

Utilizando unidades prácticas y usuales, se transforma la fórmula para  $v_0$  en kilómetros por hora,  $g$  en metros por segundo cuadrado y  $d_f$  en metros

$$d_f = \{v_0^2 \text{ (km}^2/\text{h}^2) / 2f_i \text{ (9.81 m/s}^2)\} \{1000^2 \text{ m}^2/1 \text{ km}^2\} \{1 \text{ h}^2/3600^2 \text{ s}^2\}$$
$$d_f = v_0^2 / 254 f_i$$

Finalmente, sustituyendo las distancias de percepción-reacción ( $d_{pr}$ ) y de frenado ( $d_f$ ) queda:

$$D_p = d_p + d_r + d_f$$

$$D_p = 0.694v_0 + (v_0^2 / 254 f_i)$$

Para fines de proyecto, según el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras de la SCT, en la tabla 1 se presentan los valores de los coeficientes de fricción longitudinal ( $f_l$ ) variables, correspondientes a diferentes velocidades de proyecto, condiciones de pavimento mojado, para el cálculo de distancias de parada, con base en la norma N-PROY-CAR-10-01-002/13.

Tabla 1 Coeficientes de fricción longitudinal para diseño, pavimentos húmedos

Velocidad de proyecto (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Coeficiente de fricción longitudinal ( $f_l$ )	0.346	0.346	0.324	0.308	0.295	0.285	0.276	0.269	0.261	0.253

**Fuente:** SCT. Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, México, 2016.

SCT. Normativa N-PRY-CAR-2-02/13 Elementos básicos del proyecto geométrico. México, 2013.

Cuando el vehículo tiene una velocidad  $v_f$  al final de la aplicación de los frenos, y la calle o la carretera sobre la cual ocurre el frenado se encuentra sobre una *pendiente longitudinal* ( $p$ ), la *distancia de frenado* ( $d_f$ ) se expresa como:

$$d_f = \{ v_0^2 - v_f^2 \} / \{ 254 (f_l \pm p) \}$$

La *distancia de frenado* es menor en ascenso que en descenso, por lo tanto el valor de  $p$  expresado en decimal es positivo (+) para pendientes ascendentes y negativo (-) para pendientes descendentes.

Si el vehículo se detiene completamente, esto es  $v_f = 0$ , la ecuación práctica para el cálculo de la *distancia de frenado* es:

$$d_f = v_0^2 / \{ 254 (f_l \pm p) \}$$

De la misma manera, una expresión más general para el cálculo de la *distancia de parada*, ante la presencia de obstáculos, es:

$$D_p = 0.694 (v_0) + \{ v_0^2 ( 254 (f_l \pm p)) \}$$

Los valores de  $f_l$  utilizados para fines de proyecto se estiman como conservadores, ya que se toman suponiendo las peores habilidades en el manejo del vehículo, las condiciones normales de la superficie de rodamiento y las llantas, y la eficiencia común de los vehículos.

En la práctica, existen otras situaciones que obligan a que un Conductor tenga que detener su vehículo o disminuir su **velocidad**, como por ejemplo ante la presencia de la luz amarilla en un semáforo, ante la presencia de una señal de Alto, a la salida de una carretera principal por un enlace de divergencia, a la llegada a una caseta de cobro, etc.

---

Para estos casos, la distancia necesaria para pasar de una velocidad inicial  $v_0$  a una velocidad final  $v_f$  (que puede llegar a ser cero), es:

$$D_p = v_0 (t_{pr}) + \left\{ (v_0^2 - v_f^2) / (254 (f_l \pm p)) \right\}$$

Donde  $t_{pr}$  representa el tiempo de percepción-reacción de la situación específica analizada.

En la tabla 2 se presentan distancias mínimas de visibilidad de parada  $D_p$  para diseño según la SCT.

También, la *distancia de frenado* ( $d_f$ ) de un vehículo que circula, sobre un pavimento húmedo de una carretera a nivel (pendiente cero), a la velocidad de proyecto  $v_0$ , o a la velocidad específica del elemento sobre el cual se lleva a

---

**Tabla 2 Distancias de visibilidad de parada para diseño, en metros**

Velocidad de proyecto (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Coefficiente de fricción longitudinal (fl)	0.346	0.346	0.324	0.308	0.295	0.285	0.276	0.269	0.261	0.253
Distancia de percepción-reacción (dpr)	20.83	27.78	34.72	41.67	48.61	55.56	62.50	69.44	76.39	83.28
Distancia de frenado (df)	10.24	18.21	30.36	46.05	65.39	88.48	115.39	146.16	182.85	224.08
Distancia de visibil de parada calculada (Dp)	31.07	45.98	65.08	87.72	114.0	144.04	177.89	215.61	259.24	307.36
Distancia de visibil de parada de diseño (Dp)	40	50	70	90	120	150	180	220	260	310

**Fuente:** SCT. Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, México, 2016.

SCT. Normativa N-PRY-CAR-2-02/13 Elementos básicos del proyecto geométrico. México, 2013.

cabo la maniobra de frenado, y que finalmente se detiene ( $v_f = 0$ ), puede ser determinada mediante:

$$df = v_0^2 / 2a = \{ v_0^2 (\text{km}^2 / \text{h}^2) \} / \{ 2a \text{ m/s}^2 \} \{ 1000^2 \text{m}^2 / 1 \text{km}^2 \} \{ 1 \text{h}^2 / 3600^2 \text{s}^2 \}$$

$$df = 0.039 ( v_0^2 / a )$$

Como un valor confortable, la AASHTO recomienda como tasa de desaceleración el valor de  $3.4 \text{ m/s}^2$ , por lo que la *distancia de frenado* también puede ser calculada con:

$$df = 0.039 ( v_0^2 / a ) = 0.039 ( v_0^2 / 3.4 ) = v_0^2 / 87.18 )$$

Y la *distancia de parada*, sobre superficies a nivel y húmedas con:

$$D_p = 0.694 ( v_0 ) + \{ v_0^2 / 87.18 \}$$

Como puede observarse en la expresión anterior, en este caso para el cálculo de la *distancia de parada*, no es necesario conocer el coeficiente de fricción longitudinal.

En la tabla 3 se presentan los valores recomendados por la AASHTO, de las distancias mínimas de parada  $D_p$ , para diferentes velocidades de proyecto en tramos de pavimentos húmedos a nivel (pendiente longitudinal 0%).

Para tramos en pendiente (+- p), la expresión de cálculo de la *distancia de frenado* (df) se convierte en:

$$df = 0.039 \{ v^2_0 / (3.4 \pm 9.81p) \} = \{ 0.039 / 3.4 \} \{ v^2_0 / 1 \pm 2.88p \}$$
$$df = v^2_0 / \{ 87.18 (1 \pm 2.88p) \}$$

Y la *distancia de parada*:

$$D_p = 0.694 ( v_0 ) + \{ v^2_0 / \{ 87.18 (1 \pm 2.88p) \} \}$$

**Tabla 3 Distancias mínimas de parada en pavimento mojado y a nivel**

Velocidad de proyecto km/h	Distancia de percepción-reacción $d_{pr}(m)$	Distancia de frenado $d_f (m)$	Distancia de parada $D_p (m)$ Calculada	Distancia de parada $D_p (m)$ Proyecto
20	13.9	4.6	18.5	20
30	20.8	10.3	31.1	35
40	27.8	18.4	46.2	50
50	34.7	28.7	63.4	65
60	41.6	41.3	82.9	85
70	48.6	56.2	104.8	105
80	55.5	73.4	128.9	130
90	62.5	92.9	155.4	160
100	69.4	114.7	184.1	185
110	76.3	138.8	215.1	220
120	83.3	165.2	248.5	250
130	90.2	193.9	284.1	285

**Fuente:** AASHTO. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Washington, DC, 2011.

**Determine la distancia mínima de visibilidad de parada en un tramo de carretera proyectada con una velocidad de 80 km/h en una pendiente ascendente del 4%.**

*De la tabla 1 para una velocidad de proyecto de 80 km/h, el coeficiente de fricción longitudinal es de 0.285, por lo tanto*

$$D_p = 0.694 (80) + \{ 80^2 / 254 (0.285 + 0.04) \} =$$
$$D_p = 55.52 + 77.52 = 133.04 \text{ m}$$

Lo que quiere decir que para que este tramo de carretera ofrezca seguridad para detener un vehículo en caso de la presencia de un obstáculo fijo en su carril de circulación, la geometría horizontal, vertical y transversal debe ser tal que siempre se disponga en cada punto como mínimo 133 metros de visibilidad hacia adelante.

A manera de comparación, si se aplica la ecuación donde no se necesita conocer el coeficiente de fricción longitudinal, se tiene:

$$D_p = 0.694 (v_0) + \{ v_0^2 / 87.18 (1 + 2.88p) \}$$

$$D_p = 0.694 (80) + \{ 80^2 / 87.18 (1 + 2.88 (0.04)) \}$$

$$D_p = 55.52 + 65.82 = 121.35 \text{ m}$$

Como puede observarse, los valores del método de la SCT son un poco mayores (conservadores) que los valores del método de la AASHTO.