EXPERIENCIA MEXICANA EN EL DISEÑO Y OPERACIÓN DE RAMPAS DE FRENADO EN CARRETERAS

Emilio Francisco Mayoral Grajeda [1]

emilio@imt.mx,

Ana Cecilia Cuevas Colunga [1]

ccuevas@imt.mx

Federico Alberto Rivera Guerra [1]

crivera@imt.mx

Alberto Mendoza Díaz [1]

Alberto.Mendoza@imt.mx

Francisco Javier Moreno Fierros [2]

fmoreno@capufe.gob.mx

Rubén Cuellar Salazar [2]

rcuellar@capufe.gob.mx

[1] INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Investigadores de la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte

Km 12 de la Carretera Querétaro Galindo

76700 Pedro Escobedo, Querétaro. MÉXICO

Tel +52 (442) 216 9777 ó 9502 ext. 2015#, 2014# y 2058#

[2] Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, A.C.

Subdirector de Calidad de Desarrollo Tecnológico y Gerente de Nuevas Tecnologías

Calzada de los Reyes # 24, Col. Tetela del Monte

62130 Cuernavaca, Morelos. MÉXICO

Tel +52 (777) 329 3147 y 3195

RESUMEN

El artículo es una contribución para difundir los principales elementos que se deben considerar en el diseño de rampas de frenado, de acuerdo a la experiencia mexicana, en particular en la red troncal de

carreteras de cuota, y con ello contribuir a la reducción de la severidad de los accidentes por falla en el sistema de frenos de los vehículos, principalmente pesados. Por lo tanto, se considera que las rampas de frenado deben formar parte del diseño integral de las carreteras, especialmente aquellas con pendientes descendentes de longitud considerable. El documento inicia describiendo los principios básicos, los tipos de rampas más comunes, los procedimientos que comúnmente se utilizan, el análisis de las rampas instaladas en la red de carreteras de cuota de México. El artículo finaliza con la propuesta de una guía para proyectar y operar las rampas de frenado, la cual incluye las acciones previas a la rampa, el acceso a la misma, así como las características fundamentales de la cama de frenado. Con todo lo anterior, se pretende demostrar que este tipo de dispositivos es una muestra más del porque las autoridades encargadas de la gestión de las vialidades deben invertir en seguridad vial con este tipo de instalaciones.

PALABRAS CLAVE: rampa de frenado, alta pendiente, mejora sencilla y económica, carretera mexicana

1. ANTECEDENTES

Las rampas de frenado tienen su origen en la observación de la reacción permanente de los conductores frente a la falla en su sistema de frenos. Obviamente, los operadores de camiones que experimentaban este problema sintieron que era preferible realizar una maniobra controlada para salirse del camino, a perder totalmente el control del vehículo. La literatura menciona que antes de diseñarse y desarrollarse este tipo de dispositivos de seguridad, los conductores de los vehículos en descenso y fuera de control se impactaban contra montículos de arena o grava que se encontraban adyacentes al camino, para fines de mantenimiento de los mismos; en otros casos, se salían del camino en dirección a las lomas ascendentes o hacia caminos laterales para atenuar la velocidad del vehículo; también utilizaban el talud del corte para generar mayor fricción y disminuir la velocidad (AASHTO, 2001).

Por las características propias de la orografía en México es frecuente que los vehículos de carga circulen por pendientes de considerable longitud y de elevada inclinación; estas características ocasionan condiciones inseguras debido a que estos vehículos

están expuestos a constantes cambios de velocidad y a la utilización permanente de los frenos, así como a la acción retardante de los motores al llevarlos embragados o enganchados constantemente a velocidades bajas; esta última medida no es siempre suficiente para mantener a los vehículos bajo control. Lo anterior se ha traducido en accidentes y elevados costos para el estado.

Por ejemplo en una revisión sobre la accidentalidad a causa de salidas a rampas de emergencia en 15 de ellas instaladas en la red de autopistas, se observó que se tienen registrados alrededor de 150 accidentes al año, en los que se utiliza este dispositivo con un saldo de 40 lesionados y con una participación del 65% de los vehículos de carga, del 30% de los automóviles y del 5% de los autobuses.

Por otra parte, se realizó una comparación de dos tramos de autopista de 20 km de longitud aproximadamente, con pendiente descendente del orden del 5-6% y radios de curvatura inferiores a los 300 m, de dos carriles de circulación de 3.50 m cada uno con acotamientos y en una zona que se caracteriza por un clima templado-húmedo, lluvias abundantes en el verano y principios de otoño con algunas lloviznas durante el invierno, así como bancos de niebla constantes; el primer tramo tiene dos rampas de frenado a 4 y 6 km de la cresta y el segundo cuenta con 4 rampas distribuidas a 6, 10, 14 y 19 km de la cresta. Del total de accidentes que reportaron fallas en su sistema de frenado en el primer tramo solo el 31% logró ingresar a la rampa de frenado, el 42% se accidenta posterior a la segunda rampa y en el 27% lo hace antes de las rampas de frenado; mientras que en el segundo tramo el porcentaje es del 75% de los que ingresan a alguna de las cuatro rampas instaladas y el porcentaje restante ocurre antes de la primera rampa o entre las rampas. Por lo tanto, se observa que en tramos descendentes de longitud considerable es necesario diseñar una serie de rampas a toda la longitud para captar el mayor número de vehículos fuera de control.

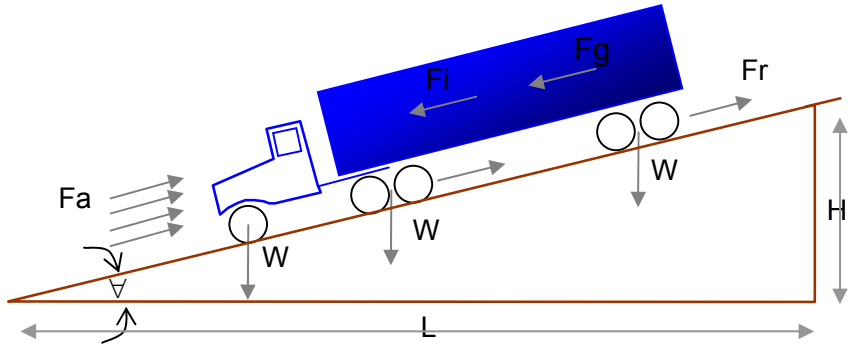
En la medida que ha crecido el interés por la construcción de rampas de frenado, también ha aumentado la necesidad de saber cómo diseñar estos dispositivos para que

su uso sea más eficaz, por ejemplo: en qué lugares son necesarias, de qué longitud e inclinación, qué materiales son los que mejor funcionan en la cama de frenado y qué procedimientos de mantenimiento son necesarios.

Algunas investigaciones han aportado información sobre el uso, las características físicas de las rampas de frenado, la velocidad de los camiones al ingresar a una rampa y la velocidad a la que circulan antes de ser detenidos; y a partir de esa información se han elaborado fórmulas para determinar la longitud de la rampa en función de la velocidad de ingreso de los vehículos, la inclinación de éstas y la resistencia de rodado de su superficie.

2. PRINCIPIOS BÁSICOS

En la Figura 1 se observan las fuerzas que actúan en un vehículo y que afectan la velocidad de éste e incluyen al motor, frenos y la sumatoria de fuerzas que actúan directamente sobre el vehículo. La fuerza del motor y de los frenos pueden ser ignoradas en el diseño de las rampas, puesto que éstas se diseñan considerando el caso más desfavorable, el cual es que los vehículos estén completamente fuera de control y que el sistema de frenos haya fallado por completo. Por lo anterior resulta que la sumatoria de fuerzas que actúa sobre el vehículo es la inercia (Fi), el aire (Fa), la resistencia al rodado (Fr) y la pendiente (∀).



Fa : resistencia del aire
Fi : fuerza de inercia
Fg : fuerza por pendiente
Fr : resistencia al rodado
W : peso del vehículo
H : altura
∀ : ángulo de inclinación
L : longitud

Figura 1 Fuerzas que actúan sobre un vehículo

La Fi es una fuerza que se resiste al movimiento del vehículo a menos que sobre el vehículo actúe una fuerza externa. La Fi podría ser superada por un incremento o una disminución de la velocidad del vehículo, en donde la Fr y la pendiente pueden romper la inercia de un vehículo. La Fr es la resistencia al movimiento generado por el área de contacto entre los neumáticos y la superficie de rodamiento; la Fr es aplicable solo cuando el vehículo está en movimiento y su influencia depende del tipo de superficie. La pendiente se expresa como la fuerza requerida para mover un vehículo, a través de una distancia vertical; la cual es positiva (ascendente) o negativa (descendente).

La Fa es una fuerza negativa que retarda el movimiento al estar ésta en contacto con muchas superficies del vehículo. El aire causa una significativa resistencia para velocidades superiores a 80 km/h y es irrelevante a 30 km/h. El efecto de la resistencia del aire ha sido despreciable en el cálculo de la longitud de una rampa de frenado, debido a que introduce un pequeño factor de seguridad en su diseño.

2.1 Definición y tipos de rampas

Una rampa de frenado es una franja auxiliar instalada a un lado de la carretera, con una superficie de retención para disipar la energía de los vehículos fuera de control decelerándolos de forma controlada y segura hasta su detención. En la Figura 2 se muestran las tres categorías para identificar los tipos de rampas más utilizadas, éstas son: gravitacionales, camas de frenado y montículos de arena.

Las rampas gravitacionales tienen un pavimento o material granular compactado densamente en la superficie de rodamiento, confiando principalmente en la fuerza de gravedad para disminuir y detener al vehículo. Este tipo es de gran longitud, debe tener una importante gradiente y requiere de un control topográfico continuo y estricto. Otro inconveniente es que una vez que se ha logrado la detención del vehículo, podría comenzar el descenso de éste, debido a que no cuenta con su sistema de frenos,

generando una situación de riesgo para el conductor y demás vehículos que circulan por el camino, de ahí que su uso sea reducido y por lo tanto la menos recomendada.

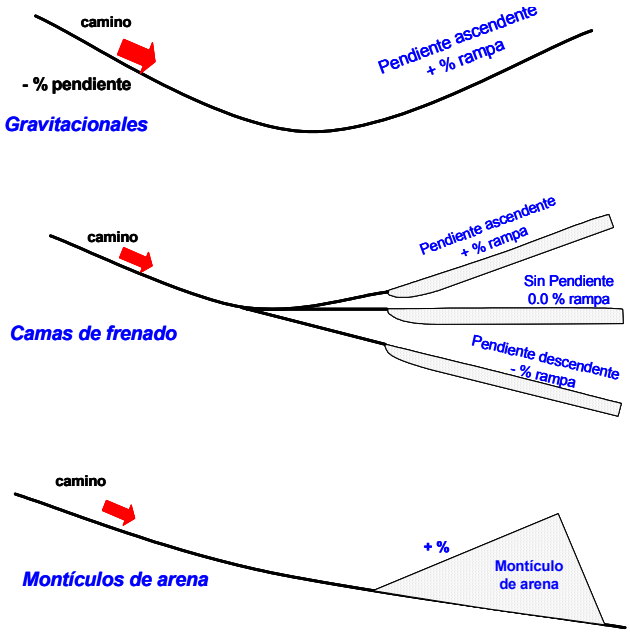


Figura 2. Tipos de rampas de frenado más utilizadas

Dentro de la categoría de camas de frenado existen tres diseños predominantes clasificados por la pendiente: es decir, pendiente ascendente, pendiente horizontal y pendiente descendente y son construidas normalmente paralelas y adyacentes al camino. Este tipo de rampa utiliza material granular suelto, de manera tal que aumente la resistencia al rodado para la detención de los vehículos. La cama de frenado con pendiente ascendente tiene la ventaja de utilizar la inclinación del terreno como complemento a los materiales granulares de la cama de frenado y reduciendo así su longitud. En donde la topografía no lo permita, la utilización de camas de frenado horizontal o descendente es otra opción con la particularidad de que se requiere más longitud que la anterior.

Las rampas de montículos de arena están compuestas, generalmente de arena suelta y seca, y su longitud normalmente no sobrepasa los 120 m. La influencia de la gravedad

depende de la pendiente de la superficie. El incremento de la resistencia al rodado es suministrado por la arena suelta, sin embargo las deceleraciones en los montículos de arena usualmente son muy severas para el conductor y la arena puede ser afectada por el clima. Debido a estas consecuencias para el conductor este tipo de rampa no resulta ser tan segura como las camas de frenado.

Los procedimientos usados para el diseño y análisis de las rampas de frenado son esencialmente los mismos para cada una de las categorías o tipos identificados, se requiere como datos la velocidad de entrada a la rampa, la pendiente longitudinal de la misma y el material a utilizar en la cama; en donde este último juega un papel muy importante, ya que influye directamente en el factor de la resistencia al rodado requerido para disminuir y detener en forma segura a los vehículos.

2.2 Criterios de diseño

El objetivo de una rampa de frenado es salvar vidas y es de suma importancia considerar que el conductor de un vehículo fuera de control, no se encuentra en condiciones de tomar decisiones o realizar acciones complejas. Es por esto que al diseñar la rampa de frenado, incluyendo su señalización, el proyectista debe brindar las condiciones necesarias para que el conductor conozca de la existencia de este dispositivo, entienda las maniobras que debe realizar y sienta la confianza y la seguridad de ingresar a éste y no continuar en el flujo vehicular.

Las condiciones mínimas que se deben cumplir en el diseño de una rampa de frenado son: (I) contar con un acceso amplio y una buena visibilidad de toda la rampa la mayor cantidad de tiempo posible (ya que si el conductor percibe discontinuidades, aunque éstas no existan, es probable que dude y su ingreso sea erróneo o no ingrese a la rampa), (II) tener una longitud suficiente, (III) colocar los materiales adecuados y contar con un carril auxiliar para remover vehículos y permitir su mantenimiento. En la literatura

se menciona que otro elemento que favorece la seguridad bajo condiciones climáticas desfavorables es la iluminación nocturna, sin embargo los autores consideran que antes de iluminar este tipo de dispositivos habría que iluminar el camino principal. En la Figura 3 se muestra un esquema típico de una rampa de frenado en planta y perfil.

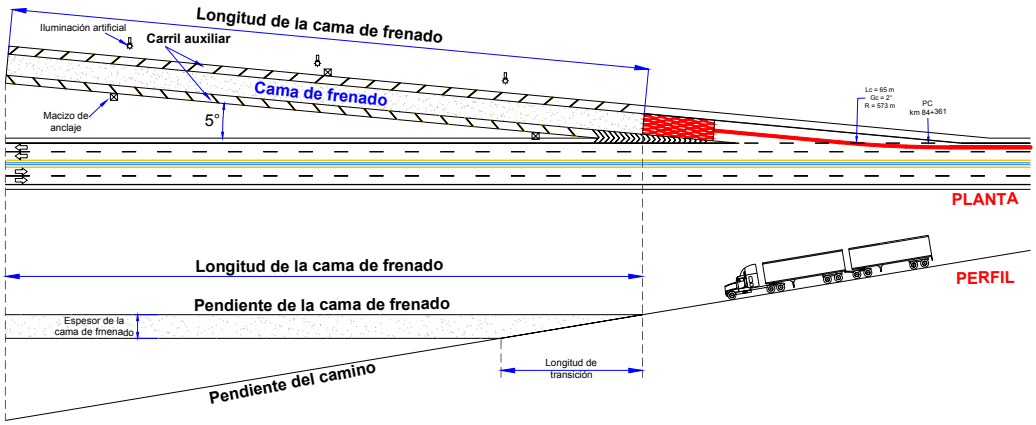


Figura 3. Esquema típico de una rampa de frenado

3. METODOLOGÍA

Determinar donde es necesaria una rampa de frenado involucra una serie de consideraciones, sin embargo, de acuerdo a los textos analizados, no existe aún una definición clara de qué factores o combinación de éstos son los relevantes al momento de la toma de decisiones (AASHTO, 2996). En un estudio realizado en las rampas de frenado existentes en nuestro país (CAPUFE y IMT, 2007), se observó que los factores que influyen son: (I) el análisis estadístico de los accidentes dirigido a las salidas del camino, los impactos contra los taludes de corte en tangentes y cualquier tipo de accidente cuya causante principal sea la falla en el sistema de frenos; (II) el concepto de frenos humeantes, que tiene relación con la condición que presenta el sistema de frenos de un vehículo al ser constantemente utilizado y conlleva un análisis visual en la zona en estudio; (III) el volumen de tránsito y la participación de los vehículos pesados;

(IV) el número de carriles en la pendiente; y (V) la presencia de curvas horizontales con radios reducidos previas a la rampa, que provocan que la mayoría de los vehículos pesados fuera de control se salgan del camino antes de llegar a una rampa.

En lo que sí existe consenso es que los datos de accidentalidad en el proceso de diseño han resultado ser una excelente herramienta para el análisis de su ubicación, lo que debe ser acompañado con el estudio de las características topográficas de la zona. A partir del estudio realizado a la mayoría de las rampas existentes en México, nos ha llevado a concluir los siguientes puntos para caminos nuevos o en operación, los cuales pueden servir de guía para diseñar una rampa de frenado (CAPUFE y IMT, 2007):

- Se debe ubicar en un punto de la pendiente que permita interceptar la mayor cantidad de vehículos fuera de control y antes del lugar donde se registren accidentes o donde exista un sitio de alto riesgo por falla en el sistema de frenos.
- Se debe construir antes de las curvas horizontales de radio reducido que no puedan ser enfrentadas de manera segura por un vehículo fuera de control, ya que seguramente el vehículo saldrá fuera del camino antes de llegar a ésta.
- En tramos descendentes mayores a los 8-10 km considerar la instalación de estos dispositivos a cada 4 y 5 km, a partir de la cresta de la curva vertical con la intención de captar el mayor número de vehículos con fallas en sistema de frenos.
- En carreteras de un carril por sentido, la rampa se ubica al costado derecho y de preferencia previo a una curva horizontal izquierda de tal forma que el acceso a la cama de frenado sea una prolongación de la tangente previa a la curva. En carreteras de dos o más carriles por sentido que cuentan con una amplia faja separadora central se puede alojar la rampa al costado izquierdo y de preferencia previo a una curva horizontal derecha de tal forma que el acceso a la cama de frenado también sea una prolongación de la tangente previa a la curva. En cualquier caso lo que se pretende es que los vehículos que ingresen lo hagan lo más directo posible y de forma segura, ya que una vez dentro de la cama se pierde la maniobrabilidad del vehículo.

- La rampa debe tener una buena visibilidad y una deflexión con respecto al trazo del camino menor o igual a 5 grados.
- La rampa debe contar con una adecuada señalización tanto previa como en la cama, la cual debe ser perfectamente distinguible (especialmente de noche para evitar que un conductor la pueda confundir con el camino principal), indicando las acciones a realizar por los conductores, según sea el caso (con o sin problemas de frenos).

3.1 Justificación

En términos generales para caminos nuevos o en operación, se justifica la colocación de una rampa de frenado en las siguientes situaciones:

- Sitios con estadística de accidentes causados por vehículos pesados fuera de control, debido a averías en el sistema de frenos.
- Zonas con una participación importante de vehículos pesados y con una pendiente sostenida superior a 5% y que además se cumpla la siguiente condición:

$$L \times i^2 > 60 \qquad (1)$$

Donde:

L = Longitud de la pendiente del camino (km)

i = Pendiente longitudinal del camino (%)

3.2 Longitud

Para la determinación de la longitud de una rampa de frenado requerida por un vehículo fuera de control para detener su marcha, se puede aplicar la ecuación indicada en el

documento de la AASHTO (AASHTO, 1996), donde se consideran la resistencia al rodado, la pendiente de la cama y la velocidad de ingreso de los vehículos.

$$L = \frac{V^2}{254\left(R \pm G\right)} \tag{2}$$

Donde:

L = Longitud de cama requerida (m)

V = Velocidad de entrada del vehículo (km/h)

G = Pendiente de la rampa, dividida por 100

R = Resistencia al rodado del material de la rampa, dividida por 1000.

Se recomienda por razones de seguridad que la longitud total LT de la cama de frenado sea un 20% adicional a la distancia de detección L, es decir:

$$LT = 1.2\,L \tag{3}$$

La resistencia al rodado de acuerdo a los diferentes tipos de materiales, expresado como un equivalente de la pendiente, queda enunciado en la Tabla 1.

Tabla 1 Valores de la resistencia al rodado para diferentes materiales

Material superficial de la rampa	Valor de resistencia al rodado en la fórmula
Concreto asfáltico	0.012
Grava compactada	0.015
Grava suelta	0.100
Arena	0.150
Gravilla de tamaño uniforme	0.250

Fuente: Ref. 2.

Con la finalidad de conocer como influyen los tipos de material, se realizó un cálculo para una cama de frenado de 300 m de longitud con 0% de pendiente, utilizando tres tipos de material (grava suelta, arena y gravilla de tamaño uniforme), resultando que la cama lograría detener a un vehículo que ingresará a 87 km/h para el caso de la grava suelta, 107 km/h para las arenas y 138 km/h para grava de tamaño uniforme; como se observa el tipo de material (resistencia al rodado) es una variable de suma importancia para un mismo diseño de cama de frenado y se vuelve aun más significativo en camas de frenado con pendiente negativa.

También se realizó el ejercicio de conocer las longitudes requeridas para diferentes pendientes y velocidades de entrada utilizando, en todos los casos, como material en la cama gravilla de tamaño uniforme resultando que para una pendiente del -5%, se requiere una longitud de 50 m para una velocidad de entrada de 50 km/h, de 200 m para 100 km/h y 380 m para velocidades de 140 km/h; y para el caso de una pendiente positiva del 5%, se necesita una cama con una longitud de 30 m, 130 m y 260 m para las mismas velocidades consideradas en la pendiente negativa. La variación de la longitud de la cama para una misma velocidad de entrada y pendientes diferentes (5% y -5%) aumentan alrededor del 50% entre una y otra.

Otro método para determinar la longitud de una rampa de frenado es el que propone el Departamento de Transporte de Pennsylvania (PENNDOT, 2001), en el cual se hace uso de una ecuación de tercer orden:

$$L = A + BV + CV^2 + DV^3 \qquad (4)$$

Donde:

L = Longitud de cama requerida (m)

V = Velocidad de entrada del vehículo (km/h)

A, B, C, D = Constantes de la Tabla 2

Tabla 2 Valores para las constantes usadas para calcular la longitud de cama

Pendiente	Factores para velocidades de 50 a 100 km/h			
	A	B	C	D
-5	-15.172944	0.78219697	-0.00600188	0.00012066
0	0.99220249	0.03209192	0.00509526	0.00004768
5	-4.92126779	0.26432213	0.0018746	0.00004902
10	-1.80456684	0.11824057	0.00372385	0.00003198
15	0.49279503	-0.01060662	0.00565815	0.00001532
20	1.45746415	-0.03998248	0.00561271	0.00001206
25	7.10296524	-0.30325464	0.00927871	-0.00000881
Pendiente	**Factores para velocidades de 100 a 140km/h**			
	A	**B**	**C**	**D**
-5	-282.5254598	8.62497966	-0.08308336	0.00037469
0	-86.92116605	2.74448334	-0.0231079	0.00014679
5	-22.41526366	0.79435949	-0.00341229	0.00006636
10	-23.58126996	0.73691189	-0.0020575	0.00004974
15	-30.22693156	0.83689803	-0.00241934	0.00004233
20	-4.25493942	0.17754232	0.00297324	0.00002258
25	-3.02928162	0.09392263	0.00392611	0.00001536

Fuente: Ref. 4.

Los valores de las constantes están en función de la pendiente de la cama de frenado y de la velocidad de entrada a la misma. Como se puede observar en este método no interviene el tipo de material, y desafortunadamente el documento de referencia no aclara para qué resistencia a la rodadura fueron obtenidos los valores de las constantes. Dado lo anterior, se realizó un ejercicio de comparación entre la metodologías de AASHTO y Pennsylvania, y se observó que la longitud de cama requerida en el método de Pennsylvania es, en promedio, un 35% menor de lo que se obtiene por la metodología de AASHTO para velocidades de entrada menores a 100 km/h, y de 24% menor para velocidades mayores a 100 km/h.

Un apartado en la metodología de Pennsylvania, hace referencia al uso de montículos intercalados a lo largo de la cama de frenado u otros elementos de contención, como disipadores de energía (barriles), ya que estos ayudan a decelerar el vehículo cuando,

por las condiciones del terreno no es posible alojar la longitud requerida de una cama de frenado. Para la colocación de estos disipadores de energía se requiere un análisis particular, sin embargo en general se deben ubicar en un punto de la cama en el cual el impacto que se produzca sea a una velocidad menor a 100 km/h en el caso de los montículos y 80 km/h para los barriles.

Es recomendable la colocación de un montículo de 1.5 m de alto al final de la cama de frenado, para cualquier circunstancia en que el vehículo no logrará detenerse al llegar al final de la misma y que las consecuencias pudieran ser catastróficas para los ocupantes del vehículo u otras personas.

3.3 Acceso y ancho

El acceso debe ser perfectamente distinguible y despejado. Se recomienda demarcar el área de acceso a la rampa (si fuera pavimentado), con una cuadrícula pintada, a base de bloques blancos y rojos intercalados de 1 x 3 m cada uno (véase Figura 4).

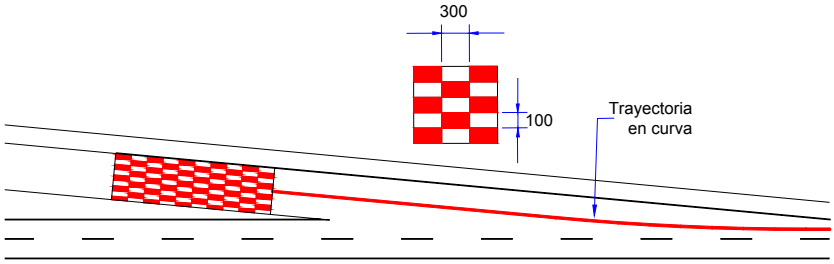


Figura 4. Croquis de la cuadrícula en el acceso a una cama de frenado

Como ya se había mencionado la deflexión de la cama de frenado respecto al camino no debe ser mayor a 5°, si se excede este valor la maniobra de ingreso a la rampa es de alto riesgo y por lo general el vehículo sufre una volcadura antes de ingresar a la misma. En México se pinta una raya roja para guiar a los conductores hacia la rampa de frenado y se han observado casos en que la trayectoria de raya tiene radios de curvatura para velocidades muy bajas, por lo tanto es muy importante cuidar la

trayectoria del acceso a la misma, ya que de nada servirá construir una cama de frenado que logre detener vehículos que ingresen a 140 km/h cuando no es posible ingresar a elevadas velocidades.

El ancho de la cama debe ser amplio para permitir un ingreso más seguro. El óptimo recomendable es de 10 a 12 m y el mínimo de 8 m. Para rampas ubicadas en un terraplén alto que involucre al conductor un riesgo adicional de salida del camino, se recomienda la instalación de una barrera de contención a todo lo largo de la cama. Lo anterior ocurre, generalmente, cuando un conductor ingresa de manera diagonal a la cama, entonces el vehículo recorre un tramo sobre la cama y posteriormente se sale o acontece una volcadura, ya que el conductor desea corregir la trayectoria, pero como se ha comentado dentro de la cama se pierde la maniobrabilidad del vehículo.

3.4 Señalamiento

La finalidad del señalamiento es prevenir, guiar, recomendar y restringir al conductor sobre el adecuado comportamiento al circular bajo condiciones desfavorables como es la falla en el sistema de frenos. El señalamiento horizontal previo a la cama de frenado se compone de: (I) la raya roja continua de 20 cm de ancho, al menos 2 km antes del acceso a la rampa (puede ser discontinua el primer kilómetro y continua el segundo) y reforzada mediante la colocación de vialetas de color rojo, a cada 10 m sobre la raya roja; (II) de las leyendas: Rampa a 2 km, Rampa a 1 km y Rampa a 500 m de color blanco sobre el pavimento; y (III) de la delimitación del acceso a la rampa mediante una cuadrícula de componentes pintados de color blanco y rojo. El señalamiento vertical se integra por señales tipo puente o bandera y/o laterales previniendo primeramente, la cercanía del descenso continuo y prolongado y la recomendación de revisar los frenos (se aconseja disponer de un área adyacente al camino para ello), después, la proximidad de la cama de frenado a 5, 4, 3 km, etc; se recomienda restringir la velocidad y con señales laterales conforme se va descendiendo informar a

los conductores sobre el comportamiento a seguir según sea el caso, es decir la leyenda de “Vehículos sin frenos siga raya roja” para los conductores con problemas de frenos y la leyenda “Ceda el paso a vehículos sin frenos” para los conductores sin problemas de frenos. La cama de frenado se delimita por indicadores de alineamiento, con reflejante rojo, aunque se ha observado que indicadores de obstáculos brindan una mejor delimitación, ubicados a cada 10 m, en ambos lados de la cama de frenado.

3.5 Profundidad

La cama de frenado debe ser construida con una profundidad mínima de 1 m; y para evitar deceleraciones excesivas y bruscas al inicio de la cama, se recomienda una transición de la profundidad de la cama de 7 a 10 cm al inicio e incrementarla paulatinamente hasta llegar a la profundidad total; en función de la longitud de la cama se sugiere tener una transición de 30 a 60 m. Para permitir el drenaje en la base de la cama se recomienda un bombeo de 1.5 a 2%.

3.6 Tipos de material a utilizar

El material en la superficie de la cama de frenado debe ser no compactable (no permitir material que pase la malla No 4) y contar con un alto coeficiente de resistencia al rodado. El material utilizado con mayor frecuencia es la gravilla de tamaño uniforme, de cantos redondeados (no triturada) y no comprimida, cuyo tamaño ideal debe estar comprendido dentro del rango ¼” a 1 ½” y con un promedio de las mismas entre ½ y ¾”; también se puede utilizar grava suelta y arena. La AASTHO recomienda que el tamaño del material empleado quede dentro de la granulometría denominada Tipo 57 (AASHTO, 2001) mostrada en la Figura 5, ya que maximiza el porcentaje de vacíos y minimiza la compactación, además debe contar con una baja resistencia al corte para permitir la penetración del neumático dentro del material.

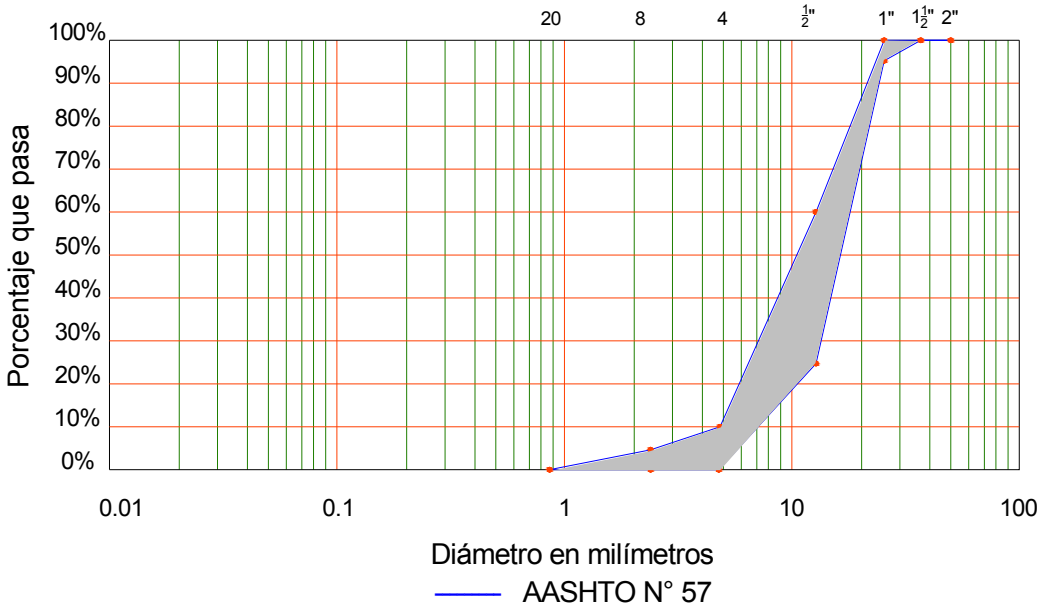


Figura 5. Distribución granulométrica recomendada por AASHTO

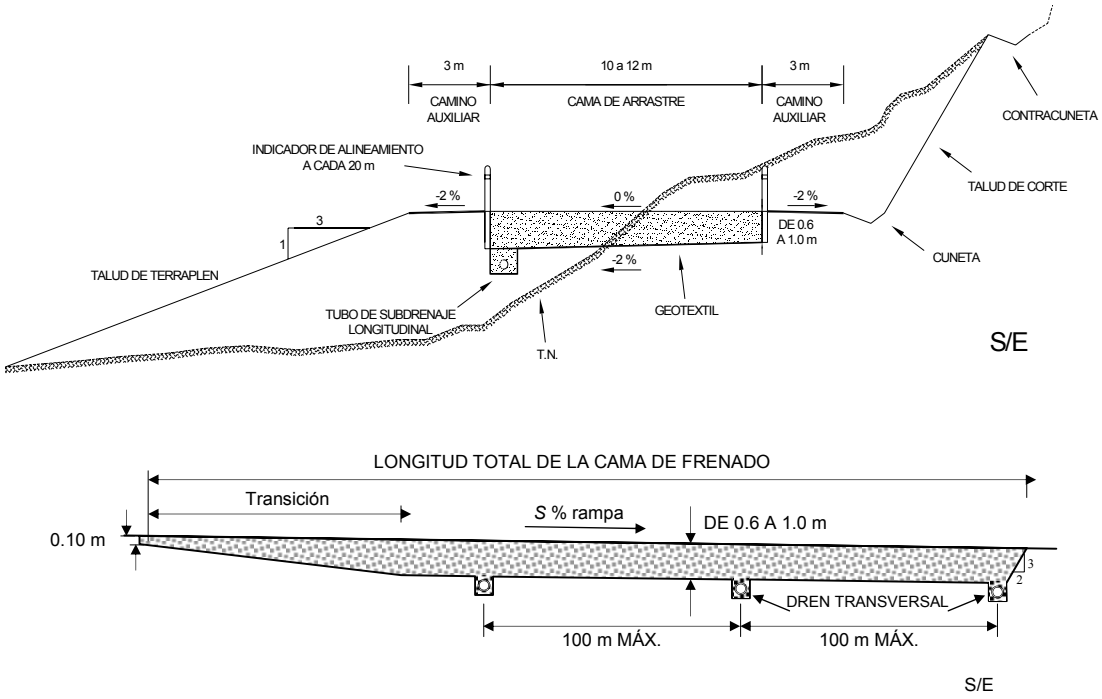
Para evaluar la durabilidad y resistencia al desgaste del material tipo grava o gravilla en la cama, se determina mediante la máquina de Los Ángeles, considerándose como máximo un valor de 30%.

3.7 Drenaje

El drenaje es un factor fundamental en la vida útil de las rampas de frenado, ya que un drenaje inadecuado puede llevar a la acumulación de partículas finas que llenen los huecos y compacte el material, ocasionando una reducción del rendimiento y por otra parte en climas fríos el congelamiento anula la eficacia de la cama.

Experiencias internacionales han demostrado que la falta de drenaje podría llevar a la inutilización de las rampas de frenado y, por lo tanto, recomiendan algunas medidas para evitar que esto suceda (Leal y Perelló, 1995). Una de las medidas básicas consiste en diseñar la rampa con una pendiente en la base e instalar un dren longitudinal para

interceptar y drenar las aguas que entren a la cama, sumado a sistemas de subdrenes transversales, principalmente en zonas de elevada precipitación pluvial (SCT, 2007). Otra recomendación es el uso de geotextiles o pavimento para evitar la infiltración de material fino desde el suelo natural y evite el drenaje del agua al pasar por la cama de frenado (SCT, 2007). En las Figuras 6 y 7 se muestra un corte transversal y longitudinal de una cama de frenado.



Figuras 6 y 7. Corte transversal y longitudinal de una cama de frenado

3.8 Mantenimiento

Ciertos tipos de actividades de mantenimiento son esenciales para el funcionamiento adecuado de las rampas de frenado. El mantenimiento requiere de un equipo adecuado (maquinaria), que asegure que la rampa esté de vuelta en funcionamiento en un período mínimo de tiempo. Con esto también se asegura que los trabajadores

abocados a esta tarea no estén expuestos a la posibilidad que un vehículo fuera de control necesite utilizar la rampa.

Para evitar su compactación, la rampa debe ser limpia sin contaminantes, escarificadas y graduadas a intervalos periódicos, incluso si no han sido utilizadas, para mantener las características de contención del material de la cama de frenado y el buen drenaje de la misma y con mayor razón si ha sido utilizada la rampa.

3.9 Rescate de vehículos

El diseño adecuado de una rampa de frenado no sólo debe estar orientado a que los vehículos fuera de control sean salvados de un alto riesgo de accidente, sino que además debe contemplar disposiciones para facilitar la remoción de los vehículos por medio de grúas u otros equipos de servicio. Para ello, es indispensable diseñar un carril auxiliar de servicio y un señalamiento, y que en su conjunto formen un diseño integral ofreciendo una mayor seguridad al momento de ingresar en este tipo de dispositivos.

El carril auxiliar debe diseñarse de manera tal que el conductor que viene en un vehículo fuera de control no lo confunda con la cama. Lo anterior tiene especial relevancia en una conducción nocturna o condiciones climáticas desfavorables. Para ello debería disponerse de un carril auxiliar con un ancho mínimo de 3 m, adyacente a la cama de frenado y al mismo costado donde se ubica la carretera. Este carril auxiliar debe permitir el acceso a camiones de remolque que acudan a retirar los vehículos atrapados. Se recomienda que el carril sea pavimentado, especialmente en zonas de lluvias, sin embargo también puede ser de material granular; también se sugiere que dentro de lo posible que el carril auxiliar retorne al camino principal.

4. CONCLUSIONES

Para entender la importancia de las rampas de frenado tendríamos que ponernos en el lugar del conductor de un vehículo sin frenos; el conductor no desea morir, ni causar daño a nadie; de ahí que la responsabilidad de ofrecer un señalamiento claro y sencillo que lo guíe hacia lo que el considera en ese momento su salvación, así como diseñar, construir y mantener en buen estado las rampas de frenado. De ahí que los tramos con pendientes descendentes prolongadas y que cuentan con rampas de frenado han evitado accidentes cuya severidad hubiera sido muy elevada y demostrando la efectividad de estos dispositivos.

Las experiencias transmitidas en el artículo son un esfuerzo por contar con mejores diseños para estos dispositivos y generar confianza en los conductores con vehículos fuera de control para ingresar a ellas, en forma segura y realizando las maniobras adecuadas.

REFERENCIAS

1. AASHTO, 2001, *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets,* Washington, EE.UU.

2. AASHTO, 1996, *Roadside Design Guide,* Washington, EE.UU.

3. CAPUFE y IMT, 2007, *Análisis, diagnóstico y proyecto ejecutivo de 16 rampas de emergencia en autopistas,* Informe final, México.

4. PENNDOT Bureau of Design, 2001, *Design Manual*, Pennsylvania, EE.UU.

5. AASHTO, 2001, *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Samplig and Testing*, 19th ed. Washington, EE.UU.

6. Leal B, Jesús M y Perelló B, Marcos, 1995, *Lechos de frenado, principales parámetros de diseño,* Centro de estudios de carreteras del CEDEX, Ministerio de Fomento, España.

7. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), 2007, *Norma APROY-NOM-036-SCT2-2007 Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana "Rampas para frenado de emergencia en carreteras",* México.

CURRÍCULUM VITAE

EMILIO FRANCISCO MAYORAL GRAJEDA

Es mexicano, ingeniero civil con estudios de posgrado en Infraestructura de Transportes. Su experiencia laboral se ha enfocado al sector transporte, colaborando con empresas privadas nacionales e internacionales. Tiene más de 19 años formando parte del grupo de investigadores del Instituto Mexicano del Transporte. Su productividad es publicada en documentos y revistas técnicas. Participa en congresos y seminarios técnicos. Respecto a la experiencia en la docencia, ha sido profesor de tiempo libre en diferentes universidades del país impartiendo materias en la rama de Ingeniería Civil y en las maestrías de Vías Terrestres e Ingeniería de Tránsito, así como en el asesoramiento de tesis de licenciatura y de maestría.

ANA CECILIA CUEVAS COLUNGA

Es mexicana, ingeniero civil con estudios de maestría en Ingeniería de Tránsito en la Universidad Autónoma de Nuevo León. La aplicación de sus conocimientos académicos se ha enfocado hacia la Ingeniería de Tránsito y la Seguridad Vial, colaborando en dependencias públicas y empresas privadas en Monterrey, principalmente. Actualmente, labora en el Instituto Mexicano del Transporte, en el área de Seguridad y Operación del Transporte, formando parte del grupo de investigadores desde hace 7 años. Su productividad como investigador es publicada en documentos e informes técnicos y difundida como ponente en congresos y seminarios técnicos.

FEDERICO ALBERTO RIVERA GUERRA

Es mexicano, Ingeniero Civil con Maestría en Ciencias con especialidad en Ingeniería de Tránsito en la Universidad Autónoma de Nuevo León. Actualmente es Investigador en el Instituto Mexicano del Transporte, en el área de Seguridad y Operación del Transporte, cuenta con experiencia de 6 años en estudios y proyectos relacionados con la Ingeniería de Tránsito enfocados a la seguridad carretera. Su

productividad como investigador es publicada en documentos e informes técnicos y difundida como ponente en congresos y seminarios técnicos.

ALBERTO MENDOZA DÍAZ

Nació en Villahermosa, Tab., el 14 de noviembre de 1956. Obtuvo el grado de Ingeniero Civil, con mención honorífica, en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM). Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Civil en la Universidad de Texas en Austin, en agosto de 1983. Obtuvo el grado de Doctor en Ingeniería, también en la Universidad de Texas en Austin, en agosto de 1986. Cursó en 2004 el Diplomado en Logística en el ITESM - Campus Estado de México. Entre 1986 y 1990 trabajó en varias firmas de consultoría de transporte, tanto nacionales como internacionales. Ha trabajado en el Instituto Mexicano del Transporte en los últimos 17 años, en el cual ocupa actualmente el cargo de Coordinador de Seguridad y Operación del Transporte.

FRANCISCO JAVIER MORENO FIERROS

Es mexicano, ingeniero civil con estudios de postgrado en ingeniería financiera, económica y de costos, con Maestría en Ingeniería con especialidad en Construcción en la Universidad Nacional Autónoma de México. Cuenta con más de 20 años de experiencia en el área de planeación, diseño, proyecto, construcción, conservación y operación de carreteras. Durante 9 años fungió como Director de Planeación y Proyectos de Carreteras en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes del Gobierno del Estado de México, actualmente ocupa el cargo de Gerente de Proyectos y Nuevas Tecnologías en Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos. En el ámbito privado, ha participado como consultor en proyectos de construcción y operación de nuevas carreteras.

RUBÉN CUELLAR SALAZAR