

SISTEMA DE ALARMAS PARA PREVENIR SINIESTROS DE VEHÍCULOS DE CARGA SIN FRENOS EN AUTOPISTAS FEDERALES



Instituto Politécnico Nacional
“La Técnica al Servicio de la Patria”

Ingeniería Telemática

Metodología de la Investigación

Abarca Romero José Ángel

Gomez Rodríguez Jesús Alberto

Asesor

Torres Cruz Noé

Índice

1. Introducción	2
2. Planteamiento del Problema:	2
3. Propuesta de solución:	4
3.1. Dispositivo dentro de la cabina del vehículo de carga	4
3.2. Red de nodos actuadores	5
3.3. Usuario y conductores terciarios	5
3.4. Alcances	5
4. Objetivos	6
4.1. Objetivo general	6
4.2. Objetivos específicos	6
5. Estado del Arte	6
5.1. Sistema de alarmas para prevenir siniestros de vehículos sin frenos en plazas de cobro federales y particulares.	6
5.2. Sistemas de iluminación y cámaras de detección automática de incidentes.	6
6. Marco Teórico	7
6.1. Vehículos de carga pesada	7
6.2. Rampa de frenado	7
6.2.1. Rampas descendentes (RE-1)	8
6.2.2. Rampas horizontales (RE-2)	8
6.2.3. Rampas ascendentes (RE-3)	8
6.2.4. Señalamiento	8
6.3. Clasificación de las carreteras en México	10
6.3.1. Carretera	10
6.3.2. Autopista	11
6.4. Sistema de frenado neumático	11
6.5. Red de sensores	11
6.6. Actuadores	11
7. Escenario de pruebas	11

1. Introducción

Los accidentes automovilísticos son un problema de salud pública en México. Cada año, miles de personas mueren o resultan heridas en accidentes de tráfico en el país. De acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en 2022 se registraron 37,438 defunciones clasificadas como presuntos accidentes, de las cuales la mayor cantidad correspondió a accidentes de transporte con un 43.8 % del total, lo cual equivale a 16,407 muertes por accidentes de tráfico [1].

Las causas de los accidentes de tráfico en México son variadas. Entre las principales se encuentran [2]:

- Exceso de velocidad.
- Conducción bajo los efectos del alcohol o las drogas.
- Hacer maniobras imprudentes y no respetar las señales de tránsito.
- Uso del teléfono celular mientras se conduce.
- Conducir cansado o somnoliento.
- Condiciones de la carretera.
- Avería del vehículo.

A pesar de ello, es importante resaltar que el transporte de carga es un sector fundamental para la economía de México. Es responsable de mover el 82 % de la carga terrestre en el país [3], lo que incluye alimentos, productos manufacturados, materias primas y productos agrícolas. El transporte de carga es esencial para el funcionamiento de la economía mexicana, ya que permite el suministro de bienes y servicios a todos los rincones del país.

Sin embargo, los accidentes provocados por vehículos de carga pesada son especialmente peligrosos. Estos vehículos son mucho más grandes y pesados que los automóviles denominados como ligeros, lo que los hace más difíciles de controlar en caso de accidente. Además, las cargas que transportan pueden provocar daños catastróficos en caso de un siniestro.

En 2021, los accidentes provocados por vehículos de carga pesada (camiones unitarios, articulados y doble articulados) representaron el 28.5 % de todas las muertes por accidentes de tráfico en México[4].

Es por ello que es necesario tomar medidas para reducir el número de accidentes de tráfico en México. Estas medidas incluyen:

- Mejorar la educación vial.
- Implementar políticas de seguridad vial más estrictas.
- Fortalecer la supervisión del cumplimiento de las normas de seguridad vial.

Se considera como crítico también el desarrollo de nuevas tecnologías que sean capaces de auxiliar a las personas en tiempo real en caso de encontrarse en una situación de emergencia y que permita reducir la tasa de mortalidad de accidentes en carretera.

Este documento propone un sistema auxiliar cuyo objetivo es reducir la probabilidad de ocurrencia de siniestros que involucran a terceros dentro de autopistas federales de México, específicamente, en tramos que registran una gran cantidad de accidentes viales a causa de vehículos de carga que presentan fallas en su sistema de frenado [4].

2. Planteamiento del Problema:

En México, el 25.8 % de los accidentes automovilísticos involucra a un vehículo usado como transporte de carga, y en el 69 % de los casos, el vehículo de carga fue es el responsable del siniestro [4]. Si bien, los accidentes tienen orígenes diversos, una de las principales causas de estos accidentes es el fallo en el sistema de frenado de dichos vehículos. Este hecho implica un peligro inminente tanto para el conductor de la unidad que presentó la falla, como para aquellos que se encuentren transitando por la misma vía; pues por ley [5] el peso máximo que puede transportar un tráiler doblemente articulado es de 66.5 toneladas, superando con creces el peso de un vehículo familiar de 5 plazas.

A pesar de que existen medidas e infraestructura que buscan reducir el riesgo que implica un vehículo fuera de control sobre una autopista, como lo son las rampas de frenado, este tipo de percances siguen representando un gran peligro para los usuarios de las carreteras nacionales. Los principales problemas que hemos identificado son:

1. Falta de mantenimiento de los vehículos de carga pesada (camiones unitarios, articulados y doble articulados) de carga: Debido al alto costo que genera operar este tipo de vehículos, ciertas empresas, que de forma intencionada o no, evitan realizar mantenimiento preventivo a los vehículos, incrementando así las probabilidades de que estos presenten fallas durante su uso [6].
2. Altos costos generados por el uso de rampas de frenado: El 13 de septiembre del año 2023, la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transporte (SICT) anunció la eliminación del cobro por uso de rampas de emergencia en todas las carreteras federales con el objetivo de incentivar su uso y con ello salvaguardar las vidas de los usuarios [7]. Sin embargo, a pesar de la implementación de esta medida, quienes usen este sistema de emergencia deben cubrir los tarifas generadas por el uso de servicios auxiliares y salvamento (grúas) para el remolque de sus unidades. Aunado a esto, aquellos conductores que no cuenten con seguro para su vehículo deben hacerse cargo de la totalidad del gasto generado por la reparación de sus unidades. Es por ello que transportistas evitan su uso, esperando de alguna forma poder detener sus vehículos sin causar ningún accidente. Esto implica que a pesar de que exista infraestructura que permita evitar los accidentes provocados cuando estos vehículos pierden el control, los conductores prefieren no utilizarla para evitar endeudarse por su uso.
3. Falta de acompañamiento en tiempo real en caso de emergencia: Caminos y Puentes Federales (CA-PUFE) se encarga de operar y dar mantenimiento mayor y menor a los caminos y puentes federales que se encuentran dentro de su jurisdicción, y ofrece un número de emergencias para que quienes transitan por autopistas puedan solicitar apoyo en caso de algún siniestro [8]. Sin embargo, los servicios de emergencia proporcionados por CAPUFE se enfocan en auxiliar a vehículos que se han quedado varados por algún desperfecto mecánico y auxilio en caso de incidente vehicular. Este tipo de servicios son «post - incidente», lo que quiere decir que no son capaces de dar asistencia en tiempo real cuando un vehículo se ha quedado sin frenos. Además que estos servicios están sujetos a disponibilidad tanto de personal como de recursos materiales.
4. Toma de acciones limitadas de los conductores: En caso de quedarse sin frenos, los conductores se encuentran en una situación que requiere que toda su atención esté en evitar colisiones ya sea con otros vehículos o con la infraestructura de la autopista. Esto implica que cualquier acción que pueda realizar el conductor para comunicarse con los servicios de emergencia se ve fuertemente condicionada por la situación de alto estrés en la que se encuentra.
5. Deterioro de la integridad física de los conductores: De acuerdo con la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) «la industria del transporte de carga por carretera se caracteriza por una excesiva atomización de operadores, sobreoferta de servicios, con segmentos relevantes de la industria que opera en la informalidad y con regulación poco fiscalizada. Esta situación configura un mercado laboral de conductores en base a remuneraciones altamente variables de acuerdo al tiempo de conducción, lo cual incentiva al propio conductor a exigirse más allá de lo legalmente permitido y de sus condiciones físicas, a fin de obtener un salario mayor, incrementando el riesgo vial e incluso llegando al uso de drogas de forma habitual para sostener ese estilo de vida»[9].
6. Acceso limitado a la información: En el mejor de los casos, cuando un vehículo de carga se queda sin frenos solo están enterados el conductor, los servicios de emergencias y aquellos conductores que pudieron darse cuenta de que el conductor ha perdido el control de su vehículo. Estos últimos no tienen una forma segura y confiable de darse cuenta con anticipación del riesgo en el que se encuentran, por lo que su seguridad queda totalmente a merced de las habilidades que tenga el conductor del vehículo de carga para evitar una colisión con ellos.

Debido a las problemáticas expuestas en el listado anterior, se puede llegar a la conclusión de que en dado caso de que ocurriera un accidente donde el vehículo de carga tuviera una falla mecánica y no pudiera reducir la velocidad por sí mismo, sino que inminentemente requeriría de hacer uso de una rampa de frenado sin poner en riesgo a los demás vehículos es necesario el diseño de un sistema auxiliar que permita a los conductores, de forma cuasi-inmediata, alertar al tráfico vehicular de la situación de alto riesgo en la que se encuentran con el afán de que éstos tomen acciones evasivas para salvaguardar su integridad y permitan al vehículo de carga llegar a la rampa de frenado.

¿Cómo podemos diseñar un sistema de alertas que permita a prevenir siniestros causados por la colisión con vehículos de carga y que a su vez su activación sea poco invasiva para el conductor de la unidad?

3. Propuesta de solución:

Por la complejidad que implica dar una solución a todos los problemas planteados anteriormente, proponemos la implementación de un sistema que busca disminuir la probabilidad de una colisión entre un vehículo de carga sin frenos y otros vehículos que se encuentren transitando por la misma vía, el cual estará integrado por los siguientes componentes principales:

1. Desarrollo de un sistema de alertas de fácil activación que permitan al conductor de un vehículo de carga avisar al resto de vehículos que circulan en frente de él que se ha quedado sin frenos. Dicho sistema es activado con un dispositivo poco invasivo en la cabina del vehículo.
2. Desarrollo de una red de nodos actuadores que emiten alertas de tipo auditivas y/o visuales que permiten al resto de vehículos identificar el nivel de riesgo de impactar contra el vehículo de carga. La comunicación entre los nodos que conforman a la red será inalámbrica. Asimismo, el dispositivo en la cabina del vehículo será capaz de inter-comunicarse con la red de nodos con este mismo enfoque.

El dispositivo en cabina transmitirá la velocidad y posición actual del vehículo de carga, y la red de nodos se encargará de activar las alertas dependiendo de la información recibida. En la Figura (1) se muestra el diagrama de interacción entre los bloques que conforman el sistema.

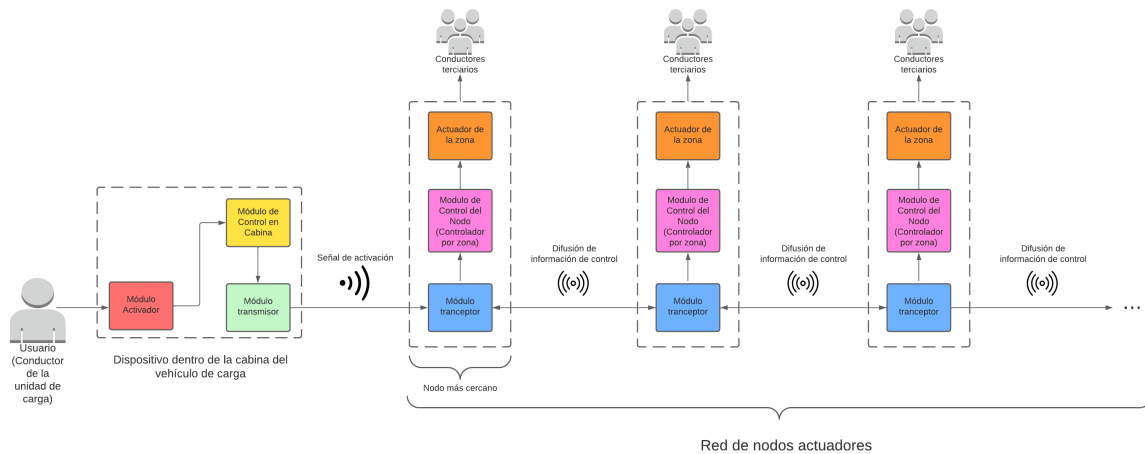


Figura 1: Diagrama de bloques del sistema.

A continuación se explica el funcionamiento de cada uno de los módulos presentados.

3.1. Dispositivo dentro de la cabina del vehículo de carga

Como se muestra en la Figura (1), se pretende que este módulo tenga 3 componentes funcionales: activador, módulo transmisor y control en cabina.

- **Activador:** Este módulo es el encargado de recibir la señal de activación por parte del conductor de la unidad de carga. Se dispondrá de un disparador (por ejemplo, un botón) que en caso de presionarse durante una determinada cantidad de tiempo, inicializará la operación del resto de elementos que componen al dispositivo a través del «control en cabina». Su función se limita a interactuar con el conductor de la unidad para que este pueda activar el dispositivo de forma que no le resulte invasiva y evite así distraerse de lo que ocurre en la autopista.
- **Control en cabina:** Este módulo se compone de un velocímetro (inercial o GPS) y de un módulo GPS que al momento de recibir la señal de activación desde el «componente activador», recopilan la velocidad actual y la posición del vehículo de carga. A esta información se le da un formato adecuado para su transmisión y se le envía al «módulo transmisor».
- **Módulo transmisor:** Recibe información desde el módulo de «control de cabina», y comienza a emitir señales electromagnéticas para tratar de establecer comunicación con la red de nodos actuadores. La información es transmitida de forma periódica a lo largo de cierto periodo de tiempo para tratar de garantizar la conexión con la red. Planteamos también la posibilidad de que este módulo reciba información desde la red de nodos para que exista retroalimentación constante del estado de la red.

3.2. Red de nodos actuadores

Esta red se compondrá, cómo su nombre lo indica, de una serie de nodos interconectados de forma inalámbrica que serán los encargados de emitir las alertas a los conductores a lo largo de la autopista, con base en la información transmitida desde el dispositivo en la cabina del conductor.

- Módulo tranceptor: Es el componente funcional que se encarga tanto de recibir y de transmitir información, ya sea con otro dispositivo de la red de nodos o con el dispositivo en la cabina del conductor. Dicha información es enviada al «módulo de control del nodo».
- Módulo de control del nodo (Controlador por zona): En este módulo se procesará la información recibida desde el tranceptor. Dicha información servirá para determinar en qué zona se encuentra el módulo y así poder determinar el comportamiento del «actuador de la zona». De igual forma, se encargará de procesar la información que compartirá este nodo con sus vecinos.
- Actuador de la zona: Este es el dispositivo encargado de emitir las alertas a los «conductores terciarios». Puede tratarse de un dispositivo que emita señales auditivas, visuales o incluso ambas, dependiendo de las características de la autopista en donde se implemente el sistema. El comportamiento del actuador está regulado por el «módulo de control del nodo» y tiene 3 variantes. Cada una de las variantes indicará el nivel de riesgo en el que se encuentra un «conductor terciario» de colisionar con el vehículo de carga en estado de emergencia.

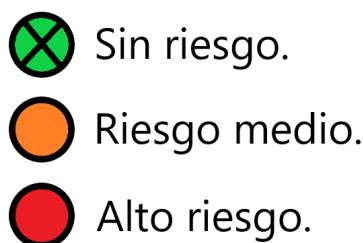


Figura 2: Niveles de riesgo propuestos.

En la Figura (1) se observa que uno de los nodos de la red está señalado como «nodo más cercano». Esto se debe a que se pretende que el dispositivo en la cabina del conductor establezca comunicación con la red de nodos a través del nodo que se encuentre más cerca al vehículo de carga al momento de que el conductor active su dispositivo. No necesariamente tiene que ser el primer nodo instalado en la red, más bien, se pretende que cualquier nodo pueda actuar como «nodo más cercano». Este tendrá la tarea de coordinar al resto de elementos de la red a través de mensajes de control.

3.3. Usuario y conductores terciarios

- Usuario (conductor de la unidad de carga): Es aquella persona que conduce el vehículo de carga pesada que se encuentra en situación de emergencia y que desea hacer uso del sistema de alertas. Su función dentro del sistema se limita únicamente a activar el dispositivo instalado en la cabina del vehículo para intentar establecer comunicación con la red de nodos.
- Conductores terciarios: Se considera como conductor terciario a todos aquellas personas que transiten por delante del vehículo de carga que activó el sistema de alertas. Estos deben de tomar las acciones que consideren necesarias para evitar colisionar u obstruir el camino del vehículo de carga hasta la rampa de frenado. Dependiendo del nivel de riesgo indicado por los actuadores de cada zona (ver Figura 2), se les hará saber a los conductores de qué tan probable es tener algún percance con el vehículo de carga.

3.4. Alcances

A continuación se presentan un listado de aspectos que se consideran críticos para el funcionamiento del sistema:

- Bajo ninguna circunstancia, este sistema pretende detectar una falla en el sistema de frenado neumático de un vehículo de carga pesada. Esta tarea recae únicamente sobre el conductor de la unidad de carga.

- El sistema se limita a emitir señales visuales, sonoras u audiovisuales que permitan tanto a los conductores de vehículos ligeros como al conductor de la unidad de carga tomar acciones evasivas para prevenir un percance. Las acciones que puedan tomar o no los conductores dependen enteramente de su capacidad de respuesta y de su pericia al volante.
- El único dispositivo dentro del vehículo de carga será aquel que se describió previamente. No se agregarán otros sistemas de alertas activas sobre el vehículo.
- La red de actuadores podrá establecer comunicación únicamente entre dispositivos que han sido previamente configurados para operar dentro de la misma. No se busca que sea capaz de establecer comunicación con otros dispositivos o con otro tipo de redes (ejemplo, de telefonía celular). Es decir, la comunicación entre nodos es local.
- La segmentación de la ruta entre el vehículo de carga y la entrada de la rampa de frenado se hará considerando los valores iniciales de velocidad y posición al momento en que el conductor de la unidad de carga activa el sistema de alertas.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Construir un sistema de alarmas para prevenir siniestros entre vehículos de carga sin frenos y vehículos ligeros en autopistas federales utilizando una red de actuadores que permita señalar la presencia del vehículo de carga sin frenos.

4.2. Objetivos específicos

1. Construir un dispositivo que le permita al conductor del vehículo de carga activar el sistema de alertas (red de nodos actuadores) y que además sea capaz de detectar la velocidad y la posición del vehículo de carga dentro de la autopista.
2. Diseñar e implementar una red de nodos actuadores que sean capaces de compartir información de control entre ellos para determinar el comportamiento del dispositivo de alerta incorporado en cada nodo.
3. Diseñar un algoritmo que permita segmentar por zonas la ruta entre el vehículo de carga sin frenos y la entrada de la rampa de frenado de forma dinámica, para adaptar su tamaño a medida que el vehículo se acerca a la rampa de frenado.

5. Estado del Arte

5.1. Sistema de alarmas para prevenir siniestros de vehículos sin frenos en plazas de cobro federales y particulares.

Este proyecto surge en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la unidad Adolfo López Mateos en el año 2009.

Proponen un sistema de alertas entre un vehículo cuyo sistema de frenado falló que le permite al personal de una caseta de cobro tomar acciones para prevenir el impacto del vehículo. Pretende que exista un dispositivo PLC el cuál se encarga de controlar un sistema radar de tipo LIDAR para detectar la velocidad de cualquier tipo de vehículo y a partir de eso inferir si el vehículo se ha quedado sin frenos.

5.2. Sistemas de iluminación y cámaras de detección automática de incidentes.

En la NOM-036-SCT2-2016 [10] se establecen las directrices para el diseño y construcción de sistemas de rampa de frenado. En esta norma también menciona la obligación de implementar sistemas para la vigilancia y monitoreo de las rampas de frenado las cuales

se deben integrar mediante cámaras de video para detección automática de incidentes, ubicadas estratégicamente para que detecten, transmitan y registren automáticamente cualquier incidente desde el inicio del camino de acceso a la rampa de frenado hasta el fin de su cama de frenado, incluyendo su camino de servicio, durante todo el tiempo que dure el incidente más dos (2) minutos, mediante el procesamiento y

análisis automático de las imágenes de video a colores o en blanco y negro, por medio de un programa de cómputo que genere y transmita en tiempo real, a una central de control, alarmas e imágenes de video para que el personal de emergencia pueda, en su caso, iniciar oportunamente el operativo de auxilio que se requiera. Los componentes principales del sistema son la carcasa, el lente, el sensor de imagen, la unidad central de procesamiento, el procesador de video, la fuente de alimentación eléctrica y el canal de transmisión.

6. Marco Teórico

6.1. Vehículos de carga pesada

La Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2017 [5] tiene por objeto establecer las especificaciones de peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte federal, sus servicios auxiliares y transporte privado que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal. Dicha norma ofrece la siguiente clasificación:

- Camión unitario: Vehículo automotor de seis o más llantas, destinado al transporte de carga con peso bruto vehicular mayor a 4 toneladas.
- Camión remolque: Vehículo destinado al transporte de carga, constituido por un camión unitario con un remolque, acoplado mediante un convertidor.
- Remolque: Vehículo con eje delantero giratorio, o semirremolque con convertidor y eje al centro o trasero fijo, no dotado de medios de propulsión y destinado a ser jalado por un vehículo automotor, o acoplado a un camión o tractocamión articulado.
- Convertidor: Sistema de acoplamiento que se engancha a un semirremolque y que le agrega una articulación a los vehículos de tractocamión, semirremolque-remolque y camión remolque.

6.2. Rampa de frenado

Es una franja auxiliar conectada al arroyo vial especialmente acondicionada para disipar la energía cinética de los vehículos que queden fuera de control por fallas mecánicas, principalmente en sus sistemas de frenos, desacelerándolos en forma controlada y segura, mediante el uso de materiales granulares sueltos y aprovechando, en su caso, la acción de la gravedad. Las rampas de emergencia para frenado constan de: acceso, cama de frenado y camino de servicio.

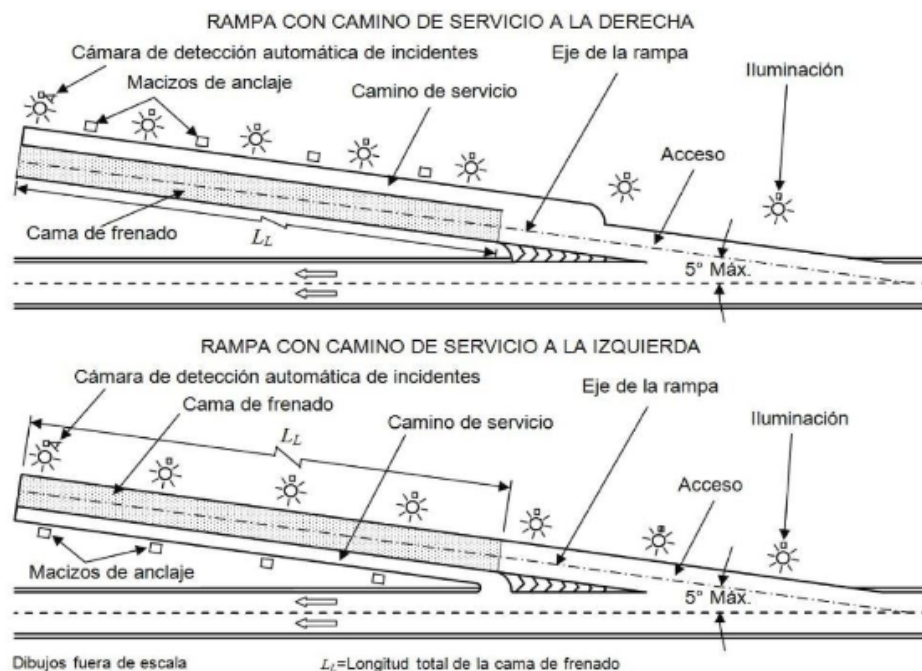


Figura 3: Rampa de emergencia para frenado. Esquema de disposición en planta

6.2.1. Rampas descendentes (RE-1)

Las que tienen una cama de frenado de espesor uniforme con excepción de su tramo de transición, con pendiente longitudinal descendente. La acción de detención se limita al aumento de la resistencia a la rodadura, y debido a que la acción de la gravedad tiene un efecto acelerador, estas rampas suelen ser las de mayor longitud dependiendo de la magnitud de su pendiente descendente, de las características del material granular y de la velocidad del vehículo para la que se diseñen.

6.2.2. Rampas horizontales (RE-2)

Las que tienen cama de frenado de espesor uniforme con excepción de su tramo de transición, sin pendiente longitudinal. La detención se limita al aumento de la resistencia a la rodadura. Como el efecto de la gravedad en la detención es nulo, estas rampas suelen ser largas dependiendo de las características del material granular y de la velocidad del vehículo para la que se diseñen.

6.2.3. Rampas ascendentes (RE-3)

Las que tienen una cama de frenado de espesor uniforme con excepción de su tramo de transición, con pendiente longitudinal ascendente. Como en la detención se aprovecha la resistencia a la rodadura y la acción de la gravedad por la pendiente longitudinal ascendente, estas rampas suelen ser menos largas que las rampas descendentes y horizontales.

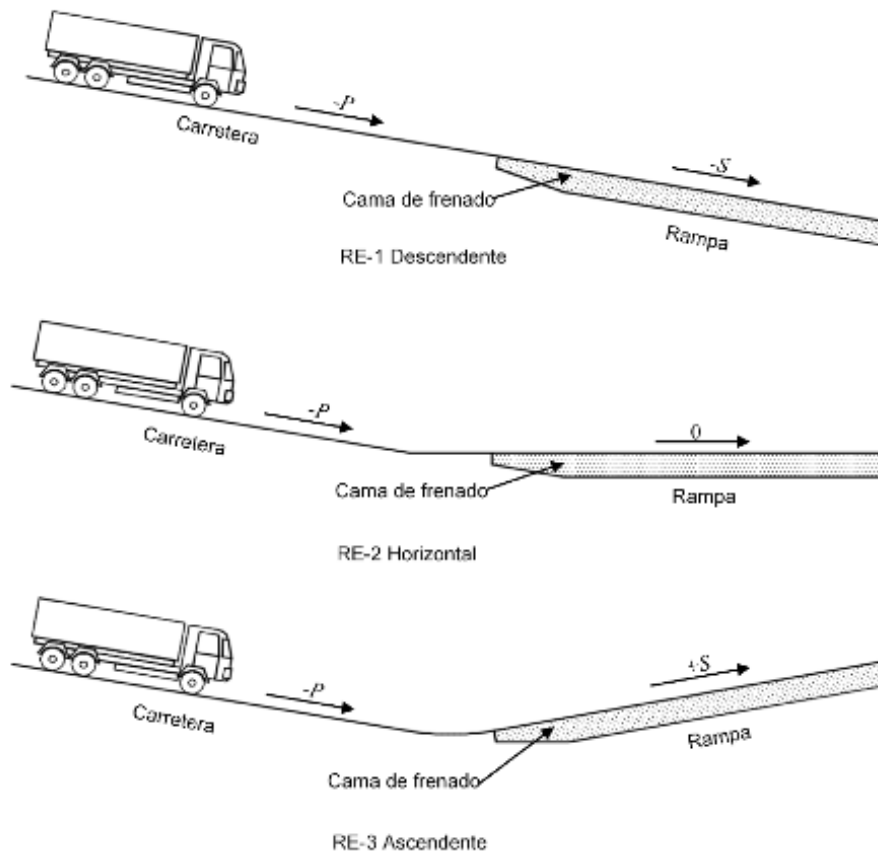


Figura 4: Tipos de rampas de emergencia para frenado (RE)

6.2.4. Señalamiento

El señalamiento vertical de rampas de emergencia para frenado se debe integrar mediante las señales restrictivas (SR), señales preventivas (SP), señales informativas de destino (SID), señales informativas de recomendación (SIR), señales de información general (SIG), señales informativas de servicios (SIS) y señales diversas (OD).



Figura 5: Señales verticales de rampas para frenado de emergencia

■ Señales restrictivas (SR)

Se deben instalar en la carretera las señales restrictivas SR-22 "Prohibido Estacionarse", una en el acceso a la rampa de emergencia para frenado, otra en el inicio de la cama de frenado y en la carretera las necesarias hasta quinientos (500) metros antes del acceso a la rampa de emergencia, con una separación máxima entre ellas de ciento cincuenta (150) metros. En el tramo de pendiente descendente de la carretera, se instalarán las señales restrictivas SR-9 "Velocidad" para indicar los límites máximos de velocidad para vehículos de carga, inferiores a ochenta (80) kilómetros por hora.

■ Señales preventivas (SP)

Se deben colocar señales preventivas SP-29 "Pendiente Descendente", indicando la longitud del tramo próximo con pendiente descendente sostenida. La ubicación de estas señales será de acuerdo con lo indicado en el Manual de Señalización y Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras.

■ Señales informativas de destino (SID)

Se deben instalar en la carretera dos señales informativas de destino SID-9 o SID-13, una decisiva a la entrada de la rampa para frenado de emergencia y otra previa a no menos de doscientos (200) metros de esa entrada. En carreteras de un carril por sentido de circulación, estas señales pueden ser bajas o elevadas en bandera, tomando en cuenta el volumen del tránsito y la velocidad de operación, mientras que en carreteras con dos o más carriles por sentido de circulación, siempre deben ser elevadas en bandera, complementadas con dos señales informativas de destino previas elevadas, en bandera (SID-13) o en puente (SID-15), a no menos de cuatrocientos (400) y de setecientos (700) metros de la entrada a la rampa, respectivamente, que indiquen el carril que han de utilizar los vehículos fuera de control.

■ Señales informativas de recomendación (SIR)

Se deben instalar en la carretera cuatro señales informativas de recomendación SIR.

- Señales de información general (SIG)

Se debe instalar en la carretera una señal de información general SIG, a no menos de quinientos (500) metros de la rampa de emergencia para frenado, preferentemente en el sitio donde la raya roja continua M-14.2, cambie del carril de alta velocidad al de baja y, en el caso de que el tramo con pendiente descendente de la carretera sea largo, se debe instalar otra señal igual, a cuando menos mil (1.000) metros de la primera. En carreteras de un carril por sentido de circulación, esas señales deben ser bajas, mientras que en carreteras con dos o más carriles por sentido de circulación, pueden ser bajas o elevadas en puente, a criterio del proyectista, tomando en cuenta el volumen del tránsito y la velocidad de operación. Si se opta por señales bajas y la carretera es de cuerpos separados, se deben instalar dichas señales en ambos lados del arroyo vial.

- Señal informativa de servicios (SIS)

A un lado del acceso a la rampa se debe instalar una señal informativa de servicios SIS-65 "Asistencia Telefónica en Vialidades" que indique el número telefónico donde se puede solicitar auxilio, complementada con un tablero adicional con el nombre de la carretera y el número de la ruta, la ubicación de la rampa en kilómetros más metros y las coordenadas geográficas (longitud y latitud) en grados con seis decimales.

- Señales adicionales y dispositivos diversos (OD y DD)

Se debe instalar un indicador de obstáculos OD-5, en la zona neutral formada por las rayas canalizadoras en la entrada a la rampa de emergencia para frenado. También se deben colocar indicadores de alineamiento DD-1, con reflejante rojo; de policloruro de vinilo (PVC) o de algún otro material flexible; inastillable y resistente a la intemperie, ubicados a cada veinte (20) metros en ambos lados de la cama de frenado, desde donde inicie hasta donde termine. Estos indicadores de alineamiento DD-1[10].

6.3. Clasificación de las carreteras en México

6.3.1. Carretera

Camino público, ancho y espacioso, pavimentado y dispuesto para el tránsito de vehículos, que según sus características y el servicio que presta, de acuerdo con el Reglamento sobre el Peso, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Transporte que Transitan en los Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal, puede ser:

- Carretera Tipo ET: Cuando forma parte de los ejes de transporte establecidos por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, cuyas características geométricas y estructurales permiten la operación de todos los vehículos autorizados con las máximas dimensiones, capacidad y peso, así como de otros que por interés general autorice la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, y que su tránsito se confíe a este tipo de caminos.
- Carretera Tipo A: Cuando por sus características geométricas y estructurales permite la operación de todos los vehículos autorizados con las máximas dimensiones, capacidad y peso, excepto aquellos vehículos que por sus dimensiones y peso sólo se permitan en las carreteras tipo ET.
- Carretera Tipo B: Cuando conforma la red primaria y que atendiendo a sus características geométricas y estructurales presta un servicio de comunicación interestatal, además de vincular el tránsito.
- Carretera Tipo C: Cuando conforma la red secundaria y que atendiendo a sus características geométricas y estructurales principalmente prestan servicio dentro del ámbito estatal con longitudes medias, estableciendo conexiones con la red primaria.
- Carretera Tipo D: Cuando conforma la red alimentadora y que atendiendo a sus características geométricas y estructurales principalmente presta servicio dentro del ámbito municipal con longitudes relativamente cortas, estableciendo conexiones con la red secundaria.

6.3.2. Autopista

Carretera Tipo ET o Tipo A, con accesos controlados, según la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

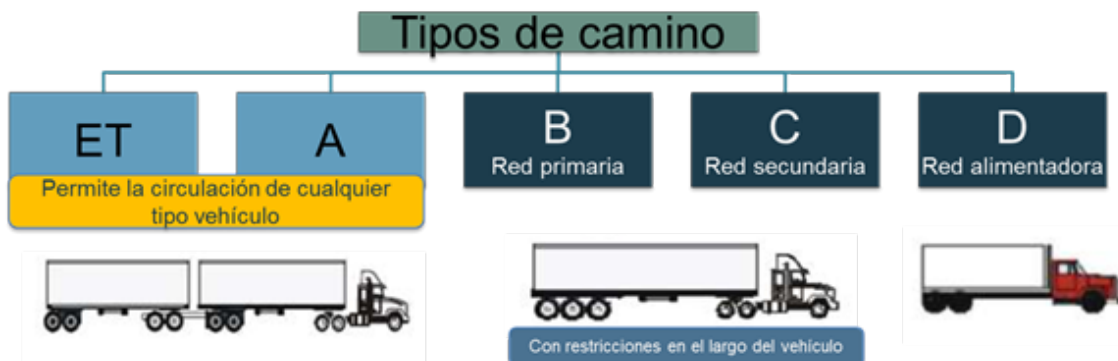


Figura 6: Clasificación oficial de las carreteras en México[13, 14].

6.4. Sistema de frenado neumático

El sistema de frenos neumático es un tipo de sistema de frenado que utiliza aire comprimido para aplicar la presión necesaria para detener el vehículo. Los frenos de aire también se conocen como frenos de aire.

Los frenos de aire se usan ampliamente en vehículos pesados como camiones y autobuses porque son pesados y necesitan más esfuerzo en el pedal del freno para detenerlos. Los frenos de aire tienen un alto potencial de energía y no requiere mucho esfuerzo para activarlo[15].

6.5. Red de sensores

Las redes de sensores son dispositivos autónomos que trabajan de manera colaborativa para recolectar información del ambiente o de un entorno específico.

Las redes de sensores Inalámbricas (WSN, del inglés Wireless Sensor Networks) están formadas por dispositivos autónomos, distribuidos a lo largo de un área de interés y cuyo objetivo es monitorizar parámetros físicos o ambientales tales como temperatura, sonido, vibraciones, presión, movimiento o agentes contaminantes. Se considera una de las tecnologías clave para implementar el Internet de las cosas (IoT).

Los dispositivos trabajan de manera colaborativa para recoger los datos y enviarlos a un colector central, eligiendo la ruta de comunicaciones optima (de dispositivo a dispositivo) a través de la red hasta llegar a su destino. Las redes de sensores son a menudo bidireccionales, permitiendo configurar los dispositivos, enviar comandos, o actuar sobre el ambiente. En este último caso, se les conoce como WSAN (del inglés Wireless Sensors and Actuator Networks)[16].

6.6. Actuadores

Los actuadores (también llamados accionadores) son dispositivos capaces de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso. Podemos distinguir tres tipos de actuadores según la fuente de energía con la que trabajan: eléctricos, neumáticos (aire) e hidráulicos (aceite)[17].

7. Escenario de pruebas

El sistema será probado en un ambiente controlado y escalado, que permita comprobar que es posible establecer comunicación entre el dispositivo diseñado para la cabina del vehículo de carga y la red de actuadores, y que el comportamiento de los actuadores sí se ve afectado por las condiciones iniciales al momento de la activación del sistema.

Dicho escenario se pretende establecer a lo largo de una avenida lo suficientemente larga como para colocar una red de actuadores que se componga de al menos N nodos, separados por una distancia que sea representativa de un escenario real y que se pueda recorrer en al menos X segundos.

La potencia de los transeptores de los nodos de la red se limitará para evitar traslapes de sus zonas de cobertura y evitar que interfieran entre sí.

Referencias

- [1] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), «Estadísticas de defunciones registradas (EDR)» pp. 14-53, 26 Julio 2022.
- [2] BBVA México, "Causas de los accidentes automovilísticos - BBVA México," BBVA México, 15 Diciembre 2021. [Online]. Available: <https://www.bbva.mx/educacion-financiera/seguros/principales-causas-de-los-accidentes-automovilisticos.html>. [Accessed 2 Octubre 2023].
- [3] L. D. Berrones-Sanz, "Autotransporte de carga en México: producción y empleo" *Análisis Económico*, vol. XXXV, no. 90, p. 148, 2020.
- [4] A. C. Cuevas Colunga, M. E. Silva Rivera y R. Moctezuma Ramírez, «Anuario estadístico de colisiones en carreteras», Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, Querétaro, 2022, pp 149-189.
- [5] Secretaría de Comunicaciones y Transportes, «Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2017, 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», Secretaría de Gobernación, Estados Unidos Mexicanos, 2017, <https://sidof.segob.gob.mx/notas/5508944>.
- [6] M. Y. Rafael Morales, «Métodos para la Renovación de Vehículos de Autotransporte de Servicio Pesado», Secretaría de Comunicaciones y Transporte, Sanfandilla, Querétaro, 2004, pp 3-4.
- [7] N. Cruz, «¿Cuánto cuesta usar las rampas de emergencia? SICT hace un cambio importante en su cobro en carreteras federales» *SDP Noticias*, p. 1, 14/Septiembre/2023.
- [8] Caminos y Puentes Federales, «Blog: Caminos y Puentes Federales,» Gobierno de México, 4/Mayo/2022. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/capufe/es/articulos/quien-te-auxilia-durante-tu-viaje-por-carretera?idiom=es>. [Último acceso: 23/Septiembre/2023].
- [9] CEPAL, «Seguridad en la operación del transporte de carga carretero» *Boletín FAL*, p. 6, 2010.
- [10] Secretaría de Comunicaciones y Transportes, «Norma Oficial Mexicana NOM-036-SCT2-2016, Rampas de emergencia para frenado en carreteras», Secretaría de Gobernación, Estados Unidos Mexicanos, 2016, https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5455432&fecha=03/10/2016#gsc.tab=0.
- [11] Latino Seguros, «Latino Seguros» 3 Enero 2021. [En línea]. Available: <https://latinoseguros.com.mx/sitio2021/accidentes-mas-comunes-en-auto-en-mexico/>.
- [12] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, «Inegi,» [En línea]. Available: <https://inegi.org.mx/app/glosario/api/glosario/Descarga/?ClvGlo=reacc&Dominio=false>. [Último acceso: 23 Octubre 2023].
- [13] Instituto Mexicano del Transporte, "Blog: Publicación bimestral de divulgación externa," Gobierno de México, 1 de Diciembre de 2020. [Online]. Available: <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=523&IdBoletin=188>. [Accessed 20 de Octubre de 2023].
- [14] Secretaría de Comunicaciones y Transportes, "Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-034-SCT2-2003, Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas," Secretaría de Gobierno, 4 de Junio de 2004. [Online]. Available: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=668546&fecha=04/06/2004#gsc.tab=0. [Accessed 20 de Octubre de 2023].
- [15] Motores Auto, "Sistema De Frenos De Aire. Cómo Funciona, Partes, Ventajas," Motores Auto, 1 de Mayo de 2023. [Online]. Available: <https://www.motoresauto.com/sistema-de-frenos-de-aire/>. [Accessed 20 de Octubre de 2023].
- [16] Tekniker, "Redes de Sensores," Tekniker, 2020. [Online]. Available: <https://www.tekniker.es/es/redes-de-sensores>. [Accessed 20 de Octubre de 2023].

- [17] ETSIDI-UPM, "Automatización industrial," 2015. [Online]. Available: https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/prefacio.html. [Accessed 20 de Octubre de 2023].