INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Recomendaciones de seguridad vial para rampas de emergencia para frenado en carreteras

María Cadengo Ramírez
Ana Cecilia Cuevas Colunga
Manuel Eduardo Silva Rivera

Publicación Técnica No. 708
Sanfandila, Qro.
2022

ISSN 0188-7297

Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte del Instituto Mexicano del Transporte, por María Cadengo Ramírez, Ana Cecilia Cuevas Colunga y Manuel Eduardo Silva Rivera, bajo la coordinación de Alberto Mendoza Díaz.

Esta investigación es el producto final del proyecto de investigación interna SI-05/22, “Recomendaciones de seguridad vial para rampas de emergencia para frenado en carreteras”.

Se agradece la colaboración de Jesús Manuel Chavarría Vega y Verónica Josefina Soria Anguiano, quienes apoyaron en la fase de elaboración de encuestas, y de José María Rodríguez Sarabia para la integración de los anexos 4 y 5.

Contenido

Página

Índice de figuras vii

Índice de tablas ix

Sinopsis xi

Abstract xiii

Resumen ejecutivo xv

Introducción 1

1. Antecedentes 5

1.1 Tipos de rampas 10

1.2 Inventario nacional 13

2. Necesidad y ubicación 17

2.1 Identificación de la necesidad de una rampa 17

2.2 Ubicación de la rampa de emergencia 23

3. Diseño 27

3.1 Velocidad de diseño 27

3.2 Elementos de la rampa 29

3.2.1 Longitud de la cama de frenado 30

3.2.2 Espesor de la cama de frenado 32

3.2.3 Ancho de la cama de frenado 33

3.3 Características del material para la cama 34

3.4 Señalamiento 37

3.4.1 Señalamiento horizontal 37

3.4.2 Señalamiento vertical 39

3.5 Elementos complementarios 42
3.5.1 Macizos de anclaje 42
3.5.2 Sistemas de iluminación y cámaras de monitoreo 46
3.5.3 Drenaje 46
3.5.4 Dispositivos de frenado complementarios 48
3.5.4.1 Montículos 49
3.5.4.2 Amortiguadores de impacto 51
4. Encuestas a partes involucradas 55
4.1 Conductores profesionales 55
4.1.1 Medidas de prevención 61
4.1.2 Medidas de mitigación 62
4.2 Administradores de flotas de carga 63
4.3 Gestores de infraestructura carretera 67
4.4 Diagrama de flujo de toma de decisiones 75
5. Otros hallazgos y recomendaciones 79
5.1 Surcos longitudinales 79
5.2 Operación de vehículos de rescate 80
5.3 Aplicación del GSRS en la RCF 82
5.4 Mantenimiento 86
Conclusiones 89
Bibliografía 91
Anexo 1. “Ejemplo GSRS” 93
Anexo 2. “Encuestas” 95
A2.1 Encuesta dirigida a conductores profesionales 95
A2.2 Encuesta dirigida a administradores de flotas de carga 98
A2.3 Encuesta dirigida a gestores de la infraestructura 100
Anexo 3. “Formato para recopilación de datos” 103
Anexo 4. “Detalles del inventario de rampas” 105

Anexo 5. “Características geométricas aproximadas de pendientes sostenidas” . 181

Anexo 6. “Propuesta de tríptico informativo” 185

Índice de figuras

Figura 1.1 Vehículo de carga entrando a una pendiente en descenso 5
Figura 1.2 Elementos que componen el sistema de tránsito 6
Figura 1.3 Reparto modal de las toneladas de carga en 2019 7
Figura 1.4 Teoría del queso suizo aplicado a la siniestralidad vial 7
Figura 1.5 Camión Daimler con motor de combustión 8
Figura 1.6 Esquema de un freno de tambor 9
Figura 1.7 Esquema de un freno de tambor 10
Figura 1.8 Primeros tipos de rampas de emergencia para frenado en carreteras 11
Figura 1.9 Rampas de emergencia con camas de frenado 12
Figura 1.10 Rampa de emergencia para frenado mecánica. 12
Figura 1.11 Rampas de emergencia para frenado localizadas en la RCF. 14
Figura 2.1 Determinación de necesidad de rampa de emergencia (Arizona Department of Transportation [ADOT], 2003) 18
Figura 2.2 Equilibrio de fuerzas en el descenso del vehículo de diseño 20
Figura 2.3 Relación pendiente-longitud-velocidad de descenso seguro 21
Figura 2.4 Actualización de la relación pendiente-longitud-velocidad de descenso seguro 22
Figura 2.5 Ejemplo para determinar la ubicación de una rampa de emergencia .. 24
Figura 3.1 Elementos que conforman una rampa de emergencia para frenado 29
Figura 3.2 Corte longitudinal de la cama de frenado de acuerdo con la NOM-036-SCT2-2016 33
Figura 3.3 Pea gravel vs Gravilla 35
Figura 3.4 Requisitos granulométricos para materiales que conformarán la cama de frenado 35
Figura 3.5 Longitud de la cama de frenado para distintos materiales (Ve=140 km/h) 36
Figura 3.6 Longitud de la cama de frenado para distintos materiales (Ve=100 km/h) 36
Figura 3.7 Marcado para el acceso de la rampa 38
Figura 3.8 Leyenda propuesta para indicar la distancia a la rampa de emergencia 38
Figura 3.9 Ejemplos de señales verticales restrictivas y preventivas 39
Figura 3.10 Señales informativas verticales (serie W7-4) para rampas emergencia 40
Figura 3.11 Señales informativas verticales para rampas emergencia en México 40
Figura 3.12 Señales para rampa de emergencia con color incorrecto 41
Figura 3.13 Indicadores de alineamiento a los costados de la cama de frenado .. 41
Figura 3.14 Señales verticales de “velocidad de descenso seguro” 42
Figura 3.15 Esquema de colocación de elementos complementarios 43
Figura 3.16 Esquema de colocación de macizos de anclaje e iluminación 43

Figura 3.17 Diseño de macizo de anclaje (PENNDOT)..... 44
Figura 3.18 Diseño de macizo de anclaje (ADOT) 45
Figura 3.19 Macizo de anclaje y sistema de grúa viajera..... 45
Figura 3.20 Elementos del subdrenaje..... 47
Figura 3.21 Aislamiento del cajón para la cama de frenado..... 48
Figura 3.22 Ejemplo de diseño de montículo y medio montículo transversal..... 49
Figura 3.23 Incorporación de montículos transversales en la cama de frenado ... 50
Figura 3.24 Daños posibles en un vehículo de carga..... 50
Figura 3.25 Desafortunado incidente en una rampa de emergencia..... 51
Figura 3.26 Barriles plásticos para diseño de amortiguadores de impacto 52
Figura 3.27 Rampa de emergencia complementada con barriles 52
Figura 3.28 Rampa de emergencia mecánica (Avon, Connecticut) 52
Figura 4.1 Frecuencia de mantenimiento (concesionarios)..... 70
Figura 4.2 Frecuencia de mantenimiento (CAPUFE) 71
Figura 4.3 Frecuencia de mantenimiento (Centros SICT) 71
Figura 4.4 Revisión de las características del material de la cama de frenado por tipo de red 72
Figura 4.5 Percepción de los gestores de la infraestructura sobre la frecuencia con la que los conductores con fallas en el sistema de frenos ignoran las rampas de emergencia..... 74
Figura 4.6 Motivos identificados por los gestores de la infraestructura sobre la conducta de riesgo 75
Figura 4.7 Diagrama de flujo para la toma de decisiones 76
Figura 5.1 Incorporación de montículos longitudinales en la cama de frenado..... 79
Figura 5.2 Incidente en rampa con montículos longitudinales..... 80
Figura 5.3 Paradores para revisión de frenos 83
Figura 5.4 Detalle de dispositivo para aflojar material pétreo..... 87
Figura A1.1 Gráfico longitud-pendiente-velocidad del GSRS para T3-S2 de 46.5 t 93
Figura A4.1 Formato para recolectar información de accesos a rampas de emergencia..... 104

Índice de tablas

Tabla 1.1 Localización de rampas de emergencia en la RCF de cuota 14
Tabla 1.2 Localización de rampas de emergencia en la RCF libre 16
Tabla 2.1 Condiciones para análisis de vehículos fuera de control..... 18
Tabla 3.1 Constantes A, B, C y D para velocidades de 50 a 100 km/h 31
Tabla 3.2 Constantes A, B, C y D para velocidades de 101 a 140 km/h 32
Tabla 3.3 Resistencia a la rodadura de materiales para cama de frenado 34
Tabla 4.1 Frecuencia de mantenimiento por tipo de red 70
Tabla 4.2 Labores de mantenimiento posterior al uso de la rampa de emergencia 72
Tabla 4.3 Recomendaciones en materia de seguridad vial..... 77
Tabla 5.1 Base tarifaria de los servicios de arrastre y salvamento..... 81
Tabla 5.2 Base tarifaria de los servicios de arrastre..... 81
Tabla 5.3 Hechos de tránsito registrados relacionados con la falla de frenos..... 84
Tabla A1.1 Valores longitud-pendiente-velocidad del GSRS para T3-S2 de 46.5 t 94
Tabla A5.1 Características geométricas aproximadas de las pendientes sostenidas y longitud de camas de frenado 181

Sinopsis

En este estudio se reúnen recomendaciones para la instalación y diseño de rampas de emergencia para frenado en carreteras, analizando la problemática que atiende esta infraestructura de seguridad pasiva desde las principales causas que la originan.

Para la elaboración de este estudio se realizó una búsqueda de las mejores prácticas nacionales e internacionales y se llevó a cabo una serie de encuestas para conocer y entender los puntos de vista de las principales partes involucradas en el contexto mexicano.

Además, con base en los hallazgos de esta investigación, se proponen algunas recomendaciones para la operación y mantenimiento de esta importante infraestructura de seguridad.

Con este estudio se espera contribuir al análisis holístico de la problemática causada por vehículos que pierden la eficiencia de sus sistemas de frenado, además de ser una ayuda para mejorar el diseño y operación de las rampas existentes y futuras. Todo esto con el fin de lograr una infraestructura vial de calidad que atienda las necesidades de traslado de manera segura.

Abstract

This paper collects recommendations for the installation and design of emergency scape ramps on highways, analyzing the problems that this infrastructure of passive safety addresses from the main causes that originate it.

For the elaboration of this paper, a search of the best national and international practices and a series of surveys were carried out, to identify and understand the view points of the main parties involved in the Mexican context.

In addition, based on the findings of this research, some recommendations are proposed for the operation and maintenance of this important safety infrastructure.

This paper expects to contribute to the holistic analysis of the problems caused by vehicles that lose the efficiency of their braking systems, as well as being an assistance to improve the design and operation of existing and future ramps. All this in order to achieve a quality road infrastructure that meets the needs of transportation safely.

Resumen ejecutivo

En esta publicación se presentan las principales recomendaciones para la instalación, diseño, operación y mantenimiento de rampas de emergencia para frenado en carreteras; analizando a su vez la problemática que origina la necesidad de su instalación.

Este estudio se basó en una búsqueda de literatura internacional de países que han instalado este tipo de infraestructura para enfrentar los retos que representa construir y operar carreteras seguras, a pesar de las condiciones impuestas por topografías complicadas dentro de su territorio. Además, se recolectaron experiencias y puntos de vista a través del diseño y aplicación de encuestas a los principales actores involucrados en la problemática que atienden las rampas de emergencia. Dichas encuestas fueron dirigidas a: conductores profesionales y administradores de flotas de carga al ser las rampas de emergencia infraestructura destinada principalmente hacia vehículos de carga; además, se diseñó otra encuesta dirigida a los gestores de infraestructura que opera y mantiene rampas de emergencia para recolectar su experiencia.

Finalmente, se incorporan una serie de anexos que complementan los hallazgos derivados de esta investigación.

Introducción

El sistema de tránsito se compone de tres elementos: factor humano, infraestructura y vehículos, los cuales operan en un ambiente que puede cambiar en el tiempo y espacio por cuestiones climáticas. El fallo de alguno de estos elementos puede desencadenar un siniestro vial y, para evitarlo, se deben tomar todas las medidas necesarias para que la interacción entre ellos se desarrolle de la manera más sencilla y segura posible. Para lograrlo, se deben realizar acciones contemplando esta interacción, ya que dichos elementos no actúan de manera aislada sino en conjunto con los demás.

Dado que el sistema de tránsito es operado (factor humano) y diseñado (infraestructura y vehículos) por personas, las posibilidades de que surja un error estarán siempre latentes, esto debido a la propia naturaleza falible del ser humano. Con base en este principio, lo que se debe hacer es minimizar al máximo toda posibilidad de error en los elementos del sistema de tránsito y en su interacción, así como brindar opciones de protección que actúen para minimizar las consecuencias de aquéllos que lleguen a presentarse. De esta manera, tenemos las medidas de seguridad vial activas y pasivas, donde las primeras (activas) se centran en evitar en lo posible la ocurrencia de siniestros viales y las segundas (pasivas) ayudarán a minimizar las consecuencias de un hecho ya inevitable.

Las rampas de emergencia para frenado en carreteras son parte de la infraestructura vial de seguridad pasiva, las cuales funcionan para minimizar al máximo las consecuencias de un posible siniestro vial ante una falla en el sistema de frenado de los vehículos, principalmente dirigida hacia los camiones de carga. La función de una rampa de emergencia para frenado es capturar fuera del flujo principal de tránsito a todo aquel vehículo donde su conductor haya perdido el control sobre el frenado. Esta situación se presenta esencialmente en carreteras con pendientes en descenso acentuadas y prolongadas, afectando de manera especial a los camiones de transporte de carga con pesos importantes.

Tradicionalmente la ocurrencia de siniestros de tránsito se ha asociado a faltas a la reglamentación sobre la circulación, es decir, se responsabiliza solamente al conductor. Desde este enfoque acostumbrado, para el caso específico donde un vehículo ha perdido su capacidad de frenado, la responsabilidad recae en el usuario por la falta de mantenimiento a su vehículo; sin embargo, la problemática va más allá. Como se ha comentado, al igual que en todo problema de seguridad vial, para el surgimiento de un percance vial participan (en mayor o menor medida) todos y cada uno de los elementos del sistema de tránsito (usuarios, vehículos e infraestructura); en este sentido es que deberá abordarse la problemática de los vehículos que pierden su capacidad de frenado.

Bajo esta visión, un posible fallo en el sistema de frenado de los vehículos debido ya sea a la falta de pericia del conductor, las condiciones físico-mecánicas del vehículo o a las condiciones topográficas a librar, podrían desencadenar un siniestro de graves consecuencias, tanto para los ocupantes de dicho vehículo como para aquellas personas a su alrededor. Así es como surge la necesidad de instalar rampas de emergencia para frenado en las carreteras donde, de acuerdo con sus características geométricas (alineamiento vertical), existe una considerable probabilidad de que surjan problemas de este tipo.

México es un país con una topografía muy diversa, lo cual en muchas ocasiones complica el trazo de vías de comunicación terrestre, pudiendo requerir cambios considerables de altura que derivan en diseños con pendientes pronunciadas.

Desde su implementación en las carreteras mexicanas, las rampas de emergencia para frenado han constituido un importante elemento de seguridad pasiva ante situaciones con alto potencial de riesgo. En materia normativa, estos elementos son regulados desde el año 2010 por una Norma Oficial Mexicana, la NOM-036-SCT2, cuya versión vigente al día de hoy corresponde al año 2016 (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016). En la Red Carretera Federal (RCF) actualmente se cuenta con más de 70 rampas, las cuales han salvado múltiples vidas.

El objetivo de este estudio es recopilar y resumir las mejores prácticas y recomendaciones a nivel internacional para el diseño y ubicación de rampas de emergencia para frenado en carreteras desde un enfoque de seguridad vial, documentando a su vez las mejores prácticas surgidas de la experiencia mexicana en este tipo de dispositivos de seguridad pasiva. Asimismo, busca ser un documento de consulta complementario a la NOM-036-SCT2-2016.

Para la realización de este estudio se inició con el diseño y envío de encuestas a conductores profesionales, administradores de flotas de carga y gestores de infraestructura carretera de las rampas actualmente instaladas en la RCF, con el fin de recolectar su experiencia, mejores prácticas y retos a los que se enfrentan. Posteriormente, se realizó una investigación bibliográfica sobre el diseño y colocación de rampas de emergencia para frenado en carreteras a través de Internet (artículos, manuales, recomendaciones, etc). Finalmente, se analizaron estas recomendaciones para formar un resumen considerando la realidad mexicana.

Esta investigación se alinea con el objetivo prioritario 1 del Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2020-2024 *“Contribuir al bienestar social mediante la construcción, modernización y conservación de infraestructura carretera accesible, segura, eficiente y sostenible, que conecte a las personas de cualquier condición, con visión de desarrollo regional e intermodal”*, a su estrategia prioritaria 1.2 *“Mejorar la seguridad vial en la Red Carretera Federal para el bienestar de todos los usuarios”* y sus siete acciones puntuales, así como también a la acción puntual 1.5.5 “*Aumentar la investigación científica y capacidad tecnológica vinculadas a las necesidades del sector*”.

Asimismo, este estudio se alinea con el Eje III "*Economía en lo referente a Ciencia y Tecnología del Desarrollo*" del Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 del Gobierno de la República; además, se encuentra alineado con el Objetivo 3.6 "*Desarrollar de manera transparente, una red de comunicaciones y transportes accesible, segura, eficiente, sostenible, incluyente y moderna, con visión de desarrollo regional y de redes logísticas que conecte a todas las personas, facilite el traslado de bienes y servicios, y que contribuya a salvaguardar la seguridad nacional*", con la Estrategia 3.6.1 "*Contar con una red carretera segura y eficiente que conecte centros de población, puertos, aeropuertos, centros logísticos y de intercambio modal, conservando su valor patrimonial*" y con la Estrategia 3.6.3 "*Desarrollar una infraestructura de transporte accesible, con enfoque multimodal (ferroviario, aeroportuario, transporte marítimo, transporte masivo), sostenible, a costos competitivos y accesibles que amplíe la cobertura del transporte nacional y regional*".

1. Antecedentes

Las rampas de emergencia para frenado surgen como una necesidad de seguridad vial ante la ocurrencia de siniestros viales en carreteras con pendientes descendentes considerables (en cuanto a su pendiente y longitud), a causa de fallas en el sistema de frenado de vehículos motores. Este tipo de siniestros afecta principalmente a los vehículos de carga debido a su peso, de hecho, en algunos países a este tipo de dispositivos se les conoce como “rampas de escape para camiones”.

Para entender este fenómeno, cuando un vehículo circula a través de un camino con pendiente descendente, es decir, transita de un punto con determinada altura a otro con una cota más baja, por efecto de la fuerza de gravedad éste se acelera. Dicho en otras palabras, se produce un cambio de energía potencial a energía cinética, misma que se traduce en velocidad. Para transitar con seguridad por cualquier sección de un camino, la velocidad a la que se circula debe situarse dentro de ciertos límites (establecidos a través de la velocidad máxima, por reglamento o por señales en el camino), para lo cual los vehículos disponen de mecanismos que evitan su aceleración de manera descontrolada (sistemas de frenado). De manera general, estos sistemas de frenado se componen por “frenos de servicio” y “frenos auxiliares”, los cuales a su vez pueden ser de diversos tipos. En la Figura 1.1 se ilustra un esquema de un vehículo ingresando a una pendiente en descenso en un camino, el cual requerirá accionar su sistema de frenado para controlar la velocidad durante dicho descenso.

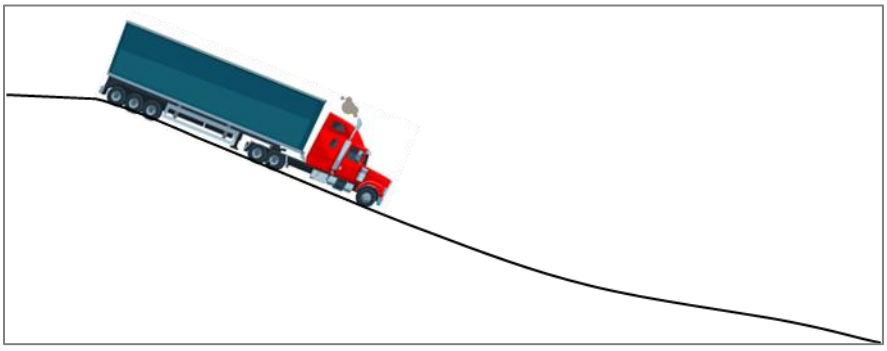


Figura 1.1 Vehículo de carga entrando a una pendiente en descenso

Pero, ¿Qué sucede si se produce una falla que inhabilita el funcionamiento de ambos tipos de frenos? Si esto sucede, se perdería el control para regular la velocidad, sería entonces como conducir un vehículo por una pendiente descendente en marcha “neutral”, el cual estaría sujeto a la aceleración que provoque la fuerza de gravedad, con una probabilidad muy alta de generar un siniestro de graves consecuencias.

Como en cualquier siniestro vial, para que éste ocurra debe producirse una falla en alguno de los elementos que componen el sistema de tránsito, entiéndase por éste la interrelación entre la infraestructura, el vehículo y los usuarios (ver Figura 1.2).

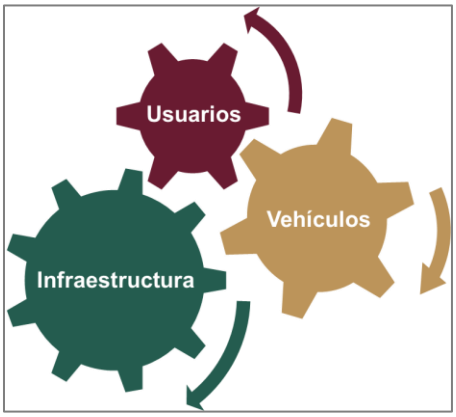
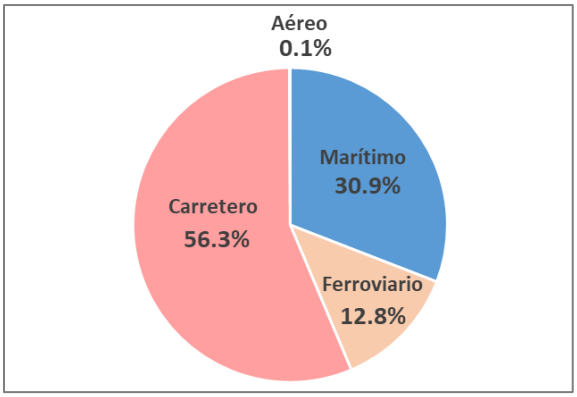


Figura 1.2 Elementos que componen el sistema de tránsito

Si algo rompe con el funcionamiento normal de este sistema, se produce el percance. Para el caso específico de las fallas en el sistema de frenado de los vehículos cuando transitan por una carretera con pendiente en descenso, el percance aparece por una ruptura a causa de la contribución de estos tres factores:

- Las condiciones propias de la carretera, que presenta pendientes descendentes exigentes y/o mala señalización de estas condiciones.
- Mala conducción por parte de los usuarios, como utilizar excesivamente el freno de servicio (lo que provoca su sobrecalentamiento y, consecuentemente, el desvanecimiento de su funcionalidad), cambios inadecuados o el desarrollo de velocidad excesiva.
- Malas condiciones físico-mecánicas en el sistema de frenado del vehículo o ajuste inadecuado de éste.

Al ser las rampas de emergencia para frenado un dispositivo de seguridad pasiva destinada principalmente a vehículos de carga, es importante tener presente el auge del autotransporte en nuestro país siendo, por mucho, el principal modo de traslado de mercancías. De acuerdo con cifras al cierre del 2021 (Dirección General de Autotransporte Federal [DGAF], 2021), el autotransporte movió en ese año el 56 % de la carga nacional y el 96 % del total de pasajeros. Estas cifras se mantienen sin cambios notables año con año, por ejemplo, para el 2019 (previo a los efectos en el transporte y la movilidad en general por la pandemia a causa del COVID-19), el autotransporte movió el 56.3 % de la carga total. En la Figura 1.3 se muestra la distribución de cómo se transportó la carga en general durante el 2019, donde se puede observar la predominante participación del transporte a través de las carreteras. Este modo de trasladar mercancías tiene numerosas ventajas, entre las que se encuentra la flexibilidad en los puntos de origen y destino, pero también tiene serias desventajas, como la convivencia en un mismo espacio de circulación de vehículos con características muy distintas entre sí (tamaño, peso, mecánica de operación, etc.) y la mayor fatiga a la estructura del pavimento.



Fuente: Elaboración propia con información de (Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario [ARTF], 2019)

Figura 1.3 Reparto modal de las toneladas de carga en 2019

A pesar de estas condiciones, la aparición de siniestros viales a consecuencia de una falla en el sistema de frenado de un vehículo de carga en carreteras con pendientes descendentes exigentes no es tan común como otro tipo de percances. Esto puede ser atribuido en parte a que los conductores profesionales encargados de la operación de vehículos pesados conocen esta problemática y están capacitados para enfrentarla. Bajo este escenario, los problemas podrían surgir cuando el factor vehículo se encuentre en malas condiciones y aparezca una falla que desencadene el "accidente" o cuando el conductor no cuente con dicha experiencia.

Por otro lado, la ocurrencia de un fallo en cualquiera de los factores que integran el sistema de tránsito tiene componentes probabilísticas, es decir, cada factor que lo integra tiene cierta probabilidad de fallo, misma que dependerá de cuantas capas de seguridad se le apliquen a cada factor. Este planteamiento corresponde a la teoría del queso suizo, en la cual cada rebanada simboliza una acción o elemento de seguridad que se integra al sistema; cada rebanada tendrá sus errores o "fallas latentes" (representada por los agujeros en las rebanadas de queso) y, en cuanto menores sean estos agujeros en tamaño y cantidad, el sistema estará más protegido ante una eventualidad. Como se puede observar en la Figura 1.4, el siniestro o percance tendrá lugar cuando, al estar en funcionamiento el sistema de tránsito, las fallas latentes se alineen.

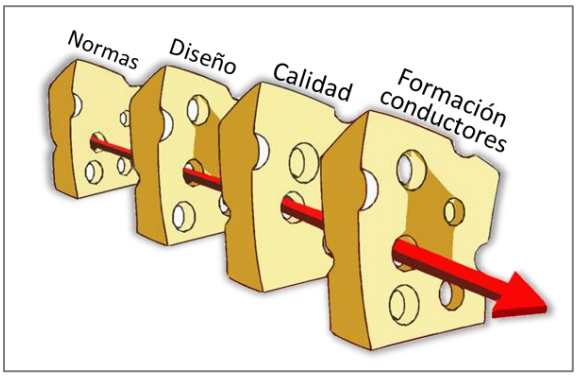


Figura 1.4 Teoría del queso suizo aplicado a la siniestralidad vial

Retomando un poco de historia, la popularización del transporte de mercancías a través de vehículos a motor en realidad no tiene mucho tiempo. La primera versión del camión con motor de combustión se atribuye a Gottlieb Daimler (ingeniero alemán pionero en la industria automotriz) en 1896, con una carga útil de 1,500 kilogramos (ver Figura 1.5). Y no es sino hasta después de la primera guerra mundial cuando se realizaron avances importantes como: neumáticos de caucho, motores de arranque eléctricos y frenos.

Fuente: roadstars.mercedes-benz-trucks.com

Figura 1.5 Camión Daimler con motor de combustión

Poco a poco los vehículos de motor comenzaron a desplazar el movimiento de mercancías a través de sistemas de tracción animal, hasta convertirse en uno de los principales medios de transporte de carga a nivel mundial (o el principal, como en el caso de México). A lo largo de ese camino, diversos retos han aparecido para el traslado eficiente y seguro tanto de personas como de mercancías.

Queda claro que las rampas de emergencia para frenado surgieron para evitar la ocurrencia de siniestros viales donde vehículos de motor perdían la capacidad de frenado y, consecuentemente, el control sobre la velocidad, en carreteras con pendientes descendentes sostenidas. Las primeras rampas trataron de emular las condiciones que buscaban los conductores que se habían enfrentado a la pérdida de control sobre el frenado, con el fin de detener sus vehículos, como tomar una salida con pendiente en ascenso o colisionar de frente con algún montículo de material a las orillas del camino. Fue así como surgieron las rampas de gravedad y las rampas de montículo (primeros tipos de rampas de emergencia para frenado). Hoy en día estos dos tipos de rampas no se recomiendan. En el siguiente inciso se explicará su funcionamiento y las grandes desventajas que tienen en comparación con otros tipos de dispositivos que han surgido para enfrentar esa problemática propia de caminos con pendientes descendentes importantes.

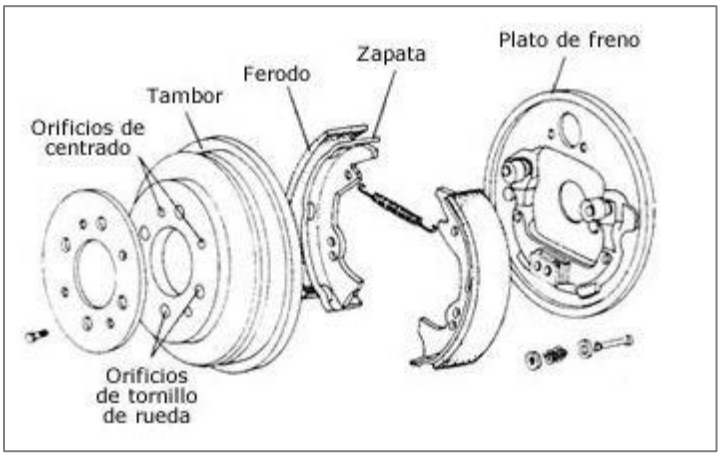
Antes de entrar de lleno al tema de estudio de este trabajo, resulta de interés mencionar de manera general algunos aspectos sobre el sistema de frenado de los vehículos motores, especialmente los instalados en vehículos de carga. Al accionar el sistema de frenado de un vehículo motorizado en movimiento, la energía cinética

que contiene se transforma principalmente en calor. Así pues, los aspectos más importantes para el correcto funcionamiento del sistema de frenos de cualquier vehículo es su capacidad para generar el rozamiento necesario para reducir la velocidad y permitir la disipación del calor producido. Como se mencionaba anteriormente, los vehículos están equipados generalmente con dos tipos de frenos: de servicio y auxiliares. En caminos con pendientes en descenso prolongadas y/o muy inclinadas, los frenos de servicio son susceptibles al fenómeno conocido como “desvanecimiento del frenado” o “brake fade” (en inglés). Por ello, es de suma importancia que el conductor conozca la manera en que funcionan dichos frenos y cómo utilizar los frenos auxiliares.

Frenos de servicio

Los frenos de servicio son los que se accionan al ejercer presión sobre el pedal correspondiente y constituyen el principal sistema para regular la velocidad de los vehículos. En este tipo de frenos se transmite una fuerza a las ruedas y, mediante fricción, se transforma la energía cinética que lleva el vehículo en calor, misma que deberá ser disipada al medio ambiente. Los frenos de servicio pueden ser de dos tipos: de discos y de tambor.

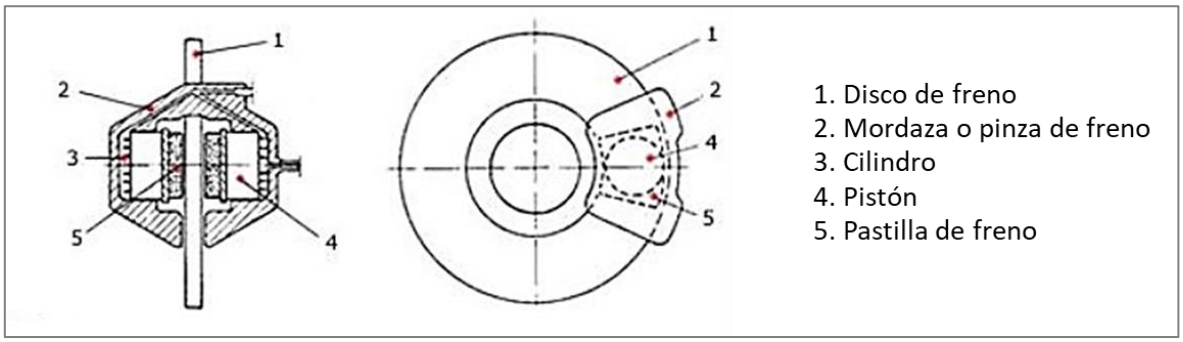
Actualmente, los frenos de tambor dominan, por mucho, el mercado de transporte de carga mexicano, el cual tiende a ser muy parecido al utilizado en Estados Unidos por su cercanía y relación comercial. De acuerdo con (Moomen, Apronti, Molan, & Ksaibati, 2018), cerca del 90 % de los camiones tienen frenos de tambor instalados en su flota. Los componentes de este tipo de freno se encuentran alojados en un tambor que gira junto con una rueda. El frenado se logra mediante zapatas que presionan los tambores para reducir la velocidad de la rueda cuando se acciona el pedal. Estos frenos son los más susceptibles al “desvanecimiento” o pérdida de efectividad debido a sus limitaciones para disipar el calor que genera su funcionamiento. Existen diferentes diseños de frenos de tambor, siendo el más común el “S-Cam”. En la Figura 1.6 se muestra un esquema de los elementos que integran el freno de tambor.



Fuente: autonocion.com

Figura 1.6 Esquema de un freno de tambor

El otro tipo de frenos de servicio corresponde a los frenos de disco, los cuales utilizan una pinza para comprimir un par de pastillas semimetálicas contra un rotor plano y restringir el movimiento de la rueda. Estos frenos son más eficientes en cuanto a distancias necesarias para detener el vehículo, además de que son menos propensos a desajustes en su funcionamiento y disipan mucho mejor el calor producido por la fricción de sus elementos (aunque también es posible que experimenten pérdida de efectividad por sobrecalentamiento). Estos frenos suelen ser más costosos que los frenos de tambor. En la Figura 1.8 se muestra un esquema con los elementos que componen la mecánica de un freno de disco.



Fuente: autonocion.com

Figura 1.7 Esquema de un freno de tambor

Frenos auxiliares

También conocidos como retardadores, éstos proporcionan un mecanismo independiente de los frenos de servicio para el control de la velocidad del vehículo. Los más comunes son: de compresión del motor, de escape, de transmisión hidráulica y de transmisión eléctrica. Entre éstos, los más usuales por mucho son los frenos de compresión del motor, los cuales funcionan convirtiendo el motor en un compresor de aire que absorbe energía.

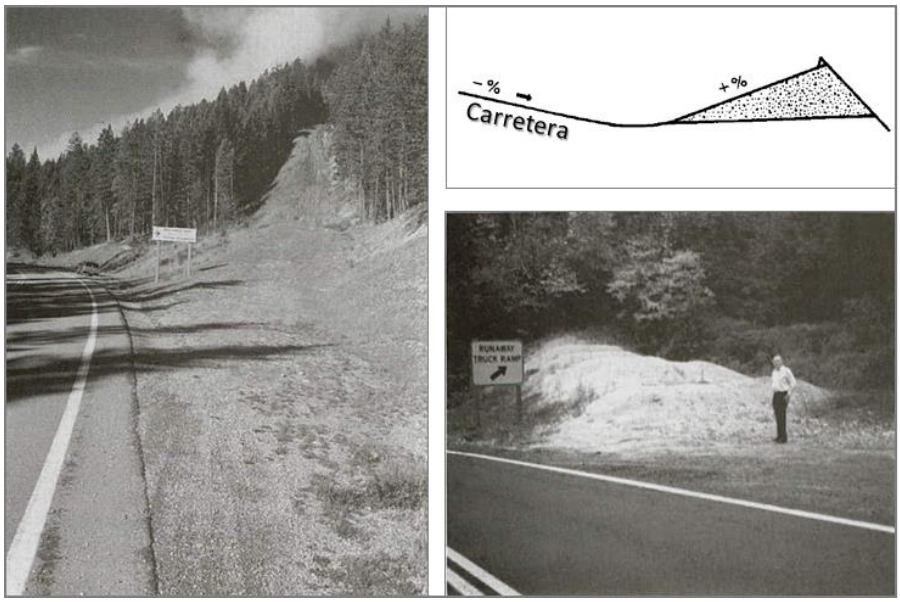
Finalmente, para concluir este inciso y a manera de resumen, conducir un vehículo en malas condiciones mecánicas no es el único factor que influye en el surgimiento de siniestros por pérdida de frenos en carreteras con pendientes en descenso. La ocurrencia de cualquier percance es generalmente multicausal y, para este tipo de eventos en específico, contribuye también la forma de manejo del conductor y el diseño de la carretera.

1.1 Tipos de rampas

A través de los años, se han creado distintos tipos de dispositivos para atender la necesidad de detener de manera segura a vehículos que han perdido su capacidad de frenado. De acuerdo con (National Cooperative Highway Research Program [NCHRP], 1992), el primer dispositivo para servir a este propósito se instaló en 1956 en California, Estados Unidos. Como se menciona en el inciso anterior, los primeros dos tipos fueron las llamadas rampas de gravedad y rampas de montículo.

Las rampas de emergencia para frenado de gravedad, como su nombre lo indica, detienen el vehículo apoyándose de la fuerza de atracción de la tierra. Su diseño consistía en construir un camino de salida del flujo de tránsito, con una pendiente ascendente que contrarrestara la energía cinética del vehículo, disminuyendo así de manera gradual su velocidad. El gran problema de este tipo de rampas era que el vehículo, una vez detenido, podía acelerarse nuevamente, pero esta vez de reversa, lo cual no eliminaba el problema y podía provocar distintos escenarios como colisiones con vehículos circulando de manera normal sobre la carretera, salidas del camino, escuadre (en caso de vehículos articulados) o volcamientos. En la imagen a la izquierda de la Figura 1.8 se observa una rampa de emergencia de gravedad construida lateral a la carretera.

En su momento, otro tipo de rampas de emergencia para frenado fueron las “de montículo” las cuales consistían en el acomodo de una pila de arena suelta al lado de la carretera donde se presentaban problemas de vehículos fuera de control. El problema con este segundo tipo de rampas era que el frenado era muy brusco, pudiendo producir daños severos en el vehículo, la carga y, por su puesto, en los ocupantes. Además, este tipo de rampas requerían que el material que las componía (arena) fuese constantemente “aflojado” para que no se consolidase y constituyese un riesgo más que una opción de seguridad. Este aflojado de la arena podía llegar a ser cada 7 días, dependiendo de las condiciones climáticas del entorno. En las imágenes a la derecha de la Figura 1.8 se observa (arriba) el corte longitudinal de un esquema de este tipo de rampas y (abajo) una fotografía de cómo eran instaladas.

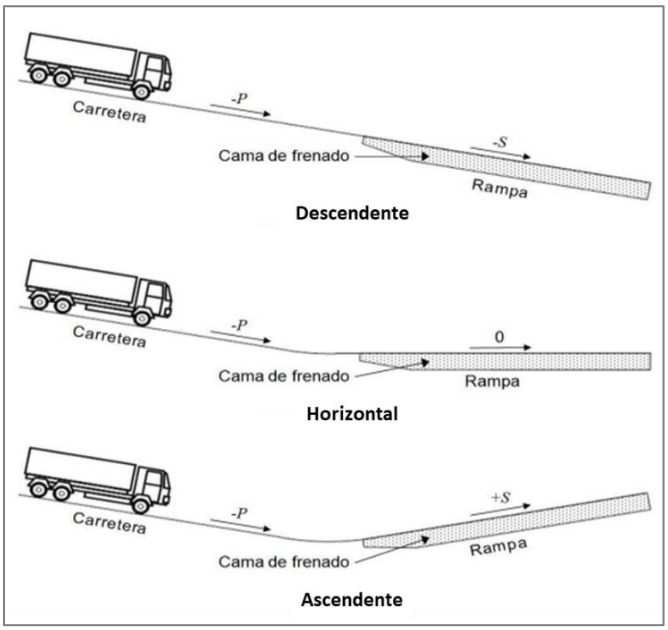


Fuente: (National Cooperative Highway Research Program [NCHRP], 1992)

Figura 1.8 Primeros tipos de rampas de emergencia para frenado en carreteras

Actualmente, las rampas de emergencia que se construyen en México son del tipo “cama de frenado”, las cuales se clasifican a su vez en: ascendentes, horizontales y descendentes. Este tipo de rampas están compuestas por una “cama” de material

suelto alojado en un cajón de determinada profundidad, que hacen que el vehículo fuera de control se quede atascado en ella. En la Figura 1.9 se muestran los tres tipos de rampas de cama de frenado, cuya única diferencia es la contribución de la fuerza de gravedad en la detención del vehículo.



Fuente: (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016)

Figura 1.9 Rampas de emergencia con camas de frenado

Las rampas de emergencia con cama de frenado tienen un diseño particular para que funcionen de manera segura, como es la transición de su profundidad, la cual comienza con poco espesor a la entrada. La función de este incremento progresivo del grosor es para lograr un frenado gradual y que, tanto el vehículo como los pasajeros y la carga, no sufran daños.

Existe otro tipo de rampa de emergencia, la cual funciona de manera mecánicas a través de redes que van desacelerando gradualmente al vehículo fuera de control. Este es un sistema patentado denominado “Dragnet”. Su diseño permite accionar diferente número de redes dependiendo de la velocidad y peso del vehículo a detener. En la Figura 1.10 se muestra un par de fotografías de este sistema.

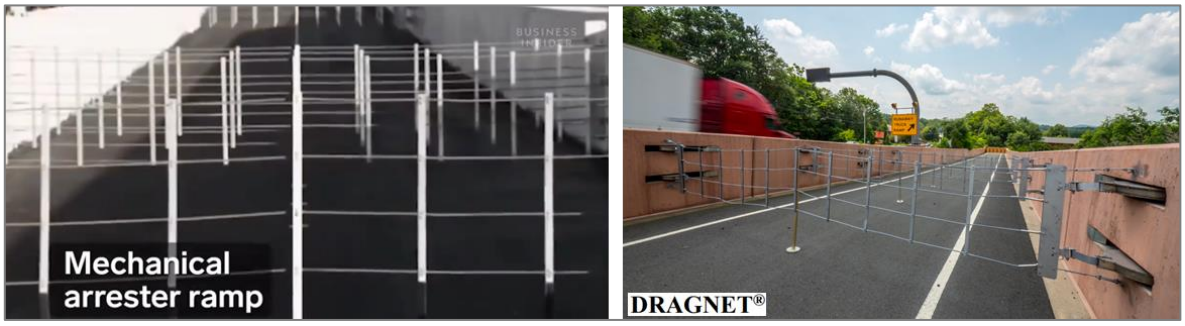


Figura 1.10 Rampa de emergencia para frenado mecánica.

La gran ventaja de estas rampas mecánicas es la menor longitud que demandan para su funcionamiento, así como el ahorro en tareas de conservación en caso de no utilizarse. Con respecto a esto último, por ejemplo, una rampa de emergencia con cama de frenado requiere de mantenimiento periódico sea o no utilizada, principalmente en lo que respecta al aflojado y limpieza del material que conforma la cama para evitar su consolidación y contaminación. Ahora bien, respecto a las rampas mecánicas, su principal desventaja recae en el mayor costo inicial. De acuerdo con (Valdes, Strong, & Shuler, 2018), el costo final de construcción de un sistema de este tipo (en ese año y para las condiciones de circulación de los vehículos de carga en Colorado -peso y velocidades-) rondó los 2.8 millones de dólares.

Las recomendaciones vertidas en este estudio se enfocan a las rampas de emergencia del tipo “cama de frenado”, que son las instaladas hoy en día en distintos caminos que conforman la Red Carretera Federal (RCF) de México. Los recursos utilizados fueron:

i. Revisión de bibliografía internacional, principalmente de los estados norteamericanos que por su topografía tienen instalada infraestructura de este tipo.
ii. Encuestas a partes involucradas (conductores profesionales, administradores de flotillas de vehículos de carga y gestores de infraestructura carretera); todos ellos mexicanos.

1.2 Inventario nacional

Con base en una búsqueda de registros sobre instalaciones de rampas de emergencia para frenado en la RCF mexicana, se localizaron un total de 57 rampas en la red de cuota y 18 en la red libre de peaje. Es importante mencionar que no todas estas rampas se encuentran en funcionamiento, ya que algunas se encuentran en franco deterioro o cerradas por tareas de mantenimiento. Adicionalmente, es probable que existan más (no detectadas o de nueva creación).

Cabe señalar que la tarea de localización de rampas de frenado en la RCF no fue una tarea sencilla, puesto que no se encuentra disponible ningún registro público o concentrado que indique en dónde se han construido o, más aún, cuáles se encuentran operando actualmente. En la Figura 1.11 se muestra un mapa con las rampas detectadas, indicando con color rojo las construidas en la red de carreteras de cuota y en verde las ubicadas en la red libre. Como se puede observar, la mayoría de las rampas se encuentran en la zona centro del país, principalmente en el Estado de México (nueve en la red de cuota y siete en la red libre), Puebla (11 rampas en la red de cuota) y Michoacán (siete en la red de cuota). Los otros estados en donde se identificaron rampas de emergencia son: Guerrero (cinco en red de cuota), Chiapas (cuatro en red de cuota y una en red libre), Veracruz (cuatro en red de cuota), Nayarit (cuatro en red libre), Durango (tres en red de cuota), San Luis Potosí (tres en red de cuota), Tlaxcala (dos en red de cuota y una en red libre), Querétaro (dos en red de cuota), Morelos (una en cuota y otra en libre), Nuevo León

(una en cuota y dos en libre), Ciudad de México (una en cuota y otra en libre), Coahuila (una en cuota), Jalisco (una en cuota), Campeche (una en cuota) e Hidalgo (una en libre). Además, una rampa se identificó justo en los límites de los estados de Tlaxcala y Puebla.

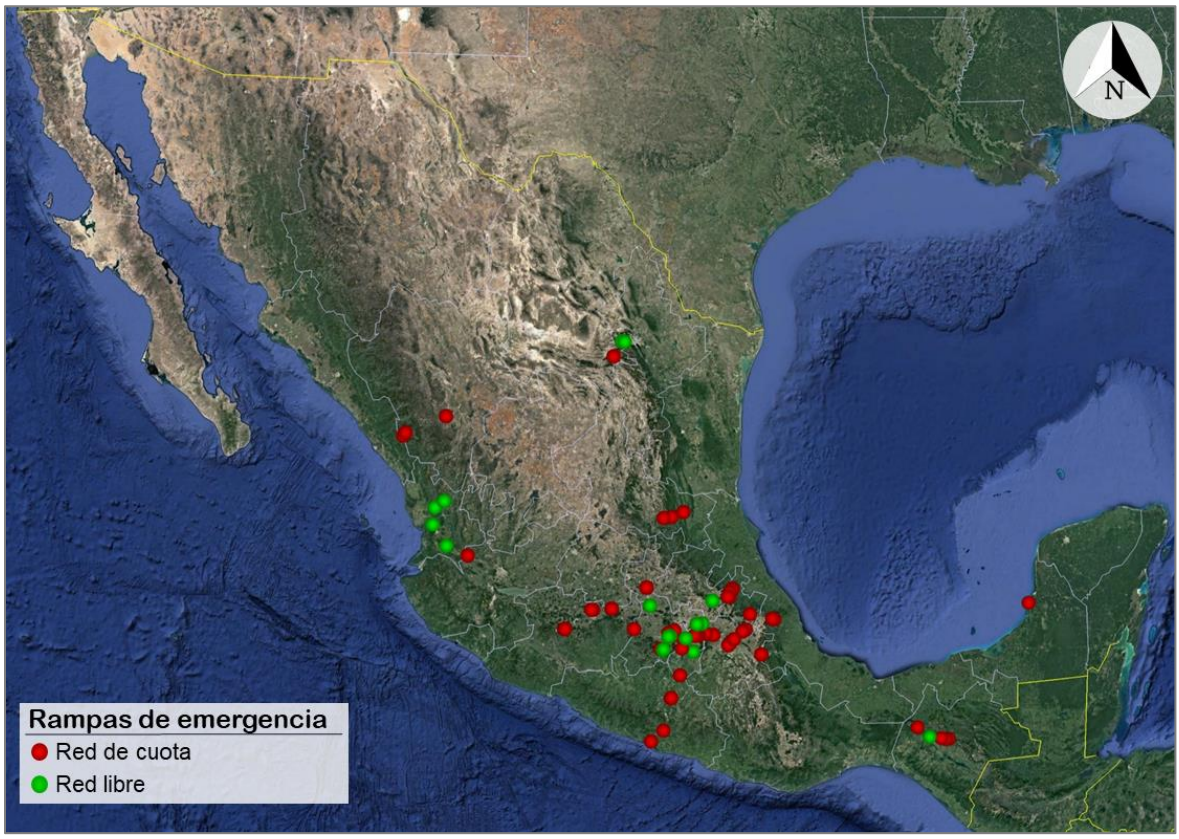


Figura 1.11 Rampas de emergencia para frenado localizadas en la RCF.

Para mayor detalle y precisión en la ubicación de cada una de estas rampas, en la Tabla 1.1 y Tabla 1.2 se presenta información sobre la ruta, carretera, kilómetro, sentido y coordenadas geográficas de aquellas localizadas en la RCF de cuota y libre, respectivamente.

Tabla 1.1 Localización de rampas de emergencia en la RCF de cuota

Ruta	Carretera	KM	Sentido	Latitud	Longitud
132 D	Nuevo Necaxa-Tihuatlán	147+200	1	20.245952	-98.034729
132 D	Nuevo Necaxa-Tihuatlán	156+840	1	20.295896	-97.966765
132 D	Nuevo Necaxa-Tihuatlán	161+070	1	20.329337	-97.960184
132 D	Tejocotal-Nuevo Necaxa	127+650	1	20.145465	-98.075621
132 D	Tejocotal-Nuevo Necaxa	133+000	1	20.136614	-98.029995
132 D	Tejocotal-Nuevo Necaxa	139+280	1	20.181306	-98.026408
40 D	Saltillo-Monterrey	80+560	1	25.696837	-100.592306
180 D	Champotón-Campeche	175+970	2	19.641648	-90.667483
95 D	Cuernavaca-Acapulco	154+900	2	18.423935	-99.175689
95 D	Cuernavaca-Acapulco	221+350	2	17.921950	-99.373157
95 D	Cuernavaca-Acapulco	223+570	2	17.906556	-99.383067

(continuación)

Tabla 1.1 Localización de rampas de emergencia en la RCF de cuota

Ruta	Carretera	KM	Sentido	Latitud	Longitud
95 D	Cuernavaca-Acapulco	319+200	1	17.188143	-99.541689
40 D	Durango-Mazatlán	24+250	2	24.002918	-104.754212
40 D	Durango-Mazatlán	143+600	1	23.614883	-105.701017
40 D	Durango-Mazatlán	155+350	1	23.548943	-105.755988
145 D	Las Choapas-Ocozocoautla	160+500	2	17.016545	-93.509776
95 D	México-Cuernavaca	66+210	1	19.021269	-99.139919
150 D	México-Puebla	35+650	2	19.301698	-98.850739
150 D	México-Puebla	39+220	2	19.315498	-98.819981
150 D	México-Puebla	46+900	2	19.301259	-98.765210
150 D	México-Puebla	50+700	2	19.305468	-98.745806
150 D	México-Puebla	72+130	1	19.342156	-98.589477
57 D	México-Querétaro	157+420	1	20.362795	-99.972258
57 D	México-Querétaro	158+580	1	20.368588	-99.981493
150 D	Acatzingo-Cd. Mendoza	233+820	1	18.851443	-97.284543
150 D	Acatzingo-Cd. Mendoza	235+680	1	18.851131	-97.274450
57 D	Puerto México-La Carbonera	228+540	1	25.377700	-100.794206
190 D	Tuxtla Gutiérrez-San Cristóbal de las Casas	13+300	2	16.720664	-92.920298
190 D	Tuxtla Gutiérrez-San Cristóbal de las Casas	25+560	2	16.691863	-92.815940
190 D	Tuxtla Gutiérrez-San Cristóbal de las Casas	34+780	2	16.687984	-92.736583
140 D	Perote-Banderilla	135+500	1	19.636619	-97.025294
140 D	Perote-Banderilla	144+180	1	19.618454	-96.972178
140 D	Amozoc-Perote	2+090	2	19.073847	-98.061014
140 D	Amozoc-Perote	8+890	2	19.116478	-98.014601
140 D	Amozoc-Perote	22+500	1	19.205578	-97.925619
140 D	Amozoc-Perote	50+830	2	19.372396	-97.723368
140 D	Amozoc-Perote	60+330	1	19.411737	-97.650175
70 D	Rayón-Ent. Tamuín (Río Verde-Ciudad Valles)	6+250	2	21.878238	-99.588359
70 D	Rayón-Ent. Tamuín (Río Verde-Ciudad Valles)	32+460	1	21.901474	-99.400075
70 D	Rayón-Ent. Tamuín (Río Verde-Ciudad Valles)	70+120	1	22.004533	-99.120830
15 D	Guadalajara-Tepic	69+100	1	21.003129	-104.141501
-	Toluca-Naucalpan	12+200	2	19.361296	-99.463981
-	Toluca-Naucalpan	34+520	1	19.422396	-99.324216
-	Arco Norte	221+600	1	19.309842	-98.408323
15 D	México-Toluca	28+420	2	19.312886	-99.339522
15 D	México-Toluca	39+680	1	19.294517	-99.421214
15 D	México-Toluca	40+860	1	19.291915	-99.431849
-	Tenango-Ixtapan de la Sal	18+460	1	19.011655	-99.643874
-	Zitácuaro-Lengua de Vaca	3+660	2	19.455763	-100.258186
-	Virreyes-Teziutlán	110+770	1	19.752253	-97.549703
14 D	Libramiento Poniente de Morelia	1+680	2	19.875805	-101.212094
14 D	Libramiento Poniente de Morelia	6+800	2	19.876302	-101.251441
14 D	Pátzcuaro-Uruapan	84+400	1	19.446932	-101.853455
14 D	Pátzcuaro-Uruapan	86+450	1	19.444258	-101.872957
15 D	Maravatío-Zapotlanejo	201+170	1	19.900410	-100.778344
15 D	Maravatío-Zapotlanejo	201+500	1	19.900807	-100.781467
95 D	Libramiento norte de Acapulco	3+670	2	16.944572	-99.824161

Nota: No todas se encuentran actualmente en funcionamiento

Tabla 1.2 Localización de rampas de emergencia en la RCF libre

Ruta	Carretera	KM	Sentido	Latitud	Longitud
MEX-190	Tapanatepec-Tuxtla Gutiérrez	143+200	1	16.775815	-93.207657
MEX-113	San Gregorio-Oaxtepec	14+700	2	19.243727	-99.053963
MEX-130	Pachuca-Túxpam	38+640	1	20.065199	-98.433972
MEX-136	Los Reyes-Zacatepec	31+980	2	19.552811	-98.798863
MEX-136	Los Reyes-Zacatepec	33+760	2	19.547211	-98.783049
MEX-015	México-Toluca	39+800	1	19.295579	-99.420029
MEX-015	México-Toluca	44+340	1	19.284630	-99.459778
MEX-055	Toluca-Axixintla	39+200	1	19.004337	-99.569344
MEX-055	Toluca-Axixintla	44+000	1	18.979767	-99.579229
MEX-055	Libramiento Acambay	8+400	2	19.971078	-99.893634
MEX-115	Santa Bárbara-Izúcar de Matamoros	56+540	1	18.944799	-98.879926
-	Estación Ruiz-Valparaíso	32+200	1	22.019706	-104.943530
-	Estación Ruiz-Valparaíso	86+900	1	22.169470	-104.730640
MEX-015	Guadalajara - Tepic	177+780	2	21.198081	-104.645789
MEX-015	Tepic-Mazatlán	22+520	2	21.648133	-104.982440
MEX-040	Saltillo-Monterrey	53+500	1	25.702777	-100.593248
MEX-040	Saltillo-Monterrey	60+740	1	25.696162	-100.529186
MEX-136	Los Reyes-Zacatepec	47+080	1	19.565418	-98.671865

Nota: No todas se encuentran actualmente en funcionamiento

En el Anexo 4. “Detalles del inventario de rampas”, se proporciona mayor información sobre cada rampa identificada, así como la imagen más reciente disponible en la aplicación Google Street View, la pendiente en descenso que en principio origina su instalación y el alineamiento horizontal de dicha pendiente descendente.

2. Necesidad y ubicación

Unas de las primeras preguntas que surgen cuando se plantea la idea de instalar una rampa de emergencia para frenado en carreteras es ¿Cuándo se justifica su construcción? o ¿Qué se ha de considerar para identificar su necesidad?

Actualmente la norma mexicana que guía los lineamientos básicos para la construcción de estos dispositivos (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016), indica en el Capítulo 5 que su construcción sólo debe considerarse bajo las siguientes dos circunstancias (no excluyentes entre sí):

[1] Cuando, por efecto de un alineamiento vertical descendente, los vehículos con los frenos dañados puedan acelerarse a velocidades mayores que las toleradas por el alineamiento horizontal o hasta 140 km/h.

[2] Cuando ocurra al menos un accidente fatal al año a causa de vehículos sin frenos o cuando los accidentes causados por vehículos sin frenos puedan resultar en colisiones con otros vehículos o instalaciones ocupadas por otras personas, como en la entrada de las poblaciones o en zonas en donde puede haber vehículos detenidos por situaciones debidas a la operación del tránsito (como en las plazas de cobro).

Al ser este documento una guía de aplicación general, parecen suficientes estos lineamientos. Sin embargo, en la práctica se requieren argumentos técnicos más precisos para tomar la decisión de proyectar e instalar una rampa de emergencia, es decir, su “necesidad”, así como el lugar en donde su uso será más eficiente (en relación al porcentaje de vehículos en descontrol captados exitosamente). Así pues, en este capítulo se presentan algunos conceptos utilizados en otros países para determinar tanto la necesidad como la ubicación de una rampa de emergencia para frenado en carreteras.

2.1 Identificación de la necesidad de una rampa

Algunos de los factores usualmente considerados en diversos países para justificar la instalación de una rampa de emergencia para frenado son los siguientes:

a) Problemas en el sistema de frenado de vehículos, especialmente en vehículos pesados, lo cual comúnmente se detecta por el olor a balatas en la zona.
b) Ocurrencia de siniestros que involucran vehículos con fallas en el sistema de frenado.
c) Condiciones al final de la pendiente que requieren una disminución considerable de la velocidad o una detención total.

d) Combinación de longitud y pendiente del alineamiento vertical en descenso.
e) Porcentaje de vehículos de carga.
f) Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA).

Por ejemplo, en los departamentos de transporte de Arizona y de California en Estados Unidos utilizan la gráfica presentada en la Figura 2.1 que, con base en una combinación del porcentaje de la pendiente en descenso y su longitud, recomienda considerar o no la instalación de rampas de emergencia.

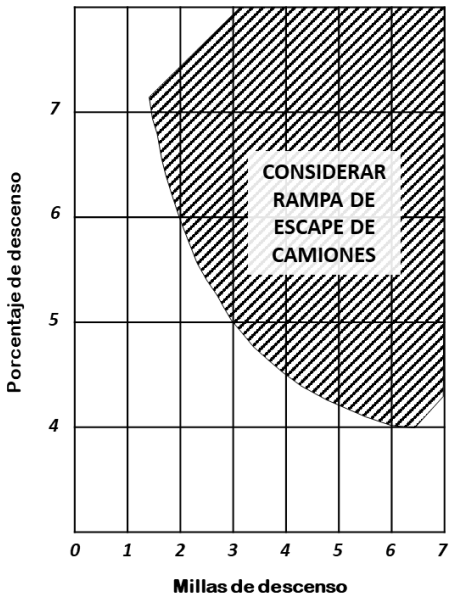


Figura 2.1 Determinación de necesidad de rampa de emergencia (Arizona Department of Transportation [ADOT], 2003)

En Australia también se utiliza un criterio que combina porcentaje-longitud de la pendiente en descenso, donde la autoridad de carreteras y tránsito señala como condiciones típicas para el análisis de vehículos fuera de control las presentadas en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Condiciones para análisis de vehículos fuera de control

Pendiente	Longitud mínima continua (*km*)
-3 %	8.0
-5 %	3.1
-7 %	1.9
-9 %	1.4
-12 %	1.0

Fuente: (Austroads, 2022)

Otro país que utiliza un criterio para establecer la necesidad de una rampa de emergencia combinando porcentaje y longitud de pendiente es Chile, donde su Manual de Carreteras justifica la necesidad de un “lecho de frenado” (que es como le llaman a estos dispositivos) cuando se tienen pendientes descendentes

sostenidas superiores a 5 % y un indicador CN > 60. El indicador CN se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$CN = i^2 L \tag{2.1}$$

Donde:

CN = Indicador de severidad de pendientes en descenso

i = Inclinación de la pendiente en descenso, en %

L = Longitud de la pendiente en descenso, en km

Así pues, varios países o regiones que enfrentan la problemática de la pérdida en la eficiencia del sistema de frenado de vehículos de motor en sus carreteras, dados los retos que supone su topografía, utilizan criterios reactivos (presencia evidente de la problemática) o provisorios (combinación de pendiente-longitud del alineamiento vertical en descenso) para justificar la instalación de rampas de emergencia para frenado. Los criterios reactivos son, obviamente, utilizados en carreteras ya construidas, es decir, que se encuentran en operación; mientras que los criterios provisorios son utilizados especialmente en proyectos de carreteras nuevas. En ambos casos se sugiere considerar también las características del tránsito (TDPA y porcentaje de vehículos de carga) y las condiciones que se encuentran al final de la cuesta abajo.

Estos criterios para detectar dónde es necesaria una rampa de emergencia enfrentan la problemática, pero no analizan el origen de ésta, es decir, ¿Por qué se puede desvanecer la funcionalidad del frenado de un vehículo? En la búsqueda de literatura internacional que habla sobre esta problemática encontramos el Grade Severity Rating System (GSRS), cuyas primeras publicaciones se remontan a la década de los 80‘s (Myers, Ashkenas, & Johnson, 1980). Esta metodología se enfoca en estudiar la mecánica de operación del sistema de frenado de los vehículos de carga y analiza el porqué de sus fallas. A pesar de haber sido desarrollado hace ya cuatro décadas, el GSRS sigue siendo vigente de manera general, puesto que su análisis se basa en el fenómeno de desvanecimiento (por sobrecalentamiento) de la funcionalidad de los frenos de servicio de tambor, los cuales continúan siendo de uso muy común en los vehículos de carga en México y una de las principales causas de falla en el sistema de frenado de vehículos que transitan por pendientes sostenidas en descenso.

Para comprender la pérdida en la eficiencia de los frenos por sobrecalentamiento, la metodología del GSRS se basa en una serie de análisis termodinámicos que arroja las siguientes ecuaciones, con base en un vehículo de diseño (Bowman, 1989):

$$T_f = T_o + (T_\infty - T_o + K_2\, HP_B)\left(1 - e^{-K_1 L/V}\right) \tag{2.2}$$

$$HP_B = \frac{F_B\, V}{375} = \left(W\theta - F_{drag}\right)\frac{V}{375} - HP_{eng} \tag{2.3}$$

$$K_1 = 1.23 + 0.0256\,V \tag{2.4}$$

$$K_2 = \frac{1}{0.1+0.00208\,V} \tag{2.5}$$

$$F_{drag} = 450 + 17.25\,V \tag{2.6}$$

$$HP_{eng} = 73 + 100\,K_{ret} \tag{2.7}$$

Donde:

T_f = Temperatura de los frenos al final de la pendiente en descenso, en °F

T_o = Temperatura de los frenos al inicio del descenso, en °F

T_∞ = Temperatura ambiente, en °F

K_2 = Constante, en °F/hp

HP_B = Retardo máximo del motor, en hp

F_B = Fuerza de frenado, en hp

K_1 = Constante, en 1/h

L = Longitud de la pendiente desde el inicio del descenso, en millas

V = Velocidad de circulación al inicio del descenso, en Millas/hora

W = Peso del vehículo, en libras

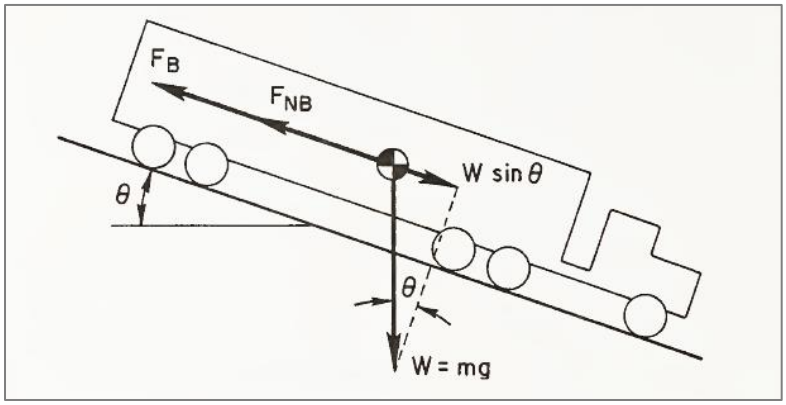
θ = Pendiente del descenso, en porcentaje

F_{drag} = Fuerzas de arrastre

HP_{eng} = Potencia del motor, en hp

K_{ret} = Constante de freno de motor (“cero” cuando se encuentra apagado)

El vehículo de diseño con el cual se realizó el cálculo para la aplicación de esta metodología es un tracto-camión articulado de cinco ejes, mediante el cual se estimaron los coeficientes K_1 y K_2, así como el efecto de las fuerzas de arrastre F_{drag}. En la Figura 2.2 se presenta el esquema de este vehículo de diseño y las fuerzas actuantes en el descenso.



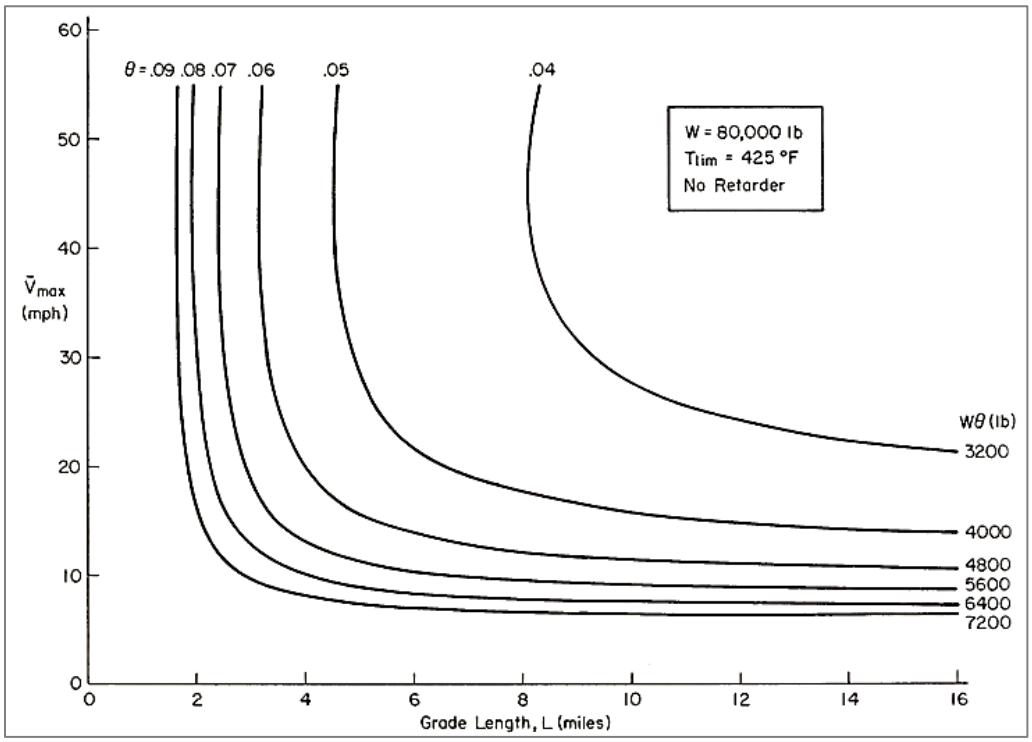
Fuente: (Myers, Ashkenas, & Johnson, 1980)

Figura 2.2 Equilibrio de fuerzas en el descenso del vehículo de diseño

Para aplicar la ecuación (2), (Myers, Ashkenas, & Johnson, 1980) consideraron una temperatura inicial de los frenos (T_o) de 150 °F (65.56 °C), una temperatura ambiente (T_∞) de 90 °F (32.22 °C) y una potencia del motor del vehículo (HP_{eng}) igual a 73 hp (considerando el freno de motor apagado). Asimismo, para resolver dicha ecuación, se propone un límite para la temperatura T_f, por encima de la cual comienza la pérdida de eficiencia en el sistema de frenado.

La finalidad de esta metodología está más enfocada a prevenir la falla de los frenos que a indicar bajo qué condiciones de pendiente en descenso es necesaria una rampa, puesto que el producto de su aplicación es el diseño e instalación de "señales específicas de velocidad de descenso seguro" de acuerdo con el peso del vehículo. Sin embargo, también nos ayuda a analizar si es o no justificable el proponer una rampa de emergencia y en dónde se recomienda ubicarla.

En la Figura 2.3 se muestra una de las gráficas obtenidas aplicando esta metodología, donde a partir de las condiciones de la pendiente (porcentaje y longitud) podemos establecer la velocidad de descenso seguro de los vehículos, misma que se lee en las ordenadas de esta figura. Si la velocidad de operación de los vehículos de carga al iniciar la pendiente en descenso es superior a esta velocidad de descenso seguro, entonces se justifica la instalación de una rampa.



Fuente: (Myers, Ashkenas, & Johnson, 1980)

Figura 2.3 Relación pendiente-longitud-velocidad de descenso seguro

Aunque como se menciona anteriormente esta metodología sigue vigente, también es cierto que ha habido mejoras en cuanto a la aerodinámica y potencia de los vehículos de carga, por lo cual (Moomen, Apronti, Molan, & Ksaibati, 2018) realizó

una actualización para el cálculo de los coeficientes K_1 y K_2, así como para las fuerzas de arrastre F_{drag}. Estas actualizaciones se presentan en las siguientes tres ecuaciones:

$$K_1 = 1.5(1.1852 + 0.0331\,V) \tag{2.8}$$

$$K_2 = \frac{1}{0.1602+0.0078\,V} \tag{2.9}$$

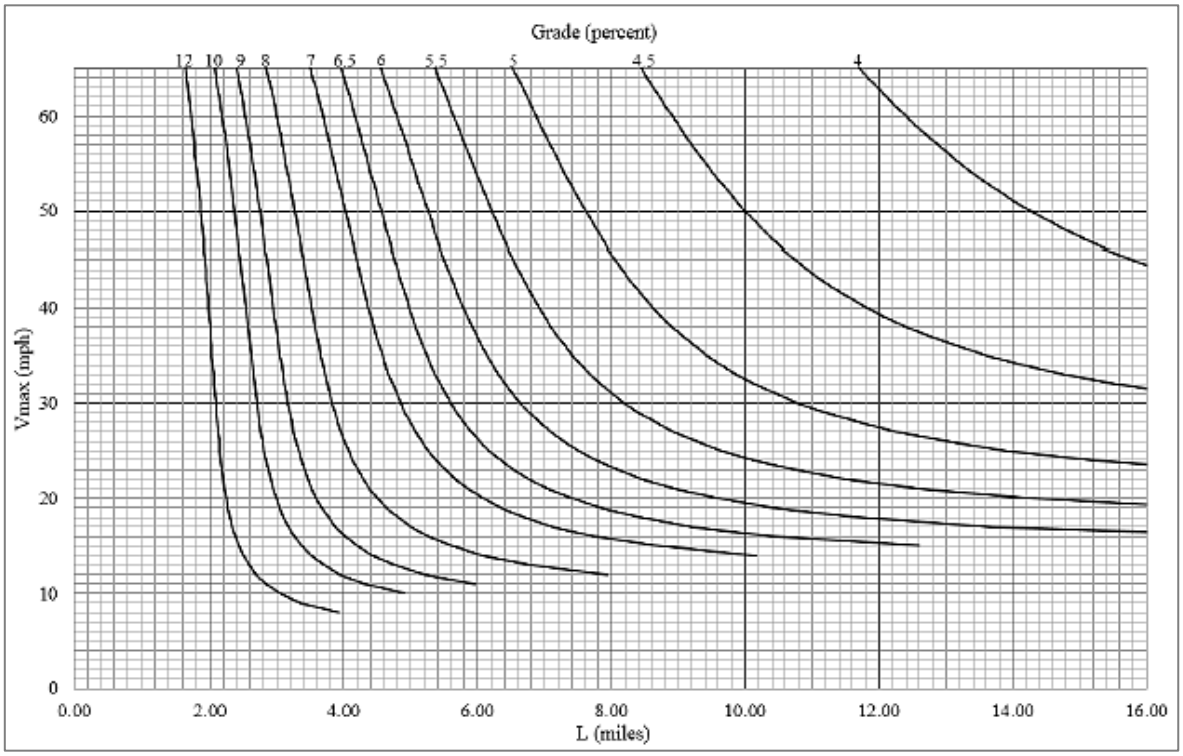
$$F_{drag} = 459.35 + 0.132\,V^2 \tag{2.10}$$

Además, se considera una potencia del motor del vehículo (HP_{eng}) igual a 63.3 hp, considerando igualmente para el análisis el freno de motor apagado.

Otra consideración importante es que se toma en cuenta el efecto de una maniobra de frenado de emergencia, por lo cual se reduce la temperatura límite de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$T_E = 3.11 \times 10^{-7} W V^2 \tag{2.11}$$

De esta manera, se construyen gráficos similares a los elaborados en la propuesta inicial del GSRS. En la Figura 2.4 se presenta un gráfico considerando las ecuaciones 2.9, 2.10 y 2.11, para un tracto-camión con un peso de 80,000 libras (36.3 toneladas) y una temperatura límite de 500 °F (260 °C).



Fuente: (Moomen, Apronti, Molan, & Ksaibati, 2018)

Figura 2.4 Actualización de la relación pendiente-longitud-velocidad de descenso seguro

2.2 Ubicación de la rampa de emergencia

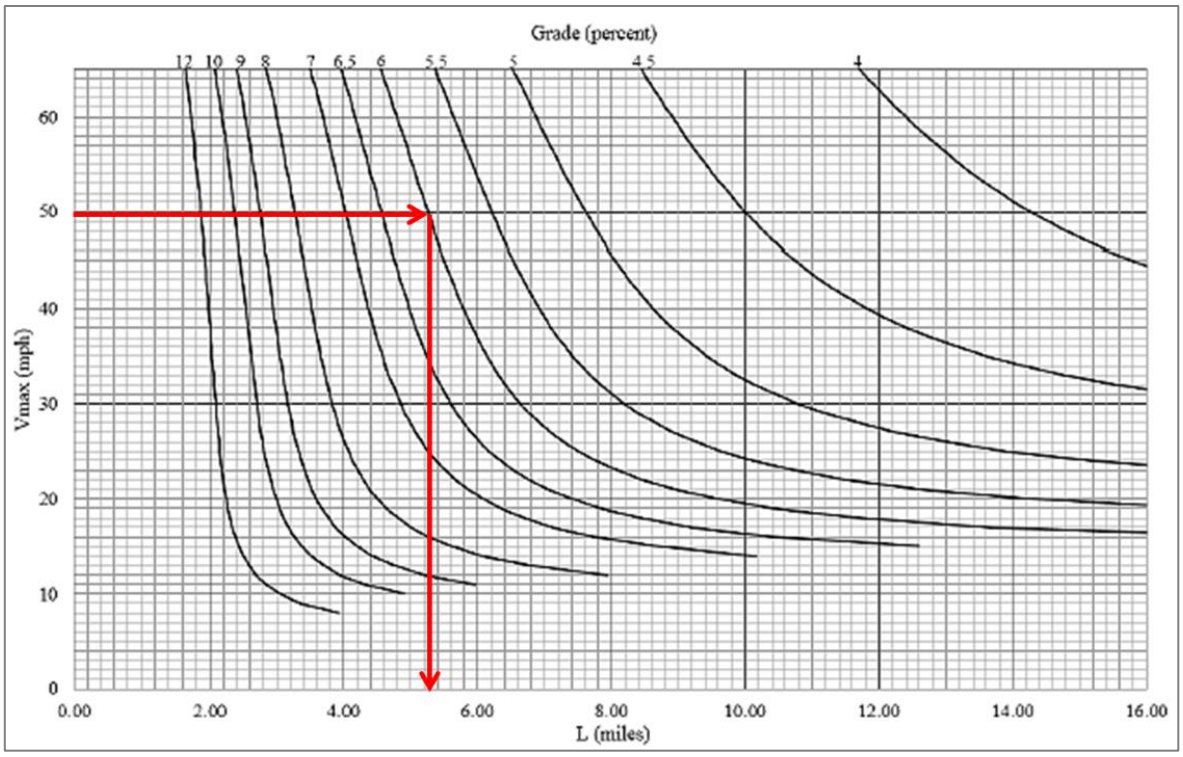
Una vez que se ha identificado la necesidad de una rampa de emergencia para frenado en una carretera, lo siguiente es establecer el lugar preciso donde habrá que instalarla. De manera general, la literatura internacional en la materia señala que deberán instalarse en una posición en la que intercepten la mayor cantidad de vehículos fuera de control y antes de curvas horizontales que no puedan ser "negociadas" por dichos vehículos fuera de control o zonas pobladas donde el paso de vehículos descontrolados represente un peligro potencial. En carreteras actualmente en operación, otro indicador será la presencia de siniestros viales por causa del fallo en el sistema de frenado.

La determinación de la ubicación exacta de una rampa de emergencia no es una decisión fácil, pues este tipo de infraestructura se localiza en entornos con topografía compleja (que es donde se encuentran los caminos con pendientes en descenso que propician su necesidad). De esta manera, no siempre resulta sencillo encontrar el espacio ideal (como lo sería un tramo en tangente horizontal), que cumpla con distancias de visibilidad y comodidad para acceder a la rampa.

La normativa mexicana vigente a la fecha (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016), señala que se deben ubicar antes de los sitios que, por sus características geométricas, pudieran poner en riesgo a los usuarios de la carretera por un vehículo fuera de control; además, prohíbe emplazar rampas al costado izquierdo de carreteras con un solo cuerpo y sentidos de circulación sin dividir, es decir, donde el vehículo fuera de control tuviese que cruzar el sentido de circulación opuesto para acceder a la rampa. De manera complementaria a estos requisitos, en la sección que indica la disposición del señalamiento horizontal (específicamente con respecto a la raya de emergencia para frenado continua), se especifica que, en rampas ubicadas en el margen derecho de una carretera con más de un sentido de circulación, se debe encontrar una tangente de 500 metros antes de la entrada a la rampa para cambiar la trayectoria de dicha raya continua hacia el carril de extrema derecha. Esto último añade una restricción para establecer el lugar dónde ubicarla.

Otras recomendaciones sugieren la ubicación de las rampas en la mitad inferior de la pendiente descendente, excepto en descensos muy pronunciados y sostenidos, donde podrá requerirse más de una rampa de emergencia. Además, se debe evitar su instalación en o justo después de una curva horizontal, ya que esto añade complejidad para conducir el vehículo fuera de control hacia la rampa de emergencia. Por otro lado, no es recomendable ubicarlas muy próximas a la cima del alineamiento vertical que genera su necesidad ya que, como se describe en el inciso anterior, dicha necesidad surge de una mezcla de las condiciones de inclinación y longitud de la pendiente en descenso que producen el sobrecalentamiento del sistema de frenos de servicio. Sobre este último punto (Outcalt, 2008) indica que es deseable ubicar la rampa al menos tres millas (4.8 km) desde el comienzo de la pendiente en descenso.

Desde un escenario ideal se debería analizar la necesidad de instalar una rampa desde la causa que le da origen, es decir, aplicando la metodología del GSRS para determinar su ubicación más recomendable, de acuerdo con las características geométricas de la pendiente y las condiciones de operación de los vehículos de carga (velocidad de operación al inicio del descenso y peso). Por ejemplo, tomando el gráfico de la Figura 2.4 (que utiliza en su cálculo un tracto-camión de 5 ejes con un peso de 36.3 toneladas, cuyo freno de auxiliar no está siendo utilizado) y suponiendo que tenemos una pendiente promedio en descenso de 6 %, donde la velocidad de operación de los vehículos de carga es de 80 km/h (49.7 mph), es posible leer en el eje de las abscisas la longitud a partir de la cual podría comenzar a producirse el desvanecimiento de los frenos por sobrecalentamiento. En la Figura 2.5 se ilustra este ejemplo, donde se tiene que el vehículo de diseño comenzará a tener problemas al recorrer 5.3 millas (8.5 kilómetros) sobre dicho descenso si su sistema de frenado auxiliar no está activado. En el Anexo 1. “Ejemplo GSRS” se presenta un ejercicio del cálculo de un gráfico como el presentado en la Figura 2.4, tomando las ecuaciones planteadas por (Moomen, Apronti, Molan, & Ksaibati, 2018), para un vehículo de carga tipo T3S2 con el peso máximo permitido en la NOM-012-SCT-2-2017 (Norma Oficial Mexicana sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal).



Fuente: (Moomen, Apronti, Molan, & Ksaibati, 2018)

Figura 2.5 Ejemplo para determinar la ubicación de una rampa de emergencia

Adicionalmente, a la ubicación en donde es posible que se presente el desvanecimiento de la funcionalidad del sistema de frenado a causa del

sobrecalentamiento, habrá que añadirle la distancia recorrida durante el tiempo de reacción del conductor. Un valor habitual para los cálculos de este parámetro en el diseño de carreteras suele ser de 2.5 segundos (al menos). De este modo, la localización de la rampa de emergencia se sugiere aguas abajo del punto así calculado, ya que antes el fenómeno de sobrecalentamiento de los frenos no se estaría produciendo, pero además el conductor necesitará un estímulo externo que lo lleve a accionar el pedal de freno para que sea consciente del problema.

Finalmente, para ubicar la rampa de emergencia será importante tener en mente otros aspectos relevantes como el espacio disponible para su construcción y el impacto ambiental del movimiento de tierras necesario.

Lo cierto es que cada lugar tendrá sus propios retos, por lo cual tendrán que analizarse las características específicas de cada sitio donde se ha determinado la necesidad de una rampa de emergencia, con el fin de encontrar la mejor ubicación de acuerdo con las condiciones geométricas y operativas prevalecientes en la carretera.

3. Diseño

Una vez que se ha establecido la necesidad de una rampa de emergencia para frenado y se ha determinado su ubicación, habrá una serie de factores que deberán considerarse para su diseño, como lo es, entre otros, la velocidad a la que se espera que ingresen los vehículos. En este capítulo se presentan algunas directrices para calcular dicha velocidad de diseño, así como las características geométricas de los elementos que conforman propiamente la rampa de emergencia, el señalamiento que servirá de guía para los usuarios que la lleguen a requerir y algunos dispositivos complementarios.

3.1 Velocidad de diseño

Para diseñar los elementos que integran una rampa de emergencia, lo primero será calcular la velocidad a la que se espera que entren a ella los vehículos fuera de control. Las rampas de emergencia se diseñan para detener vehículos que, por causa de una falla en su sistema de frenado, circulan a una velocidad "peligrosa" para las condiciones de la carretera. En términos generales, una velocidad peligrosa se refiere a aquella donde los vehículos pueden salir de su carril de circulación por restricciones en el alineamiento horizontal (curvas), cuando es superior a 140 km/h o cuando no es compatible con el entorno por la presencia de zonas pobladas en sus cercanías.

La normativa mexicana vigente a la fecha (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016) indica la siguiente ecuación para calcular la velocidad de diseño de una rampa:

$$V_e = \sqrt{V_p^2 - 254 \sum_{i=1}^{n} L_i \left(R_p + P_i\right)} \tag{3.1}$$

Donde:

V_e = Velocidad de entrada a la rampa, en km/h

V_p = Velocidad de operación o proyecto (para carreteras nuevas) en el sitio donde inicia el tramo con pendiente descendente, o en la entrada a una rampa previa (cuando se proyecten más de una), en km/h

n = Número de subtramos con pendiente descendente diferente

L_i = Longitud del subtramo i con pendiente P_i, en metros

R_p = Resistencia a la rodadura de la superficie del pavimento (0.010 para pavimentos de concreto hidráulico y 0.012 para pavimentos asfálticos)

P_i = Pendiente descendente del subtramo i de longitud L_i, en metro/metro

La velocidad de entrada (V_e) presentada en la ecuación 3.1 no es más que el cambio de la energía potencial, que tiene el vehículo al iniciar el descenso, en energía cinética en el punto en el cual se requiere conocer su velocidad. La ecuación básica de la dinámica de la cual se deriva dicho cálculo se presenta a continuación:

$$V_x = \sqrt{V_o^2 - 2gh} \tag{3.2}$$

Donde:

V_x = Velocidad en un punto x, en m/s
V_o = Velocidad inicial, en m/s
g = Fuerza de gravedad (9.81 m/s^2)
h = Cambio de altura, en m

El cálculo de la velocidad a la cual se espera que entren los vehículos a la rampa de emergencia puede ser aún más detallada, considerando resistencias activas y pasivas de los vehículos esperados, como fricción y potencia. La Síntesis 178 (National Cooperative Highway Research Program [NCHRP], 1992) recoge una propuesta del Departamento de Transporte de Idaho para el cálculo iterativo de esta velocidad a través de la siguiente ecuación:

$$V = 5.469\sqrt{0.03343V_o^2 - H - K \cdot L - 0.000016\, V_m L - \frac{0.0012F \cdot L \cdot V_n^2}{W}} \tag{3.3}$$

Donde:

V = Velocidad a la distancia L, en mph
V_o = Velocidad inicial, en mph
H = Diferencia de altura neta correspondiente a la distancia L, en pies
K = Constante que incorpora el efecto de la fricción
L = Distancia de la pendiente, en pies
V_m = Promedio de V y V_o
F = Área frontal del vehículo, en pies cuadrados
V_n^2 = Promedio de los cuadrados de V^2 y ${V_o}^2$
W = Peso del vehículo, en libras

De esta manera, el cálculo de la velocidad de diseño puede ser tan complejo o simplificado como se requiera. Sin embargo, hay que tener en cuenta que para análisis más elaborados se deberá seleccionar un vehículo de diseño para establecer el impacto de las variables que se pretendan considerar.

Finalmente, de acuerdo con lo establecido anteriormente respecto a lo que se considera como una velocidad peligrosa, la velocidad de diseño de entrada a una rampa no debería ser mayor a 140 km/h.

3.2 Elementos de la rampa

Una rampa de emergencia para frenado del tipo “cama de frenado” consta de tres elementos básicos: acceso, cama de frenado y camino de servicio. En la Figura 3.1 se muestra un esquema que ilustra estos elementos.

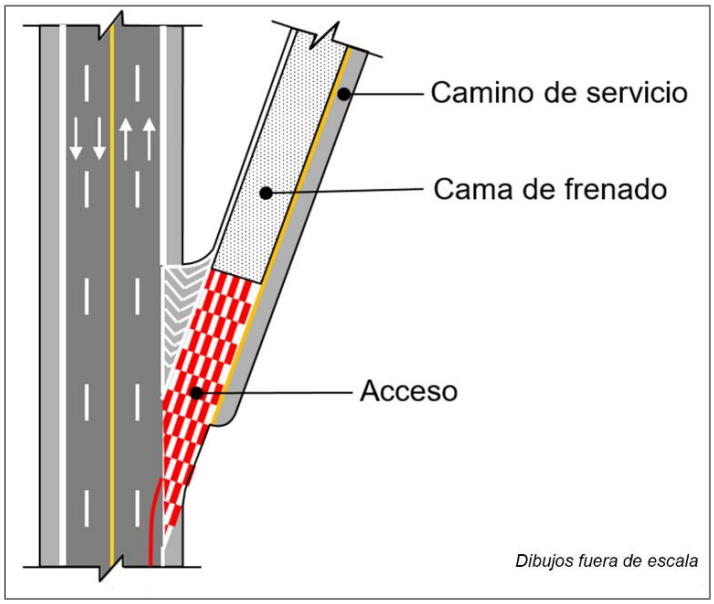


Figura 3.1 Elementos que conforman una rampa de emergencia para frenado

El “acceso” sirve para guiar de manera suave al conductor hacia la cama de frenado, por lo cual debe estar pavimentado y su eje longitudinal deberá tener una desviación mínima con respecto a la trayectoria que lleva previamente el vehículo sin control. Además, debe tener la longitud suficiente para permitir que el conductor centre el vehículo directo hacia la cama de frenado, para que las ruedas del eje delantero ingresen al mismo tiempo en la cama y evitar un frenado diferencial que pudiera desestabilizarlo. Asimismo, esta sección de la rampa deberá tener un alineamiento vertical suave, con una longitud suficiente para permitir una transición cómoda entre el alineamiento vertical de la carretera y de la cama de frenado, con el fin de evitar que el vehículo experimente una aceleración en sentido vertical por una curvatura demasiado exigente.

Es de suma importancia recalcar que el diseño del acceso deberá evitar a toda costa ser confundido o interpretado como una continuación del camino o una salida hacia otro destino. El ingreso de vehículos a la rampa deberá ser por la necesidad de frenar con seguridad y no por una confusión en la trayectoria del camino. Por esta razón, el acceso suele pintarse con un diseño de cuadrícula rojo-blanco para diferenciarlo claramente de la superficie de rodadura del camino.

Rampas con un acceso inadecuado, tanto por cuestiones geométricas como por una mala señalización, pueden ocasionar el volcamiento del vehículo al intentar ingresar a ella.

Respecto al “camino de servicio”, éste se compone por una franja paralela a la cama de frenado que puede estar en su costado izquierdo, derecho o en ambos lados, dependiendo del diseño particular en cada caso. Su función es permitir un alojamiento seguro para las tareas de rescate de los vehículos que lleguen a ingresar y para el mantenimiento periódico que ha de darse a este dispositivo. Es recomendable que se encuentre pavimentado con el fin de permitir un acceso cómodo para los vehículos de rescate (grúas) y de mantenimiento. El emplazamiento del camino de servicio, en conjunto con el diseño del acceso, deberá evitar cualquier confusión de éste con la cama de frenado o con la continuación del camino, por lo que este punto no deberá descuidarse.

En la revisión de la literatura internacional se recomienda un ancho mínimo de tres metros para el camino de servicio. La normativa mexicana vigente (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016) pide un ancho mínimo de cinco metros para este elemento.

Por último, la parte más compleja de una rampa de emergencia es sin lugar a duda la “cama de frenado”, que es donde los vehículos fuera de control deberán detenerse de manera segura. En los siguientes incisos se precisan algunas recomendaciones sobre la longitud, espesor y ancho de este elemento.

3.2.1 Longitud de la cama de frenado

La longitud necesaria de la cama de frenado depende de tres aspectos: la velocidad de diseño (abordada en el inciso 3.1), el tipo de material que la conformará y su pendiente (ascendente, descendente o en horizontal). La ecuación más comúnmente empleada para el cálculo de esta longitud (basada en la disipación de la energía cinética) es la siguiente:

$$L_e = \frac{V_e^2}{254(R_m \pm SI)} \tag{3.4}$$

Donde:

L_e = Longitud efectiva de la cama de frenado, en metros
V_e = Velocidad de entrada a la rampa, en km/h
R_m = Resistencia a la rodadura del material que conformará la cama
SI = Pendiente de la cama de frenado, en metro/metro

Dependiendo de las condiciones topográficas del entorno, también es posible diseñar la cama de frenado con pendientes distintas a lo largo de su longitud. Para ello, se calcula la velocidad en cada cambio de pendiente hasta llegar a un valor de “cero”, es decir, cuando el vehículo se ha detenido partiendo de la velocidad de diseño de entrada a la rampa. Para calcular estas velocidades parciales en cada subtramo de la cama de frenado se emplea la ecuación 3.5, donde la velocidad final (V_f) de un tramo previo será la velocidad inicial (V_i) del siguiente. La longitud total de la cama será la sumatoria de cada subtramo de longitud L_x.

$$V_f^2 = V_i^2 - 254 \cdot L_x(R_m \pm SI) \quad (3.5)$$

Donde:

V_f = Velocidad al término de cada subtramo x, en km/h

V_i = Velocidad al inicio de cada subtramo x, en km/h

L_x = Longitud efectiva del subtramo x de la cama de frenado, en metros

R_m y SI tienen el mismo significado que en la ecuación anterior

El material que mejor funciona para que un vehículo se atasque es aquel que genera la menor resistencia al esfuerzo cortante entre una partícula y otra. Los materiales con esta característica se componen de partículas que tienden a la esfericidad y cuyos tamaños son lo más homogéneos posibles, evitando mezclas con partículas lajeadas, alargadas o con caras fracturadas, características típicas de los materiales triturados. En el inciso 3.3 se profundiza sobre las recomendaciones referentes a las características que debe cumplir el material de la cama de frenado, así como los valores teóricos de su resistencia a la rodadura (R_m).

Por otro lado, y como es de suponerse, pendientes de la cama de frenado (SI) ascendentes requerirán menores longitudes debido al aporte de la fuerza de gravedad para detener al vehículo.

De la revisión bibliográfica realizada, se detectó sólo otro método para el cálculo de la longitud de la cama de frenado empleada por el Departamento de Transporte de Pennsylvania. Para la estimación de esta longitud (Pennsylvania Department of Transportation [PENNDOT], 2018) indica la siguiente ecuación:

$$L_e = A + B \cdot V + C \cdot V^2 + D \cdot V^3 \quad (3.6)$$

Donde:

L_e = Longitud efectiva de la cama de frenado, en metros

V_e = Velocidad de entrada a la rampa, en km/h

$A, B, C\ y\ D$ = Constantes (Tabla 3.1 y Tabla 3.2)

Tabla 3.1 Constantes A, B, C y D para velocidades de 50 a 100 km/h

Constante	50 a 100 km/h						
	Pendiente de la cama *(%)*						
	-5	*0*	*5*	*10*	*15*	*20*	*25*
A	-15.17294400	0.99220249	-4.92126779	-1.80456684	0.49279503	1.45746415	7.10296524
B	0.78219697	0.03209192	0.26432213	0.11824057	-0.01060662	-0.03998248	-0.30325464
C	-0.00600188	0.00509526	0.00187460	0.00372385	0.00565815	0.00561271	0.00927871
D	0.00012066	0.00004768	0.00004902	0.00003198	0.00001532	0.00001206	-0.00000881

Fuente: (Pennsylvania Department of Transportation [PENNDOT], 2018)

Como se puede observar, con este método la longitud de la cama de frenado depende de su pendiente y de la velocidad de diseño.

Tabla 3.2 Constantes A, B, C y D para velocidades de 101 a 140 km/h

Constante	101 a 140 km/h						
	Pendiente de la cama *(%)*						
	-5	*0*	*5*	*10*	*15*	*20*	*25*
A	-282.52545984	-86.92116605	-22.41526366	-23.58126996	-30.22693156	-4.25493942	-3.02928162
B	8.62497966	2.74448334	0.79435949	0.73691189	0.83689803	0.17754232	0.09392263
C	-0.08308336	-0.02310790	-0.00341229	-0.00205750	-0.00241934	0.00297324	0.00392611
D	0.00037469	0.00014679	0.00006636	0.00004974	0.00004233	0.00002258	0.00001536

Fuente: (Pennsylvania Department of Transportation [PENNDOT], 2018)

Otras recomendaciones encontradas respecto a la longitud de la cama sugieren evitar longitudes muy cortas, pues dan una impresión de desconfianza a los conductores quienes dudarían sobre si es seguro o no entrar. Esta situación también podría darse si por cambios de pendiente en la cama de frenado se tiene un efecto visual que hiciera parecer que es más corta de lo que en realidad es.

La normativa mexicana vigente (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016) indica el cálculo de la longitud de la cama de frenado empleando la ecuación 3.4 para camas con una sola pendiente y la ecuación 3.5 cuando se tiene más de una pendiente. En ambos casos, señala como un margen de seguridad un incremento de 25 % en la longitud calculada a través de dichas ecuaciones.

Finalmente, es importante indicar que la cama de frenado deberá tener una alineación recta en toda su longitud, ya que una vez que el vehículo ha ingresado en ella, éste no tendrá control sobre su dirección. Por ello es fundamental que el diseño del acceso permita una entrada directa al centro de la cama de frenado, permitiendo que el vehículo ingrese con una trayectoria paralela al eje de la cama.

3.2.2 Espesor de la cama de frenado

El espesor de la cama de frenado juega un papel importante para que el vehículo se atasque, logrando de este modo un frenado seguro. De manera general, entre más profunda sea la cama, mayor será la desaceleración del vehículo, por supuesto esto hasta cierto límite. Sin embargo, en la revisión documental no se encontró una propuesta analítica para establecer el mejor desempeño respecto al espesor de la cama de frenado.

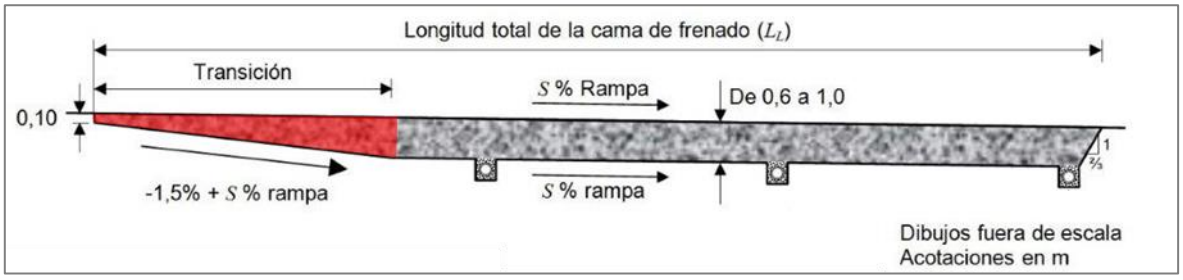
Recomendaciones de la Administración Federal de Carreteras de Estados Unidos (FHWA, por sus siglas en inglés) que datan de 1979 indicaban un amplio rango de espesores, entre 12” y 36” (30.5 y 91.4 cm). Posteriormente, se determinó que espesores reducidos no mostraban un buen desempeño ante la contaminación del material por estar expuesto a la intemperie. (National Cooperative Highway Research Program [NCHRP], 1992) señala que -con base en la experiencia hasta entonces- la contaminación con finos puede consolidar con mucha probabilidad los 30 cm inferiores de la cama de frenado, haciendo que este material se comporte prácticamente como una base cementada; mientras que las llantas de los camiones usualmente se hundían también alrededor de 30 cm. De este modo, los vehículos

podrían no detenerse en la longitud calculada de la cama de frenado, con espesores menores a 60 cm.

En la literatura más reciente se encontraron recomendaciones para el espesor de la cama de frenado de entre 36” y 42” (de 90 a 105 cm aproximadamente). Por citar un ejemplo, (American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO], 2018) indica un mínimo de un metro. Por otro lado, (Pennsylvania Department of Transportation [PENNDOT], 2018) señala que, con base en prueba, espesores de 36” dan los mismos resultados que grosores más amplios; sin embargo, también indica que se deben considerar al menos 6” extras para contemplar la contaminación de la cama por finos (tanto por intemperie como por desgaste por su uso), por lo cual también sugiere espesores mínimos de alrededor de un metro.

Otro aspecto muy importante a tener en cuenta es que el espesor de la cama no debe ser uniforme a lo largo de toda su longitud, sino que debe ser gradual al inicio. En general, las recomendaciones encontradas señalan un espesor inicial de 3” (7.6 cm), incrementándose uniformemente hasta la profundidad final en los primeros 100 a 200 pies (30 a 60 m) de su longitud. Esta ampliación progresiva del espesor tiene la función de frenar de manera controlada al vehículo que ingrese, evitando una desaceleración excesiva justo en la entrada de la cama.

En la Figura 3.2 se presenta un esquema tipo del corte longitudinal de una cama de frenado de acuerdo con la normativa mexicana vigente, donde se puede observar el rango de espesor que esta norma señala (entre 60 centímetros y un metro) y la transición del espesor a la entrada (de 10 cm hasta el grosor final con una taza de incremento del 1.5%).



Fuente: (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016)

Figura 3.2 Corte longitudinal de la cama de frenado de acuerdo con la NOM-036-SCT2-2016

3.2.3 Ancho de la cama de frenado

Literatura internacional consultada recomienda valores para el ancho de la cama de frenado que permitan el uso de al menos dos vehículos de manera simultánea, previendo que esta infraestructura pueda albergar un segundo vehículo (o incluso un tercero) antes del retiro del primer ingreso, situación que suele ocurrir en determinadas instalaciones. Bajo esta consideración, se sugieren anchos mínimos de 26 pies (8 m), siendo lo más deseable anchos entre 30 y 40 pies (9 a 12 metros).

Sin embargo, cuando la carretera donde se requiere una rampa de emergencia tiene un TDPA reducido y/o un bajo porcentaje de vehículos pesados, pueden justificarse anchos menores. Lo anterior debido a la escasa probabilidad de que se presente más de un vehículo fuera de control en un corto periodo de tiempo. Bajo esta condición, existen recomendaciones como la propuesta por (Valdes, Strong, & Shuler, 2018) que indica un ancho mínimo aceptable de 12 pies (3.6 m).

La normativa mexicana vigente (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016) señala un rango obligatorio de entre 10 y 12 metros para el ancho de la cama de frenado.

3.3 Características del material para la cama

El material ideal para conformar la cama de frenado debe cumplir con características tanto en la forma y tamaño de sus partículas como en su resistencia al desgaste.

De manera general, las recomendaciones encontradas en la literatura señalan que el material que habrá de utilizarse para conformar la cama de frenado debe estar limpio, ser de difícil compactación y tener un alto coeficiente de “resistencia a la rodadura”. Además, cuando se utiliza agregado, éste debe ser redondeado, predominantemente de un solo tamaño, resistente al desgaste y tan libre de finos como sea posible. Material con estas características maximiza el porcentaje de vacíos (permitiendo el drenaje del agua que llegue a ingresar) y minimiza la trabazón y posibilidad de compactación.

Con respecto a la forma, se prefieren partículas que tiendan a la esfericidad ya que, como se menciona en el inciso 3.2.1, estas formas requieren longitudes de cama de frenado menores debido a la poca resistencia al esfuerzo cortante entre sus partículas. Cuando los agregados tienen una forma redondeada se desplazan con facilidad, permitiendo que el vehículo se hunda dentro de la cama. Por el contrario, cuando se tienen agregados con formas lajeadas o alargadas, tienden a trabarse y sostener el peso del vehículo que pasa por encima de ellos, es decir, tienen una menor “resistencia a la rodadura”.

Normalmente se emplean tamaños que se caracterizan desde arenas hasta gravas. En la Tabla 3.3 se presentan los valores de la “resistencia a la rodadura” de los materiales comúnmente empleados para formar las camas de frenado.

Tabla 3.3 Resistencia a la rodadura de materiales para cama de frenado

Material de la cama de frenado	Resistencia a la rodadura *(kg/1,000kg del peso bruto del vehículo)*	Pendiente equivalente	R_m *(ecuación 3.4)*
Tierra, arenosa, suelta	37	3.7	0.037
Grava triturada, suelta	50	5.0	0.05
Grava de río, suelta	100	10.0	0.10
Arena	150	15.0	0.15
Gravilla (pea gravel)	250	25.0	0.25

Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO], 2018)

Como puede observarse en la Tabla 3.3, el material que mejor desempeño tiene para frenar a un vehículo es el “pea gravel”, que en español se traduce como “gravilla”. Sobre este término, hay que tener mucho cuidado con su interpretación en español, ya que la similitud con el nombre “grava” puede hacer pensar que se trata de grava triturada de un tamaño menor, lo cual sería incorrecto. En la Figura 3.3 se muestra una imagen con la clara diferencia entre la forma del agregado del “pea gravel” (cantos redondeados, tendiendo a la esfericidad) y una interpretación errónea de dicho material.

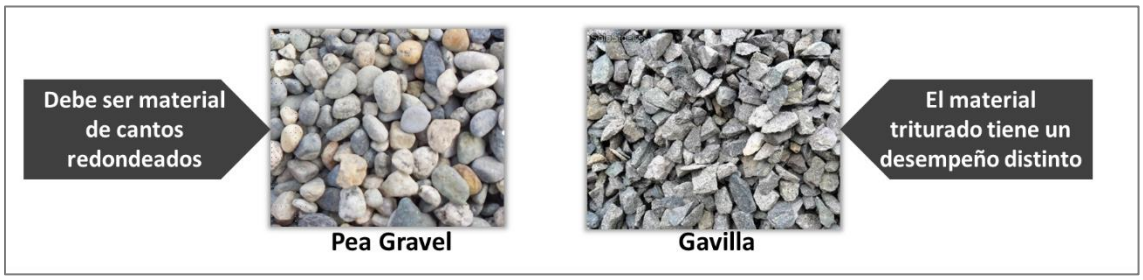


Figura 3.3 Pea gravel vs Gravilla

También de la Tabla 3.3 se observa que la arena tiene una “resistencia a la rodadura” mayor que la grava, esto es debido a que entre más pequeña sea la partícula, mayor es el área de contacto neumático-agregado, lo que hace más fácil su hundimiento. La desventaja en el uso de arena para la cama de frenado es que se contamina más fácilmente dado que los espacios vacíos son menores, es decir, es más fácil que estos vacíos sean ocupados por finos.

Respecto a la granulometría del material de la cama de frenado, existen diversas recomendaciones, sin embargo, la mayoría coinciden en que el mejor tamaño ronda alrededor de ¼” y ¾” (6 y 19 mm). En la Figura 3.4 se muestra la granulometría indicada en cinco fuentes, así como la conocida como AASHTO No. 57 que varias referencias recomiendan.

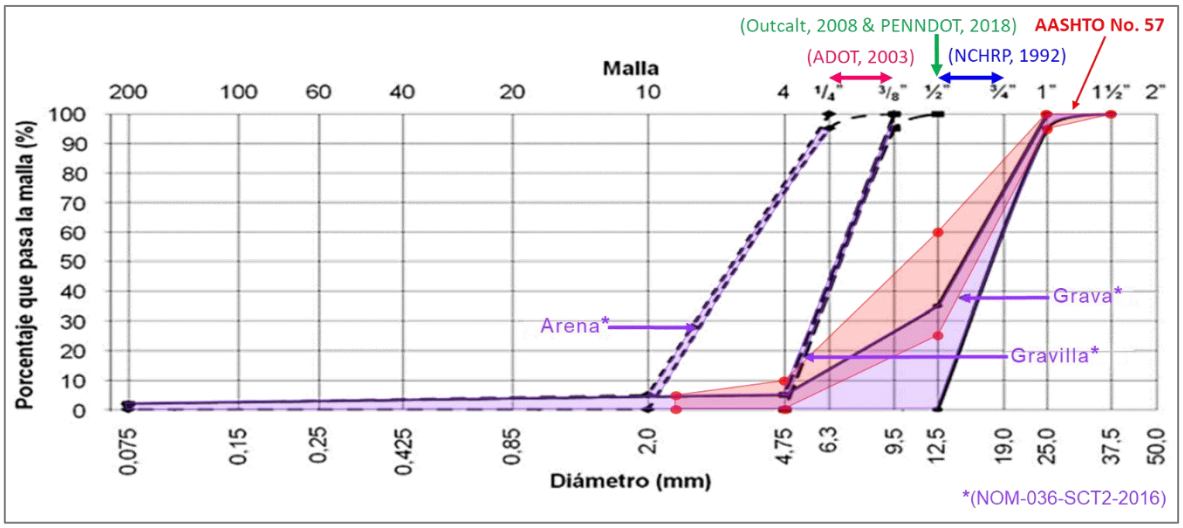


Figura 3.4 Requisitos granulométricos para materiales que conformarán la cama de frenado

Para controlar la resistencia al desgaste del agregado que se utilizará en la cama de frenado, misma que determinará su durabilidad, se sugiere emplear la prueba de desgaste de los ángeles. La normativa mexicana vigente (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016) limita el porcentaje máximo de desgaste por abrasión utilizando esta prueba a 30 %.

Para dimensionar el efecto que el tipo de material elegido tiene en la longitud necesaria de cama de frenado, en la Figura 3.5 se presenta un gráfico ilustrando el efecto del coeficiente de "resistencia a la rodadura" de las cuatro opciones de material que la normativa mexicana vigente permite, así como el efecto de la pendiente elegida (considerando una configuración con un solo valor de inclinación), para una velocidad de diseño de entrada a la cama de frenado de 140 km/h (valor máximo indicado también en dicha norma), realizando los cálculos de acuerdo con la ecuación 3.4. Como se puede observar, para el material denominado "pea gravel" (traducido en español como "gravilla"), el efecto de la pendiente de la cama no es tan representativo como en el caso de la grava triturada, siendo éste primer material el que requiere menores longitudes dado su mayor "resistencia a la rodadura" (ver Tabla 3.3). Una gráfica similar, pero para una velocidad de diseño de 100 km/h es presentada en la Figura 3.6.

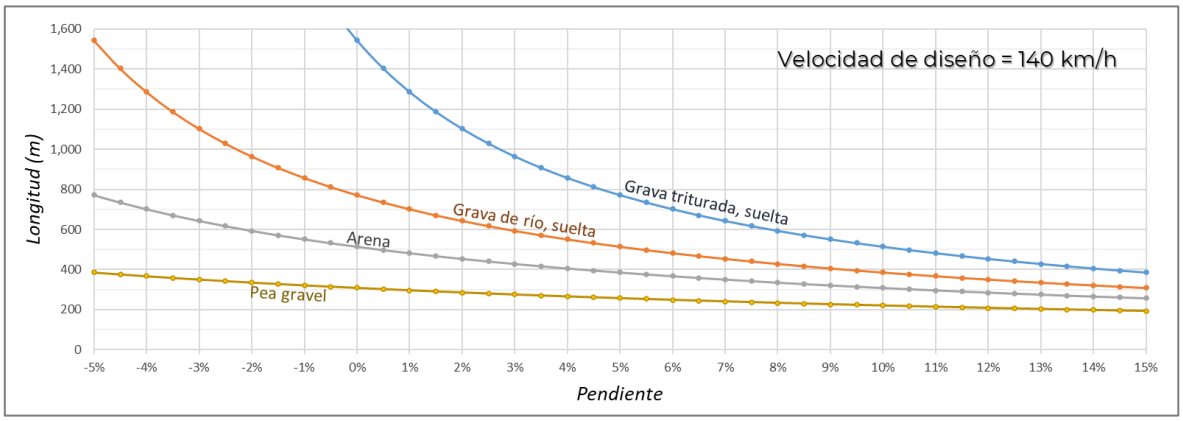


Figura 3.5 Longitud de la cama de frenado para distintos materiales (Ve=140 km/h)

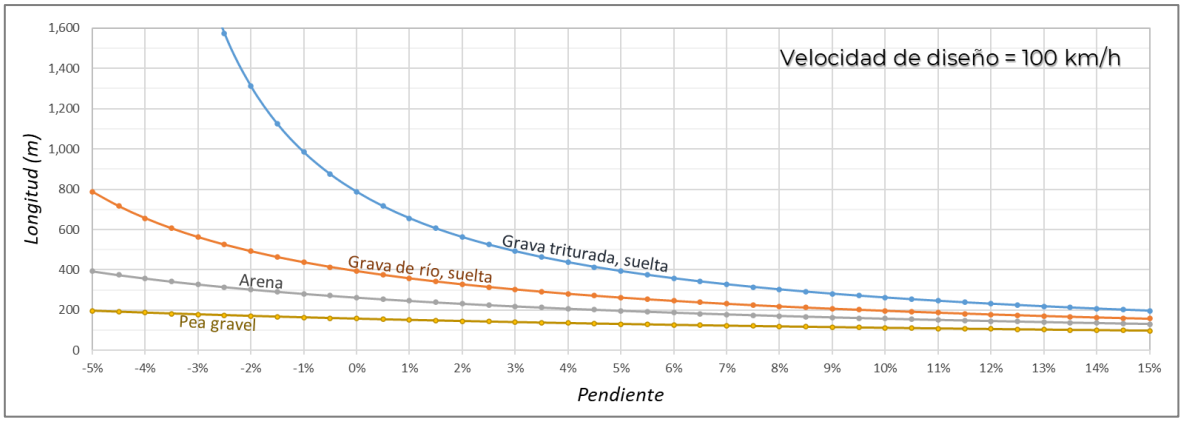


Figura 3.6 Longitud de la cama de frenado para distintos materiales (Ve=100 km/h)

Del inventario de rampas de emergencia identificadas en México (75 en total, ver inciso 1.2), se dedujo de manera muy aproximada la longitud de 70 de ellas utilizando las herramientas de medición de la aplicación Google Earth. Los resultados arrojan una longitud mínima de 90 m y una máxima de 450 m; más específicamente, una rampa de menos de 100 m, 22 entre 100 y 195 m, 28 entre 200 y 290 m, 16 entre 300 y 380 m y tres mayores a 400 m. Estos valores nos ayudan a tener una idea sobre el tipo de material con el que tendría que estar construida la cama de frenado considerando su pendiente.

3.4 Señalamiento

Cuando un conductor se enfrena a una situación donde pierde el control sobre la velocidad de su vehículo, se encuentra bajo un alto grado de estrés, por lo cual el señalamiento (tanto vertical como horizontal) será fundamental para guiarlo de manera segura hacia una rampa de emergencia. En este apartado se abordan las principales consideraciones relativas al señalamiento y las recomendaciones actuales en la norma mexicana.

3.4.1 Señalamiento horizontal

En seguridad vial, el señalamiento horizontal es una de las medidas más rentables económicamente y eficientes para enviar mensajes a los conductores (siempre y cuando se instale de manera correcta).

Dada la importancia que tiene indicar con claridad a los usuarios sobre la presencia de una rampa de emergencia, la norma mexicana señala que debe pintarse una raya de color rojo al centro del carril para guiar a los usuarios que lleguen a requerirla. Esta raya roja se pinta de manera discontinua inicialmente y un km antes del acceso a la rampa cambia a un marcado continuo. Dichas rayas deben ser complementadas con botones con reflejante (también en color rojo) para reforzar su visibilidad en condiciones nocturnas, puesto que la pintura de este color genera valores de retrorreflectividad bajos. Hay que recordar que actualmente la manera más común de producir el efecto retrorreflejante de la pintura vial es a través del uso de microesferas de vidrio, las cuales por si solas no retrorreflejan la luz de los faros de los vehículos, sino que funcionan en conjunto con la pintura. Las indicaciones detalladas de cómo es que debe pintarse esta raya guía se encuentran en la normativa (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016).

Cabe mencionar que la normativa oficial mexicana, como es el caso de la NOM-036-SCT2 “*Rampas de emergencia para frenado en carreteras*” (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016), se revisa periódicamente para mantener vigente su contenido. En el año 2022 se trabajó para la actualización de la misma y es muy probable que se publique una nueva versión en 2023.

Otro aspecto muy importante es demarcar claramente el acceso a la rampa, tema del cual ya se habló en el inciso 3.2. Para indicar el acceso a la rampa, éste se recomienda pintar con un diseño de cuadrícula alargada alternando colores blanco-

rojo como el mostrado en la Figura 3.7. Esta práctica es utilizada en varios países con la finalidad de hacer evidente el acceso a la cama de frenado. En el esquema presentado en la Figura 3.7 se muestran las dimensiones para la cuadrícula de acuerdo con la norma mexicana vigente, compuesta por cuadros de un metro de ancho por tres metros de longitud.

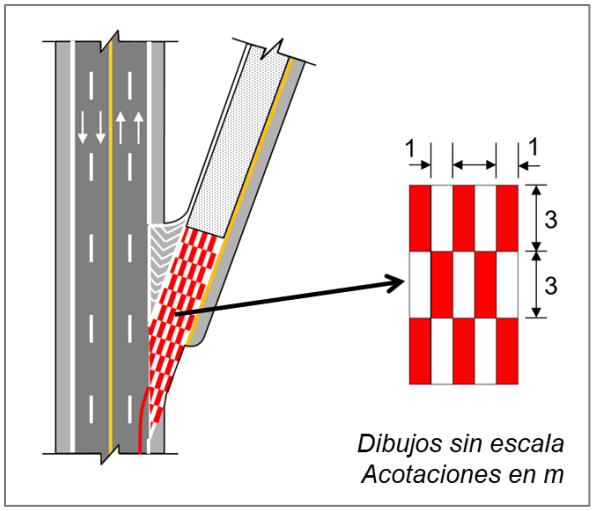


Figura 3.7 Marcado para el acceso de la rampa

Dentro de las propuestas que se presentarán para la actualización de la NOM-036-SCT2, se propone complementar la raya de guía roja con un par de leyendas (en cada carril de circulación) para dar certidumbre a los usuarios sobre la distancia a la que se encuentra la rampa de emergencia con los mensajes “RAMPA A 2 km” y “RAMPA A 1 km”. Para el marcado de esta leyenda se sugiere el empleo de pintura color amarillo, ya que el color rojo tiene un bajo contraste con el pavimento tanto flexible como rígido, además de una menor visibilidad en condiciones nocturnas, como se ha mencionado previamente. En la Figura 3.8 se ilustra la propuesta de este complemento en el señalamiento horizontal para indicar la distancia a una rampa de emergencia.

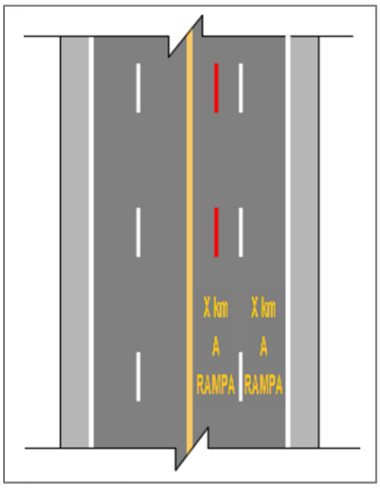


Figura 3.8 Leyenda propuesta para indicar la distancia a la rampa de emergencia

3.4.2 Señalamiento vertical

El señalamiento vertical se suele clasificar de acuerdo con la función que tendrá, de esta manera tenemos los siguientes tipos de señales:

- **Restrictivas:** para indicar prohibiciones o limitaciones físicas.
- **Preventivas:** para prevenir sobre riesgos potenciales y su naturaleza.
- **Informativas:** para guiar y proporcionar información relevante al usuario.
- **Turísticas y de servicios:** para indicar lugares de interés turístico y servicios próximos.
- **De zona de obra:** para regular el tránsito por la presencia de trabajos de construcción, modernización, rehabilitación, conservación o mantenimiento.

Cada tipo de señal está asociada a un color en particular con el fin ayudar a los usuarios a comprender los mensajes clara y rápidamente. Así, las señales restrictivas se asocian al color rojo, las preventivas al amarillo, las informativas al verde y blanco, las turísticas y de servicios al azul y las de zona de obra al naranja. La zona próxima a una rampa de emergencia para frenado necesita señalamiento de diferentes tipos, tanto para indicar su presencia como para complementarla.

Antes del acceso a la rampa se requerirá señalamiento restrictivo para indicar las zonas donde está prohibido estacionar o parar, con el fin de proporcionar un espacio libre para los vehículos que requieran entrar al dispositivo. Por otro lado, es de suma importancia incluir señalamiento preventivo antes de que comience el alineamiento en descenso, con el fin de informar a los usuarios sobre esta condición y lleven a cabo los ajustes necesarios para afrontarlo. En la Figura 3.9 se muestran las señales verticales del tipo restrictivo y preventivo que se recomiendan como complemento en la zona donde se instale una rampa de emergencia, a las cuales se puede agregar un tablero adicional con información sobre la longitud donde prevalezcan tales restricciones o riesgos (por ejemplo: “PRÓXIMOS 10 km”).

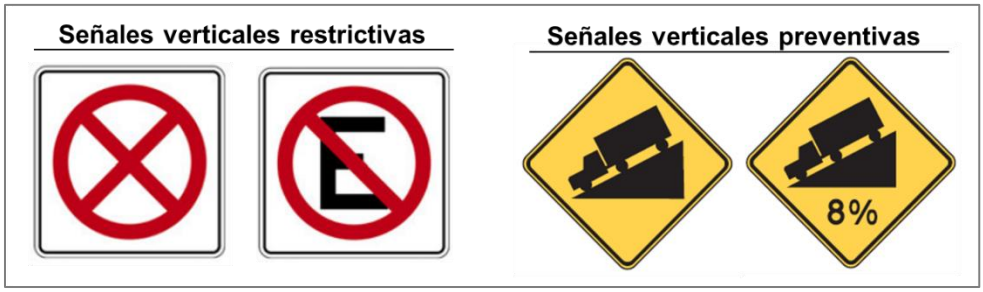
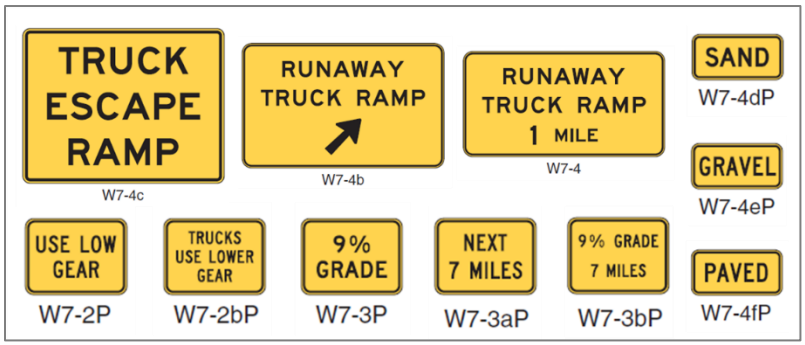


Figura 3.9 Ejemplos de señales verticales restrictivas y preventivas

Se recomienda que las señales que indican las restricciones de estacionar sean bajas (en el costado donde sean requeridas). Para el caso de las señales que previenen sobre la proximidad de la pendiente en descenso, también es preferible el uso de señales bajas (en ambos costados de la vía en caso de sentidos de circulación separados), puesto que las señales elevadas requieren de estructuras rígidas que representan un objeto fijo cercano al flujo de tránsito y por lo tanto un

peligro ante una posible salida del camino. Si por el número de carriles en un mismo sentido (tres o más) el uso de señales preventivas bajas no ayuda a que éstas sean visibles, entonces si se sugiere el empleo de señales elevadas.

En cuanto a las señales de tipo informativas que deben incluirse cuando se instala una rampa de emergencia, es trascendental que sus instrucciones no sean mal interpretadas o pasen desapercibidas, por lo cual se sugiere el empleo de un color específico para éstas. En México y en Estados Unidos las señales informativas relativas a rampas de emergencia deben tener un color amarillo. En la Figura 3.10 se presentan algunos ejemplos de señales de este tipo contenidas en la normativa estadounidense y en la Figura 3.11 las incluidas en la normativa mexicana vigente.



Fuente: (Federal Highway Administration [FHWA], 2009)

Figura 3.10 Señales informativas verticales (serie W7-4) para rampas emergencia

Fuente: (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016)

Figura 3.11 Señales informativas verticales para rampas emergencia en México

Entre estas señales informativas, las de mayor importancia son las “de destino”, tanto previas como decisivas, las cuales, dependiendo del número de carriles de circulación en un mismo sentido, se preferirá instalarlas como bajas o elevadas, teniendo en cuenta siempre el riesgo añadido que representa la elección de una señal elevada (su estructura se transforma en un objeto fijo muy rígido) o el costo de proteger sus postes mediante sistemas de contención. Asimismo, dependiendo de las características de operación del tramo donde se instalará la rampa, se sugiere el empleo de al menos dos señales de destino previas.

Las señales informativas que contengan recomendaciones o información general también pueden instalarse como señales bajas o elevadas, dependiendo principalmente del número de carriles en un mismo sentido y siguiendo el criterio mencionado respecto al riesgo o costo extra que representa elegir que sea elevada.

Para ilustrar la confusión que puede generar el uso incorrecto del color de las señales informativas para indicar una rampa de emergencia, en la Figura 3.12 se muestran un par de ejemplos reales, donde es posible que los conductores confundan el mensaje de la salida del camino principal interpretándolo como una desviación hacia otro destino y no como el acceso a la rampa.

Figura 3.12 Señales para rampa de emergencia con color incorrecto

También se debe instalar una señal aledaña a la rampa que contenga un número telefónico de emergencia para llamar en caso de ingresar en ella, con información que permita identificar inequívocamente su ubicación y, de ese modo, poder dar aviso a los cuerpos de rescate. Se recomienda que esta señal se coloque en un lugar altamente visible para el conductor que haya ingresado a la cama de frenado, puesto que es muy probable que se encuentre alterado e incluso confundido por la situación que recién afrontó.

Finalmente, con el fin delimitar claramente la cama de frenado, se recomienda colocar “indicadores de alineamiento” a sus costados como se muestra en la Figura 3.13. Los indicadores de alineamiento señales bajas que se usan para delinear la orilla de la carretera u otros elementos como es este caso. La normativa mexicana vigente (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016) señala que estos dispositivos deben instalarse al menos cada 20 metros a lo largo de toda la longitud de la cama. En la práctica existen rampas cuyas camas de frenado fueron delimitadas con indicadores de obstáculos y aunque parecen ofrecer una guía correcta no se debe perder de vista que éstos suelen ser elementos metálicos más rígidos.

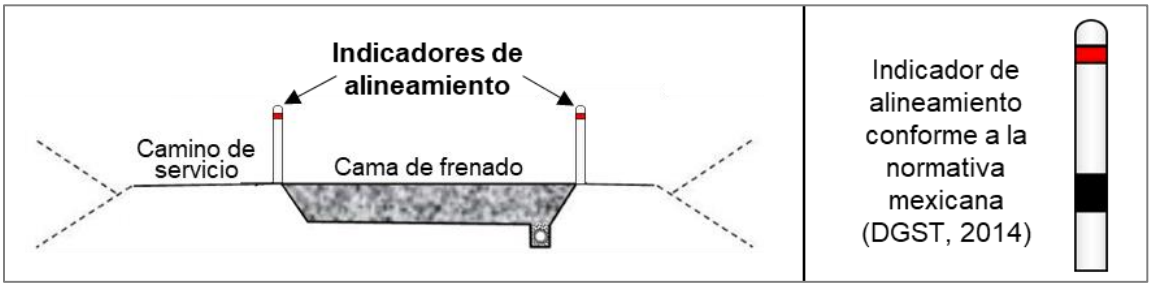
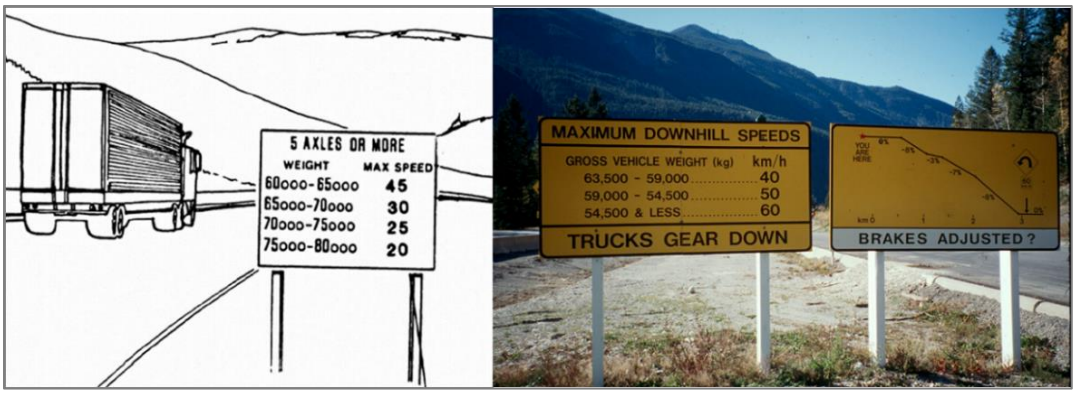


Figura 3.13 Indicadores de alineamiento a los costados de la cama de frenado

Cabe recalcar que es fundamental no saturar con señales verticales innecesarias la zona previa a la rampa de emergencia, por lo cual deberá analizarse meticulosamente el diseño del señalamiento cuando menos dos kilómetros antes del acceso a la rampa.

Por otro lado, retomando el objetivo de la metodología del GSRS comentada en el Capítulo 2, es altamente recomendable enfrentar con un enfoque preventivo, el fenómeno de la perdida de la eficiencia del sistema de frenos por sobrecalentamiento en una carretera con pendiente en descenso. El GSRS considera las características de cada caso en particular (inclinación de la pendiente en descenso y su longitud) y propone la instalación de señales verticales que indiquen la velocidad de descenso seguro, de acuerdo con el peso de los vehículos de carga que circulan por la carretera analizada. En la Figura 3.14 se presenta un ejemplo de este tipo de señales, en las cuales se recomienda un máximo de cinco rangos de peso de los vehículos de carga en intervalos de 5,000 o 10,000 libras para una clara trasmisión del mensaje.



Fuente: (Bowman, 1989)

Figura 3.14 Señales verticales de "velocidad de descenso seguro"

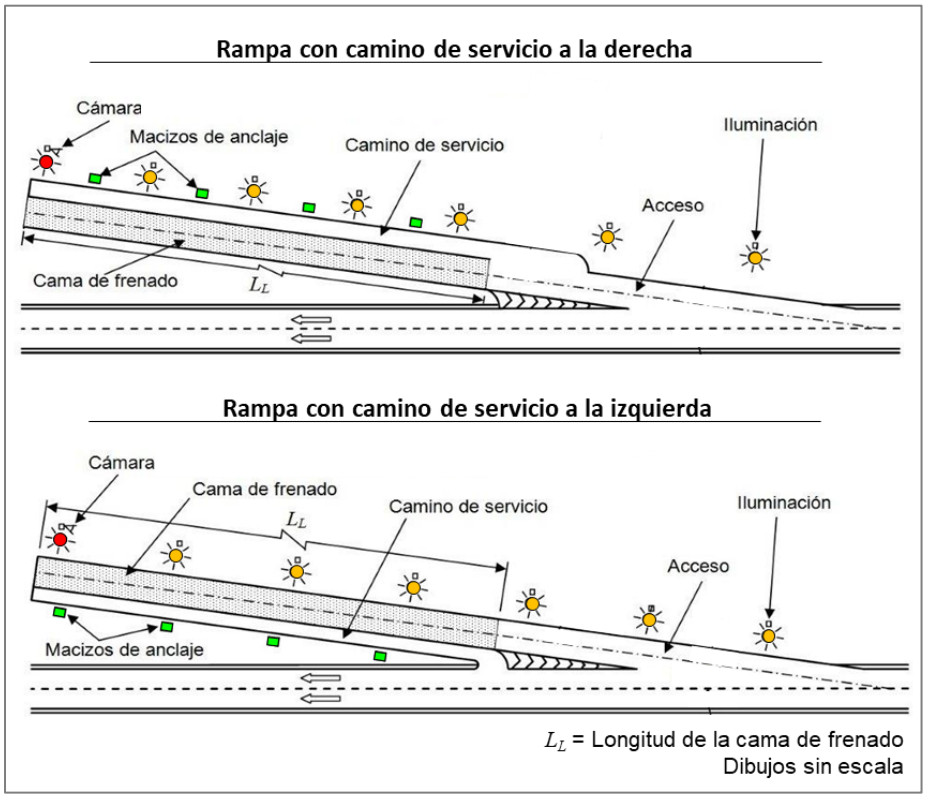
3.5 Elementos complementarios

En este apartado se abordan algunos elementos complementarios que se recomiendan para la correcta operación de una rampa de emergencia, como lo son los macizos de anclaje, las cámaras de monitoreo y los sistemas de iluminación, así como dispositivos que pueden emplearse cuando se tienen restricciones para lograr la longitud de la cama calculada (tema abordado en el inciso 3.2.1).

3.5.1 Macizos de anclaje

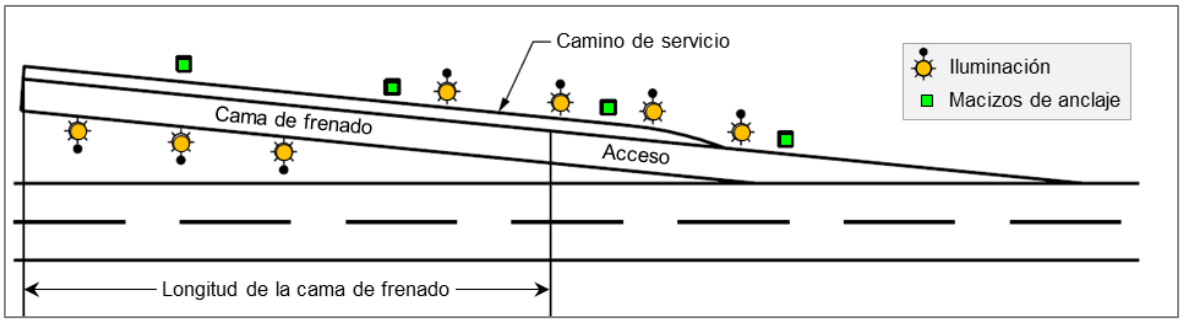
Los macizos de anclaje son estructuras construidas de concreto que sirven de apoyo a las grúas que se encargarán de sacar de la cama de frenado a los vehículos que han ingresado en ella. Se instalan enterrados a un lado del camino de servicio (del lado opuesto a la cama de frenado) y, dependiendo de la longitud de la cama, se pueden instalar varios para servir bajo diferentes longitudes de ingreso en ella. En la Figura 3.15 se muestra un esquema de su colocación, dependiendo de la posición del camino de servicio con respecto a la cama de frenado.

La normativa mexicana vigente indica la colocación de macizos de anclaje al menos a cada 100 m. El Manual de diseño de carreteras de Estados Unidos (American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO], 2018) señala su colocación con un espaciamiento de entre 50 y 100 m, además de uno aproximadamente 30 m antes del inicio de la cama de frenado, para servir de apoyo para el rescate de los vehículos que sólo hayan ingresado una pequeña longitud (ver Figura 3.16).



Fuente: (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016)

Figura 3.15 Esquema de colocación de elementos complementarios



Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO], 2018)

Figura 3.16 Esquema de colocación de macizos de anclaje e iluminación

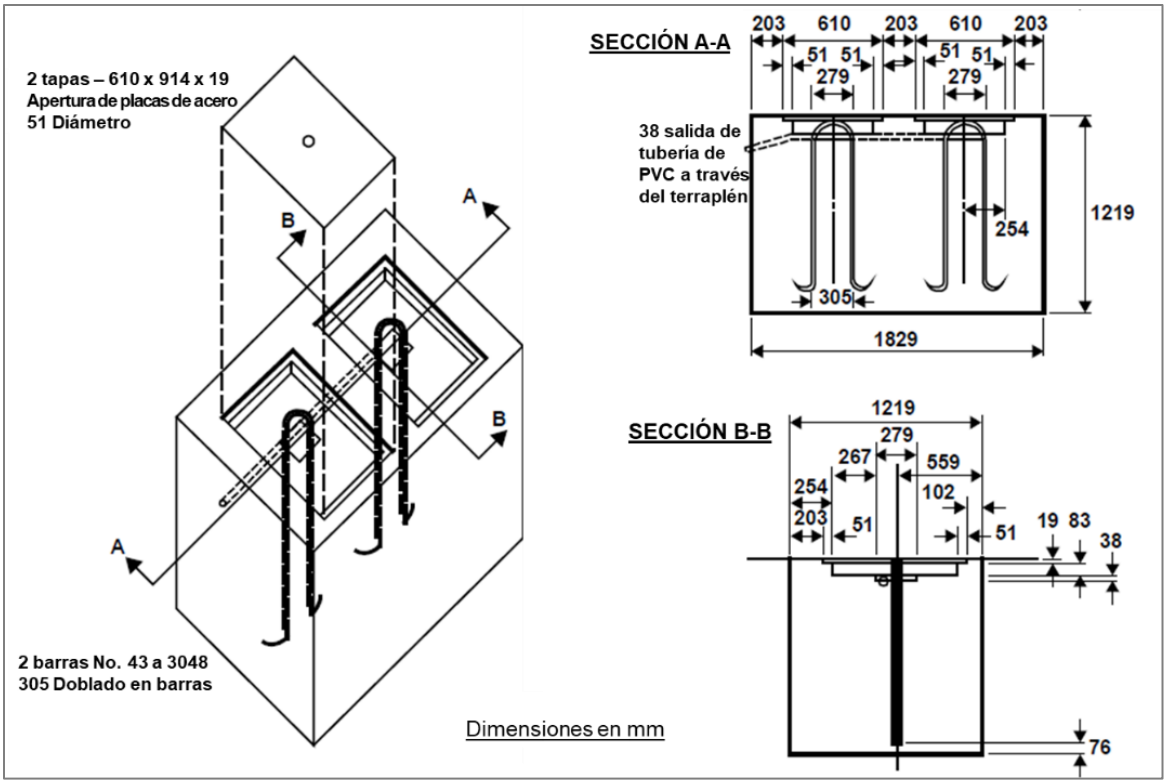
Los macizos de anclaje son fundamentales para agilizar las tareas de rescate de los vehículos pesados, puesto que el tipo de grúas que acuden a retirarlos de la rampa

son en su gran mayoría “de arrastre”. El macizo de anclaje proporciona un apoyo para soportar las fuerzas de tracción requeridas para retirar el vehículo de la cama de frenado que, de acuerdo con (Pennsylvania Department of Transportation [PENNDOT], 2018), oscilan entre el 25 y 100 % del peso del vehículo atascado, rondando por lo general el 50 %.

Cuando las grúas no se sujetan bien a los macizos de anclaje o no los utilizan, es posible que dejen marcas en la superficie del pavimento del camino de servicio o incluso desprendimientos de la carpeta, provocando su rápido deterioro. Esto se debe a que la fuerza tractiva no es suficiente dada la diferencia de pesos entre la grúa y el vehículo rescatado (se mueve la grúa y no el vehículo dentro de la cama).

Por otro lado, en ocasiones se ha observado que para disminuir el peso del vehículo y lograr retirarlo de la cama de frenado, se procede a retirar manualmente la carga, lo cual resulta sumamente peligroso ante la posibilidad de que un segundo vehículo requiera ingresar a la rampa de emergencia. Es por ello que las tareas de rescate deben realizarse apoyándose de los elementos que permitan su ejecución lo más rápido posible, como es el caso de los macizos de anclaje.

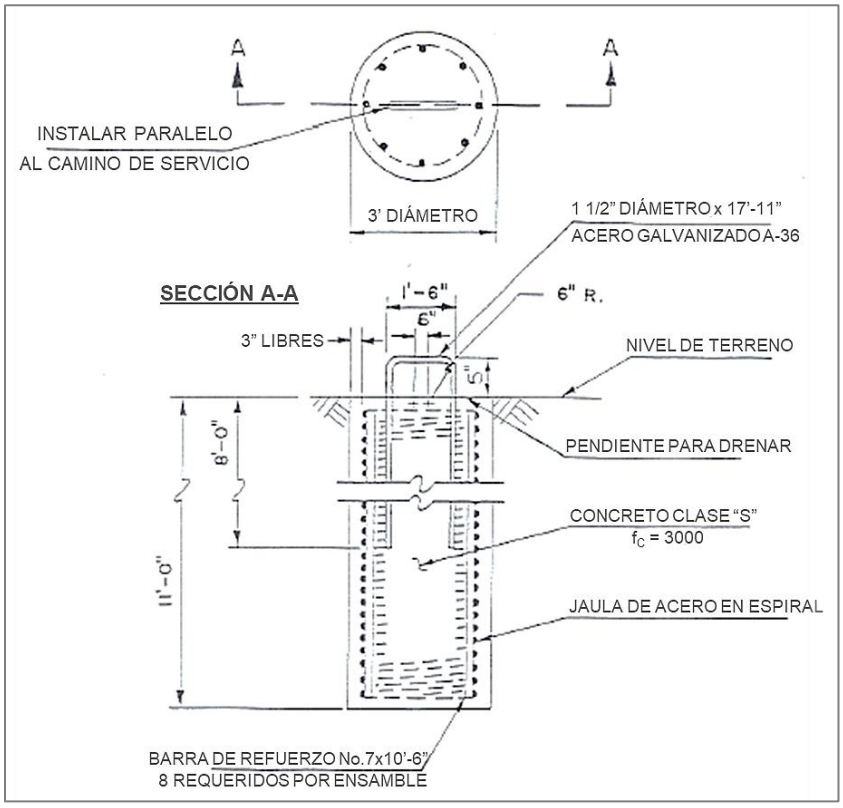
Sobre el diseño de los macizos de anclaje se encontraron dos recomendaciones para sus dimensiones. En la Figura 3.17 se muestra el detalle del diseño recomendado por el Departamento de Transporte de Pensilvania y en la Figura 3.18 el propuesto por el Departamento de Transporte de Arizona.



Fuente: (Pennsylvania Department of Transportation [PENNDOT], 2018)

Figura 3.17 Diseño de macizo de anclaje (PENNDOT)

Finalmente, en una rampa de emergencia que es frecuente utilizada, podría ser rentable económicamente la instalación de una estructura fija con sistema de grúa viajera para el rescate de los vehículos. Sin embargo, también habría que investigar por qué la recurrencia de su uso y, en su caso, actuar sobre los problemas que lo están ocasionando, es decir, atender el problema de raíz. Algunos ejemplos de ello podría ser la circulación de vehículos de carga con exceso de peso, con velocidad excesiva o malas condiciones físico-mecánicas de la flota en general. En la Figura 3.19 se muestra (a la izquierda) una fotografía que ilustra la colocación de un macizo de anclaje y (a la derecha) un ejemplo de grúa viajera fija.



Fuente: (Arizona Department of Transportation [ADOT], 2003)

Figura 3.18 Diseño de macizo de anclaje (ADOT)

Figura 3.19 Macizo de anclaje y sistema de grúa viajera

3.5.2 Sistemas de iluminación y cámaras de monitoreo

Es muy recomendable que las rampas de emergencia cuenten con un sistema de iluminación para su operación segura en condiciones nocturnas. Esto, además de ayudar a hacerlas visibles en ausencia de luz natural, brinda confianza a los conductores que requieran utilizarlas.

Debido a que las rampas suelen ser necesarias en entornos con topografía complicada (tema abordado en el Capítulo 2), no es raro que se localicen en zonas alejadas de poblaciones, por lo cual es probable que no haya suministro eléctrico. Afortunadamente en la actualidad existen múltiples sistemas de alumbrado que funcionan a través de paneles solares, sin embargo, será importante brindarles un oportuno mantenimiento rutinario para garantizar su correcto funcionamiento. El tipo y periodicidad del mantenimiento que deberá darse a estos sistemas dependerá de sus especificaciones técnicas y de las condiciones climáticas a las que se encuentren expuestos. En la Figura 3.15 se muestra un esquema de su colocación.

Es importante que la luz que emita el sistema no sea excesiva con respecto a su entorno, ya que esto también puede ser contraproducente. En general, los sistemas de iluminación deben ser graduales debido a que la vista del ser humano tiene limitantes importantes para acoplarse a entornos distintos de luminosidad. Asimismo, el diseño y colocación de las lámparas que compongan este sistema no deberá en ningún momento encandilar a los usuarios de la carretera.

Por último, al ser las rampas de emergencia para frenado en carreteras importantes dispositivos de seguridad instalados, como su nombre lo dice, para atender “emergencias”, es recomendable que se coloquen cámaras de monitoreo con sensores que emitan una alarma al detectar el ingreso en ellas. La normativa mexicana vigente exige la instalación de un sistema de cámaras de detección automática de incidentes que genere y transmita en tiempo real alarmas e imágenes de video a una central de control, para que el personal de emergencia inicie oportunamente el operativo de auxilio requerido.

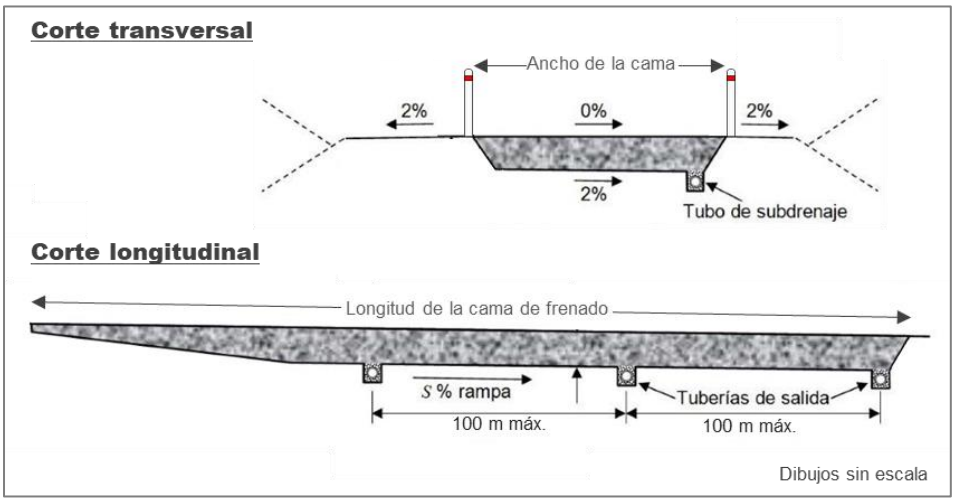
3.5.3 Drenaje

Los temas relativos al drenaje son sumamente importantes para el diseño de cualquier tipo de infraestructura vial y para las rampas de emergencia son fundamentales para su buen desempeño. Cuando no se considera apropiadamente el efecto del agua en el diseño de una rampa, su operación se vuelve ineficiente e incluso peligrosa. En este apartado se señalan los principales elementos a considerar en el diseño de una rampa con respecto al drenaje.

Es necesario tener en cuenta que una rampa está expuesta a los efectos del medio ambiente y su contacto con el agua de lluvia (o nieve en su caso) será inevitable. Estos efectos variarán de acuerdo con el clima de cada lugar, por ejemplo, en lugares secos no representarán grandes problemas, pero en lugares con lluvias frecuentes la corriente fluvial podría arrastrar tantos finos a la cama de frenado que su funcionamiento quedaría anulado. Por otro lado, en lugares con climas fríos, si

no se desaloja eficientemente el agua que llegue a ingresar en la cama de frenado, ésta puede congelarse y cancelar su función, constituyendo un riesgo catastrófico para un vehículo que llegue a ingresar en estas condiciones. Por ello, toda cama de frenado debe incluir elementos de subdrenaje en su fondo, incorporando a su vez bombeos efectivos para canalizar el agua que penetre en toda su área a través de éstos y considerando las precipitaciones esperadas de acuerdo con la zona en donde se encuentre.

En la Figura 3.20 se presenta un esquema con las recomendaciones contenidas en la normativa mexicana vigente; en el corte transversal se observa el bombeo que debe considerarse tanto en el fondo de la cama como en las superficies de las secciones contiguas a la cama, así como la ubicación del tubo de subdrenaje; en el corte longitudinal se muestran los tubos para las salidas del subdrenaje y su espaciamiento máximo.



Fuente: (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016)

Figura 3.20 Elementos del subdrenaje

Es muy importante considerar en el diseño de las zonas aledañas a la cama de frenado los bombeos o elementos necesarios para desviar en todo momento los escurrimientos de agua que pudieran ingresar a la cama. Esto ayudará a evitar que ingresen finos, lo que provoca que el material de la cama se consolide y pierda su función. En un caso extremo, la presencia de finos orgánicos puede ser tal que permita el crecimiento de vegetación, lo cual consolida aún más el material de la cama de frenado y evita que el vehículo que ingrese en ella sea atrapado. Se recomienda incorporar en el diseño todas las medidas necesarias para evitar el ingreso de agua por escurrimientos en todo el perímetro de la cama de frenado, de modo que el agua que entre en ella sea solamente por caída directa sobre su área. Esto evita el indeseable acarreo de finos y reduce la cantidad de agua a desalojar a través del subdrenaje.

Por otro lado, los vehículos que ingresen a las rampas podrían derramar líquidos en la cama de frenado, mismos que pueden ser parte de la carga transportada o por la

rotura de alguna parte del vehículo (derrames de aceites, combustibles, ácidos u otros líquidos necesarios para el funcionamiento del vehículo). El derrame de líquidos peligrosos puede contaminar mantos acuíferos o dañar la flora y fauna aledaña a la rampa de emergencia, por lo cual es recomendable colocar una barrera física entre el terreno natural y la cama de frenado. En la Figura 3.21 se muestra una fotografía donde se construye una rampa y el cajón para alojar la cama de frenado se aísla del terreno natural para evitar la contaminación del subsuelo. Además, será importante incorporar en el diseño del subdrenaje depósitos que permitan la recolección de estos líquidos peligrosos, con el fin de evitar su desalojo hacia las zonas aledañas a la rampa a través de los tubos de salida.

Finalmente, es importante mencionar que la elección del material para la cama de frenado influye directamente en la capacidad de desalojar el agua. Materiales con granulometría uniforme, con tamaños similares y formas que tiendan a la esfericidad maximizan la presencia de vacíos, lo que favorece el flujo de agua entre sus partículas. Además, se recomiendan agregados con baja capacidad de absorción de agua para un mejor desempeño y durabilidad.

Figura 3.21 Aislamiento del cajón para la cama de frenado

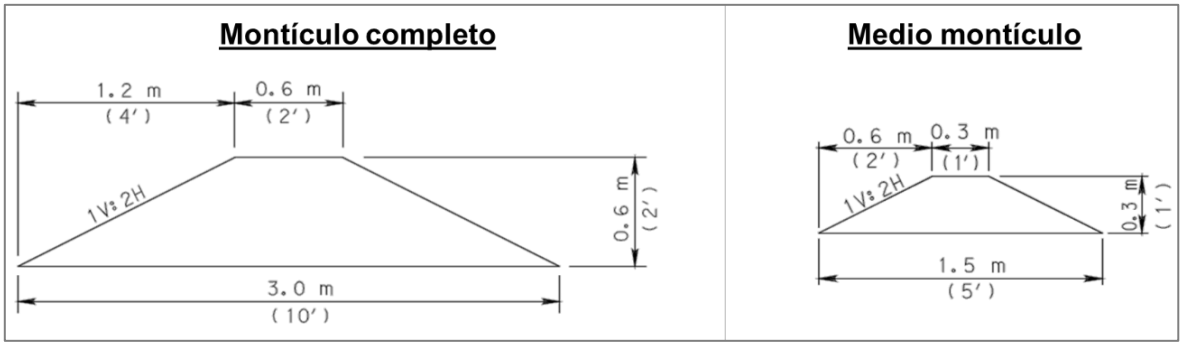
3.5.4 Dispositivos de frenado complementarios

En ocasiones, por el entorno donde son requeridas las rampas de emergencia, es complicado cumplir con la longitud de cama de frenado necesaria para detener al vehículo fuera de control, la cual depende a su vez del tipo de material usado, la pendiente y la velocidad de diseño (tema abordado en el inciso 3.2.1). Existen varias opciones para enfrentar estas restricciones de espacio, con el fin de lograr el frenado del vehículo en el área disponible. Algunos ejemplos encontrados son el diseño de la cama de frenado con montículos transversales, amortiguadores de impacto al final de la rampa (como barriles) o el complemento con otros sistemas mecánicos como el sistema Dragnet®. En este apartado se describirán algunas recomendaciones sobre estos dispositivos de frenado que se pueden utilizar como complemento en una rampa de emergencia para frenado.

3.5.4.1 Montículos

El empleo de montículos de material colocados de manera transversal sobre la cama de frenado tiene el mismo principio que las rampas del tipo “de montículo” descritas en el inciso 1.1, pero con importantes restricciones para que el frenado sea gradual y no ponga en riesgo al vehículo que ingresa, cuidando la integridad del conductor y de la carga. Estos montículos deben conformarse con el mismo material que integra la cama de frenado para evitar su contaminación.

Para comenzar, las recomendaciones encontradas restringen las dimensiones de los montículos. En la Figura 3.22 se muestran los diseños sugeridos por el Departamento de Transporte de Pensilvania (Pennsylvania Department of Transportation [PENNDOT], 2018), el cual considera el empleo de “montículos completos” o “medios montículos” con las dimensiones señaladas.



Fuente: (Pennsylvania Department of Transportation [PENNDOT], 2018)

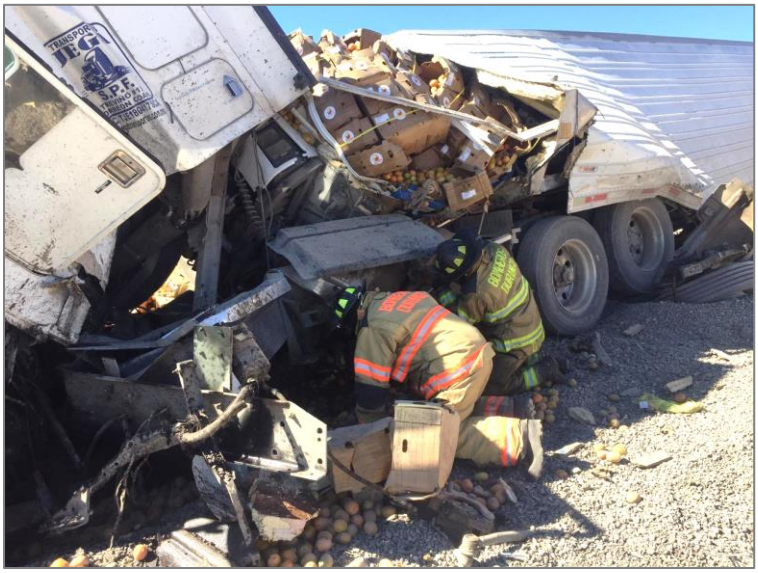
Figura 3.22 Ejemplo de diseño de montículo y medio montículo transversal

Una segunda restricción para el uso de montículos transversales en el diseño de la cama de frenado es la velocidad de impacto contra éstos, ya que no deben instalarse cuando se estimen velocidades superiores a 40 km/h. Esta limitación es para evitar desaceleraciones bruscas en el sentido de marcha del vehículo (plano horizontal) y limitar la posibilidad de acelerarlo en el plano vertical. Propiciar el movimiento hacia arriba del vehículo que entra con una alta velocidad en la cama de frenado es sumamente peligroso, ya que lo puede desestabilizar e incluso volcar. Además, la desaceleración que provoca el impacto contra un montículo transversal es diferencial entre los ejes del vehículo, pues inicialmente sólo actúa en el delantero. Debido a esta condicionante en cuanto a la velocidad de impacto y dependiendo del diseño de la rampa (velocidad de entrada, material y pendiente), la conformación de montículos transversales generalmente se realiza en la última parte de la cama de frenado. En la Figura 3.23 se muestra un diseño que probablemente está considerando esta recomendación.

Fuente: centrourbano.com

Figura 3.23 Incorporación de montículos transversales en la cama de frenado

Finalmente, una tercera restricción tiene que ver con la distancia entre cada montículo, ya que colocarlos muy juntos genera un peligroso efecto vibrador (aceleraciones verticales continuas) y una desaceleración diferencial en cada eje del vehículo. Una vibración excesiva combinada con el frenado desigual en cada eje puede provocar: daños en las cervicales de los ocupantes del vehículo, que la carga se suelte, desprendimiento del remolque o semirremolque (en el caso de vehículos articulados), que el vehículo vuelque dentro de la cama de frenado u otros efectos indeseables que afectan la seguridad en el funcionamiento de la rampa. En la Figura 3.24 se presenta una fotografía que ilustra las posibles consecuencias de una vibración excesiva sobre un vehículo de carga al entrar en una rampa de emergencia, donde la carga se ha soltado rompiendo la caja del vehículo y aventando la cabina hacia adelante.



Fuente: periodicovictoria.mx

Figura 3.24 Daños posibles en un vehículo de carga

El Manual de Diseño de Carreteras del Departamento de Transporte de Pensilvania (Pennsylvania Department of Transportation [PENNDOT], 2018) presenta indicaciones para el diseño de una cama de frenado que incorpora montículos transversales, calculando la desaceleración que producen tanto los montículos completos como los medios montículos. Sin embargo, recomienda evitar en la medida de lo posible su uso, prefiriendo otros métodos para el complemento de la rampa, como la instalación de barriles al final de la cama de frenado.

3.5.4.2 Amortiguadores de impacto

Se suelen emplear amortiguadores de impacto al final de la rampa de emergencia cuando la posibilidad de que el vehículo rebase la longitud de la cama de frenado tenga consecuencias catastróficas para el vehículo involucrado (como el caso que se muestra en la Figura 3.25) o cuando, por restricciones geométricas, no es posible construir una rampa con la longitud necesaria para frenar por completo al vehículo que ingrese (de acuerdo con la velocidad de diseño, material y pendiente para la cama propuesta).

Fuente: Canal Grúas Grisa MX (YouTube)

Figura 3.25 Desafortunado incidente en una rampa de emergencia

Lo más recomendable para el complemento de la cama de frenado son sistemas que utilizan barriles como amortiguadores de impacto. Estos barriles son dispositivos plásticos rellenados a diferentes alturas (con el mismo material utilizado para conformar la cama de frenado) y así generar una desaceleración controlada. Es muy importante emplear el mismo material que en la cama de frenado para evitar su contaminación, pues al ser impactados éstos se rompen, es así como funcionan. En la Figura 3.26 se presenta un detalle de los sistemas de amortiguamiento a partir de barriles y en la Figura 3.27 un ejemplo de su utilización.

Figura 3.26 Barriles plásticos para diseño de amortiguadores de impacto

Figura 3.27 Rampa de emergencia complementada con barriles

Para que funcionen adecuadamente se requiere un diseño específico (distribución, porcentaje de llenado y número de filas) de acuerdo con la velocidad que se requiera absorber y el peso del vehículo a detener. En el Manual de Diseño de Carreteras del Departamento de Transporte de Pensilvania (Pennsylvania Department of Transportation [PENNDOT], 2018) se ilustran ejemplos utilizando barriles de 0.64 m^3 rellenos de grava de río que cumple con la granulometría AASHTO No. 57.

Podrán utilizarse otros sistemas de amortiguamiento que hayan sido probados con éxito como complemento al final de la cama de frenado. En la Figura 3.28 se puede observar una rampa de emergencia mecánica que utiliza el sistema Dragnet®, el cual puede ser utilizado en sustitución o como complemento de una rampa de emergencia tipo “cama de frenado”.

Figura 3.28 Rampa de emergencia mecánica (Avon, Connecticut)

Finalmente, es importante mencionar que para que un sistema de amortiguamiento no cause daños a los ocupantes del vehículo, es necesario limitar la desaceleración que producen. De acuerdo con (Pennsylvania Department of Transportation [PENNDOT], 2018), esta desaceleración no debe ser mayor a 12 veces el valor de la gravedad, siendo recomendable limitarla a nueve para el diseño.

4. Encuestas a partes involucradas

Como se menciona inicialmente, uno de los recursos utilizados para lograr el objetivo del presente estudio fue el diseño y realización de encuestas dirigidas a las principales partes involucradas en el uso y mantenimiento de rampas de emergencia para frenado en carreteras, con un perfil enfocado a los camiones de carga. Se elaboraron 3 tipos de encuestas, la primera dirigida a conductores profesionales (operadores de vehículos de carga), la segunda a administradores de flotas vehiculares de carga y la tercera a gestores de infraestructura carretera (encargados de su operación y mantenimiento).

Inicialmente no se tenía contemplado incluir en el cuerpo de este estudio el diseño de las encuestas y los resultados de las misma, pero se consideró prudente su inclusión por los aportes a la investigación. A continuación, se presenta el resumen de los hallazgos más relevantes de cada una de las tres encuestas y en el Anexo 2. “Encuestas” se presenta el detalle de las preguntas que las integraron.

4.1 Conductores profesionales

Un escenario de falla en el sistema de frenado ante el cual el conductor profesional pudiese decidir no ingresar a la rampa de emergencia, obliga a reflexionar sobre los elementos que intervienen en la toma de decisiones.

En primera instancia, la opinión de los conductores se vuelve primordial y, para indagar un poco sobre la perspectiva de estos usuarios ante el problema, se diseñó un cuestionario dirigido a ellos. Los resultados de esta encuesta no pretenden ser una muestra estadísticamente representativa, pero proporciona trazas sobre una posible identificación de factores de riesgo.

Una vez seleccionados los ítems que integrarían la encuesta, se llevó a cabo un ejercicio de entrevistas personales a manera de prueba piloto, con la finalidad de asegurar que las preguntas del cuestionario fueran comprensibles por la población objetivo. Posteriormente, se publicó la encuesta en varias páginas de operadores del autotransporte, se distribuyó el vínculo entre algunos conductores conocidos por los autores de este estudio y se colocaron volantes promocionales con códigos QR para acceder a la encuesta en paradores, tiendas de conveniencia y restaurantes ubicados entre los km 146 a 176 de la carretera México-Querétaro (una de las más transitadas por vehículos de carga en el país).

Desafortunadamente no se obtuvo la cantidad de respuestas esperada a pesar de la difusión realizada (51 respuestas en total), es probable que una de las razones de la limitada participación sea porque se trata de un sector que no está familiarizado con las encuestas en línea, además de que responder la encuesta

implicaba el uso de los datos móviles de su internet. Aún y con una baja participación, los comentarios vertidos y los resultados del cuestionario resultaron bastante interesantes y a través de éstos se plantean algunas propuestas. Además, se marca la pauta sobre temas que pueden ser abordados con mayor profundidad más adelante.

Características sociodemográficas de los encuestados

- La edad promedio de los respondientes es de 42 años, con un rango que va de los 22 a los 76 años.
- Aproximadamente el 80% tiene su lugar de residencia en la zona centro del país.
- Su nivel de escolaridad es mayoritariamente con educación secundaria completada o sólo primaria (49.0 y 25.5 % respectivamente).

Características profesionales y condiciones laborales de los encuestados

- El 17 % manifestó tener experiencia en la conducción de vehículos doblemente articulados, el 63 % en articulados sencillos y el 20 % restante en camión unitario.
- Los años de experiencia promedio de los respondientes es de 16 años, aunque esta variable tiene promedios muy diferentes en función del tipo de vehículo; por ejemplo, los operadores del camión unitario en promedio tienen 12 años de experiencia, los del articulado sencillo 15 y los del doble articulado reportan en promedio 24 años. Evidentemente, así como se incrementa la experiencia se incrementan el promedio de edad, que van de 40, 41 y 47 años para el camión unitario, el articulado y doble articulado, respectivamente.
- Una cuarta parte de los encuestados inició a conducir de manera profesional a una edad entre los 16 y 20 años.
- Los tipos de licencia con los que cuenta la población encuestada es Federal tipo “E” y “B” (45.1 y 52.9 %, respectivamente).
- El 55 % de los encuestados manifestaron transportar carga general y el 37 % materiales peligrosos. Comparando el promedio en años de experiencia, los conductores de materiales peligrosos reportan un año más que los conductores de carga general.
- Atendiendo a la clasificación de empresas de la *Agenda económica del autotransporte de carga* (Camara Nacional del Autotransporte de Carga [CANACAR], 2022), la mayoría de los encuestados trabaja en micro y pequeñas empresas; el 62.7 % en empresas que cuentan con seis a 30 unidades de transporte y 17.6 % en microempresas con flotas que van de una a cinco unidades (o también conocidas como hombre-camión).
- Dos encuestados manifestaron desconocer si el vehículo estaba asegurado. Uno de ellos era un conductor novato con solo dos años de experiencia, pero el otro manifestó tener 18 años en esta labor y dedicado al transporte de materiales y residuos peligrosos, en ambos casos laboraban para pequeñas empresas (seis a 30 unidades de transporte).

Características respecto a las conductas de riesgo

Dentro de los ítems relativos a las conductas de riesgo, se indagó sobre la conducción en carreteras con pendientes descendentes. Cuatro conductores manifestaron no tener pericia en este tipo de alineamientos, siendo en promedio su experiencia como operadores profesionales de sólo cuatro años para dichos casos.

En relación a cada cuándo realizan una inspección visual del sistema de frenado del vehículo, se plantearon dos grupos de respuestas; una que hace referencia a un tiempo específico fijo (cada semana y cada 24 horas) y otra relacionada con un evento específico (cada vez que inicio un viaje y antes de entrar a una pendiente descendente). De los resultados de este ítem sobresale lo siguiente:

- Respecto a una revisión a periodo fijo, es decir, a cada cierto tiempo, cuatro conductores declararon realizar la inspección cada semana y curiosamente uno de ellos manifestó haber ingresado en una rampa de emergencia; otros tres operadores declararon revisar cada 24 horas. La experiencia promedio de estos grupos fue de 16.0 y 14.3 años, respectivamente.
- El 47 % de los conductores lleva a cabo la revisión cada vez que inicia un viaje y en este grupo la experiencia promedio es de 15.5 años
- El 27 % de los encuestados respondieron que la inspección la realizaban antes de entrar a una pendiente descendente y en este grupo el promedio de la experiencia como operadores fue de 18.6 años. Por tanto, siendo ésta la conducta más favorable en términos de seguridad, se observa que la experiencia es una variable importante.

Se les preguntó sobre las causas por las cuales consideran que un vehículo puede presentar fallas en el sistema de frenado, para ello se plantearon tres respuestas: (i) asociada al vehículo, específicamente malas condiciones en los frenos como fugas de aire en las mangueras, frenos mal ajustados, etc.; (ii) mala conducción, haciendo énfasis en la falta de experiencia, abuso de confianza y exceso de velocidad y (iii) malas condiciones del camino, por ejemplo mal diseño y cosas tiradas en la carretera. Respecto a esto último, vale la pena mencionar que se incluyó debido a que durante la prueba piloto un operador manifestó que los objetos presentes en la cinta asfáltica (como trozos de neumático) obligan a usar los frenos de servicio y como consecuencia se produce su calentamiento. Para este ítem se permitió la selección múltiple. Sobre estos resultados se destaca lo siguiente:

- Para 21 encuestados, la falla es exclusiva a un solo factor; 10 operadores la asocian con el vehículo, seis al conductor y cinco al camino.
- Para 18 encuestados, la falla se asocia a dos factores. La combinación vehículo y conductor predomina con 11 respuestas, seguida por la dupla vehículo y camino con cinco y sólo para dos operadores la falla ocurre por la combinación de los factores conductor y camino.
- En 12 encuestas los operadores manifestaron que la combinación de los tres factores puede desencadenar la falla en el sistema de frenado.

- De manera general, la mayoría afirma que la causa de la perdida de frenos es debido a las malas condiciones de los frenos (74.5 %), un 60.8 % afirma que es debido a una mala conducción y un 47.1 % afirma que es debido a la infraestructura (mal diseño y objetos tirados en la vía). La suma de los percentiles es mayor a 100 debido a que se permitió la elección de múltiples respuestas.
- Bajo la premisa de que la falla en el sistema de frenado se presenta en escenarios específicos en donde la participación de los tres factores es indispensable, se podría argumentar que los conductores que seleccionaron los tres factores tienen un mayor conocimiento sobre el problema. Esta hipótesis se podría respaldar considerando los promedios de edad que van de 45.6, 42.7 y 39.2 en los operadores que seleccionaron tres, dos y un factor, respectivamente; sin embargo, este desempeño no se observa en los promedios de años de experiencia.
- Adicionalmente, se esperaría que un conductor con una licencia tipo “E” (la cual le permite la conducción del doble articulado y/o el transporte de materiales y residuos peligrosos) tuviera un nivel superior de capacitación y en consecuencia un mayor conocimiento sobre las mejores prácticas en materia de seguridad; sin embargo, sólo el 13 % de los encuestados con este tipo de licencia respondió que la combinación de los tres factores condicionaría la falla en los frenos, mientras que en los respondientes con licencia tipo “B” esta proporción fue de 33 %.

Por otro lado, es habitual que en las pendientes descendentes se coloque la señal informativa “PRUEBE SUS FRENOS”. Para identificar la manera en que esta leyenda es interpretada por los operadores, se les preguntó sobre la acción que llevan a cabo y estos fueron los hallazgos:

- Pisar el freno para comprobar que funcionan es una acción que lleva a cabo el 45 % de los operadores entrevistados, probar el freno auxiliar es una práctica declarada por el 16 %, revisar la presión de aire el 24 %, el 47 % busca un lugar para bajar y revisar la calibración de los frenos y el 8 % manifiesta no hacer nada porque sale con los frenos ajustados. Nuevamente en este caso se permitió la elección de varias opciones, razón por la cual los porcentajes declarados exceden el percentil 100.
- Como lo muestran los resultados, la leyenda de la señal puede desencadenar diferentes acciones. Esto conlleva a reflexionar sobre las implicaciones contraproducentes de pisar el freno para “probar que funcionan” cuando en la misma acción se produce el calentamiento de los mismos. Dado que en el cuestionario se daban opciones de respuesta ante la leyenda de la señal, no se puede asegurar sobre la efectividad de la misma, sin embargo, demuestra que el mensaje no es preciso sobre lo que debe hacer el conductor, ya que se interpreta de muchas formas.
- Para prevenir una falla en el sistema de frenado “buscar un lugar para bajar y revisar la calibración de los frenos” resulta ser la acción más recomendable. En este sentido, se comparó el promedio de la edad entre los encuestados que eligieron esta opción y los que no, resultando que es de 45 contra 40

años, respectivamente. En cuanto al promedio de la experiencia, también se observa un incremento de tres años en aquellos conductores cuya respuesta a la leyenda de la señal los incita a buscar un lugar para detenerse.

En uno de los ítems se colocaron dos imágenes de las señales preventivas SP-29 que alude a la presencia de un tramo en descenso, marcando en cada una diferentes porcentajes de la pendiente (en la primera opción, 5 % y en la segunda opción, 8 %), ambas con el tablero adicional con la leyenda “PRÓXIMOS 10 km”. La pregunta consistía en elegir el escenario con mayor riesgo de falla en el sistema de frenos. El 30 % de los conductores respondieron que la primera opción era de mayor riesgo (opción incorrecta), dentro de este grupo el promedio de la experiencia fue de 13.6 años. En el resto de los conductores, que respondieron de manera adecuada, el promedio de la experiencia es 17.3 años. En esta ocasión la diferencia en los promedios de edad es sólo de dos años superior en el grupo de conductores que eligieron la segunda opción.

En un ejercicio de imaginación y haciendo alusión a un escenario en el cual se presentará la falla en el sistema de frenos y existiese una rampa de emergencia en el tramo, se planteó un ítem sobre las razones por los cuales el operador no ingresaría al dispositivo de frenado. Los motivos expuestos se pueden agrupar en aquéllos que hacen alusión a las consecuencias económicas -porque me cobrarán por usarla, por el costo de la grúa de rescate, miedo a ser multado- y otro grupo relativo a la efectividad del dispositivo -porque son inseguras y miedo a que la carga me aplaste-; también se proporcionaron las opciones “ninguna de las anteriores”, “definitivamente entraría” y se dejó la opción para una respuesta abierta y la selección de múltiples motivos. Los resultados fueron los siguientes:

- El 69 % de los conductores declaró que bajo el escenario planteado ingresaría a la rampa de emergencia sin lugar a duda, aunque dos añadieron comentarios que exponen su preocupación sobre la funcionalidad. A este respecto, un operador manifestó que si esto le ocurriese en el norte del país no ingresaría, mientras que otro señaló que algunas le parecen muy cortas y no le inspiran confianza. Por otra parte, un operador condiciona el ingreso dependiendo de la velocidad y peso de la carga.
- El 31 % (16 de los 51 respondientes) declaró que no ingresaría. Ocho argumentaron su negativa en ambos grupos de motivos (tanto los económicos como los de funcionalidad), seis hicieron alusión de manera exclusiva a los motivos económicos y dos a los motivos de funcionalidad.
- Respecto a la comparación de la edad y experiencia entre el grupo de conductores que ingresaría y los que no, resulta interesante que éstos últimos tiene un promedio de experiencia de 1.2 años más que los conductores que declararon que ingresarían.
- Es digno de reflexión que dos de los conductores encuestados manifestaron que en el pasado ya habían ingresado a una rampa de emergencia y, bajo el escenario expuesto en el ítem, no eligen la opción “definitivamente entraría”. Uno de ellos argumenta motivos económicos “cobro por uso y cobro por la grúa” y el otro operador por motivos de funcionalidad “porque son inseguras”.

Resulta interesante que ambos operadores declaran que el seguro del vehículo cubre los gastos derivados del ingreso y aun así no estarían completamente seguros de entrar a la rampa.

En las carreteras que cuentan con rampas de emergencia, se orienta a los conductores a través del señalamiento sobre cuáles son las acciones a seguir en caso de tener una falla en el sistema de frenado. Entre estas acciones se encuentran “seguir la raya roja”, “prender las luces intermitentes” y “avisar con el claxon a otros vehículos”. Bajo este contexto, se cuestionó a los conductores sobre lo que se debe hacer si se desea ingresar a uno de estos dispositivos. Los resultados fueron los siguientes:

- El 53 % de los conductores llevarían a cabo las tres acciones, el 22 % prioriza sólo dos acciones “seguir la raya roja” y “prender las luces intermitentes”, el 18 % optaría sólo por “seguir la raya roja” y un 7 % llevaría a cabo acciones excluyendo “seguir la raya roja”.
- Bajo el entendido de que la acción de seguir la raya roja es la tarea primordial si un conductor desea ingresar a una rampa de emergencia y aunque solamente cuatro operadores la omitieron en sus respuestas, resulta importante mencionar que el promedio de la experiencia de este pequeño grupo fue menor por 5.5 años en comparación con el grupo de conductores que seleccionaron esta opción como respuesta al ítem.

Respecto al conocimiento que tienen los operadores sobre las pólizas de los seguros contratados, resalta que el 69 % desconoce si la cobertura cubre el ingreso a una rampa de emergencia, mientras que el 24 % tiene la certeza de que si cubre y el 8 % sabe que su póliza no cubre estos eventos. Para el sector de operadores con protección, el promedio de la experiencia es de 21 años, mientras que para el resto es de 14.6 años.

En relación a las lecciones aprendidas a través de la experiencia de otros operadores en el uso de las rampas de emergencia, se puede extraer lo siguiente:

- El 35 %, es decir, 18 conductores, manifestaron conocer a alguien que ha ingresado. En siete casos sus compañeros sufrieron lesiones y sólo uno de éstos fue de gravedad.
- De estos 18 conductores, 10 habían manifestado que ante el caso hipotético de experimentar una falla en los frenos del vehículo ingresarían a la rampa, mientras que los ocho restantes no ingresarían (cuatro argumentan de manera exclusiva motivos económicos, uno por motivos de funcionalidad del dispositivo y tres sustentan la respuesta en ambas consideraciones).
- De estos 18 conductores, 13 manifestaron que hubo un cobro (costos entre $5,000 y $56,000), aunque muy pocos tienen claro si fue por el uso de rampa y/o por el rescate del vehículo.

Ahora bien, retomando los comentarios de los dos operadores que manifestaron haber entrado a una rampa de emergencia, en ningún caso hubo lesiones. Uno de

ellos pagó $35,000 pesos (por uso y rescate) y otro $8,000 (sólo por rescate ya que no hubo cobro por uso). Ambos recomendarían su uso en caso de necesitarlo, pero también manifestaron extorsión y abuso por parte de la policía, así como una inseguridad hacia las rampas cortas y con pendiente ascendente pronunciada.

Se preguntó sobre si recomendaría a un compañero utilizar una rampa de emergencia en caso de necesitarlo y al respecto el 88 % respondió afirmativamente, aunque de éstos el 27 % había respondido que dudarían en ingresar en el ítem que hace alusión al caso hipotético de un escenario de conducción con falla de frenos.

Para finalizar la encuesta, se les ofreció un espacio a los conductores para que manifestaran comentarios abiertos sobre recomendaciones u observaciones para las rampas de emergencia. Sus contribuciones fueron agrupadas en las siguientes categorías:

- Mejorar señalamiento (15)
- Mejorar mantenimiento (14)
- Difundir información acerca de las rampas y capacitación (7)
- Que sean gratuitas (7)
- Que no sean tan cortas (4)
- Más rampas (4)
- Evitar abusos policiacos (1)
- Mejorar maniobras de rescate (1)

La información proporcionada por los operadores a través de este ejercicio, que dista de ser estadísticamente representativo, confirma algunos indicios respecto a dos conductas de riesgo. Por un lado, las estrategias de conducción por parte de los operadores frente las pendientes descendentes y por otro, la toma de decisiones respecto al ingreso a una rampa de emergencia. Ambas conductas de riesgo exigen medidas de prevención y mitigación específicas, pero que en conjunto abonan a la seguridad. Dentro de las medidas tanto preventivas como de mitigación que se pueden identificar y que surgen del presente análisis se tienen las recomendaciones que a continuación se describen.

4.1.1 Medidas de prevención

Los valores promedio de experiencia y edad marcan que la práctica acumulada con el tiempo forma un cuerpo de conocimientos que ayuda a tomar decisiones seguras; por ejemplo, que los conductores revisen sus frenos antes de iniciar un viaje en una pendiente descendente y que al ver la señal con la leyenda “revise sus frenos” opten por detenerse y hacer una revisión visual. Ambas acciones están enlazadas y son medidas de prevención, pero para que puedan ejecutarse la infraestructura carretera debe ofrecer puntos seguros para la revisión de frenos, los cuales, además de ser anunciados previamente por medio de señalamiento, deben contar con carriles de cambio de velocidad y preferentemente ser puntos de afluencia como un paradero de servicios. Existen tramos carreteros que ofrecen estos sitios para la

revisión del vehículo, sin embargo, no siempre son utilizados porque los conductores se vuelven presa fácil para actos criminales.

Aunque la información de siniestralidad no es contundente en demostrar que la edad de los conductores sea un factor para los incidentes por falla en el sistema de frenado, se ha demostrado que los conductores jóvenes son más propensos a participar como responsables del siniestro (Cuevas & Cadengo, 2021). Como se mencionó anteriormente, los valores promedio de la edad y experiencia son mayores para conductas seguras; entonces, resulta pertinente reforzar los protocolos de formación de los conductores jóvenes, revisar los contenidos de los programas de capacitación y los exámenes que acreditan el otorgamiento de las licencias. En este sentido, todo conductor debe tener claro de qué manera se hace una revisión del sistema de frenado y qué papel desempeñan cada uno de los elementos (conductor, camino y vehículo) que interviene en el frenado de un vehículo. Por otra parte, las empresas transportistas podrían trabajar en una asignación de rutas que considere la experiencia del operador y que eventualmente los conductores nóveles se expongan a la conducción en pendientes descendentes, pero acompañados de un conductor experimentado.

4.1.2 Medidas de mitigación

Es indispensable abordar nuevamente la capacitación. En algún momento un vehículo va a presentar problemas en el sistema de frenado y los operadores deberían estar informados sobre las estrategias para afrontarlo. En este sentido, se sugiere uniformizar los protocolos de actuación y que la información ser extensiva al resto de los conductores para entonces facilitar y no entorpecer la trayectoria del vehículo sin frenos.

Por otro lado, se recomienda subsanar las razones que motivan a los conductores a no ingresar a una rampa de emergencia. Para cubrir este punto, se necesita la colaboración de muchas entidades u organizaciones. Por ejemplo, para eliminar los motivos relacionados con el impacto económico que representa el ingreso a la rampa, se necesita la colaboración de las compañías aseguradoras, quienes actualmente erogan más recursos al indemnizar por los daños ocasionados por un vehículo sin frenos que se impacta contra otros usuarios del camino, que el costo asociado a las maniobras de la grúa para sacar al vehículo de la rampa de emergencia y para cubrir el costo de mantenimiento del dispositivo que cobran algunos administradores de autopistas (carreteras de cuota) y gestores de carreteras libres bajo el argumento de que es para el reacomodo del material. Otra de las aristas que desmotiva el uso del dispositivo está a cargo de los prestadores del servicio de arrastre y salvamento (grúas), que en su mayoría dependen de la autorización de la Dirección General de Autotransporte Federal para la regulación de las tarifas y otorgamiento de concesiones; sin embargo, como se expone en el inciso 5.2, el cobro por el rescate de los vehículos que ingresan a las rampas de emergencia no está regulado por el esquema tarifario.

Además, existen los motivos asociados a la funcionalidad del dispositivo y que se discuten ampliamente en otros apartados de este trabajo. En cualquier caso, el objetivo de las rampas de emergencia es capturar fuera del flujo principal de tránsito a un vehículo que no tenga control sobre el sistema de frenado y ofrecerle una opción segura para detener su movimiento, para de este modo evitar una colisión y las consecuencias de la misma.

Fuera de los alcances de este trabajo, pero que surge como una inquietud, valdría la pena valorar las conductas que desencadena la leyenda “PRUEBE SUS FRENOS” y tener la certeza de que el señalamiento es claro e incentiva las acciones deseadas desde el enfoque de la seguridad, dando respuesta a ¿Qué queremos que haga el conductor? y ¿Qué hace?

4.2 Administradores de flotas de carga

Así como fue importante recopilar de manera breve la experiencia y las impresiones de los conductores del autotransporte de carga, se diseñó un breve cuestionario para los administradores de las flotas vehiculares de carga. Las preguntas, aunque orientadas al uso de las rampas de emergencia, también cubrieron cuestiones de tipo administrativo, tales como la capacitación y la frecuencia de mantenimiento vehicular. Asimismo, se indagó sobre sus conocimientos de las causas que subyacen a la falla en el sistema de frenos. Las características de la muestra y los resultados de la misma se muestran a continuación:

Características de la muestra

- Se obtuvo respuesta de 49 administradores de flotillas, 20 % de la microempresa o lo que se conoce como hombre-camión, 35 % de pequeñas empresas (que administran entre seis y 30 unidades de transporte de carga), 20 % de la mediana empresa y 25 % de empresas con más de 100 unidades de transporte.
- Sólo uno de los administradores tiene a su cargo vehículos para el transporte de pasajeros, 20 tiene a su cargo vehículos que incluyen el doble articulado (full), otros 20 corresponden a empresas con vehículos articulados y los 8 restantes gestionan camiones unitarios.
- El 51 % de los administradores declararon que las mercancías transportadas podrían incluir materiales y residuos peligrosos, el 43 % carga general y el 6 % restante incluía perecederos.

Características respecto a las conductas de riesgo

Aunque no de manera directa, las actividades administrativas están inmersas en la conducta de riesgo, ya que los protocolos de mantenimiento de las unidades pueden ser un elemento predictor en la ocurrencia de la falla. Para este rubro se planteó un ítem sobre la periodicidad con la que se revisa el sistema de frenado de la flotilla. Al respecto, el 45 % respondió que “al inicio de cada viaje” y aquí es importante señalar que esta acción parece ser llevada a cabo con mayor frecuencia entre el 59 y 50 %

de las empresas pequeñas y grandes, respectivamente. Asimismo, es una práctica que coincide con lo declarado por el 53 % de los conductores profesionales.

Siguiendo con la pregunta del mantenimiento, el 22 % de los respondientes señaló que la revisión se lleva a cabo a una tasa fija de kilómetros recorridos. Por otra parte, el 10 % menciona que la revisión se lleva a cabo cuando el operador manifiesta la existencia de alguna falla. Aunque esto último resulta preocupante, no se puede concluir que el mantenimiento solamente ocurre bajo esta circunstancia, ya que para este ítem sólo se permitió la selección de una respuesta, siendo probable que el administrador de la flota pueda darle prioridad a una falla declarada, no obstante que la unidad haya sido revisada recientemente.

Respecto al conocimiento sobre los factores que subyacen a la falla en el sistema de frenos (interacción conductor, vehículo y camino), el 50 % de las microempresas (hombre-camión) señalan que son los tres elementos; para el 53 % de los gestores de la pequeña empresa, es la combinación de dos factores, en donde el vehículo prevalece en cualquier escenario; para la mediana empresa, el 50 % considera que la falla en el sistema de frenado reside de manera única en el vehículo y, para la empresa grande, la combinación de dos o tres de los elementos representa el 58 %, siendo importante señalar que para este último gremio dos de los 12 gestores señalan que el camino podría actuar como factor único en la falla del sistema de frenado.

De manera general, la mayoría de los transportistas afirma que el sistema de frenado del vehículo falla por malas condiciones mecánicas (79.6 %), poco más de la mitad lo atribuye también a la mala praxis en la conducción (57.1 %) y una tercera parte lo atribuye a las condiciones de la carretera (32.7 %). Debido a que para este ítem se permitió la respuesta de selección múltiple la sumatoria es mayor al percentil 100.

Se indagó sobre la capacitación que se les brinda a los conductores para evitar una falla en el sistema de frenado y el 31 % negó la existencia de cursos de capacitación para tal fin. Sin embargo, se observan diferencias sustanciales dependiendo del tamaño de la empresa; por ejemplo, esta proporción oscila entre 40 y 47 % para la micro y pequeña empresa, mientras que en empresas con más de 100 unidades de transporte todos los gestores afirman que se otorga capacitación sobre este tema.

Es claro que ante una falla en el sistema de frenos los gestores de las flotas de transporte no se encuentran en la unidad y no tienen poder de decisión sobre si el conductor debe o no ingresar a una rampa de emergencia, sin embargo, sus comentarios o las conductas que asumen ante un evento de esta naturaleza pueden influenciar la decisión del operador. Bajo esta premisa, se planteó un ítem para rastrear cuales serían las razones por las que no recomiendan a los operadores ingresar a una rampa de emergencia. Se dieron varias opciones de respuesta, algunas encaminadas a los aspectos económicos (cobro por uso de rampa, costo de la grúa de rescate, costo de la multa o por perdida de la carga) y otras enfocadas a la funcionalidad del dispositivo (porque son inseguras o porque el tipo de carga

transportada puede aplastar al operador) y se facilitaron las opciones “ninguna de las anteriores” y “definitivamente aconsejaría entrar”. Sobre este ítem se tienen los siguientes hallazgos:

- En general, el 70 % de los respondientes contestaron que aconsejarían entrar, aunque nuevamente el tamaño de la empresa parece ser un factor que abona a una conducta segura, ya que la proporción se reduce para la micro y pequeña empresa (60-65 %) y aumenta para la mediana y grande (80-82 %).
- Ahora bien, el 30% de los administradores de flotas que no eligen “definitivamente aconsejaría entrar”, en las razones expuestas siete de cada 10 argumentan factores económicos (en especial el cobro por uso de la rampa y/o el costo de la grúa de rescate) y cuatro de cada 10 perciben estos dispositivos como inseguros. Estos resultados son similares a los arrojados por la encuesta a conductores.

Resulta interesante que, no obstante los problemas que se han suscitado respecto a los vehículos que se quedan sin frenos, el 55 % de los administradores de flotillas no saben si el seguro de las unidades cubre el ingreso a una rampa de emergencia. Por otro lado, el 20 % respondió que sus pólizas cubren estos eventos y el 25 % tienen la certeza de que no están protegidos. Para esta variable no se observa un comportamiento relacionado con el tamaño de la empresa.

En relación con los ingresos a las rampas de emergencia, seis de los 49 respondientes (12 %) señalaron que al menos una de sus unidades había hecho uso de un dispositivo. De éstos, tres son de la pequeña empresa, dos de la mediana y uno de la grande. Además, de estas empresas que ya tienen experiencia en el uso de rampas, sólo en dos de los seis casos sus pólizas de seguro cubren el ingreso.

De los respondientes, 20 admitieron conocer a alguien que ingresó a una rampa de emergencia. De éstos, el 95 % señaló que los vehículos resultaron dañados, el 70 % mencionaron que también hubo daños a la carga y el 15 % que hubo personas lesionadas; mientras que sólo el 30 % indicó que hubo daños a la infraestructura. Sólo un caso quedo registrado sin daños al vehículo, a la carga y sin lesiones, reportando únicamente daños a la rampa.

De los 20 respondientes que conocen a alguien que ingreso a una rampa, el 60 % manifiestan que hubo una erogación por el uso del dispositivo y/o por el rescate, algunos de ellos señalan montos que en promedio ascienden a 145 mil pesos por evento, con un rango que va desde los 60 mil hasta los 430 mil pesos; adicionalmente declaran gastos asociados a multas y extorsión por parte de las autoridades, servicios médicos, reparación del vehículo y de la rampa.

Para finalizar, dentro del cuestionario se pidió a los encuestados que manifestarán sus recomendaciones u observaciones y, aunque no todos emitieron comentarios,

se pueden rescatar algunas ideas principales, las cuales están en consonancia con las manifestadas por los operadores:

- Que no haya costos asociados a su uso y que se regulen los costos de las grúas.
- Mejorar mantenimiento y señalamiento.
- Regularización de las tarifas por las maniobras de rescate.
- Los seguros, ya sean de la autopista o del vehículo, deberían cubrir los ingresos.
- Difusión sobre ubicaciones de las rampas de emergencia y capacitación a los operadores sobre el funcionamiento de las mismas.
- Incrementar el número de rampas de emergencia y mejorar su diseño.

En principio se percibe que el tamaño de la empresa es un elemento que contribuye a las conductas de riesgo identificadas -falla en el sistema de frenado e inseguridad para ingresar a una rampa de emergencia una vez presentada la falla-. Pareciera que el número de unidades motrices es indirectamente proporcional a la frecuencia de los elementos presentes en la conducta de riesgo, aunque se requiere mayor investigación ya que la información recopilada en este cuestionario no constituye una muestra estadísticamente representativa.

Adicional a lo manifestado por algunos gestores de flotas de transporte, valdría la pena complementar la capacitación de los operadores sobre una adecuada conducción para reducir el riesgo de falla en el sistema de frenado y el uso de las rampas de emergencia. Esta información debe ser extensiva a los gestores de flota, ya que ellos debiesen estar sensibilizados sobre los factores de riesgo inherentes a las labores administrativas. Asimismo, resulta importante esclarecer cuáles son los motivos por los que los operadores se hacen acreedores a una multa y uniformizar los criterios de los elementos de vigilancia para la aplicación de las mismas.

Es complicado que la Guardia Nacional lleve a cabo operativos para vigilar el cumplimiento de la NOM-068-SCT2 vigente, que establece las especificaciones físico mecánicas de los vehículos para garantizar su circulación con seguridad en las carreteras; por tanto, los encargados del mantenimiento de las unidades y los conductores deberían conocer los rubros de esta normativa que impactan a su configuración vehicular. Sin embargo, se podrían definir sitios específicos en los que se vuelva imperante llevar a cabo operativos para la revisión.

Respecto a los comentarios referentes al señalamiento y aviso sobre la existencia y ubicación de las rampas de emergencia, pareciera que la mejor manera es a través de la capacitación. Aunque se debe pensar en formas alternas de comunicación que, además de anunciar la existencia de los dispositivos, pueda brindar información para reforzar el conocimiento sobre las maniobras a realizar en caso de una falla en el sistema de frenos.

Nuevamente surge la inquietud sobre la cobertura de las pólizas de seguro y se reitera la necesidad de que las compañías revisen la pertinencia de incluir los

ingresos a las rampas de emergencia. Algunas declaraciones de los respondientes señalan que la cobertura de la póliza podría cubrir el ingreso al dispositivo siempre y cuando el vehículo sufra una volcadura, pero una consecuencia de esta naturaleza significaría que la rampa no funcionó adecuadamente, lo cual además de generar mayores pérdidas económicas implica un mayor riesgo.

4.3 Gestores de infraestructura carretera

Como se ha presentado anteriormente, los resultados de las encuestas reflejan el punto de vista de los conductores del autotransporte de carga y de los administradores de las flotillas de transporte; la información recabada proporciona algunos indicios sobre los elementos de riesgo implícitos en la falla del sistema de frenado de un vehículo.

En este apartado se analizan los resultados de una encuesta aplicada a los gestores de la infraestructura. De la misma manera que los ejercicios anteriores, los resultados aquí vertidos distan de ser una muestra estadísticamente representativa y sólo busca perfilar algunos elementos que por su aporte a una conducta de riesgo requieran ser analizados con mayor profundidad.

Independientemente de los factores que entran en juego y que producen una falla en el sistema de frenado, otro aspecto que debe ser contemplado es el mantenimiento y operación de las rampas de emergencia. La normativa es muy clara en cuanto a los rubros de diseño, pero no tiene especificaciones puntuales en lo referente al mantenimiento; por tanto, en un intento de recopilar las buenas prácticas y las pautas de conservación se elaboró otro cuestionario, pero esta vez destinado a los gestores de la infraestructura carretera y los resultados se muestran a continuación.

Características de los encuestados

Se recibieron 32 encuestas, 11 correspondientes a Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE), 12 de diversos Centros Estatales de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT), siete de concesionarios privados y dos de otros servidores públicos que no necesariamente tienen a su cargo este tipo de infraestructura, pero que están involucrados con el tema.

Características de periodicidad del mantenimiento

Uno de los mayores inconvenientes para los gestores de la infraestructura reside en la asignación de recursos para el mantenimiento y conservación. Cada uno de los elementos que componen una rampa de emergencia demanda en diferente medida recursos de mantenimiento, éstos fueron enlistados como: i) repintado del señalamiento horizontal, ii) limpieza y reposición de señalamiento vertical, iii) mantenimiento a cámaras de circuito cerrado, iv) limpieza y mantenimiento al sistema de iluminación, v) reacomodo y esponjado (aflojado) del material de la cama de frenado, vi) reemplazo del material de la cama de frenado, vii) mantenimiento al

camino de servicio, viii) mantenimiento al sistema de drenaje y subdrenaje y ix) mantenimiento a los macizos de anclaje. Respecto a la periodicidad se propusieron los siguientes periodos: cada dos meses, seis meses, 12 meses, más de 12 meses y, por último, la opción “no lo sabe”; de tal forma que, el respondiente podría elegir entre diferentes intervalos de tiempo para llevar a cabo las labores de conservación. Los resultados se muestran a continuación:

Respecto al repintado del señalamiento horizontal, de manera general el 28 % indicó que lleva a cabo la actividad cada seis meses, el 34 % cada doce meses, el 28 % declaró que pasan más de 12 meses y el 10 % desconoce la periodicidad. Sin embargo, analizando los datos segregando por tipo de gestor, se observan diferencias importantes.

- En las concesionarias, el 57 % hacen el repintado del señalamiento horizontal cada seis meses y el 43 % restante lo hace cada doce meses.
- En CAPUFE el 36 % lo hace cada seis meses, el 27 % cada doce, otro porcentaje igual hacen esta labor en periodos superiores a los doce meses y el 10 % no lo sabe.
- Según lo declarado por los Centros SICT, sólo el 8 % lleva a cabo esta labor cada seis meses, el 42 % cada doce meses y para el 50 % esta actividad se repite en periodos superiores al año.

Para el mantenimiento del señalamiento vertical, se pueden llevar a cabo labores de limpieza o reposición; al respecto, aunque son dos actividades cuya demanda de recursos es diferente, se decidió agruparla para percibir la importancia que se le da a que el señalamiento vertical se encuentre en buenas condiciones. Respecto a esta actividad, el 29 % lo hace con una frecuencia de hasta seis meses y en el 71 % de los casos este lapso puede ser de 12 meses o superior. Nuevamente se detectan diferencias entre los gestores de la infraestructura, por ejemplo, para el 67 % de las concesionarias el tiempo no excede de seis meses, para CAPUFE esta proporción es de 30 % y en la infraestructura libre sólo el 8 % lleva a cabo esta labor con dicha periodicidad.

Con el fin de generar una alerta y enviar a la brevedad a los equipos de rescate y salvamento, la norma vigente en materia de rampas de emergencia exige que éstas cuenten con cámaras de circuito cerrado. No es de sorprender que un importante número de rampas carezcan del equipo tecnológico, en principio porque suelen estar en lugares distantes y con dificultades para el acceso al suministro de energía eléctrica y de internet. Bajo este precepto, se intuye que los respondientes que señalaron desconocer el periodo de mantenimiento a las cámaras de circuito cerrado (que son algunos gestores de CAPUFE y de la SICT), se debe a que la rampa no cuenta con estos aditamentos. Por otra parte, el 57 % de los gestores de concesionarias declararon que las cámaras reciben mantenimiento cada dos meses, el 43% restante señala que este proceso se lleva a cabo cada seis o 12 meses; en contraposición con los gestores de CAPUFE y de la SICT, en donde alrededor del 11 % señalaron que el mantenimiento de las cámaras de circuito

cerrado es de seis meses, el 22 % cada 12 meses y para el 67 % restante puede superar el año.

Para el sistema de iluminación, reportan periodos de mantenimiento muy similares al de las cámaras. De igual forma, una parte importante de los respondientes (todos de CAPUFE y de la SICT) desconocen la periodicidad del mantenimiento, lo que se atribuye a razones similares a las expuestas en el punto anterior. En todo caso, la totalidad de los gestores de concesionarias manifiestan que el mantenimiento a lo mucho es cada año, mientras que en las rampas de CAPUFE y de la SICT más del 50 % de los gestores respondieron que puede pasar más de un año para que las luminarias reciban algún tipo de mantenimiento.

Respecto a la periodicidad con la cual se lleva a cabo el reacomodo (aflojado) del material granular, alrededor del 50 % de los gestores de las concesionarias y de CAPUFE respondieron que esta actividad se efectúa con una frecuencia máxima de seis meses y para el 83 % de los gestores de la SICT este lapso se incrementa a un año o más. Ahora bien, es necesario puntualizar que esta respuesta no queda al margen de los ingresos a la rampa de emergencia, porque el reacomodo del material es una de las actividades que se deben llevar a cabo después de que un vehículo ingresa al dispositivo; sin embargo, la condición de “independientemente de los ingresos” no fue incluida dentro del ítem, por lo que se sugiere tomar con reservas la frecuencia declarada de esta actividad. Sería interesante indagar sobre el proceso seguido para hacer el aflojado del material y definir por medio de estudios de laboratorio el procedimiento idóneo para esta actividad, para posteriormente difundirlo a los gestores de la infraestructura.

En este mismo rubro, se preguntó sobre la frecuencia con la que es reemplazado el material granular. De igual forma, esta pregunta debió quedar supeditada a la frecuencia de uso del dispositivo. En principio las preguntas se plantearon para recabar las prácticas habituales de mantenimiento para tratar de identificar las buenas prácticas y no se contemplaron aquellos casos en los que un gestor podría tener bajo su cargo la operación de más de una rampa de emergencia, situación que se presenta en algunas autopistas operadas por CAPUFE (por ejemplo, la México-Puebla y Puebla-Córdoba) y por algunas concesionarias (como AUNETI que en su tramo Nuevo Necaxa-Tihuatlán tiene tres rampas de emergencia) y que es de esperar que en cada dispositivo la frecuencia de ingresos sea diferente. Al margen de esta aclaración, los resultados a esta pregunta fueron:

- Dos gestores de concesionarias declaran que el reemplazo del material se lleva a cabo cada 12 meses, lo cual parece ser extraño a menos que la frecuencia de uso del dispositivo así lo demande. Hubo otros gestores que declararon la misma frecuencia en cuanto al reemplazo y el reacomodo del material, entonces surge la duda respecto a si para los gestores la diferencia entre estos dos conceptos es clara (reemplazar el material o sólo escarificarlo para aflojarlo).
- Un total de 15 respondientes ignoran la frecuencia con la que se efectúa el reemplazo del material. Esta situación puede tener diferentes lecturas, por

ejemplo, es probable que en el tiempo que han permanecido como encargados no se halla hecho el reemplazo del material o que no exista un protocolo definido para ello.

En relación con el camino de servicio y descartando aquellos gestores que ignoran la periodicidad del mantenimiento, el 61 % declaró que se hacen labores de conservación por lo menos cada año.

Para el mantenimiento en las obras de drenaje y subdrenaje, el 68 % de los respondientes que indicaron una periodicidad señalan lapsos de tiempo que son de un año o mayor.

Finalmente, en esta sección el 56 % de los respondientes señala que desconoce la frecuencia con la que se llevan a cabo labores de mantenimiento de los macizos de anclaje, ante lo cual surgen dudas sobre la existencia de los mismos y la utilidad que les dan las empresas de rescate.

Para facilitar el análisis de la información se construyeron la tabla y las gráficas que se muestran a continuación, en cada una es visible la periodicidad de las labores de mantenimiento agrupando las respuestas en función del tipo de red que gestiona el respondiente. Es evidente que la gestión de infraestructura tiene una mayor disponibilidad de recursos cuando se trata de concesionarios privados, seguido por CAPUFE.

Tabla 4.1 Frecuencia de mantenimiento por tipo de red

Gestor	Señalamiento		Cámaras	Sistema iluminación	Material cama		Camino servicio	Sistema drenaje	Macizos
	Horizontal	Vertical			Aflojado	Reemplazo			
Concesionario	Cada 6 meses	Cada 12 meses	Cada 6 meses	Cada 6 meses	Cada 12 meses	Más de 12 meses	Cada 12 meses	Cada 12 meses	Más de 12 meses
CAPUFE	Cada 12 meses	Cada 12 meses	No sabe	Más de 12 meses	Cada 6 meses	Más de 12 meses	Cada 12 meses	Más de 12 meses	Más de 12 meses
Centro SICT	Cada 12 meses	Cada 12 meses	Más de 12 meses	Más de 12 meses	Cada 12 meses	Más de 12 meses	Más de 12 meses	Más de 12 meses	Más de 12 meses

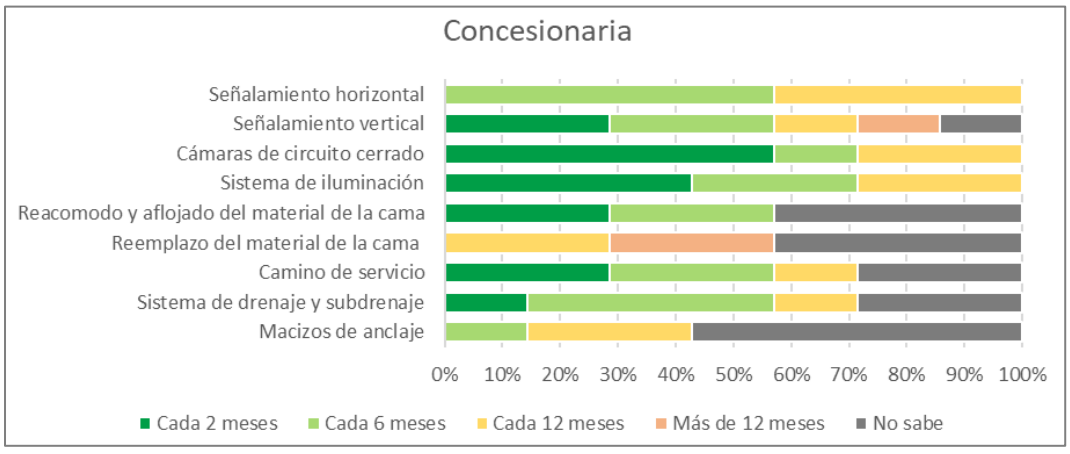


Figura 4.1 Frecuencia de mantenimiento (concesionarios)

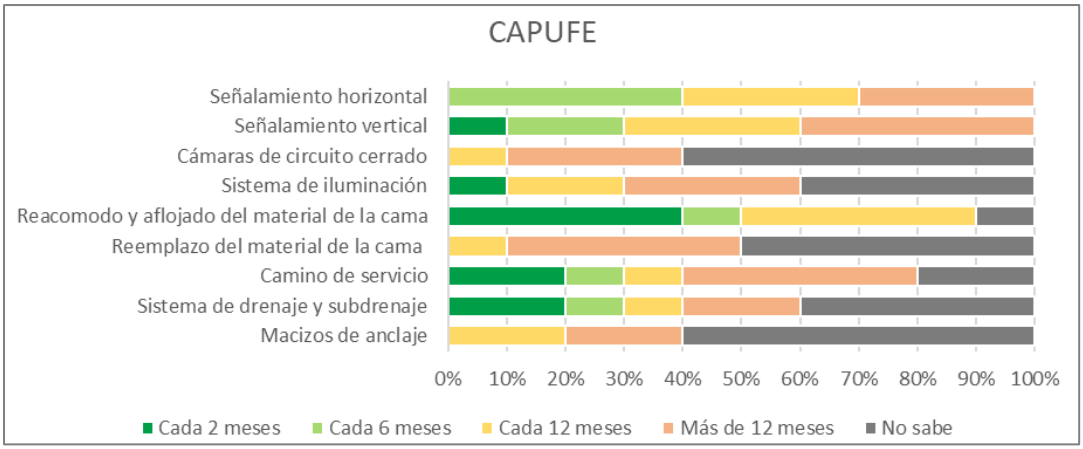


Figura 4.2 Frecuencia de mantenimiento (CAPUFE)

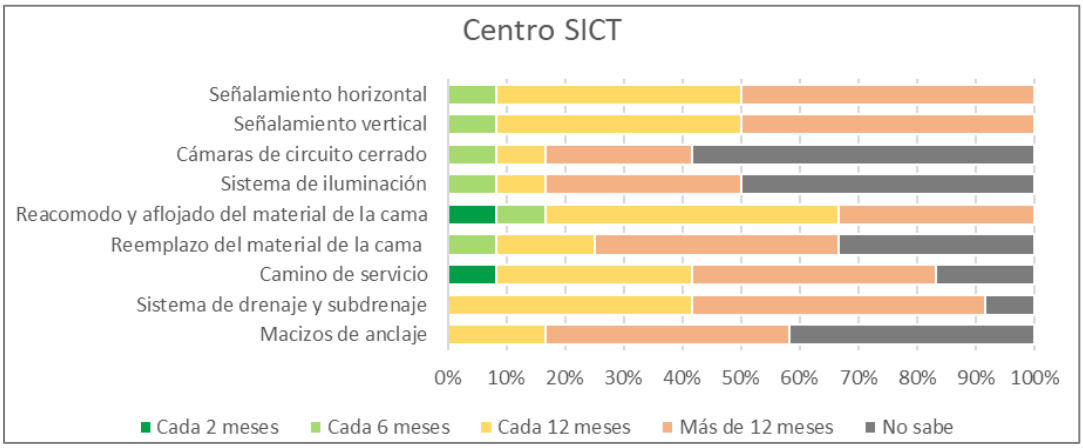


Figura 4.3 Frecuencia de mantenimiento (Centros SICT)

Características del mantenimiento correctivo

En este apartado se analizan las respuestas a los ítems correspondientes a las acciones que se llevan a cabo como parte de mantenimiento correctivo.

Después de que un vehículo ingresa a la rampa de emergencia y es retirado, se deben llevar a cabo algunas actividades. Se proporcionaron a los respondientes un listado de selección múltiple y las opciones de respuesta se listan a continuación: i) reacomodo del material de la cama de frenado, ii) reacomodo y esponjado (aflojado) del material de la cama de frenado, iii) limpieza de la cama de frenado (en caso de derrame o desprendimiento de la carga), iv) limpieza del camino de servicio, v) remplazo de indicadores de alineamiento dañados. Al respecto, se encontró lo siguiente:

- El 62 % de los respondientes seleccionaron los incisos i y ii (reacomodo y reacomodo y esponjado). Ambas actividades son mutuamente excluyentes, toda vez que en el reacomodo y esponjado queda implícita el “reacomodo”. Ante esto se presume que existe un cierto grado de desinformación sobre las actividades de mantenimiento correctivo al material granular, aunque no se

descarta que haya habido una mala interpretación. Por otra parte, el 31°% señaló que llevan a cabo el reacomodo del material sin hacer el esponjado, para este grupo de respondientes es claro que hay una diferencia entre estas actividades.

- Analizando la selección de estas respuestas por tipo de red gestionada, se observa que el 57 % de los gestores de concesionarias llevan a cabo ambas actividades (es decir, no se tiene claro la diferencia entre ellas), el 29 % sólo hacen el reacomodo del material y el 14 % restante hace el aflojado del material; respecto a los gestores de CAPUFE, aquéllos que hacen ambas tareas asciende al 70 %, el 20 % sólo hace reacomodo y el 10 % restante no hacen ninguna labor de esta naturaleza; mientras que en los gestores de la SICT, el 58 % llevan a cabo ambas actividades y el 42 % sólo hace el reacomodo.
- Para el resto de las actividades, como las labores de limpieza y remplazo de señales, éstas dependerán de las circunstancias mismas del evento; en general se observa que las tareas de limpieza de la cama y del camino de servicio son realizadas. Respecto a los indicadores de alineamiento, puede ser que no estén siendo instalados o que no se dañan con facilidad.

Tabla 4.2 Labores de mantenimiento posterior al uso de la rampa de emergencia

Gestor	Reacomodo material de la cama	Reacomodo y aflojado del material de la cama	Limpieza de cama	Limpieza del camino de servicio	Remplazo indicadores alineamiento
Concesionaria	100%	57%	86%	71%	71%
Centro SICT	100%	58%	75%	75%	50%
CAPUFE	90%	70%	80%	80%	60%

Al estar el material de la cama de frenado expuesto a la intemperie y conforme los vehículos ingresan, el material granular sufre afectaciones; eventualmente se modifica la granulometría, la forma de la partícula y aumenta la presencia de finos. Una buena práctica es analizar el material periódicamente, lo cual dependerá de los ingresos a la rampa y de las características climáticas del entorno. Bajo este contexto, se preguntó a los gestores sobre la frecuencia con la que revisan el material de la cama y sólo dos respondieron que se hace un análisis del material cada vez que la rampa es utilizada (uno pertenece al grupo de concesionarios y el otro es de CAPUFE); otros dos respondientes desconocen la frecuencia de los muestreos y el resto se divide en partes iguales entre aquellos que hacen muestreos en periodos menores a un año (48 %) y mayores a un año (52 %). De manera particular, dos de cada tres gestores de rampas a cargo de la SICT declararon que el material granular es analizado con una periodicidad superior a un año.

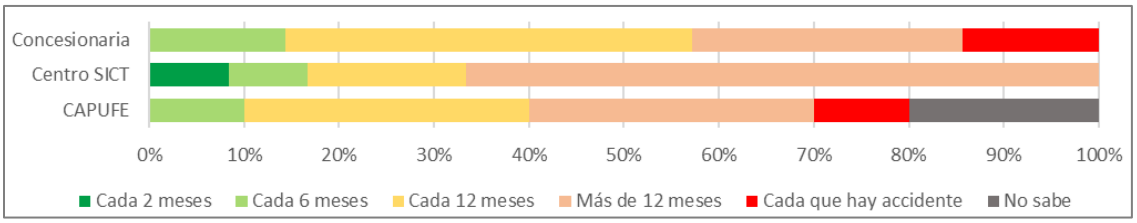


Figura 4.4 Revisión de las características del material de la cama de frenado por tipo de red

Por medio de un ítem de respuesta abierta se invitó a los respondientes a indicar cuáles eran las dificultades que se presentan en la operación y mantenimiento de las rampas de emergencia, surgiendo las siguientes inquietudes:

- Para los concesionarios los comentarios cubren varios aspectos. Por una parte, manifiestan su preocupación para el retiro de los vehículos que ingresan a las rampas, dada la probabilidad de que otro vehículo ingrese mientras llevan a cabo esta labor o mientras se hacen las labores de mantenimiento correctivo. Por otra parte, señalan el robo del material granular y la contaminación del mismo; este último escenario se puede presentar cuando la carga del vehículo que ingresa se esparce sobre la cama de frenado, situación que se agrava si se trata de un material cementante ya que obliga al remplazo total del material granular.
- A los respondientes de CAPUFE de igual forma les inquieta la posibilidad de que un vehículo ingrese mientras se llevan a cabo las labores de mantenimiento. Señalan también la ubicación de las rampas y, aunque no profundizan en el comentario, al parecer se refieren a los inconvenientes para el acceso y rescate expedito de los vehículos que ingresan. Además, mencionan la falta de empresas y personal capacitado para llevar a cabo los trabajos de mantenimiento. Finalmente, siendo una empresa del estado, era de esperar que puntualizaran en la falta de recursos para la inmediata mitigación del daño después de un ingreso, lo cual refleja que el dispositivo no recibe la importancia que debiera por parte de las autoridades responsables de la asignación de recursos.
- Los comentarios vertidos por los gestores de la SICT predominan en el sentido de la falta de presupuesto y que otros traducen en pobre mantenimiento y consolidación del material granular. Dos respondientes señalan preocupaciones respecto al señalamiento y en particular a que en ocasiones resulta confuso. Al igual que los gestores de las concesionarias y CAPUFE, les inquieta el riesgo que corre el personal durante los trabajos de mantenimiento, pero al parecer éstos no se llevan a cabo con tanta frecuencia, por lo que fue comentado sólo por un respondiente.

Con la intención de recabar comentarios para robustecer los lineamientos normativos acerca de las rampas de emergencia, se incluyó un ítem de respuesta abierta, a lo cual los respondientes manifestaron lo siguiente:

- Contemplar un espacio adicional al final de la cama de frenado para los vehículos que no logren detenerse.
- Que se permita variabilidad en el ángulo de entrada a la rampa.
- La inclusión de especificaciones constructivas para los macizos de anclaje.
- Solicitan que haya más claridad respecto a las especificaciones del material de la cama de frenado, de las cámaras de video y del alumbrado.
- Incluir un modelo matemático para determinar la longitud crítica en la que un vehículo puede quedarse sin frenos, para que señale la necesidad de una rampa de manera analítica.

- Valorar la pertinencia de que el señalamiento vertical sea de fondo rojo.

Para la compilación de las mejores prácticas, se invitó a los respondientes a que compartieran sus recomendaciones para la operación y el mantenimiento. A continuación, se desglosan sus aportaciones:

- La limpieza desde la cama de frenado hasta los caminos de servicio.
- Adecuado mantenimiento del señalamiento tanto horizontal como vertical. Asimismo, el empleo de nuevos dispositivos de seguridad que induzcan el uso de las rampas, tales como botones con sistema de iluminación solar.
- Colocación de botones a todo lo ancho del carril, como si se tratase de un reductor de velocidad, pero cuyo objetivo es que los conductores pisen el pedal del freno y comprueben su funcionamiento.
- Revisiones mensuales del material granular.
- Revisiones periódicas para el cumplimiento de la normativa y el establecimiento de sanciones económicas que obliguen a los gestores a mantener los dispositivos en buenas condiciones
- Información al usuario a través del señalamiento y trípticos, así como campañas de concientización del uso de rampas de emergencia.
- Revisión con las compañías aseguradoras sobre las coberturas.

Percepción de los gestores de la infraestructura respecto a la conducta de riesgo

Se platearon dos ítems tratando de capturar la percepción de los gestores de la infraestructura respecto a la conducta de riesgo. Uno de ellos con escala Likert, en el cual se les pedía identificar con qué frecuencia los conductores de los vehículos que se quedan sin frenos ignoran el uso de las rampas; en general los respondientes señalan que los conductores, ante una falla en el sistema de frenado, ignoran con poca frecuencia las rampas de emergencia, es decir, optan por ingresar al dispositivo. De manera particular los concesionarios no consideran que los conductores ignoren el uso de las rampas al necesitarlas, sin embargo, en el caso de CAPUFE y los Centros SICT se observa que la frecuencia para ignorar el uso es mayor, lo que se puede relacionar con el costo que implica su uso o el mal estado que presentan las rampas en la red libre (recordando que algunos conductores las perciben como inseguras), véase la Figura 4.5.

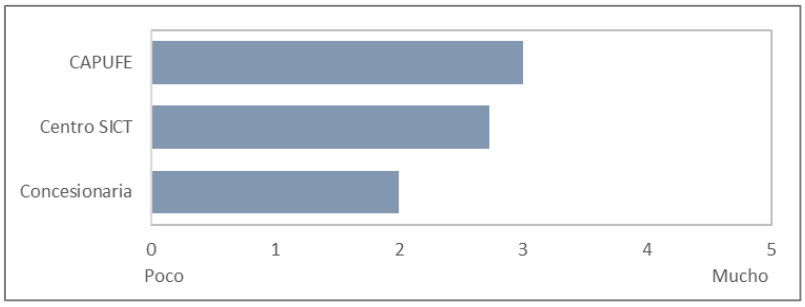


Figura 4.5 Percepción de los gestores de la infraestructura sobre la frecuencia con la que los conductores con fallas en el sistema de frenos ignoran las rampas de emergencia

También se abordó con los gestores de la infraestructura el tema de la motivación para no ingresar a las rampas de emergencia, pero en esta ocasión la respuesta fue abierta, es decir, no se brindaron opciones para seleccionar. Las respuestas se agruparon en tres rubros: en primer lugar, falta de aptitud por parte del conductor, esta es una categoría muy amplia que incluye la falta de capacitación, de pericia, de experiencia ante la situación de riesgo, el exceso de confianza y la poca o nula revisión del vehículo; en otro grupo quedan los costos asociados como son el cobro por uso del dispositivo y los servicios de grúa; finalmente, el tercer grupo hace referencia a la infraestructura o características del dispositivo, desde que no son percibidos como seguros por parte de los conductores, la falta de señalamiento y deficiencias en el diseño. Como es posible observar, los gestores de la infraestructura no son ajenos al tema y están sensibilizados acerca de las motivaciones sobre la conducta de riesgo.

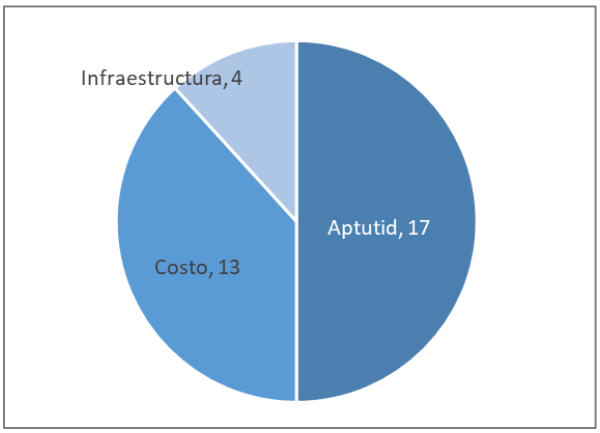


Figura 4.6 Motivos identificados por los gestores de la infraestructura sobre la conducta de riesgo

Era de esperar que los gestores de la infraestructura imputarán mayor responsabilidad hacia los conductores, pero se rescatan sus valiosos comentarios acerca de las deficiencias en la infraestructura.

Este análisis permite obtener el punto de vista de los diferentes involucrados. Como se ha mencionado reiteradamente, no es un ejercicio con validez estadística, pero en primera instancia permite vislumbrar los elementos que subyacen a las conductas de riesgo.

4.4 Diagrama de flujo de toma de decisiones

Para cerrar este capítulo se generó un diagrama de flujo (véase Figura 4.7) en el cual se analiza la toma de decisiones que conlleva a la predisposición de las conductas de riesgo identificadas; asimismo, para algunas de las acciones se han plasmado recomendaciones en materia de seguridad (véase Tabla 4.3), las cuales fueron asignadas a cada una de las partes involucradas analizadas en este capítulo.

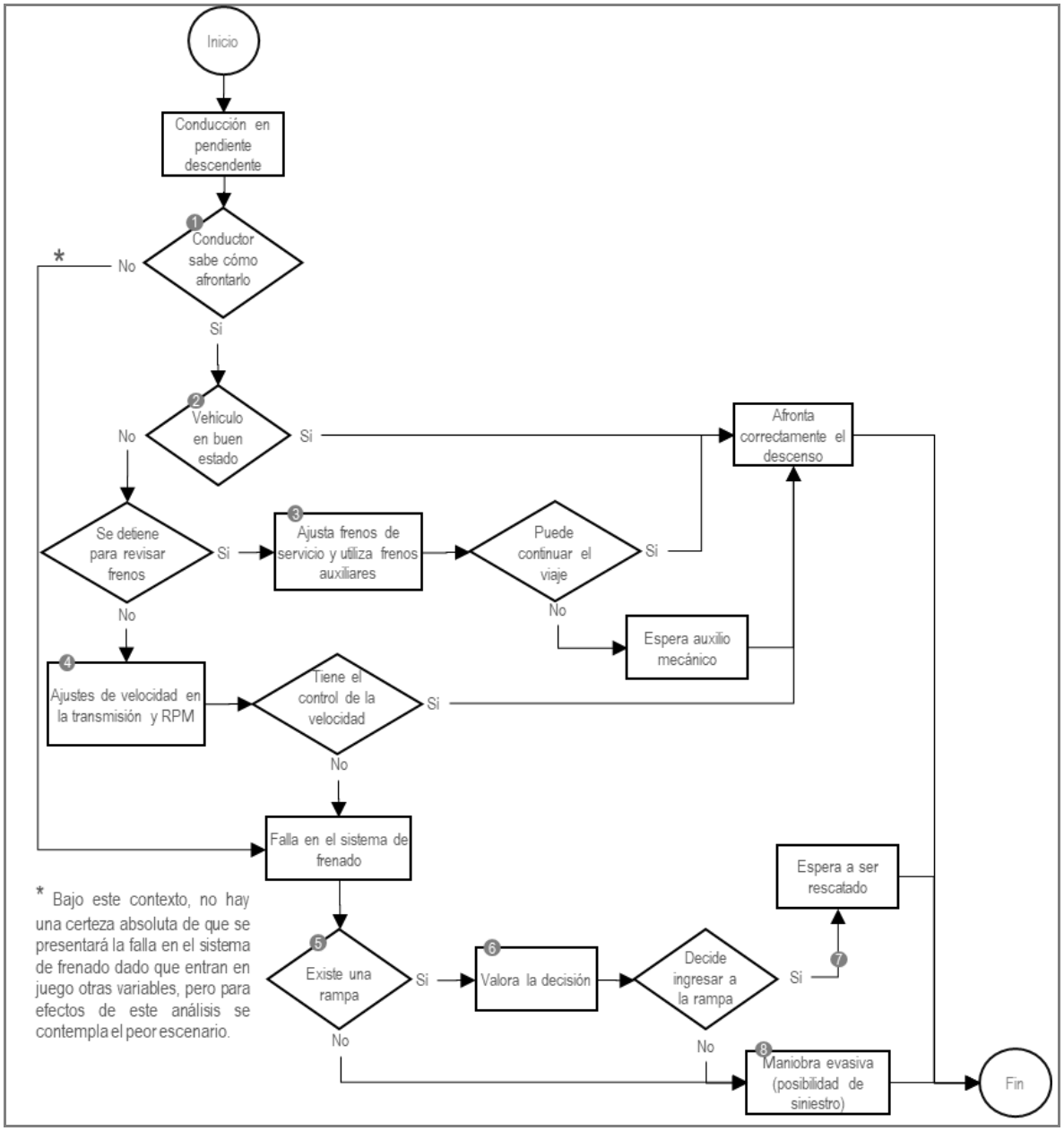


Figura 4.7 Diagrama de flujo para la toma de decisiones

Tabla 4.3 Recomendaciones en materia de seguridad vial

N°	Conductor	Administradores de flota	Gestores de la infraestructura
1	Capacitación para comprender el riesgo implícito de la conducción en pendientes descendentes. En especial la comprensión de que el peso de la carga, el porcentaje de la pendiente y el tipo de conducción influyen en el sobrecalentamiento de los frenos.	La empresa transportista, a través de programas de capacitación, debe asegurarse de que los operadores nóveles saben cómo se conduce un vehículo en pendientes descendentes.	Mantener el señalamiento informativo para alertar a los operadores sobre las características del descenso.
2	Capacitación para la revisión general del vehículo al inicio de cada viaje.	Adecuadas condiciones de la flota vehicular por medio de programas de mantenimiento preventivo.	-
3	Capacitación sobre la calibración de los frenos y la detección de posibles fallas.	Programación de viajes que contemplen tiempo para este tipo de maniobras.	Proporcionar espacios correctamente señalizados como “zonas de revisión de frenos” que sean seguros para que los conductores no se conviertan en presa fácil del crimen.
4	Capacitación sobre el control de la velocidad ajustando las RPM.	-	-
5	Capacitación sobre la identificación del señalamiento de rampas de emergencia.	-	Mantener en buen estado el señalamiento que indica la ubicación y proximidad de las rampas de frenado.
6	Sensibilización sobre las consecuencias en pérdidas humanas y materiales por no ingresar a una rampa de emergencia.	Hacer las gestiones necesarias para que las pólizas de los seguros incluyan el servicio de grúas para el rescate de vehículos que ingresan a las rampas de emergencia. La DGAF podrías buscar estandarizar las tarifas por el rescate de vehículos que ingresan a las rampas de emergencia.	Garantizar que el dispositivo está en condiciones idóneas para su correcto funcionamiento. Gestionar con las compañías aseguradoras que la cobertura del seguro de la autopista cubre los daños al dispositivo o el mantenimiento post-uso.
7	Capacitación sobre cuáles son las maniobras para alertar a otros conductores e ingresar a la rampa de manera correcta. Dar aviso inmediato a las autoridades.	Agilizar las gestiones para el rescate del vehículo y la carga.	Colocar postes SOS, aledaños a la rampa, implementar un protocolo de actuación para agilizar el rescate del vehículo y gestionar el flujo de vehículos de carga para evitar que otro vehículo requiera ingresar a la rampa de frenado mientras se desarrollan las labores de rescate.
8	Ante la imposibilidad de ingresar a una rampa de emergencia, saber que maniobras se pueden llevar a cabo para detener el vehículo ocasionando el menor daño posible.	-	Implementar un protocolo de actuación para agilizar el rescate del vehículo y gestionar el flujo vehicular para evitar que se desencadene otro siniestro.

5. Otros hallazgos y recomendaciones

En este Capítulo se describen otros hallazgos importantes encontrados en la experiencia mexicana que impactan en la operación segura de las rampas de emergencia para frenado en carreteras y algunas recomendaciones dirigidas a la infraestructura, tanto para evitar que los vehículos pierdan su capacidad de frenado (enfoque preventivo) como para mejorar la operación de las rampas construidas y por construir.

5.1 Surcos longitudinales

Se encontró una práctica habitual en varias rampas de emergencia instaladas en la Red Carretera Federal (RCF) de México que consiste en la formación de surcos dispuestos de manera longitudinal a todo lo largo de la cama de frenado (ver la Figura 5.1). Según lo expuesto por algunos encargados de dichos dispositivos, esta práctica ha dado buenos resultados, pues cuando no los colocan de esta manera la longitud de la cama de frenado suele ser insuficiente. Sin embargo, la formación de surcos longitudinales no es recomendable debido a que pueden desestabilizar la entrada de vehículos que no sean muy pesados.

Figura 5.1 Incorporación de montículos longitudinales en la cama de frenado

Cuando se realizan estos arreglos del material en la cama de frenado, es posible que las llantas de un lado del vehículo coincidan con la parte superior del surco y las llantas del lado opuesto con la parte baja de éste, lo que podría producir su vuelco cuando no lleva mucho peso para contrarrestar este efecto, como puede observarse en la fotografía de la Figura 5.2. Esta situación se vuelve crítica considerando que los vehículos que entran a las rampas de emergencia lo suelen hacer a altas velocidades, donde cualquier tipo de acción desestabilizadora pone en gran peligro la integridad del vehículo y por ende la de sus ocupantes y mercancías transportadas (en caso ir con carga).

Fuente: elsoldeorizaba.com.mx

Figura 5.2 Incidente en rampa con montículos longitudinales

El aporte en el frenado del vehículo al formar estos surcos longitudinales con el material de la cama de frenado se puede explicar por el efecto de “atasque” que producen, debido a la mayor área de contacto de los neumáticos con el material que forma el surco. Además, su formación implica que el material sea “aflojado”, lo cual es un factor fundamental para que el vehículo sea atrapado dentro del material de la cama, ya que se evita la compactación y trabazón entre las partículas del material.

Sobre esta práctica, habría que analizar si el material utilizado para la conformación de la cama de frenado cumple con las características seleccionadas para el cálculo de su longitud, es decir, que no se esté empleando un material distinto al considerado en su diseño. Por ejemplo, podría darse el caso que la longitud de la cama de frenado no esté siendo suficiente debido a que el material utilizado tenga un coeficiente de “resistencia a la rodadura” menor al establecido en el diseño. El impacto que tienen las características del material elegido para la cama en la determinación de su longitud se aborda con mayor detalle en el inciso 3.3, específicamente, en la Figura 3.5 se presenta un gráfico que ilustra (para una velocidad de diseño de 140 km/h) las diferentes longitudes requeridas dependiendo del material seleccionado.

5.2 Operación de vehículos de rescate

Dentro de la investigación para este estudio, se encontraron algunos factores relacionados con la operación de los vehículos de rescate (grúas) que pueden afectar tanto la eficiencia de las maniobras de salvamento como la decisión del uso de las rampas de emergencia ante una situación de pérdida de respuesta del sistema de frenado. En este apartado se describen los hallazgos a este respecto.

Con base en las encuestas realizadas a los encargados del mantenimiento y operación de las rampas instaladas en la RCF de México (gestores de la infraestructura) descrita en el inciso 4.3, se intuye que es muy posible que los prestadores de servicios de salvamento no estén utilizando los macizos de anclaje. Esta sospecha se basa en la alta proporción de desconocimiento sobre la periodicidad a la cual se debe revisar y dar mantenimiento a este elemento de la rampa de emergencia. Asimismo, algunos encuestados señalaron que no tienen

certeza sobre la función de los macizos de anclaje y existe incertidumbre sobre las dimensiones recomendadas para su construcción.

Debido a los recursos limitados para la realización de este estudio, no fue posible visitar las rampas de emergencia detectadas en la RCF, lo cual hubiese sido provechoso para confirmar si en éstas se encuentran habilitados (existen o si son funcionales) los macizos de anclaje, para así confirmar la teoría sobre el desconocimiento de su función y características. Por ello, se recomienda que los gestores de la infraestructura realicen una revisión de este elemento necesario para agilizar las tareas de rescate; además, se recomienda realizar un acercamiento con los prestadores de los servicios de salvamento para conocer su punto de vista, con el fin de generar y difundir las mejores prácticas respecto al diseño y utilización de los macizos de anclaje.

Por otro lado, con base en los resultados de las encuestas a los conductores profesionales y a los administradores de flotas de carga (descritas en los incisos 4.1 y 4.2, respectivamente), se detectó que el costo derivado del rescate de las unidades al ingresar a una rampa de emergencia es una preocupación importante. Indagando sobre los factores directamente relacionados con esta preocupación, se encontró que en México las características y especificaciones técnicas y de seguridad de los equipos de las grúas para arrastre y salvamento que operan en la RCF se encuentran regulados por la Norma Oficial Mexicana NOM-053-SCT-2-2010 (cabe mencionar que en México las Normas Oficiales Mexicanas son de cumplimiento obligatorio). Además, se tienen regulaciones oficiales sobre los costos asociados a los servicios de arrastre y salvamento (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2017), los cuales se muestran en la Tabla 5.1 (arrastre y salvamento) y en la Tabla 5.2 (sólo arrastre).

Tabla 5.1 Base tarifaria de los servicios de arrastre y salvamento

Concepto	Cuota por hora de servicio (*pesos*)
Abanderamiento con grúa	602.24
Abanderamiento manual	50.61
Custodia de vehículo con grúa	502.44
Maniobras de salvamento sobre el camino con:	
Grúa tipo **"A"**	1,219.55
Grúa tipo **"B"**	1,336.73
Grúa tipo **"C"**	1,524.21
Grúa tipo **"D"**	2,101.65

Fuente: (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2017)

Tabla 5.2 Base tarifaria de los servicios de arrastre

Tipo de grúa	Pesos	
	Por kilómetro	Por banderazo
"A"	18.82	528.69
"B"	20.62	607.43
"C"	23.47	721.79
"D"	32.35	885.84

Fuente: (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2017)

A pesar de que estos costos fueron publicados en el año 2017, se consultó la página oficial de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (Dirección General de Autotransporte Federal [DGAF], 2022) donde aparecen los mismos costos, por lo que se entiende que siguen vigentes.

Sin embargo, también (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2017) indica que, de conformidad con lo establecido en el artículo 45-B del "*Reglamento de Autotransporte Federal y Servicios Auxiliares*", se considera maniobra fuera del camino cuando los vehículos accidentados, sus partes o la carga, no se encuentren sobre la carpeta asfáltica, acotamientos del camino o en las zonas inmediatas a la misma. En la Tabla 5.1 se indica claramente que la base tarifaria de los servicios de arrastre y salvamento por concepto se refiere a las "maniobras de salvamento sobre el camino", lo que deja sujeto a interpretación si las maniobras para rescatar a un vehículo que ha ingresado a una rampa de emergencia se consideran o no parte del "camino".

En esta misma regulación (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2017) se señala que la tarifa de las maniobras fuera del camino y especiales serán pactadas o convenidas entre el usuario y el permisionario, con la opción al usuario de seleccionar al prestador del servicio autorizado que mejor convenga a sus intereses; desafortunadamente ante un siniestro el conductor no suele estar en posibilidades de "negociar", así que generalmente acepta la tarifa establecida por el prestador de servicio.

Por lo anterior, se recomienda que en futuras revisiones a estas regulaciones se señale claramente que las rampas de emergencia son parte del camino o, en su caso, definir bases tarifarias para el rescate de vehículos que ingresan a las rampas de emergencia, especialmente si el vehículo queda sobre sus llantas. Esto ayudaría a eliminar uno de los motivos por los cuales un conductor podría cuestionarse entrar o no en una rampa de emergencia en caso de requerirlo.

5.3 Aplicación del GSRS en la RCF

Como en cualquier iniciativa destinada a mejorar la seguridad, lo mejor siempre será prevenir. En ese sentido, disminuir la posibilidad de que un vehículo pierda la efectividad de su sistema de frenos será lo mejor.

Como se expuso en el primer capítulo de este estudio, el hecho de que un vehículo esté en malas condiciones físico-mecánicas no es el único factor causante del fallo en el sistema de frenado que, a su vez, deriva en la necesidad de instalar una rampa de emergencia. Son tres los factores involucrados (conductor, vehículo e infraestructura) y, si no se presentaran pendientes descendentes exigentes en el camino, el sistema de frenado del vehículo no se vería sujeto a las demandas que tal condición de la infraestructura requiere. Sin embargo, topografías complicadas como las presentes en varias zonas de México hacen inviable, en algunos casos, la construcción de caminos que conectan puntos con alturas muy distintas. Así pues, habrá que enfrentar los retos que supone la construcción de caminos bajo las

condicionantes presentes en nuestro país. Con este enfoque es que se propone el estudio y adaptación de la metodología del “Grade Severity Rating System (GSRS)” expuesta en el Capítulo 2 al entorno mexicano.

Aplicar el GSRS en las carreteras que integran la RCF implicaría realizar los cálculos planteados en su modelo termodinámico para los vehículos que circulan en México (tamaños y pesos), considerando a su vez la mecánica de los sistemas de frenado más comunes empleados en la flota que circula por estos caminos. Bajo este análisis, se podrían construir modelos que pronostiquen las fallas en los sistemas de frenado de acuerdo con las condiciones geométricas del camino (grados de la pendiente en descenso y sus longitudes) y las velocidades de operación de los vehículos de carga.

Una vez identificados los tramos con pendientes en descenso que podrían inducir problemas en el frenado de los vehículos (considerando el peso máximo permitido de las unidades de carga en cada caso), el siguiente paso sería el diseño e instalación de señalamiento vertical que advierta las velocidades máximas de descenso segura para determinados rangos de peso. En la Figura 3.14 presentada en el inciso 3.4.2 se muestra un ejemplo. Obviamente estas señales se tendrían que instalar previo a entrar en la pendiente en descenso para ajustar la velocidad de acuerdo con las señales. Es importante que las sugerencias de velocidad sean reales, es decir, no abusar de factores de seguridad que las reduzcan, pues si los conductores no las consideran congruentes con las condiciones que enfrentarán, no acatarán las recomendaciones.

Aunado a la instalación de señales específicas de velocidad de descenso seguro de acuerdo con el peso de la unidad de carga, es muy recomendable la instalación de paradores previos a los tramos en descenso, donde los conductores puedan detenerse a descansar y realizar una inspección ocular de su unidad. Esto también ayuda a que el sistema general del vehículo se enfríe (incluidos los frenos de servicio), lo que reduce significativamente la probabilidad de falla por sobrecalentamiento. En la Figura 5.3 se muestran un par de ejemplos de instalaciones que permiten parar previo a un importante alineamiento vertical en descenso. En estos espacios también se recomienda colocar señales que informen sobre las condiciones que se encontrarán adelante (pendientes y sus longitudes), así como la ubicación de las rampas de emergencia en su caso.

Figura 5.3 Paradores para revisión de frenos

Un aspecto importante que no tiene que ver propiamente con el diseño de la infraestructura, pero que tiene gran impacto en su operación, es la delincuencia que desafortunadamente existe en México ya que, si un parador no ofrece condiciones de seguridad, los conductores evitarán utilizarlo. En este contexto, será fundamental tener en cuenta dicho factor al momento de proyectar y construir un parador, teniendo en cuenta las peculiaridades de cada zona. Con base en lo anterior, es recomendable instalar paradores que cuenten con una serie de servicios que proporcionen mayor afluencia en la zona, como tiendas de conveniencia, restaurantes y/o gasolineras, lo que incrementa la percepción de seguridad. Además, para reforzar la seguridad, es recomendable el diseño e instalación de sistemas de vigilancia que operen en colaboración directa con las autoridades de seguridad pública (la Guardia Nacional en este caso).

¿Por dónde podríamos empezar a implementar las recomendaciones del GSRS? Una manera podría ser identificando las rampas con más accesos y monitorear su utilización una vez instalando un buen conjunto de “señales específicas de velocidad de descenso seguro”, de acuerdo con el peso máximo permitido de los vehículos que por el respectivo tramo circulen; además de la incorporación de paraderos seguros para que los conductores profesionales y sus vehículos descansen antes de comenzar los descensos. Si los accesos a las rampas disminuyen se podrá comprobar la efectividad de estas medidas.

Otra manera de identificar en dónde se podría implementar un plan piloto, es buscando las carreteras que reportan mayores hechos de tránsito relacionados con el fallo en el sistema de frenos. Consultando las bases de datos de los registros reportados por la Guardia Nacional en la RCF en los últimos 4 años, se encontró que en la mayoría de los siniestros de este tipo están involucrados vehículos de carga como responsables. En la Tabla 5.3 se muestra el número de eventos registrados donde una falla en frenos fue identificada como factor que contribuyó al siniestro, de acuerdo con el tipo de vehículo responsable. En esta misma tabla se indica el porcentaje que representan en relación al total de dichos eventos.

Tabla 5.3 Hechos de tránsito registrados relacionados con la falla de frenos

Año	Carga	Autos Automóviles	Autobuses	Pick up	Moto y Bici
2018	133 (85%)	16 (10%)	7 (5%)	0 (0%)	0 (0%)
2019	105 (90%)	5 (4%)	3 (3%)	4 (3%)	0 (0%)
2020	123 (88%)	4 (3%)	4 (3%)	7 (5%)	1 (1%)
2021	138 (46%)	119 (40%)	8 (3%)	28 (9%)	5 (2%)

Fuente: Registro de hechos de tránsito de la Guardia Nacional, año 2018-2021

Como se mencionó, en los datos presentados en la Tabla 5.3 resalta la amplia participación de los vehículos de carga en los registros de este tipo de evento, con excepción del año 2021, donde se registró una participación importante de automóviles. Obviando esta mayor presencia de vehículos ligeros en el año 2021, se observa que el número de eventos registrados en los últimos cuatro años, donde

los vehículos de carga fueron identificados como responsables del siniestro, son similares (133, 105, 123 y 138 para los años 2018, 2019, 2020 y 2021, respectivamente). De estos datos se filtraron, por año de registro, los tramos carreteros con cinco o más siniestros, teniendo los siguientes resultados:

Año 2018:

- Acatzingo-Cd. Mendoza (cuota). Con 16 incidentes que dejaron tres personas fallecidas en el lugar y tres lesionadas.
- Cuernavaca-Acapulco (cuota). Con siete incidentes que dejaron cuatro personas heridas.
- Durango-Mazatlán (cuota). Con ocho incidentes que dejaron dos personas heridas.

Año 2019:

- Acatzingo-Cd. Mendoza (cuota). Con cinco incidentes que dejaron una persona fallecida y una lesionada.
- Libramiento Poniente de Morelia (cuota). Con cinco incidentes sin víctimas registradas.
- Los Reyes-Zacatepec. Con siete incidentes sin víctimas registradas.
- México-Puebla (cuota). Con 11 incidentes que dejaron una persona fallecida en el lugar.

Año 2020:

- Acatzingo-Cd. Mendoza (cuota). Con cinco incidentes sin víctimas registradas.
- Durango-Villa Unión (cuota). Con 11 incidentes que dejaron dos personas fallecidas en el lugar y siete lesionadas.
- Guadalajara-Tepic (cuota). Con siete incidentes que dejaron una persona fallecida en el lugar y una más lesionada.
- Libramiento Poniente de Morelia (cuota). Con cinco incidentes, sin registro de víctimas.
- México-Puebla (cuota). Con 11 incidentes que dejaron una persona fallecida en el lugar y dos lesionadas.
- México-Querétaro (cuota). Con seis incidentes que dejaron tres personas lesionadas.
- Perote-Banderilla (cuota). Con cinco incidentes que dejaron cuatro personas lesionadas.

Año 2021

- Atlacomulco-Zapotlanejo (cuota). Con cinco incidentes que dejaron dos personas fallecidas en el lugar y seis lesionadas.
- Durango-Villa Unión (cuota). Con cinco incidentes que dejaron una persona lesionada.

- Matehuala-Saltillo. Con cinco incidentes que dejaron una persona lesionada.
- México-Cuernavaca (cuota). Con cinco incidentes sin víctimas registradas.
- México-Querétaro. Con 20 incidentes que dejaron una persona fallecida en el lugar y seis lesionadas.
- Puebla-Córdoba (cuota). Con 10 incidentes que dejaron tres personas fallecidas en el lugar y cinco lesionadas.

Con base en los resultados obtenidos de estas consultas, se pueden identificar patrones de las carreteras donde es más común que se presenten siniestros viales relacionados con fallas en el sistema de frenado de los vehículos de carga, para proponer medidas de mejora en ellas y monitorear su desempeño. De esta manera, se propone revisar con mayor detalle las autopistas: Acatzingo-Cd. Mendoza, México-Puebla, Durango-Villa Unión y Libramiento Poniente de Morelia; y la carretera México-Querétaro.

Finalmente, no hay que dejar de lado que la capacitación de los conductores juega un papel fundamental para evitar la pérdida de frenos por sobrecalentamiento, por lo cual, establecer campañas de capacitación e información sobre cómo enfrentar una pendiente en descenso será fundamental, especialmente para los conductores de vehículos con mayores pesos.

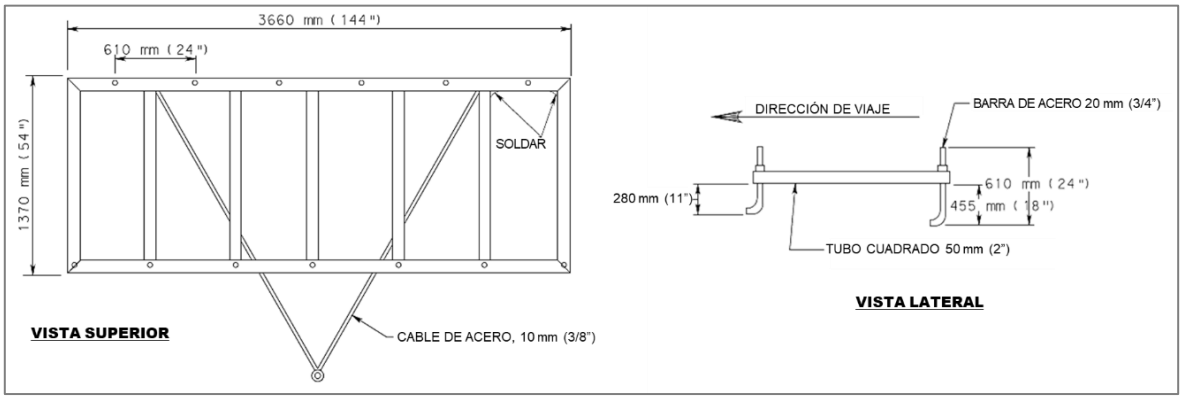
5.4 Mantenimiento

Los esfuerzos para diseñar y construir de la mejor manera posible una rampa de emergencia con cama de frenado no son suficientes, el mantenimiento periódico es de vital importancia para el funcionamiento seguro de este dispositivo. El factor más importante, y que muchas veces es desatendido, tiene que ver con las características del material de la cama de frenado (tema abordado en el inciso 3.3), ya que se debe garantizar su buen desempeño en todo momento. Además, no hay que olvidar el papel fundamental que tiene el señalamiento, el cual, si no está en las mejores condiciones, de poco servirá. Finalmente, no deben abandonarse los elementos que complementan el funcionamiento de las rampas de emergencia, como es el caso del sistema de subdrenaje, ayudas para el rescate de los vehículos (macizos de anclaje), iluminación y sistemas de monitoreo.

Hablando específicamente de la cama de frenado, aunque es posible tomar las medidas necesarias para minimizar su contaminación por escurrimientos (tema visto en el inciso 3.5.3), al estar expuesta a la intemperie la posibilidad de contaminación por materiales transportados por el viento o por el agua es inminente. Esta exposición a la intemperie también deteriora la estructura interna del material que integra la cama de frenado, además de la que se ocasiona por el desgaste debido a los usos, por lo que la elección de un buen material ayudará a disminuir sus necesidades de mantenimiento y reemplazo. Así pues, la periodicidad para la ejecución de las tareas de mantenimiento al material de la cama de frenado variará dependiendo del entorno en el que se encuentre la rampa de emergencia y del material elegido para su conformación, sin embargo, la mayoría de las recomendaciones internacionales coinciden en que habrán de realizarse tareas de

aflojado o “esponjado” del material al menos dos veces al año y después de cada uso.

Para realizar estas labores de escarificación del material, se sugieren herramientas como la mostrada en la Figura 5.4, la cual puede acoplarse a equipos mecánicos para agilizar los trabajos. Es muy importante que las tareas de mantenimiento sean planeadas y que su ejecución sea los más rápido posible, con el fin de disminuir la exposición al riesgo de los trabajadores ante un posible ingreso a la rampa.



Fuente: (Pennsylvania Department of Transportation [PENNDOT], 2018)

Figura 5.4 Detalle de dispositivo para aflojar material pétreo

Con respecto al mantenimiento del señalamiento tanto vertical como horizontal que complementa las indicaciones para las rampas de emergencia, su periodicidad dependerá del clima del entorno y la calidad de los materiales elegidos para ello. Adicionalmente, el deterioro del marcado horizontal dependerá también del TDPA y porcentaje de vehículos pesados (mayores pesos desgastan más la pintura del señalamiento horizontal).

Por último, el desgaste de los elementos instalados para ayudar en el rescate de los vehículos dependerá igualmente de los efectos del medio ambiente, pero sobre todo de su uso. Los sistemas de iluminación y monitoreo también serán afectados por las características climáticas de la zona, sin embargo, la periodicidad para darles mantenimiento dependerá en gran medida de su calidad y grado de resistencia a la intemperie.

Cuando se requieran tareas de mantenimiento mayor donde sea necesario inhabilitar el acceso a la rampa, será fundamental una buena planeación de los trabajos, informando a los usuarios sobre esta condición. Bajo este escenario, se recomienda que las señales verticales que informan la ubicación de la rampa sean cubiertas por señales de zona de obra (evitando sólo taparlas), para que los conductores habituados a conducir por el tramo conozcan las restricciones presentes.

Por otro lado, cuando por cualquiera que sea el motivo la cama de frenado no se encuentre funcional, el señalamiento de guía hacia la rampa debe ser congruente

con tal situación; por ejemplo, se observaron en la RCF rampas donde claramente el material de la cama de frenado se encontraba consolidado (con vegetación inclusive) y en franco estado de deterioro en general, pero el señalamiento vertical (y en algunos casos incluso el horizontal) seguía presente, de tal forma que podría guiar a un vehículo sin frenos a un lugar que lejos de ofrecerle una oportunidad segura, podría exponerlo a mayor peligro. Cabe resaltar que, al ser un elemento de seguridad para afrontar situaciones de emergencia inducidos en buena medida por las condiciones del alineamiento vertical de la infraestructura, las tareas de mantenimiento no deberán extenderse más de lo técnicamente necesario.

El conocimiento de cada rampa en particular será fundamental para establecer las mejores rutinas de mantenimiento, por lo que se recomienda su monitoreo al menos cada dos meses para verificar el desgaste de cada uno de los elementos que la conforma y diseñar una estrategia de mantenimiento que garantice su buen funcionamiento en todo momento.

Finalmente, hay que considerar los costos del mantenimiento en el presupuesto anual de operación de la infraestructura y evitar su descuido por motivos de una mala organización administrativa.

Conclusiones

La problemática que motiva la instalación de rampas de emergencia para frenado en las carreteras tiene varias causas, algunas relacionadas con el vehículo (tipos de sistemas utilizados para la mecánica del frenado, estado físico-mecánico de las flotillas o peso de la carga), otras con el conductor (velocidad de circulación o experiencia para operar adecuadamente el vehículo) y algunas más con la infraestructura, que es finalmente la que impone los retos tanto para el vehículo como para el conductor. Además, la pérdida de eficiencia del sistema de frenado por sobrecalentamiento se podrá agravar en zonas con temperaturas elevadas.

Mucho se puede hacer para contrarrestar esta problemática desde la infraestructura, no solamente a través de la instalación de rampas de emergencia, sino también a través de medidas preventivas que consideren todos los factores involucrados en el fenómeno de pérdida de control sobre el frenado del vehículo.

Las rampas de emergencia son una alternativa de seguridad ante las características geométricas de la carretera, por lo que resulta fundamental garantizar que todos sus elementos se encuentren en buenas condiciones en cualquier momento. El descuido ya sea del diseño o del mantenimiento de una rampa (especialmente lo relacionado con la cama de frenado), podría generar eventos desafortunados donde, lejos de ser una alternativa de “seguridad”, podría representar un peligro, que además de las consecuencias negativas demerita el uso de estos dispositivos porque entre los conductores de carga se fomenta la creencia de que son inseguros y no funcionan.

Es de suma importancia rescatar y analizar la información que se genere de los usos de las rampas de emergencia que se encuentran actualmente en operación, ya que no hay mejor fuente de conocimiento que la propia experiencia. Esto nos permitiría adoptar mejores prácticas con base en las condiciones específicas de operación del autotransporte mexicano y realizar los ajustes de acuerdo con los materiales de cada zona; se somete a consideración de los gestores de la infraestructura el empleo del formato para la recopilación de datos del Anexo 3.

A pesar de los retos impuestos por la topografía para el desarrollo de infraestructura vial y las limitantes económicas que pudiesen haber, existen opciones para garantizar la seguridad en el traslado de personas y mercancías, pero, como ha quedado reflejado en este trabajo, las aristas que contribuyen a las conductas de riesgo son múltiples, por tanto, exige el compromiso de todos los involucrados. Aunque la vigilancia del cumplimiento de los reglamentos está a cargo de la Guardia Nacional, es imposible que ésta cubra todos los frentes, por lo que se deben generar mecanismos que coadyuven a la seguridad empezando por la promoción y

concientización de conductas seguras y al respecto se propone como ejemplo el tríptico del Anexo 6.

El tema de las rampas de emergencia para frenado puede dar pie al desarrollo de varias líneas de trabajo, por ejemplo, sería interesante realizar un análisis de sensibilidad sobre el efecto del sobrepeso en la relación longitud-pendiente-velocidad bajo las condiciones de operación del transporte en México; asimismo, construir las gráficas de esta relación para los diferentes tramos con pendiente descendente de la Red Carretera Federal. Por otra parte, resulta imperante revisar que los contenidos temáticos de las instituciones que tienen a su cargo la formación de los conductores profesionales incluyan temas sobre cómo afrontar las pendientes descendentes.

Bibliografía

Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario [ARTF]. (2019). *Anuario estadístico ferroviario 2019.* México: Secretaría de Infraestructura, Comuniaciones y Transportes.

American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO]. (2018). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.* Washington, D.C.

Arizona Department of Transportation [ADOT]. (2003). *Truck Escape Ramp Study.* Arizona.

Austroads. (2022). *Guide to Road Desing Part 6. Roadside Design, Safety and Barriers.* Sydney: Austroads.

Bowman, B. (1989). *Grade Severity Rating System (GSRS) User Manual.* Virginia: Federal Highway Administration.

Camara Nacional del Autotransporte de Carga [CANACAR]. (2022). Obtenido de https://canacar.com.mx/servicios/estadistica/agenda-economica-del-autotransporte-carga-2021/

Cuevas, A. y Cadengo, M. (2021). *Anuario estadístico de colisiones en carretera federales, 2020.* Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro. Obtenido de https://imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt83.pdf

Dirección General de Autotransporte Federal [DGAF]. (2021). *Estadística básica del autotransporte federal.* México: Secretaría de Comuniaciones y Transportes.

Dirección General de Autotransporte Federal [DGAF]. (21 de 11 de 2022). *Base tarifaria de los servicios de arrastre, arrastre y salvamento y depósito de vehículos en el autotransporte federal*. Obtenido de https://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/autotransporte-federal/tramites-y-servicios/tabulador-de-gruas/base-tarifaria/

Dirección General de Servicios Técnicos [DGST]. (2014). *Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad.* México: SCT.

Echaveguren, T. y Vargas, S. (2013). Evaluación de la necesidad de lechos de frenado en pendientes descendentes usando principios de confiabilidad. *Revista Ingeniería de Construcción Vol. 28*, 221-235.

Echaveguren, T., Vargas, S. y Juan, Ñ. (2007). Metodología de análisis y diseño de lechos de frenado. *Revista ingeniería de construcción*, 175-184.

Federal Highway Administration [FHWA]. (2009). *Manual on Uniform Traffic Control Devices.* U.S. Department of Transportation.

García, Y. (2022). Rampas de Escape para Camiones en Carreteras: Un Nuevo Procedimiento para Justificar su Necesidad y Estimar su Ubicación. *Revista Politécnica 49*, 17-26.

Greto, K. & Easa, S. (30 de 08 de 2019). Reliability-Based Design of Truck Escape Ramps. Toronto, Ontario, Canadá: Ministry of Transportation Ontario.

Moomen, M., Apronti, D., Molan, A. & Ksaibati, K. (2018). *Updating and implementing the grade severity rating sistem (GSRS) for Wyoming Mountain Passes (Volume 1).* Wyoming: State of Wyoming Department of Transportation.

Myers, T., Ashkenas, I. & Johnson, W. A. (1980). *Feasibility of a grade severity rating system.* Washington, D.C.: Federal Highway Administration.

National Cooperative Highway Research Program [NCHRP]. (1992). *NCHRP Synthesis 178. Truck Escape Ramps, a Synthesis of Highway Practice .* Washington D.C.: Transportation Research Board.

Outcalt, W. (2008). *Evaluation of Truck Arrester Beds in Colorado.* Colorado: Colorado Department of Transportation.

Pennsylvania Department of Transportation [PENNDOT]. (2018). *Highway Design (Design Manual Part 2).* Pennsylvania Department of Transportation.

Qin, P., Chen, C., Guo, H., Han, Y., & Meng, Q. (2019). Analyzing the Influence of Aggregate Properties on Stopping Distance on Truck Escape Ramps. Shanghai, China.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (3 de 10 de 2016). *NOM-036-SCT2-2016, Rampas de emergencia para frenado en carreteras.* Obtenido de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5455432&fecha=03/10/2016#gsc.tab=0

Secretaría de Comunicaciones y Transportes [SCT]. (28 de 02 de 2017). *BASE tarifaria de los Servicios de Arrastre, Arrastre y Salvamento y Depósito de Vehículos en el Autotransporte Federal*. México: Diario Oficial de la Federación. Obtenido de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5473224&fecha=28/02/2017#gsc.tab=0

Valdes, R., Strong, K. & Shuler, S. (2018). *Emergency escape ramps (EER) improvements.* Colorado: Colorado Department of Transportation.

Anexo 1. “Ejemplo GSRS”

En este anexo se presenta un ejercicio del cálculo de la velocidad de descenso seguro utilizando la metodología del GSRS planteada por (Moomen, Apronti, Molan, & Ksaibati, 2018), para un vehículo de carga tipo T3S2 con el peso máximo permitido por la NOM-012-SCT-2-2017 (Norma Oficial Mexicana sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal). El peso máximo que se indica para este tipo de vehículos de carga en dicha norma es de 46.5 toneladas.

Despejando el valor de L de la ecuación 2.2 -indicadas en el inciso 2.1- y utilizando las ecuaciones 2.3, 2.8, 2.9 y 2.10 contenidas en ese mismo inciso para el cálculo del retardo máximo del motor (HP_B), las constantes K_1 y K_2 y las fuerzas de arrastre (F_{drag}), respectivamente, se obtienen los valores presentados en la Tabla A1.1 y graficados en la Figura A1.1.

La temperatura de los frenos al final de la pendiente (T_f) indicada en la ecuación 2.2 se sustituye por la temperatura límite (T_{lim}) de 500 °F (260 °C), reducida por la acción de una maniobra de frenado de emergencia calculado de acuerdo con la ecuación 2.11. Asimismo, para los cálculos se considera un valor de 63.3 hp para la potencia del motor (HP_{eng}), 90 °F para la temperatura ambiente y 150 °F para la temperatura inicial de los frenos.

$$L = -\frac{V}{K_1} Ln\left(\frac{T_{lim} - 90 - K_2\, HP_B}{60 - K_2\, HP_B}\right) \qquad \text{(A.1)}$$

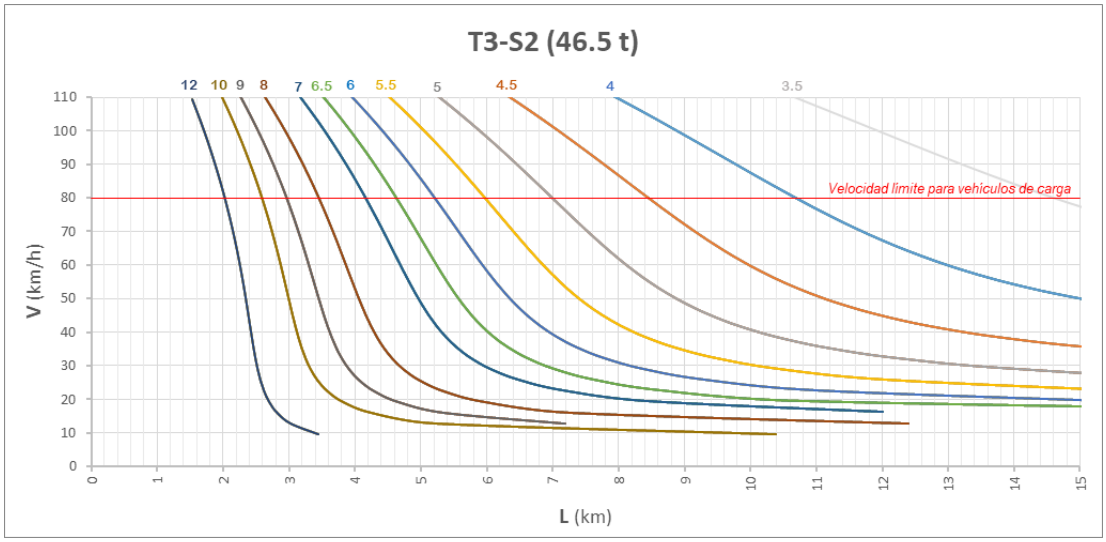


Figura A1.1 Gráfico longitud-pendiente-velocidad del GSRS para T3-S2 de 46.5 t

Tabla A1.1 Valores longitud-pendiente-velocidad del GSRS para T3-S2 de 46.5 t

V *(km/h)*	**L** *(km)* **de acuerdo con la pendiente en descenso** *(en %)*												
	3.0%	*3.5%*	*4.0%*	*4.5%*	*5.0%*	*5.5%*	*6.0%*	*6.5%*	*7.0%*	*8.0%*	*9.0%*	*10%*	*12%*
9.7												10.39	4.69
12.9										12.40	7.18	5.23	3.44
16.1								20.41	12.00	7.29	5.34	4.24	3.02
19.3							15.50	10.78	8.44	5.97	4.65	3.81	2.81
22.5					39.90	15.63	11.01	8.64	7.15	5.35	4.28	3.58	2.69
25.7					17.79	12.06	9.30	7.62	6.47	4.98	4.06	3.43	2.62
29.0				23.01	14.05	10.44	8.37	7.01	6.04	4.74	3.91	3.33	2.56
32.2			43.98	17.67	12.23	9.48	7.78	6.61	5.75	4.57	3.80	3.25	2.52
35.4			25.79	15.20	11.13	8.85	7.36	6.32	5.53	4.44	3.71	3.19	2.49
38.6			20.93	13.71	10.37	8.39	7.05	6.09	5.37	4.34	3.64	3.14	2.46
41.8		40.5	18.35	12.70	9.82	8.03	6.81	5.91	5.23	4.25	3.58	3.09	2.43
45.1		30.1	16.69	11.96	9.39	7.75	6.61	5.76	5.11	4.17	3.52	3.05	2.41
48.3		25.6	15.52	11.38	9.04	7.51	6.43	5.63	5.00	4.10	3.47	3.01	2.38
51.5		22.9	14.62	10.91	8.74	7.30	6.28	5.51	4.91	4.03	3.42	2.97	2.36
54.7	73.0	21.0	13.91	10.51	8.48	7.12	6.14	5.40	4.82	3.97	3.37	2.94	2.33
57.9	45.5	19.6	13.32	10.17	8.25	6.95	6.01	5.30	4.73	3.91	3.33	2.90	2.30
61.2	37.6	18.5	12.81	9.87	8.05	6.80	5.89	5.20	4.65	3.84	3.28	2.86	2.27
64.4	33.2	17.6	12.37	9.59	7.85	6.65	5.77	5.10	4.57	3.78	3.23	2.81	2.24
67.6	30.2	16.9	11.97	9.33	7.66	6.51	5.66	5.00	4.49	3.72	3.18	2.77	2.21
70.8	28.0	16.2	11.61	9.09	7.49	6.37	5.54	4.91	4.40	3.65	3.12	2.73	2.18
74.0	26.2	15.6	11.27	8.86	7.31	6.23	5.43	4.81	4.32	3.59	3.07	2.68	2.14
77.2	24.8	15.1	10.95	8.64	7.14	6.09	5.31	4.71	4.23	3.52	3.01	2.63	2.10
80.5	23.6	14.6	10.64	8.42	6.97	5.95	5.19	4.61	4.14	3.45	2.95	2.58	2.06
83.7	22.5	14.1	10.35	8.20	6.80	5.81	5.07	4.50	4.05	3.37	2.89	2.52	2.02
86.9	21.6	13.6	10.06	7.99	6.63	5.67	4.95	4.40	3.96	3.29	2.82	2.47	1.97
90.1	20.7	13.2	9.77	7.77	6.45	5.52	4.83	4.29	3.86	3.21	2.75	2.41	1.93
93.3	19.9	12.8	9.48	7.55	6.28	5.37	4.70	4.17	3.76	3.13	2.68	2.35	1.88
96.6	19.2	12.4	9.20	7.33	6.10	5.22	4.57	4.06	3.65	3.04	2.61	2.28	1.83
99.8	18.5	12.0	8.91	7.10	5.91	5.06	4.43	3.94	3.54	2.95	2.53	2.21	1.77
103.0	17.8	11.6	8.62	6.87	5.72	4.90	4.29	3.81	3.43	2.86	2.45	2.14	1.72
106.2	17.2	11.2	8.32	6.64	5.53	4.73	4.14	3.68	3.31	2.76	2.37	2.07	1.66
109.4	16.5	10.8	8.02	6.40	5.32	4.56	3.99	3.55	3.19	2.66	2.28	1.99	1.60
112.7	15.8	10.3	7.71	6.15	5.12	4.38	3.83	3.41	3.07	2.55	2.19	1.92	1.53

Anexo 2. “Encuestas”

A2.1 Encuesta dirigida a conductores profesionales

Esta encuesta tiene el objetivo único de recolectar experiencias sobre las rampas de emergencia para frenado instaladas en las carreteras mexicanas. Sus respuestas son anónimas y contribuirán para detectar mejoras a esta infraestructura.

1. ¿Cuántos años tiene?
2. ¿En qué estado de la República vive actualmente?
3. ¿Cuántos años de experiencia tiene como operador profesional del autotransporte?
4. ¿Cuál es su nivel de escolaridad?
   - ⬭ Ninguno
   - ⬭ Primaria
   - ⬭ Secundaria
   - ⬭ Preparatoria o carrera técnica
   - ⬭ Licenciatura
5. ¿Qué tipo de licencia de conducir tiene?
   - ⬭ No tengo licencia
   - ⬭ Estatal
   - ⬭ Federal “B”
   - ⬭ Federal “C”
   - ⬭ Federal “D”
   - ⬭ Federal “E”
   - ⬭ Federal “F”
6. ¿Cuántas unidades de transporte tiene la empresa donde trabaja?
   - ⬭ 1 a 5
   - ⬭ 6 a 30
   - ⬭ 31 a 100
   - ⬭ Más de 100
7. ¿Los vehículos que conduce están asegurados?
   - ⬭ Sí
   - ⬭ No
   - ⬭ A veces
   - ⬭ No sabe
8. ¿Qué tipo de vehículo conduce habitualmente? *(Puede seleccionar más de una opción)*

   ☐ Camión Unitario

   ☐ Camión Remolque

   ☐ Tracto-camión articulado

   ☐ Tracto-camión doble articulado

9. ¿Qué tipo de carga transporta habitualmente? *(Puede seleccionar más de una opción)*
   - ☐ Perecederos
   - ☐ Materiales peligrosos
   - ☐ Carga general
   - ☐ Otro

10. ¿Tiene experiencia conduciendo en carreteras con pendientes de bajada?
   - ⬭ Sí
   - ⬭ No

11. ¿Cada cuánto realiza una inspección visual del sistema de frenado de su vehículo?
   (Puede seleccionar más de una opción)
   - ☐ Cada 24 horas
   - ☐ Cada semana
   - ☐ Al iniciar un viaje
   - ☐ Antes de entrar a una pendiente de bajada en la carretera
   - ☐ Nunca
   - ☐ Otros:_____

12. ¿Por qué considera que puede fallar el sistema de frenado de un vehículo?
   (Puede seleccionar más de una opción)
   - ☐ Malas condiciones de los frenos (fugas de aire en las mangueras, frenos mal ajustados, etc.)
   - ☐ Mala conducción (falta de experiencia, abuso de confianza, exceso de velocidad, etc.)
   - ☐ Malas condiciones de la carretera (mal diseño, cosas tiradas en la carretera, etc.)
   - ☐ Otros:_____

13. ¿Qué hace cuando en una carretera ve la siguiente señal?
   (Puede seleccionar más de una opción)

   - ☐ Da pisadas al freno para comprobar que funcionan
   - ☐ Prueba el freno auxiliar
   - ☐ Reviso la presión del aire
   - ☐ Busco un lugar para bajar y revisar la calibración de los frenos
   - ☐ Nada, ya que salgo con los frenos ajustados
   - ☐ Otros:_____

14. ¿En qué situación considera que existe más riesgo de perder los frenos?

a)

b)

15. Imagine que su vehículo ha perdido los frenos y hay una rampa de frenado más adelante ¿Por qué motivos no entraría a la rampa? *(Puede seleccionar más de una opción)*
   - ☐ Porque me cobrarán por usarla
   - ☐ Por el costo de la grúa de rescate
   - ☐ Porque son inseguras
   - ☐ Miedo a que la carga me aplaste
   - ☐ Miedo a que me multen
   - ☐ Ninguna de las anteriores, definitivamente entraría
   - ☐ Otros:_____

16. ¿Qué debe hacer si quiere entrar a una rampa de frenado?
   (Puede seleccionar más de una opción)
   - ☐ Seguir la raya roja
   - ☐ Prender las luces intermitentes
   - ☐ Avisar con el claxon a otros vehículos
   - ☐ Otros:_____

17. ¿El seguro de su vehículo le cubre los gastos derivados del ingreso a una rampa de frenado?
    - ⬭ Sí
    - ⬭ No
    - ⬭ No sabe
    - ⬭ No tengo seguro

18. ¿Ha entrado a una rampa de frenado?
    - ⬭ Sí
    - ⬭ No

19. ¿Conoce a alguien que haya entrado a una rampa de frenado?
    - ⬭ Sí
    - ⬭ No

20. Si su respuesta fue sí en alguna de las dos preguntas anteriores ¿Sufrió lesiones o sabe si algún compañero se lesionó al entrar a una rampa de frenado?
    - ⬭ Sí, con lesiones leves
    - ⬭ Si, con lesiones graves
    - ⬭ No hubo lesiones

21. ¿Ha pagado o conoce a alguien que haya pagado por usar una rampa de frenado o por el rescate de la unidad (grúa)?
    - ⬭ Sí
    - ⬭ No

22. Si su respuesta anterior fue sí:

    ¿Cuánto por usarla?

    ¿Cuánto por el rescate de la unidad (grúa)?

23. ¿Recomendaría a un compañero entrar a una rampa de frenado en caso de necesitarlo?
    - ⬭ Sí
    - ⬭ No
    - ⬭ Tal vez

Escriba aquí si tiene alguna recomendación u observación respecto a las rampas de frenado:

_____

_____

_____

Nota:

En esta encuesta se utilizó el término "rampas de frenado" para referirnos a las rampas de emergencia para frenado en carreteras, ya que es así como mejor las conocen los operadores del autotransporte.

A2.2 Encuesta dirigida a administradores de flotas de carga

Esta encuesta tiene el objetivo único de recolectar experiencias sobre el conocimiento y utilización de las rampas de emergencia para frenado instaladas en las carreteras mexicanas. Sus respuestas son anónimas y contribuirán para detectar mejoras a esta infraestructura.

1. ¿Cuántas unidades de transporte tiene su empresa?
   - ⬭ 1 a 5
   - ⬭ 6 a 30
   - ⬭ 31 a 100
   - ⬭ Más de 100

2. ¿Con qué tipo de vehículos cuenta su empresa? *(Puede seleccionar más de una opción)*
   - ☐ Camión Unitario
   - ☐ Camión Remolque
   - ☐ Tracto-camión articulado
   - ☐ Tracto-camión doble articulado
   - ☐ Otros:_____

3. ¿Qué tipo de carga transporta habitualmente? *(Puede seleccionar más de una opción)*
   - ☐ Perecederos
   - ☐ Materiales peligrosos
   - ☐ Carga general
   - ☐ Otros

4. ¿Con qué periodicidad se revisa el sistema de frenado de su flotilla?
   - ⬭ Cada 24 horas
   - ⬭ Cada semana
   - ⬭ Al iniciar un viaje
   - ⬭ Cada determinados kilómetros
   - ⬭ Cuando el chofer reporta fallas
   - ⬭ Otros:_____

5. ¿Por qué considera que puede fallar el sistema de frenado de un vehículo?
   (Puede seleccionar más de una opción)
   - ☐ Malas condiciones de los frenos (fugas de aire en las mangueras, frenos mal ajustados, etc.)
   - ☐ Mala conducción (falta de experiencia, abuso de confianza, exceso de velocidad, etc.)
   - ☐ Malas condiciones de la carretera (mal diseño, cosas tiradas en la carretera, etc.)
   - ☐ Otros:_____

6. ¿Le brinda alguna capacitación a su personal para evitar o afrontar una falla en el sistema de frenado?
   - ⬭ Sí
   - ⬭ No

7. ¿Por qué motivos no recomendaría a sus conductores entrar a una rampa?

   (Puede seleccionar más de una opción)

   - ☐ Porque son inseguras
   - ☐ Porque me cobrarán mucho por usarla
   - ☐ Por el costo de las grúas de rescate
   - ☐ Porque puedo perder la carga
   - ☐ Porque transporta un tipo de carga que puede aplastar la cabina
   - ☐ Porque me pueden multar
   - ☐ Ninguna de las anteriores, definitivamente aconsejaría entrar
   - ☐ Otros:_____

8. ¿Las pólizas de seguro de sus vehículos le cubren los gastos derivados del ingreso a una rampa de frenado?

   - ⬭ Sí
   - ⬭ No
   - ⬭ No sabe
   - ⬭ No tengo pólizas de seguro

9. ¿Algún vehículo de su flotilla ha entrado a una rampa de frenado?

   - ⬭ Sí
   - ⬭ No

10. ¿Conoce a alguien que haya entrado a una rampa de frenado?

    - ⬭ Sí
    - ⬭ No

11. Si su respuesta fue sí en alguna de las dos preguntas anteriores ¿Qué daños hubo?

    - ☐ Conductor y/o pasajeros lesionados
    - ☐ Daños a la carga
    - ☐ Daños al vehículo
    - ☐ Daños a la rampa
    - ☐ No sé

12. ¿Ha pagado o conoce a alguien que haya pagado por usar una rampa de frenado o por el rescate de la unidad (grúa)?

    - ⬭ Sí
    - ⬭ No

13. Si su respuesta anterior fue sí:

    ¿Cuánto se pagó por el uso de la rampa de frenado?

    ¿Cuánto se pagó por el rescate de la unidad (grúa)?

    ¿Tuvo otros gastos? ¿Cuáles?

14. ¿Recomendaría el uso de las rampas de frenado en caso de necesitarlo?

    - ⬭ Sí
    - ⬭ No
    - ⬭ Tal vez

Escriba aquí si tiene alguna recomendación u observación respecto a las rampas de frenado:

_____

_____

Nota:

En esta encuesta se utilizó el término "rampas de frenado" para referirnos a las rampas de emergencia para frenado en carreteras, ya que es así como mejor las conocen los operadores del autotransporte.

A2.3 Encuesta dirigida a gestores de la infraestructura

Buscamos su apoyo para recolectar experiencias sobre el conocimiento y utilización de las rampas de emergencia para frenado instaladas en las carreteras mexicanas. Sus respuestas contribuirán para proponer mejoras a este importante dispositivo de seguridad.

1. Tipo de empresa en la que labora:
   - ⬭ Concesionaria privada
   - ⬭ CAPUFE
   - ⬭ Centro SICT
   - ⬭ Otros:_____

2. Seleccione la periodicidad aproximada con la que realizan los siguientes trabajos de mantenimiento a las rampas de emergencia que operan:

	Cada 2 meses	Cada 6 meses	Cada 12 meses	Cada 2 meses	No sabe
Repintado (señalamiento horizontal)	○	○	○	○	○
Limpieza y reposición de señalamiento vertical	○	○	○	○	○
Mantenimiento a cámaras de circuito cerrado	○	○	○	○	○
Limpieza y mantenimiento al sistema de iluminación	○	○	○	○	○
Reacomodo y esponjado (aflojado) del material de la cama de frenado	○	○	○	○	○
Reemplazo del material de la cama de frenado	○	○	○	○	○
Mantenimiento al camino de servicio	○	○	○	○	○
Mantenimiento al sistema de drenaje y subdrenaje	○	○	○	○	○
Mantenimiento a los macizos de anclaje	○	○	○	○	○

3. Seleccione qué tipo de reparaciones o mantenimiento realizan cuando un vehículo hace uso de una rampa. *(Puede seleccionar más de una opción)*
   - ☐ Reacomodo del material de la cama de frenado
   - ☐ Reacomodo y esponjado (aflojado) del material de la cama de frenado
   - ☐ Limpieza de cama de frenado (en caso de derrame o desprendimiento de la carga)
   - ☐ Limpieza del camino de servicio
   - ☐ Remplazo de indicadores de alineamiento dañados
   - ☐ Otros:_____

4. ¿Con qué frecuencia se revisa que el material pétreo de la cama de frenado cumpla con las características que señala la Norma (granulometría, resistencia y forma de la partícula)?
   - ⬭ Cada 2 meses al menos
   - ⬭ Cada 6 meses al menos
   - ⬭ Cada 12 meses al menos
   - ⬭ Más de 12 meses
   - ⬭ Otros:_____

5. Con base en sus registros ¿Con qué frecuencia vehículos que se quedan sin frenos ignoran el uso de las rampas de frenado?

	1	2	3	4	5	
Poco frecuente	○	○	○	○	○	Muy frecuentemente

6. ¿Cuáles cree usted que sean los motivos por los cuales algunos conductores de vehículos de carga no hacen uso de las rampas de frenado?

_____

_____

7. ¿Qué dificultades encuentra en la operación y mantenimiento de las rampas?

   _____

   _____

8. ¿Tiene alguna observación hacia la norma de rampas de emergencia actualmente vigente (NOM-036-SCT2-2016)? Describir.

   _____

   _____

9. Con base en su experiencia ¿Ha detectado o implementado alguna buena práctica para mejorar la operación y mantenimiento de las rampas de emergencia? Describir.

   _____

   _____

10. ¿Nos apoyaría con una breve entrevista virtual para profundizar en algunos aspectos de la operación y mantenimiento de las rampas de emergencia?

    ⬭ Sí
    ⬭ No

Anexo 3. “Formato para recopilación de datos”

Para adoptar las mejores prácticas con base en las condiciones específicas de cada dispositivo, es necesario documentar los ingresos a las rampas de emergencia para frenado, para ello se sugiere el empleo del formato incluido en este anexo.

Se recomienda recabar información para comparar con la ecuación para el cálculo de la longitud de la cama de frenado, la distancia recorrida por el vehículo dentro de ésta, la velocidad a la que ingresó y el tipo de material empelado para conformar la cama. El material disponible en cada región es muy variado en México, por lo que realizar ajustes a partir del retro-cálculo para determinar la resistencia a la rodadura de los materiales locales ayudará a realizar mejores diseños.

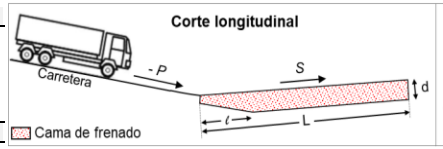
Figura A4.1 Formato para recolectar información de accesos a rampas de emergencia

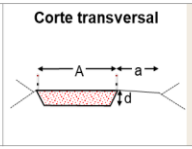
COMUNICACIONES
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

Operador/mantenedor:
Delegación responsable:

Carretera:
Cadenamiento: Sentido:
Latitud: Longitud:
¿Cuenta con cámaras de detección automática de incidentes en función?

Tipo de rampa:
L: metros
d: metros
ℓ: metros
A: metros
a: metros
Año inicio de operación:





L = Longitud de la cama de frenado
ℓ = Longitud de la transición
d = Profundidad de la cama de frenado
A = Ancho de la cama de frenado
a = Ancho del camino de servicio
P = Pendiente de la carretera (*negativa*)
S = Pendiente de la cama de frenado

***S* < 0**, Rampa descendente
***S* = 0**, Rampa horizontal
***S* > 0**, Rampa ascendente

Material de la cama de frenado:
¿El material de la cama de frenado se encuentra confinado de un cajón debajo de la rasante o a volteo sobre el terreno natural?
Se encuentra operando:

Datos de quien llena el formato:
(NOMBRE Y APELLIDOS) (CORREO)

USO DE RAMPAS DE EMERGENCIA PARA FRENADO (2017-2021)

#	Fecha (dd/mm/aaaa)	Hora (hh:mm)	Saldos		Causa principal	Longitud recorrida (metros)	Prof. de atasco (cm)	Velocidad de entrada (km/h)	Condiciones climáticas adversas	Acomodo del material de la cama	Posición final del vehículo	Vehículo				Conductor		Costo al usuario		Información documental (compartir por link)
			Heridos	Muertos								Clasificación	Año del modelo	Seguro	Peso de la carga (kg)	Tipo de licencia	Edad	Mantenimiento a rampa	Rescate de la unidad	
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
18																				
19																				
20																				
21																				
22																				
23																				
24																				
25																				

↓ Agregar las fila necesarias

Anexo 4. “Detalles del inventario de rampas”

1			
Carretera:	Nuevo Necaxa-Tihuatlán		
Km:	147+200	Ruta:	132 D
Coordenadas:	20.245952, -98.034729 220		
Gestor:	AUNETI		
Imagen: Abril 2022			
Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa: 			
Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa: 			

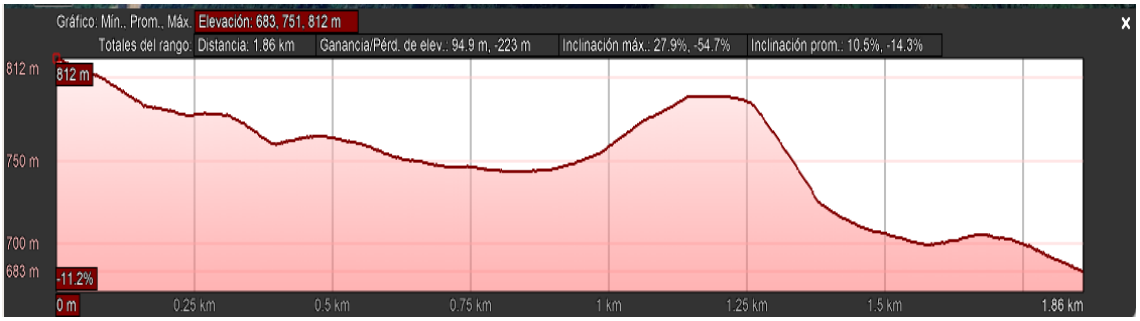
2			
Carretera:	Nuevo Necaxa-Tihuatlán		
Km:	156+840	Ruta:	132 D
Coordenadas:	20.295896, -97.966765		
Gestor:	AUNETI		
Imagen: Marzo 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

3			
Carretera:	Nuevo Necaxa-Tihuatlán		
Km:	161+070	Ruta:	132 D
Coordenadas:	20.329337, -97.960184		
Gestor:	AUNETI		
Imagen: Abril 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

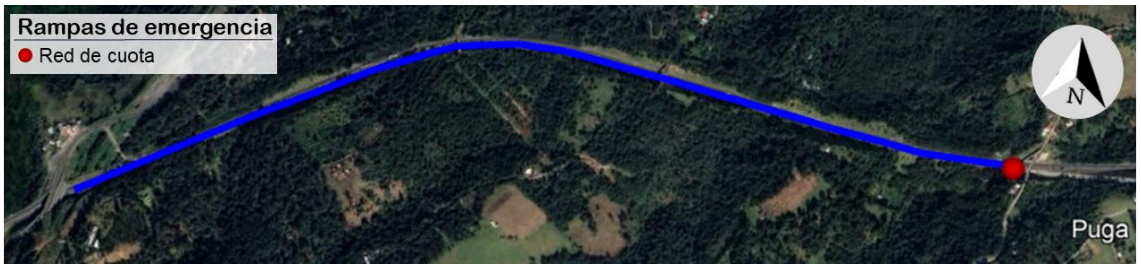


Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

4			
Carretera:	Tejocotal-Nuevo Necaxa		
Km:	127+650	Ruta:	132 D
Coordenadas:	20.145465, -98.075621		
Gestor:	Operadora de Autopistas, S.A. de C.V. o CAPUFE (sin certeza)		
Imagen: Abril 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:



5			
Carretera:	Tejocotal-Nuevo Necaxa		
Km:	133+000	Ruta:	132 D
Coordenadas:	20.136614, -98.029995		
Gestor:	Operadora de Autopistas, S.A. de C.V. o CAPUFE (sin certeza)		
Imagen: Abril 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

6			
Carretera:	Tejocotal-Nuevo Necaxa		
Km:	139+280	Ruta:	132 D
Coordenadas:	20.181306, -98.026408		
Gestor:	Operadora de Autopistas, S.A. de C.V. o CAPUFE (sin certeza)		
Imagen: Abril 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

7			
Carretera:	Saltillo-Monterrey		
Km:	80+560	Ruta:	40 D
Coordenadas:	25.696837, -100.592306		
Gestor:	CAMS		
Imagen: Mayo 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

8			
Carretera:	Champotón-Campeche		
Km:	175+970	Ruta:	180 D
Coordenadas:	19.641648, -90.667483		
Gestor:	CAPUFE		
Imagen: Septiembre 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

9			
Carretera:	Cuernavaca-Acapulco		
Km:	154+900	Ruta:	95 D
Coordenadas:	18.423935, -99.175689		
Gestor:	CAPUFE		

Imagen:

Agosto 2022

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

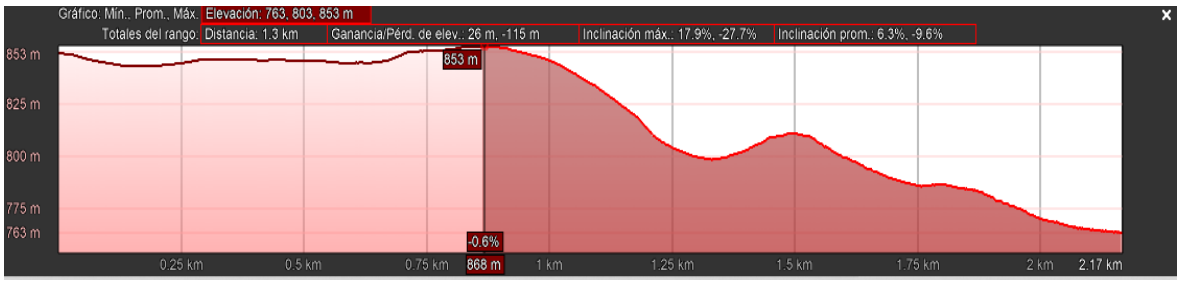
Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

10			
Carretera:	Cuernavaca-Acapulco		
Km:	221+350	Ruta:	95 D
Coordenadas:	17.92195, -99.373157		
Gestor:	CAPUFE		

Imagen:

Agosto 2022

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

11			
Carretera:	Cuernavaca-Acapulco		
Km:	223+570	Ruta:	95 D
Coordenadas:	17.906556, -99.383067		
Gestor:	CAPUFE		
Imagen: Agosto 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

12			
Carretera:	Cuernavaca-Acapulco		
Km:	319+200	Ruta:	95 D
Coordenadas:	17.188143, -99.541689		
Gestor:	CAPUFE		
Imagen: Julio 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

13			
Carretera:	Durango-Mazatlán		
Km:	24+250	Ruta:	40 D
Coordenadas:	24.002918, -104.754212		
Gestor:	CAPUFE		
Imagen: Julio 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

14			
Carretera:	Durango-Mazatlán		
Km:	143+600	Ruta:	40 D
Coordenadas:	23.614883, -105.701017		
Gestor:	CAPUFE		
Imagen: Julio 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

15			
Carretera:	Durango-Mazatlán		
Km:	155+350	Ruta:	40 D
Coordenadas:	23.548943, -105.755988		
Gestor:	CAPUFE		
Imagen: Julio 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

16			
Carretera:	Las Choapas-Ocozocoautla		
Km:	160+500	Ruta:	145 D
Coordenadas:	17.016545, -93.509776		
Gestor:	CAPUFE		

Imagen:

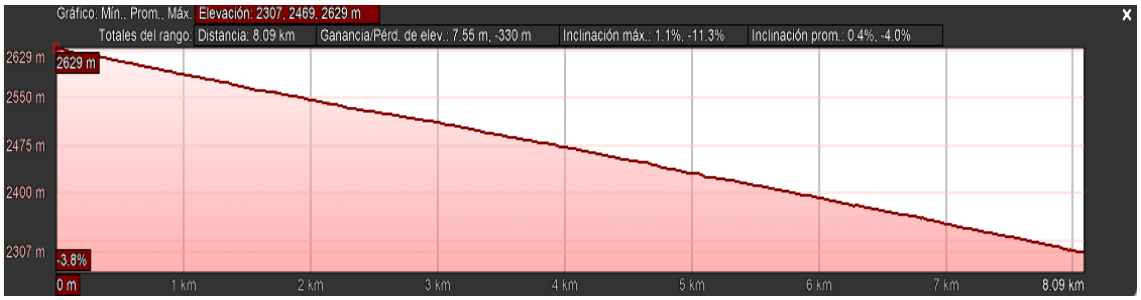
Julio 2022

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

17			
Carretera:	México-Cuernavaca		
Km:	66+210	Ruta:	95 D
Coordenadas:	19.021269, -99.139919		
Gestor:	CAPUFE		
Imagen: Enero 2022			

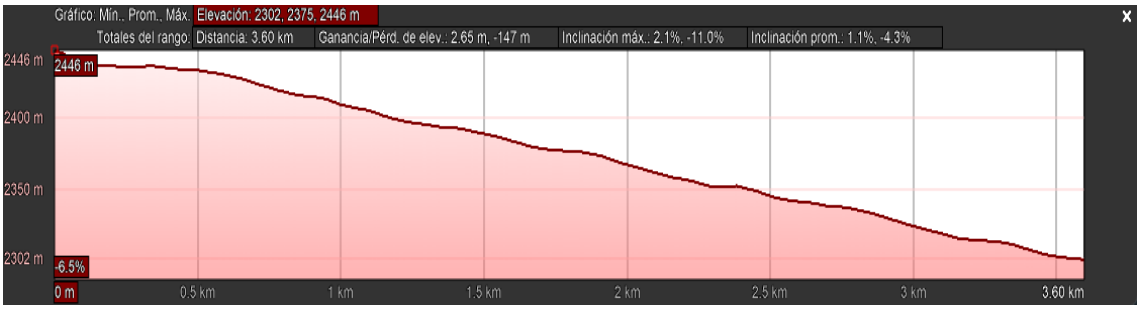
Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

18			
Carretera:	México-Puebla		
Km:	35+650	Ruta:	150 D
Coordenadas:	19.301698, -98.850739		
Gestor:	CAPUFE		
Imagen: Agosto 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

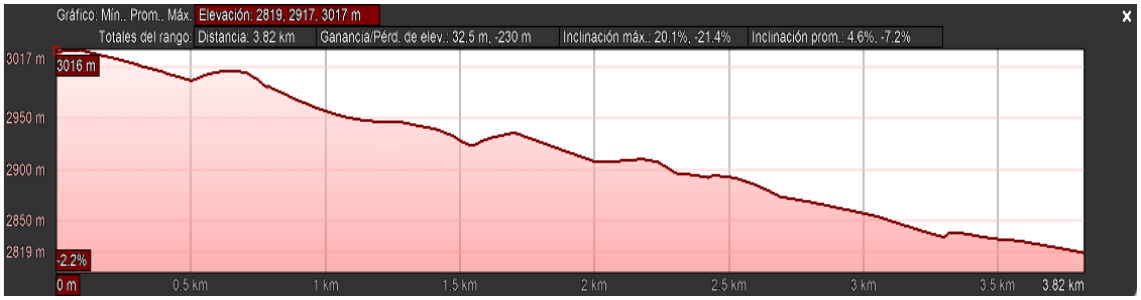
19			
Carretera:	México-Puebla		
Km:	39+220	Ruta:	150 D
Coordenadas:	19.315498, -98.819981		
Gestor:	CAPUFE		
Imagen: Agosto 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

20			
Carretera:	México-Puebla		
Km:	46+900	Ruta:	150 D
Coordenadas:	19.301259, -98.76521		
Gestor:	CAPUFE		
Imagen: Julio 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

21			
Carretera:	México-Puebla		
Km:	50+700	Ruta:	150 D
Coordenadas:	19.305468, -98.745806		
Gestor:	CAPUFE		

Imagen:

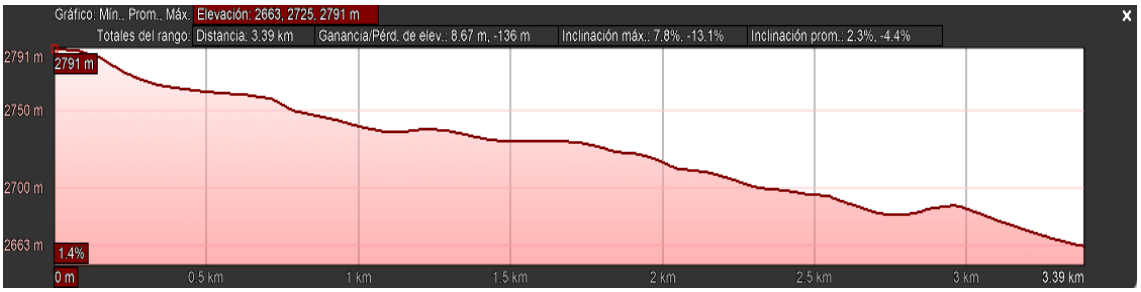
Julio 2022

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

22			
Carretera:	México-Puebla		
Km:	72+130	Ruta:	150 D
Coordenadas:	19.342156, -98.589477		
Gestor:	CAPUFE		
Imagen: Agosto 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



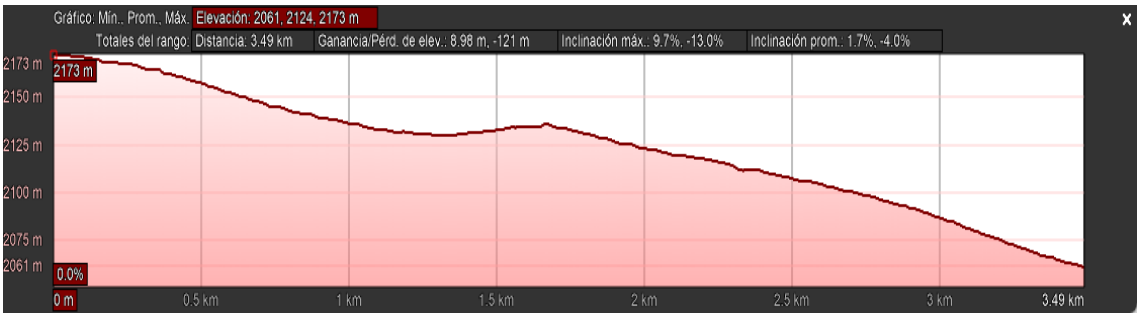
Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

23			
Carretera:	México-Querétaro		
Km:	157+420	Ruta:	57 D
Coordenadas:	20.362795, -99.972258		
Gestor:	CAPUFE		

Imagen:

Julio 2022

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

24			
Carretera:	México-Querétaro		
Km:	158+580	Ruta:	57 D
Coordenadas:	20.368588, -99.981493		
Gestor:	CAPUFE		

Imagen:

Septiembre 2022

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

25			
Carretera:	Acatzingo-Cd. Mendoza		
Km:	233+820	Ruta:	150 D
Coordenadas:	18.851443, -97.284543		
Gestor:	CAPUFE		

Imagen:

Septiembre 2022

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

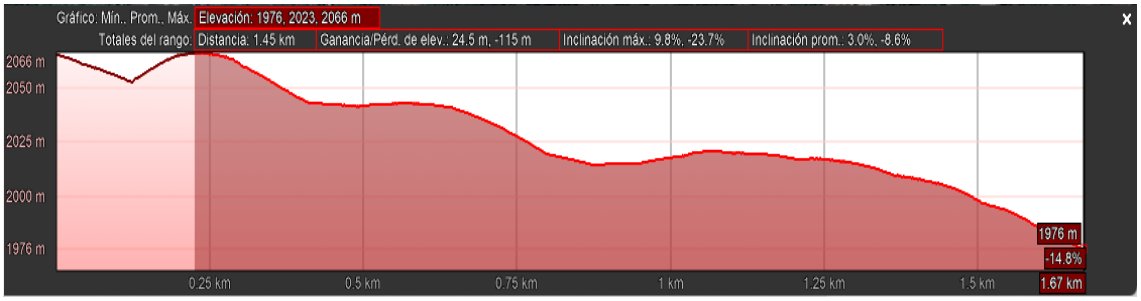
Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

26			
Carretera:	Acatzingo-Cd. Mendoza		
Km:	235+680	Ruta:	150 D
Coordenadas:	18.851131, -97.27445		
Gestor:	CAPUFE		

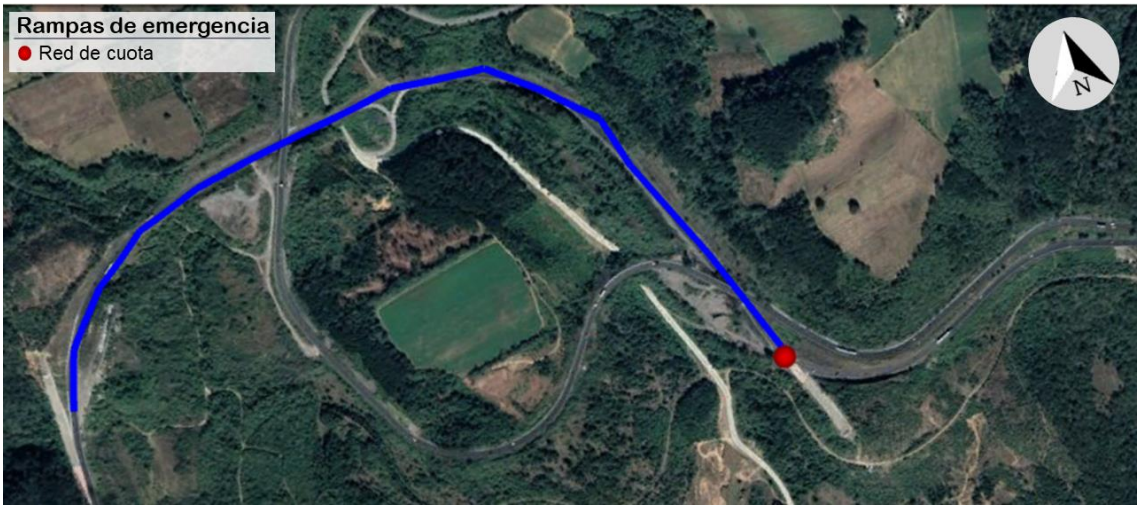
Imagen:

Septiembre 2022

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

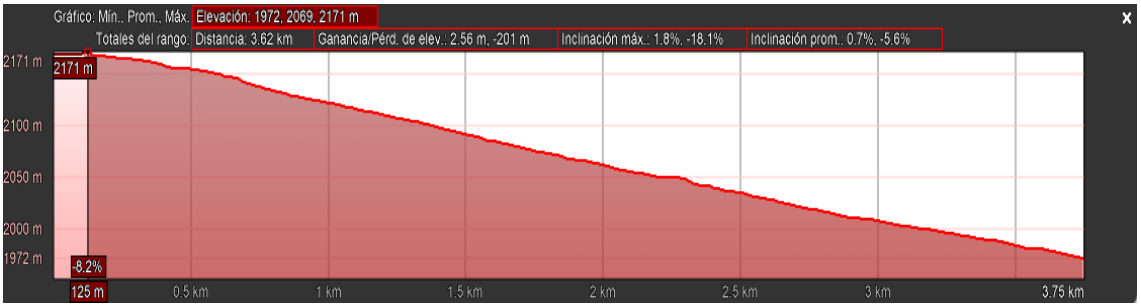


27			
Carretera:	Puerto México-La Carbonera		
Km:	228+540	Ruta:	57 D
Coordenadas:	25.3777, -100.794206		
Gestor:	CAPUFE		

Imagen:

Mayo 2022

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

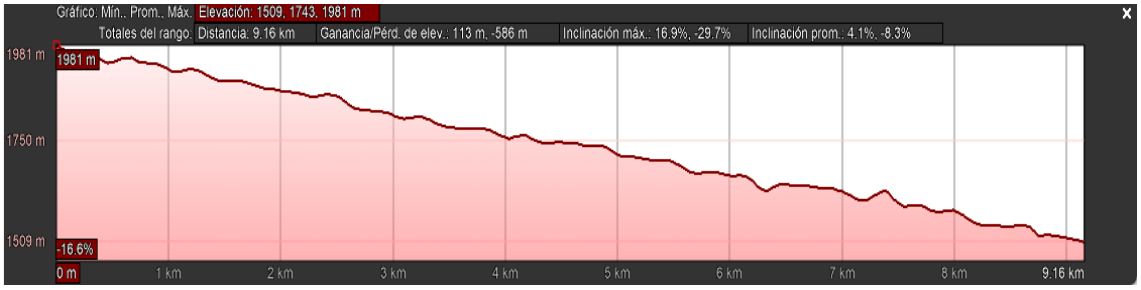
28			
Carretera:	Tuxtla Gutiérrez-San Cristóbal de las Casas		
Km:	13+300	Ruta:	190 D
Coordenadas:	16.720664, -92.920298		
Gestor:	CAS		
Imagen: Junio 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

29			
Carretera:	Tuxtla Gutiérrez-San Cristóbal de las Casas		
Km:	25+560	Ruta:	190 D
Coordenadas:	16.691863, -92.81594		
Gestor:	CAS		
Imagen: Junio 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

30			
Carretera:	Tuxtla Gutiérrez-San Cristóbal de las Casas		
Km:	34+780	Ruta:	190 D
Coordenadas:	16.687984, -92.736583		
Gestor:	CAS		
Imagen: Junio 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

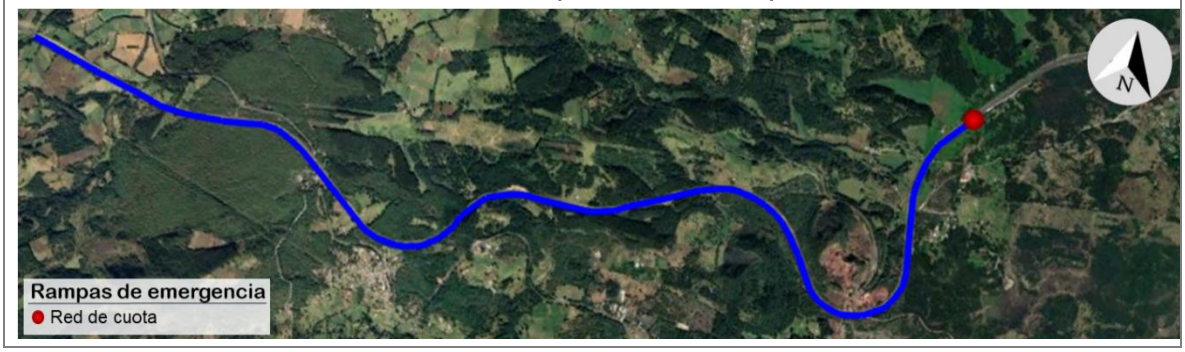
31			
Carretera:	Perote-Banderilla		
Km:	135+500	Ruta:	140 D
Coordenadas:	19.636619, -97.025294		
Gestor:	COPEXA		

Imagen:

Enero 2022

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:



32			
Carretera:	Perote-Banderilla		
Km:	144+180	Ruta:	140 D
Coordenadas:	19.618454, -96.972178		
Gestor:	COPEXA		

Imagen:

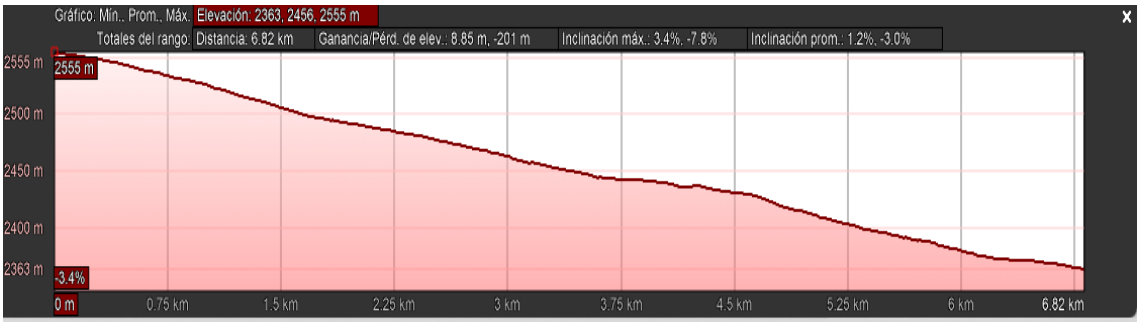
Abril 2022

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

33			
Carretera:	Amozoc-Perote		
Km:	2+090	Ruta:	140 D
Coordenadas:	19.073847, -98.061014		
Gestor:	GANA		
Imagen: Febrero 2022			

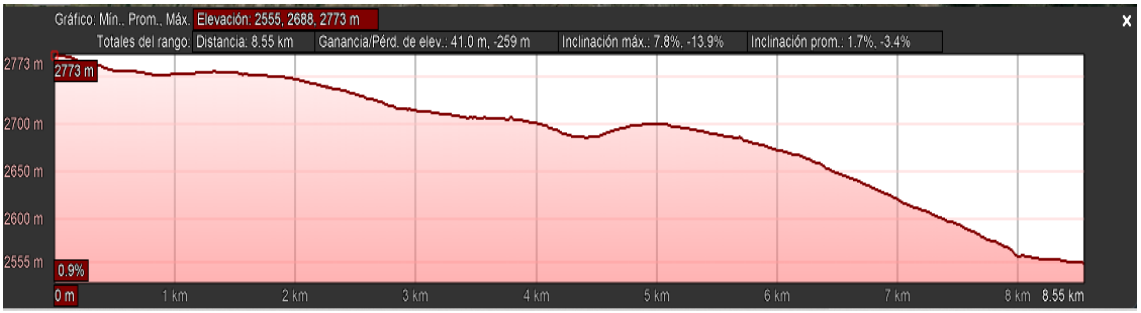
Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

34			
Carretera:	Amozoc-Perote		
Km:	8+890	Ruta:	140 D
Coordenadas:	19.116478, -98.014601		
Gestor:	GANA		
Imagen: Mayo 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



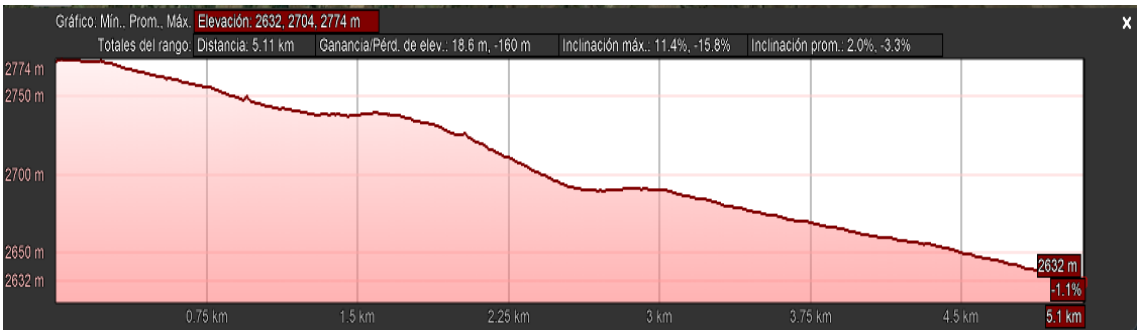
Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

35			
Carretera:	Amozoc-Perote		
Km:	22+500	Ruta:	140 D
Coordenadas:	19.205578, -97.925619		
Gestor:	GANA		

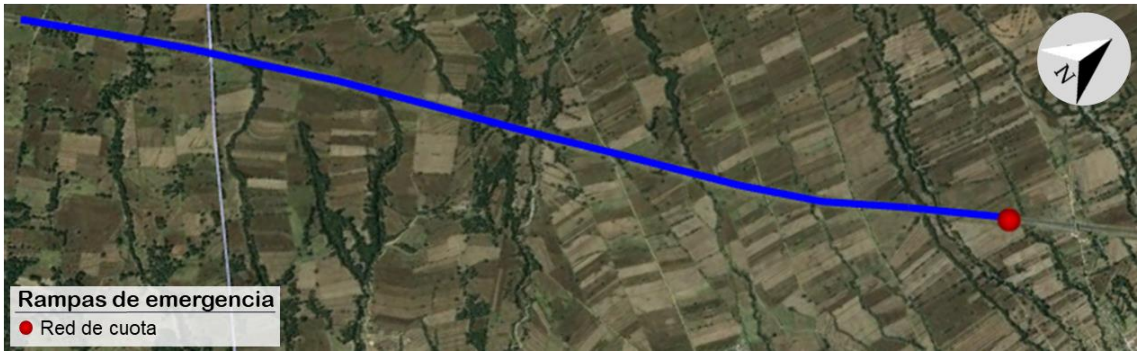
Imagen:

Febrero 2022

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

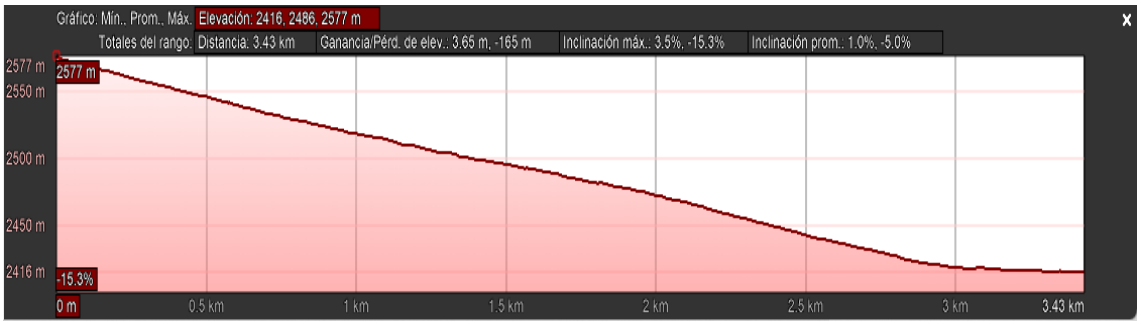


Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:



36			
Carretera:	Amozoc-Perote		
Km:	50+830	Ruta:	140 D
Coordenadas:	19.372396, -97.723368		
Gestor:	GANA		
Imagen: Febrero 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



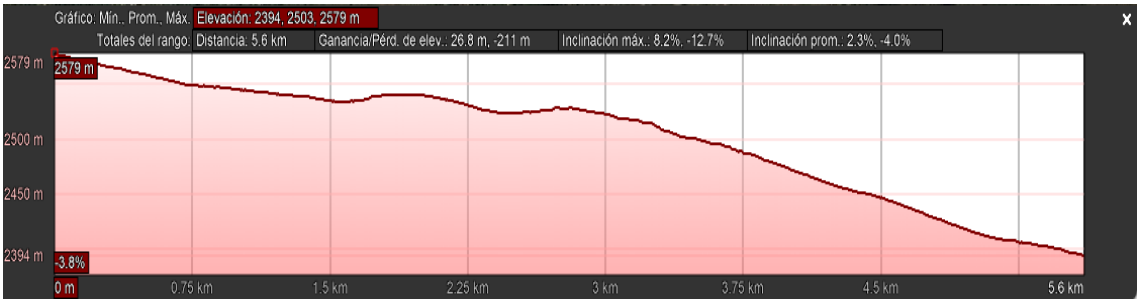
Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

37			
Carretera:	Amozoc-Perote		
Km:	60+330	Ruta:	140 D
Coordenadas:	19.411737, -97.650175		
Gestor:	GANA		

Imagen:

Mayo 2022

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

38			
Carretera:	Rayón-Ent. Tamuín (Río Verde-Ciudad Valles)		
Km:	6+250	Ruta:	70 D
Coordenadas:	21.878238, -99.588359		
Gestor:	ICA		

Imagen:

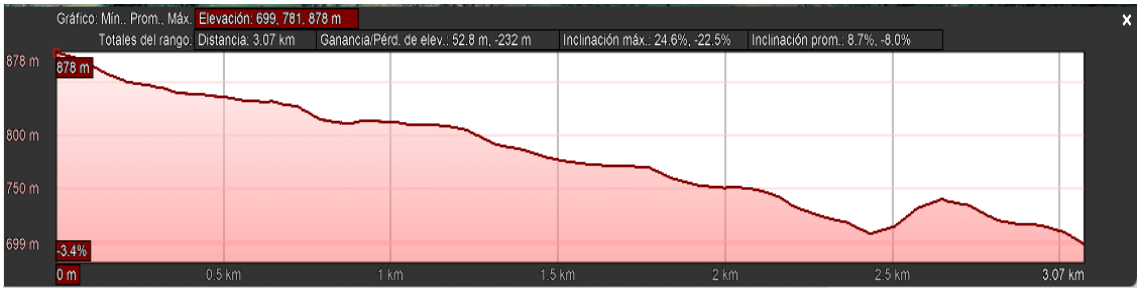
Junio 2022

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

39			
Carretera:	Rayón-Ent. Tamuín (Río Verde-Ciudad Valles)		
Km:	32+460	Ruta:	70 D
Coordenadas:	21.901474, -99.400075		
Gestor:	ICA		
Imagen: Junio 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

40			
Carretera:	Rayón-Ent. Tamuín (Río Verde-Ciudad Valles)		
Km:	70+120	Ruta:	70 D
Coordenadas:	22.004533, -99.12083		
Gestor:	ICA		
Imagen: Junio 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

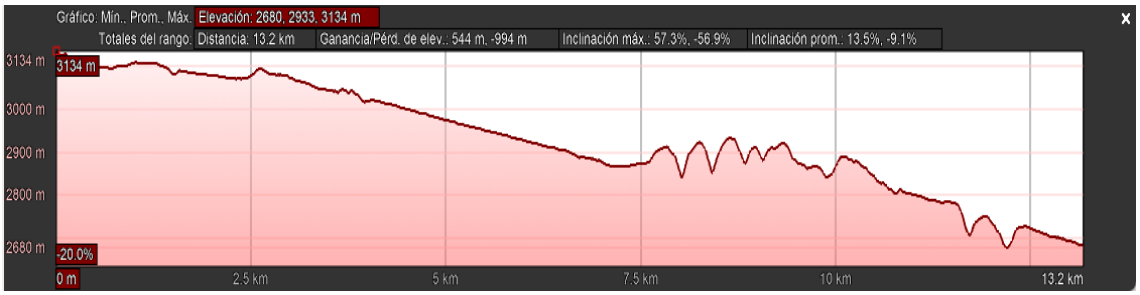
41			
Carretera:	Guadalajara-Tepic		
Km:	69+100	Ruta:	15 D
Coordenadas:	21.003129, -104.141501		
Gestor:	IDEAL		
Imagen: Julio 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

42			
Carretera:	Toluca-Naucalpan		
Km:	12+200	Ruta:	-
Coordenadas:	19.361296, -99.463981		
Gestor:	IDEAL		
Imagen: Enero 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

43			
Carretera:	Toluca-Naucalpan		
Km:	34+520	Ruta:	-
Coordenadas:	19.422396, -99.324216		
Gestor:	IDEAL		
Imagen: Junio 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

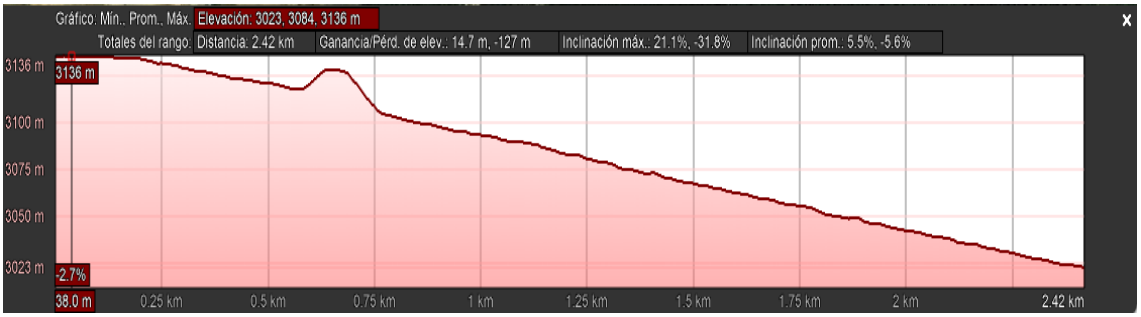
44			
Carretera:	Arco Norte		
Km:	221+600	Ruta:	-
Coordenadas:	19.309842, -98.408323		
Gestor:	IDEAL (Autopista Arco Norte)		
Imagen: Agosto 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

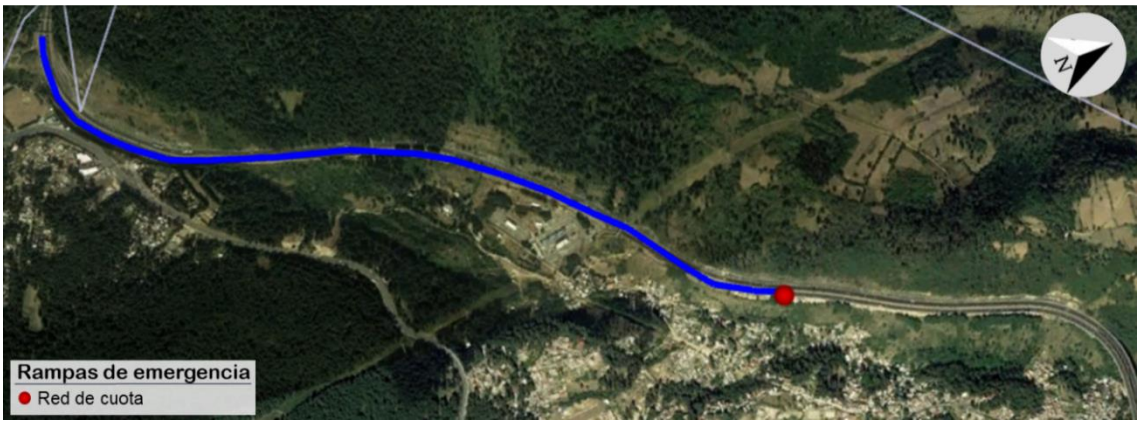
Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

45			
Carretera:	México-Toluca		
Km:	28+420	Ruta:	15 D
Coordenadas:	19.312886, -99.339522		
Gestor:	PINFRA		
Imagen: Julio 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

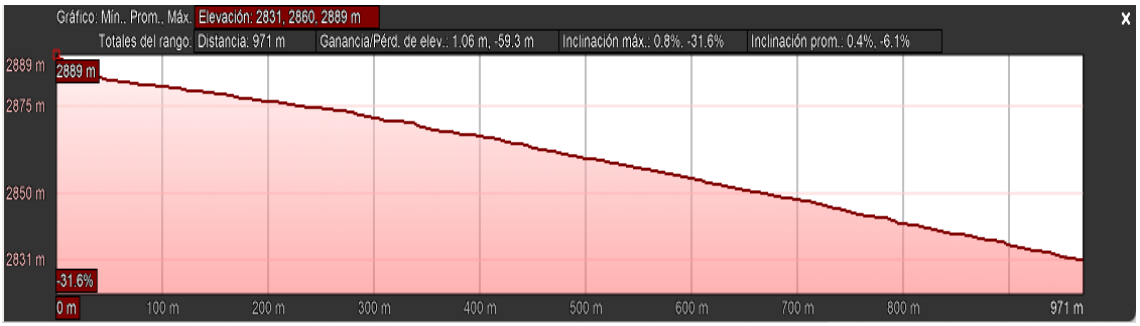


46			
Carretera:	México-Toluca		
Km:	39+680	Ruta:	15 D
Coordenadas:	19.294517, -99.421214		
Gestor:	PINFRA		

Imagen:

Julio 2022

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



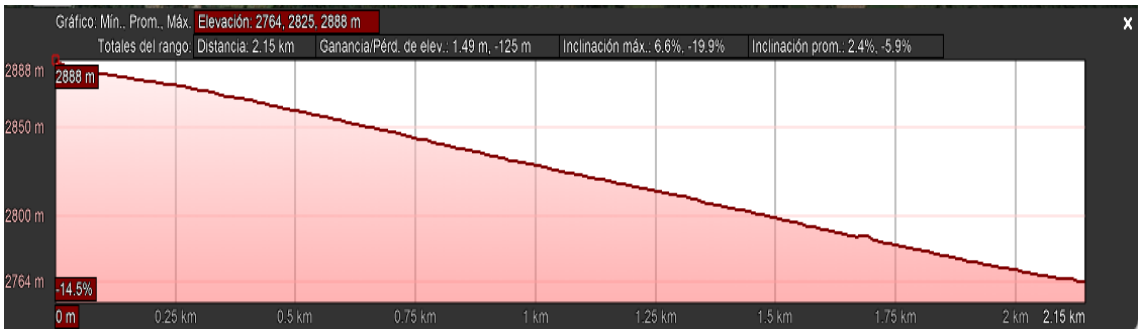
Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

47			
Carretera:	México-Toluca		
Km:	40+860	Ruta:	15 D
Coordenadas:	19.291915, -99.431849		
Gestor:	PINFRA		

Imagen:

Julio 2022

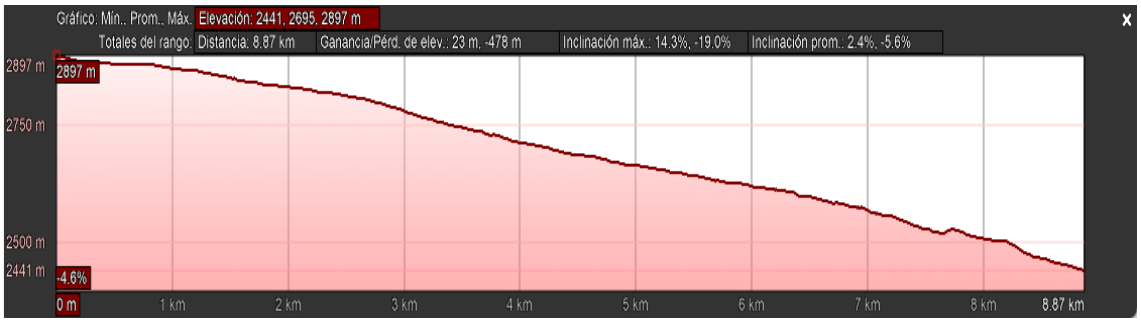
Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

48			
Carretera:	Tenango-Ixtapan de la Sal		
Km:	18+460	Ruta:	-
Coordenadas:	19.011655, -99.643874		
Gestor:	PINFRA		
Imagen: Julio 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

49			
Carretera:	Zitácuaro-Lengua de Vaca		
Km:	3+660	Ruta:	-
Coordenadas:	19.455763, -100.258186		
Gestor:	PINFRA		

Imagen:

Julio 2022

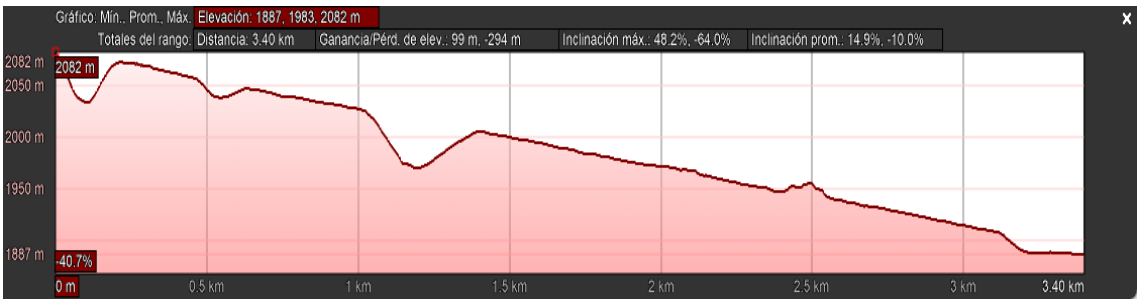
Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

50			
Carretera:	Virreyes-Teziutlán		
Km:	110+770	Ruta:	-
Coordenadas:	19.752253, -97.549703		
Gestor:	PINFRA		
Imagen: Abril 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

51			
Carretera:	Libramiento Poniente de Morelia		
Km:	1+680	Ruta:	14 D
Coordenadas:	19.875805, -101.212094		
Gestor:	PINFRA (Autopistas de Michoacán)		
Imagen: Julio 2022			
Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa: 			
Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa: 			

52			
Carretera:	Libramiento Poniente de Morelia		
Km:	6+800	Ruta:	14 D
Coordenadas:	19.876302, -101.251441		
Gestor:	PINFRA (Autopistas de Michoacán)		

Imagen:

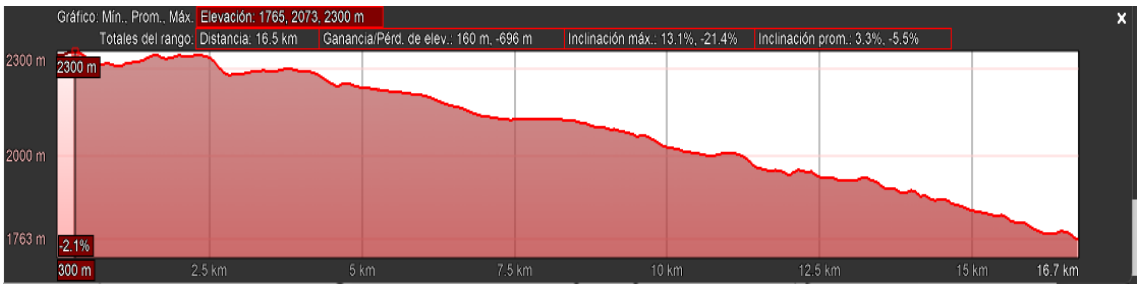
Julio 2022

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

53			
Carretera:	Pátzcuaro-Uruapan		
Km:	84+400	Ruta:	14 D
Coordenadas:	19.446932, -101.853455		
Gestor:	PINFRA (Autopistas de Michoacán)		
Imagen: Julio 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



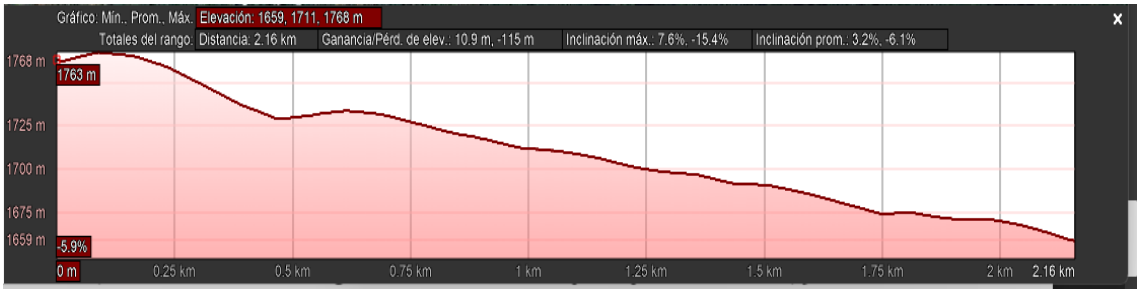
Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

54			
Carretera:	Pátzcuaro-Uruapan		
Km:	86+450	Ruta:	14 D
Coordenadas:	19.444258, -101.872957		
Gestor:	PINFRA (Autopistas de Michoacán)		

Imagen:

Julio 2022

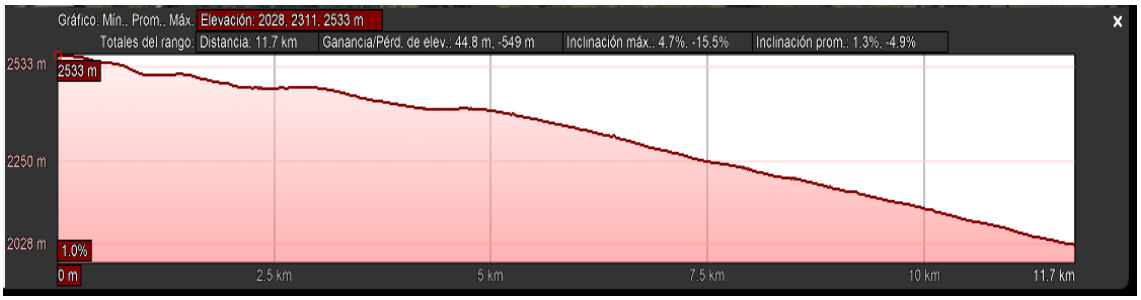
Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

55			
Carretera:	Maravatío-Zapotlanejo		
Km:	201+170	Ruta:	15 D
Coordenadas:	19.90041, -100.778344		
Gestor:	RCO		
Imagen: Octubre 2022			

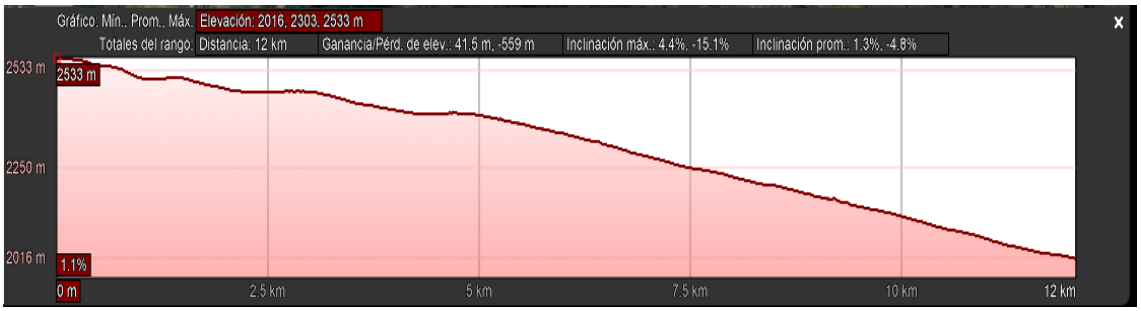
Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

56			
Carretera:	Maravatío-Zapotlanejo		
Km:	201+500	Ruta:	15 D
Coordenadas:	19.900807, -100.781467		
Gestor:	RCO		
Imagen: Octubre 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

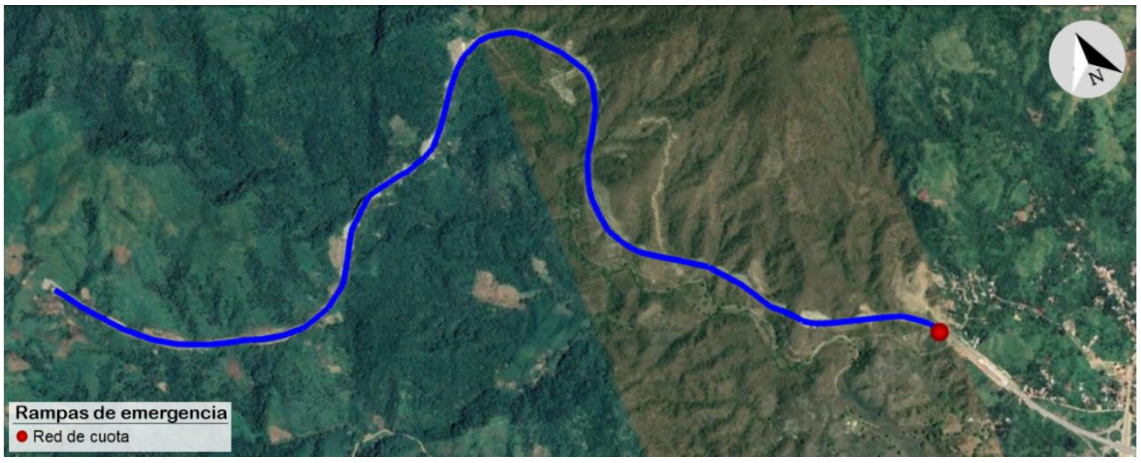
57			
Carretera:	Libramiento norte de Acapulco		
Km:	3+670	Ruta:	95 D
Coordenadas:	16.944572, -99.824161		
Gestor:	-		

Imagen:

Agosto 2022

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:



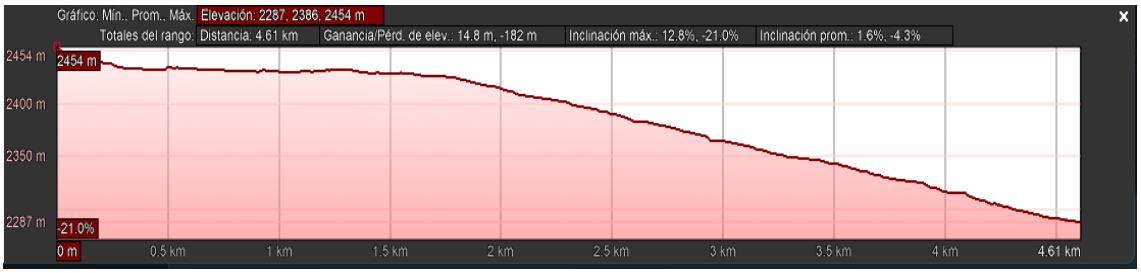
1 L			
Carretera:	Tapanatepec-Tuxtla Gutiérrez		
Km:	143+200	Ruta:	MEX-190
Coordenadas:	16.775815, -93.207657		
Gestor:	SICT-Chiapas		
Imagen: Mayo 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

2 L			
Carretera:	San Gregorio-Oaxtepec		
Km:	14+700	Ruta:	MEX-113
Coordenadas:	19.243727, -99.053963		
Gestor:	SCT-Morelos		
Imagen: Marzo 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



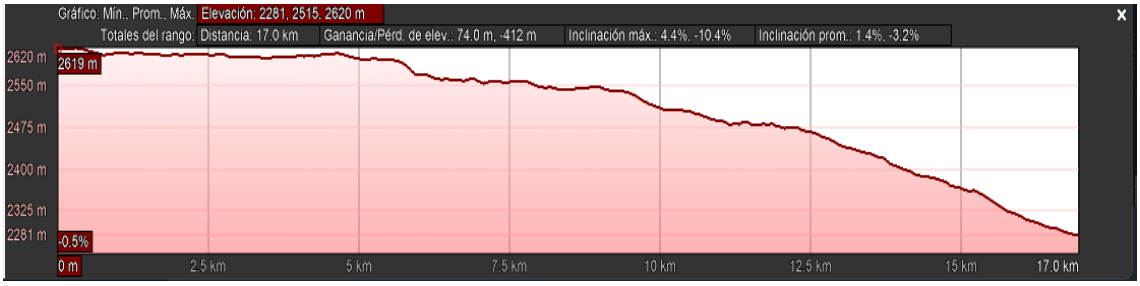
Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

3 L			
Carretera:	Pachuca-Túxpam		
Km:	38+640	Ruta:	MEX-130
Coordenadas:	20.065199, -98.433972		
Gestor:	SICT-Hidalgo		

Imagen:

Septiembre 2022

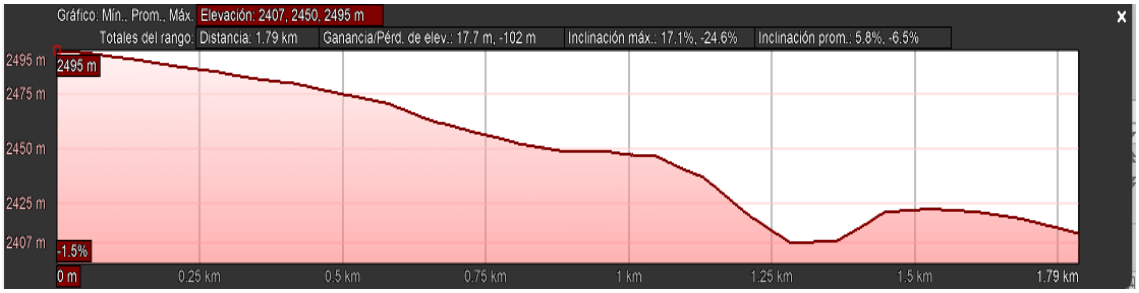
Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

4 L			
Carretera:	Los Reyes-Zacatepec		
Km:	31+980	Ruta:	MEX-136
Coordenadas:	19.552811, -98.798863		
Gestor:	SICT-Edo. México		
Imagen: Junio 2022			

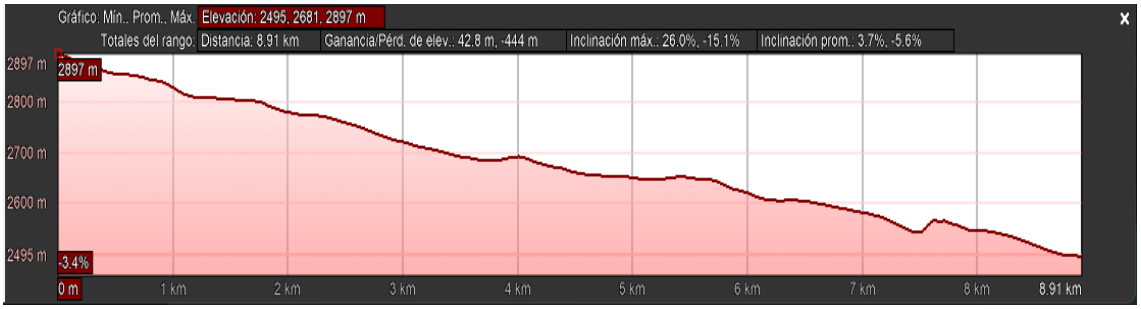
Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

5 L			
Carretera:	Los Reyes-Zacatepec		
Km:	33+760	Ruta:	MEX-136
Coordenadas:	19.547211, -98.783049		
Gestor:	SICT-Edo. México		
Imagen: Octubre 2022			

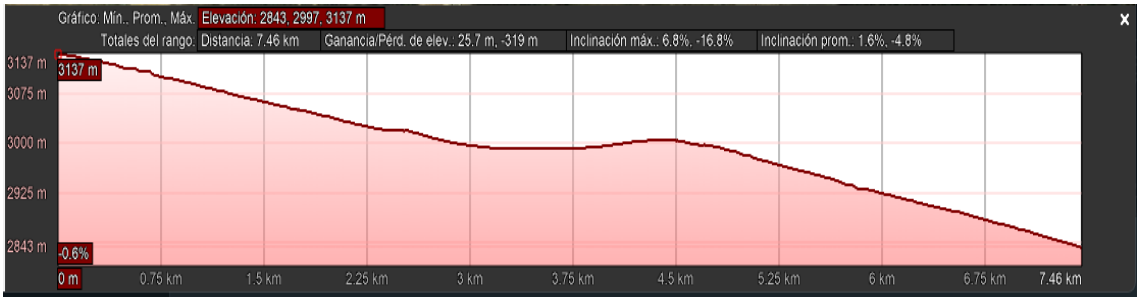
Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

6 L			
Carretera:	México-Toluca		
Km:	39+800	Ruta:	MEX-015
Coordenadas:	19.295579, -99.420029		
Gestor:	SICT-Edo. México		
Imagen: Julio 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



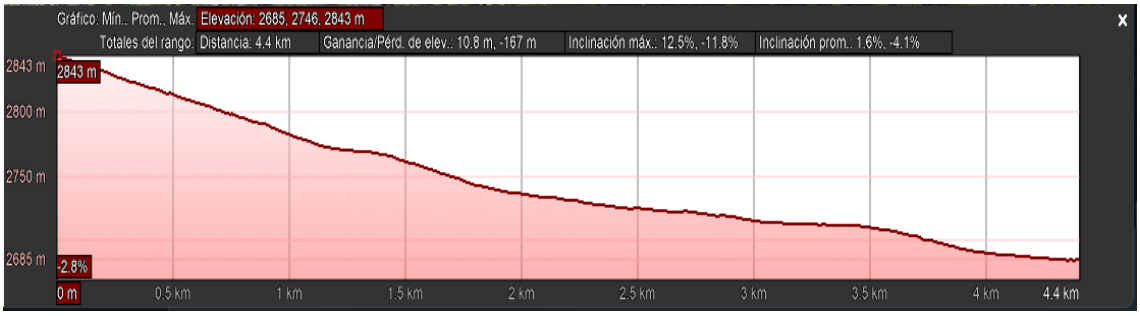
Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

7 L			
Carretera:	México-Toluca		
Km:	44+340	Ruta:	MEX-015
Coordenadas:	19.28463, -99.459778		
Gestor:	SICT-Edo. México		

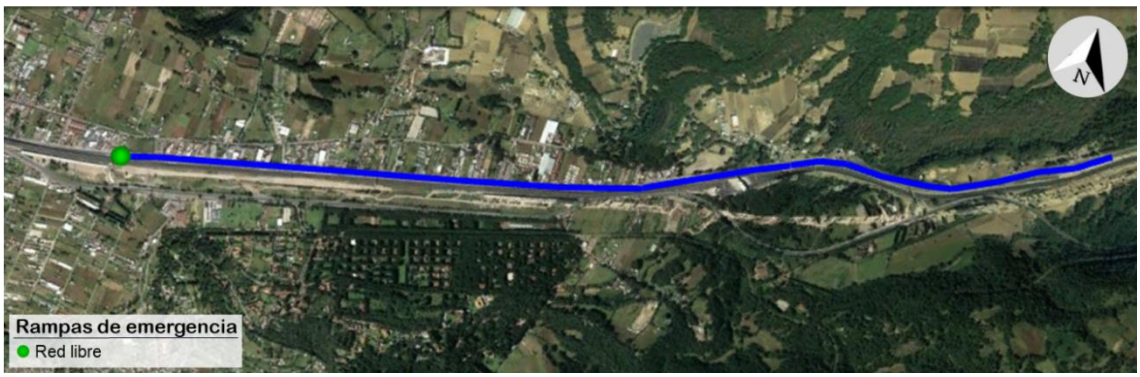
Imagen:

Julio 2022

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

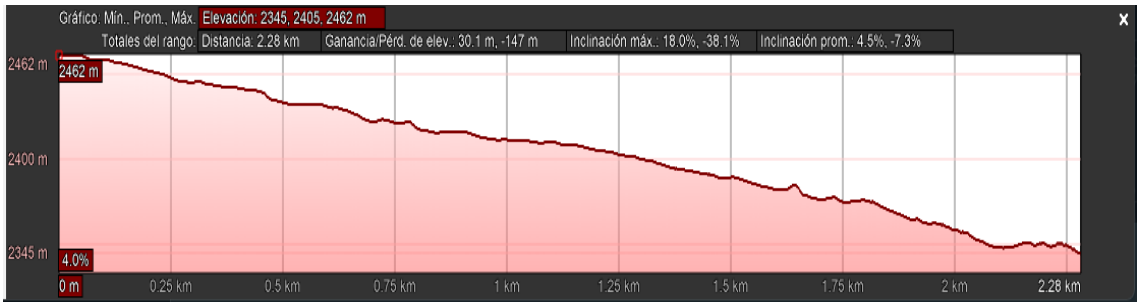


Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:



8 L			
Carretera:	Toluca-Axixintla		
Km:	39+200	Ruta:	MEX-055
Coordenadas:	19.004337, -99.569344		
Gestor:	SICT-Edo. México		
Imagen: Marzo 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

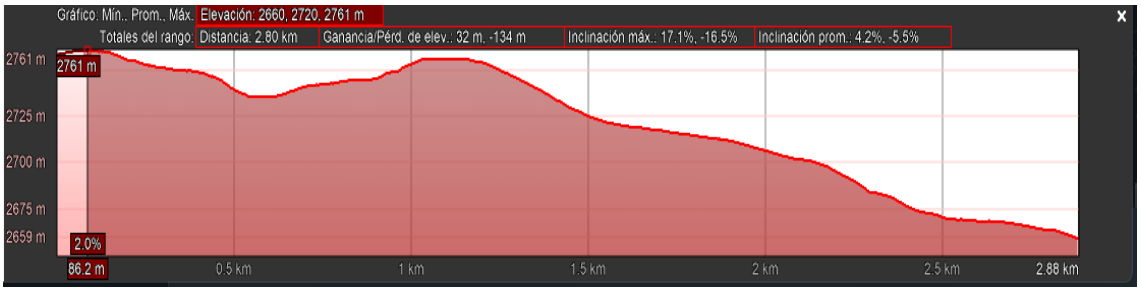
9 L			
Carretera:	Toluca-Axixintla		
Km:	44+000	Ruta:	MEX-055
Coordenadas:	18.979767, -99.579229		
Gestor:	SICT-Edo. México		
Imagen: Marzo 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

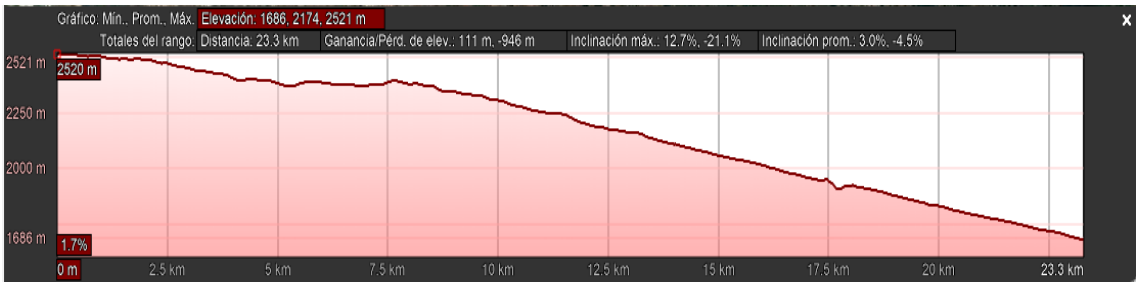
Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

10 L			
Carretera:	Libramiento Acambay		
Km:	8+400	Ruta:	MEX-055
Coordenadas:	19.971078, -99.893634		
Gestor:	SICT-Edo. México		
Imagen: Julio 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

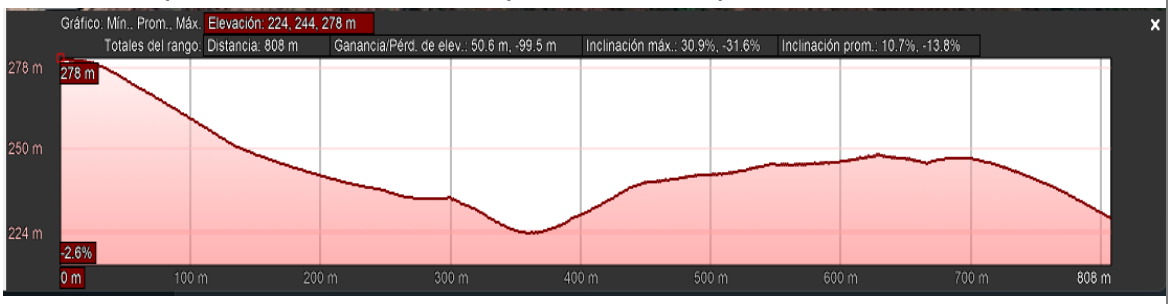


Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

11 L			
Carretera:	Santa Bárbara-Izúcar de Matamoros		
Km:	56+540	Ruta:	MEX-115
Coordenadas:	18.944799, -98.879926		
Gestor:	SICT-Morelos		
Imagen: Marzo 2022			
Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa: 			
Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa: 			

12 L			
Carretera:	Estación Ruiz-Valparaíso		
Km:	32+200	Ruta:	-
Coordenadas:	22.019706, -104.94353		
Gestor:	SICT-Nayarit		
Imagen: Abril 2022 (en desuso)			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

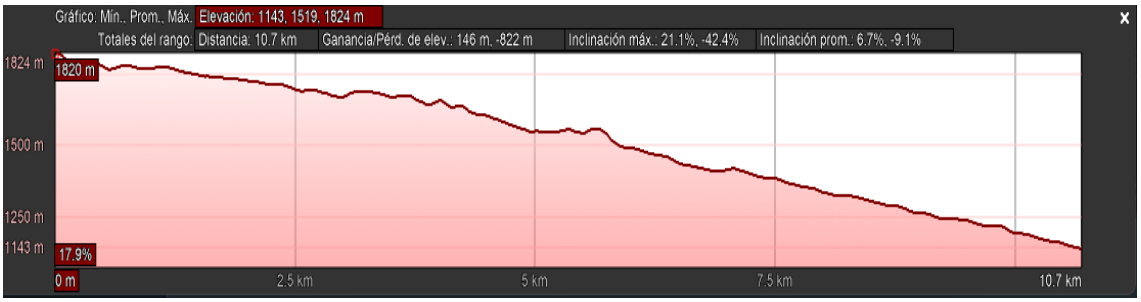
13 L			
Carretera:	Estación Ruiz-Valparaíso		
Km:	86+900	Ruta:	-
Coordenadas:	22.16947, -104.73064		
Gestor:	SICT-Nayarit		

Imagen:

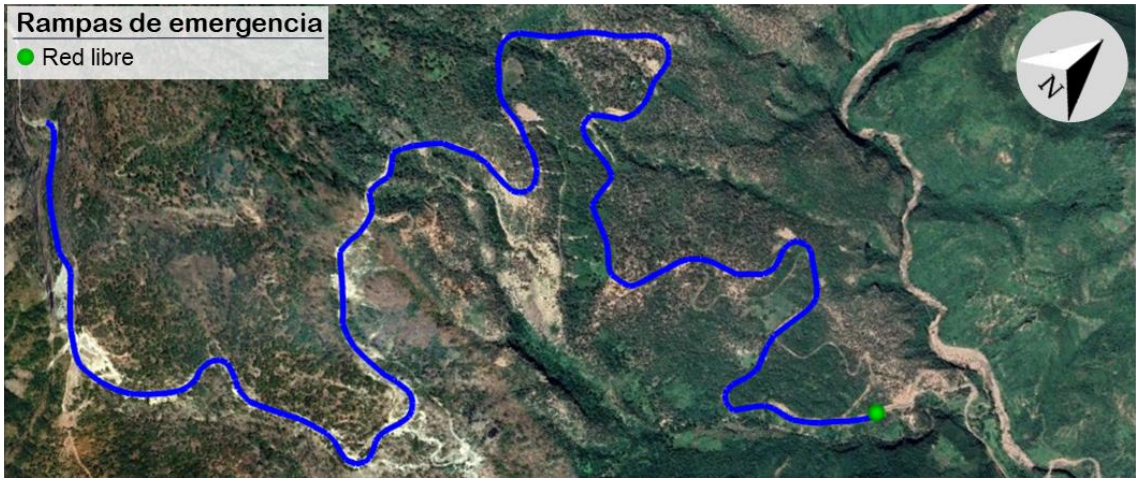
Abril 2022

(en desuso)

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

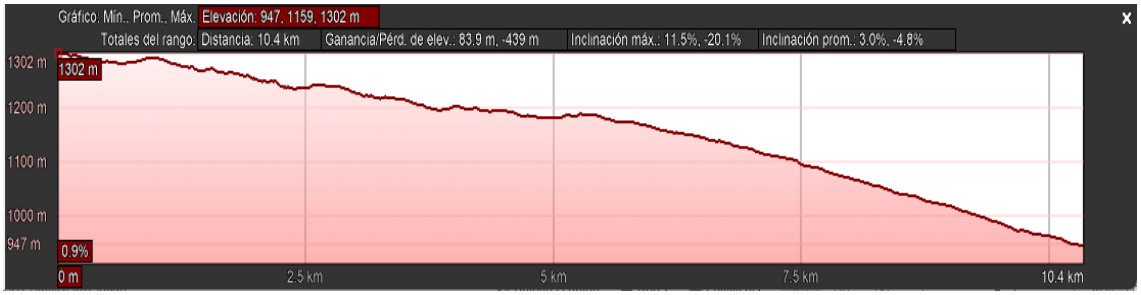


Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:



14 L			
Carretera:	Guadalajara - Tepic		
Km:	177+780	Ruta:	MEX-015
Coordenadas:	21.198081, -104.645789		
Gestor:	SICT-Nayarit		
Imagen: Julio 2022 (en desuso)			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

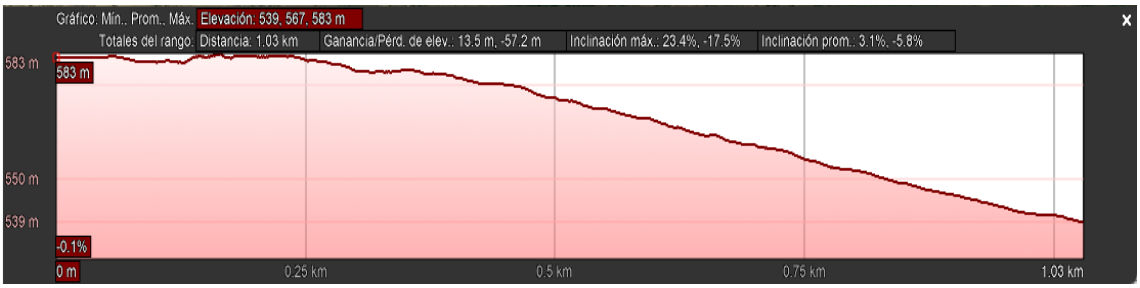
15 L			
Carretera:	Tepic-Mazatlán		
Km:	22+520	Ruta:	MEX-015
Coordenadas:	21.648133, -104.98244		
Gestor:	SICT-Nayarit		

Imagen:

Julio 2022

(en desuso)

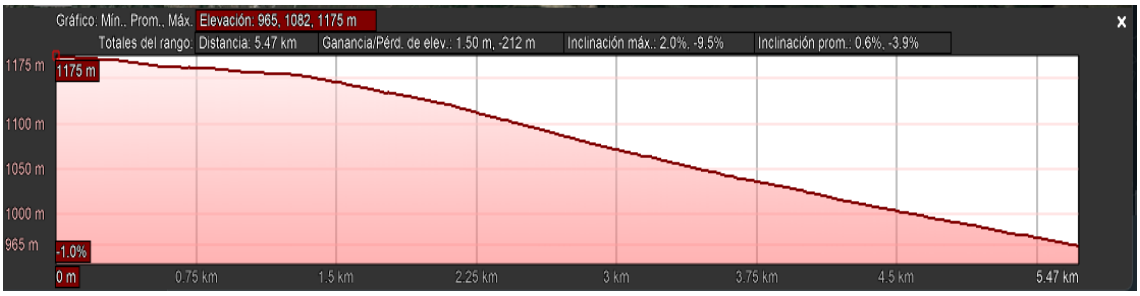
Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

16 L			
Carretera:	Saltillo-Monterrey		
Km:	53+500	Ruta:	MEX-040
Coordenadas:	25.702777, -100.593248		
Gestor:	SICT-Nuevo León		
Imagen: Mayo 2022			

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



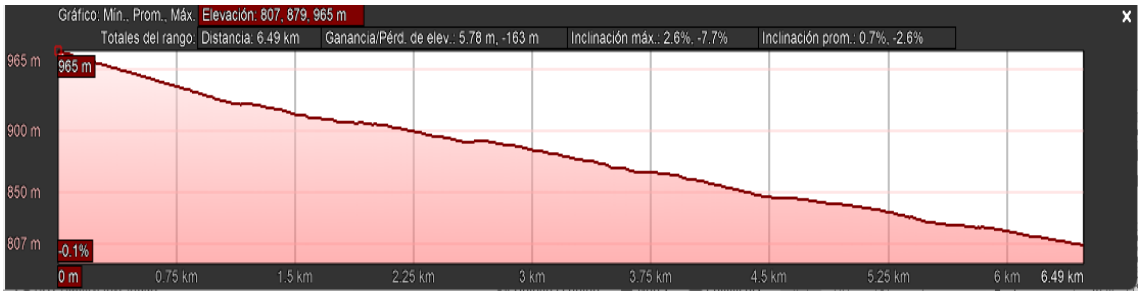
Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

17 L			
Carretera:	Saltillo-Monterrey		
Km:	60+740	Ruta:	MEX-040
Coordenadas:	25.696162, -100.529186		
Gestor:	SICT-Nuevo León		

Imagen:

Julio 2022

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:

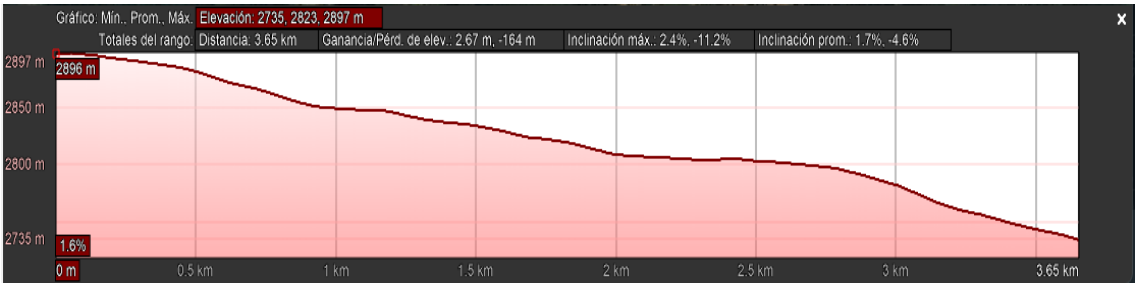


Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

18 L			
Carretera:	Los Reyes-Zacatepec		
Km:	47+080	Ruta:	MEX-136
Coordenadas:	19.565418, -98.671865		
Gestor:	SICT-Tlaxcala		

Imagen:
Junio 2022

Perfil de la pendiente descendente previa a la rampa:



Alineamiento horizontal del descenso previo a la rampa:

Anexo 5. “Características geométricas aproximadas de pendientes sostenidas”

Tabla A5.1 Características geométricas aproximadas de las pendientes sostenidas y longitud de camas de frenado

ID	Carretera	KM	Long. cama (APROX.) *metros*	Pendiente sostenida (APROX.)	
				Inclinación *%*	Longitud *metros*
01	Nuevo Necaxa-Tihuatlán	147+200	220	6%	2,840
02	Nuevo Necaxa-Tihuatlán	156+840	450	4%	9,120
03	Nuevo Necaxa-Tihuatlán	161+070	440	7%	1,860
04	Tejocotal-Nuevo Necaxa	127+650	220	6%	2,180
05	Tejocotal-Nuevo Necaxa	133+000	200	5%	5,400
06	Tejocotal-Nuevo Necaxa	139+280	200	5%	6,370
07	Saltillo-Monterrey	80+560	320	4%	5,840
08	Champotón-Campeche	175+970	185	1%	1,910
09	Cuernavaca-Acapulco	154+900	355	6%	2,130
10	Cuernavaca-Acapulco	221+350	220	7%	1,300
11	Cuernavaca-Acapulco	223+570	380	5%	10,500
12	Cuernavaca-Acapulco	319+200	340	6%	4,700
13	Durango-Mazatlán	24+250	260	4%	8,580
14	Durango-Mazatlán	143+600	220	6%	3,770
15	Durango-Mazatlán	155+350	180	8%	4,060
16	Las Choapas-Ocozocoautla	160+500	240	6%	3,270
17	México-Cuernavaca	66+210	185	4%	8,090
18	México-Puebla	35+650	305	4%	3,600
19	México-Puebla	39+220	340	5%	7,700
20	México-Puebla	46+900	280	5%	3,820
21	México-Puebla	50+700	250	4%	6,120
22	México-Puebla	72+130	160	4%	3,390
23	México-Querétaro	157+420	260	3%	3,490
24	México-Querétaro	158+580	200	5%	1,170
25	Acatzingo-Cd. Mendoza	233+820	125	5%	8,300
26	Acatzingo-Cd. Mendoza	235+680	90	6%	1,450
27	Puerto México-La Carbonera	228+540	350	5%	3,620
28	Tuxtla Gutiérrez-San Cristóbal de las Casas	13+300	260	5%	12,500
29	Tuxtla Gutiérrez-San Cristóbal de las Casas	25+560	160	5%	9,160

(continuación)

Tabla A5.1 Características geométricas aproximadas de las pendientes sostenidas y longitud de camas de frenado

ID	Carretera	KM	Long. cama (APROX.) *metros*	Pendiente sostenida (APROX.)	
				Inclinación *%*	Longitud *metros*
30	Tuxtla Gutiérrez-San Cristóbal de las Casas	34+780	160	5%	7,150
31	Perote-Banderilla	135+500	350	5%	8,630
32	Perote-Banderilla	144+180	350	5%	8,710
33	Amozoc-Perote	2+090	255	3%	6,820
34	Amozoc-Perote	8+890	255	3%	8,550
35	Amozoc-Perote	22+500	255	3%	5,110
36	Amozoc-Perote	50+830	315	5%	3,430
37	Amozoc-Perote	60+330	310	3%	5,600
38	Rayón-Ent. Tamuín (Río Verde-Ciudad Valles)	6+250	175	4%	5,470
39	Rayón-Ent. Tamuín (Río Verde-Ciudad Valles)	32+460	160	6%	3,070
40	Rayón-Ent. Tamuín (Río Verde-Ciudad Valles)	70+120	140	5%	4,660
41	Guadalajara-Tepic	69+100	240	5%	3,130
42	Toluca-Naucalpan	12+200	210	3%	13,200
43	Toluca-Naucalpan	34+520	210	5%	9,580
44	Arco Norte	221+600	340	2%	7,310
45	México-Toluca	28+420	250	5%	2,420
46	México-Toluca	39+680	165	6%	971
47	México-Toluca	40+860	270	6%	2,150
48	Tenango-Ixtapan de la Sal	18+460	130	5%	8,870
49	Zitácuaro-Lengua de Vaca	3+660	160	5%	7,400
50	Virreyes-Teziutlán	110+770	120	3%	6,920
51	Libramiento Poniente de Morelia	1+680	315	6%	3,400
52	Libramiento Poniente de Morelia	6+800	330	4%	4,820
53	Pátzcuaro-Uruapan	84+400	250	3%	16,500
54	Pátzcuaro-Uruapan	86+450	230	5%	2,160
55	Maravatío-Zapotlanejo	201+170	200	4%	11,700
56	Maravatío-Zapotlanejo	201+500	180	4%	12,000
57	Libramiento norte de Acapulco	3+670	300	4%	5,870
1 L	Tapanatepec-Tuxtla Gutiérrez	143+200	195	3%	8,300
2 L	San Gregorio-Oaxtepec	14+700	-	4%	4,610
3 L	Pachuca-Túxpam	38+640	150	2%	17,000
4 L	Los Reyes-Zacatepec	31+980	-	5%	1,790
5 L	Los Reyes-Zacatepec	33+760	280	5%	8,910
6 L	México-Toluca	39+800	145	4%	7,460
7 L	México-Toluca	44+340	220	4%	4,400
8 L	Toluca-Axixintla	39+200	115	5%	2,280

(continuación)

Tabla A5.1 Características geométricas aproximadas de las pendientes sostenidas y longitud de camas de frenado

ID	Carretera	KM	Long. cama (APROX.) *metros*	Pendiente sostenida (APROX.)	
				Inclinación *%*	Longitud *metros*
9 L	Toluca-Axixintla	44+000	-	5%	5,270
10 L	Libramiento Acambay	8+400	190	4%	2,800
11 L	Santa Bárbara-Izúcar de Matamoros	56+540	290	4%	23,300
12 L	Estación Ruiz-Valparaíso	32+200	-	7%	808
13 L	Estación Ruiz-Valparaíso	86+900	150	6%	10,700
14 L	Guadalajara - Tepic	177+780	-	3%	10,400
15 L	Tepic-Mazatlán	22+520	180	4%	1,030
16 L	Saltillo-Monterrey	53+500	415	4%	5,470
17 L	Saltillo-Monterrey	60+740	360	2%	6,490
18 L	Los Reyes-Zacatepec	47+080	220	4%	3,650

Fuente: Elaboración propia, medidas aproximadas tomadas con herramientas de Google Earth

Anexo 6. “Propuesta de tríptico informativo”

Las **rampas de emergencia para frenado** son dispositivos habilitados junto a la carretera que ayudan a frenar el vehículo en caso de fallo o problema mecánico en los frenos. Es un sistema pensado principalmente para camiones de carga y es habitual encontrarlo en carreteras con tramos montañosos de gran pendiente.

Funciona como una superficie de retención para disipar la energía de los vehículos, desacelerándolos de forma controlada y segura hasta su detención.

Por lo general, se encuentran cerca de la mitad o al final de pendientes largas y empinadas o donde exista un sitio de alto riesgo por falla en el sistema de frenos.

MEDIDAS PARA ANTES Y DURANTE EL RECORRIDO EN UN DESCENSO PROLONGADO

- Revise los neumáticos, las luces y el ajuste de los frenos de su unidad.
- Haga pruebas con el freno de motor y de servicio antes de iniciar el viaje.
- No entre a la pendiente con la última velocidad de transmisión, es recomendable bajar tres o cuatro velocidades según su unidad.
- Regule las revoluciones (RPM), para el descenso es recomendable mantener entre 1,300 a 1,600 dependiendo de la inclinación de la pendiente.
- Use el freno de motor con revoluciones óptimas, esto ayudará a regular el frenado evitando el uso excesivo del freno de servicio.
- Evite los cambios de velocidad de ascenso y retroceso para no perder el control del vehículo y abusar del freno de servicio.
- Revise constantemente las revoluciones durante el descenso.

LA FALLA EN EL SISTEMA DE FRENADO SE PUEDE EVITAR

- Use las áreas de revisión de frenos, por lo general ubicadas en la parte alta de la montaña.
- Al recorrer una carretera por primera vez pida recomendaciones a sus compañeros por los descensos y lugares para revisión de frenos.
- Familiarícese con su vehículo, sus características físico-mecánicas y las maniobras adecuadas en pendientes descendentes.
- La revisión y el mantenimiento al vehículo es vital.

QUÉ HACER Y NO HACER AL USAR UNA RAMPA DE EMERGENCIA

HACER

- Siga la raya roja hasta la entrada de la rampa de emergencia.
- Alerte a los otros usuarios de la carretera encendiendo luces intermitentes y sonando el claxon.
- Ingrese al lecho de grava alineando el vehículo con la rampa lo más cerca del centro.
- En todo momento es importante el uso del cinturón de seguridad y aún más durante el ingreso a una rampa de emergencia ya que el vehículo sufrirá una desaceleración excesiva.
- Durante el recorrido en la rampa de emergencia se debe sujetar con fuerza el volante.

NO HACER

- No dude en usar una rampa de emergencia por el temor a posibles daños al vehículo. El daño por el lecho de grava es menor en comparación al daño potencial causado por no hacer uso de la rampa.
- No intente salir del lecho de grava por si mismo. Tratar de salir sólo provoca más daños al vehículo.
- No use la entrada pavimentada como zona de descanso.
- No use el lecho de grava como área de recreación o juegos.

COMUNICACIONES
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Km 12+000 Carretera Estatal 431 “El Colorado Galindo”
Parque Tecnológico San Fandila, Mpio. Pedro Escobedo,
Querétaro, México. C.P. 76703
Tel: +52 (442) 216 97 77 ext. 2610
Fax: +52 (442) 216 9671

publicaciones@imt.mx

http://www.imt.mx/