					
≤100	10.1	17.2	20.2	21.0	21.8
200	12.4	19.0	22.7	23.8	24.8
400	9.0	12.3	14.1	14.4	15.4
600	5.3	7.7	9.2	9.7	10.4
800	3.0	4.6	5.7	6.2	6.7
1000	1.8	2.9	3.7	4.1	4.4
1200	1.3	2.0	2.6	2.9	3.1
1400	0.9	1.4	1.7	1.9	2.1
≥1600	0.7	0.9	1.1	1.2	1.4
VFL = 100 km/h					
≤100	8.4	14.9	20.9	22.8	26.6
200	11.5	18.2	24.1	26.2	29.7
400	8.6	12.1	14.8	15.9	18.1
600	5.1	7.5	9.6	10.6	12.1
800	2.8	4.5	5.9	6.7	7.7
1000	1.6	2.8	3.7	4.3	4.9
1200	1.2	1.9	2.6	3.0	3.4
1400	0.8	1.3	1.7	2.0	2.3
≥1600	0.6	0.9	1.1	1.2	1.5
VFL = 90 km/h					
≤100	6.7	12.7	21.7	24.5	31.3
200	10.5	17.5	25.4	28.6	34.7
400	8.3	11.8	15.5	17.5	20.7
600	4.9	7.3	10.0	11.5	13.9
800	2.7	4.3	6.1	7.2	8.8
1000	1.5	2.7	3.8	4.5	5.4
1200	1.0	1.8	2.6	3.1	3.8
1400	0.7	1.2	1.7	2.0	2.4
≥1600	0.6	0.9	1.2	1.3	1.5
VFL = 80 km/h					
≤100	5.0	10.4	22.4	26.3	36.1
200	9.6	16.7	26.8	31.0	39.6
400	7.9	11.6	16.2	19.0	23.4
600	4.7	7.1	10.4	12.4	15.6
800	2.5	4.2	6.3	7.7	9.8
1000	1.3	2.6	3.8	4.7	5.9
1200	0.9	1.7	2.6	3.2	4.1
1400	0.6	1.1	1.7	2.1	2.6
≥1600	0.5	0.9	1.2	1.3	1.6
VFL = 70 km/h					
≤100	3.7	8.5	23.2	28.2	41.6
200	8.7	16.0	28.2	33.6	45.2
400	7.5	11.4	16.9	20.7	26.4
600	4.5	6.9	10.8	13.4	17.6
800	2.3	4.1	6.5	8.2	11.0
1000	1.2	2.5	3.8	4.9	6.4
1200	0.8	1.6	2.6	3.3	4.5
1400	0.5	1.0	1.7	2.2	2.8
≥1600	0.4	0.9	1.2	1.3	1.7

Determinación del Nivel de Servicio

Para la determinación del nivel de servicio, se efectúan los pasos siguientes:

- El volumen ajustado a tasa de flujo (v_d) de 15 minutos, se compara con la capacidad de 1700 cp/h, si v_d es mayor que la capacidad la vía está sobresaturada y el NS es F, en este caso es difícil estimar la velocidad, porque varía dada la inestabilidad del flujo, el porcentaje de seguimiento alcanza el 100%.
- Si v_d es menor que la capacidad el NS se determina en las tablas 20-2 y 20-4, para las vías de clase I y clase II, respectivamente. En las carreteras clase I, el NS dependerá del porcentaje de tiempo en seguimiento y la velocidad de recorrido, en las carreteras de clase II, solo se tomará en cuenta para la determinación del NS el porcentaje de tiempo en seguimiento.

CRITERIOS PARA NIVELES DE SERVICIO, 2 CANALES-CLASE I (20-2)

Nivel de Servicio	% tiempo en seguimiento	Velocidad Promedio de recorrido
A	≤ 35	> 90
B	$> 35-50$	$> 80-90$
C	$> 50-65$	$> 70-80$
D	$> 65-80$	$> 60-70$
E	> 80	≤ 60

CRITERIOS PARA NIVELES DE SERVICIO, 2 CANALES-CLASE II (20-4)

Nivel de Servicio	% tiempo en seguimiento
A	≤ 40
B	$> 40-55$
C	$> 55-70$
D	$> 70-85$
E	> 85

La determinación de la relación v/c , se calcula con la siguiente ecuación

$$v/c = \frac{v_p}{c}$$

v/c = relación volumen capacidad

c = capacidad en ambos sentidos (3200 cp/h) y en un sentido (1700 cp/h)

v_p = volumen ajustado a vehículos livianos para 15 minutos (cp/h)

CONSIDERACIONES GENERALES

- En la metodología arriba expuesta, se plantea como objetivo fundamental la determinación del nivel de servicio y la capacidad, ambas condiciones nos sirven para evaluar la operación de la vía.
- Otra aplicación de la metodología es utilizada en la etapa de planificación, en este caso, usualmente requerimos de la utilización de los valores por defectos, sugeridos en el manual, estos se presentan en las tablas 12-9, 12-10,12-11,12-13,12-14 y 12-15 para los diferentes datos de entrada que se requieren, la diferencia entre el análisis de operación y el de planificación radica fundamentalmente que en el primero, los datos de entrada son el producto de un escenario real medido en campo, en el segundo se toman valores estimados por defecto o datos disponibles de vías similares a la estudiada.
- Casos especiales de carretera de dos canales: canales adicionales para subida, canales especiales para adelantamiento en terrenos llanos y ondulados, deben ser analizados con las variaciones de la metodología que propone el manual.
- Para determinar en el análisis operacional, el porcentaje de tiempo en seguimiento del total de la longitud de la carretera de dos canales y el promedio general de la velocidad de recorrido, es necesario calcular el promedio ponderado de los segmentos estudiados por separado.

Se presentan a continuación las tablas para la obtención de los valores por defecto.