

ANEXO 1

CÁLCULO Y PROYECCIÓN DE LA VELOCIDAD

Con el objeto de calcular la TRI y el VAN, se requirió determinar la proyección de la velocidad durante el horizonte de planeación; ya que de ésta, dependen también los 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 de Carreteras (Highway Capacity Manual).¹

Antes de indicar la expresión que se utilizó, es preciso aclarar que el análisis de carreteras de dos carriles y autopistas 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 autopistas.

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 demanda (FHMD). Cuando no se conoce este factor pueden utilizarse los valores del Cuadro No 1.1.

C = Capacidad en condiciones ideales en ambas (2,800 vehículos por hora).

1 Transportation Research Board, Manual de Capacidad de Carreteras. 1ª Ed. Trad. Por J. Gardeta y G. Gardeta (Asociación Técnica de Carreteras, Comité Español de la A.I.P.C.R., Madrid España. 1987).

$(V/c)_i$ = Máxima relación volumen/capacidad asociada al nivel de servicio i . Se obtiene del Cuadro No 1.2 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 1.3.

f_D = Factor de ajuste por efecto de la distribución direccional. Se obtiene del Cuadro No 1.4.

f_A = Factor de ajuste por efecto de restricción en el ancho de carril y acatamientos o distancias a obstáculos laterales. Se obtiene del Cuadro No 1.5.

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:

$$f_P = (1 + P_P 0.02 (E - E_0))^{-1}$$

En donde:

P_P = Es la proporción de automóviles en la corriente de tránsito.

E = Automóviles para la pendiente específica.

E_0 = Automóviles equivalentes² para pendiente 0.

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

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

Siendo P_P , P_C , y P_B las proporciones de automóviles, camiones y autobuses respectivamente, y E_C , y E_B los automóviles equivalentes respectivos, que se obtienen del Cuadro No 1.6. Para análisis de pendientes específicas, este factor se obtiene con la expresión:

$$f_{VP} = (P_P + P_{VP} E_{VP})^{-1}$$

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, PC/vp es la proporción de camiones en relación con el total de vehículos pesados y E los automóviles equivalentes determinados del Cuadro No 1.7.

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 está operando la carretera; finalmente, se interpola para determinar la velocidad que corresponde al Volumen Horario de Máxima Demanda actual (Cuadro No 1.8). 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 autopistas son carreteras divididas que tienen dos o más carriles por sentido y control total de acceso. Son las únicas obras viales en donde el tránsito es estrictamente continuo, pues no tienen intersección a nivel y los entronques con los enlaces están diseñados para efectuar maniobras de convergencia o divergencia a alta velocidad, minimizando así los efectos del tránsito directo.

La expresión básica para el análisis del cálculo de la velocidad en autopistas es la siguiente:

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

En donde:

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 1.11.

N Número de carriles por sentido.

F_A Factor de ajuste por efecto de restricción en el ancho de carriles y obstáculos laterales. Se obtiene del Cuadro No 1.9.

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

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

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 obtienen del Cuadro No 1.10.

Una vez determinados todos estos factores, se sustituyen en la expresión básica y se calcula la relación volumen - capacidad o la densidad vehicular, dado que se conoce el Volumen Horario de Máxima Demanda actual y se determina el nivel de servicio al que está operando la carretera; finalmente se interpela para determinar la velocidad que correspondo al Volumen Horario de Máxima Demanda actual. (Cuadro No 1.11). Posteriormente sólo se proyecta el Volumen Horario de Máxima Demanda para cada año, encontrando una relación volumen - capacidad o densidad vehicular, así como la velocidad para cada uno de ellos.

Los Cuadros que se presentan enseguida corresponden al Manual de Capacidad de Carreteras.

Cuadro 1.1 Factores de hora máxima para carreteras de dos carriles basados en distribución aleatoria de flujo

| VPH AMBAS DIRECCIONES | FHMD | VPH AMBAS DIRECCIONES | FHMD | | |
|--------------------------------------|------|-----------------------|------|------|---|
| 100 | 0.83 | 1000 | 0.93 | | |
| 200 | 0.87 | 1100 | 0.94 | | |
| 300 | 0.9 | 1200 | 0.94 | | |
| 400 | 0.91 | 1300 | 0.94 | | |
| 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 | | |
| | | >1900 | 0.96 | | |
| PARA DETERMINACIONES DE VOLÚMENES DE | | | | | |
| NIVEL DE SERVICIO | A | B | C | D | E |
| FACTOR HORA DE MÁXMA | 0.91 | 0.92 | 0.94 | 0.95 | 1 |

Cuadro 1.2 Niveles de servicio para análisis generalizado de las carreteras de dos carriles, ambas direcciones

| TIPO DE TERRENO | NIVEL DE SERVICIO | DP (a) | VEL (b) | (c) RELACIÓN V/C PARA CARRETERAS CON LONGITUD DE REBASE RESTRINGIDO EN: | | | | | |
|-----------------|-------------------|--------|---------|------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|
| | | | | 0% | 20% | 40% | 60% | 80% | 100% |
| | | | | | | | | | |
| PLANO | A | 30 | 93 | 0.15 | 0.12 | 0.09 | 0.07 | 0.05 | 0.04 |
| | B | 45 | 88 | 0.27 | 0.24 | 0.21 | 0.19 | 0.17 | 0.16 |
| | C | 60 | 83 | 0.43 | 0.39 | 0.36 | 0.34 | 0.33 | 0.32 |
| | D | 75 | 80 | 0.64 | 0.62 | 0.6 | 0.59 | 0.58 | 0.57 |
| | E | 90 | 72 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | F | 100 | | (d) | | | | | |
| LOMERÍO | A | 30 | 91 | 0.15 | 0.1 | 0.37 | 0.05 | 0.04 | 0.03 |
| | B | 45 | 86 | 0.26 | 0.23 | 0.19 | 0.17 | 0.15 | 0.13 |
| | C | 60 | 82 | 0.42 | 0.39 | 0.35 | 0.32 | 0.3 | 0.28 |
| | D | 75 | 78 | 0.62 | 0.57 | 0.52 | 0.48 | 0.46 | 0.43 |
| | E | 90 | 64 | 0.97 | 0.94 | 0.92 | 0.91 | 0.9 | 0.9 |
| | F | 100 | | (d) | | | | | |
| MONTAÑOSO | A | 30 | 90 | 0.14 | 0.09 | 0.07 | 0.04 | 0.02 | 0.01 |
| | B | 45 | 86 | 0.25 | 0.2 | 0.16 | 0.13 | 0.13 | 0.1 |
| | C | 60 | 78 | 0.39 | 0.33 | 0.28 | 0.23 | 0.2 | 0.16 |
| | D | 75 | 72 | 0.58 | 0.5 | 0.45 | 0.4 | 0.37 | 0.33 |
| | E | 90 | 56 | 0.91 | 0.87 | 0.84 | 0.82 | 0.8 | 0.78 |
| | F | 100 | | (d) | | | | | |

FUENTE:

- (a) Limite 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 1.3 Niveles de servicio en tangentes verticales específicas de carreteras de dos carriles

| PEND. TANG. VERT. | NIVEL DE SERVICIO | VEL (a) | (b) RELACIÓN V/C PARA CARRETERAS CON LONGITUD DE REBASE RESTRINGIDO EN: | | | | | |
|-------------------------|----------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|
| | | | 0% | 20% | 40% | 60% | 80% | 100% |
| 3 | A | 88 | 0.27 | 0.23 | 0.19 | 0.17 | 0.14 | 0.12 |
| | B | 80 | 0.54 | 0.59 | 0.55 | 0.52 | 0.49 | 0.47 |
| | C | 72 | 1 | 0.95 | 0.91 | 0.88 | 0.65 | 0.84 |
| | D | 64 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | A | 88 | 0.25 | 0.21 | 0.18 | 0.15 | 0.13 | 0.11 |
| | B | 80 | 0.61 | 0.56 | 0.52 | 0.49 | 0.47 | 0.45 |
| | C | 72 | 0.97 | 0.92 | 0.88 | 0.85 | 0.83 | 0.81 |
| | D | 64 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | A | 88 | 0.21 | 0.17 | 0.14 | 0.12 | 0.1 | 0.08 |
| | B | 80 | 0.57 | 0.49 | 0.45 | 0.41 | 0.39 | 0.37 |
| | C | 72 | 0.93 | 0.84 | 0.79 | 0.75 | 0.72 | 0.7 |
| | D | 64 | 0.98 | 0.96 | 0.95 | 0.94 | 0.93 | 0.92 |
| 6 | A | 88 | 0.12 | 0.1 | 0.08 | 0.06 | 0.05 | 0.04 |
| | B | 80 | 0.48 | 0.4 | 0.35 | 0.31 | 0.28 | 0.26 |
| | C | 72 | 0.85 | 0.76 | 0.58 | 0.63 | 0.59 | 0.55 |
| | D | 64 | 0.97 | 0.91 | 0.87 | 0.83 | 0.81 | 0.78 |
| | E | 40 - 64 (c) | 1 | 0.99 | 0.99 | 0.98 | 0.98 | 0.98 |
| 7 | A | 88 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | B | 80 | 0.34 | 0.27 | 0.22 | 0.18 | 0.15 | 0.12 |
| | C | 72 | 0.77 | 0.65 | 0.55 | 0.46 | 0.4 | 0.35 |
| | D | 64 | 0.93 | 0.82 | 0.75 | 0.59 | 0.54 | 0.59 |
| | E | 40 - 64 (c) | 1 | 0.95 | 0.92 | 0.9 | 0.88 | 0.86 |

(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: Interpolan para valores intermedios de rebase restringido y redondear la pendiente al valor próximo superior.

Cuadro 1.4 Factores de asuste Por distribución direcciones en carreteras de dos carriles

| DISRIBUCIÓN DIRECCIONAL SENTIDO 1/ SENTIDO 2 | PARA ANÁLISIS GENERALIZADO | PARA ANÁLISIS DE TANG. ESPECÍFICAS (SENTIDO 1 ASCENDENTE) |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 100/0 | 0.71 | 0.58 |
| 90/10 | 0.75 | 0.64 |
| 80/20 | 0.83 | 0.7 |
| 70/30 | 0.89 | 0.78 |
| 60/40 | 0.94 | 0.87 |
| 50/50 | 1 | 1 |
| 40/60 | | 1.2 |
| 30/70 | | 1.5 |

Cuadro 1.5 Factores de ajuste por efecto de restricciones en el ancho de carril y de acotamiento en carreteras de dos carriles

| ANCHO DE ACOTAMIENTO EN MTS. (a) | ANCHO DE CARRIL EN METROS Y NIVEL DE SERVICIO | | | | | | | |
|----------------------------------|-----------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 3.50 (b) | | 3.3 | | 3 | | 2.7 | |
| | A-D | E | A-D | E | AD | E | A-D | E |
| 1.8 | 1 | 1 | 0.93 | 0.94 | 0.84 | 0.87 | 0.7 | 0.76 |
| 1.2 | 0.92 | 0.97 | 0.85 | 0.92 | 0.77 | 0.85 | 0.65 | 0.74 |
| 0.6 | 0.81 | 0.93 | 0.75 | 0.88 | 0.68 | 0.81 | 0.57 | 0.7 |
| 0 | 0.7 | 0.88 | 0.65 | 0.82 | 0.58 | 0.75 | 0.49 | 0.66 |

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

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

Cuadro 1.6 Automóviles equivalentes Para análisis generalizado de carreteras de dos carriles

| TIPO DE VEHÍCULO | SÍMBOLO | NIVEL DE SERVICIO | TIPO DE TERRENO | | |
|------------------|---------|-------------------|-----------------|---------|-----------|
| | | | PLANO | LOMERÍO | MONTAÑOSO |
| CAMIÓN | EC | A | 2 | 4 | 7 |
| | | B-C | 20.2 | 5 | 10 |
| | | D-E | 2 | 5 | 12 |
| RECREACIONAL | ER | A | 2.2 | 3.2 | 5 |
| | | B-C | 2.5 | 3.9 | 5.2 |
| | | D-E | 1.6 | 3.3 | 5.2 |
| AUTOBÚS | EB | A | 1.8 | 3 | 5.7 |
| | | B-C | 2 | 3.4 | 6 |
| | | D-E | 1.6 | 2.9 | 6.5 |

Cuadro 1.7 Automóviles equivalentes para análisis de tangentes verticales
específicas en carreteras de dos carriles

| PEND TANG % | LONGITUD TANGENTE (m) | VELOCIDAD MEDIA DE ASCENSO | | | | | |
|-------------------|-----------------------------|----------------------------|---------|------|------|------|----------|
| | | 88 | 85 | 80 | 72 | 64 | 48 |
| 3 | TODAS | 2.1 | 1.8 | 1.6 | 1.4 | 1.3 | 1.3 |
| | 400 | 2.9 | 2.3 | 2 | 1.7 | 1.6 | 12:00 PM |
| | 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 | 2:24 PM | 5.1 | 3.4 | 2.9 | 2.5 |
| | 3200 | 19.8 | 9.3 | 6.7 | 4.6 | 3.7 | 2.9 |
| | 4800 | 71 | 21.1 | 10.8 | 7.3 | 5.6 | 3.8 |
| | 6400 | - | 48 | 20.5 | 11.3 | 7.7 | 4.9 |
| 4 | 400 | 3.2 | 2.5 | 2.2 | 1.8 | 1.7 | 1.6 |
| | 800 | 4.4 | 3.4 | 2.8 | 2.2 | 2 | 1.9 |
| | 1200 | 6.3 | 4.4 | 3.5 | 2.7 | 2.3 | 2.1 |
| | 1600 | 9.6 | 6.3 | 4.5 | 3.2 | 2.7 | 2.4 |
| | 2400 | 19.5 | 10.3 | 7.4 | 4.7 | 3.8 | 3.1 |
| | 3200 | 43 | 16.1 | 10.8 | 6.9 | 5.3 | 3.8 |
| | 4800 | - | 48 | 20 | 12.5 | 9 | 5.5 |
| | 6400 | - | - | 51 | 22.8 | 13.8 | 7.4 |
| 5 | 400 | 3.6 | 2.8 | 2.3 | 2 | 1.8 | 1.7 |
| | 800 | 6.4 | 3.9 | 3.2 | 2.5 | 2.2 | 2 |
| | 1200 | 8.3 | 5.7 | 4.3 | 3.1 | 2.7 | 2.4 |
| | 1600 | 14.1 | 8.4 | 5.9 | 4 | 3.3 | 2.8 |
| | 2400 | 34 | 16 | 10.8 | 6.3 | 4.9 | 3.8 |
| | 3200 | 91 | 28.3 | 17.4 | 10.2 | 7.5 | 4.8 |
| | 4800 | - | - | 37 | 22 | 14.6 | 7.8 |
| | 6400 | - | - | - | 55 | 25 | 11.5 |
| 6 | 400 | 4 | 3.1 | 2.5 | 2.1 | 1.9 | 1.8 |
| | 800 | 6.5 | 4.8 | 3.7 | 2.8 | 2.4 | 2.2 |
| | 1200 | 11 | 7.2 | 5.2 | 3.7 | 3.1 | 2.7 |
| | 1600 | 20.4 | 11.7 | 7.8 | 4.9 | 4 | 3.3 |
| | 2400 | 60 | 25.2 | 16 | 8.5 | 6.4 | 4.7 |
| | 3200 | - | 50 | 28.2 | 15.3 | 10.7 | 6.3 |
| | 4800 | - | - | 70 | 38 | 23.9 | 11.3 |
| | 6400 | - | - | - | 90 | 45 | 18.1 |
| 7 | 400 | 4.5 | 3.4 | 2.7 | 2.2 | 2 | 1.9 |
| | 800 | 7.9 | 5.7 | 4.2 | 3.2 | 2.7 | 2.4 |
| | 1200 | 14.5 | 9.1 | 6.3 | 4.3 | 3.6 | 3 |
| | 1600 | 31.4 | 16 | 10 | 6.1 | 4.8 | 3.8 |
| | 2400 | - | 39.5 | 23.5 | 11.5 | 8.4 | 5.8 |
| | 3200 | - | 88 | 46 | 22.8 | 15.4 | 8.2 |
| | 4800 | - | - | - | 66 | 38.5 | 16.1 |
| | 6400 | - | - | - | - | - | 28 |

Nota: Si no muestra un valor, esa velocidad no se puede obtener.

La pendiente debe redondearse al siguiente valor más alto.

Cuadro 1.8 Factores de ajuste por restricciones en el ancho. de carriles y obstáculos laterales en autopistas

| No. AMBOS SENTIDOS | DISTANCIA DE OBSTÁCULOS M | OBSTÁCULOS EN UN LADO ANCHO DE CARRIL EN M | | | | OBSTÁCULOS EN AMBOS LADOS ANCHO DE CARRIL EN M | | | |
|--------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------|------|------|------|---------------------------------------------------|------|------|------|
| | | 3.5 | 3.3 | 3 | 2.7 | 3.5 | 3.3 | 3 | 2.7 |
| 4 | 1.80 | 1.00 | 0.97 | 0.91 | 0.81 | 1.00 | 0.97 | 0.91 | 0.81 |
| | 1.50 | 0.99 | 0.96 | 0.90 | 0.80 | 0.99 | 0.96 | 0.90 | 0.80 |
| | 1.20 | 0.99 | 0.96 | 0.90 | 0.80 | 0.98 | 0.95 | 0.89 | 0.79 |
| | 0.90 | 0.98 | 0.95 | 0.88 | 0.79 | 0.96 | 0.93 | 0.87 | 0.77 |
| | 0.60 | 0.97 | 0.94 | 0.88 | 0.79 | 0.94 | 0.91 | 0.86 | 0.76 |
| | 0.30 | 0.93 | 0.90 | 0.85 | 0.76 | 0.87 | 0.85 | 0.80 | 0.71 |
| | 0.00 | 0.90 | 0.87 | 0.82 | 0.72 | 0.81 | 0.79 | 0.74 | 0.66 |
| 6 - 8 | 1.80 | 1.00 | 0.96 | 0.89 | 0.78 | 1.00 | 0.96 | 0.59 | 0.78 |
| | 1.50 | 0.99 | 0.95 | 0.88 | 0.77 | 0.99 | 0.95 | 0.88 | 0.77 |
| | 1.20 | 0.99 | 0.95 | 0.88 | 0.77 | 0.98 | 0.94 | 0.87 | 0.77 |
| | 0.90 | 0.98 | 0.94 | 0.87 | 0.76 | 0.97 | 0.93 | 0.86 | 0.76 |
| | 0.60 | 0.97 | 0.93 | 0.87 | 0.76 | 0.96 | 0.92 | 0.85 | 0.75 |
| | 0.30 | 0.95 | 0.92 | 0.86 | 0.75 | 0.93 | 0.89 | 0.83 | 0.72 |
| | 0.00 | 0.94 | 0.91 | 0.85 | 0.74 | 0.91 | 0.87 | 0.81 | 0.70 |

(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 1.9 Automóviles equivalentes para análisis generalizado de segmentos de autopista

| TIPO DE VEHÍCULO | SÍMBOLO | TIPO PLANO | DE LOMERÍO | TERRENO MONTAÑOSO |
|------------------|---------|------------|------------|-------------------|
| Camión | EC | 1.7 | 4 | 8 |
| Autobús | EB | 1.5 | 3 | 5 |
| Recreativo | ER | 1.6 | 3 | 4 |

Cuadro 1.10 Niveles de servicio en carreteras de carriles múltiples

| DENSIDAD | | VELOCIDAD DE PROYECTO EN KPH | | | | | |
|----------|----|------------------------------|------|--------|------|------|------|
| | | 110 | | 100-90 | | 80 | |
| | | a | Vb | v/CC | Vb | V/CC | Vb |
| A | 8 | 87 | 0.38 | 79 | 0.34 | d | |
| B | 13 | 82 | 0.56 | 75 | 0.5 | 66 | 0.45 |
| C | 19 | 76 | 0.73 | 68 | 0.66 | 62 | 0.61 |
| D | 27 | 67 | 0.9 | 61 | 0.83 | 55 | 0.8 |
| E | 42 | 48 | 1 | 48 | 1 | 45 | 1 |
| F | | | e | | | | |

- a. Límite superior de la densidad, en apkpc.
- b. Límite inferior de 12 velocidad media de viaje, en kph.
- c. Límite superior de la relación v/c. Multiplicada por la capacidad de volumen.
- d. Nivel de servicio no obtenible.
- e. Por ser flujo inestable puede variar hasta el límite del nivel E.

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 determinar la proyección de la velocidad en el “sin” proyecto (expresiones relacionadas a carreteras de dos carriles) y “con” proyecto (expresiones relacionadas a autopistas).

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 carga, se considera la velocidad promedio que les corresponda.

Nota: Para la proyección de las velocidades de los vehículos pesados, es necesario conocer las velocidades promedio a la cual transitan éstos en la carretera en estudio; en caso contrario, se considerarán como una porción de la velocidad promedio de los vehículos ligeros, apoyados en otro estudio, cuyas características de flujo vehicular, y características topográficas y geométricas sean similares.

El siguiente Cuadro muestra la proyección de las velocidades para las situaciones *sin* y *con* proyecto (por tipo de vehículo).

PROYECCIONES DE LA VELOCIDAD
AUTOMÓVILES

| | SITUACIÓN S/P | SITUACIÓN C/P DIRECTO | SITUACIÓN C/P INDIRECTO |
|------|---------------|-----------------------|-------------------------|
| AÑO | VELOCIDAD | VELOCIDAD | VELOCIDAD |
| 1995 | 71.98 | 97.54 | 97.54 |
| 1996 | 71.81 | 97.39 | 97.39 |
| 1997 | 71.64 | 97.23 | 97.23 |
| 1998 | 71.47 | 97.08 | 97.08 |
| 1999 | 71.28 | 96.91 | 96.91 |
| 2000 | 71.1 | 96.75 | 96.75 |
| 2001 | 70.9 | 96.57 | 96.57 |
| 2002 | 70.7 | 96.4 | 96.4 |
| 2003 | 70.5 | 96.21 | 96.21 |
| 2004 | 70.29 | 96.02 | 96.02 |
| 2005 | 70.07 | 95.83 | 95.83 |
| 2006 | 69.85 | 95.63 | 95.63 |
| 2007 | 69.62 | 95.42 | 95.42 |
| 2008 | 69.38 | 95.21 | 95.21 |
| 2009 | 69.13 | 94.99 | 94.99 |
| 2010 | 68.88 | 94.77 | 94.77 |

PROYECCIONES DE LA VELOCIDAD
AUTOBUSES

| | SITUACIÓN S/P | SITUACIÓN C/P DIRECTO | SITUACIÓN C/P INDIRECTO |
|------|---------------|-----------------------|-------------------------|
| AÑO | VELOCIDAD | VELOCIDAD | VELOCIDAD |
| 1995 | 61.18 | 82.90 | 82.90 |
| 1996 | 61.04 | 82.77 | 82.77 |
| 1997 | 60.89 | 82.64 | 82.64 |
| 1998 | 60.74 | 82.51 | 82.51 |
| 1999 | 60.59 | 82.37 | 82.37 |
| 2000 | 60.43 | 82.23 | 82.23 |
| 2001 | 60.26 | 82.08 | 82.08 |
| 2002 | 60.10 | 81.93 | 81.93 |
| 2003 | 59.92 | 81.78 | 81.78 |
| 2004 | 59.74 | 81.62 | 81.62 |
| 2005 | 59.56 | 81.45 | 81.45 |
| 2006 | 59.37 | 81.28 | 81.28 |
| 2007 | 59.17 | 81.11 | 81.11 |
| 2008 | 58.97 | 80.93 | 80.93 |
| 2009 | 58.76 | 80.74 | 80.74 |
| 2010 | 58.55 | 80.55 | 80.55 |

PROYECCIONES DE LA VELOCIDAD
CAMIONES DE CARGA

| AÑO | SITUACIÓN S/P | SITUACIÓN C/P DIRECTO | SITUACIÓN C/P INDIRECTO |
|------|---------------|-----------------------|-------------------------|
| | VELOCIDAD | VELOCIDAD | VELOCIDAD |
| 1995 | 54.00 | 73.17 | 73.17 |
| 1996 | 53.88 | 73.06 | 73.06 |
| 1997 | 53.75 | 72.95 | 72.95 |
| 1998 | 53.61 | 72.83 | 72.83 |
| 1999 | 53.48 | 72.70 | 72.70 |
| 2000 | 53.34 | 72.58 | 72.58 |
| 2001 | 53.19 | 72.45 | 72.45 |
| 2002 | 53.04 | 72.32 | 72.32 |
| 2003 | 52.89 | 72.18 | 72.18 |
| 2004 | 52.73 | 72.04 | 72.04 |
| 2005 | 52.57 | 71.89 | 71.89 |
| 2006 | 52.40 | 71.74 | 71.74 |
| 2007 | 52.23 | 71.59 | 71.59 |
| 2008 | 52.05 | 71.43 | 71.43 |
| 2009 | 51.86 | 71.26 | 71.26 |
| 2010 | 51.68 | 71.09 | 71.09 |