



La movilidad
es de todos

Mintransporte

METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO, SELECCIÓN E INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE CONTENCIÓN VEHICULAR



Agencia
Nacional de
Seguridad Vial





Fuente: Ministerio de Transporte - <https://flic.kr/ps/2WnpJd>

Gustavo Petro Urrego - **Presidente de la República**
Francia Márquez Mina - **Vicepresidenta de la República**

Ministerio de Transporte:

Guillermo Francisco Reyes
González - Ministro

**Agencia Nacional de
Seguridad Vial:**

Juan Carlos Beltrán Bedoya -
Director

**Dirección de
Infraestructura y Vehículos:**

Ivana Carolina Gonzalez Murcia

Equipo Técnico:

Andrea Lorena Rodríguez
Fernanda Bautista Bautista
William Andrés Pedraza
Sandra Liliana Burgos Gómez
Luz Amparo Méndez Heredia

**Elaboración del
documento:**

Centro Nacional De Proyectos
CNP S.A.S.

Dedicado *in memoriam* al ingeniero
Jorge Humberto Rozo Gómez, por
su valioso aporte técnico a este
documento.

© **Agencia Nacional de Seguridad Vial**, 2023 *Primera edición.*

Tabla de Contenidos

Presentación 1

Términos y definiciones 3

CAPÍTULO 1. 12

Conceptos generales.12

1.1 Sistemas de contención vehicular de tipo barrera 13

1.1.1. Clasificaciones. 13

1.1.1.1 Según su localización 13

1.1.1.2 Según necesidad de protección para usuarios vulnerables
15; 1.1.1.3 Según usos especiales 16

1.1.1.4 Según su nivel de contención 17

1.1.1.5 Según su rigidez. 17

1.1.1.6 Según constitución material 18

1.1.2 Eficacia de las barreras 19

1.1.2.1 Barreras metálicas 19

1.1.2.2 Barreras de cables 20

1.1.2.3 Barreras de concreto 21

1.1.2.4 Barreras mixtas 23

1.1.3 Terminales en barreras longitudinales 23

1.1.4 Transiciones entre barreras longitudinales 27

1.2 Sistemas de contención de tipo amortiguadores 28

1.2.1. Clasificación de amortiguadores de impacto. 29

1.2.1.1 Según su geometría. 29

1.2.1.2 Según su función 29

1.2.1.4 Según uso 31

1.2.1.5. Amortiguadores inerciales 32

1.3 Sistemas de contención de tipos rampas de escape 32

1.4 Consideraciones previas para la selección de un SCV 35

1.4.1 Condiciones del peligro y de la zona lateral. 36

1.4.2 Costos de instalación y mantenimiento 36

1.4.3 Estética 37

1.4.4 Condiciones ambientales 37

1.4.5 Seguridad de tercero 38

1.4.6 Historial de desempeño del sistema. 38

CAPÍTULO 2 40

Criterios para la implementación de barreras longitudinales 40

2.1.1 Nivel de contención (NC) 40

2.1.2 Severidad del impacto. 45

2.1.3 Deformación lateral del sistema 46

2.1.4 Capacidad de redireccionamiento. 48

2.2 Procedimiento de diseño y selección
de la barrera longitudinal 49

2.3	Análisis de información para el diseño (paso 1)	52	2.12.4	Terminal atenuador de impacto (TAI)	89
2.4	Identificación del peligro y determinación de la gravedad del siniestro esperado (paso 2)	53	2.12.5	Anclajes de terminales y otros criterios de instalación de barreras.	90
2.5	Selección del nivel de contención (paso 3)	58	2.13	Transiciones91	
2.5.1	Descripción del algoritmo para seleccionar el nivel de contención de una barrera	60	2.13.1	Efectos de una transición inadecuada.	92
2.5.2	Selección del Índice de Severidad	63	2.13.2	Selección del nivel de contención en secciones de transición	92
2.6	Determinar la distancia entre el borde de la vía y el peligro identificado (Paso 4).	64	2.13.3	Clases de evaluación para los distintos tipos de transiciones.	93
2.7	Establecer la ubicación lateral de la barrera (Paso 5)	64	2.14	Pretiles	94
2.7.1	Distancia al borde de la calzada	64	2.14.1	Características de los pretiles	95
2.7.2	Distancia a obstáculos y desniveles.	67	2.14.1.1	Necesidad de compatibilidad de la deformación del sistema con el espacio disponible	95
2.8	Definir los parámetros de comportamiento dinámico de la barrera (Paso 6).	68	3.14.1.2	Resistencia estructural	96
2.9	Seleccionar el tipo de barrera según su rigidez (Paso 7). . .	69	2.14.1.3	Posibilidad de partes desprendidas	97
2.10	Determinar la disposición en altura de la barrera (Paso 8).	70	2.14.2	Parámetros de comportamiento de un pretil	97
2.11	Calcular la longitud de la barrera (Paso 9)	71	2.14.3	Anclaje del pretil	99
2.11.1	Longitud de la barrera en curvas	76	2.14.4	Losa de puente	100
2.12	Terminales de barrera (Paso 10)78		2.14.4.1	Dimensionamiento de la losa en el entorno del anclaje del pretil	101
2.12.1	Terminal empotrada en talud de corte	79	2.14.5	Dimensionamiento del tablero del puente	102
2.12.2	Terminal abatida y esviada	80	2.15.1	Barreras en separadores centrales.	103
2.12.3	Terminal absorbente de energía (TAE).	83			

2.15.1.1	Tratamiento de objetos fijos en el separador	107
2.15.1.2	Terminales de barrera en aberturas del separador . . .	108
2.15.2	Barreras para blindar elementos peligrosos individuales . .	109
2.15.3	Barreras en accesos a predios e intersecciones	111
3.15.4	Barreras en zonas de trabajo (obra)	114
2.15.4.1	Barreras temporales	115
2.15.5	Consideraciones de diseño e instalación de barreras en entornos urbanos.	118

CAPÍTULO 3124

Criterios para la selección de amortiguadores de alto impacto		124
3.1	Generalidades	124
3.2	Procedimiento para la selección de amortiguadores de impacto	125
3.2.1	Determinación de la necesidad de instalación de amortiguadores de impacto	125
3.2.1.1	"Agujas" en rampas de salida	126
3.2.1.2	Comienzos de separadores centrales	127
3.2.2	Selección del tipo de amortiguadores de impacto	130
3.2.2.1	Geometría del elemento que se va a blindar	130
3.2.2.2	Amortiguadores de impacto redirectivos	130

3.2.2.3	Amortiguadores de impacto no redirectivos	131
3.2.2.4	Revisión de las características del amortiguador	132
3.2.2.5	Selección del nivel de contención	133
3.2.2.6	Selección de la severidad	134
3.2.2.7	Selección de la zona de redirección	135
3.2.2.8	Selección del desplazamiento lateral permanente . . .	137
3.2.3	Condiciones de instalación.	138

CAPÍTULO 4142

Criterios para la selección de rampas de emergencia.		142
4.1	Generalidades	142
4.2	Tipos de rampa de emergencia.	142
4.2.1	Rampas con montículo	142
4.2.2	Rampas descendentes	143
4.2.3	Rampas horizontales	144
4.2.4	Rampas ascendentes	144
4.2.6	Sistema de detención de camiones (TAS)	146
4.3	Proceso de diseño de la rampa de emergencia	148
4.3.1	Verificar la necesidad de la rampa de emergencia	148
4.3.2	Determinar la longitud del lecho de frenado	149
4.3.2.1	Longitud del lecho de frenado en tramos con pendiente uniforme.	150

4.3.2.2 Longitud de la cama o lecho de frenado
en tramos con pendiente variable152

4.3.3 Selección del tipo de rampa de emergencia154

4.3.4 Consideraciones de diseño de las rampas de emergencia . .154

4.3.5 Consideraciones sobre rampas emplazadas
al costado izquierdo de la vía157

4.4 Sistema de drenaje y subdrenaje157

4.5 Elementos complementarios158

CAPITULO 5161

Criterios para la selección de sistemas de proteccón
para motociclistas 161

5.1 Generalidades 161

5.2 Criterios para la selección de sistemas
de protección para motociclistas (SPM)162

5.2.1 Determinación de los sectores de la carretera
donde se justifica un SPM.163

5.2.1.1 En carreteras y vías suburbanas con límit
de velocidad mayor de 60 km/h163

5.2.1.2 En carreteras y vías suburbanas con límite
de velocidad inferior a 60 km/h165

5.2.1.3 Otras consideraciones165

5.2.2 Determinación del nivel de contención para los SPM.166

5.2.3 Selección del SPM166

5.2.4 Normas aplicables167

5.3 Tipos de sistemas de protección para motociclistas167

5.3.1. SPM basados en barreras rígidas168

5.3.2. SPM basados en barreras semirrígidas169

5.3.3. SPM para objetos individuales172

CAPÍTULO 6175

Inspección y mantenimiento de barreras longitudinales.175

6.2 Detalle de la inspección y mantenimiento176

6.2.1 Barreras semirrígidas176

6.2.1.2 Verificación de las condiciones
operativas de la barrera179

6.2.1.3 Otros aspectos a tener en cuenta
en la inspección y mantenimiento.183

6.2.2 SCV rígidos184

6.2.3 SCV flexibles185

Referencias194

ANEXO A 202

Ejemplo de aplicación. Diseño de barrera longitudinal202

Objetivo del estudio de caso . . . . .	.202
Aplicación de la metodología de diseño de SCV . . . . .	.202
1. Características de la vía y entorno . . . . .	.202
1.1. Sección típica de la vía en el tramo de estudio . . . . .	.202
2. Identificación del elemento peligroso y determinación de la gravedad del siniestro esperado . . . . .	.204
2.1. Identificación del elemento peligroso . . . . .	.204
2.2. Determinación de la gravedad del siniestro esperado . . . . .	.204
3.1. Parámetros para determinar el nivel de contención . . . . .	.204
3.2. Comprobación condiciones establecidas en el algoritmo. . . . .	.205
3.2.1. Selección de la sección aplicable del algoritmo . . . . .	.205
3.2.2. Condición de decisión sobre la velocidad . . . . .	.205
3.2.3. Selección del nivel de contención . . . . .	.206
4. Determinación disposición lateral de la barrera . . . . .	.207
4.1. Criterios de localización . . . . .	.207
4.2. Determinación del ancho de trabajo disponible . . . . .	.207
4.3.. Selección del tipo de barrera . . . . .	.207
ANEXO B	208
Criterios para la implementación de sistema de protección para peatones (SPP) . . . . .	.208
B.2 Criterios para la implementación de barreras	

longitudinales en zonas de circulación de peatones y ciclistas.. . . . .	.208
B.3 TIPOS DE SISTEMA DE PROTECCIÓN DE PEATONES (SPP) . . . . .	.210
ANEXO C . . . . .	.218
Verificación de calidad de los sistemas de contención vehicular . . . . .	.218
C.1 Generalidades . . . . .	.218
C.2 Comportamiento del sistema . . . . .	.219
C.3 Verificación de componentes . . . . .	.221
Selección de la muestra. . . . .	.224
Procedimiento de verificación de la calidad . . . . .	.225
C.4 VERIFICACIÓN DE LA INSTALACIÓN . . . . .	.229
ANEXO D	232
Descripción general del problema de la siniestralidad vial en zonas laterales . . . . .	.232
Situación general . . . . .	.232
Situación en Colombia . . . . .	.232
Impacto a nivel internacional del uso actual de los sistemas de contención vehicular y conceptualización. . . . .	.235
ANEXO E	236
Anchos de zona despejada . . . . .	.236

ANEXO F 238

Secciones transversales de cunetas.238

ANEXO G 240

Anchos de zona despejada240

 G.1 Reunir y analizar la información requerida para el diseño240

 G.2 Determinar la gravedad del siniestro esperado.242

ANEXO H 244

Adecuación del terreno y otros criterios de instalación244

ANEXO I. 248

 La intrusión del vehículo como parámetro de comportamiento
dinámico de la barrera248

Abreviaturas

AASHTO:	American Association of State Highway and Transportation Officials.	INMLCF:	Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses
ASI:	Índice de Severidad de la Aceleración (Acceleration Severity Index)	INVIAS:	Instituto Nacional de Vías
ANSV:	Agencia Nacional de Seguridad Vial	IPAT:	Informe Policial de Accidentes de Tránsito
AUSTROADS:	Organisation of Australasian Road Transport and Traffic Agencies.	MASH:	Manual for Assessing Safety Hardware
CEN:	European Committee for Standardization	MDSCV:	Metodología de Diseño de Sistemas de Contención Vehicular
CFPV:	Corporación Fondo de Prevención Vial	MDZL:	Metodología de Diseño de Zonas Laterales
FHWA:	Federal Highway Administration	MSV:	Manual de Señalización Vial
GDSCV:	Guía técnica para el diseño, aplicación y uso de sistemas de contención vehicular	NC:	Nivel de Contención
		NCHRP:	National Cooperative Highway Research Program
		ONSV:	Observatorio Nacional de Seguridad Vial

PNSV:	Plan Nacional de Seguridad Vial
SIAC:	Sistema de información Ambiental de Colombia
SCV:	Sistema de Contención Vehicular
SPM:	Sistema de Protección de Motociclistas
SPP:	Sistema de Protección de Peatones
THIV:	Velocidad Teórica de Choque de la Cabeza (Theoretical Head Impact Velocity)
TPD:	Tránsito Promedio Diario
TRB:	Transportation Research Board
TS:	Technical Specification
ZD:	Zona Despejada
ZL:	Zona Lateral



Fuente: Ministerio de Transporte - <https://flic.kr/ps/2WnpJd>

Presentación

A nivel global y nacional, se han incrementado los esfuerzos en seguridad vial con miras a alcanzar las metas trazadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en su Década de Acción para la Seguridad Vial 2021-2030. Dichos esfuerzos han sido significativos en la década 2011-2020, pero siguen siendo insuficientes a la luz de la problemática de seguridad vial que tiene nuestro país y sus diversas regiones. En este sentido, y en concordancia con los nuevos y fortalecidos planteamientos que presenta el Plan Global para la Seguridad Vial de la OMS y con el avance en materia normativa y de documentación técnica vinculante en el país se vigorizan dichos esfuerzos con miras a reducir las víctimas fatales por siniestros viales.

El enfoque de sistema seguro que se reafirma como una aproximación holística a la seguridad vial y que ha demostrado potenciar las estrategias que tienen un mayor impacto en la reducción de siniestros viales con víctimas, se reafirma como el camino para alcanzar los objetivos mundiales a 2030 de reducir en al menos un 50 % el número de víctimas por causa del

tránsito (Asamblea General de las Naciones Unidas., 2020). Las estrategias que conforman este enfoque de sistema seguro se presentan de forma general en la Figura 1.

Figura 1. Estrategias recomendadas para la seguridad vial.



Fuente: (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2021)

Con relación a la infraestructura segura, las experiencias internacionales enfocadas en proporcionar zonas seguras en las zonas aledañas a las vías y a la instalación de sistemas de contención vehicular cuando estos son debidamente justificados son medidas probadas en la disminución de muertes en aquellos siniestros en los cuales los vehículos se salen de la calzada por múltiples circunstancias. Por esta razón, mejorar y acondicionar las zonas laterales de la red es una medida efectiva y necesaria para cumplir las metas de seguridad vial trazadas a nivel nacional y global.

Al respecto, sistemas de contención vehicular (SCV) son dispositivos instalados en las zonas laterales de las vías diseñados para reducir la gravedad de los siniestros y con ello, proteger a los ocupantes del vehículo errante, así como a terceros. Su propósito es reducir el número de víctimas fatales como consecuencia de los siniestros por salida de la vía, mediante la contención, redireccionamiento o detención de los vehículos, que de forma incontrolada abandonan la calzada.

El presente documento se constituye, pues, en una metodología para el Diseño, Aplicación y Uso de Sistemas de Contención Vehicular (MDSCV), con tecnología actualizada y aplicable en la ingeniería vial nacional. Se han actualizado los estándares que son determinantes internacionalmente en la definición de los parámetros básicos por tener presentes sobre esos sistemas, así como los criterios técnicos para justificar y diseñar la implementación de este tipo de dispositivos de seguridad vial.

Esta metodología establece criterios para el diseño de los sistemas de contención vehicular, incluidos los terminales de barrera y las transiciones entre barreras de distinta rigidez, para las vías colombianas. Se debe resaltar que el término diseño considera la selección del nivel de contención del sistema y sus otras características de comportamiento, así como la disposición de este con respecto al obstáculo y la carretera, de tal forma que la especificación de los componentes de un sistema, como por ejemplo las características estructurales, geométricas o de los materiales que lo constituyen no hacen parte del contenido del presente documento.

Términos y definiciones

Acera o andén: Franja longitudinal de la vía urbana, destinada exclusivamente a la circulación de peatones, ubicada a los costados de ésta. (Código Nacional de Tránsito Terrestre. Ley 769 de 2002, 2002)

Amortiguadores de impacto: Elementos certificados diseñados para absorber energía cinética, pudiendo ser móviles o fijos y con o sin capacidad de direccionamiento, evitando el impacto con áreas de riesgo o con objetos fijos peligrosos (Dirección de Vialidad, 2021)

Ancho de trabajo: Distancia medida desde la cara frontal de la barrera antes del impacto y la proyección del elemento más alejado del sistema (incluyendo el vehículo) después del impacto (Dirección de Vialidad, 2021)

Autopista: Vía de calzadas separadas, cada una con dos (2) o más carriles, control total de acceso y salida, con intersecciones en desnivel o mediante entradas y salidas directas a otras carreteras y con control de velocidades mínimas y máximas por carril (Código Nacional de Tránsito Terrestre. Ley 769 de 2002, 2002)

Barrera certificada: Sistema de contención cuyo ensaye en condiciones de uso ha sido certificado por una organización competente, cumpliendo así con requisitos normativos establecidos internacionalmente (Dirección de Vialidad, 2021)

Barreras flexibles: Sistemas de contención consistente en la instalación de una viga o cable de acero y un sistema de anclajes en sus extremos, distanciados a una cierta cantidad de metros y que al ser impactados por un vehículo fuera de control presentan una alta deflexión, permitiendo un redireccionamiento suave del vehículo internacionalmente (Dirección de Vialidad, 2021)

Barreras rígidas: Sistemas de contención que logran contener y redireccionar el vehículo mediante una reacción directa al vehículo. Ante la eventualidad de un impacto presentan deflexiones que varían en un rango de 0,0 a 0,6 m internacionalmente (Dirección de Vialidad, 2021)

Barreras semirrígidas: Sistemas de contención que logran contener y redireccionar el vehículo, mediante la acción combinada de la viga y postes de sustentación. Ante la eventualidad de ser impactadas, presentan un rango de deflexión entre 0,5 a 1,5 m. Los postes de sustentación se encuentran distanciados, generalmente, cada 2 m internacionalmente (Dirección de Vialidad, 2021)

Berma: Parte de la estructura de la vía, destinada al soporte lateral de la calzada para el tránsito de peatones, semovientes y ocasionalmente al estacionamiento de vehículos y tránsito de vehículos de emergencia (Código Nacional de Tránsito Terrestre. Ley 769 de 2002, 2002)

Bifurcación: División de una vía en ramales, uno de los cuales, cuando menos, se aparta de la dirección original (Instituto Nacional de Vías, 2008)

Bordillo o sardinel: Elemento de concreto, asfalto u otros materiales ubicados a nivel superior de la calzada y que sirve para delimitarla (Ministerio de Transporte de Colombia, 2015)

Colisión frontal: Colisión con otro vehículo utilizando el mismo carril y circulando en dirección contraria, disminuyendo su velocidad o parada de manera temporal (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2017).

Corona: Parte de un corredor vial conformado por los carriles de circulación, separadores, bermas y cunetas (Ministerio de Transporte de Colombia, 2015)

Deflexión dinámica: Desplazamiento lateral máximo de la cara frontal de la barrera después de ser impactada (Dirección de Vialidad, 2021)

Elemento potencialmente peligroso: Cualquier obstáculo con potencial para causar daño humano, asociado al uso de la infraestructura vial y al entorno de esta, tales como aquellos que producen volcamiento, o que sirven como rampa de elevación o que detienen bruscamente un vehículo, igualmente objetos rígidos que puedan impactar un vehículo que salga de la vía, lo cual genera pérdida de control y lesiones a sus ocupantes. Dentro de los elementos con este potencial se encuentran: taludes laterales peligrosos, objetos fijos en el borde de la vía, y cuerpos de agua permanentes (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2021)

Elemento traspasable: Elementos o dispositivos localizados en el borde de la vía que pueden ser pasados o atravesados por un vehículo, cuando entra en contacto con ellos; estos no lo detienen, ni lo vuelcan, ni le sirven de rampa. Estos elementos permiten el paso a través de ellos, bien sea por su altura y/o forma, lo cual permite que puedan ser fácilmente remontados (Ej. tachones) o porque se abaten o se quiebran sin producir detención brusca. (Ej. postes abatibles) (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2021)

Energía cinética transversal (IS): Energía cinética total que un SCV es capaz de contener de manera controlada según las características de ensayo, sin que el vehículo atraviese el sistema ni se vuelque. Ver Nivel de contención. (Valverde González, 2011).

Estructura de soporte (ES): Las ES son un sistema que se utiliza para soportar equipamiento de la carretera (por ej., postes, señales, semáforos, etc.). Hay de dos tipos: absorbentes de energía y no absorbentes. Con absorción de energía frenan al vehículo de forma considerable y, como consecuencia, pueden reducir el riesgo de siniestros secundarios con las estructuras, árboles, peatones y otros usuarios de la carretera. Las ES sin absorción

de energía permiten que el vehículo siga avanzando después del impacto, pero con una reducción limitada en su velocidad. A estas estructuras se les asocian unos niveles de seguridad de los ocupantes y unos ensayos de prueba a distintas velocidades (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2009)

Gravedad: Es la materialización de las consecuencias de un siniestro vial, que tiene relación directa con el nivel de riesgo. La gravedad se concreta en daños materiales, lesionados o víctimas fatales según su gravedad sea baja, moderada o alta. Ver Severidad. (Elaborado a partir del Anuario de Siniestralidad Vial. Ministerio de Salud y Protección Social, Ministerio de Transporte y ANSV, 2019 y Valverde, G., 2011).

Gestión de seguridad de la infraestructura vial: Conjunto de procedimientos que apoyan a los responsables de la vía en la toma de decisiones relacionadas con la mejora de la seguridad en la red vial. Algunos de estos procedimientos pueden aplicarse a la infraestructura existente, permitiendo así un enfoque reactivo; mientras que otros procedimientos se usan en las primeras etapas del ciclo de vida de un proyecto, permitiendo un enfoque proactivo (Persia y otros, 2016)

Hallazgo: Hecho relevante que se constituye en un resultado determinante en la evaluación de un asunto en particular, al comparar la condición [situación detectada] con el criterio [deber ser] (Observatorio de Control y Vigilancia de las Finanzas y las Políticas Públicas, 2018)012).

Infraestructura: La infraestructura del transporte es un conjunto de bienes tangibles, intangibles y aquellos que se encuentren relacionados con este, el cual está bajo la vigilancia y control del Estado, y se organiza de manera estable para permitir el traslado de las personas, los bienes y los servicios, el acceso y la integración de las diferentes zonas del país y que propende por el crecimiento, competitividad y mejora de la calidad de la vida de los ciudadanos. La infraestructura de transporte se caracteriza por ser inteligente, eficiente, multimodal, segura, de acceso a todas las personas y carga, ambientalmente sostenible, adaptada al cambio climático y vulnerabilidad, con acciones de mitigación y está destinada a facilitar y hacer posible el transporte en todos sus modos (Ley 1682 de 2013. Diario oficial No. 48.987, 2013).

Intrusión del vehículo: La intrusión para los vehículos pesados es su máximo desplazamiento lateral dinámico, medido

con respecto a la cara al tráfico de la barrera sin deformar (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2011).

Lateral de aproximación: Se refiere al límite de la zona del atenuador en la que impacta el vehículo durante el ensayo.

Lateral de salida: Se refiere al límite la zona a la que se desplaza el atenuador después del impacto del vehículo durante el ensayo.

Línea de borde: Demarcación sobre la calzada que indica el borde exterior del pavimento (Ministerio de Transporte de Colombia, 2015)

Mantenimiento periódico: Comprende la realización de actividades de conservación a intervalos variables, destinados primordialmente a recuperar los deterioros ocasionados por el uso o por fenómenos naturales o agentes externos (Ley 1682 de 2013. Diario oficial No. 48.987, 2013)

Mantenimiento rutinario: Se refiere a la conservación continua (a intervalos menores de un año) con el fin de mantener las condiciones óptimas para el tránsito y uso adecuado de la infraestructura de transporte (Ley 1682 de 2013. Diario oficial No. 48.987, 2013)

Nivel de contención: Es la energía cinética transversal que un sistema es capaz de retener de manera controlada, sin que el vehículo atraviese el sistema ni se vuelque. Ver Energía cinética transversal (Valverde González, 2011)

Parapeto / baranda: Valla o barandilla que cierra lugares altos, como un mirador, una escalera o un puente, para que las personas se apoyen en ella y no se caigan. (Real Academia Española, 2021)

Pretil: Barrera longitudinal en un puente o estructura, cuyo objetivo es impedir la eventual caída de un vehículo desde los bordes de la estructura (Dirección de Vialidad, 2021).



Rampa de emergencia: Pista diseñada como una saliente de la vía para la detención de camiones que presentan fallas en el sistema de frenado (Dirección de Vialidad, 2021)

Recinto de salida: Área que no deben superar las ruedas del vehículo en su trayectoria posterior al impacto, salvo que la velocidad a la que se alcance la línea exterior del recinto de salida sea inferior al 10% de la velocidad nominal del ensayo (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2011)

Sistemas de contención vehicular (SCV): Dispositivos que se instalan en las zonas laterales de una carretera o en las fajas de separación de calzadas en sentido contrario, y su finalidad es retener y redireccionar los vehículos que se salen de control de la vía, de manera que se minimicen los daños y lesiones, tanto para los ocupantes como para los otros usuarios de la carretera y personas u objetos situados en las cercanías, tales como viviendas, escuelas, ciclo vías y objetos en zonas de obras (Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012).

Seguridad vial: Conjunto de acciones y políticas dirigidas a prevenir, controlar y disminuir el riesgo de muerte o de

lesión de las personas en sus desplazamientos ya sea en medios motorizados o no motorizados. Se trata de un enfoque multidisciplinario sobre medidas que intervienen en todos los factores que contribuyen a los siniestros de tráfico en la vía, desde el diseño de la vía y equipamiento vial, el mantenimiento de las infraestructuras viales, la regulación del tráfico, el diseño de vehículos y los elementos de protección activa y pasiva, la inspección vehicular, la formación de conductores y los reglamentos de conductores, la educación e información de los usuarios de las vías, la supervisión policial y las sanciones, la gestión institucional hasta la atención a las víctimas (Ley 1702 de 2013. Diario oficial No. 49.016, 2013)

Separador: Son zonas verdes o zonas duras colocadas paralelamente al eje de la carretera, para separar direcciones opuestas de tránsito (separador central o mediana) o. para separar calzadas destinadas al mismo sentido de tránsito (calzadas laterales) (Instituto Nacional de Vías, 2008)

Severidad: Nivel de riesgo de los ocupantes del vehículo de sufrir lesiones como consecuencia de la colisión. Ver Gravedad (Valverde González, 2011)

Siniestralidad: Es el resultado de aquellas situaciones presentadas en la vía pública donde ocurren daños físicos y materiales a algún usuario de la vía y donde usualmente está implicado un vehículo en movimiento. En la actualidad, se considera que la siniestralidad es posible evitarla y que mediante acciones efectivas en la infraestructura vial la probabilidad de ocurrencia de estos eventos se puede reducir e incluso eliminar, disminuyendo o eliminando las víctimas fatales o graves asociados a los siniestros viales. (Decreto 672 de 2018, 2018).

Siniestro vial: Cualquier suceso que involucre al menos un vehículo en movimiento. Que tenga lugar en vía pública o privada a la que la población tenga derecho de acceso y que como consecuencia causa daños a personas, animales o bienes involucrados en él (Anuario de Siniestralidad Vial. Ministerio de Salud y Protección Social, Ministerio de Transporte y ANSV, 2019).

Sistema de contención vehicular: Son dispositivos que se instalan en los márgenes de una carretera, su finalidad es retener y redireccionar los vehículos que salen de control de la vía, de manera que se limiten los daños y lesiones, tanto para los

ocupantes como para los otros usuarios de la carretera y personas u objetos situados en las cercanías (Valverde González, 2011)

Sistema de gestión de la seguridad vial: Es una herramienta para ayudar a las organizaciones a reducir y, en última instancia, eliminar, la incidencia y el riesgo de muerte y lesiones graves relacionadas con los siniestros de tránsito. Es aplicable a organizaciones de todos los tamaños y tipos, incluidas, por supuesto, organizaciones que tienen la responsabilidad de proporcionar una red de carreteras segura para sus usuarios (Austroads, 2019)

Suburbana, zona: Zona de transición entre la urbana y la rural (Ministerio de Transporte de Colombia, 2015)

Talud: Paramento o superficie inclinada que limita lateralmente un corte o un terraplén (Instituto Nacional de Vías, 2008)

Terminales de barreras: Elementos extremos de una barrera longitudinal, no catalogados como amortiguador de impacto, encargados del anclaje de la barrera (Dirección de Vialidad, 2021).

Tráfico: Volumen de vehículos, peatones, o productos que pasan por un punto específico durante un periodo determinado (Código Nacional de Tránsito Terrestre. Ley 769 de 2002, 2002)

Tránsito: Acción de desplazamiento de personas, vehículos y animales por las vías (Instituto Nacional de Vías, 2008)

Velocidad Percentil 85: As la velocidad a la que transitan el 85% de los vehículos en un tramo de vía. Ver Velocidad de operación (Ministerio de Transporte de Colombia, 2015)

Velocidad de diseño: Velocidad seleccionada para proyectar y relacionar entre sí las características físicas de una vía que influyen en la marcha de los vehículos (Ministerio de Transporte de Colombia, 2015)

Velocidad de operación: Velocidad promedio que desarrollan el 85% de los usuarios en un tramo determinado de una vía (Ministerio de Transporte de Colombia, 2015).

Vía perdonadora: Es una vía cuyo diseño incluyendo el de sus zonas laterales, es tolerante al error humano, es decir, que

independiente de la causa por la cual un vehículo se sale de la vía. Sus zonas laterales responden a los criterios de una zona despejada y dan la oportunidad al conductor de reconducir el vehículo al carril de circulación (recuperar su trayectoria), evitar que se vuelque o que colisione contra objetos fijos, en cualquier caso, su diseño tiene como principio reducir las consecuencias del siniestro vial (Elaborado a partir de (Valverde González, 2011).

Urbana, zona: Zona en la que gran parte del terreno está ocupado por edificaciones (Instituto Nacional de Vías, 2008).

Usuarios / Actores viales: Son las personas que asumen un rol determinado, para hacer uso de las vías, con la finalidad de desplazarse entre un lugar y otro, por lo tanto, se consideran actores de tránsito y de la vía los peatones, los pasajeros y conductores de vehículos automotores y no automotores, los motociclistas, los ciclistas, los acompañantes, entre otros (Ley 1503 de 2011. Diario oficial No. 48.298, 2011).

Usuarios vulnerables: Usuarios con mayor probabilidad de sufrir lesiones o muertes en caso de un accidente debido a la ausencia de un revestimiento exterior que los proteja, es decir, peatones y conductores / acompañantes de vehículos de dos ruedas (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2021)

Vulnerabilidad: Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2021)

Zona lateral: Aquella zona ubicada fuera del área de circulación vehicular, comprendida entre el extremo exterior de la berma y el límite del derecho de la vía. Incluye los terrenos colindantes, los separadores no pavimentados, y las instalaciones auxiliares (áreas de descanso, parqueaderos, miradores, instalaciones para peatones y ciclistas, y las instalaciones para el manejo del agua superficial (Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012)

Zona despejada: Es el espacio localizado en la zona lateral de la carretera que pasa a ser invadido por un vehículo errante durante un siniestro por salida de vía. Si estas zonas laterales se diseñan como zonas despejadas, el conductor podría reconducir o detener su automotor de manera segura, sin volcarse, colisionar contra algún obstáculo peligroso, ni causar daño a un tercero (Valverde González, 2011).



Capítulo 1

Conceptos generales

Los SCV son dispositivos que se instalan en las zonas laterales de una carretera o en las fajas de separación de calzadas en sentido contrario, y su finalidad es retener y redireccionar los vehículos que pierden el control y se salen de la vía, de manera que se limiten los daños y lesiones, tanto para los ocupantes del vehículo como para los demás usuarios de la carretera, trabajadores y objetos o infraestructura situada en las cercanías, tales como viviendas, escuelas, ciclorrutas y objetos en zonas de obras.

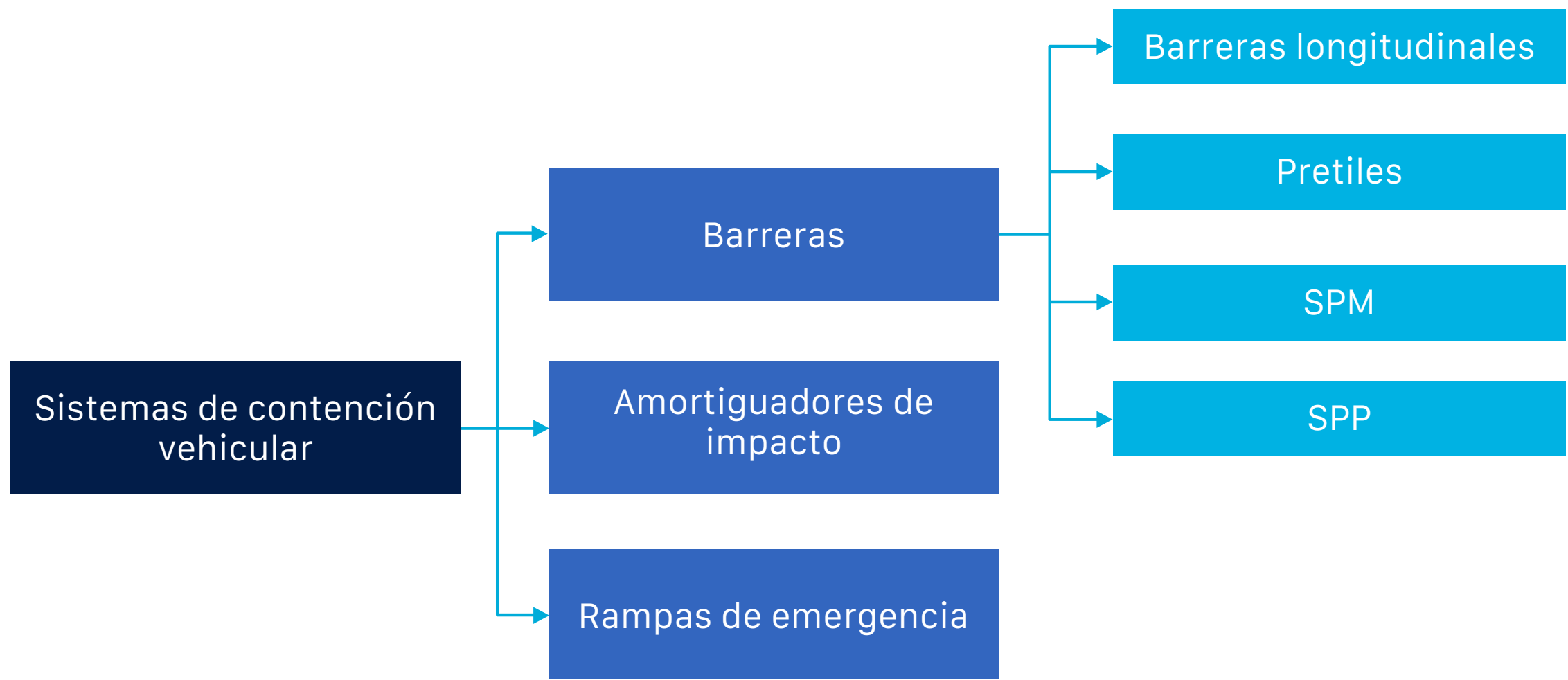
La colisión con un SCV constituye un siniestro sustitutivo del que tendría lugar en caso de no existir este mecanismo, y con consecuencias más predecibles y menos graves; no obstante, como en todo siniestro, los ocupantes del vehículo están expuestos a riesgos por lo que su uso solo se justifica en los casos estrictamente necesarios. En este sentido los SCV constituyen también un obstáculo en las márgenes de las vías y solo deben instalarse si se espera que tal dispositivo reduzca la severidad del siniestro, al evitar que el vehículo colisione con un objeto rígido, se vuelque, caiga por un desnivel o ingrese a una zona peligrosa.

Esta metodología divide entonces los SCV en barreras longitudinales, amortiguadores de impacto y rampas de emergencia, cada sistema con sus particularidades y proceso de diseño. Para el caso de las barreras longitudinales es importante distinguir algunos de sus componentes dado que requieren consideraciones de diseño: terminales, transiciones. Así mismo, algunas barreras cuentan con características particulares debido al tipo de infraestructura en que se instalan, como es el caso de los pretilles, o el actor vial que buscan proteger, como los sistemas de protección para motociclistas (SPM) y sistemas de protección para peatones (SPP).



Fuente: Ministerio de Transporte - <https://flic.kr/ps/2WnpJd>

Figura 2. Los sistemas de contención vehicular (SCV).



Fuente: Elaboración propia.

1.1 Sistemas de contención vehicular de tipo barrera

1.1.1 Clasificaciones

Los SCV se pueden clasificar por localización, necesidades de protección, usos especiales, nivel de contención, rigidez, material, tal como se verá en los apartados siguientes:

1.1.1.1 Según su localización

A. Barreras laterales

Es un sistema longitudinal paralelo al flujo vehicular y su propósito es contener y redireccionar los vehículos que pierden el control y se salen de la vía. Son sistemas que por lo general son diseñados para ser impactados por un solo costado como se observa en la Figura 3.

Figura 3. Barrera metálica de contención vehicular lateral



Fuente: (Valverde González, 2011)

B. Barreras centrales

Son sistemas longitudinales que se instalan paralelos al flujo vehicular y su función es contener y redireccionar los vehículos evitando que estos pasen de una calzada a otra en vías divididas (AASHTO, 2011, págs. 6-1). Son sistemas diseñados para ser impactados por ambos costados. Ver Figura 4.

Figura 4. Barrera metálica de contención vehicular en separador en vías divididas.



(1) Barrera metálica con separador metálico



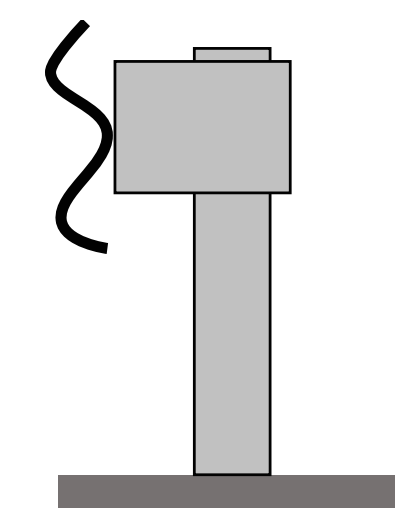
(2) Barrera metálica con separador de madera

Fuente: (AASHTO, 2011), (1) numeral 6.4.1.7 Modified Thrie-Beam Median Barrier, p. 6-10, (2) numeral 6.4.1.5 Blocked-Out W-Beam (Strong Post), p. 6-10

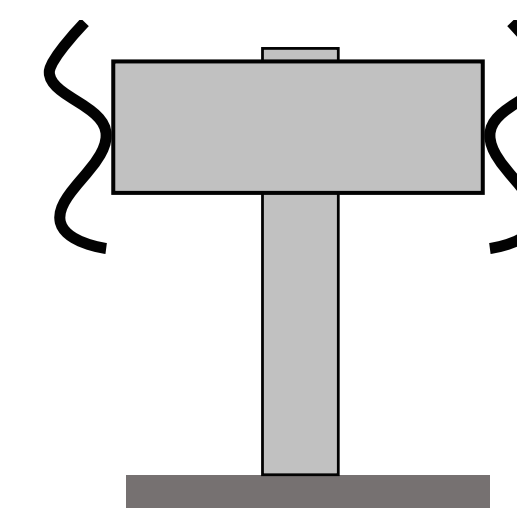
Las barreras longitudinales en correspondencia con su disposición lateral o central se clasifican también en simples o dobles. Ver Figura 5.

- » Barreras simples: corresponde a un sistema de contención vehicular diseñado para recibir impactos por un solo costado.
- » Barreras dobles corresponde a un sistema de contención vehicular diseñados para recibir impactos por ambos costados.

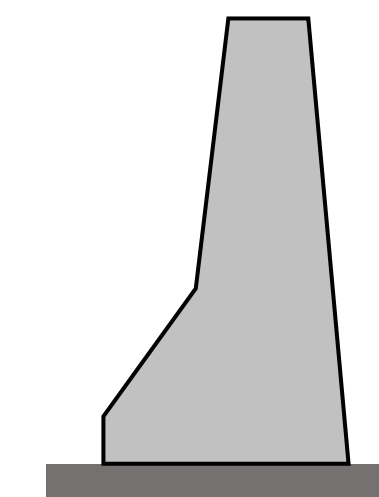
Figura 5. Esquemas de los tipos de barreras según su geometría.



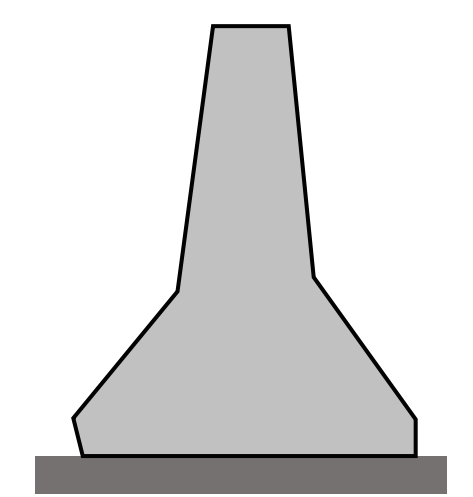
Barrera
semirrígida
simple



Barrera
semirrígida
doble



Barrera rígida
simple



Barrera rígida
doble

Fuente: (Dirección General de Carreteras, 2014).

1.1.1.2 Según necesidad de protección para usuarios vulnerables

A. Sistemas de protección para motociclistas (SPM)

Son barreras complementadas con dispositivos diseñados para reducir la gravedad del impacto de un motociclista contra la barrera. En caso de un impacto, el motociclista suele ser más vulnerable al impactar contra determinados elementos de la barrera que pueden causar lesiones en sus extremidades o en otras zonas desprotegidas de su cuerpo (por ejemplo, los postes en las barreras metálicas) o expulsado por encima de la barrera de concreto exponiéndolos a sufrir daños contra objetos peligrosos detrás de la barrera (Ver Figura 6).

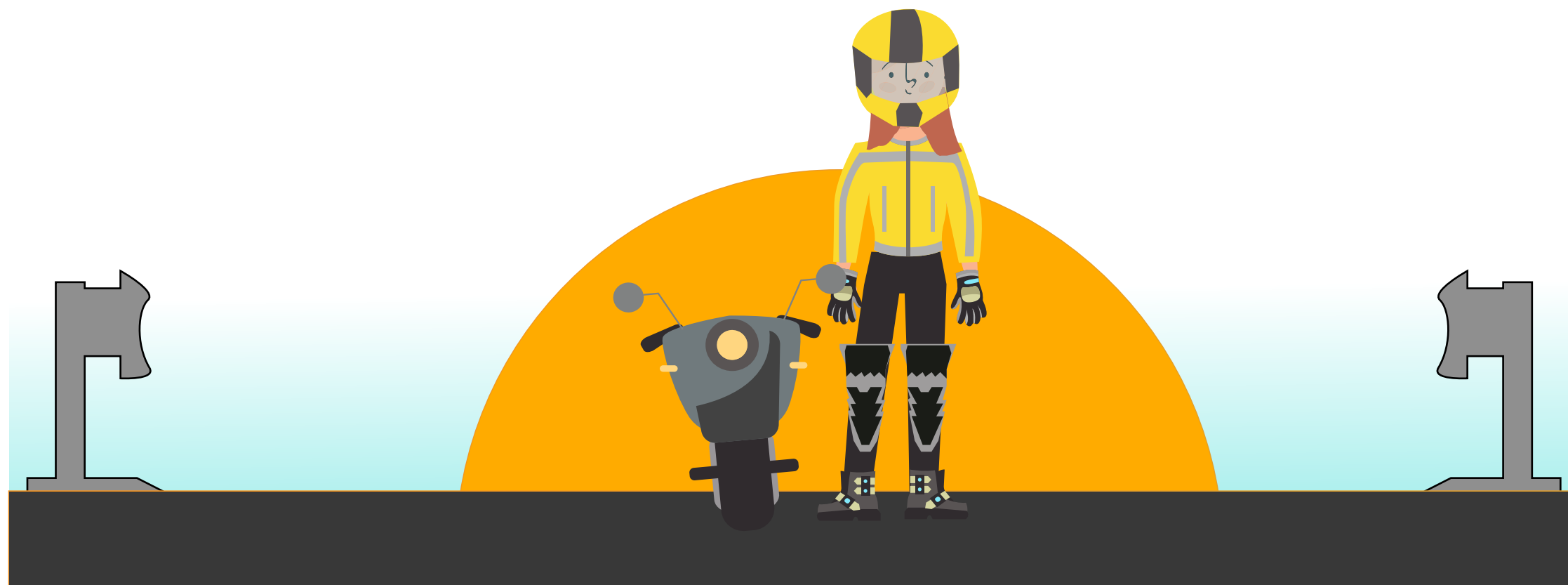


Figura 6. Barrera longitudinal con sistema de protección para motociclistas.



(1) Barrera semirrígida probada para protección de motociclistas



(2) Barrera rígida probada para protección de motociclistas

Fuente: (1) [\(European Road Assessment Programme, 2008\)](#) (2) [\(Federal Highway Administration, 2021\)](#)

B. Sistemas de Protección para Peatones (SPP)

Los SPP se clasifican en dos categorías principales: (1) barreras peatonales y (2) parapetos para peatones. Las barreras corresponden a SCV diseñados para separar el flujo vehicular del flujo peatonal en sectores donde estos usuarios vulnerables están en riesgo de ser lastimados por vehículos errantes. Los parapetos o barandas responden más a una necesidad de segregación que de contención, lo que los hace elementos más

blandos o ligeros, visualmente pueden ser más atractivos o diseñados para tener cierta armonía con el paisaje circundante. Estos últimos suelen tener mayor uso en entornos urbanos dadas sus características como elemento segregador. Ver Figura 7.



Figura 7. Ejemplos de una barrera de protección peatonal y barandas.

Fuente: Foto propia.

1.1.1.3 Según usos especiales

A. Pretiles de puentes y viaductos

Es un sistema que se diseña específicamente para bordes de tableros de viaductos, puentes, muros de contención o estructuras similares en los que hay una caída vertical. De manera similar a las barreras longitudinales, los pretiles tienen como función evitar que un vehículo se salga de los bordes mencionados. Los pretiles son una parte integral de este tipo de estructuras, es decir, están ancladas al tablero, por lo que se diseñan para que no se desplacen al ser impactadas por un vehículo¹. Ver Figura 8.

Figura 8. Pretil de puente.



Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011)2.1.1.4

¹ Adaptado de AASHTO (2011). Roadside Design Guide, capítulo 7 Bridge Railings and Transitions, p. 7-1, y Orden Circular 35/2014, capítulo 2 Empleo de las Barreras de Seguridad y Pretiles, España, p. 4.

1.1.1.4 Según su nivel de contención

La capacidad que tiene un sistema para contener un vehículo de forma controlada (sin que el vehículo atravesase el sistema ni se vuelque), se determina mediante el nivel de contención, para lo cual el sistema se somete a un ensayo estandarizado de choque a escala real. Dicha capacidad de contención es medida mediante la energía cinética, que en el caso particular de las barreras longitudinales es la energía cinética transversal "IS". Esta energía cinética produce una deformación en la barrera. En este sentido, la selección del "Nivel de Contención, NC" es la máxima energía cinética que el sistema tiene capacidad de contener de manera controlada (Valverde González, 2011).

A partir de los aportes conceptuales obtenidos de un conjunto de referencias bibliográficas, en el presente documento se clasifican los SCV, de acuerdo con su nivel de contención, en:

- » Sistemas de nivel de contención normal
- » Sistemas de nivel de contención medio

- » Sistemas de nivel de contención alto

- » Sistemas de nivel de contención muy alto

Cada nivel de contención responderá a las condiciones operacionales de la vía y la gravedad del siniestro esperado, por lo que un nivel de contención normal o alto está diseñado para contener un determinado tipo de vehículo a una velocidad máxima de impacto ya testeada.

1.1.1.5 Según su rigidez

La rigidez de un sistema de contención vehicular se determina mediante su capacidad de deflexión ante el impacto de un vehículo.

De acuerdo con su rigidez, los sistemas de contención vehicular se clasifican de acuerdo con los criterios de la Tabla 1

Tabla 1. Clasificación de las barreras longitudinales, según su rigidez.

Clasificación	Deflexión	Ejemplos
Flexible	2,0 - 3,5	Barreras de cables
Semirígido	0,6 - 2,0	Barreras de viga metálica
Rígido	0,0 - 0,6	Barreras de concreto ancladas

Fuente: : Elaboración propia a partir de (Valverde González, 2011, págs. 16, 68)

1.1.1.6 Según constitución material

Las barreras se clasifican de acuerdo con su constitución (material), tal como se observa en la Figura 9:

- » Barreras de cables
- » Barreras metálicas
- » Barreras de concreto u hormigón armado
- » Barreras mixtas (metal – madera)

Figura 9. Clasificación de las barreras según constitución o materiales



(1) Barrera de cables



(2) Barrera metálica



(3) Barrera de concreto



(4) Barrera mixta

Fuentes: (1) (New Zealand Transport Agency, 2016), (2) (Valverde González, 2011), (3) y (4) (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011)

1.1.2 Eficacia de las barreras

En este apartado se describen el comportamiento de los distintos tipos de barreras longitudinales. Los demás SCV como los amortiguadores de impacto y las rampas de frenado se discuten en capítulos separados.

Las barreras longitudinales son el tipo de SCV más utilizado en Colombia y muchos países del mundo. Cuando son bien diseñadas y debidamente instaladas y mantenidas, han probado ser efectivas para proteger a los usuarios de las consecuencias potencialmente mortales de los siniestros por salida de la vía².

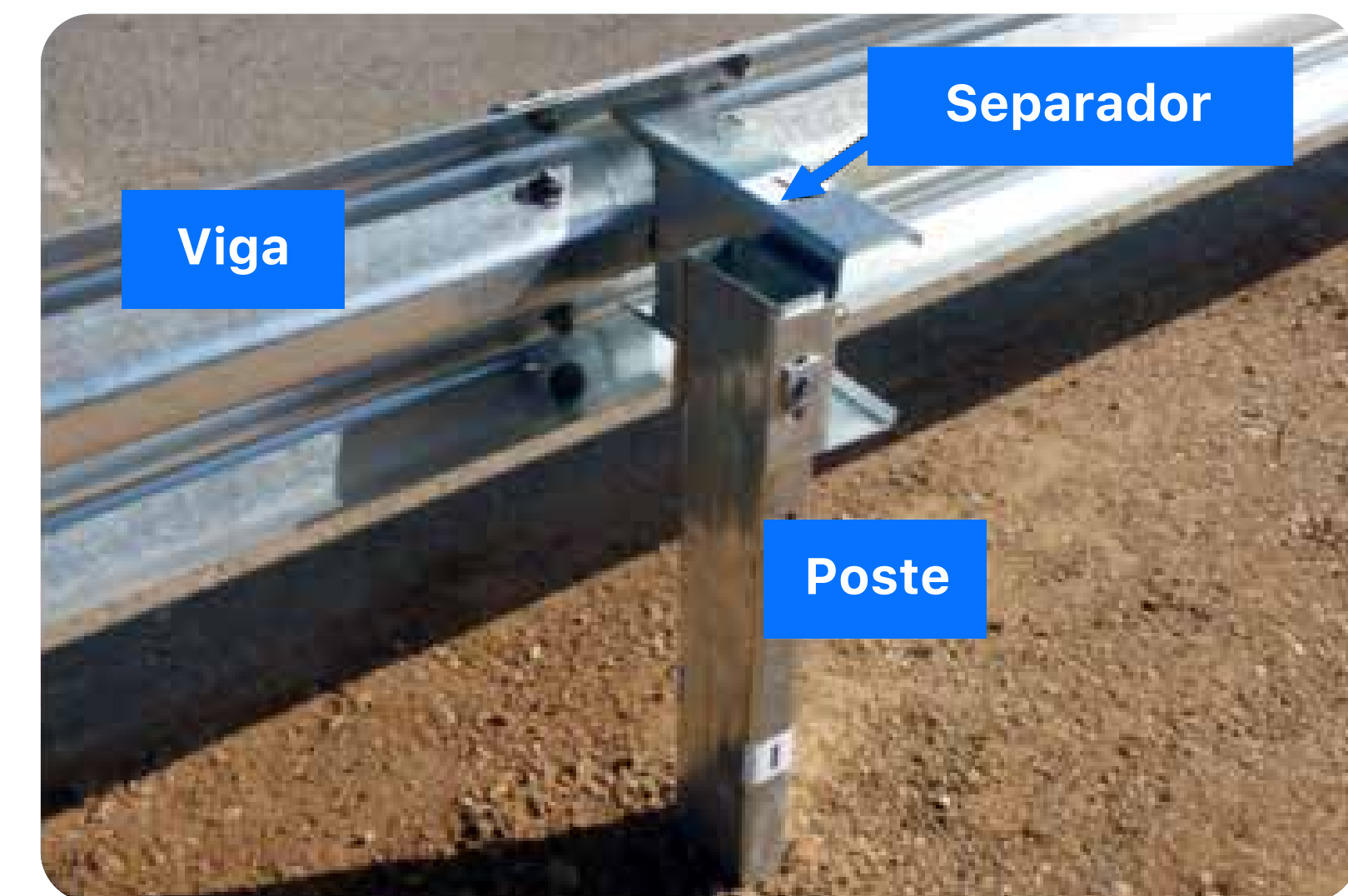
1.1.2.1 Barreras metálicas

Las barreras metálicas funcionan a tracción, de tal forma que cuando un vehículo choca con la barrera, las vigas transfieren los esfuerzos de tracción unas a otras y desde el punto de choque hacia los extremos de la barrera, donde los esfuerzos se transmiten al terreno o superficie a la que estén sujetos los terminales de la barrera.

² Los SCV al tratarse de una estrategia de mitigación de un peligro en las zonas laterales de la vía, parte de la base de sustituir un siniestro de gravedad esperada por uno de menor severidad. Algunas evidencias que se tienen sobre la reducción de los siniestros y, más específicamente, la reducción de la gravedad, se pueden consultar en (Elvik & Trust, 2013, pág. 194) y (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2021).

Debido a que cada sistema de contención vehicular posee particularidades en cuanto a su diseño, elementos que lo componen, y su dinámica de comportamiento, de lo cual depende que el sistema sea eficaz, es recomendable obtener esta información de parte del fabricante, para entender el nivel de desempeño esperado de cada sistema y conocer los detalles que deben ser cuidados durante su diseño e instalación.

Figura 10. Componentes básicos de una barrera longitudinal metálica con separador.



Fuente: Elaborado a partir de (Industrias Duero) .

1.1.2.2 Barreras de cables

La eficacia de las barreras de cables se divide según la tensión que define su nivel de contención. Las deflexiones mostradas por este tipo de barreras es lo que explica su denominación como flexibles al requerir anchos de trabajo considerables.

Se puede hablar de cables de baja y alta tensión, de mayor a menor deflexión respectivamente. La deflexión de estos sistemas se maneja entre 2,0 m y 2,8 m dependiendo del sistema, la separación entre postes y la longitud de la barrera ensayada. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011)

Figura 11. Partes de una barrera de cables.



Fuente: (1) (Austroads, 2019) y (2) (New Zealand Transport Agency, 2016)

Las principales ventajas de las barreras de cable son las bajas fuerzas de desaceleración que transmite a los ocupantes de los vehículos ya que un sistema flexible puede absorber gran cantidad de energía cinética. También presentan ventajas en áreas con presencia de polvo y arena debido a que su diseño abierto evita la acumulación de materiales a lo largo de la barrera. A su vez, suelen tener un bajo costo de instalación, aunque los costos de reparación podrían ser altos, ya que después de un choque deben reemplazarse por completo los cables en toda su longitud, a pesar de que el vehículo haya chocado con la barrera en un tramo corto, esto hace que se requiera sustituir una mayor longitud de barrera en comparación con otros sistemas.

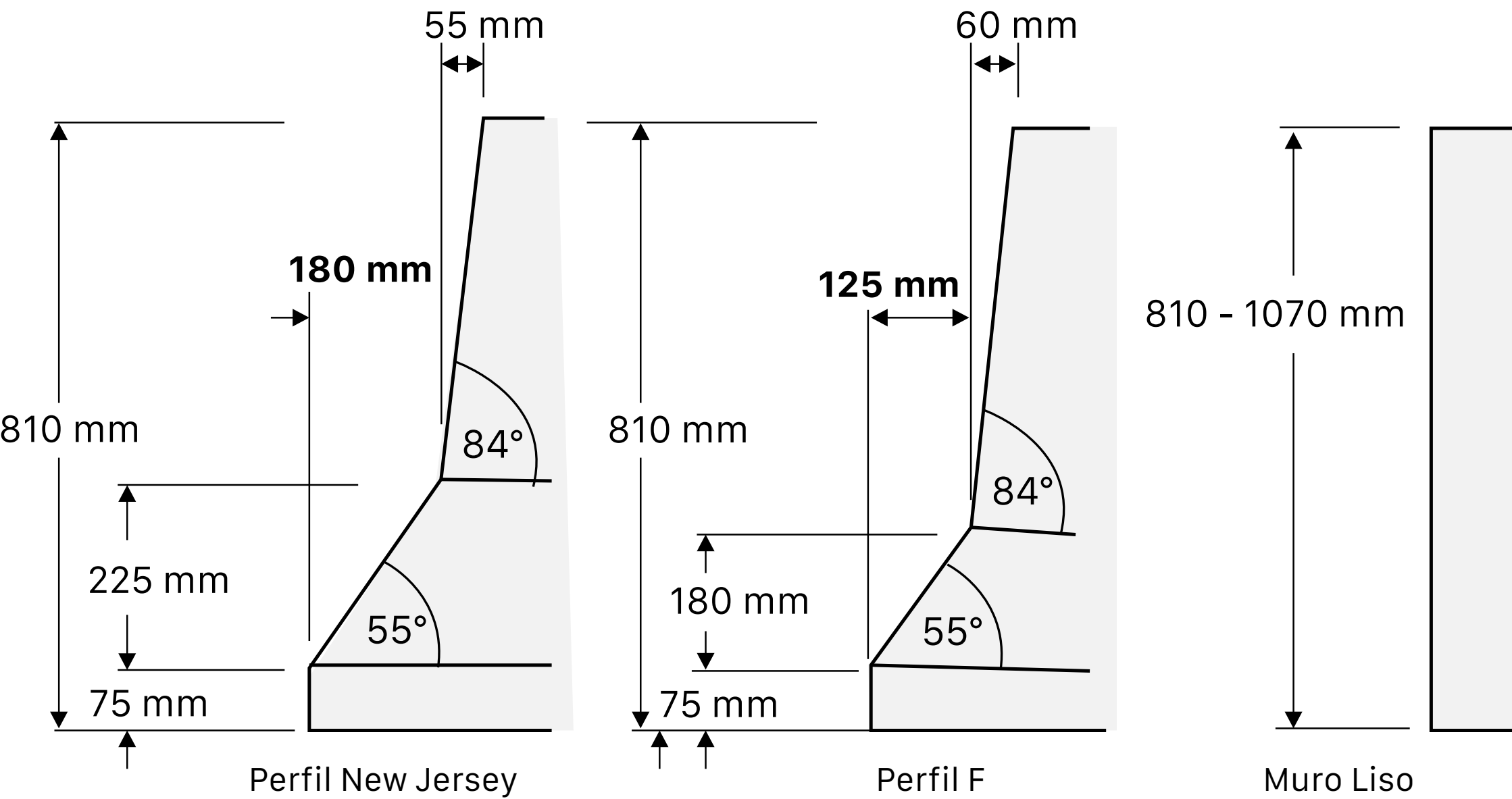
Entre sus desventajas está que las barreras flexibles representan un riesgo para los motociclistas debido a sus postes de acero, en lugar del cable metálico como se piensa comúnmente. Las barreras semirrígidas también tienen este riesgo. Los postes están diseñados para doblarse por el impacto de vehículos, pero no por personas. En los estudios que tratan de este tema es notoria la falta de evidencia del evento "cortador de queso o efecto cuchillo" de las barreras

flexibles (New Zealand Transport Agency, 2016). Por otro lado, estas barreras tienen una reducida efectividad en curvas y son muy sensibles en cuanto a su nivel de desempeño cuando se cometen errores de instalación y mantenimiento. Otra desventaja, es su vulnerabilidad para ser vandalizadas, debido a que su material principal, el cable de acero, es útil en muchas otras aplicaciones.

1.1.2.3 Barreras de concreto

Las barreras de concreto son sistemas rígidos cuyo perfil tiene una pendiente en la cara frontal al tránsito y una cara posterior vertical para barreras laterales. Pueden ser usados como barreras centrales con las dos caras con pendiente al tránsito. Existen tres perfiles de barreras, el primero conocido como perfil New Jersey (NJ), el segundo como perfil F, y el tercero se denomina muro liso.

Figura 12. Geometría de las barreras de concreto con sección tipo New Jersey, perfil tipo F y muro liso.



La distancia horizontal del muro tipo F es menor al del muro tipo NJ 180 mm y 125 mm, respectivamente, esto tiene un efecto directo en el comportamiento del vehículo durante el impacto.

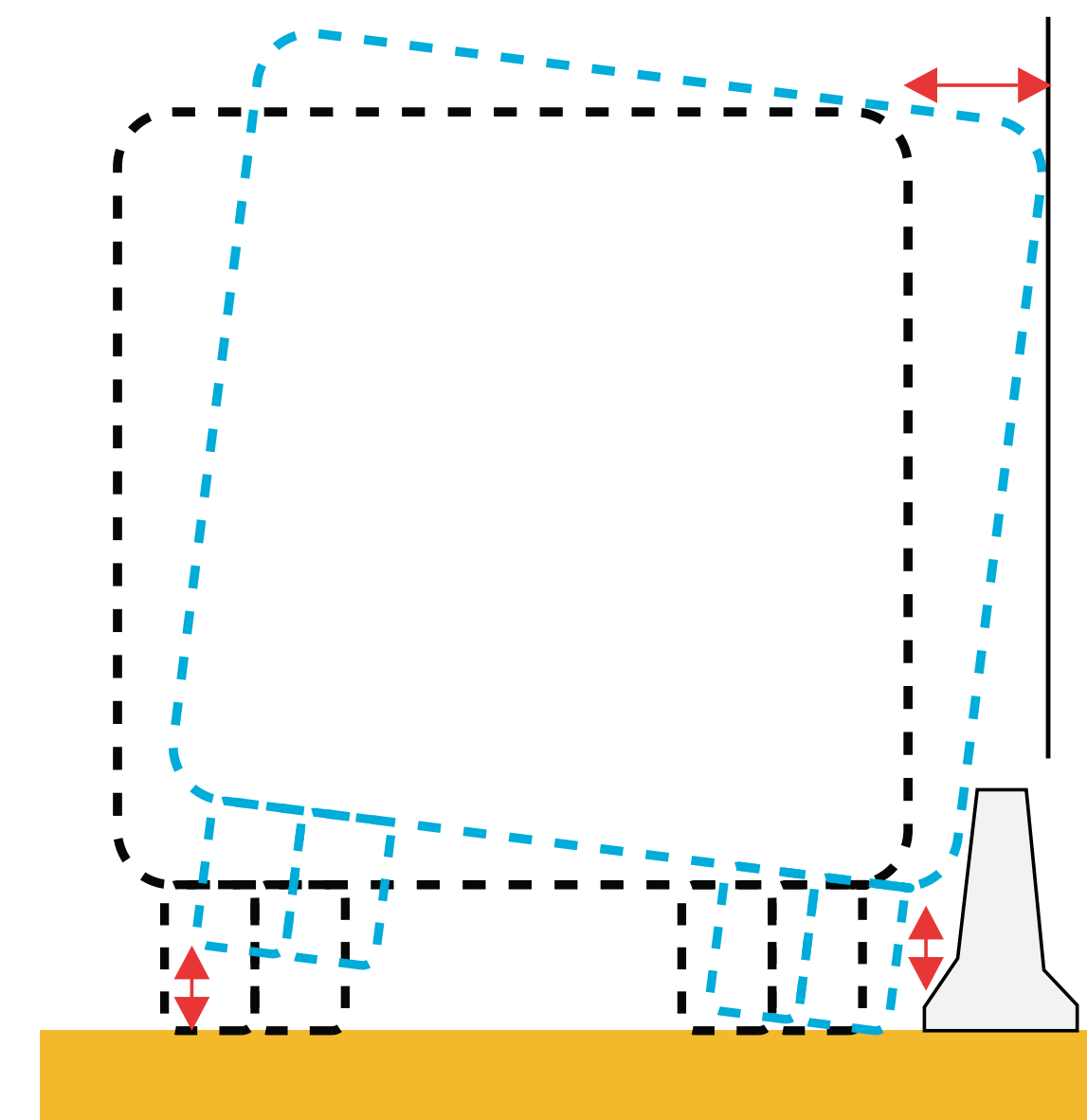
Algunas de estas dimensiones pueden variar dependiendo del nivel de contención para el cual fueron testeadas las barreras, de ahí la importancia de ceñirse a las especificaciones del fabricante o proveedor de la barrera certificada, así como a sus parámetros de instalación (anclajes).

Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2005)

Debido a la rigidez de estos sistemas y a que están ancladas en el pavimento, cuando las barreras de concreto son chocadas por un vehículo no se experimenta un desplazamiento lateral. Por este motivo, es recomendable su utilización en sitios donde se requiere la instalación de una barrera longitudinal y no existe espacio que permita el desplazamiento lateral que experimentan las barreras longitudinales de menor rigidez, tales como las barreras metálicas o de cables.

El perfil F reduce el salto del vehículo durante el impacto y mejora la trayectoria del vehículo. Además, los 125 mm de distancia horizontal de la sección intermedia reducen el ángulo de inclinación durante el impacto de un vehículo pesado que usualmente tienen sus centros de gravedad más altos respecto al suelo (Federal Highway Administration, 2013). Además, el diseño de la barrera de perfil F reduce o minimiza el daño de los vehículos durante el impacto (McDevitt, 2000), razón por la cual son ahora internacionalmente más usados que el tipo New Jersey.

Figura 13. Saltos y cabeceos del vehículo que impacta contra una barrera de concreto típica.



Fuente: Elaboración propia a partir de (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2011)

Los muros de perfil New Jersey han comenzado a estar en desuso en muchos países frente a la implementación del tipo F, la razón principal son las ventajas que tiene este último frente a la excesiva elevación que pueden alcanzar los vehículos en su impacto con un muro NJ (Dirección de Vialidad, 2021).

De acuerdo con las recomendaciones de la FHWA, la solución de muro liso se puede emplear como última alternativa, dado el importante daño provocado a los ocupantes de los vehículos. La principal ventaja de este tipo de barrera es que el pavimento se puede superponer varias veces sin afectar el desempeño de la barrera (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011). Los muros lisos pueden ser una alternativa eficaz frente a barreras de un perfil más ancho, ya que pueden preservar el ancho de la berma en tramos estrechos, como frente a los pilares de un puente. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011)

1.1.2.4 Barreras mixtas

Las barreras mixtas corresponden, en general, a un sistema de contención compuesto de una barrera metálica recubierta en madera, dándole al sistema un alto contenido estético y paisajístico. Se utilizan tanto lateralmente como en separadores.

Los elementos metálicos, en especial la viga longitudinal, son los encargados de resistir los esfuerzos de tracción en el momento del impacto.

Figura 14. Barreras híbridas metal – madera.



Fuente: (Solosar, 2021)

Este tipo de sistemas de contención se han certificado para niveles de contención normal y medio.

1.1.3 Terminales en barreras longitudinales

Las terminales son los componentes de la barrera que van en sus extremos y que esencialmente son a prueba de choques, se utilizan para anclar una barrera al suelo y asegurar la resistencia a tracción que requiere la barrera durante el impacto (barreras semirrígidas) o su fijación al suelo (barreras rígidas). Dicho anclaje suele ubicarse dentro de la zona despejada (ZD) de la

vía para que no sea impactada de manera directa por vehículos errantes. La mayoría de las terminales están diseñadas para impactos vehiculares desde un solo lado de la barrera (de cara al tránsito) (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011, págs. 8-1).

Las terminales de barrera representan un punto de riesgo en la barrera longitudinal, por lo que se busca alejarlos del tráfico o ubicarlos en los costados de la vía, de manera tal que disminuya la probabilidad de impacto contra ellos. Sin embargo, cuando no se cuenta con las condiciones para lograr una buena ubicación en estas terminaciones de barrera y además implican un alto riesgo para los usuarios de la vía, se debe considerar la instalación de terminales que protejan a los ocupantes del vehículo ante un impacto y puedan absorber la mayor energía posible (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2017, pág. 429).

En los extremos de las barreras longitudinales, se utilizan las siguientes disposiciones de terminal según sean las condiciones particulares del diseño:

Terminal empotrado en talud de corte.

Esta es la terminal más recomendable en los casos donde al costado de la vía exista un talud de corte, ya que el empotramiento y anclaje sobre el talud garantiza unas condiciones óptimas para evitar el rampeo y la incrustación del vehículo en el extremo de la barrera cuando existe riesgo de impacto frontal sobre este elemento. Tiene la ventaja de mantener la altura de la barrera hasta llegar al extremo, a diferencia del terminal abatido.

Terminal abatido y esviado

Una terminal abatida consiste en disminuir la altura del extremo de la barrera hasta que este alcance el nivel del suelo y pueda anclarse debidamente. No ofrece un elevado riesgo de penetrar al interior del vehículo, pero puede producir el ascenso o vuelco de los vehículos que lo impactan frontalmente, de ahí que esta terminal deba esviarse con relación al borde de la vía.

Terminal absorbente de energía (TAE)

Son terminales diseñadas para responder ante un impacto frontal y absorber la energía derivada del impacto. Se seleccionan según la clase de contención testada para los dispositivos que cumplen unos parámetros definidos en los estándares internacionales.

Terminales atenuadores de impacto (TAI)

Los TAI al igual que los TAE están diseñados para soportar impactos frontales, pero a diferencia de los demás tipos de terminales, los TAI pueden instalarse al extremo de la barrera y trabajar aisladamente, es decir, estructuralmente suelen estar desconectados del resto de la barrera.

Figura 15. Terminales empotradas y ancladas (arriba). Terminal de barrera absorbente de energía (abajo).



(1) Terminal empotrado en talud de corte (esviada)



(2) Terminal abatido en barrera semirrígida



(3) Terminal Absorbente de Energía (TAE)



(4) Terminal atenuador de impacto

Fuente: (1) (2) (3) (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011)y (4) (Trinity Highway, 2022)

Las terminales de las barreras semirrígidas y flexibles deben ser capaces de desarrollar resistencia a la tracción para que el nivel de desempeño de la barrera no se vea afectado durante el impacto. Hay algunas consideraciones importantes al seleccionar un terminal apropiado para una instalación en este tipo de barreras (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011, págs. 8-3), entre las cuales están:

- » Compatibilidad del terminal con el sistema de barrera.
- » Características del nivel de desempeño del terminal (p. ej., potencial de absorción de energía).
- » Consideraciones del terreno (p. ej., nivelación del suelo en el lugar de instalación).

Se advierte sobre el peligro del uso de las terminales denominadas "cola de pez", las cuales representan un riesgo para los ocupantes del vehículo que choca con la barrera longitudinal. Lo anterior se sustenta en las evidencias

empíricas que descartan este elemento como terminal adecuada para las barreras longitudinales.

Desde finales de los años 60 en EE. UU. son considerados peligros potenciales para los ocupantes del vehículo en eventos de choque contra estos extremos de barrera, para 1990 la FHWA los prohibía en vías que superaran los 80 km/h, y ya para 1998 quedaron descartados completamente de sus especificaciones técnicas (NCHRP 350). Países como Alemania, para poner otro ejemplo, ya los prohibían en su reglamentación hacia finales de la década de 1980 (Transportation Research Board, 2012, pág. 75 y 84).

Además del riesgo elevado de que penetre en el habitáculo del vehículo, los terminales "cola de pez" imponen desaceleraciones muy altas a sus ocupantes y, como no disponen de anclaje, reducen la efectividad de la barrera en los extremos, haciendo que el comportamiento de la barrera (en el caso de utilizar sistemas certificados) no sea el mismo al previsto por las pruebas de ensayo. Ver Figura 16.

Figura 16. Terminación en cola de pez (no recomendada).



Fuente: Arriba (Nebraska Department of Transportation) . Abajo (AASHTO, 2011)).

1.1.4 Transiciones entre barreras longitudinales

Las transiciones son elementos de conexión entre dos barreras longitudinales, entre barreras de distinta naturaleza (rígidas y semirrígidas), además de distinto comportamiento (diferencias entre niveles de contención). Ver Figura 17.

Figura 17. Transición entre barreras longitudinales



Fuente: Arriba (Nebraska Department of Transportation) . Abajo (AASHTO, 2011)).

Según la configuración, descripción y comportamiento esperado, las transiciones se pueden clasificar en tres categorías:

Transición natural

Conexión entre dos barreras del mismo nivel de contención, con los mismos elementos longitudinales (material/geometría), la misma conexión entre elementos longitudinales consecutivos, con tipos de soporte/anclajes similares y una sección recta muy similar (incluido una diferencia en la altura ≤ 5 cm). Este tipo de transición no requiere evaluación tal como se detalla en el numeral 2.13.3.

Transición coherente

Conexión entre dos barreras de diferente nivel de contención, pero con los mismos elementos longitudinales (material/geometría), misma conexión entre elementos longitudinales consecutivos, con tipos de soporte/anclajes similares y sección recta muy similar (aunque pueden tener diferentes alturas) o bien conexiones que incluyen una pieza de conexión particular (diferentes componentes de las barreras conectadas). En este caso se requiere una evaluación para el tipo de transición según se detalla en el numeral 2.13.3.

Transición compleja

Conexión entre dos barreras con diferente nivel de contención o diferente configuración (material/geometría). En este caso se requiere una evaluación para el tipo de transición según se detalla en el numeral 2.13.3.

1.2 Sistemas de contención de tipo amortiguadores

Conocido también como atenuador de impacto, es un dispositivo instalado delante de uno o más obstáculos con capacidad para absorber la energía del impacto y reducir la severidad de este, cuyo propósito es evitar el choque frontal de un automotor contra un obstáculo fijo que no puede intervenir con otro tipo de solución. En el caso de un impacto frontal, pueden detener un tipo de vehículo a una razón de desaceleración tolerable para sus ocupantes. También, la mayoría de estos dispositivos son capaces de contener y redireccionar un vehículo errante en el caso de un impacto lateral, en tales casos, los amortiguadores se denominan redirectivos (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011, págs. 8-21).

1.2.1. Clasificación de amortiguadores de impacto

1.2.1.1 Según su geometría

Según la geometría del elemento por proteger pueden tener forma paralela o triangular. Ver Figura 18.

Figura 18. Amortiguador de impacto según su geometría.



(1) Amortiguador de impacto -paralelo-



(2) Amortiguador de impacto -triangular-

Fuente: Elaborado a partir de (Department of Main Roads, 2006)

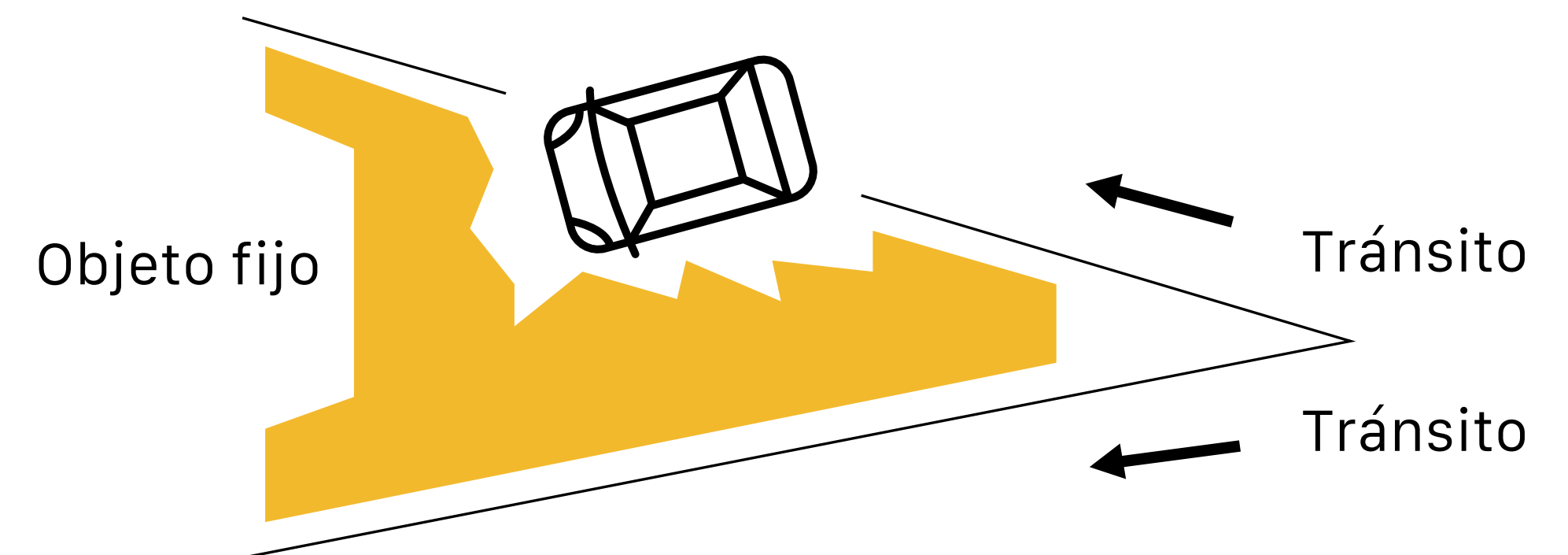
1.2.1.2 Según su función

Según su función los amortiguadores de impacto se pueden clasificar en redirectivos y no redirectivos. Para mayor detalle sobre estas características, remitirse al numeral 3.2).

A. No redirectivos

Los atenuadores de impacto no redirectivos desaceleran el vehículo hasta detenerlo en una corta distancia.

Figura 19. Amortiguadores no redirectivos.

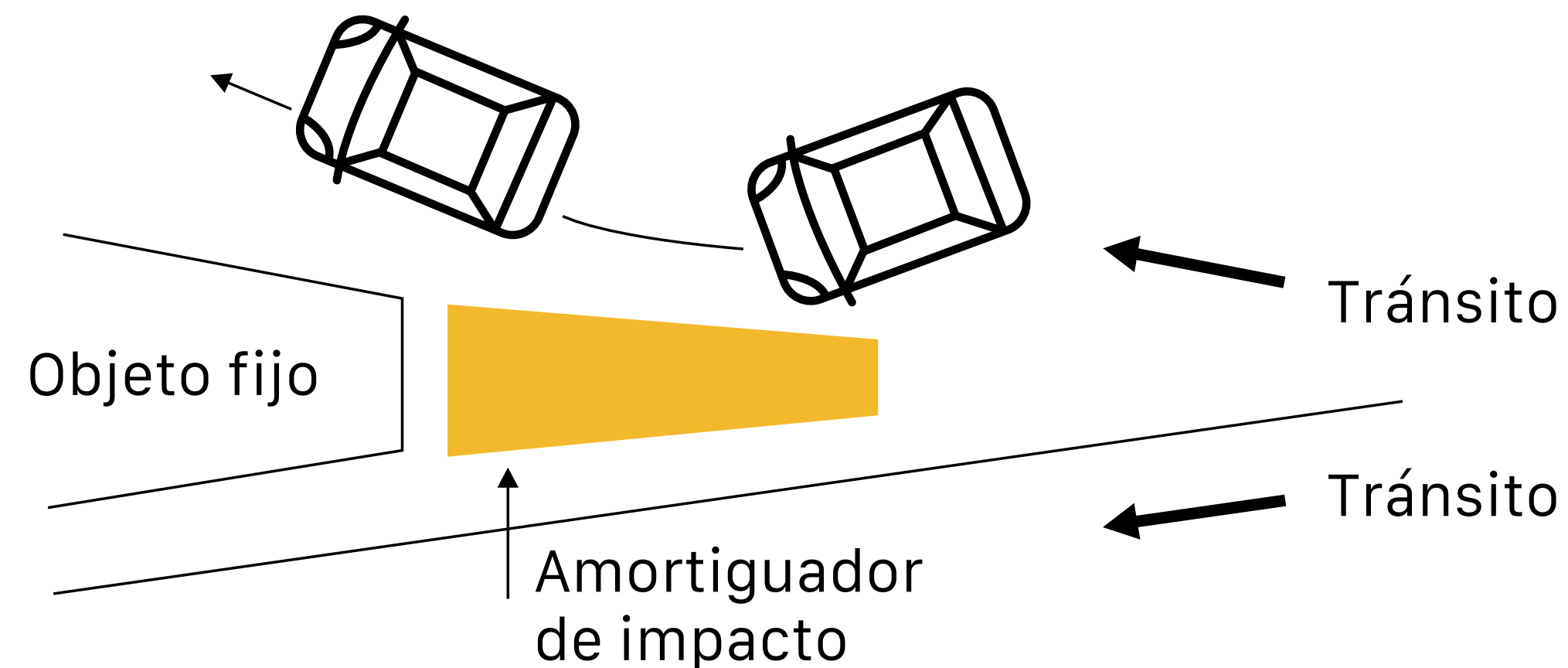


Fuente: Adaptado de (Department of Main Roads, 2006)

B. Redirectivos

Los atenuadores de impacto redirectivos contienen el vehículo y cambian su dirección, apartándolo del objeto rígido peligroso. Tras impactar lateralmente contra el dispositivo, el vehículo debe ser redirigido a su carril de tráfico y estar en condiciones de continuar su viaje mientras el amortiguador permanece funcional.

Figura 20. Amortiguadores redirectivos.



Fuentes: (1) (Lindsay Corporation, 2021), (2) (Road Steel , 2021).

1.2.1.3 Según capacidad de reparación o mantenimiento

Los costos de instalación y mantenimiento iniciales, la facilidad de reparación y la durabilidad del dispositivo (a las condiciones e impactos ambientales) varían mucho entre los distintos amortiguadores que hay en el mercado, de ahí que este sea un criterio importante para la selección del dispositivo (Federal Highway Administration, 2010).

Los amortiguadores de impacto **reusables** tienen algunos componentes principales que pueden sobrevivir intactos a los impactos y se pueden reutilizar cuando se repara una unidad que ha sido impactada. Sin embargo, algunos de los componentes deben reemplazarse después de un impacto para que toda la unidad vuelva a estar a prueba de choques.

Cuando son reusables, estos dispositivos de seguridad usualmente tienen un costo inicial mayor, así como el costo de instalación, pero este costo mayor se justifica en lugares donde los diseñadores esperan impactos frecuentes, característica que los hace más rentables y apropiados en determinados casos. (American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO], 2011).

Cada vez que un dispositivo **no reusable** es impactado, hay que reemplazarlo por uno nuevo. Esto supone un costo que puede superar el de adquisición inicial. Para seleccionar este tipo de dispositivos es importante considerar, además del costo de adquisición, el costo de instalación y de desmontaje cuando haya sido impactado. Implica además tener que adquirir un nuevo dispositivo para reemplazar el anterior (Tecnotraffic, 2011).

Además de las consideraciones presupuestales, hay otros criterios que hacen recomendable el empleo de un dispositivo reusable siempre que sea posible: (1) se evitan trastornos al tráfico ya que las reparaciones se realizan in situ en poco tiempo y, (2) se reduce al mínimo la exposición al tráfico del personal de mantenimiento.

Los amortiguadores **parcialmente reusables** son aquellos que al sufrir el impacto de un vehículo quedan dañados entre un 25% y un 50% de su estructura, pudiendo ser reparados. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2020)

Hay casos en donde los dispositivos no reusables o parcialmente reusables son una alternativa adecuada: (1) cuando se prevea

una probabilidad³ baja de impacto o, (2) en las zonas de obra donde se crean puntos peligrosos de manera temporal.

1.2.1.4 Según uso

Algunos modelos de amortiguadores de impacto están diseñados para montarse en un camión y de esa manera se da seguridad adicional en las zonas de obras, especialmente cuando se trata de trabajos de corta duración o en zonas móviles, como en el caso de reparación de fisuras de pavimento y aplicación de demarcaciones. Ver Figura 21.

El propósito básico de un atenuador montado en camión es reducir la gravedad de los impactos de los vehículos errantes que eventualmente podrían chocar con estos camiones que se utilizan para proteger las zonas de trabajo. Estos dispositivos protegen al conductor del vehículo errante, al conductor del vehículo de la obra y al vehículo de trabajo en sí mismo. (Transportation Research Circular, 2012).

³ Según la Norma Oficial Mexicana NOM-037-SCT2-2020, los amortiguadores no reusables pueden ser utilizados en aquellos sitios en los que se estime que la probabilidad de un impacto es de cuatro diezmilésimos (0,0004) de por ciento o menor, o donde haya ocurrido sólo un impacto en un año.

Figura 21. Amortiguador de impacto montado en un camión.



Fuente: (Transportation Research Board, 2012)

1.2.1.5. Amortiguadores inerciales

Los sistemas de amortiguadores inerciales son básicamente recipientes de plástico con arena⁴ en su interior, a menudo se

⁴ Dependiendo del diseño puede utilizarse agua en vez de arena, pero dependerá también de qué tan permanentes o temporales sea la implementación de este tipo de amortiguador ya que el agua tiende a evaporarse con el tiempo por lo que requerirían un mantenimiento adicional o más frecuente.

usan en instalaciones temporales y permanentes para proteger los extremos de las barreras longitudinales u otros objetos fijos.

Figura 22. Sistema de amortiguadores inerciales.



Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011)

1.3 Sistemas de contención de tipos rampas de escape

Las rampas de emergencia, también llamadas rampas de frenado o de escape, son pistas adyacentes a la calzada de la carretera donde los vehículos pueden detenerse si pierden el control del vehículo, ya sea por fallas en el sistema de frenado u otra situación imprevista durante la conducción. Teniendo presente su propósito, es necesario que estas se ubiquen en tramos de vía donde sea conveniente proveer de una solución ante este tipo de eventos (por ej. largos tramos en pendiente negativa) y donde la geometría de la vía y las características de las zonas laterales, permitan diseñar alguno de los tipos de rampas que aquí se describen aprovechando la topografía existente. Estas rampas son consideradas atenuadores de la energía cinética del vehículo puesto que su objetivo es detener el vehículo errante, razón por la cual hace parte de los SCV (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011, págs. 8-21). Ver Figura 23.

Figura 23. Rampa de emergencia.



(1) Gravitacional



(2) Montículo



(3) Lecho de frenado



4) Sistema TAS

Fuentes: (1) (Colorado Department of Transportation, 2008), (2) (Federal Highway Administration, 2013), (3) y (4) (Speier, 2020)

Existen cuatro tipos de rampas de emergencia:

Gravitacionales: Usan material granular densamente compactado y logran detener el vehículo principalmente por acción de la gravedad, convirtiendo la energía cinética que este posee al ingreso de la rampa, en energía potencial gravitacional hasta su detención. Requieren de una considerable longitud y de una pendiente fuerte de ascenso para lograr este efecto.⁵ Inmediatamente después de la detención, puede producirse un descenso no controlado del vehículo, ya que estas rampas no cuentan con lechos que frenen el descenso, situación peligrosa que se convierte en una gran desventaja de este sistema.

Montículos de arena: Estas rampas están compuestas por montículos de arena suelta y pueden tener un componente de acción de la gravedad dependiendo de su pendiente. La arena ejerce una alta resistencia al desplazamiento sobre las llantas y sobre la estructura inferior de los vehículos, proporcionando su detención. Su desventaja radica en que produce detenciones

⁵ La longitud de la rampa tiene relación con la distancia de parada del vehículo teniendo en cuenta las variables que afectan el movimiento. Esta longitud puede variar dependiendo de la velocidad de entrada a la rampa, la pendiente del terreno y el tipo de diseño usado. También se debe considerar la resistencia de rodadura del material granular.

abruptas y la arena se afecta fácilmente por la humedad perdiendo sus características y funcionalidad, lo que la hace muy dependiente de labores de mantenimiento.

Lechos de frenado: Esta rampa utiliza material granular suelto, con profundidades de material que van de menor a mayor, desde el ingreso a la rampa hasta su final, lo que garantiza una desaceleración controlada. Dependiendo de la topografía pueden construirse descendentes, horizontales y ascendentes, características que aumentan o disminuyen la longitud de la rampa. Las rampas de lecho de frenado ascendente son las de mayor eficiencia, por la acción combinada entre la resistencia al desplazamiento otorgado por el material granular y la acción de la gravedad. También requieren de continuo mantenimiento y normalmente son necesarias grúas para ayudar a retirar los vehículos que usan la rampa.

Sistema de detención de camiones (TAS): Consiste en una rampa pavimentada limitada en ambos costados por una barrera de concreto, sobre la cual se monta un sistema secuencial de redes retráctiles de contención de vehículos. La primera red de la serie está diseñada para detener automóviles fuera de control.

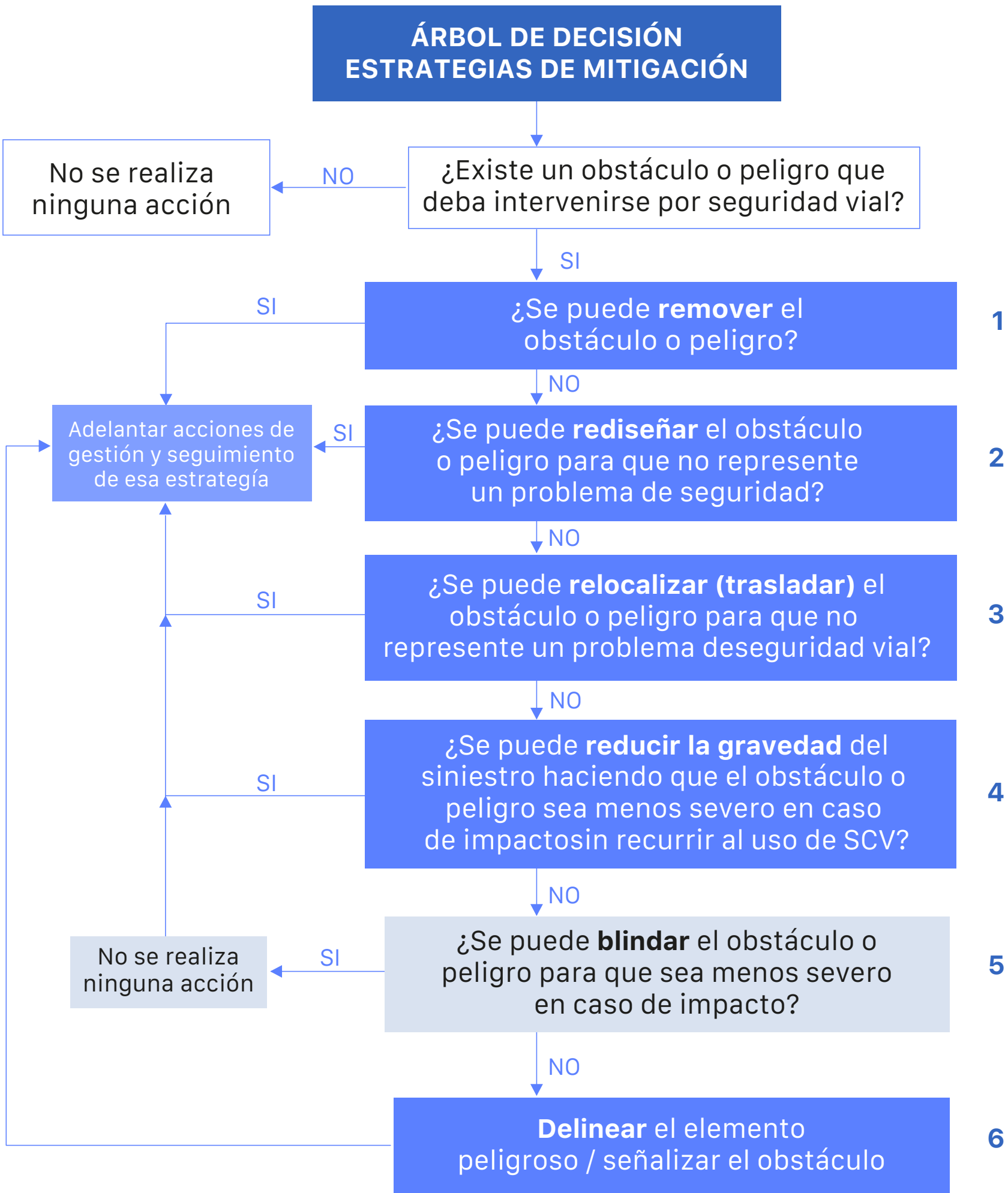
Los camiones y buses grandes pueden requerir siete (7) o más redes.

En el numeral 4.2 se describen estos tipos de rampas según su esquema básico de diseño, agrupando las rampas con montículo y los lechos de frenado en razón a que las dos funcionan por efecto de la gravedad. Las de tipo gravitacional solo presentan aquí como una opción disponible pero que no se recomienda su implementación por las razones ya expuestas.

1.4 Consideraciones previas para la selección de un SCV

Instalar un SCV debe considerarse como una opción a la que se llega luego de descartar otras medidas que suelen ser menos costosas, técnicamente más fáciles de implementar y menos "agresivas" como solución de seguridad vial. Siempre se debe analizar la viabilidad técnica y económica de otras opciones que incluyen la eliminación, modificación o mitigación del peligro potencial que se haya identificado. Ver Figura 24.

Figura 24. TEstrategias de mitigación.



Fuente: Elaboración propia con base en los criterios de la (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2022)

De no ser factible un tratamiento del problema de seguridad vial existente en las zonas laterales de una vía mediante la eliminación o modificación del peligro existente, y sea necesario instalar un SCV, la elección del sistema debe basarse en criterios técnicos objetivos y comprobados según su nivel de desempeño. Se debe enfatizar que la mejor opción es aquella que brinda el nivel de protección requerido al menor costo durante un determinado período para cada caso particular.

Seleccionar el tipo de SCV conveniente para cada caso particular requiere tener presente unas consideraciones de entorno que pueden resultar significativas a la hora de elegir entre un sistema u otro. Entre estas consideraciones resaltan: las condiciones del peligro y de la zona lateral, los costos de instalación y mantenimiento, la compatibilidad con otros SCV, su estética o apariencia para determinado entorno, las condiciones ambientales del lugar, la seguridad de otros usuarios y el historial de desempeño del sistema.

1.4.1 Condiciones del peligro y de la zona lateral

El tipo de SCV depende del peligro que debe blindarse, su ubicación en la zona lateral y su gravedad asociada; Así mismo,

depende de las condiciones de la zona lateral, y características y pendiente de la vía (una rampa de emergencia).

1.4.2 Costos de instalación y mantenimiento

Los costos de instalación y mantenimiento son factores de peso en la selección de un determinado sistema. Los sistemas de alta contención generalmente tienen un alto costo de instalación; sin embargo, los costos de mantenimiento suelen ser menores.

Se consideran costos de mantenimiento los siguientes:

Mantenimiento rutinario: los costos de mantenimiento rutinario son mínimos e incluyen los costos de las operaciones de limpieza, y pintura (requerida para ciertos sistemas así fabricados originalmente). Estos son prácticamente iguales para cualquier tipo de barrera longitudinal. Es importante agregar que la limpieza también debe incluir la rocería de la vegetación circundante, así como rocas o cualquier elemento eventualmente depositado entre el borde de la vía y la barrera que no haga parte natural de las zonas laterales.

Reparación: la mayoría de los costos de mantenimiento se deben a los daños que sufre la barrera durante el impacto. En zonas de alto tránsito, donde los costos de reparación son un aspecto importante que puede imperar sobre otros criterios. Por ejemplo, en las autopistas urbanas, donde no se pueden realizar labores de reparación sin interrumpir el tránsito en los carriles adyacentes, puede ser preferible instalar una barrera rígida de concreto si se dan las condiciones, puesto que prácticamente no sufre ningún daño durante el choque y no requiere reparación. Por otro lado, la frecuencia con la que deben repararse determinados elementos o sistemas deberá ser un factor clave en la elección del elemento, dando preferencia a aquellos reusables o parcialmente reusables que, si bien tienen un costo inicial mayor, las reparaciones tienen un costo menor.

Materiales y almacenamiento de piezas: se debe determinar la disponibilidad de las piezas para su reemplazo en un futuro y cuáles son los requerimientos de almacenamiento, esto es importante pues garantiza los elementos necesarios para reparar los sistemas que hayan sido impactados de una manera más eficiente y entendiendo que este es un aspecto importante para asegurar unas adecuadas condiciones de seguridad vial en estos

sitios o puntos críticos. Un SCV que no es prontamente reparado se constituye en un nuevo elemento peligroso en la vía.

En términos generales, siempre que sea posible, se debe buscar el diseño más sencillo que facilite además la instalación y el mantenimiento.

1.4.3 Estética

Si bien la estética del elemento no debe regir la selección del sistema, en algunas áreas turísticas o reservas naturales se prefiere colocar barreras con partes de madera o de apariencia natural, que no afecten a la belleza escénica de la zona. Para este tipo de ubicaciones especiales es común utilizar barreras híbridas (diferentes materiales) las cuales aportan ventajas en cuanto al componente paisajístico (armonía con el entorno).

En cuanto a amortiguadores y rampas de emergencia, la disponibilidad de opciones es menos versátil en este sentido.

1.4.4 Condiciones ambientales

Las condiciones de humedad, salinidad o presencia de lluvia ácida u otras condiciones similares en la zona donde será

instalado el SCV, son factores importantes por considerar en la selección del sistema y las especificaciones técnicas de sus materiales. Por ejemplo, el espesor de galvanizado de una barrera longitudinal que será instalada en una zona costera será mayor que en el caso de que esa barrera se instale en una carretera con condiciones ambientales menos adversas. Este aspecto es importante ya que tiene un efecto determinante en la vía útil del sistema y en el costo del mantenimiento rutinario, por lo cual debe revisarse con los fabricantes y proveedores de los SCV.

1.4.5 Seguridad de tercero

Los SCV forman parte de la infraestructura vial y por lo tanto no deben poner en riesgo la seguridad de otros usuarios. Por ejemplo, las barreras no deben obstaculizar la visibilidad de los conductores que se aproximan a una intersección desde una vía secundaria, ni deben sufrir una deflexión durante el impacto que afecten la integridad física de peatones o ciclistas que circulan en la parte posterior de la barrera.

Un amortiguador de impacto una vez ha sido impactado no puede terminar bloqueando el carril de circulación o soltar artes que

atenten contra la integridad de las personas en el entorno. Una rampa de emergencia debe asegurar la contención del vehículo errante dentro de la franja diseñada para tal fin, sin que haya riesgo de que el vehículo se salga de ese espacio y atente contra otras personas que puedan encontrarse en los alrededores.

1.4.6 Historial de desempeño del sistema

El desempeño de un SCV durante su vida útil, sus costos de instalación, reparación y su funcionamiento en general, deben ser monitoreados y registrados por el responsable de la vía, ya que estos datos son necesarios para realizar una adecuada gestión de la infraestructura vial que permitan construir un historial de desempeño de estos sistemas. Los ingenieros encargados del diseño, selección e instalación de los SCV también deben tener acceso a estos datos para realizar la mejor selección acorde a la necesidad, ya que durante el proceso de diseño pueden resultar varias opciones igual de viables y solo un conocimiento de la experiencia previa con estos sistemas podrá dar un lineamiento adicional sobre cuál es la mejor opción para caso particular.



Capítulo 2

Criterios para la implementación de barreras longitudinales

2.1 Generalidades

A continuación, se presentan los parámetros de comportamiento del sistema que deben tenerse en cuenta antes de abordar un proceso detallado de diseño. Estos parámetros son:

- » El nivel de contención
- » La severidad del impacto
- » La deformación lateral del sistema
- » La capacidad de redireccionamiento

El proceso de selección de una barrera longitudinal requiere analizar las diferentes situaciones que se encuentran en las zonas laterales de las vías y las distintas opciones de sistemas disponibles en el mercado. Por ello, antes de entrar

a detallar los pasos para la selección y diseño de la barrera, es necesario conocer los parámetros de comportamiento que rigen estos sistemas.

2.1.1 Nivel de contención (NC)

El nivel de contención es la energía cinética transversal "IS" (o energía cinética total, según las características de ensayo y del dispositivo ensayado) que un sistema es capaz de retener de manera controlada, sin que el vehículo atraviese el sistema ni se vuelque.

La barrera longitudinal debe poseer la capacidad estructural para contener y redireccionar el vehículo de manera segura según las características del lugar y del tráfico. En cuanto a su pertinencia, se deben analizar aquellos casos en que terceros inocentes pueden resultar afectados si la barrera es franqueada por un vehículo, por ejemplo, los niños que juegan en un parque

cercano a la vía. En este capítulo se brinda un procedimiento para seleccionar el nivel de contención de la barrera de acuerdo con el nivel de riesgo definido por el tipo de gravedad, el volumen y composición del tránsito vehicular y la velocidad específica de diseño o de operación.

Dentro de las normas o estándares internacionales de ensayo, se tienen las siguientes, enunciadas por orden de aparición o actualización:

- » NCHRP Reporte 350 "Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features" (Federal Highway Administration (FHWA, 1993).
- » Norma Europea EN 1317 "Sistemas de contención para carreteras (Unidad de Normalización Española" (UNE, 2010).
- » Manual MASH, Manual for Assessing Safety Hardware (American Association of State Highway and Transportation Officials., 2016).

En términos generales, EN 1317 y MASH, evalúan el desempeño de los SCV tomando unos parámetros similares, aunque no idénticos, para las pruebas a escala real con vehículos

representativos, en velocidades y ángulos de impacto representativos y sobre terrenos generalmente planos. De ambas especificaciones se obtiene una evaluación de la deformación del sistema, la trayectoria del vehículo que impacta, y el riesgo probable de lesiones para los ocupantes o terceros inocentes.

Entre estos estándares hay diferencias significativas como: la masa y tipo vehículos utilizados en las pruebas, las condiciones de impacto (ángulo de aproximación y velocidad), la evaluación del rendimiento del sistema y el método de evaluación del riesgo de lesiones. Así, aunque la tecnología para realizar las pruebas, adquirir datos y evaluar los desempeños es la misma en EN 1317 y MASH, en esencia no son estándares equiparables o reemplazables el uno por el otro. (Adaptado de Anghileri, 2012, p. 22).



Una diferencia sustancial entre los estándares aquí comparados se establece en el hecho de que los vehículos utilizados en la norma NCHRP Reporte 350 y, más recientemente, MASH, representan vehículos más grandes y pesados, como camionetas (tipo SUV), que son más comunes en los EE. UU.; mientras que la norma EN 1317 utiliza vehículos más pequeños y ligeros que son más comunes en Europa. Lo anterior es esencial para determinar el criterio según el cual establecer el NC y diseñar la barrera longitudinal, por lo que es importante conocer las características del tránsito de la vía sobre la cual se considera pertinente y necesario intervenir con este tipo de medidas de seguridad vial.

La siguiente figura ilustra lo descrito. Se puede observar también en qué medida sus niveles de contención se ajustan a determinados parámetros, pero también sus diferencias en cuanto a las características de los ensayos (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2021).

Figura 25. Niveles de contención para barreras de seguridad según estándar.



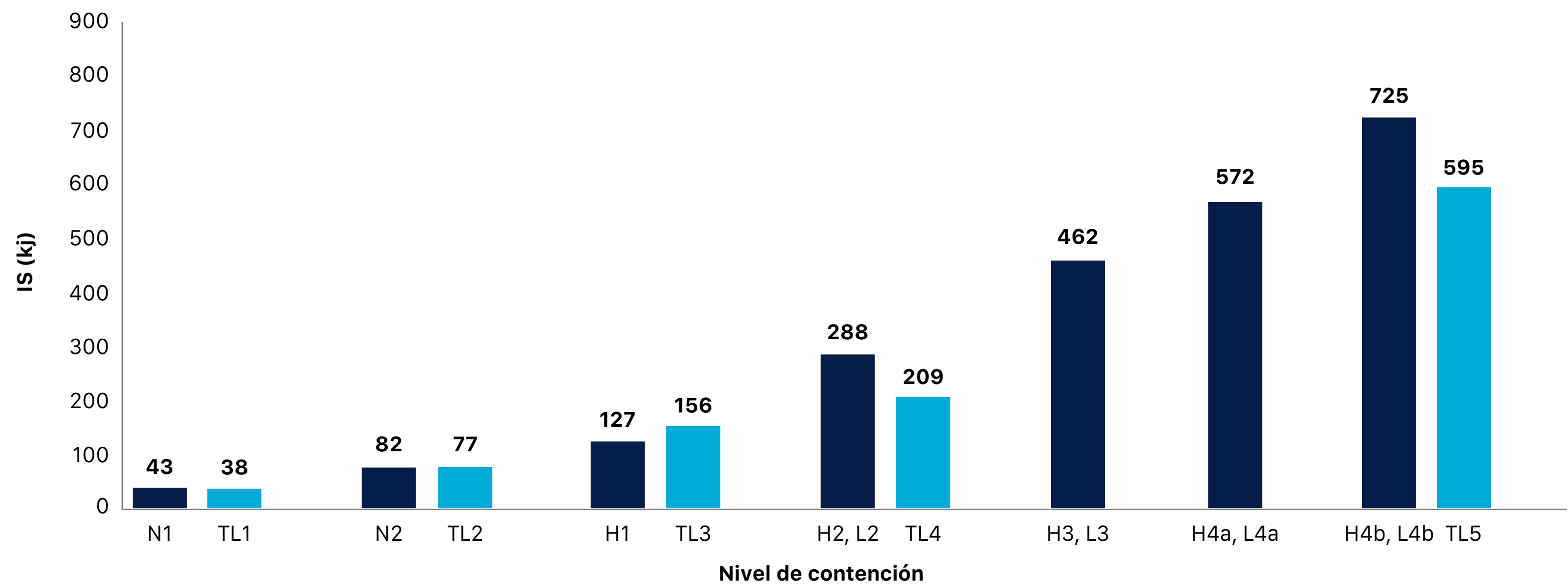
Fuente: (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2021)

En la Figura 26 se muestran los rangos de absorción de energía que definen los niveles de contención (NC), y cómo estos son clasificados en las normativas EN 1317 y MASH según el valor de energía cinética transversal "IS" máximo, al que son ensayadas las barreras longitudinales, según cada nivel de prueba que dichos estándares definen. Detalle de esto se puede observar en la figura siguiente en la cual "comparan" ambos estándares de

ensayos y da una idea del grado de aparejamiento y disimilitud entre sus niveles de contención.

Así, utilizando el valor de "IS" máximo al que es sometida una barrera longitudinal bajo cualquiera de las normativas de ensayos, dicha barrera quedaría ubicada según los rangos de energía definidos para cada NC.

Figura 26. Rangos de energía cinética de los niveles de contención.



Fuente: Elaborado a partir de (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2011) y (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2016).

En resumen, la figura permite observar que:

- » Los NC muestran una gradualidad que es progresiva en términos de los rangos de "IS" que los define, lo cual es apropiado para determinar el nivel de contención requerido para una barrera longitudinal, según las características del tráfico y el peligro potencial de cada sitio particular.
- » Se han definido los niveles N-H-L según estándar EN 1317 y TL según MASH 2016, de menor a mayor nivel de contención que, aunque no son equivalentes entre sí, dan una idea del NC que alcanza cada barrera según el estándar y ensayo probado.

A partir de estas consideraciones, es importante resaltar que los diseñadores de esos sistemas deben tener los conocimientos y experiencia suficiente que les permita evaluar correctamente el desempeño de las barreras certificadas que ofrece el mercado en relación con la problemática de seguridad vial específica que desean mitigar.

Como se indicó en el capítulo 1.1.1.4, en el presente documento se establecen cuatro niveles de contención distintos (niveles

de energía cinética máxima) para el diseño de las barreras longitudinales y pretilas que sean instalados en las vías colombianas. Estos niveles de contención quedan establecidos como rangos de niveles de energía cinética transversal "IS", y dentro de ellos se ubican los niveles de contención de las dos normas de ensayo EN 1317 y MASH 2016.

Tabla 2. Clasificación de los niveles de contención (NC) de las normas EN 1317 y MASH para barreras y pretilas.

Clasificación	EN 1317	MASH
NC1 - Normal	N2	TL2
NC2 - Medio	H1	TL3
NC3 - Alto	L2	TL4
NC4 - Muy Alto	L4b	TL5

Fuente: Elaborado a partir de norma EN 1317 Y Manual MASH (2016).

Esta clasificación de los niveles de prueba de las normas EN 1317 y MASH dentro de los NC, únicamente considera la energía cinética transversal máxima que la barrera longitudinal es capaz de

absorber durante el impacto. Los sistemas que se clasifican dentro del mismo NC no se comportan exactamente de la misma manera y en cada caso se deben analizar otros factores como ancho de trabajo, deflexión dinámica y nivel de severidad para seleccionar el sistema más adecuado según las condiciones del sitio.

De la Tabla 2 es preciso aclarar que:

- » Un determinado nivel de contención se puede satisfacer simultáneamente a partir de niveles específicos tanto de la norma europea EN 1317 como del Manual MASH (por ej., que un nivel de contención medio se puede acreditar tanto con un nivel H1 de la norma EN 1317 como con un nivel TL-3 de MASH) no implica que los referidos niveles de ambas normas (por ej., H1 y TL-3) sean equivalentes entre sí pero si son correspondientes en términos de la magnitud de la energía cinética para los cuales fueron ensayados. Sus diferencias se enfatizaron en la Figura 25 y Figura 26.
- » Cada nivel de contención EN 1317 o MASH contiene a todos los niveles inferiores, a excepción de los niveles H1, H2, H3, H4a y H4b de la norma EN 1317 que no contienen al nivel N2.

Los niveles según EN 1317 y MASH indicados en la Tabla 2 para cada NC son los niveles mínimos que permiten satisfacer el correspondiente NC y, por consiguiente, en un mismo NC pueden ser aceptados niveles superiores (a excepción de los niveles H2, H3, H4a y H4b de la norma EN 1317 que no están incluidos en la Tabla 2 al estar definidos sólo niveles L a partir de NC3). Esta elección dependerá del criterio del diseñador para el caso puntual de diseño.

2.1.2 Severidad del impacto

La severidad del impacto se define como el nivel de riesgo de los ocupantes del vehículo de sufrir lesiones como consecuencia de la colisión. En este sentido, un sistema que sea capaz de contener un camión no sirve si al contener un vehículo liviano causa graves lesiones o la muerte de sus ocupantes (severidad del sistema). Es por ello, que se han desarrollado a nivel mundial parámetros que permiten cuantificar la severidad del impacto, entre los cuales se destacan las desaceleraciones medidas en el interior del vehículo y la deformación de la estructura del vehículo. Además, en las normativas de ensayo de choque a escala real se verifica que, al ejecutar el ensayo, ninguna parte

relevante del sistema se desprenda o penetre en el interior del vehículo durante la prueba, de manera que se ponga en riesgo a los ocupantes del vehículo o a terceros inocentes.

2.1.3 Deformación lateral del sistema

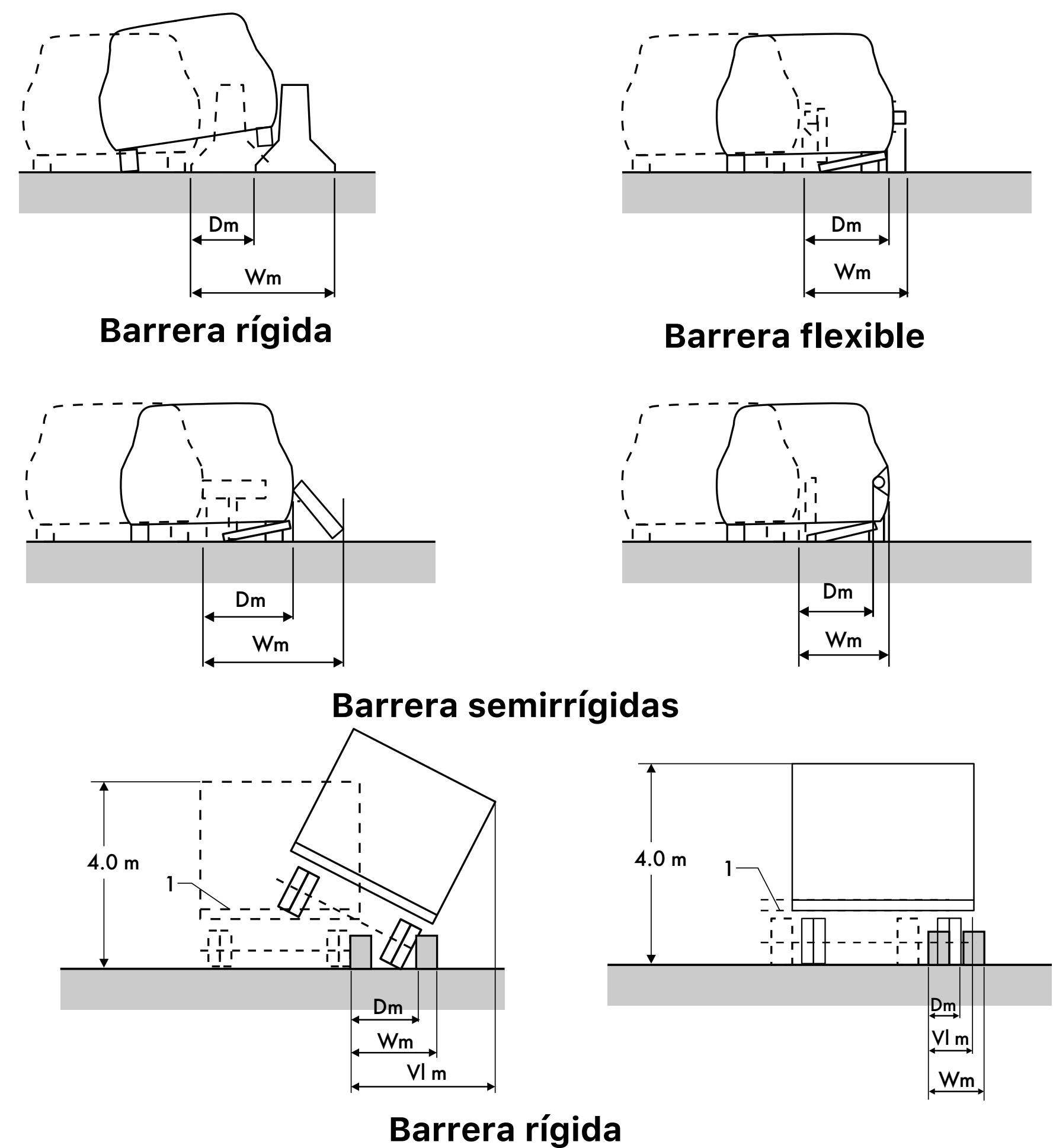
La deformación lateral del sistema se describe mediante tres distancias transversales que se miden durante los ensayos de impacto a escala real: ancho de trabajo (W), deflexión dinámica (D) y la intrusión del vehículo (VI).

- » El **ancho de trabajo (W)** es la distancia entre la cara más próxima al tráfico antes del impacto, y la posición lateral más alejada que durante el impacto alcanza cualquier parte esencial del sistema de contención.
- » La **deflexión dinámica (D)** es el máximo desplazamiento dinámico lateral de la cara del sistema más próxima al tráfico.
- » La **intrusión del vehículo (VI)** de un vehículo pesado o bus, es su máximo desplazamiento lateral dinámico, medido con respecto a la cara al tráfico de la barrera sin deformar. Dado que este parámetro no hace parte del estándar MASH y solo está definido dentro de EN 1317, sus consideraciones para el diseño se desarrollan en el Anexo I
- » La **deflexión dinámica (D)** y el ancho de trabajo (W) permitirán durante el diseño fijar la ubicación de la barrera longitudinal con respecto al obstáculo o zona peligrosa. La relación de estos parámetros se puede observar en la Figura 27 según el tipo de barrera.



Fuente: Ministerio de Transporte - <https://flic.kr/ps/2WnpJd>

Figura 27. Deflexión dinámica medida (D_m), ancho de trabajo medido (W_m) e intrusión del vehículo medida (Vl_m) de una barrera longitudinal.



Una vez que se ha determinado el nivel de contención requerido, la deflexión del sistema es un criterio relevante en la selección del tipo de barrera.

Debe verificarse que el ancho de trabajo (W) y la deflexión dinámica (D) de la barrera sean menores que la distancia a la que se encuentra el obstáculo o el desnivel del cual se requiere protección, ya que, de lo contrario, la barrera no protegería eficazmente a los usuarios de dichos peligros.

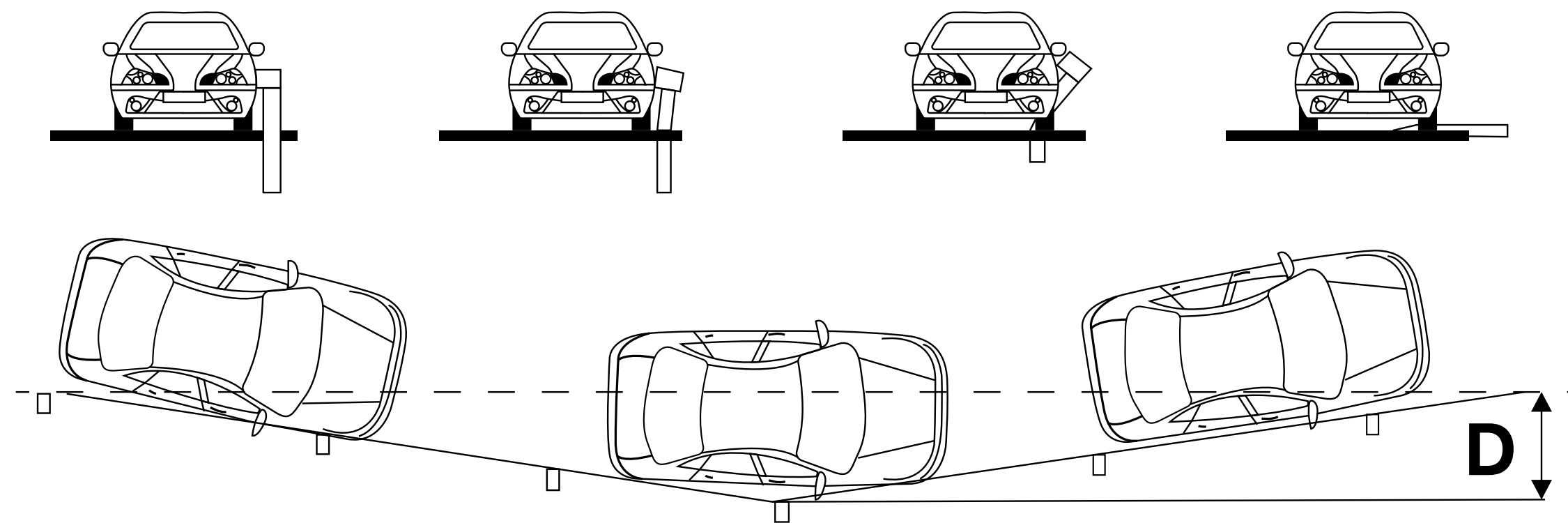
Si el obstáculo se ubica muy cerca de la vía, probablemente la mejor opción es instalar un sistema semirrígido ($0,6\text{ m} < D \leq 2,0\text{ m}$) o rígido ($D \leq 0,6\text{ m}$). Los sistemas semirrígidos pueden ser reforzados (rigidizados) en un tramo específico donde se ubique un obstáculo muy cercano a la barrera, si se reduce la distancia entre los postes o se utiliza una viga doble o anidada, siempre que estas modificaciones se contrasten mediante la realización del correspondiente ensayo a escala real y respondan a un diseño de SCV para dicho lugar.

Algunos dispositivos flexibles también pueden ser reforzados si se reduce la separación entre los postes consiguiendo una menor deformación

Fuente: Adaptado de (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2011)

durante el ensayo a escala real. Se debe comprobar en todos los casos que el suelo pueda resistir las cargas laterales impuestas durante el impacto y que el anclaje o empotramiento de los extremos de estas barreras se mantenga según las expectativas del diseño para ese sitio.

Figura 28. Deformación lateral de una barrera semirrígida.



Fuente: (Valverde González, 2011, pág. 63)

Si por condiciones del sitio, la barrera se instala cerca de obstáculos como pilas de puentes o columnas de edificios, es necesario considerar que, dado que estos elementos superan la altura de la barrera, existe el riesgo de impacto con ellos por una intrusión del vehículo por encima de la barrera, situación que puede esperarse del impacto de camiones o buses con el SCV.

Esta situación debe considerarse durante el proceso de diseño de la barrera ya que podría provocar un siniestro de gravedad mayor debido al colapso del elemento impactado o una mayor deformación en el vehículo que afecte a sus ocupantes. En ese caso, se debe disponer una distancia mayor al ancho de trabajo entre el obstáculo y la barrera longitudinal (si es posible), o incrementar la altura de las barreras para minimizar la inclinación del vehículo durante el impacto (si se trata de barreras hechas de concreto). Sea cual sea el tratamiento propuesto, este debe ser resultado de un diseño del sistema que contemple estas consideraciones y las particularidades del lugar, peligro identificado, composición vehicular y velocidad (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011, págs. 5-33 y 5-34).

2.1.4 Capacidad de redireccionamiento

La capacidad de redireccionamiento o trayectoria del vehículo antes y después del impacto, es un parámetro utilizado para medir la capacidad de una barrera longitudinal, pretil de puente o atenuador de impacto redirectivo, para otorgar al vehículo que la impacta una dirección de salida lo más paralela posible al eje

de la calzada, con el propósito de evitar que el vehículo colisione con otros vehículos que circulan por la vía. Sobre el particular, es de comentar que una deflexión horizontal excesiva del sistema puede producir un “embolsamiento”, que genere un ángulo de salida mayor al de entrada, y como consecuencia el vehículo podría impactar otros vehículos que circulan por la misma vía o salirse de la calzada por la zona lateral opuesta.

2.2 Procedimiento de diseño y selección de la barrera longitudinal

La Figura 29 muestra el procedimiento general para el diseño de una barrera longitudinal, siendo este el paso a paso metodológico por seguir para determinar las características para diseñar y seleccionar la barrera.

El procedimiento general se resume en los siguientes pasos:

Paso 1. Reunir y analizar la información requerida para el diseño. Esto incluye las características operacionales de la vía y físicas de su entorno. (Ver numeral 2.3 y Anexo G).

Considera además información sobre siniestralidad de motociclistas y demás usuarios vulnerables, análisis de la geometría del sector a intervenir que permita concluir sobre la necesidad de complementar el SCV con un SPM (Capítulo 6) o SPP (Anexo B).

Paso 2. Identificar la situación de peligro y determinar la gravedad del siniestro esperado, entendida como la probable si no se interviene el sitio o punto crítico. Considera los casos donde se afecten usuarios vulnerables si en el sector no se interviene con un SPM o SPP. (Ver Tabla 3 según indica el numeral 2.4)

Paso 3. Determinar el nivel de contención (NC) requerido para la barrera. (Siguiendo el procedimiento indicado en el numeral 2.5)

Paso 4. Determinar (medir) la distancia entre el borde de la vía y el peligro u obstáculo identificado. (Ver numeral 2.6)

Paso 5. Establecer la ubicación lateral de la barrera. (Ver numeral 2.7)

Paso 6. Definir los parámetros de comportamiento dinámico: el ancho de trabajo (W) y la deflexión dinámica máxima (D) que puede tener la barrera. (Ver numeral 2.8)

Paso 7. Seleccionar el tipo de barrera según su rigidez. En vista de que la implementación de un SCV no elimina la probabilidad de ocurrencia de un siniestro, es importante que la severidad del sistema determinado por su rigidez siempre sea una mejor opción frente a la gravedad del siniestro esperado sin SCV. Si se ha determinado necesario o pertinente complementar con un SPM o SPP, elegir el tipo de complemento que requiere la barrera. (Ver numeral 2.9)

Paso 8. Determinar la disposición en altura de la barrera. (Ver numeral 2.10)

Paso 9. Calcular la longitud de la barrera. (Ver numeral 2.11)

Paso 10. Establecer el tipo de terminal. Determinar abatimiento y esviaje según consideraciones del sitio y tipo de barrera o si requiere un TAE o TAI. (Ver numeral 2.12)

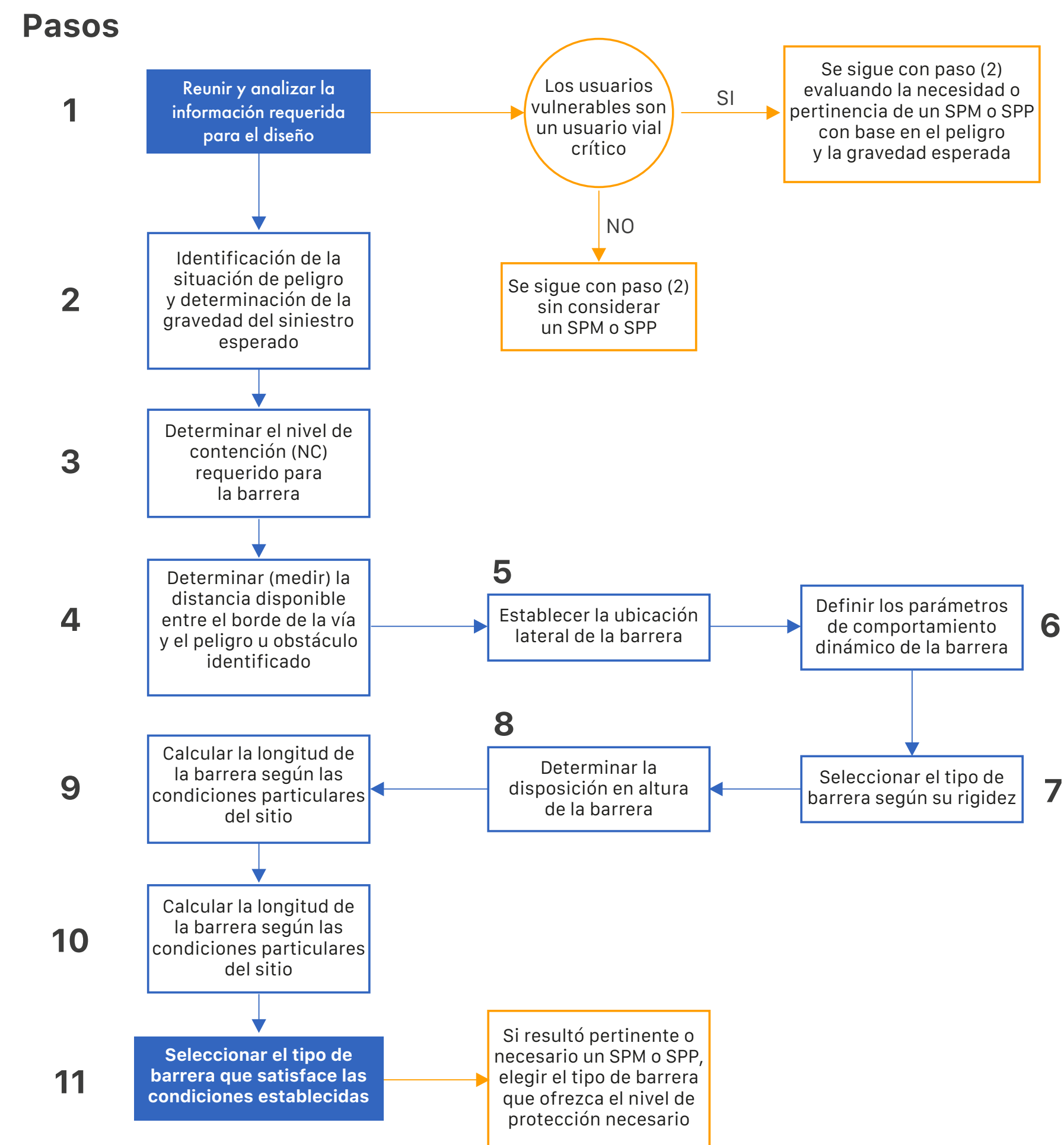
Paso 11. Seleccionar la barrera que satisface las condiciones

establecidas. Una vez diseñada la barrera, y como última etapa del procedimiento de diseño, se elige el sistema más adecuado dentro de los sistemas de contención disponibles en el mercado y debidamente certificados según estándares internacionales. Se elige el tipo de barrera de la Tabla 2 teniendo como referencia los parámetros de ensayo mostrados en la Figura 25.

El proceso anterior indica el paso a paso para el diseño de barreras longitudinales. Cuando estas barreras requieren tener continuidad con otras barreras, se debe diseñar una transición acorde a las características de ambas barreras, tal como se describió en el numeral 1.1.4 y se detalla más adelante para su diseño en el numeral 2.13.

Es importante indicar que, en el caso de barreras longitudinales para su aplicación en puentes, siempre debe instalarse una barrera longitudinal tipo "pretil de puente", diseñada y ensayada especialmente para este tipo de aplicación. Ver numeral 2.14.

Figura 29. Esquema del procedimiento general de diseño de una barrera longitudinal (Paso-a-Paso).



Este procedimiento puede ser aplicado para el diseño de barreras longitudinales que serán instaladas tanto en vías existentes como en proyecto, tanto en entornos urbanos como rurales (y suburbanos).

Algunas situaciones que requieren un tratamiento especial en el procedimiento de diseño son:

- » Barreras en tramos curvos
- » Barreras en intersecciones
- » Barreras frente a accesos a predios
- » Barreras en separadores centrales
- » Barreras temporales (en zonas de obras)
- » Barreras en entornos urbanos

Fuente: Adaptado, complementado y ajustado de: (Valverde González, 2011, pág. 63)

2.3 Análisis de información para el diseño (paso 1)

La siguiente información debe obtenerse como insumo para el análisis del SCV y diseño de la barrera para cada tramo o sector donde se identifique como necesaria y pertinente esta medida de seguridad vial:

- » Registro y análisis de concentración de siniestros viales (Ver Guía metodológica para focalización de elementos viales críticos, ANSV, 2021).
- » Volumen y composición del tránsito vehicular: tránsito promedio diario (TPD), porcentaje de automóviles y camiones (discriminando tipologías y número de ejes), volumen de ciclistas, motociclistas y peatones.
- » Velocidad de operación (V85) o velocidad específica de diseño de la vía.
- » Características geométricas de la vía (pendiente, curvatura, peralte, etc.).
- » Información topográfica de las zonas laterales de la carretera: longitudes transversales y pendientes del terreno.
- » Características de los peligros potenciales y su ubicación detallada con respecto al borde de la vía. (Ver Tabla 3. Elementos potencialmente peligrosos en la zona lateral.)
- » Ubicación y descripción de los lugares y elementos que pueden representar una dificultad para ejecutar un posible tratamiento, como accesos a propiedades, paradas de buses, ciclorrutas, elementos del sistema de drenaje, postes de servicios públicos, etc.
- » Condición de la estructura de pavimento (incluyendo la berma).
- » Ubicación de los sitios donde la visibilidad y la distancia de visibilidad de parada son restringidas.
- » Ubicación, disposición, tipo y condición de las barreras longitudinales existentes en la vía.

El propósito de recopilar toda esta información es conseguir que el tratamiento de los peligros potenciales en cada sector de la vía donde se requieran estos sistemas sea consistente y adecuado para las condiciones particulares que se presenten a lo largo de la vía, y que, por lo tanto, el nivel de seguridad aportado por este tipo de tratamientos sea uniforme en todo el recorrido de esta. Remitirse al Anexo G para obtener información complementaria.

2.4 Identificación del peligro y determinación de la gravedad del siniestro esperado (paso 2)

El peligro u obstáculo es aquel elemento o situación de peligros en la zona lateral al cual espera blindar con la barrera longitudinal ante una eventual salida de un vehículo de la carretera. La gravedad del siniestro esperado es aquella que tendría lugar si no se interviene el sitio o punto crítico y dicho siniestro se materializa. Para efectos de determinar el nivel de gravedad, es decir, si dicha gravedad es baja, moderada o grave con la cual pasar a determinar el nivel de contención de la barrera. Ver Tabla 3.

Tabla 3. Elementos potencialmente peligrosos en la zona lateral.

Peligros potenciales	Tipo	Continuo	Discontinuo	Nivel de gravedad (5)		
				1 Baja	2 Moderada	3 Alta
OBJETOS FIJOS						
Pilas, estribos de puentes y terminales de barreras de puentes.	Artificial		X		X	X
Extremos de barreras con terminales tipo "cola de pescado".	Artificial		X		X	
Bordillos ≥ 15 cm	Artificial	X		X		
Soportes no fusibles/colapsables de señales de tránsito tipo pasacalle, postes SOS, y luminarias (²) siempre que la velocidad de circulación sea inferior a 80 km/h.	Artificial		X		X	
Soportes no fusibles/colapsables de señales de tránsito tipo pasacalle, postes SOS, y luminarias (²) siempre que la velocidad de circulación sea mayor o igual a 80 km/h.	Artificial		X		X	
Cruce de dos carreteras de doble sentido de circulación, cuando la del nivel superior tenga un TPD de vehículos pesados igual o superior a 2000.	Artificial		X		X	

Tabla 3. Elementos potencialmente peligrosos en la zona lateral. (Cont.)

Peligros potenciales	Tipo	Continuo	Discontinuo	Nivel de gravedad (⁵)		
				1 Baja	2 Moderada	3 Alta
OBJETOS FIJOS						
Siempre que se justifique adecuadamente, en emplazamientos singulares, tales como: » Intersecciones complejas⁶ en los que pueda resultar más probable un error por parte del conductor. » Intersecciones situadas en las proximidades de obras de paso. » Emplazamientos identificados como puntos o sectores críticos por siniestralidad asociados a salida de vía. » Estructuras que salvan zonas singulares (grandes cursos de agua, valles de muy difícil acceso).		X				X
Caída desde estructuras con desnivel superior a 2,0 m	Artificial	X			X	
Caída desde estructuras con desnivel inferior a 2,0 m.	Artificial	X			X	

6 En proyectos nuevos o que modifiquen sustancialmente la geometría de las intersecciones, hay una gran oportunidad de diseñar una intersección más legible y clara para todos los usuarios viales, evitando una configuración que genere comportamientos peligrosos. Lo anterior en sintonía con el enfoque de sistema seguro.

Tabla 3. Elementos potencialmente peligrosos en la zona lateral. (Cont.)

Peligros potenciales	Tipo	Continuo	Discontinuo	Nivel de gravedad (5)		
				1 Baja	2 Moderada	3 Alta
OBJETOS FIJOS						
Cursos de agua permanente de profundidad ≥ 0,3 m y < 1,0 m	Natural	X			X	
Cursos de agua permanente de profundidad ≥ 1 m	Natural	X			X	
Árboles individuales de, 10 cm < Ø < 15 cm, siempre que la velocidad de circulación sea igual o superior a 80 km/h	Natural		X		X	
Árboles de Ø ≥ 15 cm siempre que la velocidad de circulación sea igual o superior a 80 km/h	Natural		X		X	
Árboles de, Ø ≥ 15 cm siempre que la velocidad de circulación sea inferior a 80 km/h	Natural		X		X	
Postes de servicios públicos, siempre que la velocidad de circulación sea igual o superior a 80 km/h	Artificial		X		X	
Postes de servicios públicos, siempre que la velocidad de circulación sea inferior a 80 km/h	Artificial		X		X	

Tabla 3. Elementos potencialmente peligrosos en la zona lateral. (Cont.)

Peligros potenciales	Tipo	Continuo	Discontinuo	Nivel de gravedad (⁵)		
				1 Baja	2 Moderada	3 Alta
OBJETOS FIJOS						
Postes S.O.S.	Artificial		X		X	
Cantos Rodados Ø≥0,3 m	Natural	X			X	
Cantos Rodados Ø < 0,3 m	Natural		X		X	
Paso sobre vía férrea o vía férrea paralela a la carretera	Artificial	X			X	
Paso sobre vía férrea, autopista, autovía o carretera convencional, y que en el emplazamiento de la carretera concurren curvas horizontales o acuerdos verticales (alineamiento vertical) de dimensiones inferiores a las admisibles por la norma de trazado	Artificial	X			X	
Vías ciclistas o peatonales adyacentes a la calzada	Artificial	X			X	
Obstáculos tales que el choque de un vehículo contra ellos pueda producir daños graves en elementos estructurales de un edificio, paso superior u otra construcción	Artificial		X		X	

Tabla 3. Elementos potencialmente peligrosos en la zona lateral. (Cont.)

Peligros potenciales	Tipo	Continuo	Discontinuo	Nivel de gravedad (5)		
				1 Baja	2 Moderada	3 Alta
OBJETOS FIJOS						
Existencia a nivel inferior de instalaciones contiguas a una obra de paso, permanentemente habitadas, para almacenamiento de sustancias peligrosas, o que presten servicio público de interés general, previamente autorizadas a tal fin y situadas dentro de la zona de afección de la carretera. Edificaciones en riesgo de colapso.	Artificial		X		X	
ANCHO DEL SEPARADOR EN VÍAS DE DOS CALZADAS CON SENTIDOS DE CIRCULACIÓN CONTRARIOS.						
Alineamientos rectos, lados interiores de las curva y lado una curva de radio > 1 500 m						
Pendiente talud 1V:8H ancho de separador menor de 10			X		X	
Pendiente 1V:8H a 1V:5H a talud, ancho de separador menor de 12 m			X		X	
Pendiente < 1V:5H a talud, ancho de separador menor de 14 m			X		X	
Pendiente talud 1V:8H ancho de separador menor de 6 m			X	X		

Tabla 3. Elementos potencialmente peligrosos en la zona lateral. (Cont.)

Peligros potenciales	Tipo	Continuo	Discontinuo	Nivel de gravedad ⁽⁵⁾		
				1 Baja	2 Moderada	3 Alta
Pendiente 1V:8H a 1V:5H a talud, ancho de separador menor de 8 m			X	X		
Pendiente < 1V:5H a talud, ancho de separador menor de 10 m			X	X		
Lado exterior de una curva de radio < 1 500 m						
Pendiente talud 1V:8H ancho de separador menor de 12			X		X	
Pendiente 1V:8H a 1V:5H a talud, ancho de separador menor de 14 m			X		X	
Pendiente < 1V:5H a talud, ancho de separador menor de 16 m			X		X	
Pendiente talud 1V:8H ancho de separador menor de 10 m			X	X		
Pendiente 1V:8H a 1V:5H a talud, ancho de separador menor de 12 m			X	X		
Pendiente < 1V:5H a talud, ancho de separador menor de 14 m			X	X		

Tabla 3. Elementos potencialmente peligrosos en la zona lateral. (Cont.)

Peligros potenciales	Tipo	Continuo	Discontinuo	Nivel de gravedad ⁽⁵⁾		
				1 Baja	2 Moderada	3 Alta
ELEMENTOS DE DRENAJE						
Cabezales de alcantarilla y de pontones verticales H< 0,6 m	Artificial		X		X	
Cabezales de alcantarilla y de pontones verticales H ≥ 0,6 m	Artificial	X			X	
Canal o Sección transversal en "V" o trapezoidal con cambios bruscos de inclinación (fuera de la sección transversal preferida de la RDG, Figuras 3.6 y 3.7) ⁽³⁾	Artificial	X			X	
Cuneta o berma cuneta de H ≥ 15 cm (excepto cunetas de seguridad)	Artificial	X			X	
Extremo expuesto de alcantarilla transversal sin muro-cabezal, Ø ≤ 1 m	Artificial		X		X	
Extremo expuesto de alcantarilla transversal sin muro-cabezal, Ø > 1 m	Artificial		X		X	
Pendiente < 1V:5H a talud, ancho de separador menor de 14 m			X	X		

Tabla 3. Elementos potencialmente peligrosos en la zona lateral. (Cont.)

Peligros potenciales	Tipo	Continuo	Discontinuo	Nivel de gravedad (⁵)		
				1 Baja	2 Moderada	3 Alta
TALUDES (⁴)						
P=1V:3H de H < 2 m	Natural	X		X		
P=1V:3H de H ≥ 2 m	Natural	X			X	
1V: 2H≤P≤ 1V:1.5H de H < 2 m	Natural	X			X	
1V: 2H≤P≤ 1V:1.5H de H ≥ 2 m	Natural	X			X	
Talud Vertical H < 2 m	Natural	X			X	
Talud Vertical (Precipicio) H ≥ 2 m	Natural	X			X	
Taludes en corte disparejos, o con profundos surcos de erosión, rocas grandes y árboles	Natural	X			X	
Sección en corte vertical con proyección horizontal ≤ 20 cm	Artificial o Natural	X		X		
Sección en corte vertical con proyección horizontal > 20 cm	Artificial o Natural	X			X	

Tabla 3. Elementos potencialmente peligrosos en la zona lateral. (Cont.)

Notas⁷:
3. Normalmente el blindaje de un peligro no traspasable o un objeto fijo se justifica solo cuando el peligro está dentro de la zona despejada, y práctica y económicamente no puede eliminarse sacarse, reubicarse o hacerse rompible, y se ha determinado que una barrera es un peligro menor que la condición desprotegida.
4. Donde sea posible, todos los soportes de señales y luminarias deberían ser de soporte rompible, independientemente de su distancia al borde de la calzada, si hay una razonable probabilidad que sean golpeados por un conductor errante. Como referencia se puede consultar la norma EN 12767 que desarrolla los criterios de aceptación y prueba de las estructuras de soporte del equipamiento de carretera.
5. La Roadside DesignGuide (American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO], 2011) en las figuras 3.6 y 3.7 muestra las recomendaciones para la sección transversal preferida para las cunetas, Figura 105. Secciones transversales preferidas para canales con cambios abruptos de pendiente. y Figura 106 respectivamente, del ANEXOSE de esta metodología.
6. Se suponen taludes relativamente suaves y libres de obstáculos. Si los taludes son disparejos, tienen profundos surcos de erosión, grandes rocas y árboles, u otra vegetación que pueda causar que un vehículo sea inestable, entonces la clasificación debe incrementarse una categoría. También deben evaluarse las condiciones en el fondo de estos taludes.
7. Caracterización de los niveles de gravedad. Nivel 1: Gravedad baja, Nivel 2: Gravedad moderada, Nivel 3: Gravedad alta

Fuente: Adaptado de la (Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012) y complementado a partir de (Dirección General de Carreteras, 2014, pág. 7 a 10)

7 Las notas 1 y 2 están sustentadas con base en AASHTO (2011). Roadside Design Guide, capítulo 4 Sign, Signal, and Luminaire Supports, Utility Poles, Trees, and Similar Roadside Features, p. 4-1.

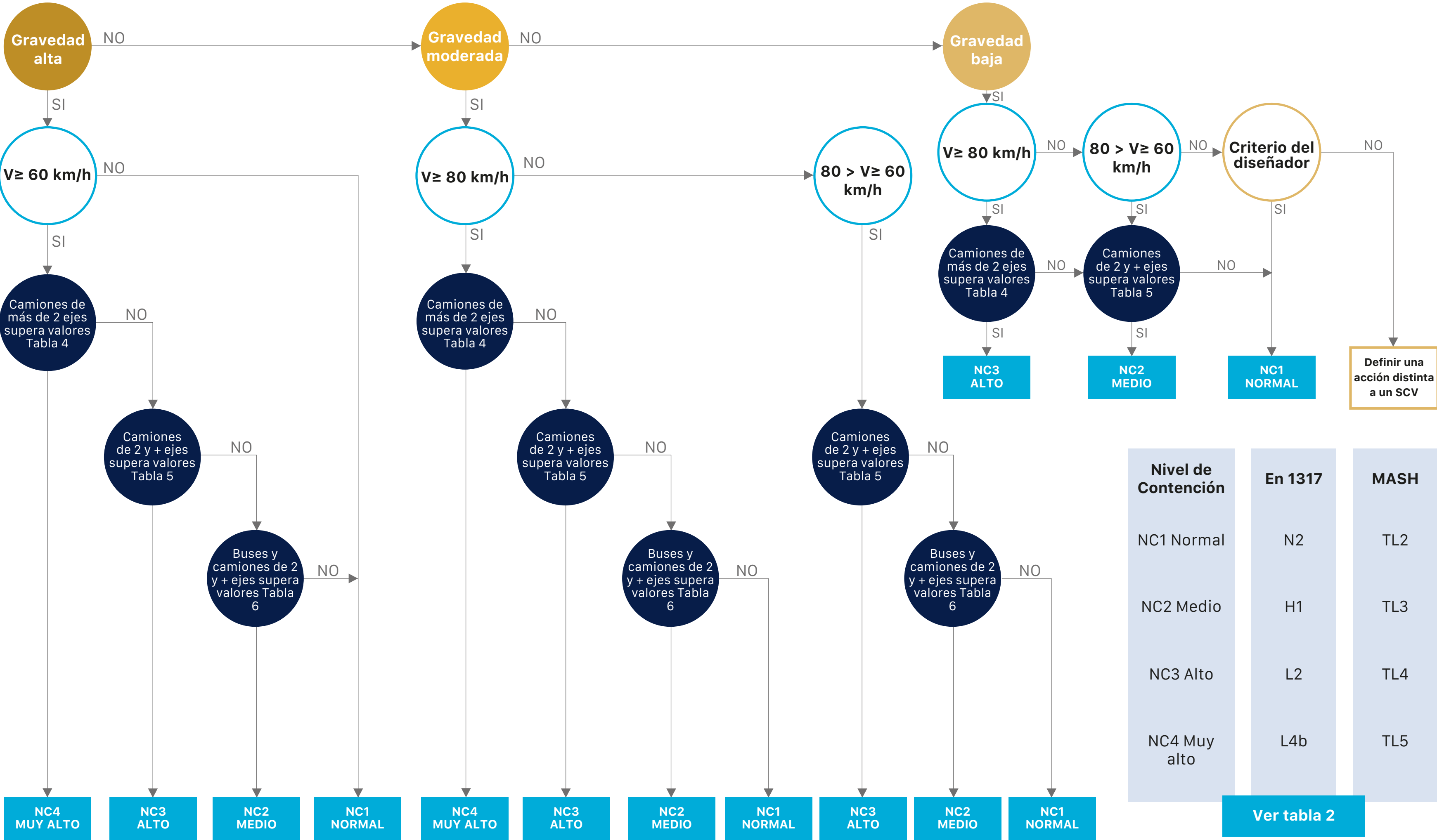


2.5 Selección del nivel de contención (paso 3)

Una vez determinado que es necesario blindar un elemento de riesgo, de conformidad con los criterios de la Metodología de Diseño de Zonas Laterales (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2022), se selecciona el NC en función de la gravedad que se esperaría de un siniestro por salida de la vía en el sitio

El NC de la barrera se determina siguiendo los criterios del algoritmo presentados en la Figura 30 y sus tablas complementarias. Cada NC se dirige a un tipo de tránsito (composición vehicular) y características del tramo de carretera asociadas a la velocidad y naturaleza de los peligros u obstáculos existentes.

Figura 30. Algoritmo de selección del nivel de contención de barreras longitudinales.



Fuente: Adaptado, complementado y ajustado de MOP Dirección de Vialidad (2021). Manual de Carretera Volumen. Seguridad Vial. Santiago. Chile.

2.5.1 Descripción del algoritmo para seleccionar el nivel de contención de una barrera

Una vez recopilada y analizada la información necesaria para el diseño (TPD, velocidad, geometría de la vía, entorno) e identificado el peligro u obstáculo que requiere blindarse y su nivel de gravedad, se procede a ampliar el algoritmo para seleccionar el NC requerido para la barrera siguiendo los siguientes pasos:

Paso 1. El primer paso del algoritmo de la Figura 30 consiste en determinar si el riesgo del peligro u obstáculo identificado desencadena (o puede desencadenar) una gravedad alta, moderada o baja según los parámetros de la Tabla 3 que está en función del tipo de obstáculo que debe ser blindado. Establecer la gravedad permite identificar el punto de partida en el algoritmo desde el cual iniciar el proceso. En vías proyectadas, la gravedad esperada del peligro identificado se debe determinar a partir de los planos del proyecto los cuales deben contener detalle de las zonas laterales de la vía.

Paso 2. Una vez establecida la gravedad del siniestro esperado en el sitio, se determina el rango de velocidad de operación (V85) para vías existentes o velocidad de diseño para vías en proyecto.

El algoritmo presenta unos valores de referencia de velocidad que deben seguirse con base en la velocidad del tramo de estudio.

Paso 3. De acuerdo con el rango de velocidad seleccionado y según sea el tránsito de la vía (TPD), se verifica si la composición vehicular del tránsito de vehículos pesados supera los valores establecidos en la Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6, en ese orden. En particular para vías nuevas, los datos de TPD (cantidad de buses y camiones) serían los de la demanda estimada para el proyecto.

Paso 4. De acuerdo con el resultado del paso anterior, se establecen los niveles mínimos del NC requerido para la barrera longitudinal. Para mayor detalle consultar el numeral 2.1.1 y la Tabla 2. (Ver Anexo A para acceder a un ejemplo de aplicación)

Consideraciones especiales:

Si la velocidad de la carretera es menor de 60 km/h, y la gravedad esperada del siniestro que se desea evitar es alta o moderada, el nivel de contención mínimo de la barrera de seguridad que se debe instalar es normal.

Si la velocidad de la carretera es menor de 60 km/h, y la gravedad esperada del siniestro que se desea evitar es moderada, o la instalación de una barrera se justifica de acuerdo con el criterio del diseñador o el registro de siniestros por salida de vía en el sitio (de existir), en ese caso el nivel de contención mínimo de la barrera debe ser normal.



Fuente: Ministerio de Transporte - <https://flic.kr/ps/2WnpJd>

De no tenerse un registro histórico de siniestros por salida de vía en el sitio o si el criterio del diseñador no lo justifica una vez se ha analizado la presencia de elementos peligrosos, no se requerirá instalar una barrera longitudinal en sitios con velocidades menores a 60 km/h. Cuando la gravedad esperada del siniestro que se desea evitar es baja,, se deben evaluar medidas complementarias.

Las barreras longitudinales se instalan en una vía para reducir las consecuencias de un siniestro por salida de la vía, sin embargo, estos sistemas no evitan la ocurrencia de los siniestros, ni están exentos de riesgo para los ocupantes del vehículo, razón por la cual, además de las condiciones que se indican en la Figura 30, la elección del nivel de contención de la barrera debe complementarse con el criterio profesional, puesto que las particularidades del sitio y de operación de la vía requieren ser evaluadas técnicamente.

Una vez determinada la gravedad del siniestro esperado y la velocidad de la vía, es necesario tener el TPD de la vía discriminado por tipo de vehículo, determinar el peso que tienen los vehículos pesados (camiones y buses) en dicho TPD y

con ello, seleccionar el NC. Una vez identificada la velocidad, se debe comparar el TPD de camiones del tramo vial con el TPD de camiones indicado en las siguientes tablas según corresponda. Si el número de camiones de la vía no supera el valor calculado por la tabla, se debe pasar a chequear con los parámetros de la tabla siguiente.

Por ejemplo, para validar el requisito con la Tabla 4 se procede así: se toma el dato del TPD total de la vía o tramo de vía sobre el cual se está haciendo el diseño del SCV, así como sus valores por tipología de vehículo. Se revisa la tabla para determinar cuál fila aplica y se escoge la columna que corresponda a la vía sobre la cual se está diseñando (sea una sola calzada o doble calzada). Se toma el valor que allí aparece o se calcula con la fórmula si es el caso, si el valor del TPD de la vía sumando solo los camiones de 2 y más ejes superan los calculados por la tabla, se concluye que se requiere un NC4 MUY ALTO.

Tabla 4. Valores máximos de camiones de 2 y más ejes requeridos para justificar una barrera de nivel de contención MUY ALTO.

TPD	Camiones de más de 2 ejes (veh/día)	
	Una sola calzada	Doble calzada
≤ 1000	300	360
1000 - 3000	$300 + 0,10 \cdot (TPD - 1000)$	$360 + 0,12 \cdot (TPD - 1000)$
3000 - 7000	$500 + 0,08 \cdot (TPD - 3000)$	$600 + 0,10 \cdot (TPD - 3000)$
> 7000	$820 + 0,06 \cdot (TPD - 7000)$	$1000 + 0,08 \cdot (TPD - 7000)$

Fuente: (Dirección de Vialidad, 2021)

Tabla 5. Valores máximos de camiones de 2 y más ejes requeridos para justificar una barrera con nivel de contención ALTO.

TPD	Camiones de 2 y más ejes (veh/día)	
	Una sola calzada	Doble calzada
≤ 1000	120	150
≤ 1000	12%	15%

Fuente: (Dirección de Vialidad, 2021)

Tabla 6. Valores máximos de buses y camiones de 2 y más ejes requeridos para justificar una barrera con nivel de contención MEDIO.

TPD	Buses y camiones (veh/día)	
	Una sola calzada	Doble calzada
≤ 1000	250	300
≤ 1000	25%	30%

Fuente: (Dirección de Vialidad, 2021)

2.5.2 Selección del Índice de Severidad

El índice de severidad es la cualidad de un sistema que cuantifica el daño sufrido en el interior del habitáculo de un vehículo que impacta contra un sistema de contención. Por lo tanto, mide el riesgo que sufren los ocupantes del vehículo al impactar contra un sistema de contención y se debe considerar para la selección de una barrera cumpliendo la norma UNE 1317.

La severidad del impacto para los ocupantes del vehículo se evalúa mediante los índices: ASI, Índice de Severidad de la Aceleración (Acceleration Severity Index)) y THIV, Velocidad

Teórica de Choque de la Cabeza (Theoretical Head Impact Velocity). A través de estos índices se mide la severidad del impacto o nivel de riesgo al que se expone el conductor y los pasajeros del vehículo cuando este impacta contra el SCV⁸.

En la tabla siguiente aparece un resumen de los distintos valores en función del índice de severidad de impacto.

Tabla 7. Índices de severidad de impacto de barreras de seguridad y pretilles.

Índice de Severidad de impacto	Valores de los indicadores	
	ASI	THIV (km/h)
A	ASI ≤ 1,0	≤ 33
B	1,0 < ASI ≤ 1,4	≤ 33
C*	1,4 < ASI ≤ 1,9	≤ 33

Fuente: (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2011)

*: Aunque se haya definido este Índice de Severidad de Impacto, en la práctica no se contempla. Solo se admiten los índices de Severidad de Clase A y Clase B. Remitirse al numeral 4.1 para un mayor complemento sobre el índice ASI.

ASI: Índice de Severidad de la Aceleración (Acceleration Severity Index)

THIV: Velocidad Teórica de Choque de la Cabeza (Theoretical Head Impact Velocity)

8 Para información adicional sobre estos índices, remitirse a (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2021).

Siempre que sea posible debe seleccionarse un SCV con índice de severidad A.

En MASH este parámetro de comportamiento dinámico no está dado como criterio de diseño de barreras o pretilles, aunque los fabricantes suelen indicarlo.

2.6 Determinar la distancia entre el borde de la vía y el peligro identificado (Paso 4)

Este paso consiste en determinar la distancia entre el borde de la vía y los distintos obstáculos o peligros identificados en las zonas laterales, de manera que se tenga el dato preciso de los objetos más próximos que posteriormente definirán el ancho de trabajo disponible de la barrera y su tipo según rigidez.

2.7 Establecer la ubicación lateral de la barrera (Paso 5)

La ubicación lateral es un criterio de diseño e instalación importante debido a que un alto porcentaje de los conductores podría lograr detener el vehículo o recuperar el control de este, en un área plana y libre de obstáculos que se extienda frente a la

barrera longitudinal. Por esta razón, las barreras longitudinales deben colocarse a la mayor distancia posible desde el borde de la vía, de esta manera se maximizan las probabilidades de evitar una colisión con el sistema y de que el conductor pueda recuperar el control del vehículo. También proporciona una mejor distancia visual, particularmente en las intersecciones.

2.7.1 Distancia al borde de la calzada

La distancia a partir de la cual un objeto ubicado en la zona lateral de la vía es percibido como un obstáculo o peligro y que induciría al conductor a reducirla velocidad o cambiar la posición del vehículo en la calzada, se define como distancia de preocupación (en inglés "shy line offset"). Según AASHTO (2011), las barreras longitudinales se deben colocar a una distancia mínima igual a la distancia de preocupación LS (ver Tabla 8), medida desde el borde externo del carril de circulación. Este criterio de diseño para la disposición lateral de la barrera pretende incorporar el efecto de la velocidad en la percepción que tiene el conductor del vehículo, puesto que a mayor velocidad de circulación (operación) mayor debería ser la distancia desde el borde de vía a la cual se debe colocar la

barrera. Este criterio busca evitar perturbaciones indeseables en la conducción en el sentido de que la barrera se constituya en un peligro adicional por su cercanía al carril de circulación.

Sin embargo, la distancia de preocupación es un criterio que pocas veces rige la instalación de una barrera longitudinal, ya que, si esta se coloca más allá de la berma, no tendrá un efecto importante en la velocidad de circulación o en la posición del vehículo en la calzada.

Tabla 8. Distancias de preocupación (Ls).

Velocidad (km/H)	Distancia entre el borde de la vía y la línea de preocupación, LS (m)
50	1,1
60	1,4
70	1,7
80	2,0
90	2,2
100	2,4
110	2,8
120	3,2

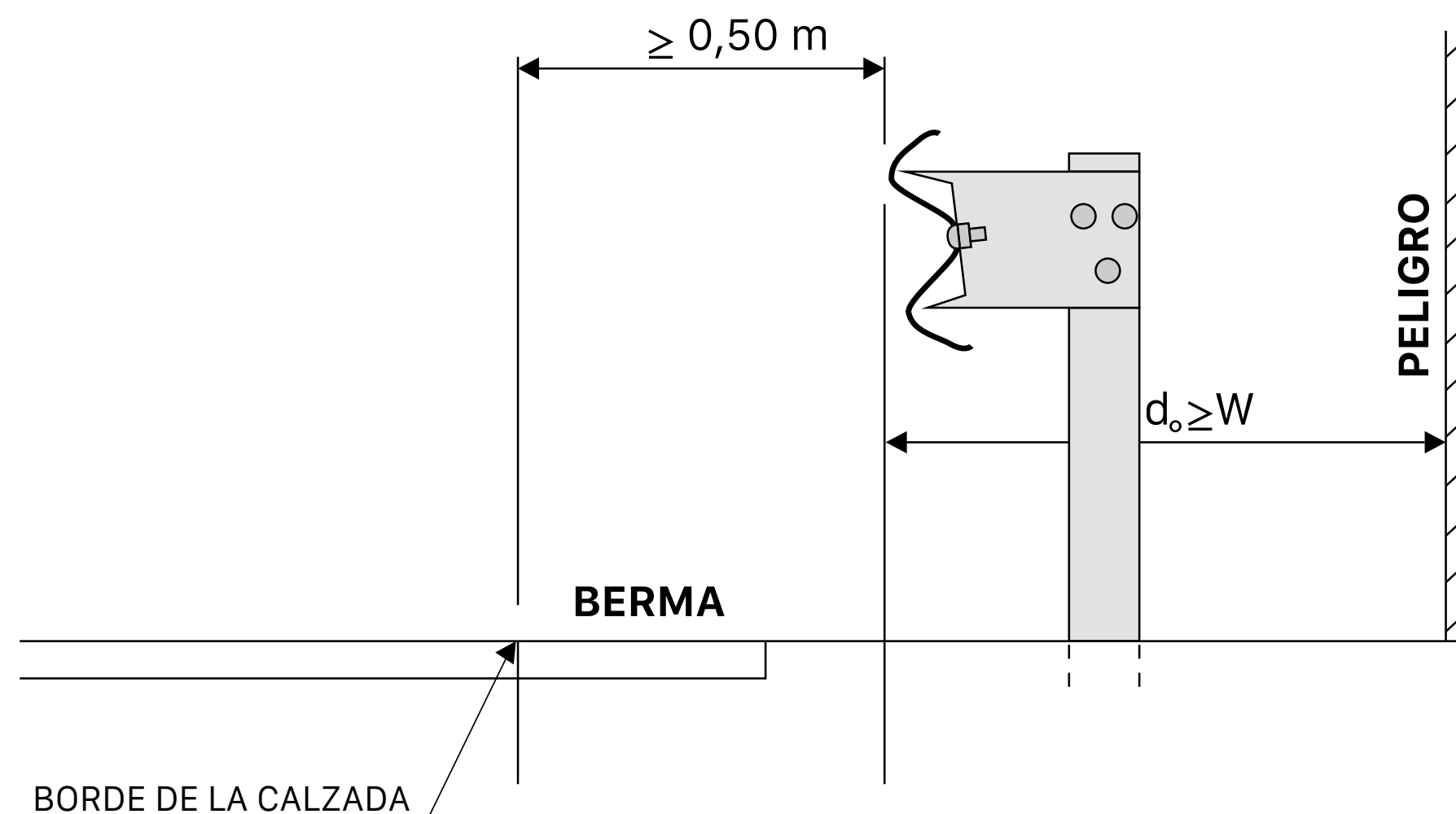
Se sugiere que se mantenga una zona despejada entre el tránsito y los elementos ubicados en las zonas laterales de las vías (como cabezales, barreras longitudinales, muros de contención, barandas de puentes y otros). La razón es que un alineamiento uniforme realza la seguridad de la vía, ya que se reduce la preocupación y la reacción del conductor ante los objetos ubicados en las zonas laterales. Los tratamientos que pueden aplicarse para lograr esta zona libre uniforme pueden consultarse en la MDZL (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2022)

La distancia de preocupación recomendada se debe respetar si se trata de la instalación de una barrera corta y aislada, para evitar una reacción súbita del conductor ante tal elemento. Por otra parte, nunca se debe instalar un dispositivo de seguridad a menos de 0,5 m del borde de la vía.



Fuente: Ministerio de Transporte - <https://flic.kr/ps/2WnpJd>

Figura 31. Disposición horizontal mínima de la barrera longitudinal.



Fuente: Adaptado de (Dirección General de Carreteras, 2014, pág. 26)

En proyectos futuros de ampliación y mejoramiento de las vías (como construcción de bermas), es una medida costo eficiente colocar las barreras más alejadas del borde de la vía para evitar tener que reubicarlas en un corto plazo con la consecuente afectación presupuestal.

Donde se instale un tramo de barrera significativamente extenso ($L > 50 \text{ m}$) es necesario proveer una berma amplia, en lo posible

de 3,0 m de ancho, que permita abrir las puertas de un vehículo estacionado en la zona lateral de la vía, sin interrumpir el tránsito en el carril adyacente. Si el espacio es limitado y no es esencial brindar una berma amplia para los vehículos que sufren una emergencia o desperfectos mecánicos, se puede proveer una berma más estrecha, siempre que se consideren las distancias de preocupación de la Tabla 8 medidas desde el borde de la vía.



Fuente: Ministerio de Transporte - <https://flic.kr/ps/2WnpJd>

Si la carretera posee berma, las barreras longitudinales deberán colocarse fuera de la misma. Se recomienda, en cualquier caso, colocar las barreras longitudinales lo más lejos posible del borde de la vía, pero sin sobrepasar las distancias máximas que se indican en la Tabla 9.

Tabla 9. Distancias máximas recomendadas entre el borde de la vía y la barrera longitudinal.

Velocidad (km/H)	Distancia máxima (m)		
	Número de carriles por sentido		
	1	2	3
50	2,5	0,5	0,5
60	2,5	0,5	0,5
70	6,0	2,5	0,5
80	6,0	2,5	0,5
90	11,0	7,5	4,0
100	11,0	7,5	4,0
110	16,5	13,0	10,0
120	16,5	13,0	10,0

Fuente: (Valverde González, 2011, pág. 66)

2.7.2 Distancia a obstáculos y desniveles

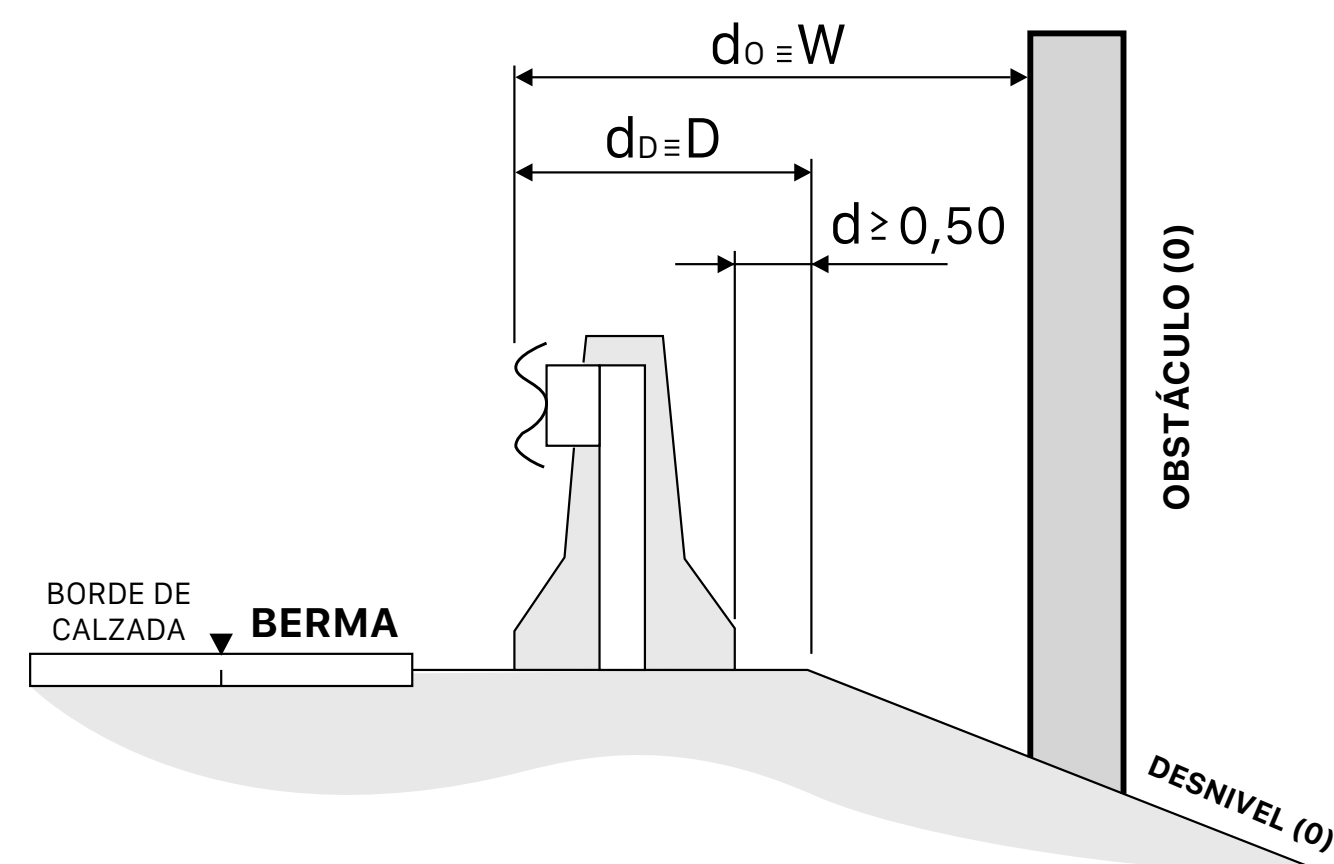
El espacio entre la barrera longitudinal y el obstáculo debe permitir que el sistema opere adecuadamente durante el impacto, de tal manera que cumpla con su función de contener y redireccionar el vehículo. Los parámetros de comportamiento

del sistema relevantes respecto a la distancia a obstáculos y a desniveles son el ancho de trabajo (W) y la deflexión dinámica (D) y que se encuentran conceptualizados en el numeral 2.1.3 y que se aplican en el paso siguiente (numeral 2.8).

La siguiente figura establece las distancias mínimas entre una barrera longitudinal y el elemento potencialmente peligroso. Debe procurarse una deflexión mínima (d) de 0,50 m entre la cara posterior de la barrera y el desnivel (cuando exista), de tal manera que se cuente con un margen de seguridad sobre terreno plano entre la fijación de los postes y el desnivel, el cual hará parte constitutiva del ancho de trabajo disponible (W) (Valverde González, 2011, pág. 37).

Una vez determinado el margen que debe dejarse respecto al desnivel (medido desde la cara posterior de la barrera) y la distancia al obstáculo (medida desde la cara anterior de la barrera), es posible establecer el ancho de trabajo disponible.

Figura 32. Ubicación de la barrera con respecto a los obstáculos.



Fuente: a partir de (Dirección General de Carreteras, 2014)

Figura 33. Fallas conceptuales en la ubicación lateral de la barrera.



Fuente: Fotos propias.

2.8 Definir los parámetros de comportamiento dinámico de la barrera (Paso 6)

Se deben definir los parámetros de comportamiento dinámico requerido para la barrera longitudinal, de tal forma que, en su selección, se deberá tener en cuenta que la deflexión dinámica o el ancho de trabajo indicados por el fabricante respondan a las características del tramo vial en el que se va a instalar la barrera.

Al respecto, se deben seleccionar barreras longitudinales en las cuales la deflexión dinámica indicada por el fabricante sea menor o igual a la distancia medida entre el borde de la vía o de la berma si existe y el obstáculo, como se indica en la Figura 31 y Figura 32.

En el caso de que el fabricante utilice el ancho de trabajo como parámetro de comportamiento dinámico, el ancho de trabajo indicado por el fabricante para un prototipo de barrera determinando deber ser menor o igual a la distancia medida desde la cara exterior de la barrera y el frente del obstáculo

Los anchos de trabajo se encuentran parametrizados o agrupados en 8 clases, de acuerdo con la norma EN 1317 (ver Tabla 10)

En cuanto al ancho de trabajo (W), es necesario tomar el ancho de trabajo medido en sitio y adoptar el ancho de trabajo normalizado que se más se le ajuste, por ejemplo, si se tiene un $W = 0,9 \text{ m}$ se puede tomar un $W_N \leq 1,0$ (W3).

Tabla 10. Anchos de trabajo normalizado según normativa EN 1317.

Clase de ancho de trabajo	Niveles de ancho de trabajo normalizado (m)
W_1	$W_N \leq 0,6$
W_2	$W_N \leq 0,8$
W_3	$W_N \leq 1,0$
W_4	$W_N \leq 1,3$
W_5	$W_N \leq 1,7$
W_6	$W_N \leq 2,1$
W_7	$W_N \leq 2,5$
W_8	$W_N \leq 3,5$

Fuente: (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2011)

2.9 Seleccionar el tipo de barrera según su rigidez (Paso 7)

Una vez determinados los parámetros de comportamiento dinámico, se selecciona el tipo de barrera de acuerdo con su rigidez. Si el obstáculo se ubica lejos del borde de la vía, es preferible instalar una barrera flexible ($2,0 \text{ m} < D \leq 3,5 \text{ m}$). Si el obstáculo está ubicado muy cerca del borde de la vía, la opción segura es instalar una barrera rígida ($D \leq 0,6 \text{ m}$) o semirrígida si hay un ancho de trabajo suficiente en la que pueda darse la deflexión dinámica de la barrera ($0,6 \text{ m} < D \leq 2,0 \text{ m}$). Ver Tabla 11.

La mayoría de las barreras longitudinales semirrígidas se pueden reforzar para blindar un objeto fijo aislado ubicado cerca de la vía, por medio de la colocación de postes adicionales o el refuerzo de la viga. Lo anterior debe ser definido por el fabricante o proveedor de tal manera que se garantice el NC seleccionado por el diseñador para el peligro identificado y las condiciones del sitio. Si este procedimiento no aplica, se debe verificar que la resistencia del suelo provea una adecuada cimentación de los postes de la barrera para que puedan tenerse las condiciones más cercanas a los que el sistema de contención fue ensayado (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011, págs. 6-16).

Tabla 11. Clasificación de las barreras longitudinales, según su rigidez.

Clasificación	Deflexión (m)	Ejemplos
Flexible	2,0 - 3,5	Barreras de cables
Semirrígido	0,6 - 2,0	Barreras metálicas
Rígido	0,0 - 0,6	Barreras de concreto ancladas

Fuente: (Valverde González, 2011, pág. 16 y 68)

2.10 Determinar la disposición en altura de la barrera (Paso 8)

La altura de la barrera longitudinal es uno de los aspectos que se debe vigilar con más atención, ya que el desempeño del sistema depende de que su disposición sea conforme a la especificada por el fabricante. La altura recomendada para las barreras o pretilas de puentes se establece a partir de los ensayos a escala real que se realizan para aprobar y clasificar un SCV, por lo tanto, se debe observar que durante su vida útil esta altura se mantenga constante. Por ejemplo, la altura relativa de la barrera con respecto a la calzada de la vía puede cambiar luego de que se aplique refuerzos de mantenimiento y conservación como la colocación de sobre carpetas asfálticas (AASHTO, 2011, págs. 6-16).

Un vehículo puede ser enganchado por los postes o pasar por debajo de la viga metálica si la altura de la barrera es mayor a la indicada por el fabricante, por otra parte, si el sistema se instala a una altura menor, el vehículo puede saltar la barrera, inclinarse sobre la barrera y colisionar con el obstáculo o volcarse.

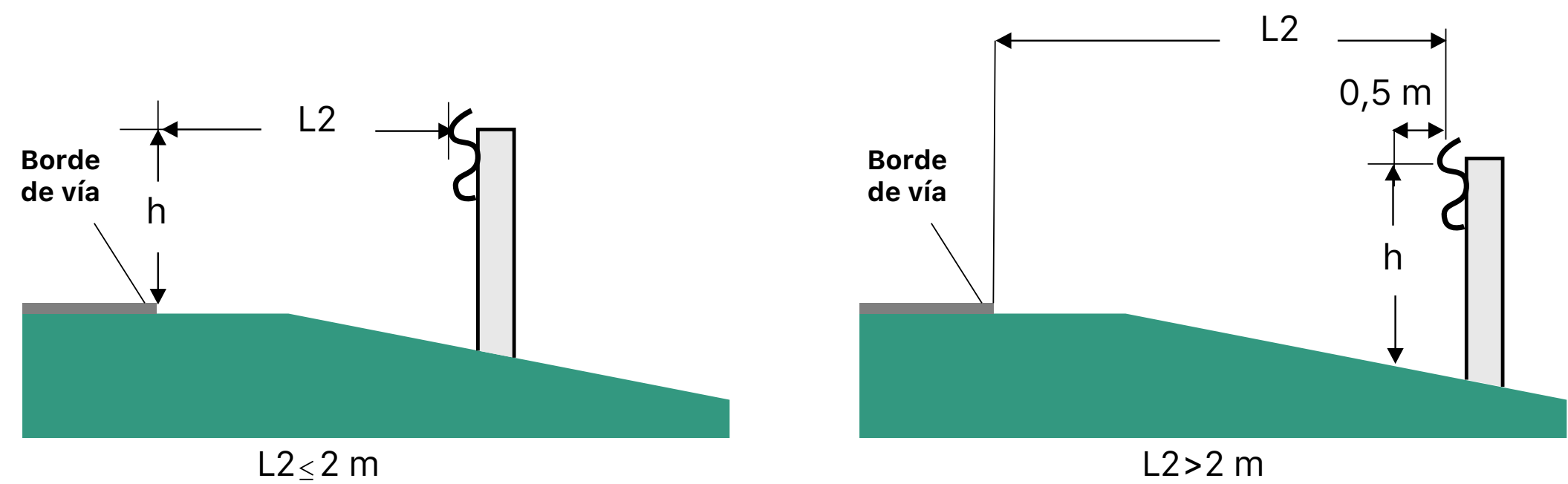
La altura recomendada para cada tipo de barrera longitudinal, pretilas de puentes u otro sistema de contención vial, la establece el fabricante, de acuerdo con los prototipos ensayados a escala real de forma eficaz bajo la norma EN 1317 o la norma MASH, que se realizan para aprobar y clasificar un sistema de contención vehicular.

Por lo tanto, las barreras longitudinales deben ser instaladas de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, cuidando que la altura se mantenga durante la vida útil de la barrera. El fabricante deberá suministrar un manual de instalación en el que se indique la altura de la barrera a instalar.

El punto de referencia con respecto al cual se debe medir la altura de la barrera se especifica en la Figura 34. Si la distancia lateral entre el límite externo del carril y el SCV es menor o igual

a 2,0 m, la altura se mide con respecto al borde externo del carril. Si la distancia es mayor a 2,0 m, la altura se mide con respecto a la superficie del terreno, a una distancia de 0,5 m de la cara anterior de la barrera.

Figura 34. Requerimientos para la disposición en altura de la barrera.



Fuente: Elaborado a partir de (Valverde González, 2011, pág. 38 y 67)

2.11 Calcular la longitud de la barrera (Paso 9)

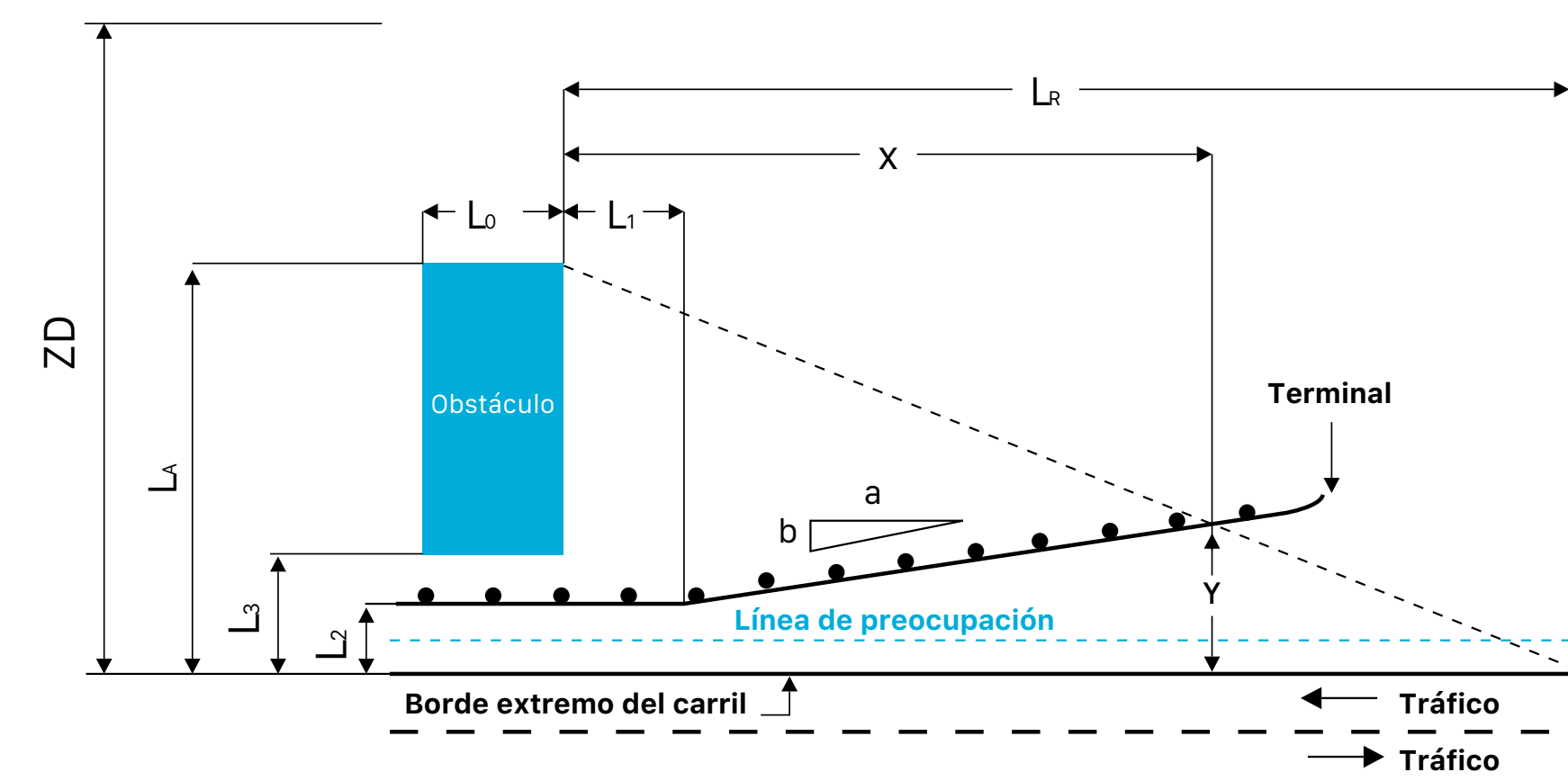
La longitud de la barrera es un paso importante dentro del proceso de diseño de la barrera longitudinal, una barrera muy corta probablemente no brindará suficiente protección ante

un siniestro por salida de vía, ya que no puede predecirse el punto exacto en donde será impactada la barrera a diferencia de lo que se espera ocurra con un amortiguador de impacto o lo que se anticiparía frente al uso de rampas de emergencia. Por otro lado, una barrera más larga de lo necesario puede resultar excesivamente costosa o representar un peligro adicional en el tramo donde no se requiere, razones por las cuales es importante determinar la longitud con base en el procedimiento que aquí se indica.

La disposición longitudinal de una barrera en relación con la zona peligrosa requiere que sea iniciada antes de la sección donde empieza el peligro y, además, debe ser prolongada más allá de la sección en que éste termina, con el propósito de proteger a los vehículos que circulan en sentido contrario. Se debe calcular primero el tramo antes del obstáculo y luego el tramo después del obstáculo. Esto puede visualizarse en la Figura 35 y Figura 36. Se debe además determinar la relación de esviaje en ambos extremos de la barrera de acuerdo con los criterios de la Tabla 13 (del numeral 3.12 de Terminales).



Figura 35. Variables que intervienen en el cálculo de la longitud de la sección de la barrera anterior al obstáculo.



Fuente: Adaptado de (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011)

Donde:

L_S = distancia de preocupación (Ver Tabla 8).

L_R = es la distancia teórica que recorre un vehículo que se sale de la vía fuera de control antes de detenerse. Se mide paralela a la vía desde el punto de inicio de la zona peligrosa hasta el punto donde se supone que el vehículo sale de la carretera. Este parámetro se obtiene de la

» Procedimiento para calcular la longitud de la barrera antes del obstáculo

Las variables que se consideran en el procedimiento para calcular la longitud del tramo de barrera anterior al obstáculo se muestran en la siguiente figura.

Tabla 12 en función de la velocidad del tramo de carretera (velocidad de operación para vías existentes o de diseño para vías proyectadas) y de su TPD.

Tabla 12. Valores de LR.

Velocidad (km/H)	Distancia máxima (m)		
	Número de carriles por sentido		
	1	2	3
50	2,5	0,5	0,5
60	2,5	0,5	0,5
70	6,0	2,5	0,5
80	6,0	2,5	0,5
90	11,0	7,5	4,0
100	11,0	7,5	4,0
110	16,5	13,0	10,0
120	16,5	13,0	10,0

Fuente: Adaptado de (American AASHTO, 2011, págs. 5-50)

ZD= es el ancho de la zona despejada. La MDZL (Agencia Nacional de Seguridad Vial [ANSV], 2022) contiene los criterios técnicos para determinar el ancho de la ZD. (Ver Anexo E).

L_A = es la distancia transversal desde el borde del carril hasta el extremo más alejado del obstáculo o zona peligrosa. Si la zona peligrosa se extiende más allá del límite de la zona ZD, L_A puede considerarse igual al ancho de ZD para el cálculo de la longitud de la barrera longitudinal.

L_0 = es la longitud del obstáculo medida paralela a la vía.

L_1 = es la longitud de la sección de barrera paralela a la vía antes del obstáculo, y su valor se determina de la siguiente manera:

0, si el obstáculo no sobresale del terreno, por ejemplo: taludes no traspasables, cuerpos de agua.

8,0 m si el obstáculo sobresale del terreno, por ejemplo: árboles, postes, pilares de puentes, estructuras del sistema de drenaje y otros

5,0 m como mínimo para pretilas de puente.

L_2 = es la distancia transversal desde el borde de la vía hasta la sección de la barrera longitudinal paralela a la vía. L_2 se

determina de acuerdo con los criterios del numeral 3.7 de este capítulo.

L_3 = es la distancia transversal desde el borde de la vía hasta el obstáculo o zona peligrosa.

a:b = es la relación de esviaje, la cual se determina en función de la velocidad del tramo de vía (velocidad específica de diseño o V), el tipo de sistema y la ubicación del sistema con respecto al borde de la vía. El tipo de sistema se refiere a su clasificación de acuerdo con el nivel de rigidez de acuerdo con la Tabla 11. La relación de esviaje, a:b se establece de acuerdo con los criterios de la Tabla 13.

X = es la longitud de la sección de barrera anterior al obstáculo. Si la barrera se instalara paralela a la vía en toda su longitud, X se calcula mediante la Ecuación 1, y si la barrera se instalará con esviaje X, se calcula mediante la Ecuación 2.

Y = es la distancia transversal desde el borde de la vía hasta el inicio o término de la barrera y se calcula mediante la barrera y se calcula mediante la Ecuación 3.

Ecuación 1:
$$X = \frac{L_A - L_2}{L_A / L_R}$$

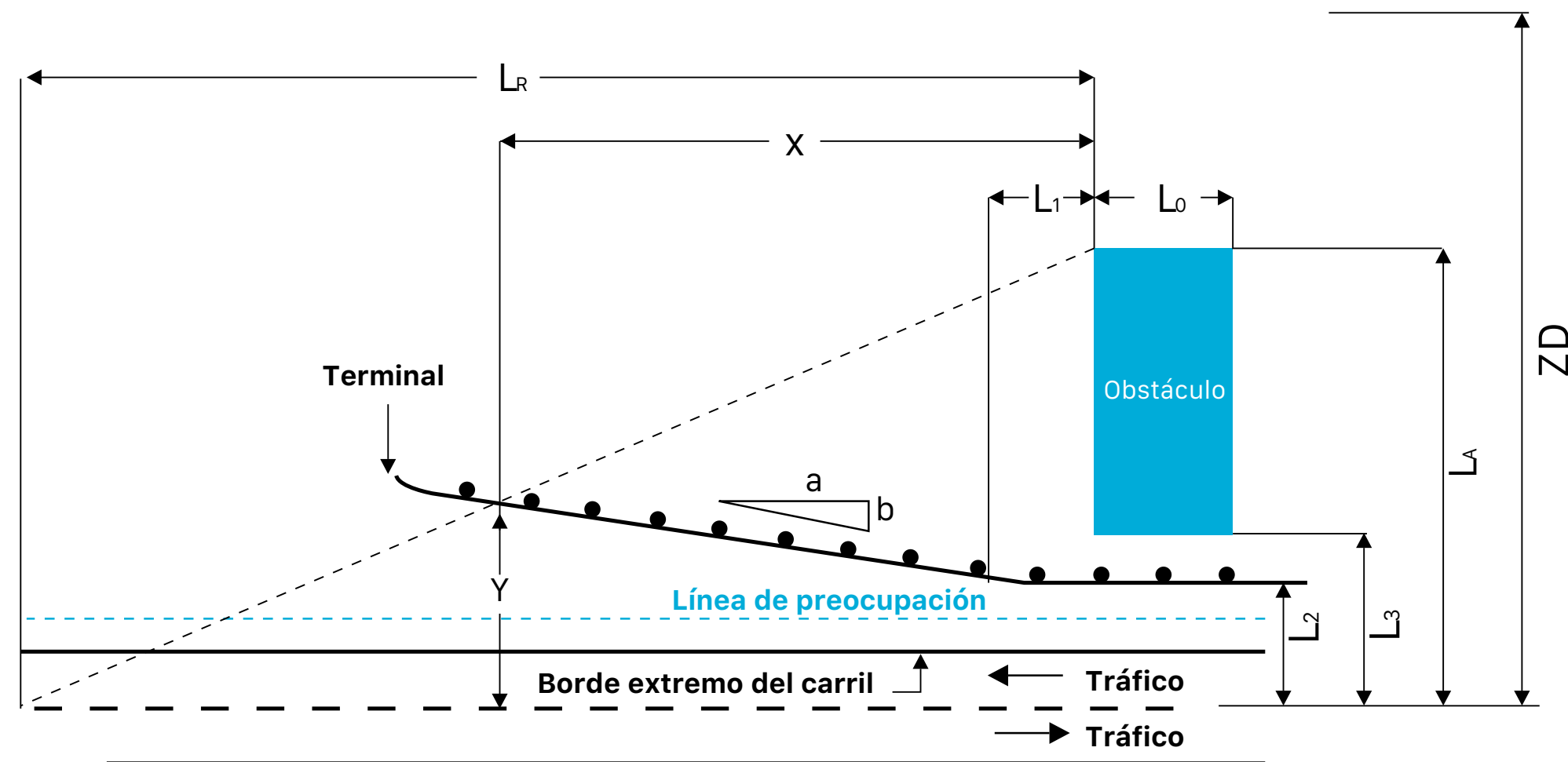
Ecuación 2:
$$X = \frac{L_A + \left(\frac{b}{a}\right)L_1 - L_2}{\left(\frac{b}{a}\right) + \left(\frac{L_A}{L_R}\right)}$$

Ecuación 3:
$$Y = L_A - \left(\frac{L_A}{L_R}\right)X$$

» Procedimiento para calcular la longitud de la barrera después del obstáculo

La longitud de la sección de la barrera posterior al obstáculo se calcula siguiendo el mismo procedimiento ya indicado, pero las variables de diseño se miden con respecto a la zona lateral del carril de circulación en sentido contrario. En la siguiente figura se observa que la línea de referencia ya no es el borde del carril de circulación del sentido sobre el cual se dispone la barrera sino el eje de la calzada, ya que este tramo posterior de la barrera (después del obstáculo) debe diseñarse para proteger a los vehículos errantes del sentido contrario.

Figura 36. Variables que intervienen en el cálculo de la longitud de la sección de la barrera posterior al obstáculo.



Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011, págs. 5-54)

Para AASHTO (2011) hay que tener una especial atención en la ZD en el tramo de barrera posterior al obstáculo y que es crítica para los vehículos en sentido contrario, en los siguientes casos:

- » Si la barrera está más allá de la ZD, no se necesita una barrera adicional ni una terminal a prueba de choques. En este caso, algunos diseñadores suelen utilizar una terminal a prueba de choques en carreteras no divididas de 2 carriles y no en carreteras divididas.

- » Si la barrera está dentro de la ZD, pero el área de interés está más allá, no se necesita una barrera adicional, pero se debe usar una terminal a prueba de choques.
- » Si el área de interés se extiende mucho más allá de la ZD adecuada (p. ej., un río), el diseñador puede optar por proteger solo la parte que se encuentra dentro de la zona despejada estableciendo LA igual a ZD.

Las fórmulas y procedimientos anteriores para el cálculo de la longitud de una barrera longitudinal se aplican solamente a este tipo de barreras ubicadas en la zona lateral externa de la vía en tramos rectos de carretera.

Las especificaciones técnicas del fabricante pueden establecer longitudes mínimas de barrera mayores a las que se obtienen con este procedimiento, en cuyo caso deben acatarse tales especificaciones de fábrica.

Se deben unir los tramos de barrera que estén separados por menos de 50 m de distancia. A menos que entre ambas barreras se encuentre un acceso a una propiedad, parada de buses, entre otros.

2.11.1 Longitud de la barrera en curvas

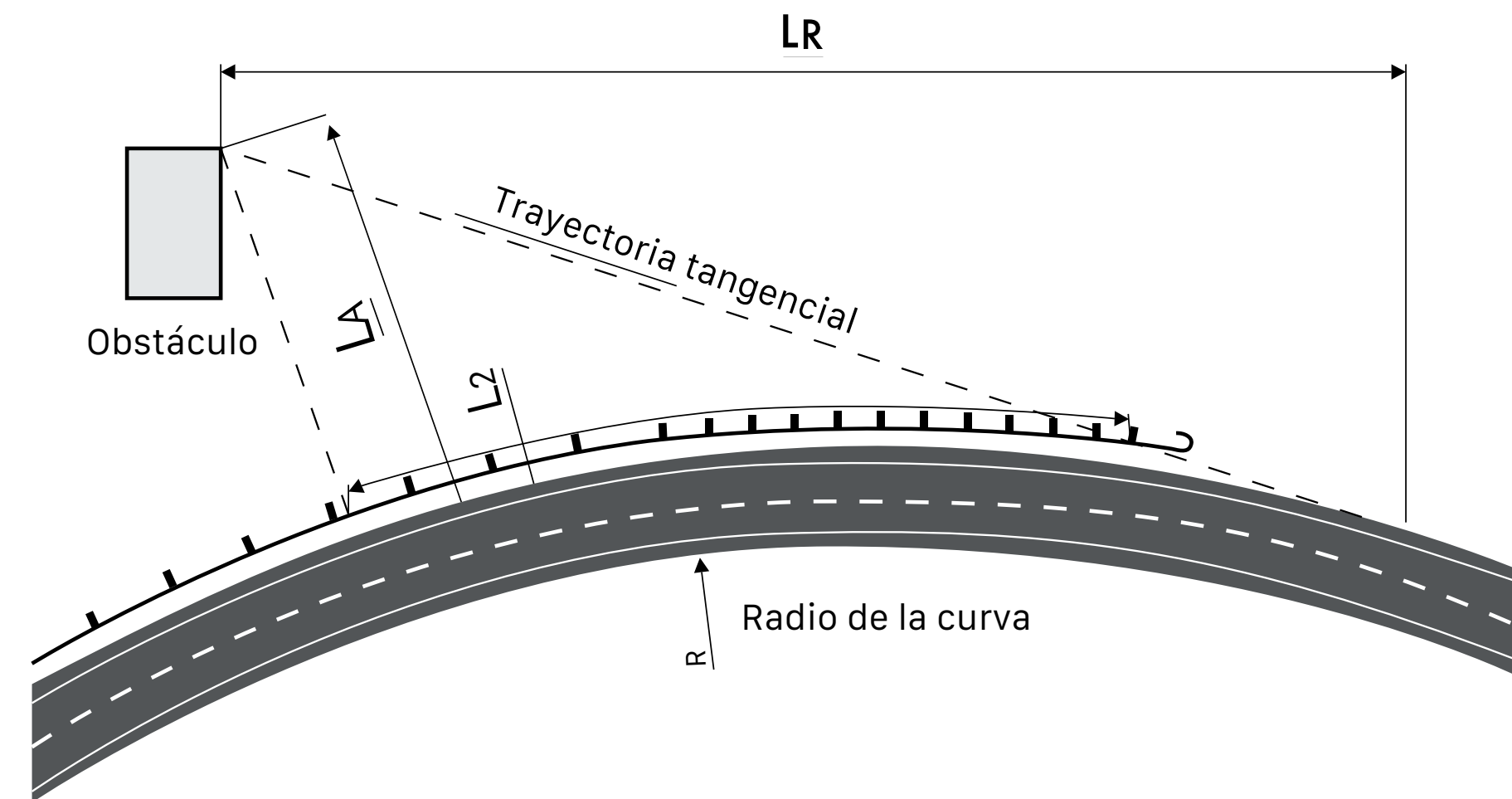
La longitud de la barrera en un tramo curvo de carretera se calcula por medio de un procedimiento gráfico. Se asume que la trayectoria de salida de la vía del vehículo es tangente a la curva. Este será el caso si la zona despejada en las zonas laterales de la vía es plana y traspasable (pendientes iguales a 1V:3H o más planas).

Se debe trazar una línea desde el borde externo del obstáculo o el límite de la zona libre hasta un punto de tangencia en la curva para determinar la longitud de la barrera, como se muestra en la Figura 37. Generalmente no se requiere alejar el terminal del borde de la vía (efecto de esviaje).



Fuente: Ministerio de Transporte - <https://flic.kr/ps/2WnpJd>

Figura 37. Barrera longitudinal ubicada en un tramo curvo de carretera (curva circular).



Fuente: Basado en (AASHTO, 2011, págs. 5-59)

Donde:

LR = es la distancia teórica para determinar la longitud necesaria de la barrera. Es la distancia que recorre un vehículo que se sale de la vía fuera de control antes de detenerse. Se mide paralela a la vía desde el punto de inicio de la zona peligrosa hasta el punto donde se supone que el vehículo sale de la carretera. Este parámetro se obtiene de

la Tabla 12 en función de la velocidad del tramo (velocidad de operación para vías existentes o de diseño para vías proyectadas) y de su TPD.

L_A = es la distancia transversal desde el borde del carril hasta el extremo más alejado del obstáculo o zona peligrosa. Si la zona peligrosa se extiende más allá del límite de la zona ZD, L_A puede considerarse igual al ancho de ZD para el cálculo de la longitud de la barrera longitudinal.

L_2 = es la distancia transversal desde el borde de la vía hasta la sección de la barrera longitudinal paralela a la vía. L_2 se determina de acuerdo con los criterios del numeral 3.7 de este capítulo.

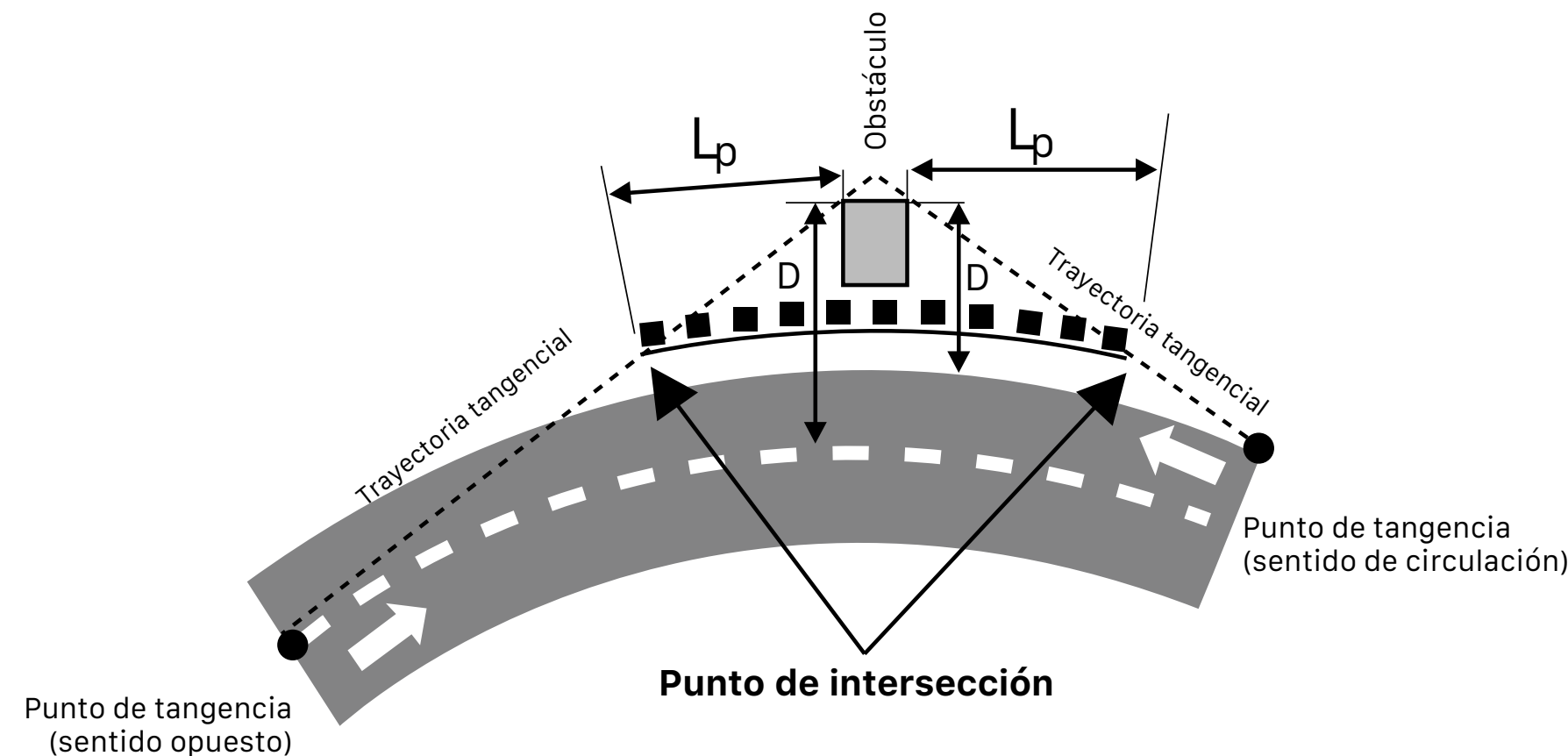
Un vehículo que sale de la carretera por el exterior de una curva generalmente seguirá una trayectoria de descentramiento tangencial si el área fuera de la carretera es plana y transitable. Por lo tanto, en lugar de utilizar la distancia teórica LR para determinar la longitud necesaria de la barrera, se traza una línea desde el borde exterior del obstáculo (o desde el borde exterior de la ZD si se trata de una característica del terreno continua no

transitable, como el lecho de un arroyo) hasta un punto tangente a la curva para determinar la longitud necesaria de la barrera. La longitud de la barrera en curvas está dada entonces, en función de la distancia del borde exterior del obstáculo y un punto tangente de la curva, por lo que puede obtenerse más fácilmente de manera gráfica sobre un plano en planta a escala.

» Longitud de barreras en curvas espirales

La longitud de la barrera en curvas espirales también se determina gráficamente o a través de medidas en campo. El esquema básico para trazar las líneas tangenciales que sirven de referencia está dado en la Figura 38.

Figura 38. Longitud previa mínima de barreras para obstáculos en curvas horizontales espirales.



Fuente: Elaboración propia a partir de (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2020).

La longitud previa mínima (LP) necesaria de la barrera en una curva espiral debe ser siempre igual a 10 m o mayor, se determina gráficamente o en campo mediante el siguiente procedimiento:

1. En el borde anterior del obstáculo en el sentido del flujo vehicular se selecciona el punto más alejado del borde del carril de circulación. Si la distancia "D" entre ese punto y el borde del carril es mayor de 9 m, el punto se ubica a esta última distancia.

2. Desde el punto seleccionado se traza en sentido opuesto al del flujo vehicular, una tangente al borde del carril.
3. La longitud previa mínima (LP) de la barrera es la que resulta desde el punto de la intersección de su trayectoria con la tangente trazada, hasta la sección transversal correspondiente al borde anterior del obstáculo, en el sentido del flujo vehicular.

2.12 Terminales de barrera (Paso 10)

Los terminales de barreras que cumplen parámetros de seguridad se pueden clasificar en cuatro categorías o tipos de acuerdo con su configuración y funcionalidad:

- » Terminal empotrado en talud de corte
- » Terminal abatido y esviado
- » Terminal absorbente de energía (TAE)
- » Terminales atenuadores de impacto (TAI).

Para la selección del tipo de terminal se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

2.12.1 Terminal empotrada en talud de corte

El tipo de terminal más recomendable y natural de una barrera longitudinal es su empotramiento en un talud de corte y se debe contemplar como primera opción. Para que pueda aplicarse este tratamiento en la terminación de la barrera, el talud debe ser empinado, con una pendiente mayor a 1H: 5V y una superficie suave (no rocosa) capaz de redireccionar el vehículo sin provocar el enganchamiento o vuelco.

Si el diseño de la barrera longitudinal y su terminal es adecuado (considerando su disposición en campo y diseño estructural), este tipo de anclaje es óptimo para proteger a los usuarios de la vía, elimina la posibilidad de una colisión frontal con el terminal de la barrera, y minimiza la probabilidad de que el vehículo traspase la barrera y alcance el obstáculo, por lo tanto, se considera que es un tipo de terminal infranqueable si se instala siguiendo los parámetros del diseñador y del fabricante de la barrera. Ver Figura 39.

Figura 39. Terminales empotrados en talud de corte.



Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011)

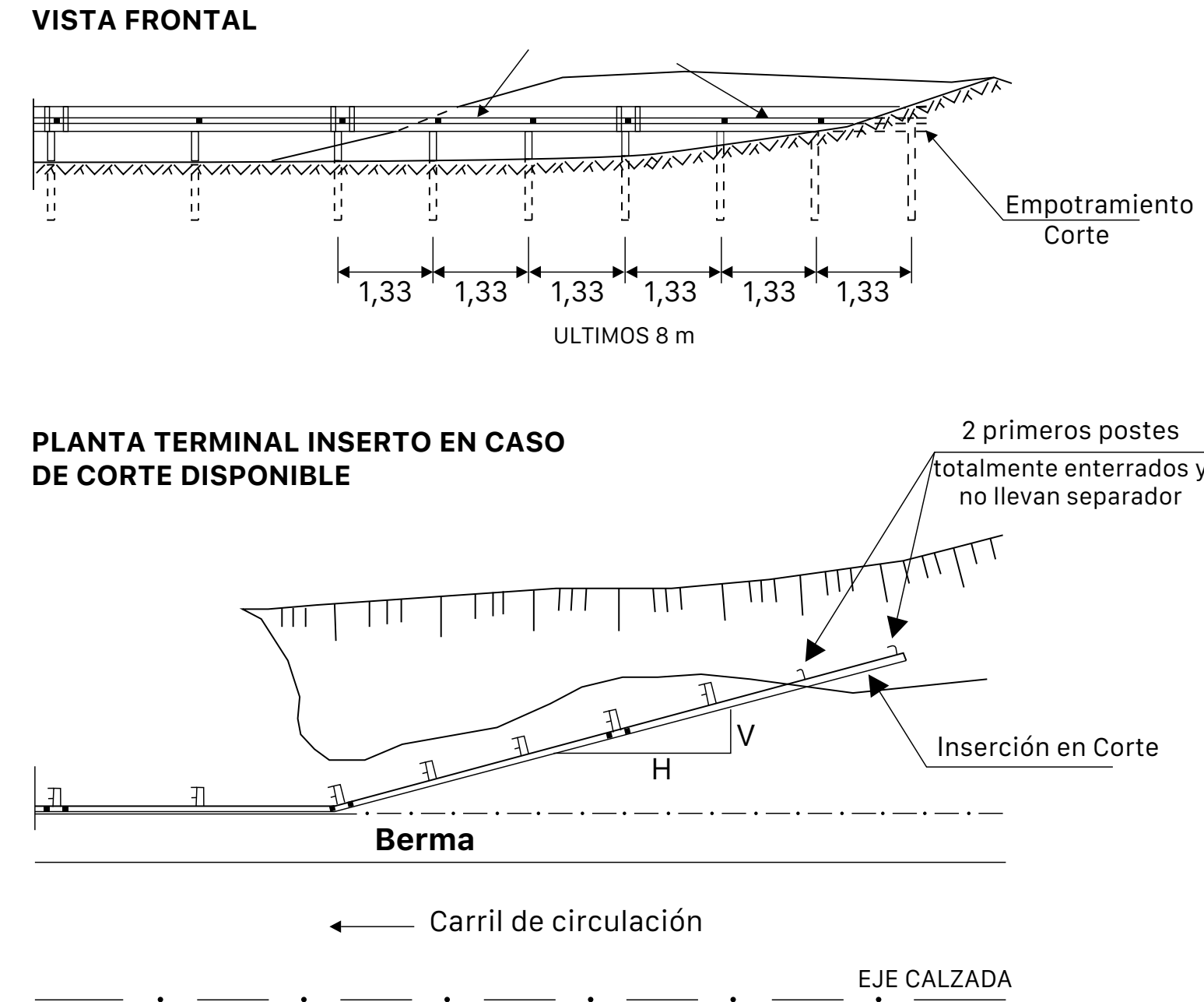
Para la correcta implementación de estos terminales deben seguirse las siguientes recomendaciones:

- » El extremo de la barrera debe anclarse lo suficiente en el corte para que en ninguna circunstancia el extremo quede expuesto al tráfico.
- » La altura de la barrera debe mantenerse en todo momento dentro de las especificaciones dadas por el fabricante.
- » En caso de utilizarse como terminal de inicio, debe habilitarse una zona plana, libre de elementos de riesgo, anterior a la

ubicación del terminal en corte, de longitud suficiente que evite el impacto contra el elemento de riesgo a proteger.

Siempre que las condiciones del sitio lo permitan, debe utilizarse este tipo de terminal para los extremos de las barreras longitudinales como se indica en la Figura 40.

Figura 40. Empotramiento de barrera metálica en talud de corte.



Fuente: (Dirección de Vialidad, 2021)

El empotramiento de los extremos de la barrera debe garantizar el anclaje de la barrera, el tramo que va desde la barrera hasta el empotramiento debe mantener la altura adecuada, y el ángulo de esviaje debe cumplir con los criterios de la Tabla 13.

Cuando no sea posible anclar los extremos de la barrera, bien por no disponer de un talud para tal efecto, bien por falta de espacio o por existir otros elementos interpuestos, entonces será necesario recurrir a otro tipo de terminal de barrera.

2.12.2 Terminal abatida y esviada

En los casos en que la barrera se ubique próxima a la vía y tenga una terminal abatida, ésta se debe instalar de manera que en planta presente un tramo en ángulo, de tal forma que el extremo enterrado de la terminal se aleje del borde de la vía (efecto de esviaje).

Figura 41. Terminales abatidas (sin esviaje).



Barrera metálica con terminal abatido



Barrera rígida con terminal abatido

Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011).

Las terminales abatidas no son recomendables para ser aplicadas en vías de alta velocidad debido a que un vehículo que colisione de frente puede ser lanzado por el aire por el terminal como si éste fuera una rampa, por ello es necesario esviarlas. Este efecto quedó evidenciado al final de la década de 1960 en EE. UU. cuando este terminal abatido reemplazó el terminal "cola de pez" como una mejor práctica de seguridad, los datos luego mostraron que el abatimiento provocaba otros problemas de

seguridad vial como el vuelo y vuelco del vehículo y que terminaban casi siempre en lesionados o víctimas fatales (Transportation Research Board, 2012, pág. 75 y 78). Este riesgo aumenta con la velocidad, la proximidad al borde y con un trazado en curva. Por esta razón, se recomienda no implementar abatimientos muy próximos a la vía, tal como se ilustra en la Figura 42.

Figura 42. Tratamientos inadecuados en terminales abatidos.



Fuente:

(Transportation Research Board, 2012, pág. 78)

Estos terminales abatidos (sin esviaje) solo pueden considerarse si se cumplen estas dos condiciones:

- » Cuando no existe la opción de empotrar el terminal en un talud y tampoco existe la opción de esvialo por limitaciones de espacio en el borde de la carretera.
- » Cuando la velocidad no supere los 70 km/h.

Las **terminales esviadas** son una buena práctica que consiste en alejar gradualmente, del borde de la carretera, el terminal de la barrera. La relación entre la separación máxima entre el borde de la vía y el terminal de barrera, y la longitud a lo largo de la cual se desarrolla esa separación se denomina "**relación de esviaje**". Además de reducir la posibilidad de chocar de frente con el extremo de la barrera longitudinal, el esviaje hace que el conductor perciba menos a la barrera como un obstáculo cercano a la vía. Por otra parte, se reduce la longitud necesaria de barrera, ya que una barrera paralela a la vía debe ser más extensa para evitar que un vehículo que abandona la vía en la sección anterior al obstáculo, pase por detrás de la misma y colisione con el elemento peligroso (Valverde González, 2011, pág. 38 y 68).

Si la relación de esviaje es mayor, se incrementa el ángulo de impacto, por lo que la severidad del siniestro puede ser mayor, provocando lesiones más graves a los ocupantes del vehículo, especialmente si la barrera longitudinal es rígida o semirrígida. También se puede incrementar la probabilidad de que el vehículo sea redireccionado hacia la vía e invada el carril de circulación en sentido contrario, situación que es absolutamente indeseable debido a la gravedad de las consecuencias de tal siniestro en una carretera de calzada única.

Si la vía posee taludes empinados, generalmente se preferirán las relaciones de esviaje menores (más planas), debido a los extensos trabajos de movimiento de tierras que se requerirían para aplanar y nivelar el terreno entre el borde de la vía y la barrera, además de aplanar parte del terreno que se ubica detrás de la barrera y sus terminales, esto con el fin de garantizar un adecuado comportamiento del SCV durante el impacto.

La relación de esviaje se determina en función de la velocidad del tramo de vía (o velocidad específica de diseño), el tipo de barrera (flexible, semirrígido o rígido) y su ubicación lateral. La relación de esviaje a: b se establece de acuerdo con los criterios de la Tabla 13.

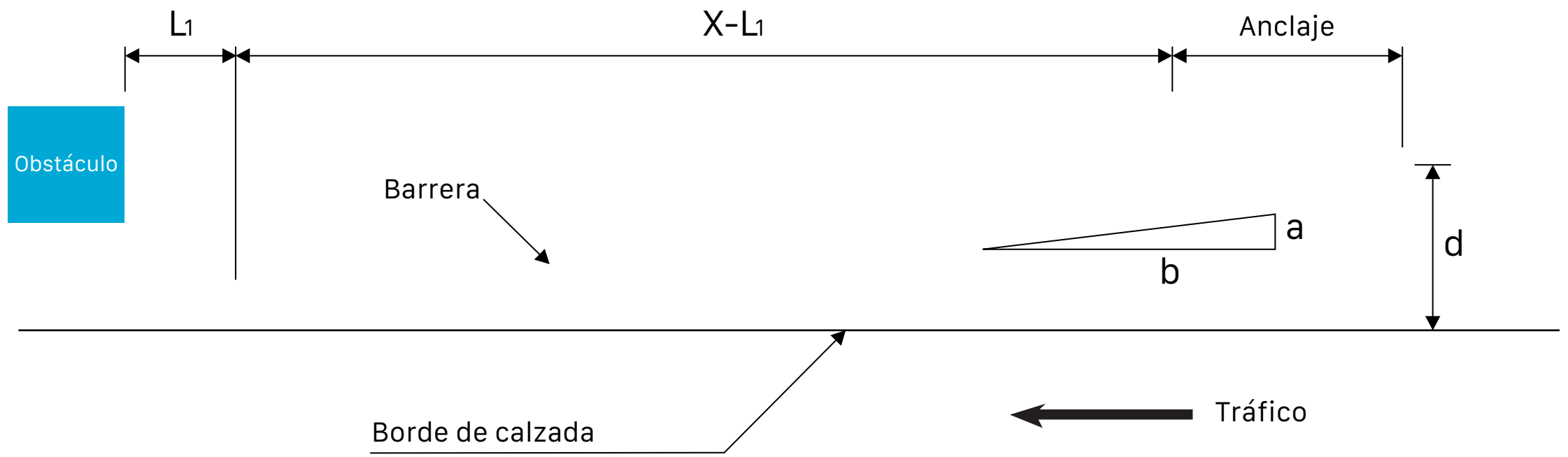
Tabla 13. Relaciones de esviaje (a: b) recomendadas.

Velocidad (km/H)	Barreras colocadas antes de la línea de preocupación	Barreras colocadas más allá de la línea de preocupación	
	Cualquier tipo de sistema	Sistemas rígidos	Sistemas flexibles y semirrígidos
50	13:1	8:1	7:1
60	16:1	10:1	8:1
70	18:1	12:1	10:1
80	21:1	14:1	11:1
90	24:1	16:1	12:1
100	26:1	18:1	14:1
110	30:1	20:1	15:1

Fuente: Adaptado de (AASHTO, 2011, págs. 5-48)

Para estas terminales abatidas y esviadas, se recomienda una longitud mínima del anclaje inicial de 12 m para el caso de barreras metálicas y de 18 m cuando la barrera sea de hormigón. Si la vía es de calzada única la longitud del anclaje en el extremo final será de 12 m como mínimo, y en caso de calzadas separadas el anclaje del extremo final de la barrera longitudinal será de 4 m como mínimo (anclaje corto).

Figura 43. Terminal en abatimiento con esviaje, aumentado la distancia (d) del extremo con el borde de la vía.



Fuente: (Dirección General de Carreteras, 2009)

2.12.3 Terminal absorbente de energía (TAE)

Desde el punto de vista de su comportamiento ante el impacto de un vehículo, los **terminales absorbentes de energía** (TAE) son siempre de desempeño superior y, por lo tanto, resultan preferibles por su eficacia a los terminales abatidos y esviados.

Dado que la instalación generalizada de los TAE implica mayor costo, es conveniente determinar en qué situaciones un terminal absorbente de energía garantiza una relación de beneficio / costo más elevado. La sustitución de un terminal en abatimiento

por un terminal absorbente de energía es tanto más beneficiosa cuanto mayor es el riesgo de vuelo y vuelco.



» Selección de la clase de terminal

Para determinar la clase de un terminal absorbente de energía, se debe tener en cuenta la velocidad de diseño o de operación (vías nuevas o existentes respectivamente) del tramo de vía donde va a ser instalado, ya que la clase de estos sistemas se especifica en términos de velocidad y masa del vehículo, y se definen tres clases o NC para terminales de barrera absorbentes de energía, según se muestra en la Tabla 14. En esta tabla también se indican las clases de terminales absorbentes de energía según la normativa bajo la cual fueron

ensayados, que se clasifican de menor (P2, TL-1) a mayor (P4, TL-3) clase de contención.

Tabla 14. Clases de contención para terminales absorbentes de energía.

EN 1317-4	Velocidad
P2	80
P3	100
P4	100, 110

MASH	Velocidad
TL-1	50
TL-2	70
TL-3	100

Fuente: (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2002) y (AASHTO, 2016)

El estándar EN 1317 también maneja la clase P1 que se descarta al ser evaluada solo para un vehículo de 900 kg de masa, un único ensayo de aproximación frontal (0°) y solo para una velocidad de 80 km/h. Estos mismos parámetros junto a otros adicionales: son los que se prueban en la clase P2.

La Tabla 15 muestra los criterios para elegir la clase de contención de un terminal absorbente de energía.

» Selección de la Severidad

En el caso de terminales ensayados bajo norma europea ENV 1317 – 4, se recomienda seleccionar el terminal de entre los disponibles cuya clase de severidad sea la mejor, preferiblemente A.

En el caso de terminales ensayados bajo norma MASH, se debe seleccionar de entre los disponibles aquel cuya severidad se encuentre dentro de los parámetros establecidos como preferred dentro de la citada norma MASH. Al respecto, la norma MASH establece dos parámetros de medición del riesgo de los ocupantes de un vehículo en caso de impacto: i) Occupant impact velocities (OIV), cuyos valores deseables son 9.1 m/s (componente longitudinal y lateral) y 3.0 m/s (componente longitudinal) y ii) Occupant Ridedown Acceleration (ORA) con valor preferido de 15.0 G.

Así mismo, teniendo en cuenta que la norma MASH recomienda a los laboratorios de ensayo calcular y reportar el índice ASÍ, de acuerdo con criterio del Comité Europeo de Normalización (CEN), se seguirá el mismo criterio que en el caso de los terminales ensayados bajo norma europea, es decir, se seleccionará el de mejor clase de severidad, preferiblemente clase A.

Tabla 15. Criterios para seleccionar la clase de contención de un terminal absorbente de energía.

Tipo de vía	Velocidad (km/h)	Clase de contención	
		EN 1317-3	MASH
Autopistas y carreteras de doble calzada	$V > 100$	110	TL-3
	$80 < V \leq 100$	100	TL-3
	$V \leq 80$	80	TL-2
Carreteras de calzada única	$80 < V \leq 100$	100	TL-3
	$V \leq 60$	80	TL-2
Carreteras en zonas urbanas y áreas de peaje	$V \leq 60$	50	TL-1

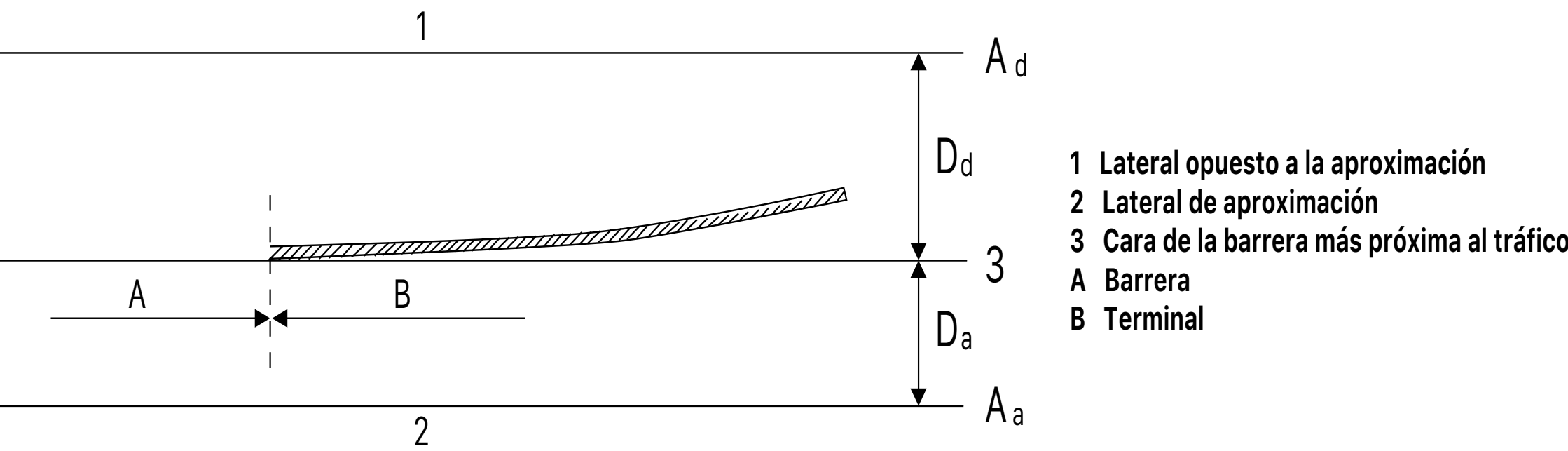
Fuente: Adaptado a partir de: (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2002) y (AASHTO, 2016)

A continuación, se presentan otros parámetros que deben ser considerados para la selección del terminal absorbente de energía, pero que presentan particularidades en función de la norma con la cual fue ensayada el terminal.

» Selección del desplazamiento lateral permanente

En el caso de los terminales absorbentes de energía ensayados bajo norma ENV 1317-4, se define como desplazamiento lateral permanente la distancia entre la cara del terminal más próximo al tráfico antes y después del ensayo. El desplazamiento lateral del terminal se mide perpendicularmente al eje del terminal y en ambos sentidos, hacia la calzada (D_a) y hacia fuera de la misma (D_d).

Figura 44. Desplazamiento lateral permanente en terminales.



Fuente: EN 1317-4.

El valor D_d se mide en el lateral opuesto a la aproximación del vehículo, y determinará el espacio requerido para que el terminal

funcione adecuadamente. El valor D_a se mide en el lateral de aproximación, y determina la intrusión del terminal hacia la calzada en caso de impacto y, por tanto, cuanto mayor sea su valor, mayor es el riesgo de que el terminal en su deformación pueda invadir la calzada o interferir con otros usuarios de la vía.

Tabla 16. Clase de terminal en función de su desplazamiento permanente.

Código de clase		Desplazamiento (m)	
x	1	D_a	0,5
	2		1,5
	3		3,0
y	1	D_d	1,0
	2		2,0
	3		3,5
	4		> 3,5

Fuente: (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2002)

Este desplazamiento define por tanto el espacio necesario que el sistema necesita para su correcto funcionamiento, y debe ser facilitado por el fabricante en la ficha técnica del sistema. Siempre debe disponerse de espacio libre para permitir el correcto funcionamiento del terminal.

Por tanto, en caso de terminales TAE ensayados bajo la norma ENV 1317-4 se debe seleccionar de entre los disponibles:

- » El que tenga un menor valor de D_a
- » El que tenga un valor de D_d compatible con el espacio disponible para su deformación.

En el caso de terminales ensayados bajo norma MASH, se recomienda seleccionar de entre los terminales disponibles, aquel o aquellos cuya deflexión dinámica y anchura de trabajo sea compatible con el espacio disponible para la deformación del terminal, sin que existan obstáculos entre el terminal y el máximo desplazamiento posible .

La deflexión dinámica o anchura de trabajo de un terminal ensayado bajo norma MASH será el máximo valor de los obtenidos en cada uno de los ensayos que conducen a su acreditación.

Dado que el informe de ensayo bajo norma MASH no reporta el desplazamiento del terminal hacia el lado de la calzada, se recomienda solicitar al fabricante que indique que el terminal no sufre deformación hacia el lado de aproximación de los vehículos, o, en caso de existir esta deformación, solicitar que se indique que el terminal es adecuado para las condiciones de la vía y no hay riesgo de intrusión en la calzada ni de interferencia con otros usuarios de la vía.

» Selección del recinto de salida

Los TAE ensayados bajo norma ENV 1317 - 4 se clasifican en función de su recinto de salida, es decir, de acuerdo con las distancias Z_a y Z_d indicadas en la Tabla 17 y Figura 45.

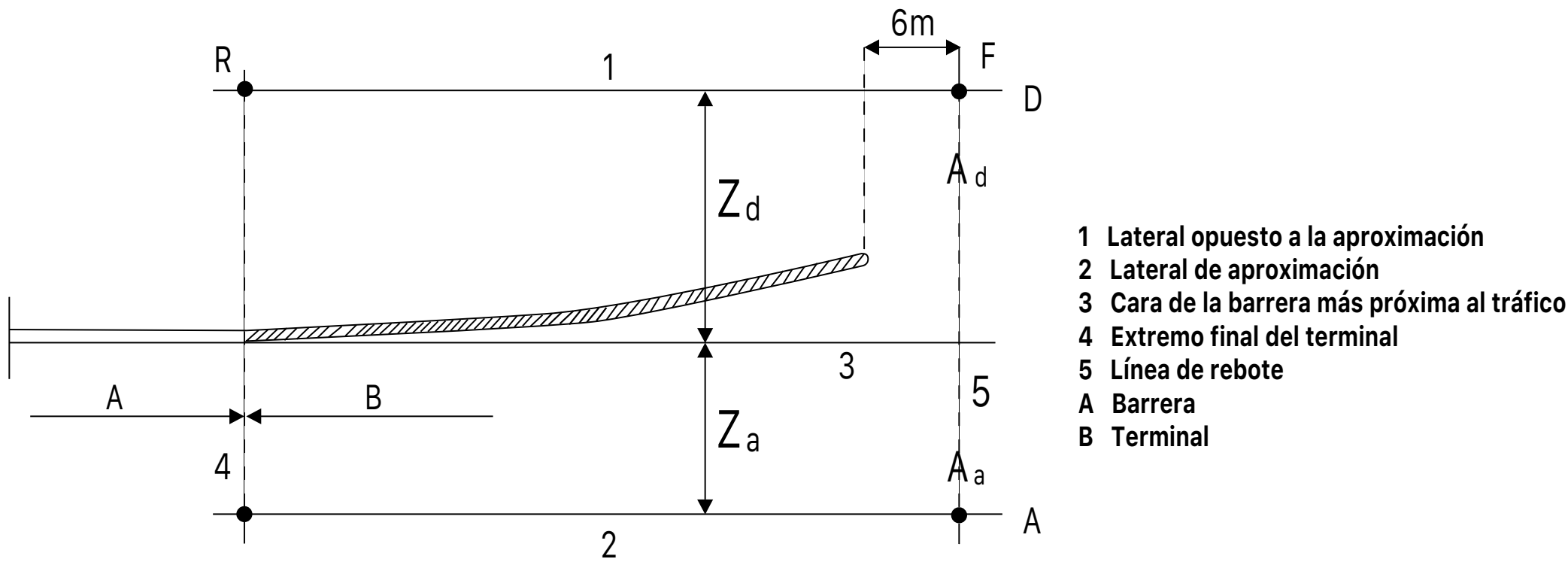
Tabla 17. Clase de terminal en función del recinto de salida.

Clases de Z	Lateral de aproximación Z_a (m)	Lateral de salida Z_d (m)
Z_1	4	4
Z_2	6	6
Z_3	4	Sin límite
Z_4	6	Sin límite

Fuente: (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2002)

El recinto de salida define los límites de la trayectoria del vehículo tras el impacto contra el terminal, y por tanto es una medida del riesgo de la ocurrencia de un impacto secundario.

Figura 45. Recinto de salida en terminales.



Fuente: (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2002)

Por tanto, dentro de los terminales absorbedores de impacto disponibles debe seleccionarse aquel o aquellos cuyo recinto de salida sea el mínimo posible para minimizar el riesgo de un segundo impacto.

En cuanto a los terminales ensayados bajo norma MASH es posible evaluar el terminal a partir del ángulo y velocidad de salida indicado en los informes de los ensayos.

2.12.4 Terminal atenuador de impacto (TAI)

Este tipo de terminal debe elegirse cuando por geometría de la vía y trayectoria de los vehículos, haya riesgo de un impacto frontal con el extremo de la barrera. Se ha elegido esta opción cuando se ha descartado la posibilidad de usar otro tipo de terminal. Aunque constituyen el tipo óptimo de terminal, su instalación es poco común debido a razones de índole económica.

La Figura 46 muestra un ejemplo de terminal atenuador de impacto y su comportamiento. Este tipo de terminales se han desarrollado para la mayoría de las barreras longitudinales, tanto flexibles, semirrígidas y rígidas.



Fuente: Ministerio de Transporte - <https://flic.kr/ps/2WnpJd>

Figura 46. Terminales atenuadores de impacto.



Comportamiento del terminal tipo TAI

Fuente: FWHA.

Para el diseño de este tipo de terminal seguir las indicaciones dispuestas en el capítulo de amortiguadores de impacto.

Para las terminales tipo TAE o TAI en particular, debe existir un especial cuidado de ser instaladas conforme los detalles del diseño estructural demás indicaciones dadas en las especificaciones de diseño del fabricante.

2.12.5 Anclajes de terminales y otros criterios de instalación de barreras

Según la Roadside Design Guide de AASHTO (2011), todas las barreras flexibles y semirrígidas deben terminar con un sistema de anclaje en ambos extremos. Cuando ocurre un impacto dentro de la sección de barrera anterior al obstáculo de un sistema de barrera longitudinal, la tensión se desarrolla a lo largo de la barrera, antes y después del punto de impacto. Los anclajes en cada extremo de la barrera sirven como cimientos para transferir estas fuerzas de tensión al suelo. Gracias a esta tensión que se desarrolla en la barrera, la deflexión dinámica que se espera de un sistema flexible o semirrígido se mantiene dentro de niveles aceptables.

Para que una barrera de contención se comporte adecuadamente ante un siniestro por salida de vía y proteja eficazmente a los ocupantes del vehículo siniestrado, así como a otros usuarios de la vía y a individuos vulnerables, es necesario garantizar que todos los detalles de instalación indicados

por el fabricante sean aplicados en el campo, incluyendo las características del terreno sobre el cual se empotran los postes, posición relativa de los componentes del sistema, el número completo de pernos y el torque de apriete de los distintos tornillos que conforman el sistema, entre otros.

Conocer la resistencia del suelo para determinar la cimentación de los postes es una parte integral del SCV. Se deben revisar detalladamente las condiciones en las que se realizaron los ensayos a escala real, de manera que pueda verificarse que las condiciones del suelo en el sitio sean compatibles. Además, es esencial seguir recomendaciones de instalación de los fabricantes para garantizar el adecuado comportamiento del dispositivo de contención en campo.

Un adecuado anclaje de las barreras acorde a los parámetros de diseño y certificaciones de los fabricantes es lo que puede asegurar determinado nivel de desempeño de las barreras dentro de los rangos establecidos en las pruebas de impacto.

Figura 47. Ejemplo de anclaje en barrera longitudinal.



(1) Barrera flexible

(2) Barrera semirrígida

Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011)

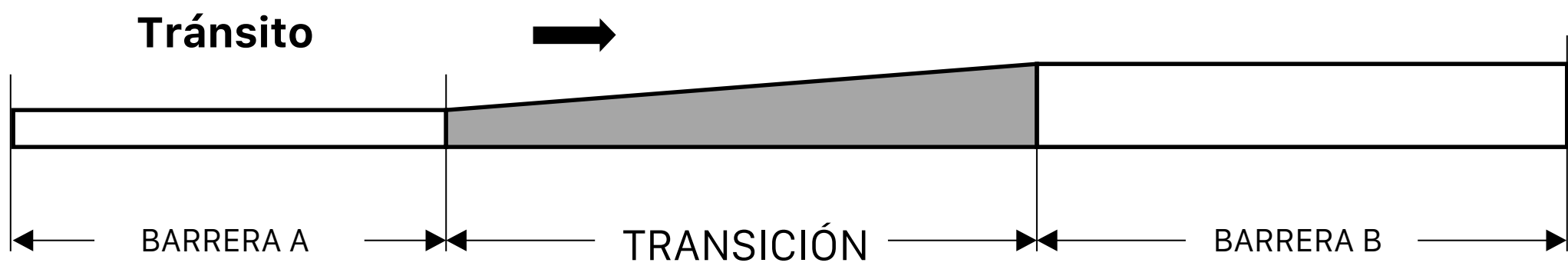
2.13 Transiciones

Cuando se conectan longitudinalmente dos tramos de barrera con diferencias significativas de rigidez y de geometría con distinto comportamiento (nivel de contención o clase de deformación), pueden surgir problemas ante un impacto vehicular en la zona de conexión y en consecuencia es necesario disponer de un tramo intermedio denominado transición, el cual se considera una barrera de contención vehicular con algunas particularidades o reservas en relación con el punto crítico y

dirección del impacto, capaces de asegurar un determinado nivel de comportamiento.

La sección de transición corresponde al sistema de conexión entre dos barreras de seguridad de diferente sección transversal y/o diferente rigidez lateral, que se instalan con el objeto de lograr un cambio gradual de comportamiento de la primera a la segunda barrera y evitar los riesgos de una variación brusca, los cuales pueden generar los efectos que se describe el siguiente numeral.

Figura 48. Esquema de una sección de transición.



Fuente: Elaborado a partir de (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2002)

La Longitud de la Transición (L) es la distancia entre los extremos de las dos barreras (A, B) conectadas por la transición.

2.13.1 Efectos de una transición inadecuada

Una inadecuada o inexistente conexión entre dos barreras de seguridad puede producir el enganchamiento del vehículo a causa de una variación brusca de la rigidez o por la rotura de la conexión, o el embolsamiento en la zona de conexión por diferencia de rigidez, con posibilidad de que se rompa o sea atravesada por el vehículo fuera de control o el atravesamiento de la barrera por rotura de la conexión o por su ausencia. Las consecuencias de un impacto vehicular en esta zona suelen ser muy graves.

2.13.2 Selección del nivel de contención en secciones de transición

La Tabla 18 establece los criterios de selección del nivel de contención para la transición entre dos barreras longitudinales que puede complementarse con la Tabla 2. El nivel de contención de las transiciones debe ser un nivel de contención mayor o igual al nivel de contención menor de ambas barreras, y menor o igual al nivel de contención mayor de ambas barreras.

Tabla 18. Criterios para seleccionar el nivel de contención de transiciones.

DE NC	A NC			
	NC 1 - Normal	NC 2 - Medio	NC 3 - Alto	NC 4 - Muy Alto
NC 1 - Normal	NC 1	NC 1	NC 2	NC 3
NC 2 - Medio	NC 1	NC 2	NC 2	NC 3
NC 3 - Alto	NC 1	NC 1	NC 2	NC 3
NC 4 - Muy Alto	NC 3	NC 3	NC 3	NC 4

Fuente: Adaptado de (Valverde González, 2011, pág. 77)

En los tramos de transición, tanto entre barreras de igual o distintos niveles de contención, debe considerarse, además del nivel de contención, la diferencia en su capacidad de deformación entre las barreras que se conectan longitudinalmente.

El paso de una barrera más deformable a otra más rígida, según el sentido del impacto –que es el caso problemático–, puede producir el enganchamiento de un vehículo ligero en el punto de transición. El enganchamiento es un siniestro de graves consecuencias.

Para verificar que esta diferencia de flexibilidad no es peligrosa es necesario comparar la deflexión dinámica (D) de ambas barreras, de tal forma que la deflexión dinámica de la transición tenga un valor intermedio entre la deflexión dinámica de ambas barreras, y en ningún caso inferior a la deflexión dinámica de ninguna de las dos. Por otra parte, la instalación de transiciones debe hacerse de acuerdo con los detalles de las especificaciones técnicas correspondientes al sistema específico que se utilice en cada caso particular, y de acuerdo con los detalles constructivos especificados por el fabricante del sistema (Valverde González, 2011, pág. 77).

2.13.3 Clases de evaluación para los distintos tipos de transiciones

Las clases de evaluación que se describen en este numeral son opcionales y se tendrán en cuenta solo si se adquiere una transición con norma EN 1317 y corresponden a los parámetros que deben revisarse para determinar el tipo de transición que se requiere. Para ello, necesario conocer los niveles de contención de las barreras que deben conectarse, así como la deflexión dinámica de cada una. En la Tabla 19 se presentan las diferentes clases de evaluación por tipo de conexión.

Tabla 19. Clase de evaluación para los distintos tipos de transiciones

Familia de productos ⁽¹⁾	Nivel de contención	Δ_D	Pieza especial para conexión ⁽²⁾	Clase de Evaluación	
Mismo	Mismo	≤ 50 cm	NO	No Evaluación	A
		> 50 cm	NO	Simulación Dinámica (3)	B
Mismo	Diferente	-	SI / NO	Simulación Dinámica (3)	B
Diferente	Mismo	≤ 50 cm	NO	No Evaluación	A
			SI	Simulación Dinámica (3)	B
		> 50 cm	NO	Simulación Dinámica (3)	A
			SI	Ensayos ENV 1317-4	C
Diferente	Diferente	-	SI / NO	Ensayos ENV 1317-4	C

Fuente: (Association française de Normalisation, 2015).

- Δ_D =
 Diferencia Absoluta entre las Deflexiones Dinámicas de las dos barreras conectadas.
- ¹ =
 Barreras con mismo tipo de viga y conexión entre vigas y postes de soporte similares.

- 2 = Pieza Particular ensamblada en la transición para garantizar la continuidad geométrica pero que no forma parte de ninguna de las barreras conectadas.
- 3 = Simulación Dinámica conforme al Cap. A.6 del Anexo A de EN 1317-5 (calibrada con real y verificada por tercero).

El procedimiento para seleccionar la transición requerida consta de los siguientes puntos:

1. Determinar si ambas barreras son similares en su constitución material.
2. Conocer el NC de cada barrera.
3. Establecer la diferencia absoluta en las deflexiones dinámicas de ambas barreras.
4. Identificar si se requiere una pieza especial de conexión.
5. Seleccionar la clase de evaluación que requiere la transición.
6. Seleccionar la transición que ofrezca el mercado con base en la clase de evaluación que debe cumplir la transición.

La transición debe instalarse conforme los detalles del diseño estructural demás indicaciones dadas en las especificaciones de diseño del fabricante.

2.14 Pretil

Un pretil es un tipo de barrera especialmente diseñado y ensayado para ser colocado en el borde de un puente o en la corona de un muro de contención. Por tanto, los parámetros básicos que definen un pretil (nivel de contención, anchura de trabajo, deflexión dinámica y severidad), son los mismos que en el caso de una barrera ubicada sobre el terreno.

Figura 49. Ejemplo de pretil.



Fuente: Imagen cedida por el autor

Sin embargo, los pretils, debido a su ubicación presentan una serie de particularidades que deben ser tenidas en cuenta, tanto en la evaluación de los sistemas de este tipo mediante ensayos de choque como en el proceso posterior de selección e implantación en carreteras, para garantizar un correcto comportamiento frente a la salida de vía de un vehículo.

2.14.1 Características de los pretils

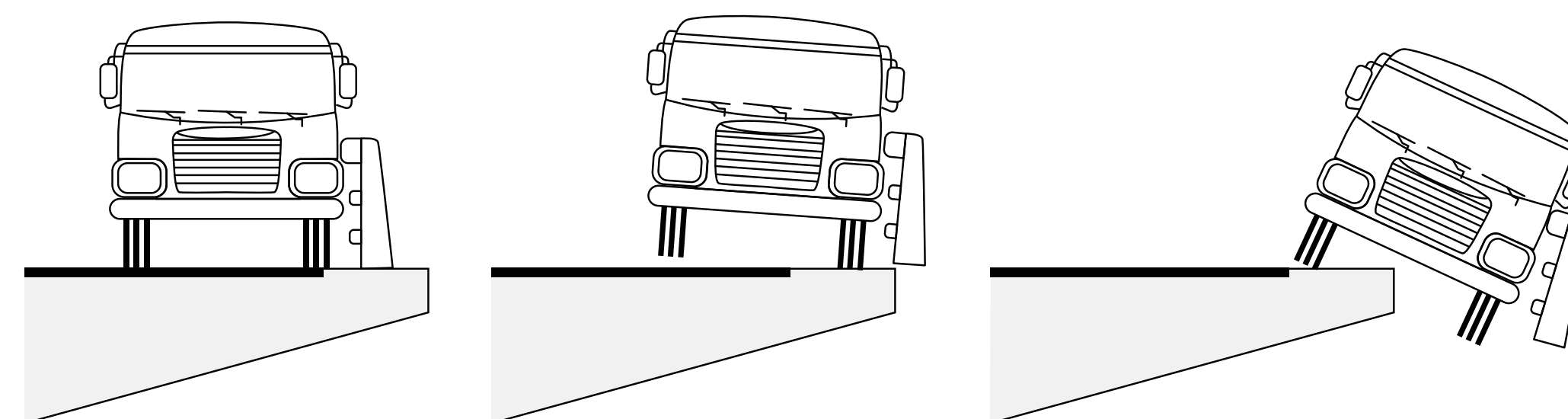
Los pretils son un tipo especial de barrera por lo que además de los parámetros y consideraciones previas indicadas para barreras longitudinales, se deben considerar las siguientes características específicas:

2.14.1.1 Necesidad de compatibilidad de la deformación del sistema con el espacio disponible

La instalación de un pretil en un borde de tablero implica generalmente la presencia de un desnivel, y por tanto un riesgo de una caída crítica. Es necesario asegurar que la deformación del sistema y la trayectoria del vehículo, previstas en caso

de choque son soportadas debidamente por las dimensiones disponibles en la estructura o tablero de puente.

Figura 50. Distintas deformaciones y trayectorias en función de la relación entre deformabilidad del sistema y el espacio disponible del tablero.



Fuente: Elaboración propia a partir de ilustración cedida por el autor

Los procedimientos de ensayo de choque para pretils incluyen la instalación del sistema sobre un tablero de puente, para comprobar que ni el vehículo, ni el sistema contacten, ni se apoyen en estructuras que no pertenezcan a dicha instalación. Por tanto, siempre se deben tener en cuenta las condiciones y dimensiones empleadas en el ensayo de choque para determinar la anchura

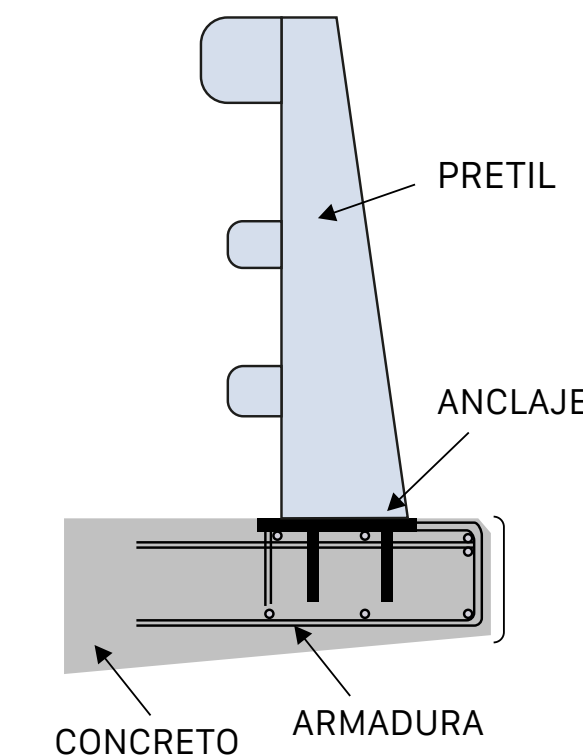
mínima de estructura situada por detrás de la cara al tránsito del sistema que es necesaria para garantizar su funcionamiento.

3.14.1.2 Resistencia estructural

Para realizar la función de contención, un pretil debe desarrollar unas fuerzas de redirección sobre los vehículos que impactan. Estas fuerzas de redirección deben ser transferidas a la estructura del puente a través de las fijaciones, y a su vez el puente debe ser capaz de ejercer las fuerzas de reacción necesarias. Por ello, un pretil debe ser considerado como el conjunto indivisible de las siguientes partes:

- » El pretil o parapeto.
- » Anclaje: elemento de unión del sistema al puente o estructura.
- » La losa o tablero de puente, con sus características resistentes en función de su geometría, armadura y tipo de concreto.

Figura 51. Esquema del conjunto pretil – anclaje – tablero de puente.



Fuente: Elaboración propia a partir de ilustración cedida por el autor

En los ensayos de choque de pretiles se evalúa si las cimentaciones, anclajes y fijaciones del sistema se comportan de acuerdo con su diseño. Por tanto, la definición de los anclajes y la cimentación o losa empleada en los ensayos debe respetarse al realizar la instalación del sistema en puentes de carreteras.

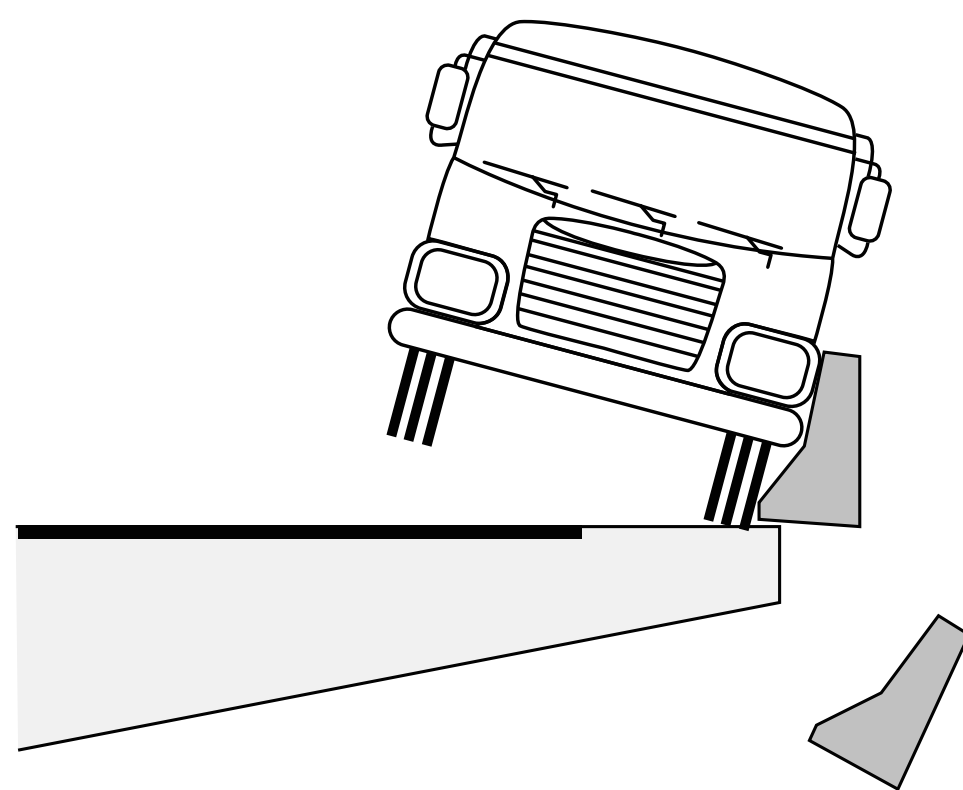
En el caso de pretiles que no presentan anclajes al puente, y cuyo comportamiento adecuado ante impacto es debido a su peso, habitualmente pretiles de hormigón, no es necesario realizar esta

comprobación. En este caso, la comprobación estructural vendrá dada por el peso del pretil que deberá ser tenido en cuenta en el cálculo global de la estructura.

2.14.1.3 Posibilidad de partes desprendidas

En un sistema de contención existe la posibilidad de que, durante su funcionamiento, algún componente se desprenda por efecto de la interacción con el vehículo. En el caso de los pretils, el desprendimiento de piezas puede ser crítico para población, vehículos o instalaciones situadas por debajo del puente.

Figura 52. Piezas desprendidas en pretils de puente.



Fuente: Elaboración propia a partir de ilustración cedida por el autor

En los procedimientos de ensayo de choque se registran las piezas que resultan desprendidas durante el impacto de vehículo, indicando su masa. Se debe tener en cuenta esta característica de los sistemas al definir su instalación en puentes. Al respecto, es recomendable seleccionar sistemas que no han registrado desprendimiento de piezas de masa mayor de 2,0 kg, siendo este un criterio para garantizar que durante el impacto del pretil no se desprendan partes que atenten contra la integridad física de otras personas.

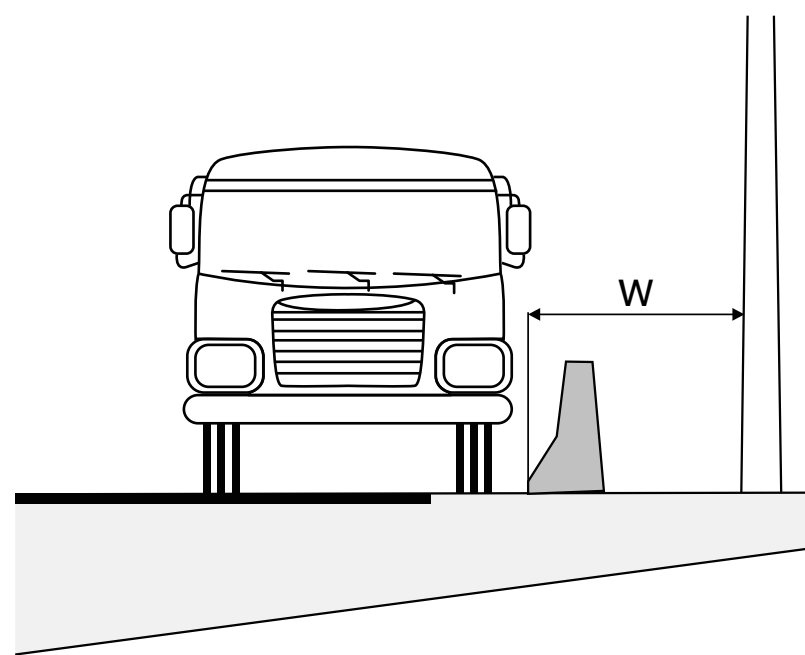
2.14.2 Parámetros de comportamiento de un pretil

El nivel de contención de un pretil se seleccionará siguiendo los mismos criterios descritos para barreras longitudinales (numeral 2.5).

La selección de las características de deformación del sistema y su posición respecto del borde del tablero se realizará dependiendo del elemento de riesgo que se deba proteger.

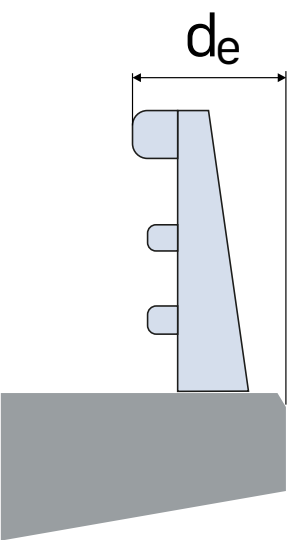
Si existiera un obstáculo entre el pretil y el borde del tablero, debe tenerse en cuenta la anchura de trabajo W o la deflexión dinámica según el caso y la norma de ensayo adoptada.

Figura 53. Distancia de anchura de trabajo a tener en cuenta.



Fuente: Elaboración propia a partir de ilustración cedida por el autor

Figura 54. Distancia de la cara del sistema más próxima al tránsito y el borde del tablero utilizadas en el ensayo a escala real.



Fuente: Elaboración propia a partir de ilustración cedida por el autor

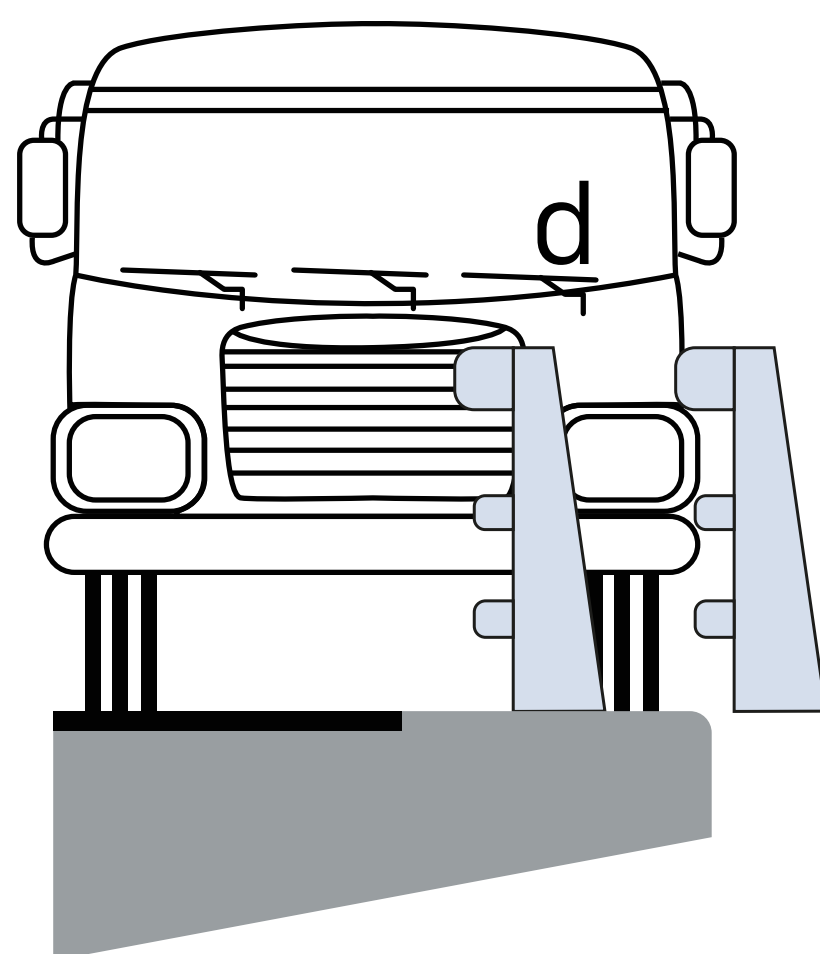
Habitualmente, el elemento de riesgo que debe proteger un pretil es la caída de un vehículo desde el puente. En este caso, para establecer la posición del sistema respecto del borde del tablero se debe tener en cuenta la distancia de la cara del sistema más próxima al tránsito y el borde del tablero utilizadas en el ensayo a escala real (d_e).

La deflexión dinámica d , se debe tener en cuenta al valorar la posición lateral admisible para un pretil en el tablero de un puente, ya que d proporciona un valor aproximado del máximo desplazamiento lateral durante el impacto de las ruedas del vehículo respecto de la cara inicial al tráfico del sistema.



Fuente: Ministerio de Transporte - <https://flic.kr/ps/2WnpJd>

Figura 55. Esquema de deflexión dinámica.



Fuente: Elaboración propia a partir de ilustración cedida por el autor

De esta forma, la mínima distancia admisible entre la cara del sistema más próxima al tráfico y el borde del tablero será, como criterio general, igual o mayor a la registrada en el ensayo de vehículo a escala real de; y sólo podrá ser menor, si en la nueva posición de instalación se demuestra justificadamente que en la nueva posición:

- » La trayectoria de las ruedas del vehículo se mantiene en todo momento por encima de la superficie del tablero del puente.

- » La interacción de las piezas del pretil con el tablero no se ve modificada en cuanto a desplazamientos, y deformaciones.
- » La integridad estructural del tablero no se ve comprometida por tener el sistema instalado más cerca del borde.

Para la selección del nivel de severidad, se debe tener en cuenta que habitualmente los pretils suelen tener niveles de contención altos, y escaso espacio disponible para la deformación, y por tanto suelen ser sistemas muy rígidos. Por ello es importante que estén provistos de elementos deformables de absorción que garanticen protección a los ocupantes de vehículos ligeros. Los sistemas deben cumplir preferiblemente con clase de severidad A, o al menos una clase de severidad B.

2.14.3 Anclaje del pretil

El anclaje del pretil, en caso de que sea necesario, será definido por el fabricante en la documentación técnica del sistema y será el mismo que el utilizado en el ensayo de choque a escala real.

En el caso de anclaje con resina, sus características también deben quedar reflejadas en la documentación del ensayo. En el manual de instalación del pretil se indicará además la clase de resina con la que el pretil debe ser instalado. Es imprescindible respetar tanto la resina a disponer como las recomendaciones del fabricante de esta en cuanto a colocación y curado de la misma para asegurar un comportamiento equivalente al obtenido durante el ensayo de choque a escala real. Un incumplimiento de estas premisas puede llevar a un fallo del sistema por este motivo.

En el caso de pretils que no presentan anclajes al puente, y cuyo comportamiento adecuado ante impacto es debido a su peso, habitualmente pretils de hormigón, no es necesario realizar esta comprobación.

2.14.4 Losa de puente

El diseño del conjunto pretil+anclaje+losa de puente debe garantizar que, en caso de impacto de un vehículo contra un pretil, además de que contenga y redirija correctamente al vehículo, el puente no sufra daños estructurales que puedan poner en peligro su integridad o que en el mejor de los casos obliguen a costosas reparaciones posteriores a un impacto.

Figura 56. Ejemplo de Pretil con losa.



Fuente: Imagen cedida por el autor

Para lograr este objetivo deben garantizarse dos aspectos:

- » La losa en el entorno del anclaje del pretil resiste los esfuerzos a los que se ve sometida en caso de impacto de un vehículo y es capaz de transmitirlos al resto del puente sin sufrir daños estructurales.
- » El tablero del puente está correctamente dimensionado para soportar los esfuerzos que le transmite la losa en el entorno del anclaje del pretil.

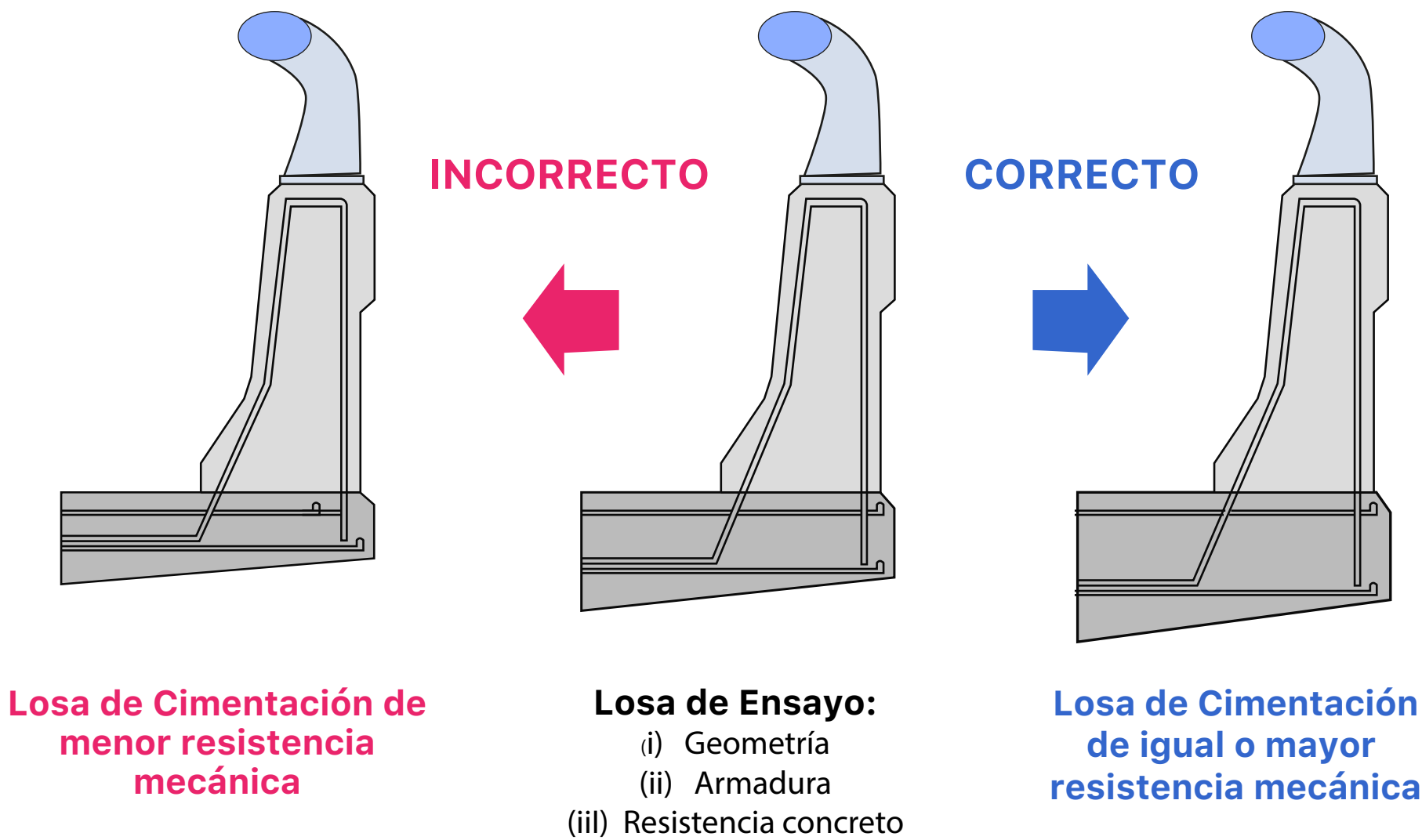
En el caso de pretils que no presentan anclajes al puente, y cuyo comportamiento adecuado ante impacto es debido a su peso, habitualmente pretils de hormigón, no es necesario realizar esta comprobación.



2.14.4.1 Dimensionamiento de la losa en el entorno del anclaje del pretil

La losa en el entorno del anclaje del pretil será definida en la documentación técnica del fabricante. Esta definición se corresponde con el valor mínimo en cuanto a armadura, resistencia característica del concreto y geometría pudiendo aumentarse sus valores respecto a lo ensayado, pero nunca disminuirse.

Figura 57. Dimensionamiento de la losa en el entorno del anclaje del pretil (cimentación).



Fuente: Elaboración propia a partir de ilustración cedida por el autor

No existe una correlación entre nivel de contención y dimensiones de la cimentación, ya que los esfuerzos transmitidos a la misma dependen del diseño del pretil y de sus anclajes, por lo que diferentes pretils con mismo nivel de contención pueden presentar diferente cimentación y no serán directamente intercambiables unas por otras.

En caso de que el pretil deba instalarse con una cimentación distinta a la utilizada en el ensayo a escala real, el cambio debe justificarse técnicamente mediante ensayo a escala reducida del conjunto poste+anclaje+losa, de forma que se garantice que, ante cualquier impacto de un vehículo, la cimentación mantendrá su integridad con las nuevas dimensiones planteadas.

No es admisible el redimensionamiento de una cimentación de un pretil mediante cálculo por los siguientes motivos:

- » Se producen fenómenos de deformación de materiales a alta velocidad.
- » Los límites del comportamiento plástico e, incluso, la rotura, puede ser sobrepasados.
- » Se producen fenómenos de liberación de uniones, desgaste de rosca, roturas fusibles, roturas de soldaduras, etc.
- » Existen coeficientes de fricción dinámica entre distintos materiales.

Todos estos fenómenos hacen que ni un cálculo mediante elementos finitos, ni una simulación dinámica por ordenador deban ser aceptados como método para rediseñar una cimentación, puesto que no existe ninguna validación que garantice suficiente predictibilidad.

2.14.5 Dimensionamiento del tablero del puente

Para la comprobación de que el resto del puente es capaz de asumir las fuerzas transmitidas por la cimentación sin sufrir daños estructurales, será responsabilidad del fabricante proporcionar las fuerzas “últimas” que pueden ser transmitidas al tablero por el impacto de un vehículo contra el pretil. Para el cálculo de estas fuerzas deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- » Las fuerzas por medir son fuerzas dinámicas (y no estáticas).
- » Las fuerzas por medir no son las determinadas durante el ensayo de a escala real sino las fuerzas “últimas” que pueden ser transmitidas al tablero por cualquier impacto de vehículo (en general mayores que las del ensayo).

- » La medida de las fuerzas “ultimas” que un pretil puede transmitir al tablero de un puente como consecuencia de cualquier impacto de un vehículo se puede conseguir con ensayos de impacto dinámico a reducida escala mediante distintos dispositivos contra un conjunto aislado de “poste + anclaje + losa rígida”, con una energía de impacto suficiente para conducir al sistema a su colapso (tanto por doblado como por rotura controlada), tales como péndulos, carritos o catapultas.
- » No es admisible un cálculo mediante elementos finitos, ni una simulación dinámica por ordenador como método para obtener las fuerzas últimas, puesto que no existe ninguna validación que garantice suficiente predictibilidad.
- » A partir de los ensayos de impacto dinámicos, se obtienen los valores de las acciones que el SCV transmite a la cimentación:
- » Valores de Fuerza por componentes: F_x , F_y , F_z ; y
- » Valores de Momentos por componentes: M_x , M_y , M_z .

Estas acciones se consideran aplicadas en un punto (P) que corresponde al centro geométrico de las posiciones de todos los elementos de anclaje. Esta información, en forma de sistema de fuerzas y momentos expresados en un punto definido, permite considerar las fuerzas máximas que el pretil puede llegar a realizar como acciones sobre el puente, situándolas en cualquier parte del tablero en el que se considere su instalación.

2.15 Casos especiales de implantación de barreras

2.15.1 Barreras en separadores centrales

» Criterios de implantación

El separador es una zona verde o dura colocada paralelamente al eje de la carretera, para separar sentidos opuestos de tránsito (separador central) o para separar calzadas destinadas al mismo sentido de tránsito (calzadas laterales) y al tratarse de una zona lateral a las calzadas de circulación vehicular reciben un mismo tratamiento en la identificación de peligros y obstáculos que puedan ser impactados durante un siniestro por salida de vía.

Figura 58. Separador central (ejemplo en entorno urbano)



Fuente: Foto propia.

Al igual que para barreras dispuestas lateralmente, la información que debe revisarse para evaluar la necesidad de una barrera central es la misma: velocidad, TPD, ancho disponible, pendiente transversal y existencia de obstáculos (postes, cunetas, etc.). El procedimiento de diseño de la barrera es el mismo, aunque debe considerarse el ancho del separador (y su configuración) y la pendiente transversal como variables determinantes para seleccionar el tipo de barrera y su disposición final (ubicación).

Cuando el ancho del separador es mayor al ancho de la zona despejada (ZD) y el área está libre de elementos peligrosos (árboles, luminarias, postes, etc.) no se requiere instalar una barrera longitudinal, pero si esta área no está libre de objetos fijos contundentes, se debe instalar una barrera en el separador en las siguientes condiciones (Dirección de Vialidad, 2021, pág. 568):

1. La pendiente transversal del separador determinará el tipo de barrera a instalar, es decir, simples o dobles.
2. Si el separador cuenta con una pendiente transversal máxima de 10% y no existen obstáculos o tramos infranqueables, se preferirá la instalación de una barrera única, doble.
3. Si el separador presenta pendientes mayores que 10% y existen obstáculos o sectores infranqueables, se deberán instalar barreras independientes.
4. Cualquiera sea el caso, la ubicación de la barrera deberá determinarse en función del ancho de trabajo requerido.

En complemento a lo anterior, AASHTO (2011) define unos criterios para la disposición de barreras longitudinales en separadores según su pendiente o configuración. Así, se establecen tres tipos de separadores centrales definidos en función de las pendientes de talud que conforman. Esta tipología surge de entender que los taludes son un tipo de peligro en las zonas laterales (en este caso en los separadores) cuando son pronunciados y, en el caso de pendientes suaves, de que puede haber una necesidad de contener los vehículos errantes para evitar que interfieran con la calzada en sentido contrario. Ver Figura 59:

Tipo I: Separadores que presentan una sección transversal tipo canal. Caso 1, 2 y 3.

Tipo II: Separadores que separan carriles de circulación a diferentes elevaciones. Caso 4, 5 y 6.

Tipo III: Separadores elevados, los taludes del terreno forman un talud de corte. Caso 7.

Descripción de los casos:

Caso 1. Si las pendientes que conforman el canal son iguales a 1V:3H o más empinadas, se debe colocar una barrera longitudinal a ambos lados del separador central.

Caso 2. Si uno de los taludes que conforman el canal presenta una pendiente igual a 1V:3H o mayor (más empinada) y la pendiente del otro talud es menor a 1V:3H (más plana), se debe colocar una barrera para proteger a los usuarios que corren el riesgo de volcarse al descender por la pendiente no traspasable (mayor o igual a 1V:3H).

Caso 3. Si las pendientes que conforman el canal son menores a 1V:10H (más planas) y el riesgo de que un vehículo cruce el separador y sufra una colisión frontal es alto, se debe colocar una barrera en el centro del separador, a menos que se ubiquen otros objetos fijos potencialmente peligrosos.

Caso 4. Si el talud que conforma el separador central presenta una pendiente mayor a 1V:10H (más empinada) y el riesgo de que un vehículo cruce el separador y sufra una colisión frontal es alto se debe colocar una barrera para proteger a los usuarios

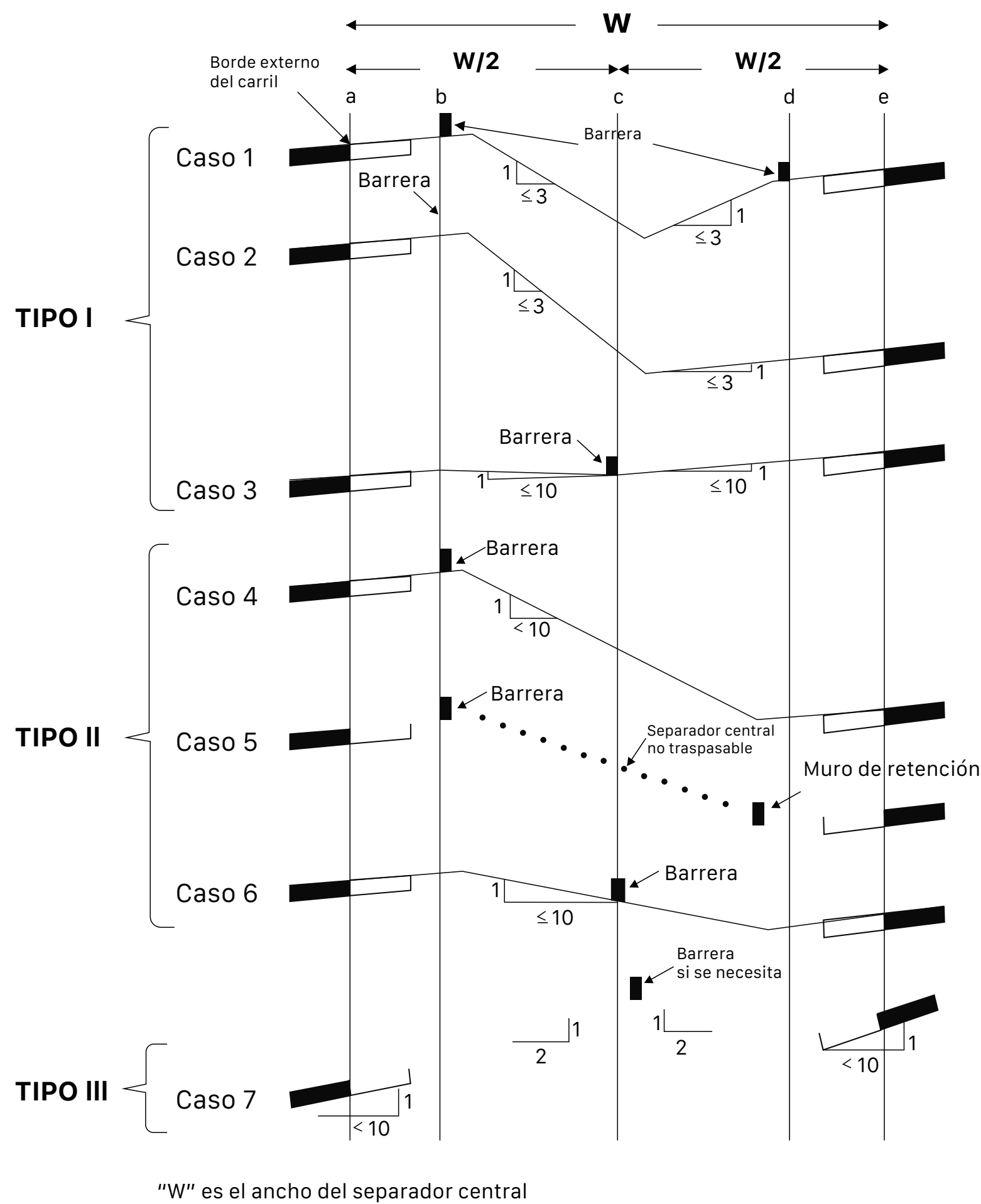
que corren el riesgo de descender por la pendiente e invadir los carriles de circulación en sentido contrario.

Caso 5. Si la superficie del talud es rugosa, rocosa, irregular o poco firme, se debe colocar una barrera a ambos lados para proteger a los usuarios de la vía. De lo contrario, no se requiere colocar barrera longitudinal.

Caso 6. Si la pendiente del talud es igual a 1V:10H o más plana y el riesgo de que un vehículo cruce el separador y sufra una colisión frontal es alto la barrera se debe colocar en el centro del separador.

Caso 7. Los criterios de ubicación de las barreras en separadores para esta sección transversal no están claramente definidos. La investigación ha demostrado que una sección transversal de este tipo, si es lo suficientemente alta y ancha, puede redirigir los vehículos que impactan en ángulos relativamente bajos. Sin embargo, este tipo de diseño de separador generalmente no debe interpretarse como una barrera o proporcionar una protección positiva contra siniestros por salida de vía.

Figura 59. Ubicación correcta de una barrera longitudinal en el separador central de una carretera



Fuente: Basado en (AASHTO, 2011, págs. 6-19)

2.15.1.1 Tratamiento de objetos fijos en el separador

Ejemplos típicos de estos objetos fijos en separadores son los pilares de puentes (muy comunes en entornos urbanos o grandes intercambios viales en carreteras), así como estructuras de soporte de letreros elevados, postes de servicios públicos y árboles robustos.

Figura 60. Objetos fijos en separadores.

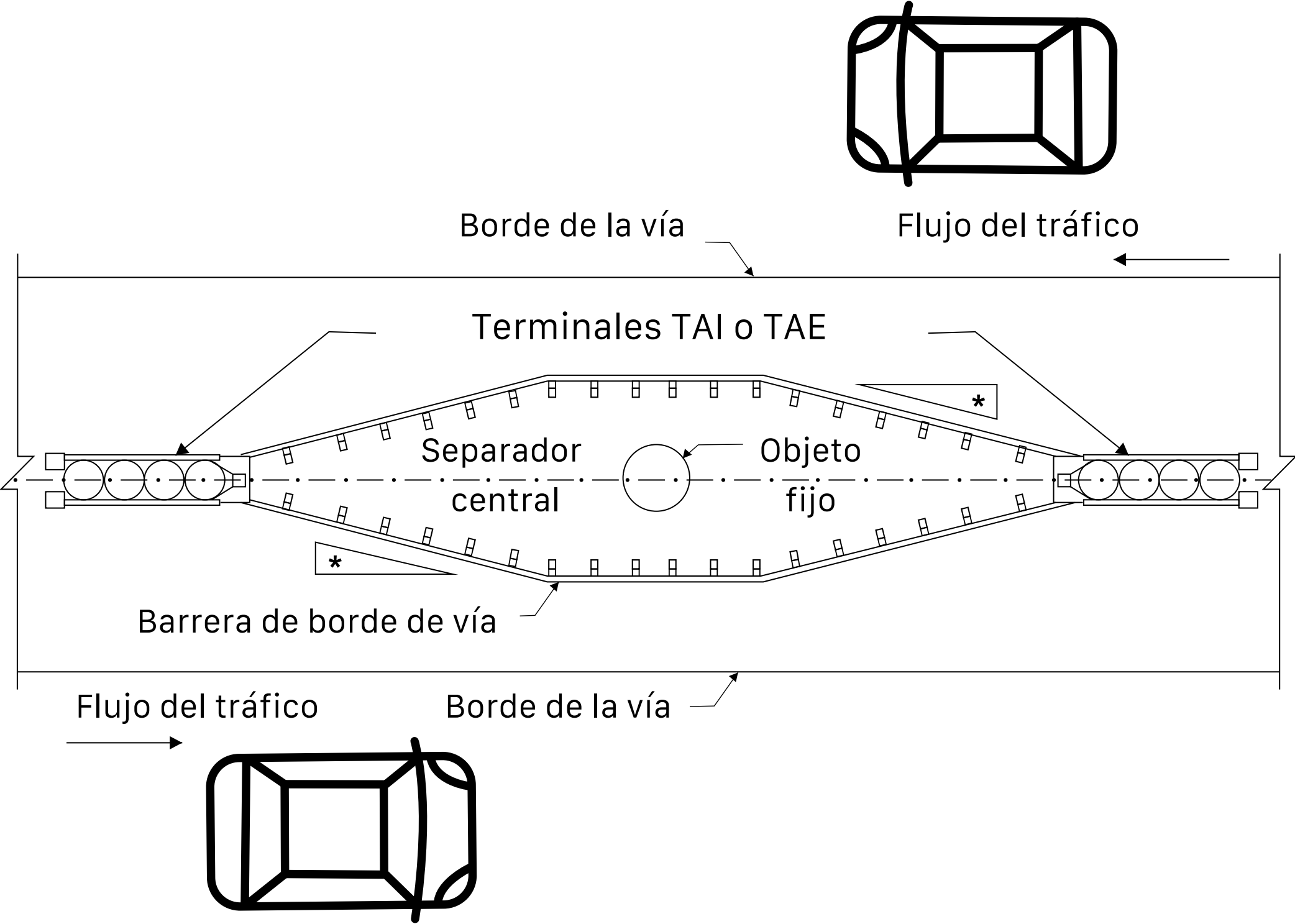


Fuente: (Arriba) Fotos propias. (Abajo) (AASHTO, 2011)

Si es necesario proteger ambos sentidos de circulación y si además el separador es plano (es decir, pendientes laterales menores de aproximadamente 1V:10H), se sugieren dos medios de protección:

- » El diseñador debe revisar si existen criterios de justificación suficientes para considerar el uso de un amortiguador de impacto para proteger el objeto.
- » Se sugiere emplear barreras semirrígidas o rígidas con amortiguadores de impacto o TAE para proteger los extremos de la barrera, como se ilustra en la Figura 61. Si se utilizan sistemas semirrígidos, la distancia de la barrera al obstáculo debe ser mayor que la deflexión dinámica de la barrera. Si se usa una barrera de concreto, la barrera se puede colocar junto a la obstrucción a menos que exista la preocupación de que un vehículo con un centro de gravedad alto golpee el obstáculo porque su contacto con la barrera hace que la parte superior del vehículo se incline sobre la barrera (intrusión) (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011).

Figura 61. Propuesta de tratamiento para objetos fijos en separadores.



Fuente: Adaptado de (AASHTO, 2011, págs. 6-20)

(*) La relación de esviaje no debe exceder los valores sugeridos en la Tabla 13.

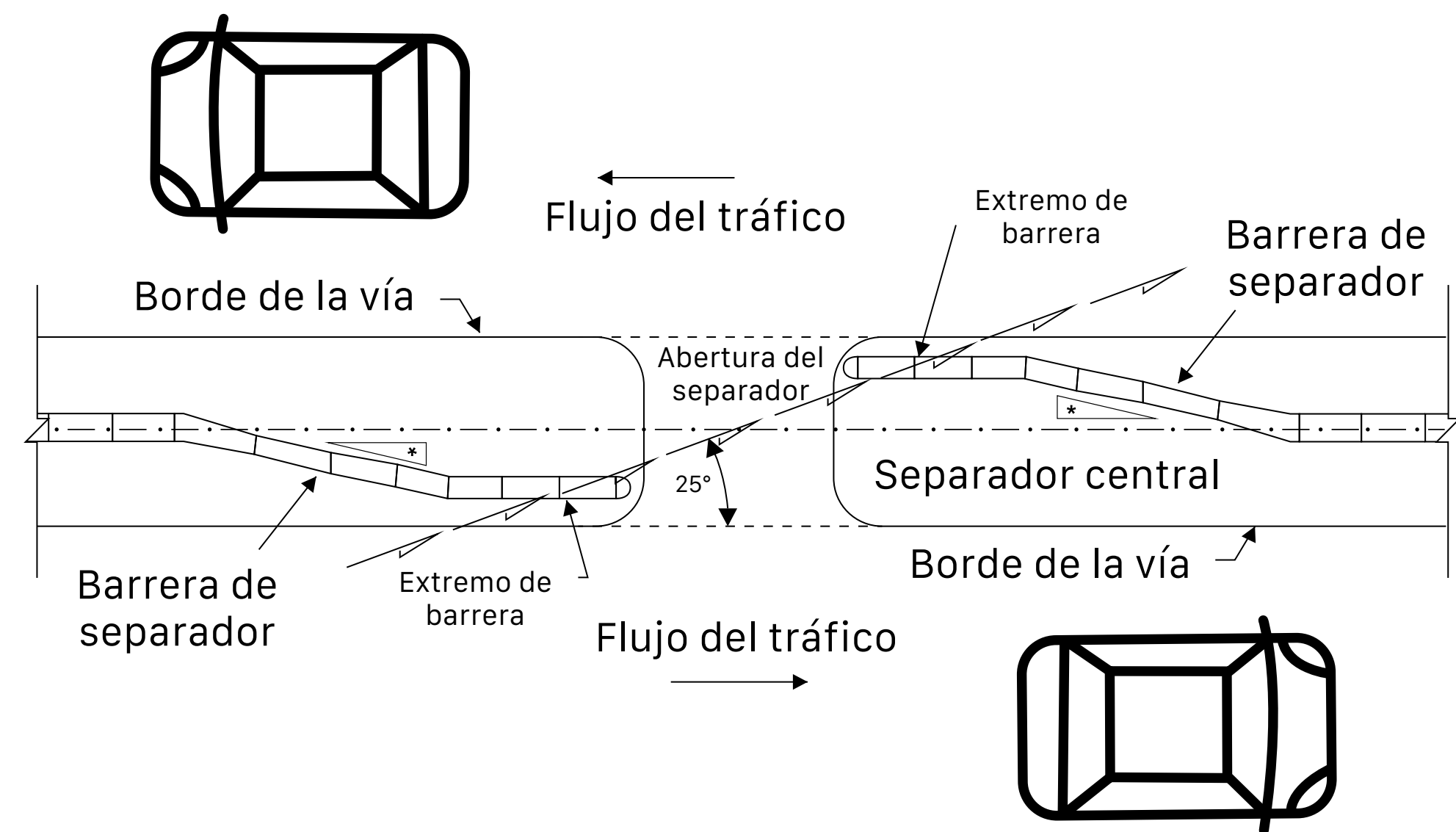
2.15.1.2 Terminales de barrera en aberturas del separador

Al igual que con las barreras al borde de la vía, las barreras en separadores también deben instalarse y tratarse en sus extremos de manera segura. Por lo tanto, los extremos de las barreras medianas instalados en lugares donde es probable que se produzcan impactos deben ser resistentes a choques. Esta situación es más frecuente en las aberturas de los separadores donde estos extremos quedan más expuestos.

Debido a los choques más severos que normalmente resultan de los impactos con las terminales y el costo de las terminales en comparación con la barrera misma, las aberturas o roturas en las barreras en separadores deben mantenerse al mínimo. Cuando se necesiten aberturas permanentes, los extremos de la barrera deben tener un adecuado tratamiento como se describió anteriormente o, si el separador es lo suficientemente ancho, el terminal puede abatirse y esviarse de manera que la barrera proteja al tráfico que se aproxima (aguas arriba) de entrar en contacto directo con la terminal al otro costado de la abertura (aguas abajo). La última condición puede cumplirse si el ángulo mínimo (medido en paralelo a la

calzada) desde el extremo aguas arriba hasta el extremo aguas abajo compensado es de 25 grados según recomienda AASHTO (2011).

Figura 62. Propuesta de tratamiento de barreras en aberturas de separador.



Fuente: Adaptado de (AASHTO, 2011, págs. 6-15)

(*) La distancia de preocupación (LS) no debe exceder los valores sugeridos en la Tabla 8 en función de la velocidad.

2.15.2 Barreras para blindar elementos peligrosos individuales

Existen barreras y otros dispositivos que han sido diseñados específicamente para riesgos individuales en los bordes de las vías y separadores, como postes de iluminación, árboles, torres de transmisión, etc. (Ver Figura 63). Las pruebas estandarizadas de ensayos siguen siendo aplicables a estos sistemas que varían según su fabricante.

Un ejemplo de estos sistemas son las unidades de barrera no continua para usar en áreas donde las condiciones locales no permiten la aplicación de secciones largas de barreras de seguridad (longitudes mínimas de otras barreras testeadas). En este caso, el sistema fue probado por BAST (Instituto Federal Alemán de Carreteras) de acuerdo con EN 1317-2 y alcanzó un nivel de contención de N2-A-W4.⁹

⁹ Denominación de una barrera longitudinal, en este caso N2-A-W4: Nivel de contención N2 (EN 1317), Nivel de Severidad A, Ancho de trabajo normalizado W₄.

Figura 63. Barrera longitudinal para obstáculos individuales.



Fuente: (MS Industries)

Existen otras tecnologías más "blandas" para brindar protección ante obstáculos fijos que han sido probados bajo estándares norteamericanos. Estos elementos han sido probados según las pautas de MASH y NCHRP 350 para un amortiguador de choque no redirectivo y han cumplido con los criterios de evaluación requeridos para el nivel de prueba 1 (TL-1). Ver Figura 64.

Figura 64. Barrera de contención para obstáculos fijos.



Fuente: (Ingal Civil Products, 2021)

Entre sus ventajas están:

- » Se puede utilizar en lugares normalmente difíciles de proteger, como postes de servicios públicos y árboles.
- » Tamaño compacto y fácil instalación (menos de 30 minutos).
- » Sin mantenimiento, estabilizado a los rayos UV, vida útil prevista de 25 años.

- » Superficies y geometría lisas, adecuadas para usuarios vulnerables de la carretera.
- » Después de que ocurre una colisión, el lado no impactado aún se puede reutilizar.
- » No se requieren cimientos.
- » Protección totalmente reciclable de muy bajo costo.

2.15.3 Barreras en accesos a predios e intersecciones

Los accesos a predios e intersecciones presentan una situación particular para el diseño de barreras longitudinales que implica considerar con más detalle la geometría y características del entorno. Los accesos a predios suelen ser comunes en carreteras y las intersecciones en entornos urbanos, de ahí que esta metodología contemple incluir algunos criterios para el uso de barreras longitudinales.

Para el tratamiento en intersecciones, AUSTROADS (2019) ha desarrollado lineamientos de diseño de barreras que respondan

adecuadamente ante eventuales impactos, dadas las condiciones en que pueden darse estos eventos en intersecciones.

Las intersecciones presentan problemas especiales para el diseño de barreras porque el radio de la esquina es relativamente estrecho y en lugar de impactar en ángulos agudos típicos de las barreras adyacentes (de borde de vía), los impactos pueden ocurrir en cualquier ángulo, incluido el ángulo recto. La implementación en estos contextos de barreras rígidas y semirrígidas estándar darán como resultado un choque de alta gravedad, mientras que una barrera flexible no es adecuada para radios tan pequeños. Las barreras de seguridad de cable de acero no se pueden utilizar en situaciones de radio estrecho de menos de 200 m. Sin embargo, se han desarrollado algunos diseños para reducir la gravedad en tales circunstancias.

Las esquinas de las intersecciones a menudo acomodan mobiliario vial, letreros, postes de servicios públicos, señales, semáforos, en ocasiones árboles, otros elementos del espacio público. Cualquier peligro fijo debe alejarse del carril de tráfico tanto como sea posible y en muchos casos es necesario utilizar elementos de protección para evitar impactar estos objetos

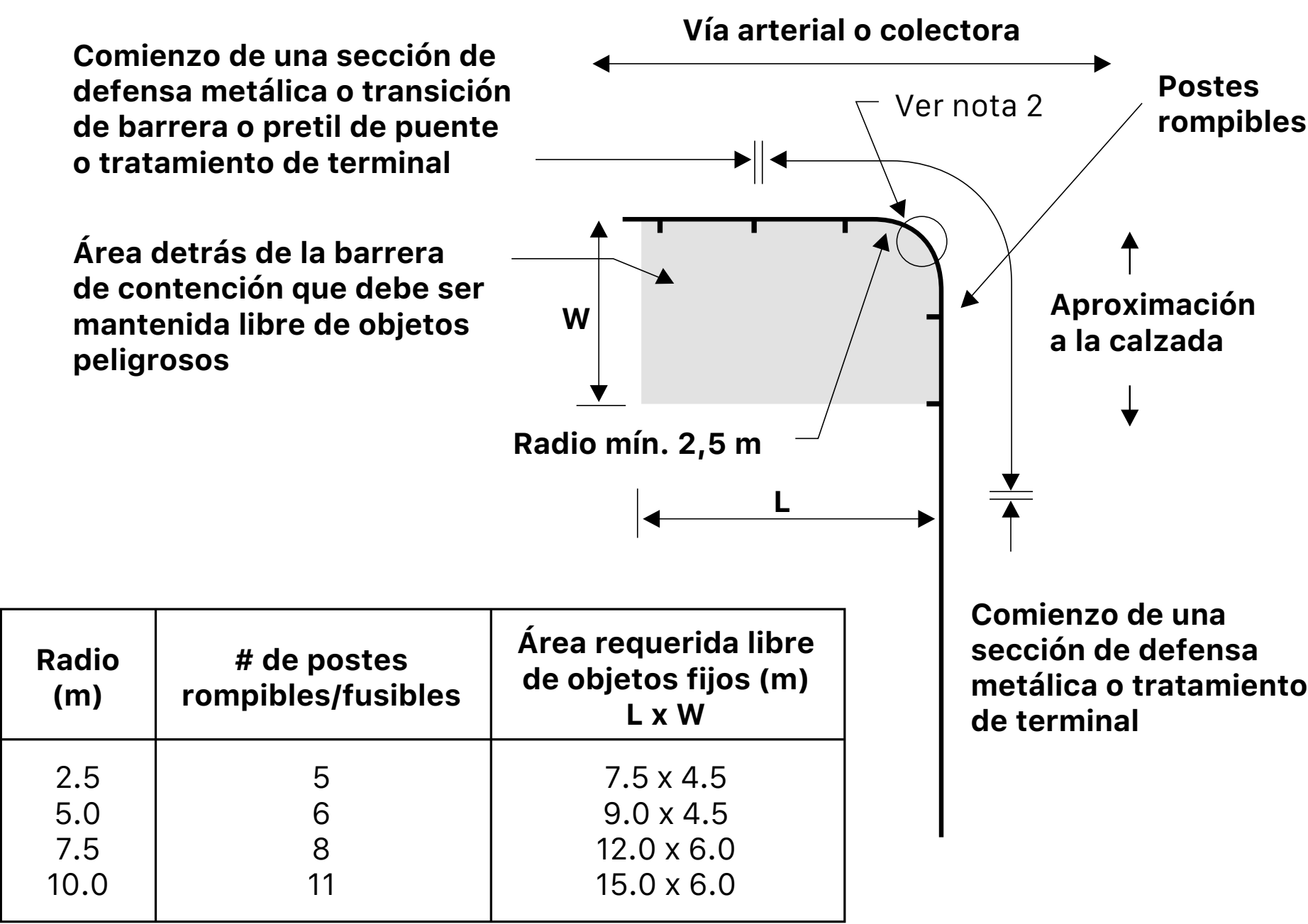
fijos. Un inadecuado tratamiento de las barreras en estos puntos puede representar tanto o más peligro que los propios objetos fijos existentes.

La Figura 65 y Figura 66 muestran ejemplos de diseños para barreras curvas intersecciones de vías principales. Para que sean efectivos, los tratamientos deben ser instalados de acuerdo con las notas de las figuras. El principio básico de los diseños es que la barrera que forma el radio de la esquina está diseñada de modo que un vehículo de diseño que impacte en un ángulo amplio sea contenido y desacelerado a un ritmo aceptable.

Esto se logra:

- » Uso de postes rompibles espaciados 2,0 m.
- » Omitir separadores.

Figura 65. Ejemplo de barrera curva en intersecciones principales (esquinas con radios entre 2,5 m a 9,9 m).



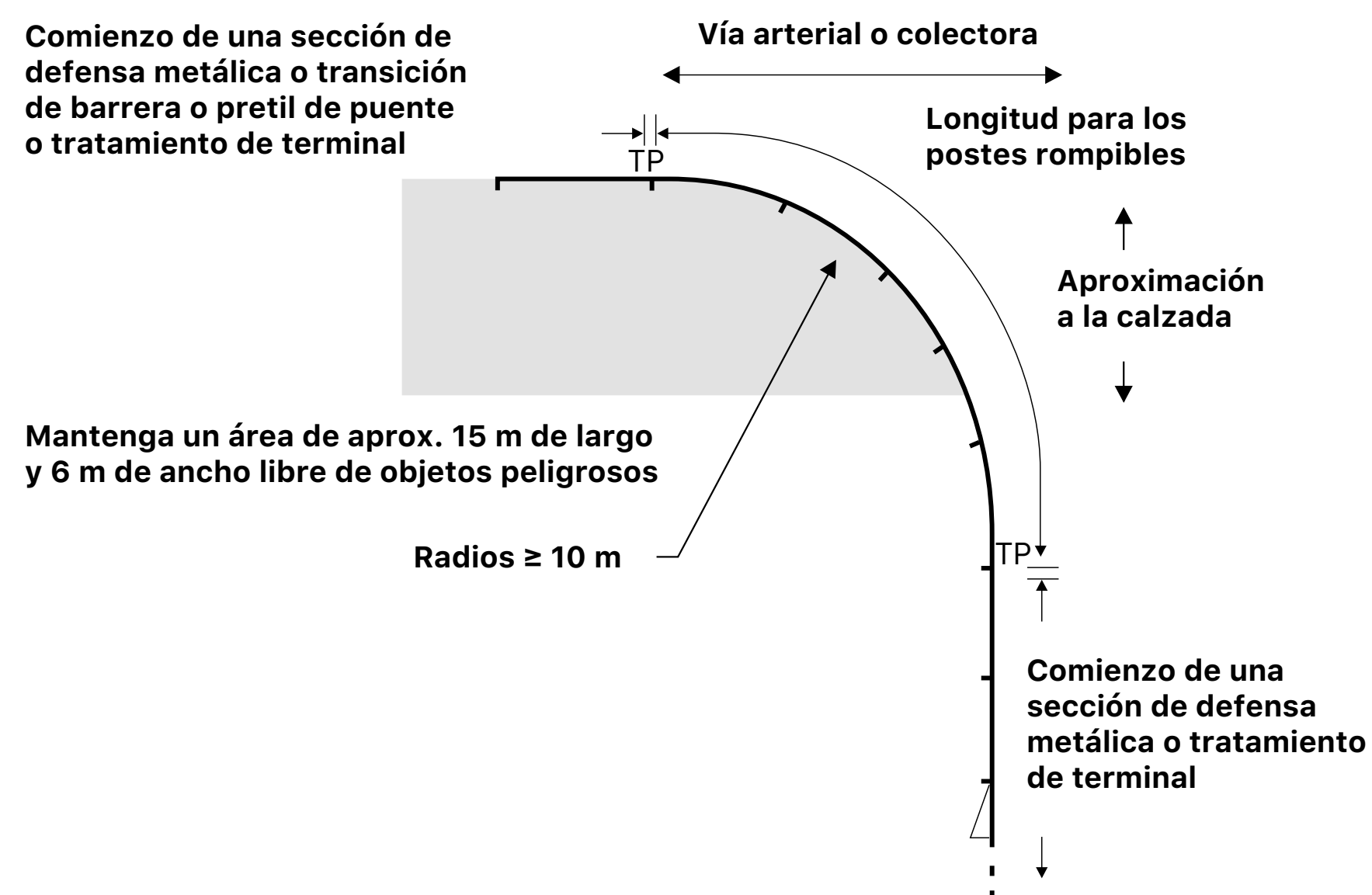
Fuente: (Austroads, 2019, pág. 119 y 120)

Notas:

1. No se deben usar arandelas en los pernos que conectan la viga al separador o poste.
2. La viga no está atornillada al poste en el centro de la aguja como se muestra.
3. La sección curva de la barrera debe ser precurvada por el fabricante. La viga curva se apoya en los ángulos de los postes adyacentes (no atornillados en los puntos tangentes al poste).

4. Las dimensiones nominales de los separadores de madera son 150 mm x 200 mm x 360 mm.
5. Las dimensiones nominales de los postes rompibles (de madera o acero) son 150 mm x 200 mm x 1800 mm.
6. Los postes están espaciados 2000 mm entre centros.

Figura 66. Ejemplo de barrera curva en intersecciones principales (esquinas con radios ≥ 10 m).



Fuente: (Austroads, 2019, pág. 119 y 120)

Notas:

1. No se deben usar arandelas en los pernos de cabeza redonda que conectan la viga al separador o poste.
2. La sección curva de la barrera debe ser precurvada por el fabricante. La viga curva se apoya en los ángulos de los postes adyacentes (no atornillados en los puntos tangentes al poste).
3. Las dimensiones nominales de los separadores de madera son 150 mm x 200 mm x 360 mm.
4. Las dimensiones nominales de los postes rompibles (de madera o acero con base deslizante) son 150 mm x 200 mm x 1800 mm.
5. Los postes están espaciados 2000 mm entre centros.

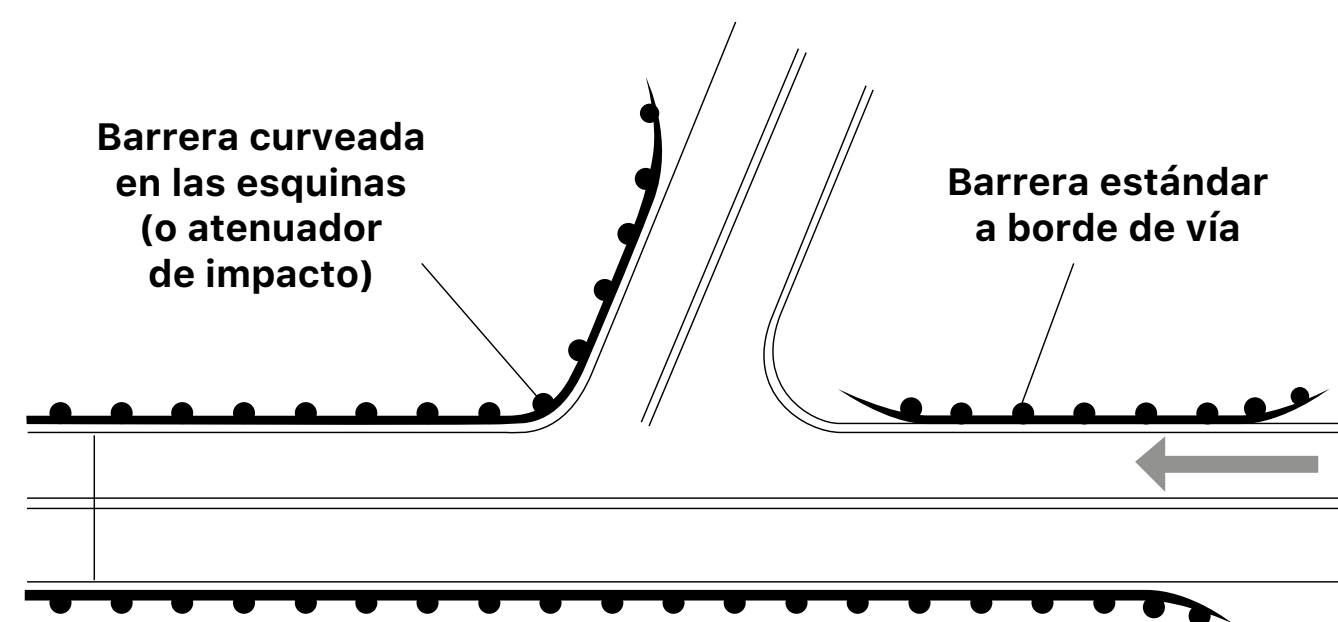
En estas situaciones es fundamental que la barrera esté ubicada en una posición en la que no impida la distancia visual.

Estos tratamientos deben proporcionarse en un área plana, 10H:1V o menos, y estar libre de objetos fijos. Si no se pueden cumplir estos criterios, se debe descartar el uso de barreras semirrígidas. El uso de esas barreras es más crítico en ubicaciones con velocidades muy altas ($V > 80$ km/h).

Para el caso de accesos a predios, al igual que en intersecciones, AASHTO (2011) recomienda que la instalación de barrera estándar se ubique tan lejos de las esquinas como lo estaría la barrera

si no estuviera presente la intersección. La sección de la barrera aguas arriba de la intersección, reduce significativamente el riesgo para un conductor al reducir el ángulo en el que se puede golpear la barrera curva o el amortiguador de impacto (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011, págs. 5-60).

Figura 67. Barrera en intersecciones o accesos a predios.



Fuente (AASHTO, 2011, págs. 5-50)

3.15.4 Barreras en zonas de trabajo (obra)

El diseño y la selección de las características de seguridad de la zona de trabajo deben basarse en las velocidades reglamentarias antes del inicio de obra y la proximidad de los vehículos a los trabajadores y peatones. Las velocidades operativas reales pueden

ser considerablemente más altas que los límites de velocidad señalizados y, de presentarse esta situación en un sector de obra concreto, se debe tener en cuenta la velocidad de operación para el diseño del tratamiento de seguridad vial más apropiado.

Las barreras en zonas de trabajo son diseñadas como barreras permanentes o como barreras temporales que se pueden reubicar fácilmente. Estas barreras pueden tener varias funciones¹⁰:

- » Reducir la probabilidad de que el tráfico ingrese en las áreas de trabajo como excavaciones, sitios de almacenamiento de materiales o de circulación de trabajadores o peatones.
- » Brindar protección a los trabajadores.
- » Separar el tráfico en dos sentidos.
- » Proteger la construcción y sus estructuras de soporte provisional, como el cimbrado de puentes y otros objetos expuestos.
- » Separar a los peatones y ciclistas del tráfico vehicular.

¹⁰ Adaptado y complementado de (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011, págs. 9-2)

2.15.4.1 Barreras temporales

El uso de barreras longitudinales temporales debe basarse en un análisis de ingeniería para cada caso. Hay una serie de factores, incluidos el volumen de tráfico, la velocidad de operación, el desplazamiento posible y el tiempo que se requiera dicha barrera, que afectan las necesidades de las barreras dentro de las zonas de trabajo. Sin embargo, el uso inapropiado de las barreras temporales puede brindar una falsa sensación de seguridad tanto para los usuarios motorizados de la vía como para los trabajadores y transeúntes en los alrededores de la obra. Por lo tanto, se debe tener cuidado en su diseño, instalación y mantenimiento. La barrera de concreto portátil puede ser una opción ampliamente escogida en estos casos. También están disponibles otros diseños de barreras temporales que pueden ser apropiados para aplicaciones en zonas de trabajo.

Aunque no existe consenso sobre recomendaciones específicas, las barreras temporales generalmente se justifican para la ampliación de puentes, el blindaje de estructuras al borde de la carretera, la ampliación de la carretera

(especialmente con desnivel del borde) y la separación del tráfico en doble sentido en calzada originalmente unidireccional.

De acuerdo con lo planteado en el Roadside Design Guide (American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO], 2011), se tienen cuatro tipos principales de barreras temporales. Ver Tabla 20.

Tabla 20. Barreras temporales.

Tipo de barrera	Barrera de portátil en concreto	Barreras móviles	Barreras de perfil bajo	Barreras metálicas o rellenas de agua
Adecuación estructural	Varía dependiendo del tipo de junta o unión.	TL-3	TL-2	TL-2 y TL-3
Deflexión	0 - 1,5 m	1,5 m	127 mm	3,8 m - 6,9 m
Usos	Separación del tráfico en doble sentido en calzada originalmente unidireccional. Protección de obstáculos y cimbrados. Protección de desniveles del borde del pavimento.	Protección para carriles reversibles.	Sitios de trabajo en áreas urbanas y rurales donde la distancia visual es un problema o una limitante.	Blindaje donde la alta portabilidad es deseado; es decir, medidas de control de tráfico de emergencia y que cambian rápidamente. Protección de zonas de obras en entornos urbanos congestionados.

Fuente: AASHTO, 2011, págs. 9-3)

» Barreras portátiles de concreto

Estas barreras son dovelas prefabricadas de concreto, independientes, de 2,4 m a 9 m de longitud, con dispositivos de conexión incorporados denominados juntas o uniones. Por el peso de sus elementos, suele requerirse equipo pesado para su instalación y desmontaje.

El desempeño o comportamiento de esas barreras depende, entre otros factores, de la longitud y la masa de sus segmentos, la forma en que estos se unen, la rotación de las juntas y la forma en que se anclan los segmentos.

Cuando recibe un impacto, la masa de la barrera y la fricción entre la barrera y la superficie subyacente tienden a limitar el movimiento y el vuelco. Cada sección debe estar correctamente conectada a la sección adyacente para proporcionar continuidad de barrera en su resistencia al movimiento producido por el impacto, evitar los enganches y la inestabilidad de los vehículos que la impactan.

» Barreras móviles

Puede usarse en zonas de construcción en autopistas de gran volumen donde, debido a las operaciones de construcción y al deseo de mantener la capacidad de tráfico, los carriles de tráfico se abren y cierran con frecuencia. El sistema requiere energía, tiempo y recursos para establecer las barreras inicialmente; sin embargo, permite que una zona de trabajo se cree y proteja rápidamente durante los períodos de bajo flujo de tráfico, y la autopista se puede volver a cambiar a la utilización de carril completo durante el período diurno ocupado.

El sistema también se puede utilizar en carreteras y puentes con distribución direccional de tráfico desequilibrada, como rutas turísticas o de cercanías. Una vez instalada, la barrera se puede mover rápidamente para proporcionar capacidad adicional en la dirección del tráfico pesado.

» Barreras de perfil bajo

Otra barrera que se ha desarrollado para entornos típicamente urbanos o donde un sistema TL-2 es apropiado, es la barrera de

perfil bajo. En entornos urbanos su suele usar para proteger de árboles ubicados en separadores.

Estas barreras suelen tener alturas que oscilan entre 457 mm y 510 mm. La altura más baja de la barrera mejora la distancia visual y proporciona otra opción para vincularse con el entorno adyacente.

Este tipo de barrera se desarrolló para proporcionar una solución a aplicaciones específicas del sitio. Estas barreras se pueden

utilizar también como solución permanente. Muchas de estas barreras pueden ser vaciadas en sitio o prefabricadas.

» **Barreras metálicas o rellenas de agua**

Son barreras compuestas por carcasas o contenedores de plástico que se unen mediante un armazón de acero.

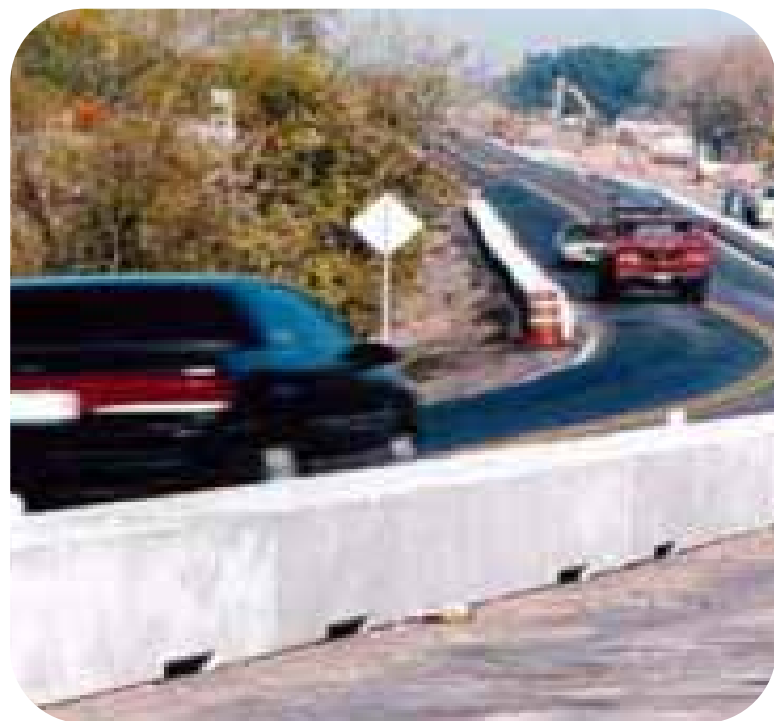
Figura 68. Tipos de barreras temporales.



Barreras portátil
en concreto



Barreras móviles



Barreras de bajo perfil



Barreras rellenas de agua

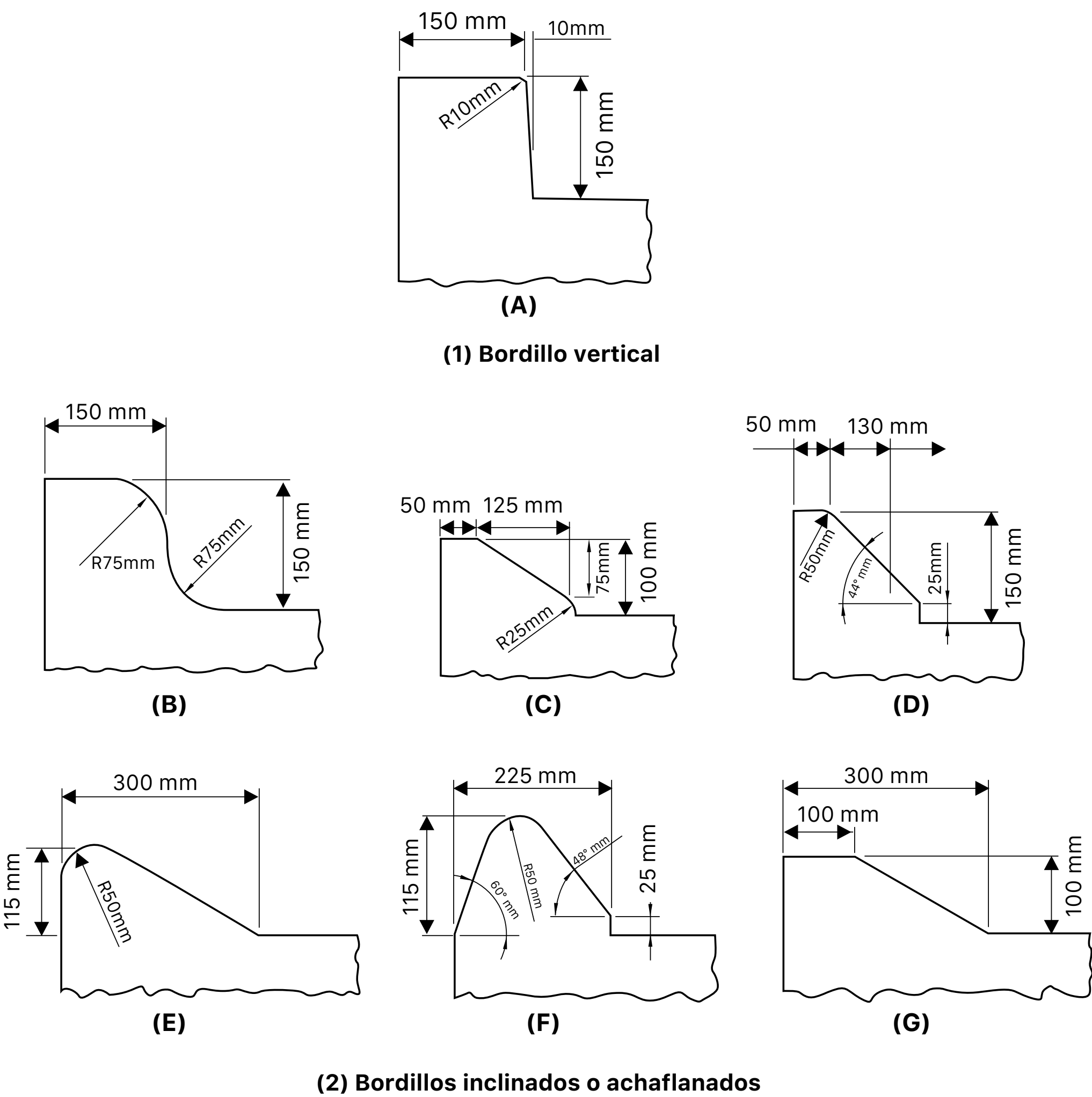
Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011)

2.15.5 Consideraciones de diseño e instalación de barreras en entornos urbanos

Si bien el uso de bordillos no es exclusivo de vías urbanas, los conceptos y descripción de las pruebas de impacto realizadas contra estos elementos, intentan dar una idea de cómo podrían afectar el desempeño de los SCV si se usan de manera conjunta.

Del reporte NCHRP 537 se extraen conclusiones importantes sobre estos elementos del espacio público dado que pueden tener un rol en el comportamiento de las barreras longitudinales. Los bordillos típicos testeados por la AASHTO son de dos tipos: verticales e inclinados (Ver Figura 69). Estas tipologías se probaron para vías con velocidad de diseño entre 60 y 100 km/h¹¹, variando la masa de los vehículos livianos de 812 kg y otros más grandes de 2000 kg, así como el ángulo de impacto.

Figura 69. Tipos de bordillos testeados por la AASHTO.



11 En el rango intermedio de velocidad, entre 60 km/h y 80 km/h, no hay estándares para el uso de bordillos.

Fuente: Elaborado a partir de (Plaxico y otros, 2005).

Los bordillos que se encuentran muy cerca del borde de la vía representan un posible peligro para los conductores que pueden llegar a salirse de la misma. Si bien se desaconseja el uso de bordillos en vías donde la velocidad supere los 50 km/h, a menudo se requieren debido a restricciones de derecho de paso, consideraciones de drenaje, control de acceso, delineación y otros usos.

Figura 70. Ejemplo típico de un conjunto Bordillo + Barrera metálica.



Fuente: Fotos propias.

Dado que el centro de gravedad del vehículo está más alto que la parte superior del bordillo, un impacto a alta velocidad con este elemento introducirá un momento (torque) en torno al punto de contacto entre la llanta y el bordillo que puede hacer que el vehículo vuelque. En estos tramos (donde existe este riesgo) se requiere un tratamiento con bordillos (siempre que estos no puedan eliminarse) que respondan favorablemente ante un impacto y trabajen en conjunto con la barrera metálica, para evitar un posible vuelco del vehículo. Para ello la altura y el comportamiento mecánico de la barrera deben ser las adecuadas para oponerse al momento de vuelco indicado anteriormente.

Ante una salida de vía, la mayoría de los vehículos remontará el bordillo mientras interactúa con la barrera, sufriendo un comportamiento que no es predecible en las pruebas de colisiones, en parte por la variedad de perfiles que se encuentran de estos elementos.

Los bordillos verticales tienen cierta capacidad para redirigir vehículos errantes dado que la rueda que impacta es dirigida por la línea de bordillos en una dirección paralela a la vía. Si la velocidad de impacto (normalmente por debajo de los 50 km/h)

y el ángulo son moderados (similares a los probados en test de impacto de barreras)¹², esta acción de redireccionamiento es todo lo que se requiere para evitar que el vehículo se salga de la vía. Si la velocidad y el ángulo de impacto son más altos, entonces la acción de direccionamiento no es suficiente para redirigir el vehículo. En todo caso, este redireccionamiento no es controlado en el sentido en el que se diseñan y testean las barreras longitudinales.

» Recomendaciones para el uso de bordillos sobre tramos intervenidos o por intervenir con barreras longitudinales

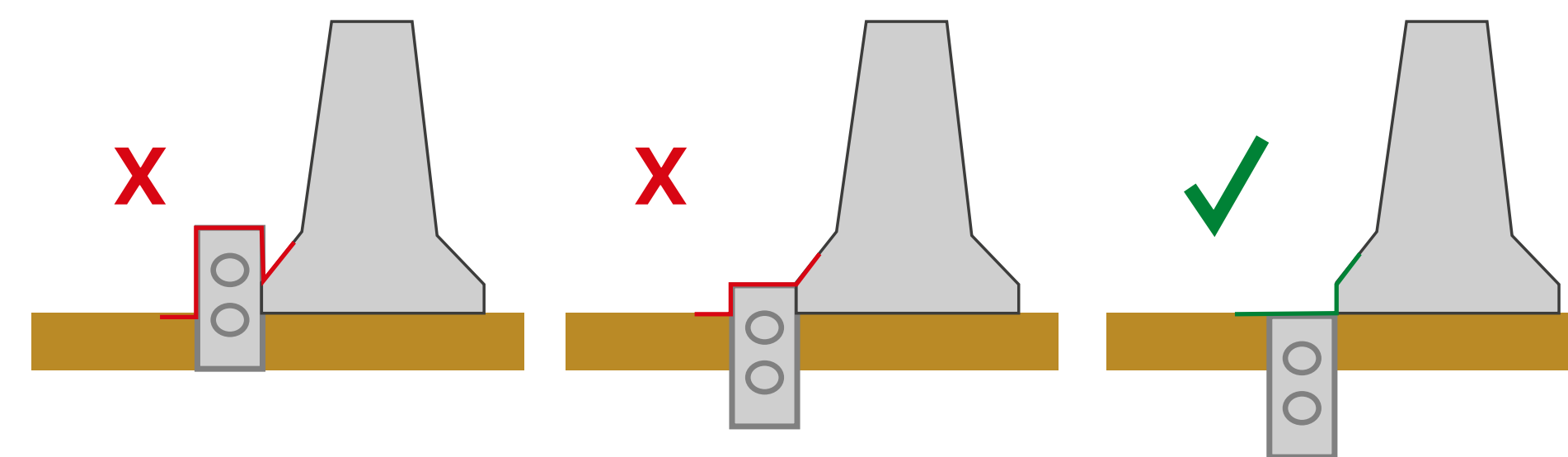
En casos donde los diseñadores incluyan bordillos a lo largo de estas vías por razones de drenaje o para mejorar la delineación, se recomienda buscar otros métodos para lograr esos propósitos.

Los bordillos no deben usarse con barreras rígidas de concreto como las de tipo New Jersey y perfil F. Si se utiliza un bordillo para confinar la estructura del pavimento, éste debe estar a

¹² No es probable que los bordillos a lo largo de vías de baja velocidad provoquen lesiones graves, se usan comúnmente en áreas urbanas donde los límites de velocidad están en el rango de 30 km/h a 50 km/h.

nivel de la calzada, de modo que la geometría de la barrera New Jersey o la barrera Tipo F no se modifique y responda según los parámetros bajo los cuales fueron testeados y certificados, de lo contrario estos elementos no pueden ser considerados dispositivos de seguridad vial. (Ver Figura 71).

Figura 71. Colocación adecuada de bordillos frente a barreras rígidas.



Fuente: Elaboración propia a (Plaxico y otros, 2005)

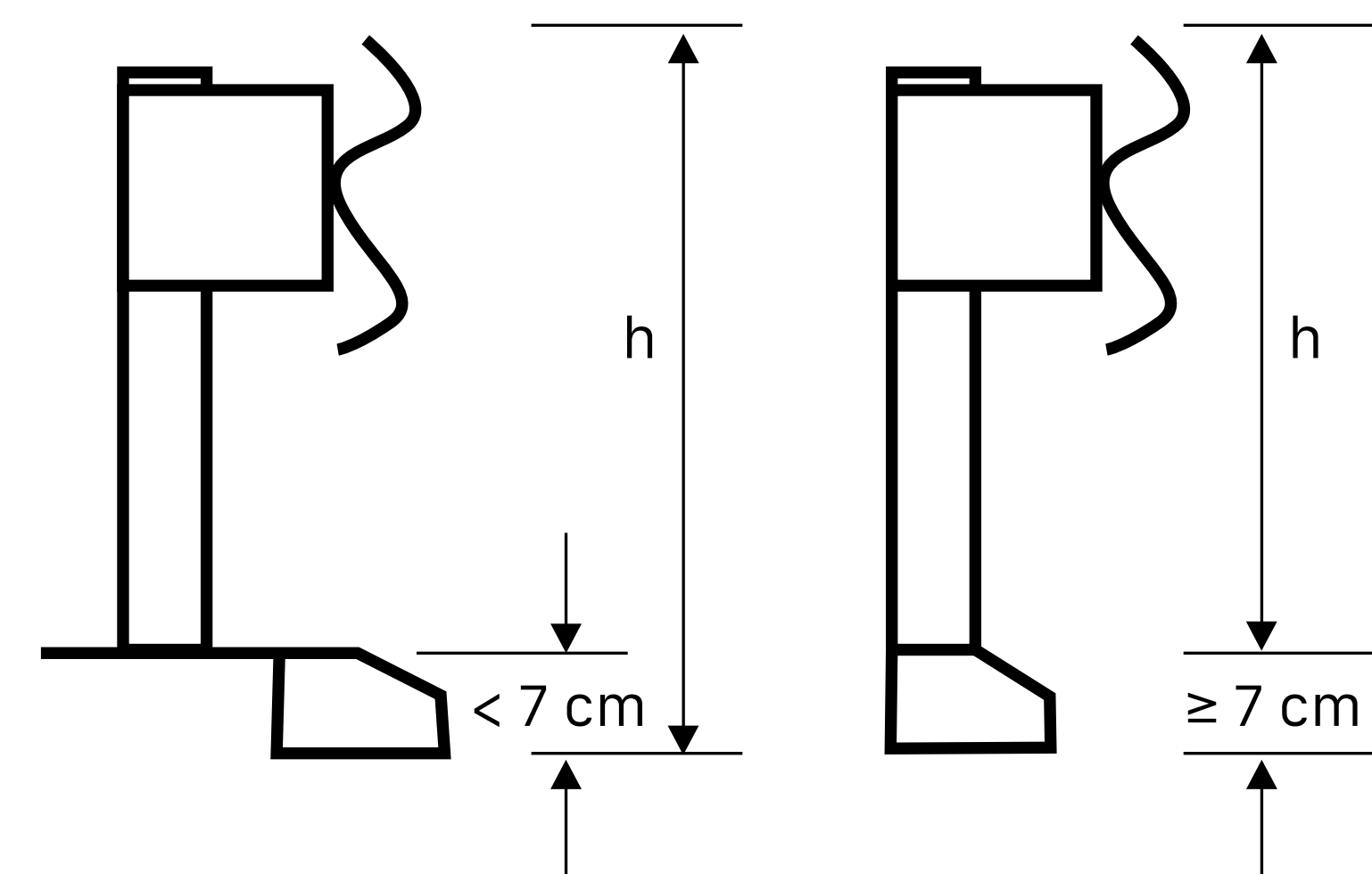
La altura de la barrera no debe afectarse por cuenta de estos elementos. Sin embargo, la Orden Circular 35/2014 española dispone de criterios técnicos para ajustar la altura de la barrera si los bordillos o sardineles superan los 7 cm de altura. Lo que debe primar en todo caso es la no afectación del comportamiento mecánico de la barrera longitudinal.

En primer lugar, debe verificarse que el poste de la barrera esté hincado perpendicularmente respecto a la superficie del suelo. En segundo lugar, la altura de la barrera tiene que ser igual a la utilizada en los ensayos de certificación y cumplirse además los demás parámetros de instalación indicados por el fabricante.

En proyectos de mantenimiento vial donde se contemplen repavimentaciones que eleven el nivel de rasante más de 7 cm, es necesario elevar la barrera metálica hasta que alcance la altura de diseño. En barreras de concreto, tipo NJ o F, se pueden cubrir los 7,5 cm de altura de la sección vertical inferior, establecida como resultado de numerosas pruebas y corresponde al valor máximo que evita un efecto negativo ante un impacto de un vehículo pequeño. Además, genera un espacio para agregar espesor al pavimento en eventuales repavimentaciones.



Figura 72. Verificación de altura de barreras semirrígidas.



Fuente: Elaborado a partir de (Dirección General de Carreteras, 2014, pág. 29)

En conclusión, se recomienda:

- » No utilizar bordillos o sardineles en los tramos que tengan instalado, o donde se proyecte un SCV.
- » En sitios donde ya existe un conjunto Barrera + Bordillo, evaluar si se dan las condiciones de riesgo señaladas en este numeral y, de ser necesario, gestionar las acciones necesarias para mitigar los riesgos identificados. Dentro de

las acciones pueden estar: (1) Reemplazo del bordillo por uno geometría más conveniente según los ensayos y adecuada instalación de la barrera. (2) No optar por barreras metálicas y considerar barrera de concreto que no se ven tan afectadas en su comportamiento por el bordillo si se instalan de manera correcta.

- » Si se usa un bordillo junto con una barrera metálica, la altura del bordillo vertical debería limitarse a 100 mm o, en su defecto, ser del tipo inclinado (achaflanado), ubicado a ras de piso o detrás de la cara posterior de la barrera de manera tal que durante una colisión el bordillo no afecte significativamente trayectoria del vehículo.





Capítulo 3

Criterios para la selección de amortiguadores de alto impacto

3.1 Generalidades

Los amortiguadores de impacto, también conocidos como atenuadores de impacto, se utilizan para proteger zonas u obstáculos peligrosos contra choques frontales, para los que las barreras longitudinales no resultan adecuadas. Su finalidad es la de atenuar las consecuencias del choque frontal del vehículo, absorbiendo su energía cinética mediante la deformación del sistema. La Figura 73 muestra un amortiguador de impacto colocado en el extremo de una barrera rígida de concreto hidráulico (Valverde González, 2011).

El concepto básico de los amortiguadores de impactos consiste en proporcionar una deceleración controlada para evitar el impacto de un vehículo contra un objeto rígido. Para conseguir esto se utilizan tanto la fricción como elementos de absorción de la energía cinética.

En general, todos los amortiguadores utilizan una estructura retráctil que ofrece una resistencia adecuada al vehículo que impacta. A medida que el sistema se retrae, los elementos de absorción entran en funcionamiento conteniendo los distintos niveles de la fuerza de desaceleración al interior del compartimiento del vehículo y evitando que sus ocupantes sufran heridas graves. (Tecnotraffic, 2010).

Figura 73. Amortiguador de impacto instalado en separador.



Fuente (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011)

El reto involucrado en el diseño de un amortiguador de impacto se puede resumir cómo detener el movimiento de cierta masa a una velocidad inicial en un cierto espacio. La Normativa Europea EN 1317 establece un límite para la deceleración máxima del vehículo durante el impacto de un amortiguador a través de la definición del parámetro Accident Severity Index (ASI), conocida como un valor máximo de fuerza **G**¹³, que fija la mayor desaceleración permitida durante el impacto, aspecto que a su vez determina la deformabilidad que debe tener el dispositivo en relación con el espacio disponible para su instalación.

Durante el impacto, la fuerza requerida para deformar el amortiguador de choque afecta el nivel de desaceleración del vehículo, simplemente porque la fuerza de inercia, **$F = ma$** , del vehículo (donde **m** es la masa del vehículo y **a** es la desaceleración) es igual en cada momento a la fuerza (**F**) requerida para deformar el amortiguador de impacto. Generalmente, los amortiguadores contienen unos elementos atenuadores de energía que transforman la energía cinética del vehículo en energía interna de los amortiguadores. (Transportation Research Board, 2012)

¹³ Una aceleración (o desaceleración) de 1 g es generalmente considerada como igual a la gravedad estándar, que es de 9,8 m/s². Para el estándar EN 1712 el límite de desaceleración permitida es de 16.8 g, es decir, 12 g ASI_{max} donde ASI_{max} = 1.4 (para un nivel de severidad B).

3.2 Procedimiento para la selección de amortiguadores de impacto

A continuación, se desarrollan los pasos que se deben seguir para la implantación de amortiguadores de impacto

3.2.1 Determinación de la necesidad de instalación de amortiguadores de impacto

La instalación de un atenuador de impacto está justificada en aquellos sectores de la zona lateral de las vías donde existe un alto riesgo de impacto frontal de los vehículos contra un obstáculo o un elemento peligroso que no puede blindarse con barreras longitudinales y se han descartado todas posibles medidas de intervención de acuerdo con los criterios de la Metodología para el diseño de la zonal lateral (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2022)

En general, las áreas de las zonas laterales de las carreteras con elementos peligrosos principalmente obstáculos que representan un riesgo de que sean impactadas por el tránsito vehicular que no pueden ser blindados con barreras longitudinales son:

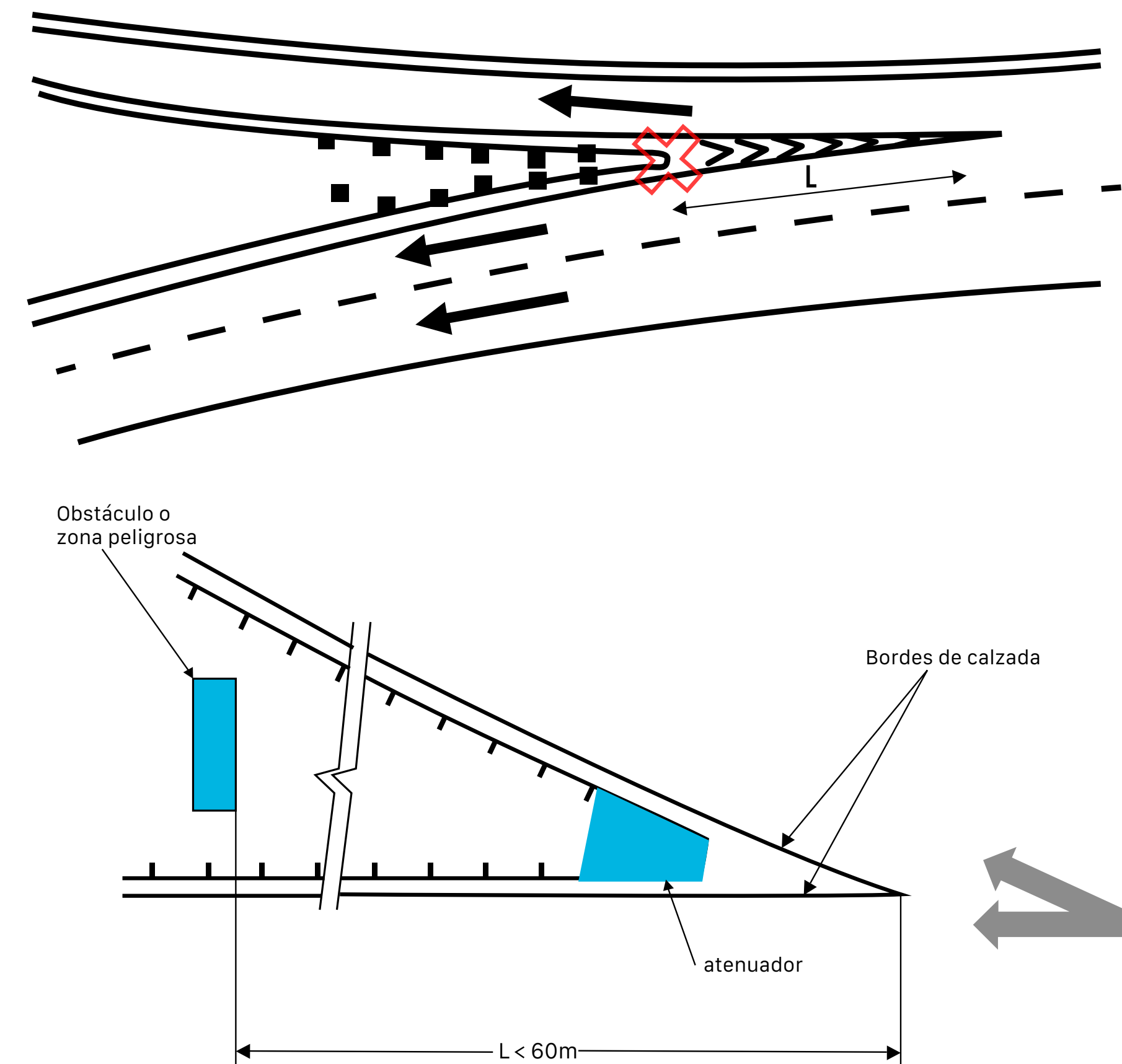
- » Agujas en rampas de salida
- » Comienzo de separadores

En consecuencia, la implementación de amortiguadores de impacto se justifica, en los siguientes casos:

3.2.1.1 "Agujas" en rampas de salida

Las recomendaciones para proteger una zona peligrosa asociada a un ramal de salida o bifurcación por medio de un amortiguador se dan cuando no se dispone de un área plana y libre de obstáculos con una longitud (L) de al menos 60 m medida a partir del punto de apertura de los carriles divergentes y por tanto se considera que hay una alta probabilidad de que un vehículo fuera de control alcance el vértice de la bifurcación indicado con una (X) en la Figura 74 (Dirección General de Carreteras, 2014) .

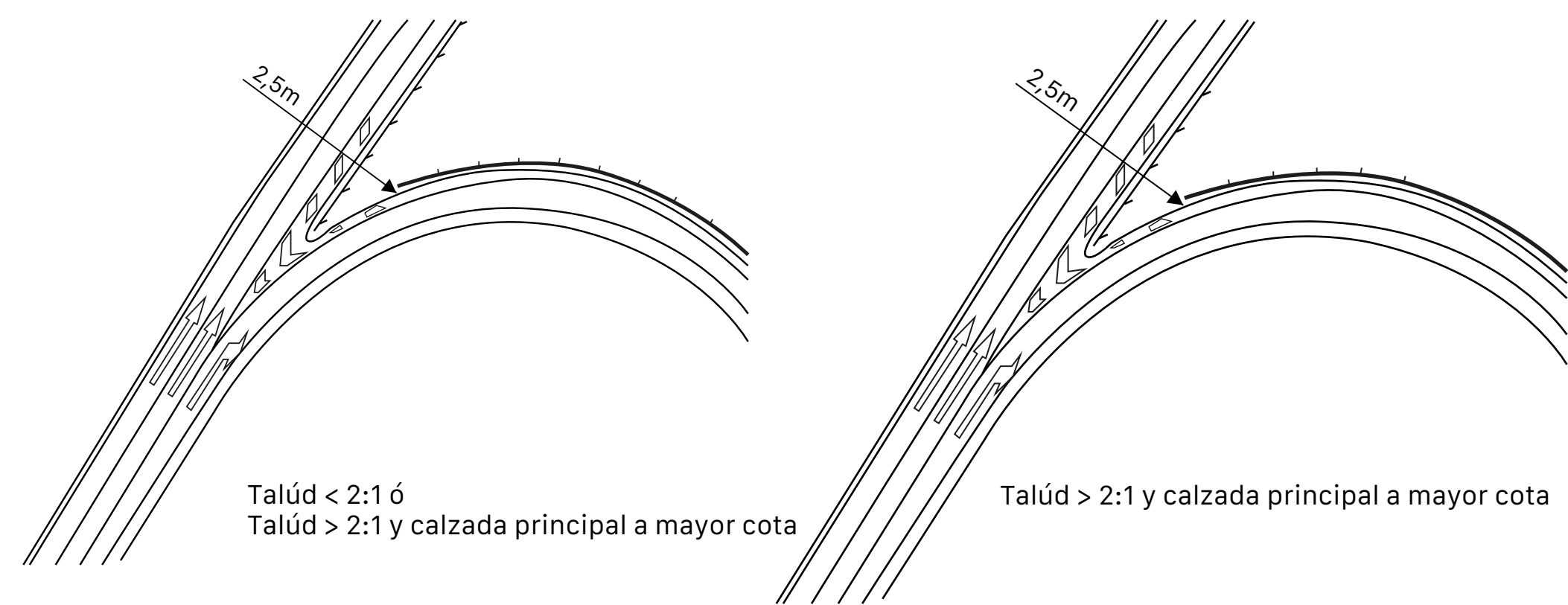
Figura 74 Zona de implantación de atenuadores de impacto en rampas de salida con un obstáculo a menos de 60 m del vértice de los borde de calzada .



Fuente: (1) Elaborado a partir de (Dirección General de Carreteras, 2014). (2) Adaptado de (Dirección General de Carreteras, 1995)

En complemento a lo ya indicado, se recomienda que, si se dispone de barreras en los bordes interiores de una divergencia o una bifurcación, estas no se deben unir en la "aguja" con piezas no ensayadas. Si el terreno es plano debe considerarse instalar un atenuador de impacto como terminación convergente de ambas barreras, si no lo es, se recomienda aplicar los tratamientos indicados en la Figura 75 y disponer de una terminal adecuada según las condiciones del sitio (Dirección General de Carreteras, 2014)

Figura 75. Tratamientos en los extremos de barrera en rampas de salida con desnivel

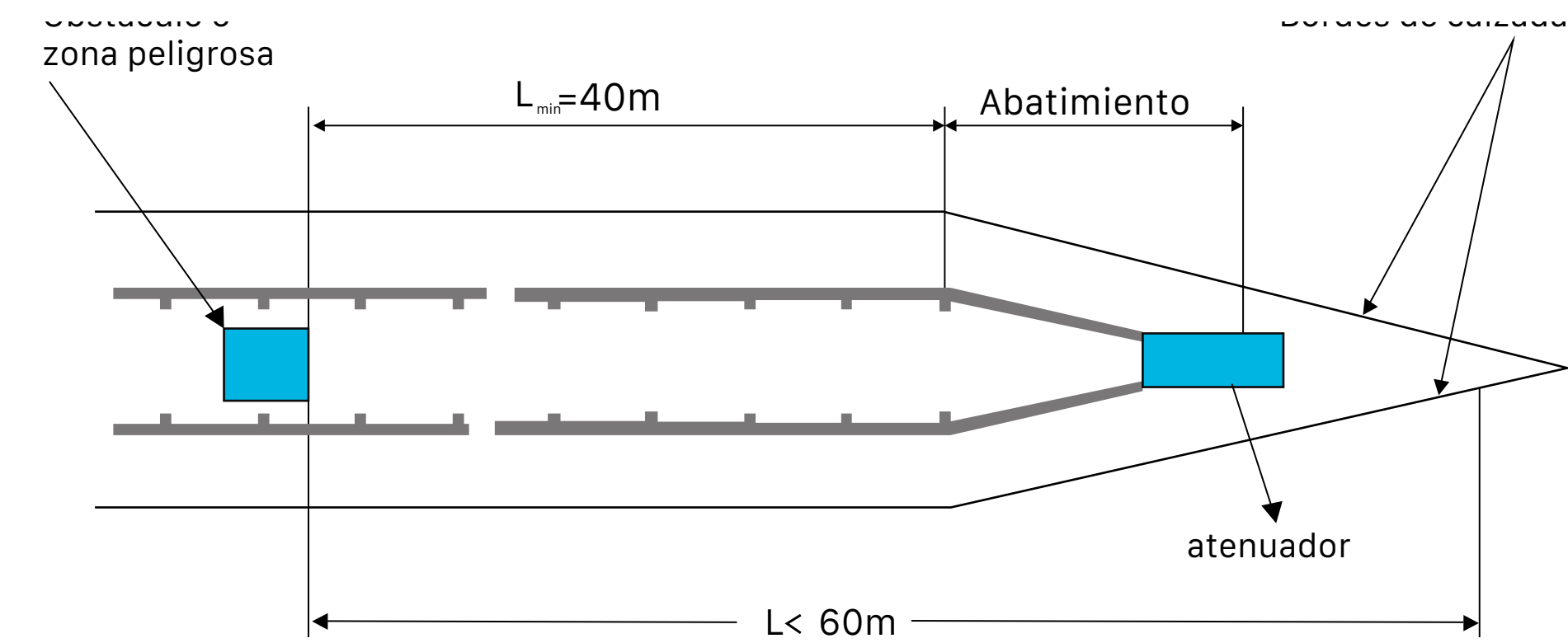


Fuente: (Dirección General de Carreteras, 2014)

3.2.1.2 Comienzos de separadores centrales

En el caso del comienzo de los separadores, se dispondrá de un amortiguador de impacto si al existir un alto riesgo de que el elemento peligroso o el obstáculo sea impactado por un vehículo fuera de control, la distancia (L) entre el vértice formado por la prolongación del borde de la carretera y el obstáculo es menor de 60 m y la distancia del extremo de la barrera al obstáculo es menor 40 m. Ver Figura 76

Figura 76. Disposición de amortiguador de impacto al comienzo de separador central.



Fuente: Elaborado a partir de (Dirección General de Carreteras, 2014)

En los comienzos de separador se pueden emplear barreras en ambos costados siempre que el obstáculo que se quiere blindar no esté a menos de 40 m del punto de la divergencia del flujo vehicular. Aun sin la presencia de obstáculos, las barreras que convergen de forma abatida no son deseables por la posibilidad de que eventualmente se ocurra un rampeo, y si no están abatidas, el riesgo que se tiene es de incrustación en el vehículo. Ver Figura 77.

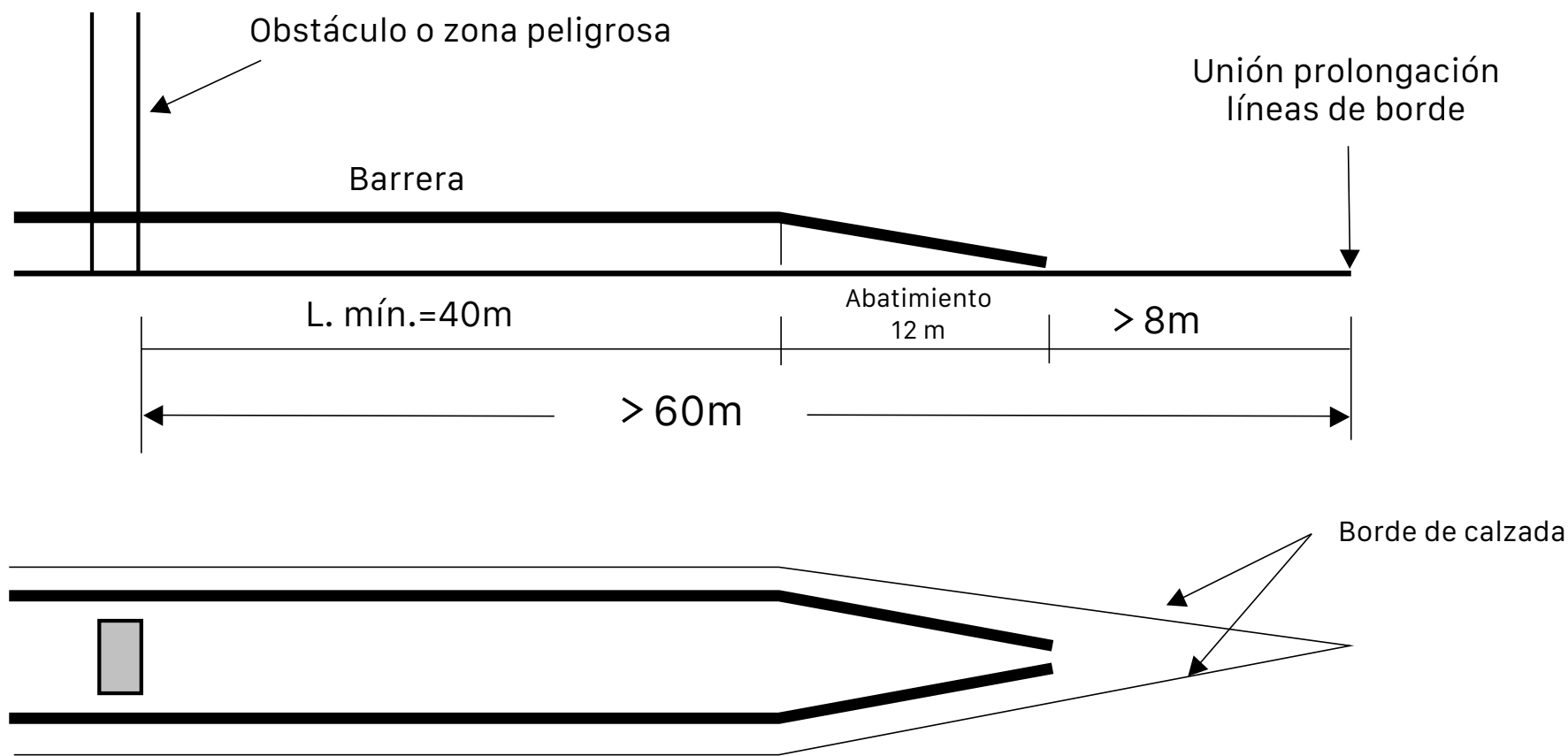
Figura 77. Tratamiento inadecuado de barreras en separador central.



Fuente: Foto propia.

Dada esta situación, se recomienda que cuando el comienzo de las barreras longitudinales en un separador se encuentre a 40 m o más del primer obstáculo situado en este, es suficiente con abatir los 12 m finales de la barrera siempre que se mantenga un distanciamiento mínimo recomendado mayor de 8 m (Dirección General de Carreteras, 1995). Ver Figura 78. Criterios de implantación de barreras longitudinales en el comienzo de separadores centrales.Figura 78

Figura 78. Criterios de implantación de barreras longitudinales en el comienzo de separadores centrales.



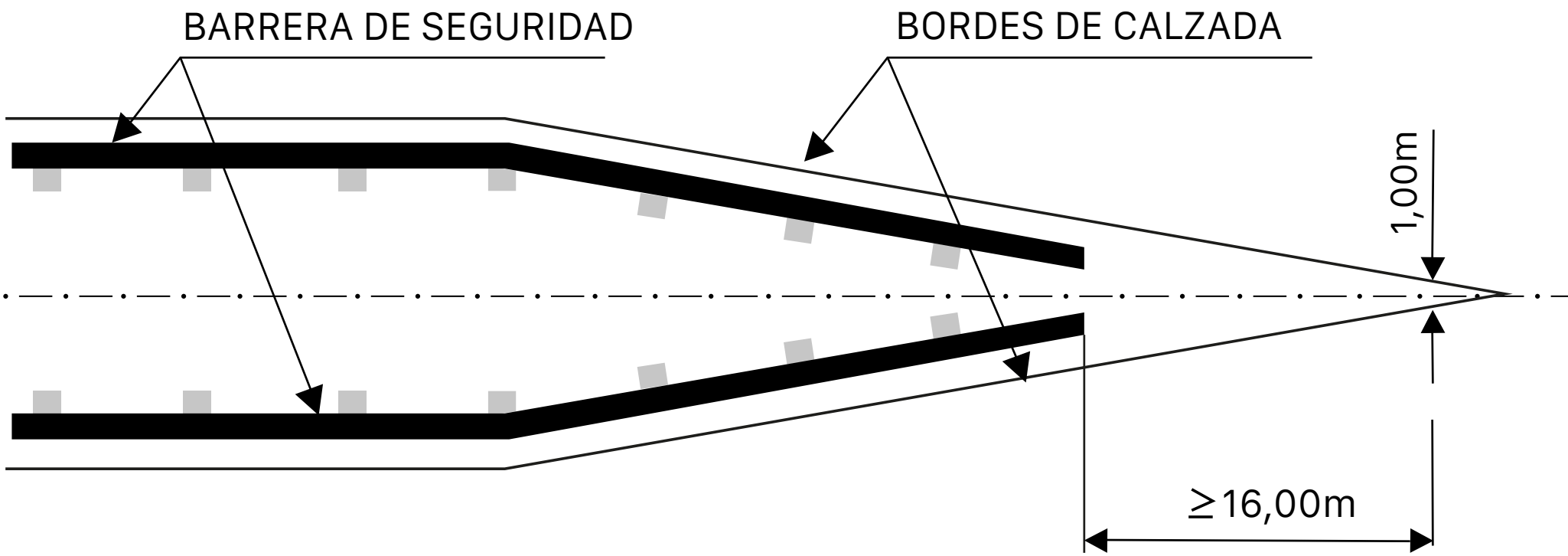
Fuente: (Dirección General de Carreteras, 1995)

Mediante la instalación de un amortiguador de impacto se puede proveer protección al comienzo de separadores, ya que el amortiguador se puede acoplar directamente a la barrera existente (cuidando el diseño de la transición entre elementos), con el beneficio añadido de que puede instalarse más cerca del obstáculo, aumentando el espacio de reacción del conductor, como se indica en la figura 79.

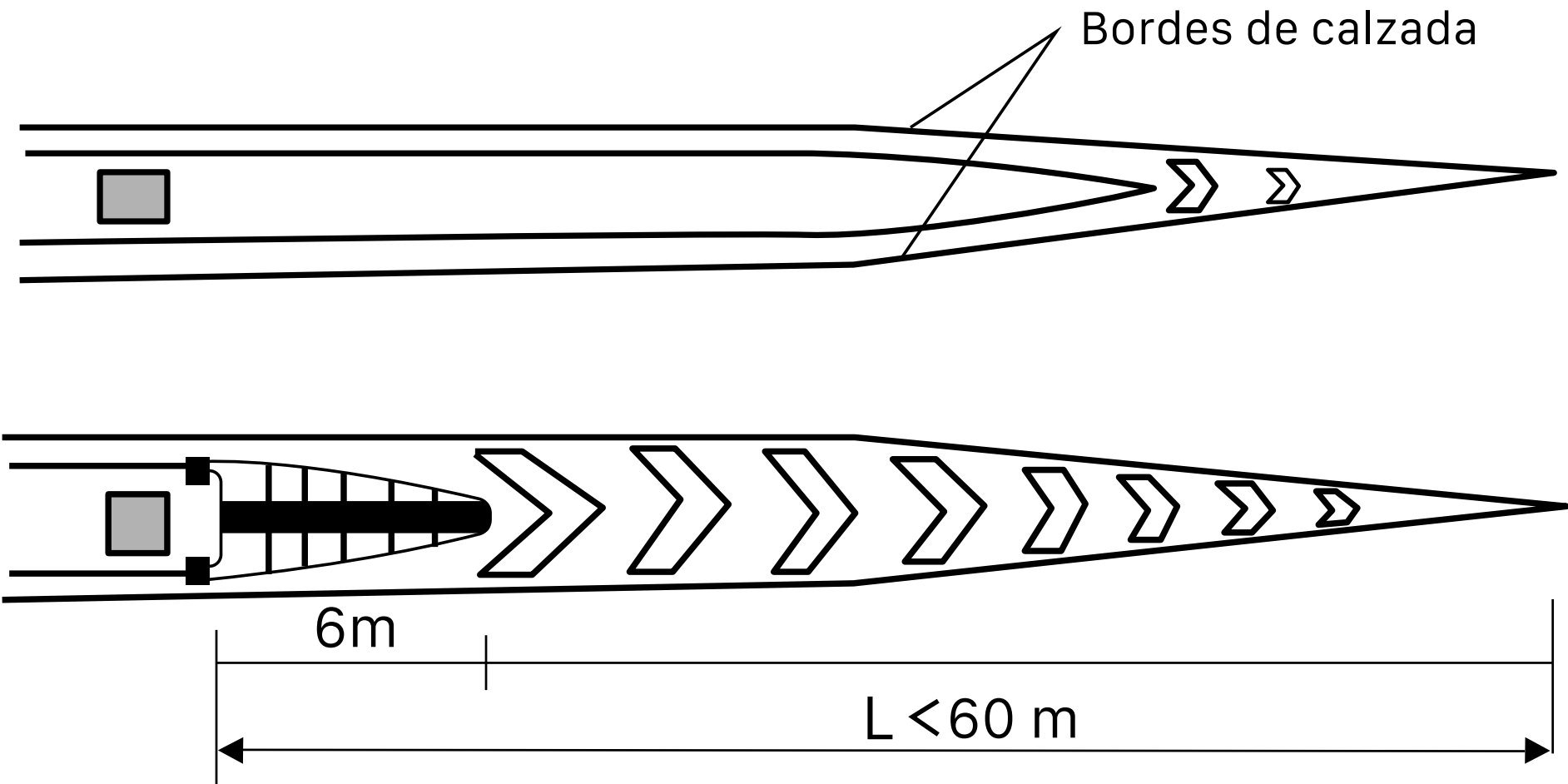


Fuente: Ministerio de Transporte - <https://flic.kr/ps/2WnpJd>

Figura 79. Tratamiento con amortiguador de impacto en comienzo de separador.



(1) Barreras en comienzo de separador



(2) Tramamiento con amortiguador

Fuente: Elaborado a partir de (Dirección General de Carreteras, 2014)

3.2.2 Selección del tipo de amortiguadores de impacto

El encargado de la selección del amortiguador escogerá sistema que, cumpliendo con el Manual MASH o la Norma EN-1317-3, pueda satisfacer las condiciones de seguridad vial requeridas para blindar el obstáculo o un elemento peligroso que puede ser impactado de frente por un vehículo fuera de control.

En ambos casos es necesario establecer la geometría del obstáculo que se va a blindar para a su vez definir la del dispositivo que se adapte a la misma, determinar el tipo de redireccionamiento que se requiere, es decir si el amortiguador va a contener y redirigir el vehículo o solo lo contiene.

Al final del presente numeral se presenta una serie de interrogantes que se debe hacer el encargado de la selección del amortiguador de impacto en el proceso de selección.

3.2.2.1 Geometría del elemento que se va a blindar

Se debe seleccionar el tipo de amortiguador que más se ajuste a la geometría del elemento que se quiere proteger y que responde a la disposición final del dispositivo.

Figura 80. Tipos de amortiguador en comienzo de separador.

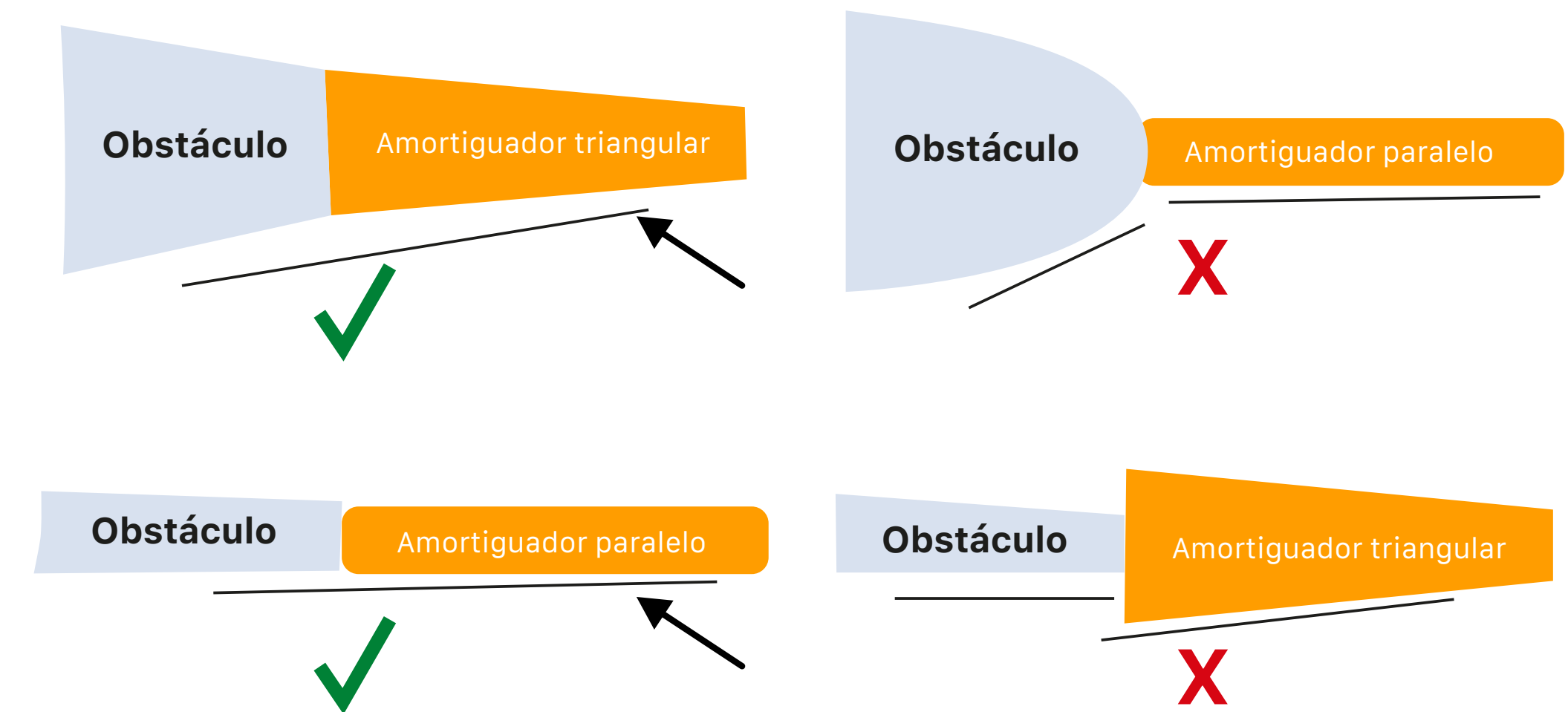


Figura: Elaboración propia.

En general existe dos tipos de amortiguadores de acuerdo con su geometría, el triangular y el rectangular o paralelo, los cuales se acomodan a las formas de los obstáculos que frecuentemente se encuentran en las vías tal como se observa en la Figura 80

3.2.2.2 Amortiguadores de impacto redirectivos

La velocidad del tránsito, las restricciones geométricas (de espacio) y desniveles, las maniobras bruscas, la congestión,

la exposición de los trabajadores en caso de obras en la vía, el espacio disponible para reparar, la posibilidad de impactos secundarios y la distancia visual son los factores que se deben considerar en las ubicaciones potenciales para los amortiguadores de impacto redirectivos, que han demostrado la capacidad de redirigir los vehículos lejos del sitio del peligro, así como desacelerar de manera segura los vehículos que chocan de frente con la punta del amortiguador (Federal Highway Administration, 2010)

Amortiguadores o atenuadores de impacto con capacidad de redireccionamiento se emplean en cualquier tipo de vía. (Dirección de Vialidad, 2021)

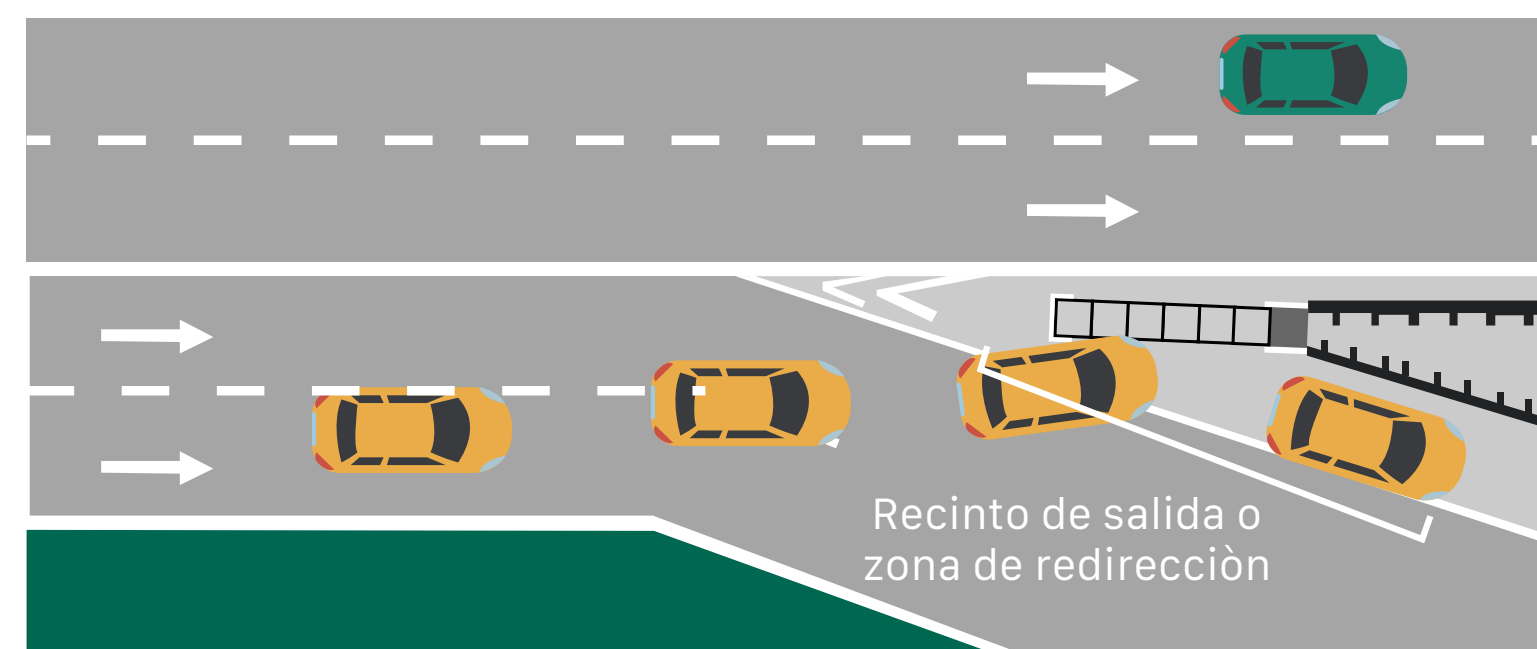
De igual forma, si una vez determinada la necesidad de la implementación del amortiguador de impacto, se establece que existe riesgo de impactos laterales contra el amortiguador lo cual sucede en la mayoría de los casos, el amortiguador será de tipo redirectivo.

3.2.2.3 Amortiguadores de impacto no redirectivos

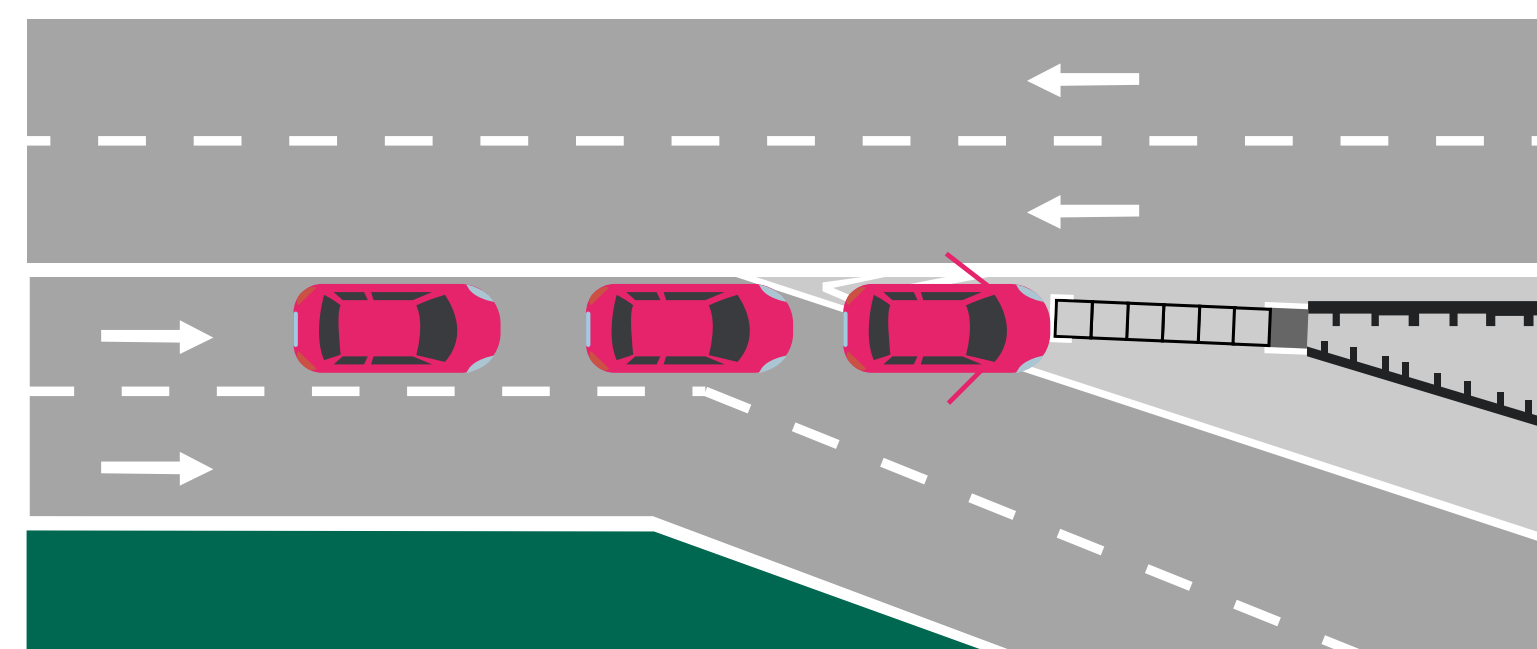
Los amortiguadores de impacto **no redirectivos** están diseñados para permitir la penetración en el área detrás del dispositivo cuando un vehículo errante los golpea en un ángulo lateral (Ver imagen superior Figura 81). Además, en algunos impactos de gran ángulo y alta velocidad en el costado del atenuador pueden provocar el salto del vehículo. Se aconseja revisar las especificaciones del producto para garantizar un diseño y disposición del dispositivo y que sea adecuado para las particularidades el sitio.

Se debe tener cuidado al seleccionar e instalar un amortiguador no redirectivo ya que este tipo de amortiguador está diseñado esencialmente para impactos frontales y su función es desacelerar al vehículo que impacta de frente en la aguja de rampas de salida o frente al objeto fijo (Ver imagen inferior Figura 81). Todos los amortiguadores no redirectivos son una opción en los casos donde muy probablemente no serán impactados en ángulo sobre un costado.

Figura 81. Comportamiento de los amortiguadores ante impactos frontales y laterales.



Comportamiento en impactos laterales



Comportamiento en impactos frontales

Fuente: Elaborado a partir (Tecnotraffic, 2011)

Los ejemplos típicos de amortiguadores no redirectivos mal instalados que comprometen su adecuado desempeño, son:

- » No cuenta con un recinto de salida adecuado detrás del dispositivo.
- » Ubicados en sitios donde la probabilidad de alta velocidad y los impactos de ángulo severo (es decir, alta energía) son altos.

Amortiguadores o atenuadores de impacto sin capacidad de redireccionamiento se emplean en para vías de velocidad de proyecto menor o igual a 70 km/h, con espacio suficiente para que un vehículo que impacte en un determinado ángulo atraviese el dispositivo manteniendo su trayectoria original. (Dirección de Vialidad, 2021)

3.2.2.4 Revisión de las características del amortiguador

Una vez se ha justificado la implementación de un amortiguador de impacto, se debe evaluar cuidadosamente las características estructurales y de seguridad de cada dispositivo opcionado como posible solución para el sitio donde se prevé su instalación. Esto significa que la decisión de cual dispositivo elegir dependerá de las características del sitio, sus condiciones de instalación y de las prestaciones certificadas por los fabricantes, las cuales se explican a continuación (Federal Highway Administration, 2010).:

Características del sitio: tenga en cuenta que se requieren áreas de salida despejadas adecuadas tanto para los dispositivos no redirectivos como para los redirectivos. Las áreas necesarias son más largas para los dispositivos no redirectivos. La longitud adicional suele ser la longitud del dispositivo no redirectivo.

Condiciones de instalación: se deben conocer los requisitos de la cimentación donde instalará el amortiguador. Así como, como la estructura de anclaje y el mecanismo de conexión del dispositivo al obstáculos o elemento peligroso.

Prestaciones certificadas por el fabricante: Esto último incluye factores tales como desaceleraciones de impacto (según lo indicado por el nivel de prueba en el que se probó el dispositivo), capacidades de redirección, y respaldo, y escombros producidos durante el impacto.

3.2.2.5 Selección del nivel de contención

El paso siguiente para la selección del amortiguador corresponde a la determinación del nivel de contención o clase de desempeño, para los cual se debe tener en cuenta la velocidad del tramo de

carretera donde va a ser instalado, ya que la clase o nivel de contención de estos dispositivos se especifica en términos de la velocidad de operación. Las salidas de la calzada están asociadas generalmente a la velocidad que adquiere el vehículo fuera de control por encima del límite de velocidad

En muchas ocasiones la velocidad operación y la de diseño no coinciden. No obstante, salvo excepciones, no es necesario seleccionar el amortiguador de impacto para una velocidad superior a la de la vía ya que, aunque muchos vehículos circulen a más velocidad, tienden a frenar al notar que pierden el control (esto es diferente en eventos por salidas de vía que impactan contra barreras). Por tanto, la velocidad a la que impactan el amortiguador suele ser inferior a la velocidad máxima de circulación. Por tanto, como criterio general, se puede considerar aceptable un amortiguador diseñado para la misma velocidad que la velocidad de diseño de la vía (Tecnotraffic, 2010).

Se definen cuatro clases o niveles de contención para atenuadores de impacto¹⁴ , según se muestra en la Tabla 21.

¹⁴ Para un detalle sobre las condiciones de los ensayos que determinan estos NC, remitirse a (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2021)

En esta tabla también se indican las clases de atenuadores de impacto según la normativa bajo la cual fueron ensayados, que clasifican dentro de los niveles de contención. Los NC bajo estos dos estándares de ensayo no son equivalentes, aunque tienen cierto paralelismo en los parámetros de los ensayos.

Tabla 21. Niveles de contención para amortiguadores de impacto.

EN 1317 - 3	MASH
50	TL1
80	TL2
100	TL3
110	TL3

Fuente: Elaborado a partir de (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2011) y (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2016)

La Tabla 22 muestra los criterios para elegir la clase de contención de un atenuador de impacto a partir de la velocidad del proyecto.

Tabla 22. Criterios para seleccionar la clase de contención de un amortiguador de impacto.

Tipo de vía	Velocidad, V (km/h)	Niveles de Contención, NC	
		EN 1317-3	MASH
Autopistas y carreteras de doble calzada	$V > 100$	110	TL-3
	$80 < V \leq 100$	100	TL-3
	$V \leq 80$	80	TL-2
Carreteras de calzada única	$80 < V \leq 100$	100	TL-3
	$60 < V \leq 80$	80	TL-2
	$V \leq 60$	50	TL-1
Carreteras en zonas urbanas y áreas de peaje	$V \leq 60$	50	TL-1

Fuente: Elaborado y adaptado a partir de (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2011) y (AASHTO, 2016)

3.2.2.6 Selección de la severidad

En el caso de amortiguadores ensayados bajo norma europea ENV 1317 – 4, se recomienda seleccionar el amortiguador de entre los disponibles cuya clase de severidad sea la mejor, preferiblemente A.

Tabla 23. Índices de severidad de impacto de amortiguadores de impactobarreras de seguridad y pretils. pretils en la norma EN Norma EN 1317-3

Índice de Severidad de impacto	Valores de los indicadores	
	ASI	THIV (km/h) (*)
A	$ASI \leq 1,0$	≤ 33 ≤ 44
B	$1,0 < ASI \leq 1,4$	≤ 33 ≤ 44

Fuente: (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2011)

(*) Un valor u otro dependiendo del ensayo realizado. Para THIV ≤ 44 se han realizado los ensayos con ángulos de impacto mayores.

En el caso de amortiguadores ensayados bajo norma MASH, se debe seleccionar de entre los disponibles aquel cuya severidad se encuentre dentro de los parámetros establecidos como preferred dentro de la citada norma MASH. Al respecto, la norma MASH establece dos parámetros de medición del riesgo de los ocupantes de un vehículo en caso de impacto: i) Occupant impact velocities (OIV), cuyos valores deseables son 9.1 m/s

(componente longitudinal y lateral) y 3.0 m/s (componente longitudinal) y ii) Occupant Ridedown Acceleration (ORA) con valor preferido de 15.0 G.

Así mismo, teniendo en cuenta que la norma MASH recomienda a los laboratorios de ensayo calcular y reportar el índice ASÍ, de acuerdo con criterio del Comité Europeo de Normalización (CEN), se seguirá el mismo criterio que en el caso de los amortiguadores ensayados bajo norma europea, es decir, se seleccionará el de mejor clase de severidad, preferiblemente clase A.

3.2.2.7 Selección de la zona de redirección

Los amortiguadores ensayados según la norma ENV 1317-3 se clasifican en función del tamaño del recinto de salida. El recinto de salida define los límites de la trayectoria del vehículo tras el impacto contra el amortiguador, y por tanto es una medida del riesgo de la ocurrencia de un segundo impacto (ver glosario) y este parámetro debe ser indicado en la documentación técnica aportada por cada fabricante.

Según la clase de amortiguador, las dimensiones del recinto de salida varían, siendo la clase Z1 la que presenta un recinto

de salida menor y la clase Z4 la que lo presenta mayor. Las dimensiones del recinto de salida Z_a y Z_d en cada clase de atenuador se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 24. Dimensiones del recinto de salida (Z_a y Z_d). bajo norma UNE 1317- 3

Clases Z de atenuador de impactos	Lateral de aproximación	Lateral de salida
	Z_a (m)	Z_d (m)
Z_1	4	4
Z_2	6	6
Z_3	4	$\geq 4^a(*)$
Z_4	6	$\geq 6^a(*)$

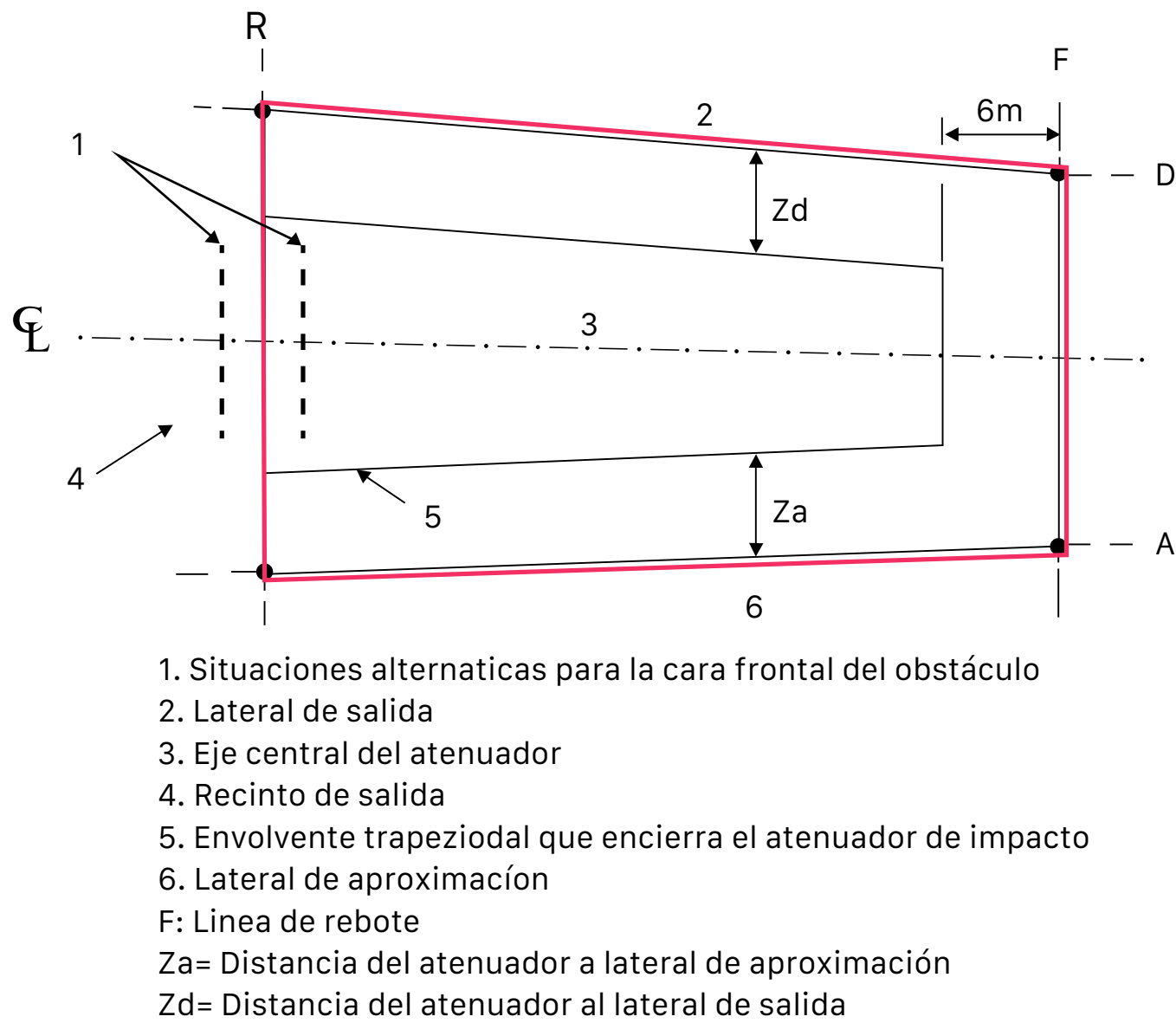
Fuente: Elaborado a partir (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2011).

(*) Responde a las características del Ensayo 3 descrito en EN 1317-3.

Se entiende por recinto de salida el área que no deben superar las ruedas del vehículo en su trayectoria posterior al impacto,

salvo que la velocidad a la que se alcance la línea exterior del recinto de salida sea inferior al 10 % de la velocidad nominal del ensayo (Road Steel Engineering, 2021). Es decir, es el área limitada entre la línea de rebote F, la línea R perpendicular al eje del atenuador en el extremo interior del amortiguador y los laterales de salida y aproximación marcados como 2 y 6 en la Figura 82. Ver recuadro de color rojo.

Figura 82. Recinto de salida en amortiguadores.



Fuente: (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2011)

La norma UNE 1317 asume dentro del comportamiento del vehículo de ensayo que se genera una línea de rebote al impactar el vehículo a 6 m aguas arriba del amortiguador de impacto.

Los valores de Za y Zd indicados en la Tabla 24 y mostrados en la Figura 82 se obtienen a partir de los ensayos a escala real a los que se someten las cuatro clases de amortiguadores de impacto señaladas en la misma tabla como Z1 a Z4.

Se debe seleccionar, de entre los diferentes atenuadores disponibles, aquellos cuyo recinto de salida sea el menor posible, ya que presentan un menor riesgo de que el vehículo regrese a la calzada una vez se ha producido el impacto contra el atenuador.

La norma MASH no establece una clasificación en función del tamaño del recinto de salida, por lo cual, en cuanto a los amortiguadores ensayados bajo norma MASH, es posible evaluar el amortiguador con el valor máximo del ángulo de salida y de la velocidad del vehículo.

3.2.2.8 Selección del desplazamiento lateral permanente

La norma EN 1317-3 define 8 clases de atenuadores de impacto de acuerdo con su desplazamiento lateral permanente:

Tabla 25. Clase de atenuadores de impacto según su desplazamiento lateral norma UNE 1317-3

Clases D de atenuador de impactos	Desplazamiento	
	Da (m)	Dd (m)
D1	0,5	0,5
D2	1,0	1,0
D3	2,0	2,0
D4	3,0	3,0
D5	0,5	> 0,5 ensayo 3
D6	1,0	> 1,0 ensayo 3
D7	2,0	> 2,0 ensayo 3
D8	3,0	> 3,0 ensayo 3

Fuente: Elaborado a partir (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2011).

Por tanto, en caso de atenuadores ensayados bajo la norma ENV 1317-4 se debe seleccionar de entre los disponibles:

- » El que tenga un menor valor de D_a
- » El que tenga un valor de D_d compatible con el espacio disponible para su deformación.

En el caso de amortiguadores ensayados bajo norma MASH, se seleccionará de entre los amortiguadores disponibles, aquel o aquellos cuya deflexión dinámica y anchura de trabajo sea compatible con el espacio disponible para la deformación del amortiguador, sin que existan obstáculos entre el terminal y el máximo desplazamiento posible.

La deflexión dinámica o anchura de trabajo de un terminal ensayado bajo norma MASH será el máximo valor de los obtenidos en cada uno de los ensayos que conducen a su acreditación.

Dado que el informe de ensayo bajo norma MASH no reporta el desplazamiento del amortiguador hacia el lado de la calzada, se

recomienda solicitar al fabricante que indique que el amortiguador no sufre deformación hacia el lado de aproximación de los vehículos, o, en caso de existir esta deformación, solicitar que se indique que el dispositivo es adecuado para las condiciones de la vía y no hay riesgo de intrusión en la calzada ni de interferencia con otros usuarios de la vía.

3.2.3 Condiciones de instalación

La selección de un sistema inadecuado puede suponer, no sólo que el punto no quede protegido, sino que el amortiguador se convierta en un peligro adicional para el tránsito.

La adecuada selección, instalación y mantenimiento de un amortiguador de impactos es un tema al que hay prestar atención, ya que de estos aspectos depende que el dispositivo funcione correctamente. Hay muchos tipos de amortiguadores de impactos, pero no todos son adecuados para cualquier punto. En todo caso, el detalle que debe seguirse para una correcta instalación de estos dispositivos es el que señale expresamente el fabricante.

Hay determinadas condiciones que deben cumplirse para poder instalar un amortiguador de impactos en un punto. Además de las que pueda indicar el fabricante o proveedor del dispositivo, se tienen, en general, las siguientes:

- » El sistema debe ir siempre a ras de suelo.
- » No puede colocarse encima de bordillos y la superficie del pavimento debe estar nivelada y sin escalones.
- » La pendiente transversal no debe superar el 15%.
- » La existencia de juntas de expansión, desagües o similares debe tenerse en cuenta a la hora de instalar el dispositivo.
- » Criterios para la selección de un amortiguador de impacto

Para elegir sistemas aprobados se debe tener en cuenta que cada aplicación para un sitio determinado es única. Esto se aplica tanto a instalaciones permanentes como temporales. (Department of Transportation of Washington State, 2021)

Las preguntas para la de selección del atenuador de impacto que se muestran a continuación son criterios comúnmente utilizados, pero no los únicos, que debe ser evaluados por el encargado de la selección.

Para seleccionar un sistema atenuador de impacto apropiado, se deben evaluar los siguientes factores:

¿El atenuador de impacto es permanente o temporal?

¿Se necesita un atenuador de impacto de categoría de bajo mantenimiento en la ubicación?

¿Cuál es el límite de velocidad en la calzada donde se va a disponer el atenuador de impacto?

¿Cuál es el ancho del objeto que se va a blindar?

¿Cuál es la longitud y el ancho disponibles del área para colocar el atenuador?

¿Sobre qué tipo de superficie se coloca el atenuador? (es decir, pavimento de concreto, pavimento de asfalto, cimientos de concreto u hormigón, suelo compactado, otros)

Si se va a construir una cimentación para el atenuador porque la superficie de la carretera existente no es adecuada para el uso de la cimentación del atenuador,

¿cuál es la longitud, el ancho y la profundidad disponibles del área para la construcción de la cimentación del atenuador?

¿Cuáles son la pendiente longitudinal y la pendiente transversal sobre la que se colocará el atenuador de impacto? ¿Cuáles son las pendientes adyacentes/de avance al atenuador?

¿A qué tipo u objeto o de barrera se conecta con el atenuador de impacto? (es decir, barrera de hormigón tipo **F** o de pendiente única, barrer de viga **W**, pilar de puente, agujas en divergencias comienzo de separadores, entre otros)

¿Hay un bordillo colocado entre el atenuador de impacto y el tráfico? (directamente delante o delante del atenuador). Si hay bordillo, ¿cuál es la altura del bordillo?





Capítulo 4

Criterios para la selección de rampas de emergencia

4.1 Generalidades

Las rampas de emergencia son franjas auxiliares conectadas a la calzada de las carreteras, diseñadas de tal manera que provean un desvío seguro para los vehículos que quedan fuera de control y que requieren una detención de emergencia, ya sea por fallas mecánicas, principalmente en sus sistemas de frenos. Estas rampas están especialmente acondicionadas para disipar la energía cinética de los vehículos, desacelerándolos en forma controlada y segura, mediante el uso de materiales granulares sueltos y aprovechando la acción de la gravedad o por medio de redes de contención.

A continuación, se presentan los esquemas conceptuales de los diversos tipos de rampas de emergencia:

4.2 Tipos de rampa de emergencia

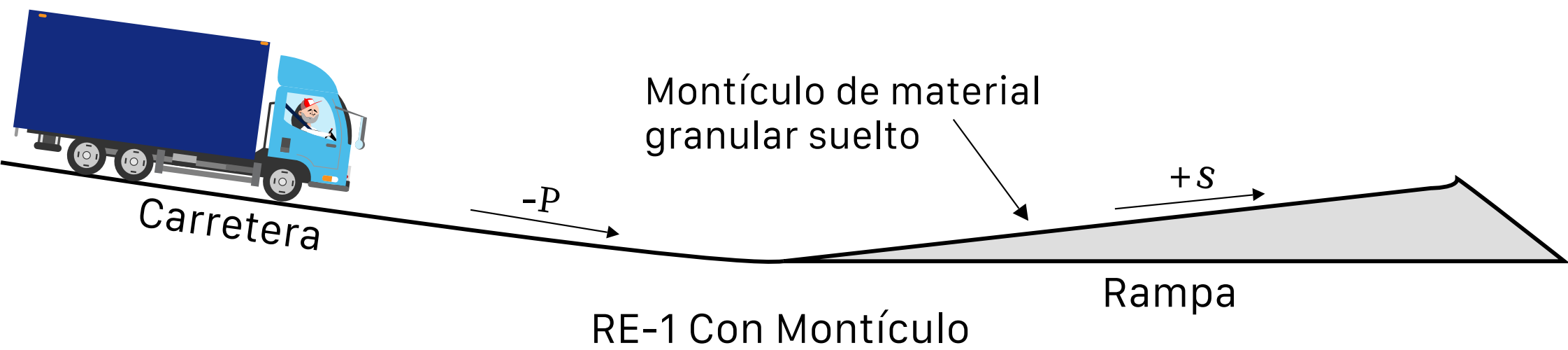
Tal como se describió en el numeral 1.3 del capítulo sobre Conceptos Generales, existen varios tipos de rampas de emergencia cuya descripción y esquemas conceptuales se muestran con detalle en los apartados siguientes. En términos generales, se tienen los lechos de frenado (con montículo, descendentes, horizontales y ascendentes) y los sistemas TAS.

4.2.1 Rampas con montículo

Tienen una cama de frenado formada por un montículo de material granular suelto y seco con pendiente ascendente y espesor creciente, como se muestra en la Figura 84 que funciona como disipador de energía para disminuir y detener los vehículos sin frenos por la resistencia a la rodadura de las llantas, la acción de la gravedad por la pendiente longitudinal ascendente del montículo y eventualmente por la fricción entre la arena y

algunas partes del vehículo. Solo se utilizará este tipo de rampas cuando se tengan limitaciones de espacio y su conveniencia esté sustentada con el análisis correspondiente. (Secretaria de Comunicaciones y Transportes, 2016).

Figura 84. Rampas de emergencia con montículo.



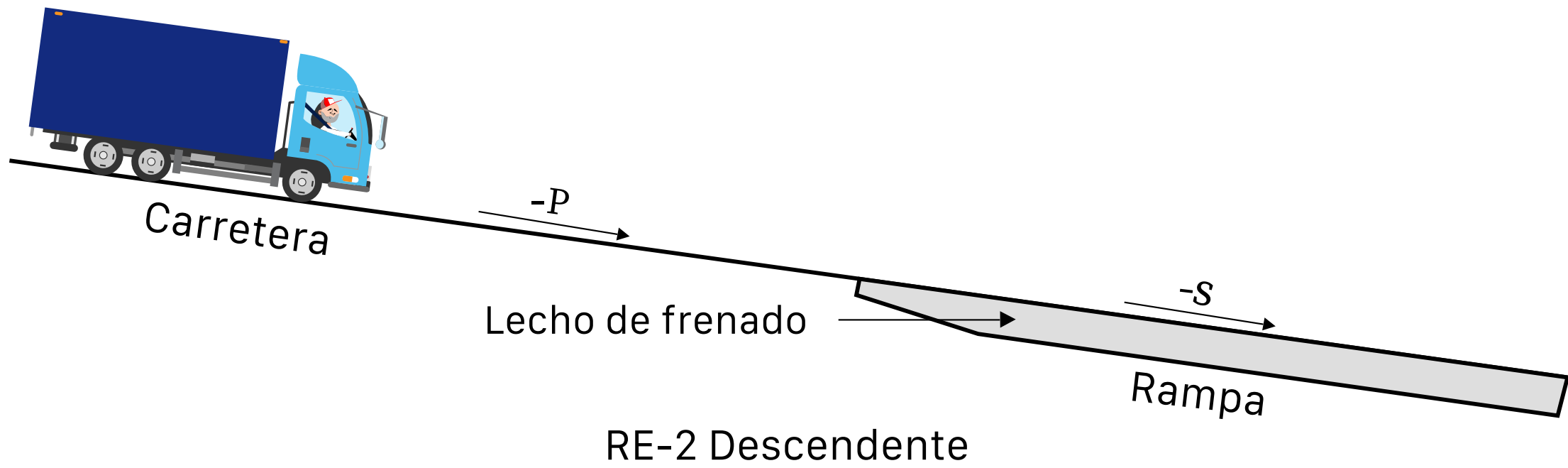
Fuente: (Secretaria de Comunicaciones y Transportes, 2016)

Las características de desaceleración de las pilas de arena suelen ser severas y la arena puede verse afectada por el clima. Debido a estas características de desaceleración, la pila de arena es menos deseable que los lechos de frenado. Sin embargo, en lugares donde existe espacio inadecuado para otro tipo de rampas, la pila de arena puede ser apropiada debido a sus dimensiones compactas (AASHTO, 2018)

4.2.2 Rampas descendentes

Tienen una cama de frenado de espesor uniforme con pendiente longitudinal descendente como se muestra en Figura 85. 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 de diseño (Secretaria de Comunicaciones y Transportes, 2016).

Figura 85. Rampas descendentes.



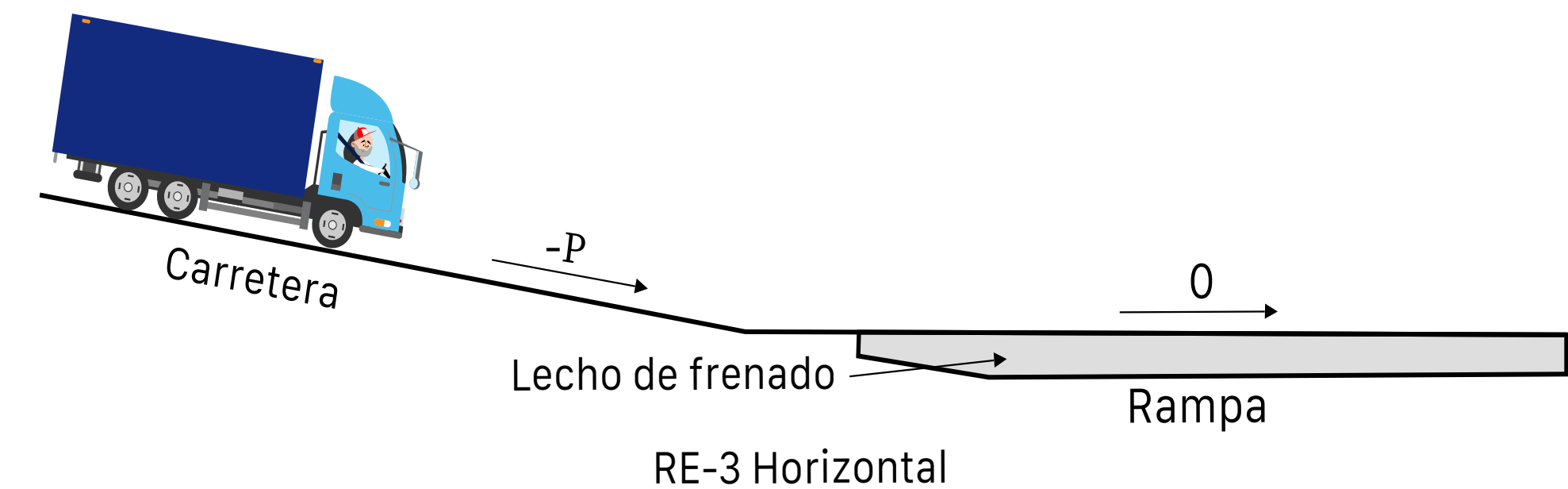
Fuente: Secretaria de Comunicaciones y Transportes de México (2016), SNOM-036-SCT2-2016, Rampas de emergencia para frenado en carreteras.

Las rampas de escape de lecho de frenado con pendiente descendente se construyen paralelas y adyacentes a los carriles de la carretera. Estas rampas utilizan agregados sueltos en la cama de detención para aumentar la resistencia a la rodadura y reducir la velocidad del vehículo. La resistencia en la pendiente actúa en la dirección del movimiento del vehículo. La rampa debe tener una ruta clara y obvia de regreso a la carretera para que los conductores que duden de la efectividad de la rampa sientan que podrán regresar a la carretera a una velocidad reducida. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2018)

4.2.3 Rampas horizontales

Tienen una cama de frenado horizontal de espesor uniforme sin pendiente longitudinal como se muestra en la Figura 86. 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 que las rampas ascendentes (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2018) dependiendo de las características del material granular y de la velocidad del vehículo de diseño. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016)

Figura 86. Rampas horizontales



Fuente (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016)

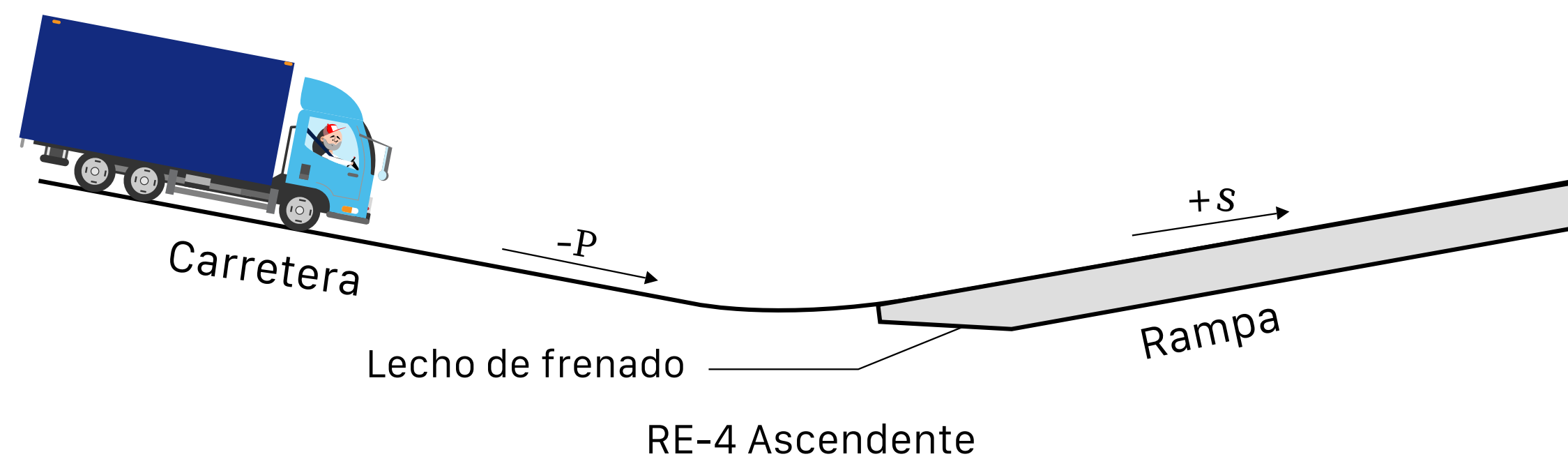
Donde la topografía lo permita las rampas de escape de lecho de frenado con pendiente horizontal son otra opción. Se construyen sobre una pendiente esencialmente plana y el principio para reducir la velocidad y detener el vehículo fuera de control está basado en la mayor resistencia a la rodadura que ofrece el agregado suelto colocado sobre cama de frenado. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2018)

4.2.4 Rampas ascendentes

Este tipo de rampa es de las más utilizada. Están constituidas por una cama de frenado con espesor uniforme y pendiente

longitudinal ascendente como se muestra en Figura 87. 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 las horizontales (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016).

Figura 87. Rampas ascendentes.



Fuente (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016)

Las instalaciones de este tipo de rampa aprovechan la resistencia a la pendiente, complementada con los efectos del agregado en el lecho de frenado y, en general, reduciendo la longitud de la rampa necesaria para detener el vehículo. El material suelto en el lecho de detención aumenta la resistencia a la rodadura, como en los otros tipos de rampas mientras que

la resistencia a la pendiente actúa en dirección de descenso, opuesta a la dirección de movimiento del vehículo. El material suelto en la cama de frenado también sirve para mantener el vehículo en su lugar en la pendiente de la rampa después de que se haya detenido de manera segura. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2018)

Ventajas y desventajas de los lechos de frenado

La ventaja de una rampa de emergencia es que puede controlar y frenar vehículos grandes (Camiones y Buses) que por alguna razón pierden su capacidad de frenar.

Como desventajas se tienen:

- » Posibilidad de desaceleraciones severas e inestabilidad de carga sino no se realiza un mantenimiento periódico del lecho de frenado
- » Contaminación por lluvia
- » Contaminación por volcamiento de carga

- » Requiere conformación luego de cada evento
- » Necesidad de aflojar el material del lecho de frenado periódicamente
- » Intrusión de vegetación
- » Dificultad para retirar vehículos
- » Falta de capacidad de conducción del vehículo en gravilla
- » Pueden ser muy largas

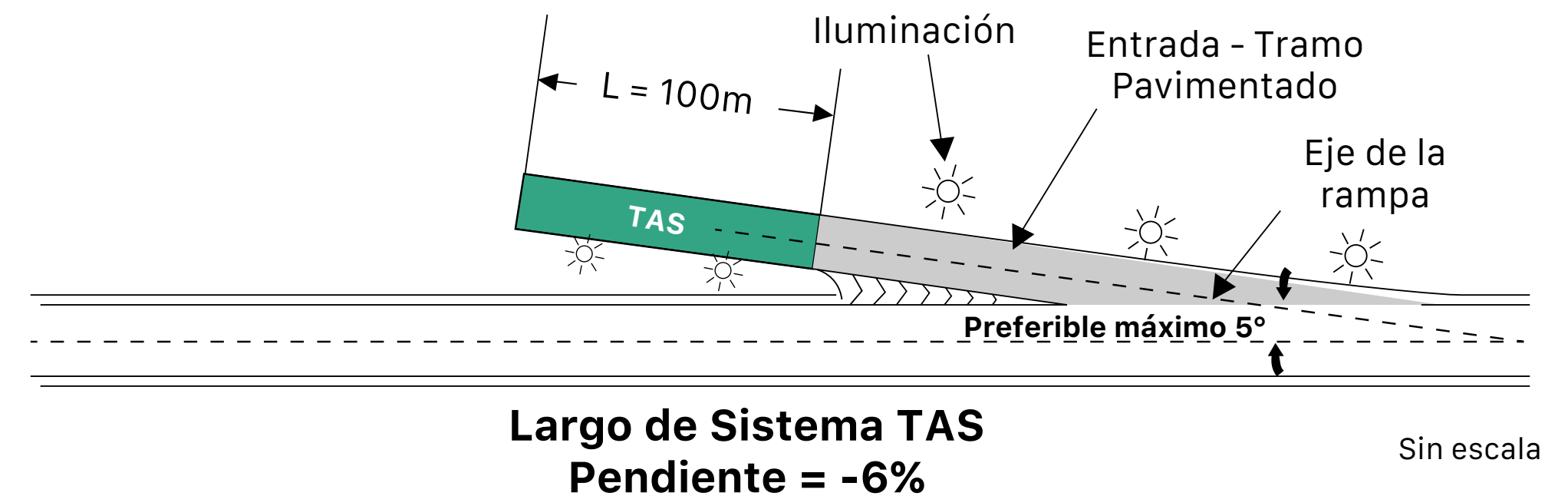
4.2.6 Sistema de detención de camiones (TAS)

Este sistema de detención de camiones (Truck Arrestor System)¹⁵, consiste en una serie de redes de contención de vehículos que se montan en barreras de hormigón a cada lado de la rampa. Cuando un vehículo fuera de control ingresa a la rampa, se encontrarán secuencialmente con redes de contención. La primera red de la serie

¹⁵ Un complemento a este tema puede encontrarse en AASHTO (2011). Roadside Design Guide, numeral 8.4.4.3 Dragnet, capítulo 8.4 Crash Cushion Design Concepts, p. 8-42.

está diseñada para detener automóviles fuera de control. Los camiones y buses grandes pueden requerir siete (7) o más redes (Speier, 2020).

Figura 88. Sistema de detención de camiones.



Vista de un sistema TAS (en mantenimiento)

Fuente: (Speier, 2020)

Ventajas de las rampas TAS:

- » El sistema TAS para rampas de emergencia de camiones puede detener con seguridad vehículos de todos los tamaños, desde automóviles compactos de 900 kg, hasta camiones de 50,000 kg.
- » La desaceleración de los ocupantes en descenso está dentro de los estándares aceptados de la FHWA.
- » Hay un mínimo de desplazamiento de las cargas de los camiones lo que da cuenta de un trabajo de frenado aceptablemente controlado.
- » Las redes pueden diseñarse para cualquier velocidad o cualquier peso del vehículo dentro de un rango de tasas de desaceleración conjunta. Esto permite al diseñador una mayor libertad en el establecimiento de variables de diseño para ajustar las longitudes de la rampa.
- » El Sistema TAS puede ser utilizado en pendientes positivas o negativas, aspecto que los hace adaptables a variedad de entornos y características de las zonas adyacentes de las carreteras.
- » Este sistema de rampa puede proporcionar ahorros sustanciales en los costos de implementación de los diseños típicos de lecho de grava o arena, al minimizar la cantidad de material requerido y su posterior mantenimiento.
- » La longitud de estas rampas suele ser más corta que las rampas tradicionales de frenado, y no requieren pista de servicio o anclajes adyacentes para el retiro del vehículo, característica que favorece la atención del evento y normalización de la operación de la carretera.
- » Las superficies de las rampas pueden ser pavimentados para que el rendimiento de la rampa no se vea afectado por las condiciones climáticas severas y facilitar su mantenimiento. Los componentes del sistema TAS solo requieren un mantenimiento periódico mínimo. Después de un impacto, el sistema se repara fácilmente, a menudo requiere solo el reemplazo del carrete de cinta utilizado en los frenadores. Los tiempos de reparación son generalmente de menos de una hora por cada red, y pueden ser realizados por equipos locales sin herramientas especiales.

- » Esta tecnología fue desarrollada y utilizada originalmente por la Armada para detener aviones a bordo de portaaviones, esto garantiza ciertas prestaciones en su desempeño. Desde entonces, ha sido adaptado y ensayado bajo los estándares FHWA para una variedad de aplicaciones y cumple con los criterios de diseño.
- » Las especificaciones y planos actualmente disponibles pueden modificarse fácilmente para adaptarse a cualquier sitio en particular. El sistema se adapta fácilmente a los criterios de diseño variables, como la velocidad y la masa del vehículo de diseño, las diferentes situaciones geométricas y las pendientes del lugar.

Dentro de las desventajas se tienen

- » Se requiere de elementos de acero galvanizado que deben ser importados.
- » Requiere un diseño especial que lo realiza el fabricante del sistema.

4.3 Proceso de diseño de la rampa de emergencia

Los pasos para el proceso de diseño de las rampas de emergencia conformadas por lechos de frenado para el tratamiento de tramos de carreteras con pendientes pronunciadas (mayores al 5%) se describe a continuación:

4.3.1 Verificar la necesidad de la rampa de emergencia

Deberá analizarse la posible disposición de un lecho de frenado, en tramos donde existan pendientes prolongadas, y los vehículos puedan perder el control por avería de los frenos, con la finalidad de facilitar su detención.

La implementación de una rampa de emergencia se justifica si se verifica alguno de los siguientes criterios:

- » Tramos de carretera donde existan evidencias de que los vehículos de carga presentan a menudo sobrecalentamiento en el sistema de frenos.
- » Tramos en los que se ha presentado anualmente un siniestro

fatal causado por vehículos sin frenos o en los que exista la posibilidad de ocurrencia de siniestros graves, como los que pueden producirse a la entrada de las poblaciones o en zonas en donde puede haber vehículos detenidos, como en estaciones de peaje.

» En tramos donde se cumplan simultáneamente las dos condiciones siguientes (Dirección General de Carreteras, 2016):

1. $i > 5\%$

2. $i^2 \cdot l > 60$

Donde:

i = pendiente media de la rasante descendente expresado en porcentaje

l = longitud del tramo descendente expresada en kilómetros

Ejemplo No. 1

Verificar si para un tramo de una carretera de 2 km de longitud y pendiente descendente del 8%, se requiere una rampa de emergencia:

a. Pendiente del tramo (8%) mayor del 5%: se cumple

b. $i^2 \times l = (8)^2 \times 2 = 64 \times 2 = 128 > 60$, se cumple

Luego se debe estudiar la posibilidad de implementar una rampa de frenado en el sector

Si después de la pendiente en descenso hubiera una rampa (ascenso) de suficiente longitud o inclinación, podría estar justificado no disponer una rampa de emergencia.

4.3.2 Determinar la longitud del lecho de frenado

El paso siguiente comprende la determinación de la longitud del lecho de frenado, lo que permite al diseñador establecer, además, el espacio requerido para la disposición de la rampa de emergencia.

4.3.2.1 Longitud del lecho de frenado en tramos con pendiente uniforme

Para la determinación de la longitud del lecho de frenado en tramos con pendiente uniforme se debe proceder de la siguiente forma:

A. Establecer la velocidad de entrada

Para determinar la velocidad de entrada del vehículo a la rampa de emergencia se aplica la siguiente ecuación (Secretaria de Comunicaciones y Transportes, 2016)

Ecuación 1:

$$V_e = \left(V^2 - 254 \sum_{i=1}^n L_{pi} (R + P_i) \right)^{1/2}$$

Donde:

- V_e = Velocidad de entrada a la rampa (km/h).
- V = Velocidad específica de diseño o velocidad de operación de la carretera (V85) en el sitio donde inicien los tramos con pendientes descendentes continuas para los cuales se diseña la rampa específica, (km/h).

- n = Número de subtramos de la carretera con pendientes descendentes diferentes, que integran el tramo para el que se proyecta la rampa, (adimensional).
- L_{pi} = Longitud del subtramo i con pendiente descendente P_i , (km).
- R = Resistencia a la rodadura de la superficie del pavimento, 0,010 cuando la carpeta sea de concreto hidráulico o 0,012 cuando sea asfáltica, (adimensional).
- P_i = Pendiente descendente (negativa) del subtramo i de longitud L_{pi} , en metro/metro, (adimensional).

Por otra parte, se debe considerar que los vehículos pesados fuera de control alcanzan altas velocidades, pero rara vez, o nunca, alcanzarán velocidades superiores a 130 a 140 km/h. Por lo tanto, una rampa de escape debe diseñarse para una velocidad de entrada mínima de 130 km/h, siendo preferible una velocidad de diseño de 140 km/h (Austroads, 2019)

Ejemplo No. 2

Calcular la velocidad de entrada a la rampa de emergencia para un tramo descendente de una carretera construida en pavimento en concreto hidráulico y velocidad de diseño de 60 km/h, compuesto por dos subtramos, el primero con una longitud de 800 m y pendiente del -8% y el segundo de 1,200 km y pendiente del -6%

$$V_e = (V^2 - 254 \sum_{i=1}^n L_{pi} (R + P_i))^{1/2}$$

$$V = 80 \text{ km/h}$$

$$L_{p1} = 2 \text{ km}$$

$$P_1 = -8\% = 0.08$$

$$L_{p2} = 1,5 \text{ km}$$

$$P_2 = -6\% = 0.09$$

$$V_e = \{(80)^2 - 254 [800(0,010-0,08) + 1.200(0,010-0,06)]\}^{1/2}$$

$$V_e = \{6.400 - 254[800(-0,07) + 1.200(-0,05)]\}^{1/2}$$

$$V_e = \{6.400 - 254[-56 -60]\}^{1/2}$$

$$V_e = [6.400 - 254(-116)]^{1/2}$$

$$V_e = [6.400 +29.464]^{1/2}$$

$$V_e = [35.864]^{1/2}$$

$$V_e = 189 \text{ km/h}$$

B. Longitud del lecho de frenado

La longitud del lecho de frenado (L) de la rampa, si su pendiente es uniforme, se calculará con la Ecuación 2 (Secretaria de Comunicaciones y Transportes, 2016).

Ecuación 2:
$$L = \frac{V_e^2}{254(R_c \pm S)}$$

Donde:

L = Longitud efectiva de la cama o lecho de frenado (m).

Ve= Velocidad de entrada a la rampa, calculada con base en la Ecuación 1, (km/h).

Rc = Resistencia a la rodadura del material con que se formará el lecho de frenado, de acuerdo con la Tabla 26, (adimensional, expresada en términos de pendiente equivalente).

En el análisis de las rampas Tipo RE-1 con montículo, a partir de los 60 cm de espesor del montículo, la resistencia indicada en la Tabla

26 se incrementará en seis décimos (0,6) para considerar el efecto de la fricción entre el material del lecho y el chasis del vehículo.

S= Pendiente del lecho de frenado, positiva si es ascendente o negativa si es descendente, en metro/metro, (adimensional).

Tabla 26. Resistencia a la rodadura del material de la cama de frenado.

Material del lecho de frenado	Resistencia a la rodadura, Rc
Grava triturada suelta	0,05
Grava de río suelta	0,10
Arena suelta	0,15
Gravilla uniforme suelta	0,25

Fuente: AASHTO (2018). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.

Ejemplo No. 3

Supóngase, que las condiciones topográficas del sitio seleccionado para una rampa de emergencia ascendente limitan la pendiente al 10 %. El lecho del frenado se construirá con grava

suelta para una velocidad de entrada de 140 km/h. Determine la longitud del lecho de frenado.

$$L = \frac{V_e^2}{254(R_c \pm S)}$$

$V_e = 140 \text{ km/h}$

$R_c = 0,10$ (Tabla 26 para grava suelta)

$S = 0,10$

$$L = \frac{(140)^2}{254(0,10+0,10)}$$
$$L = \frac{19.600}{254(0,20)} = \frac{19.600}{50,8}$$
$$L = 385 \text{ m}$$

4.3.2.2 Longitud de la cama o lecho de frenado en tramos con pendiente variable

Para la determinación de la longitud del lecho de frenado en tramos con pendiente uniforme se debe proceder de la siguiente manera:

A. Establecer la velocidad de entrada

Para determinar la longitud efectiva de la cama o lecho de frenado, si su pendiente es variable, se determinará la velocidad del vehículo en cada cambio de pendiente, hasta una longitud suficiente para detener el vehículo fuera de control.

La velocidad final al término de la primera pendiente será calculada y utilizada como la velocidad inicial en la segunda pendiente y así sucesivamente hasta que la velocidad final resulte cero (0), mediante la Ecuación 4 y la Ecuación 5 (Secretaria de Comunicaciones y Transportes, 2020).

Ecuación 3: $VF_j^2 = VI_j^2 - 254 L_j (R \pm S)_j$

Donde:

VF_j = Velocidad final al término del subtramo j del lecho de frenado que se analiza (km/h).

VI_j = Velocidad inicial en el subtramo j del lecho de frenado que se analiza, que corresponde, para el primer subtramo, a la

velocidad de entrada (V) calculada con la Ecuación 2, y para los subtramos subsecuentes, a la velocidad final calculada para el subtramo j-1 (VF) inmediatamente anterior (km/h)

L_j = Longitud efectiva del subtramo j del lecho de frenado que se analiza (m).

R_C = Resistencia a la rodadura del material con que formará el lecho de frenado, de acuerdo con la Tabla 26 (adimensional, expresada en términos de pendiente equivalente). En el análisis de las rampas Tipo RE-1 con montículo, a partir de los 60 cm de espesor del montículo, la resistencia indicada en la Tabla 26 se incrementará en seis décimos (0,6) para considerar el efecto de la fricción entre el material de la cama y el chasis del vehículo.

S_j = Pendiente del subtramo j de la cama de frenado, que se analiza, positiva si es ascendente o negativa si es descendente, en metro/metro (adimensional).

B. Longitud del lecho de frenado

La longitud del lecho de frenado (L) de la rampa, si su pendiente es variable, se calculará con la Ecuación 4 (Secretaria de Comunicaciones y Transportes, 2016).

Ecuación 4:
$$L = \sum_{j=i}^k L$$

- L = Longitud efectiva del lecho de frenado (m).
- k = Número de subtramos del lecho de frenado con pendientes diferentes (adimensional).

La longitud total de la cama o lecho de frenado se incrementará en un 25 % con respecto a su longitud efectiva (Secretaria de Comunicaciones y Transportes, 2016).

4.3.3 Selección del tipo de rampa de emergencia

Cada uno de los tipos de rampa descritos en el numeral 5.2 es aplicable a una situación particular en la que se requiere una rampa de emergencia y debe ser compatible con las características y las

condiciones topográficas del sitio seleccionado. Es decir, que el tipo de rampas (descendente, horizontal o ascendente) depende en gran medida de la pendiente del terreno predominan de terreno donde va a ser implementada. (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2016)

Los procedimientos utilizados para el análisis de las rampas de escape de camiones son esencialmente los mismos para cada una de las categorías o tipos identificados. La diferencia radica en el factor de resistencia a la rodadura del material de superficie utilizado para determinar la longitud necesaria para reducir la velocidad y detener el camión fuera de control de manera segura. (AASHTO, 2018)

4.3.4 Consideraciones de diseño de las rampas de emergencia

Finalmente se deben aplicar a las siguientes consideraciones para el diseño específicos de las rampas de emergencia.

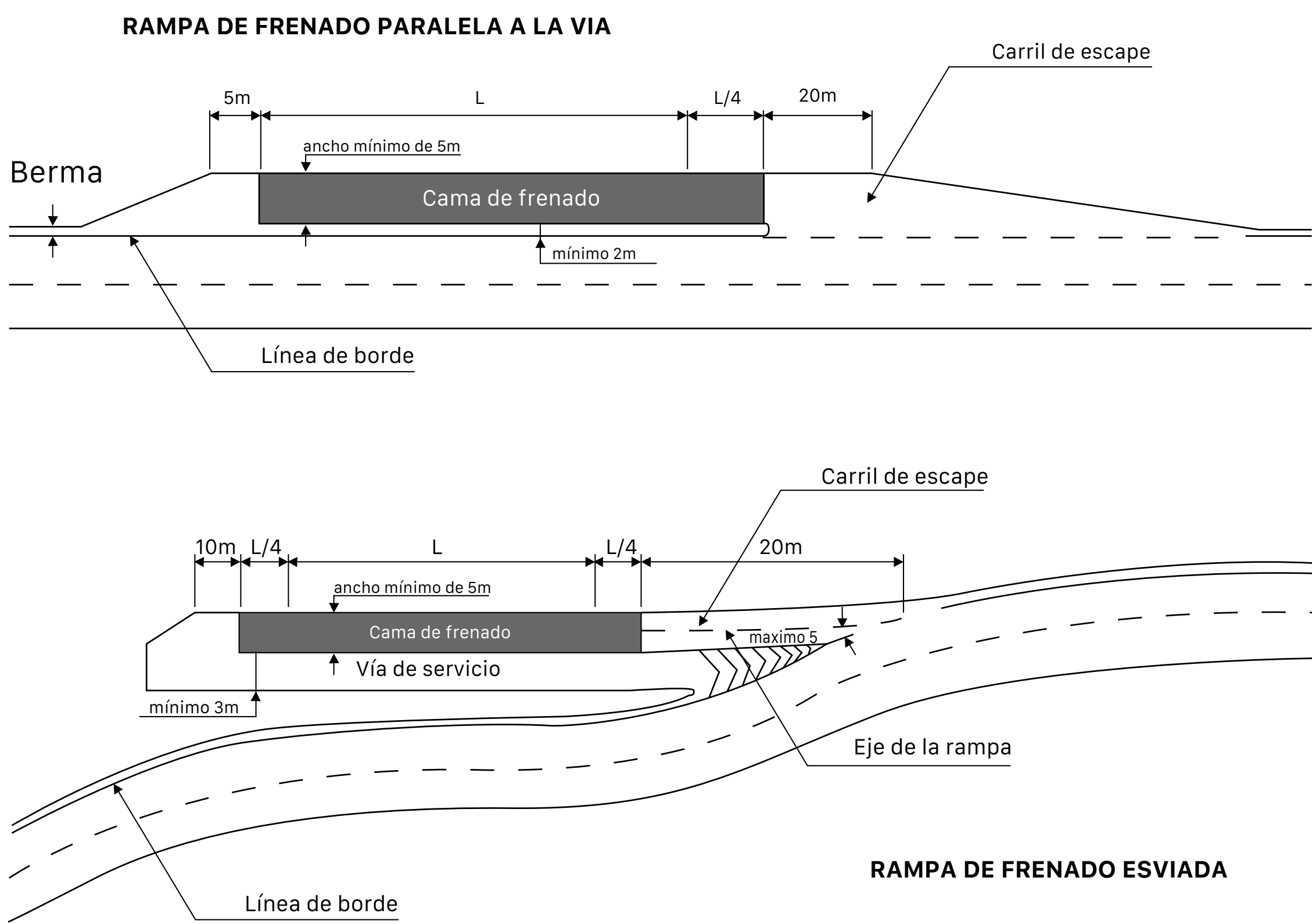
El diseño de las rampas para emergencia se hará de forma tal que se generen las condiciones necesarias para que los conductores

de vehículos fuera de control conozcan su existencia, entiendan las maniobras que deben realizar, sientan la confianza suficiente para ingresar a las rampas en forma segura y no continúen por la ruta principal, tomando en cuenta que:

- » Las rampas sean claramente visibles y den el mensaje de que son soluciones dispuestas a borde de vía para frenar vehículos que han perdido el control.
- » El acceso a la rampa sea amplio y suficiente para alojar el lecho de frenado y el camino de servicio, de manera que visualmente inviten su uso en casos de emergencia.

El ángulo de entrada a cada rampa respecto al eje de la carretera debe ser de cinco (5) grados como máximo (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2020), con el fin de asegurar la estabilidad del vehículo durante la maniobra de ingreso a la rampa y su alineamiento horizontal sea recto, de manera que los vehículos que ingresen lo hagan en forma segura, como se ilustra en la Figura 89.

Figura 89. Elementos de diseño de las rampas de emergencia.



Fuente: (Dirección General de Carreteras, 1995)

Con relación al diseño del lecho de frenado y el detalle mostrado en Figura 90, se indica lo siguiente:

Si por la topografía del terreno o por limitaciones físicas que restrinjan la construcción de la rampa, no es posible proveerla del lecho de frenado con la longitud a que se refiere el párrafo anterior, para impedir que los vehículos salgan de la rampa, el lecho de frenado se complementará con un dispositivo atenuador de impacto según lo requiera el diseño.

Las rampas de emergencia cuyo eje es esviado (no alineado) respecto al eje de la carretera, contarán con una vía de servicio paralela a la rampa de frenado, que permita ejecutar su mantenimiento y remover los vehículos que ingresen a ella.

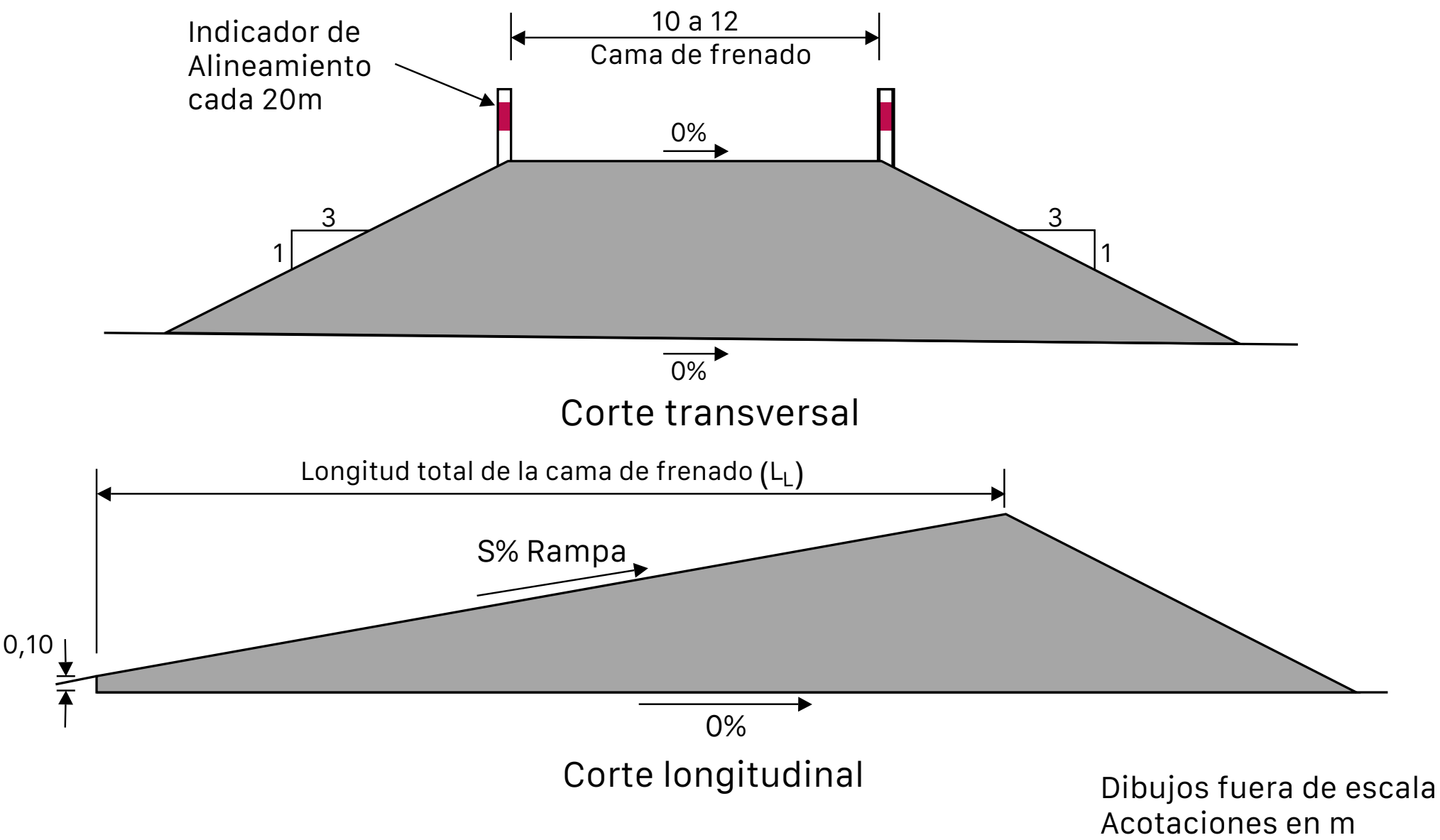
El ancho de las rampas de emergencia será el necesario para permitir el libre ingreso de los vehículos y para facilitar las maniobras para removerlos. Tendrá un ancho mínimo 5,0 m, así como el ancho del camino de servicio, que será de 3,0 m a 5,0 m.

El pavimento de la carretera se extenderá por el acceso hasta el sitio donde inicie el lecho de frenado de cada rampa.

El lecho de frenado para rampas con montículo (Tipo RE-1 con montículo), se formará colocando el material a volteo es decir depositando simplemente el material de relleno sin compactar, sobre

una subrasante horizontal, de forma que la pendiente ascendente del montículo sea menor que 2,5 % y una longitud total calculada de acuerdo con los criterios anteriores; que sus taludes laterales y final sean como mínimo de tres a uno (3H:1V o más planos) y, para evitar que el material se desplace, y que su espesor en el punto de entrada sea al menos de 10 cm, como se ilustra en la Figura 90

Figura 90. Disposición en corte de las rampas de frenado Tipo RE-1 (con montículo).



Fuente (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016)

El lecho de frenado para rampas descendentes (Tipo RE-2), horizontales (Tipo RE-3) y ascendentes (Tipo RE-4), tendrá un espesor mínimo de 60 cm a un 1,0 m y estará colocada a volteo, es decir depositando simplemente el material de relleno sin compactar en una caja en la subrasante de la rampa, con taludes de dos tercios a uno (2/3:1) y profundidad igual que el espesor del lecho. Para evitar desaceleraciones excesivas en el vehículo, el lecho se construirá con un espesor de al menos 10 cm en el punto de entrada, que aumentará uniformemente hasta alcanzar su espesor de diseño, como se muestra en la Figura 91. Cuando el lecho de frenado se construya con grava triturada, el espesor de diseño será de 1,0 m como mínimo. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016)

4.3.5 Consideraciones sobre rampas emplazadas al costado izquierdo de la vía

No se deben emplazar rampas de emergencia para frenado al costado izquierdo del tramo de la carretera con pendiente descendente, esto con el fin de evitar que los vehículos fuera de control crucen el o los carriles de sentido de circulación contrario, salvo cuando se trate de carreteras de cuerpos separados en las que las rampas puedan alojarse dentro de la

franja separadora central, cuyo ancho es suficiente y no exista el riesgo de que esos vehículos invadan la otra calzada de la carretera (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016).

4.4 Sistema de drenaje y subdrenaje

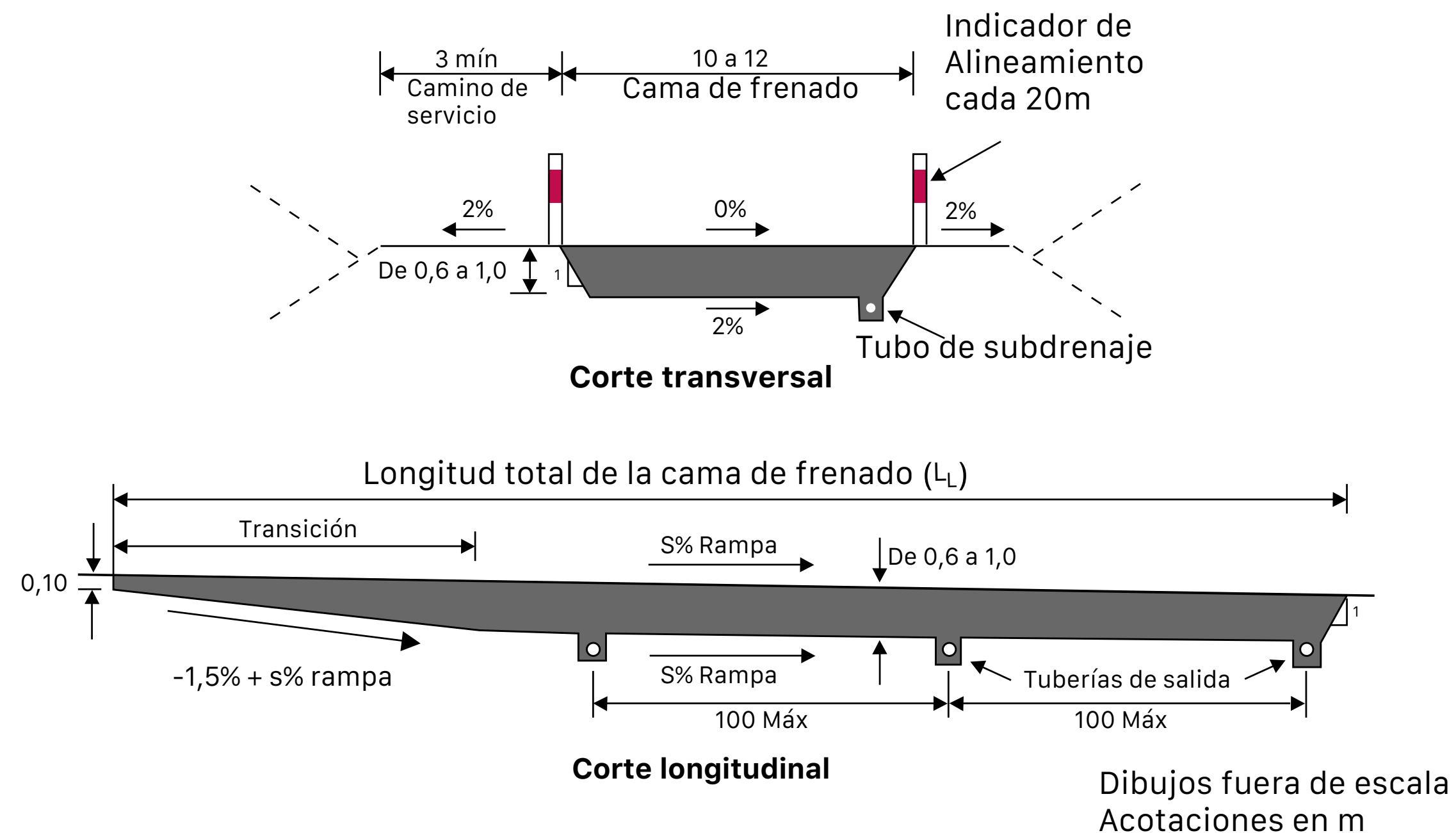
Cada rampa contará con un adecuado sistema de drenaje que evite el deterioro de las características del material que forma el lecho de frenado. Ver Figura 91.

El sistema de drenaje y subdrenaje de las rampas de emergencia se diseñará con el propósito de captar el agua de lluvia, los escurrimientos superficiales y, principalmente, el agua que se infiltre en el lecho de frenado, para desalojarla oportunamente a fin de evitar la acumulación de partículas en suspensión que llenen los vacíos del material del lecho y su posible densificación o compactación, así como el eventual congelamiento del agua atrapada, que anule la eficacia del lecho.

Las rampas de emergencia descendentes (Tipo RE-2), horizontales (Tipo RE-3) y ascendentes (Tipo RE-4) se diseñarán con una pendiente transversal de 2 % como mínimo, en el fondo de la caja que alojará el lecho de frenado, para interceptar y recolectar el agua que se infiltre.

En el lado más bajo de la caja que alojará el lecho de frenado se diseñará un subdrén con una pendiente longitudinal mínima de 1,5 %, como se ilustra en la Figura 91.

Figura 91. Disposición en corte de las rampas de frenado Tipo RE-2 (descendente), Tipo RE-3 (horizontal) y Tipo RE-4 (ascendente). Sistema de drenaje y subdrenaje.



Fuente (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016)

4.5 Elementos complementarios

Dependiendo de las condiciones particulares de cada sector donde se esté diseñando una rampa de emergencia, se deben considerar uno o más aspectos de los siguientes:

- » Necesidad de complementar el diseño con una vía de servicio.
- » Proveer de iluminación suficiente durante las horas nocturnas y suficiente distancia de visibilidad.
- » En algunos casos según la geometría de salida de la rampa es probable que se requiere complementar la seguridad vial con dispositivos tipo amortiguador o barreras longitudinales.
- » Aplicar la señalización tanto vertical como horizontal, especificada por el Manual de Señalización.
- » Se recomienda integrar la operación de las rampas con un sistema para la vigilancia y monitoreo mediante cámaras de video para detección automática de incidentes, ubicadas estratégicamente para que detecten, transmitan y registren

automáticamente cualquier incidente desde el inicio en la vía de acceso a la rampa de frenado hasta el fin de su lecho

de frenado, incluyendo sus vías de servicio y durante todo el tiempo que dure el incidente.





Capítulo 5

Criterios para la selección de sistemas de protección para motociclistas

5.1 Generalidades

Durante los últimos años la flota de motocicletas dentro del parque automotor de Colombia ha experimentado un aumento acelerado. El incremento del uso de la motocicleta como medio de movilización ha venido acompañado de una alta participación de los motociclistas en las muertes por siniestros viales. Durante el 2021, las muertes de usuarios de motocicleta representaron el 59,4% del total nacional, el cual ascendió a 7.067 fallecidos. En el caso particular de las muertes en siniestros por choque con objeto fijo, estos usuarios participaron con el 83 %¹⁶ del total de siniestros de este tipo.

En general, en Colombia los siniestros por salida de la vía en los que participan motociclistas se concentran en aquellos tramos donde se combinan fuertes deceleraciones con maniobras

bruscas sobre la trayectoria del vehículo. En estas situaciones aumenta significativamente la probabilidad de que el conductor pierda el control de la motocicleta y como consecuencia, al caer el vehículo, el usuario se desliza por la superficie del pavimento o sale expedido por el aire en un movimiento de volcamiento contra los elementos que existan en la zona lateral, en todo caso, manteniendo una tendencia a salirse de la vía.



Fuente: Ministerio de Transporte - <https://flic.kr/ps/2WnpJd>

¹⁶ Porcentajes calculados a partir del Histórico de Víctimas publicado por el ONSV en <https://ansv.gov.co/es/observatorio/estad%C3%ADsticas/historico-victimas>

Si un motociclista pierde el control, cae de su motocicleta y experimenta un siniestro por salida de la vía, podría sufrir una colisión contra algún objeto rígido ubicado en el margen de la carretera, una caída de gran altura, o golpear contra los postes y otros elementos de un sistema de contención ubicado al borde del camino, el siniestro podría tener consecuencias graves o fatales.

Cuando un motociclista cae al suelo, se desliza a alta velocidad y choca con los postes de una barrera longitudinal, puede sufrir fuertes golpes, cortes en partes de su cuerpo, e incluso perder alguna extremidad o su vida. En general, las barreras longitudinales que no han sido diseñadas y ensayadas para motociclistas representan un grave peligro potencial para este usuario de la vía.

Por estas razones, en los últimos años se han desarrollado SCV especiales, diseñados para reducir las consecuencias de un choque de un motociclista contra el sistema que, en esencia, debe protegerlo. Por lo general, estos sistemas especiales están formados por una barrera longitudinal a la que se le agrega un elemento que protege a los motociclistas durante una colisión directa contra estos sistemas; ya sea contra los postes de la

barrera (en sistemas semirrígidos), evitando que, al pasar entre los postes de la barrera, llegue a alcanzar el elemento de riesgo que se pretende proteger (por ej., un desnivel). Y, si se trata de un sistema rígido, retenerlo en el caso de que el motociclista sobresalga por encima de la barrera.

Al agregar el elemento protector de los postes a la barrera metálica o una malla sobre el muro de concreto, el dispositivo se considera como un nuevo SCV, el cual debe ser sometido nuevamente a todos los ensayos de choque de acuerdo con la normativa de ensayo respectiva, así como también debe aprobar de forma efectiva los ensayos de choque específicos para motociclistas.

5.2 Criterios para la selección de sistemas de protección para motociclistas (SPM)

Debido a la mayor vulnerabilidad que poseen los motociclistas con respecto a los usuarios de automóviles, así como a la creciente relevancia que tiene la motocicleta como medio de transporte en Colombia, se hace necesario contar con unos criterios más específicos para el empleo de los sistemas para protección de

motociclistas, con el fin de aumentar la seguridad de este tipo de usuarios, y disminuir la gravedad del siniestro una vez se haya producido. Estos criterios complementan los parámetros para la implementación de sistemas de barreras longitudinales.

Para la implementación de SPM se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

5.2.1 Determinación de los sectores de la carretera donde se justifica un SPM

Teniendo en cuenta todas las consideraciones anteriores y con objeto de potenciar la seguridad vial para este usuario vial vulnerable, se aplican los siguientes criterios para identificar los sectores que requieren la implementación de sistemas de protección para motociclistas (SPM):

5.2.1.1 En carreteras y vías suburbanas con límite de velocidad mayor de 60 km/h

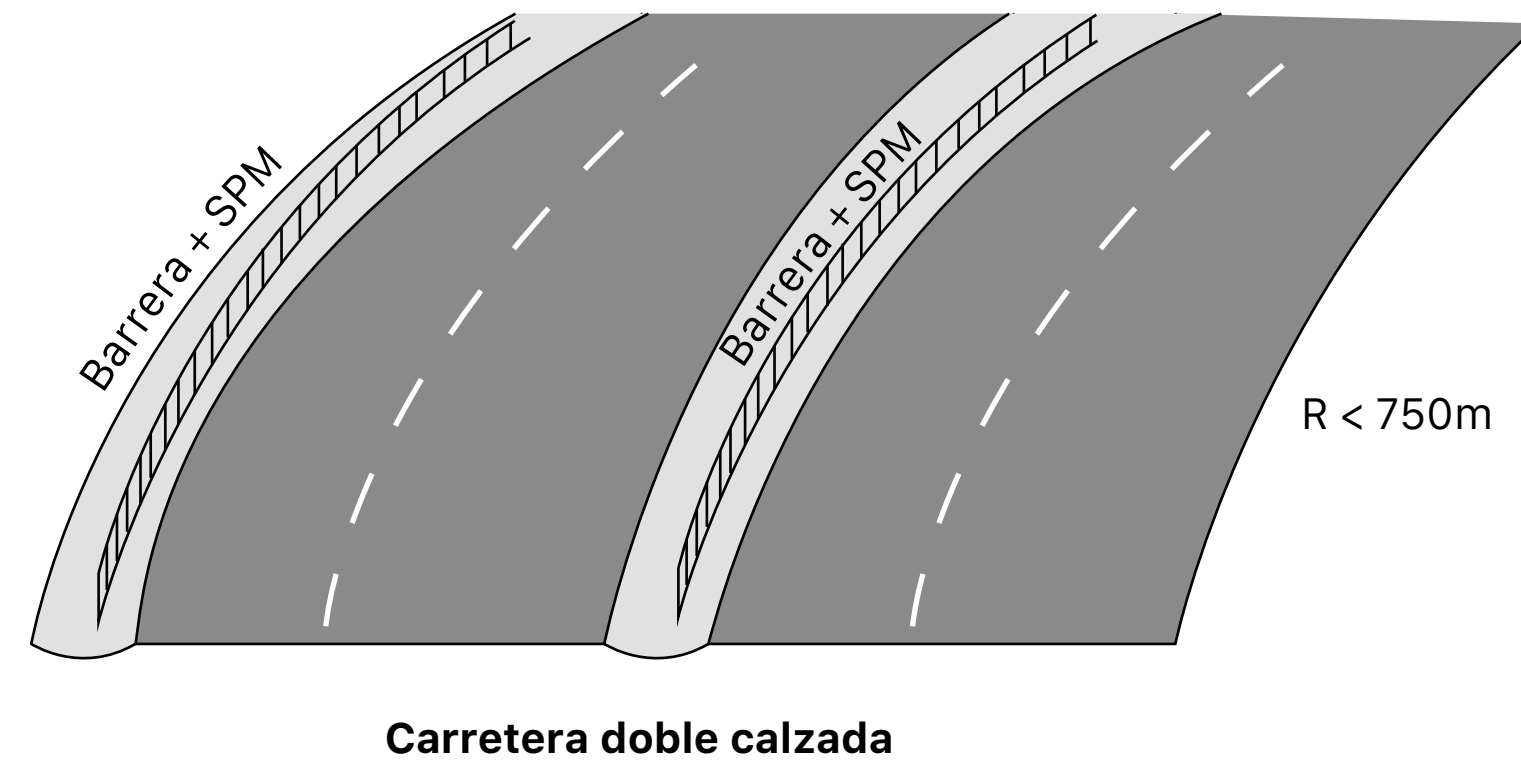
En este caso los criterios para tener en cuenta en el empleo de los SPM son los siguientes:

Estará justificado el empleo de los SPM de tipo continuo, siempre y cuando se haya establecido la necesidad de una barrera longitudinal y en la zona lateral haya obstáculos o desniveles próximos al borde de la calzada (distancia inferior a la zona despejada), y simultáneamente se den las configuraciones siguientes:

C. En carreteras con calzadas separadas:

- » En el lado exterior de las alineaciones curvas de radio inferior a 750 m. Ver Figura 92
- » En las salidas desde las calzadas principales, cuando el carril de desaceleración sea de tipo directo, en el margen izquierdo del ramal de salida a lo largo del desarrollo de la alineación curva.
- » En el lado exterior de las alineaciones curvas en las que la velocidad específica sea inferior en más de 30 km/h a la de la alineación inmediatamente anterior (tramos con falta de consistencia en el diseño y donde la señalización por si sola es insuficiente como medida de seguridad vial).

Figura 92. Criterios de implantación de los SPM en calzadas separadas

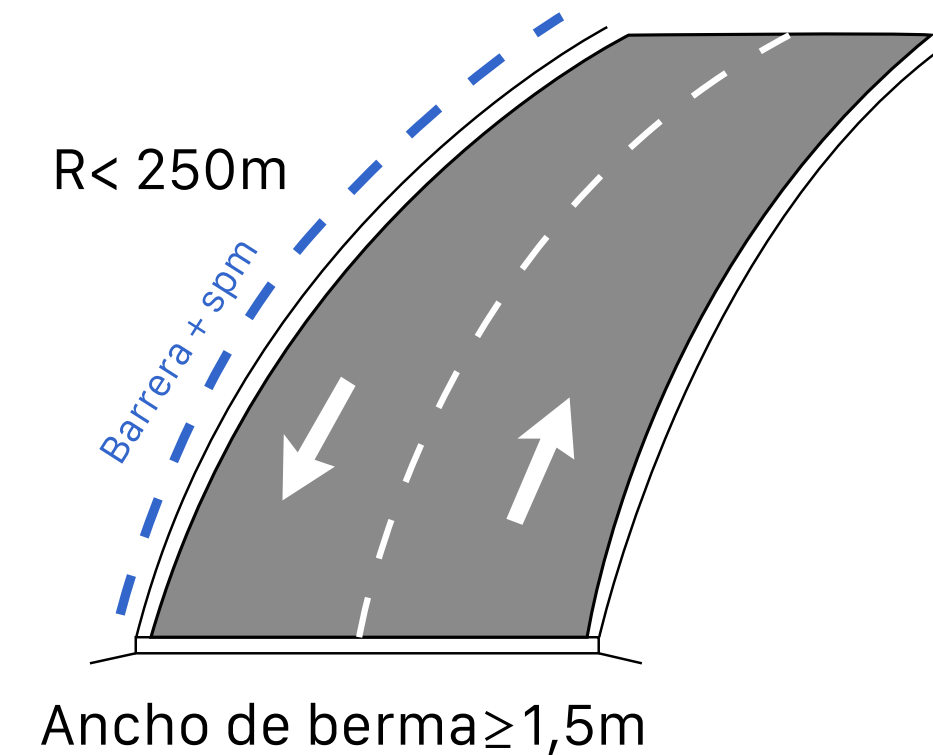


Fuente: Elaboración propia a partir de ilustración cedida por el autor

D. En carreteras de calzada única con berma mayor o igual a 1,5 m:

- » En el lado exterior de las alineaciones curvas de radio inferior a 250 m. Ver Figura 93
- » En el lado exterior de las alineaciones curvas en las que la velocidad específica sea inferior en más de 30 km/h a la de la alineación inmediatamente anterior (tramos con falta de consistencia en el diseño y donde la señalización por si sola es insuficiente como medida de seguridad vial).

Figura 93. Criterios de implantación de los SPM en vías de una calzada y berma mayor o igual a 1,50m



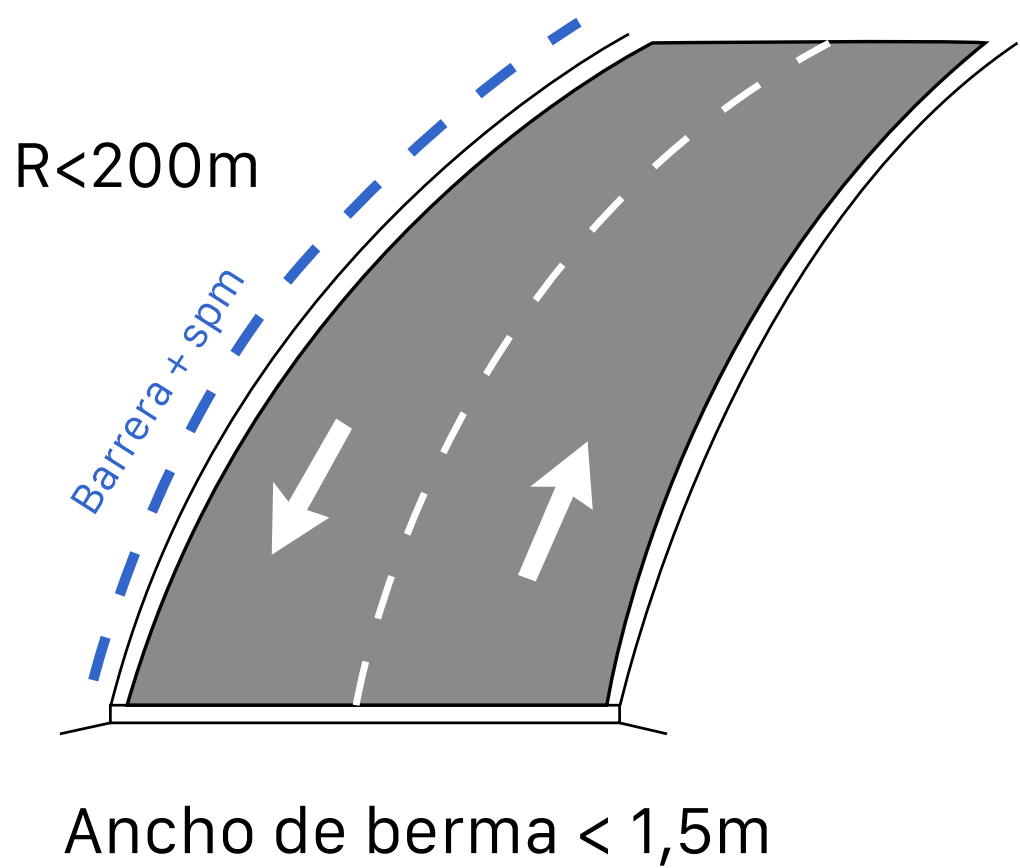
Fuente: Elaboración propia a partir de ilustración cedida por el autor

E. En carreteras de calzada única con berma menor de 1,5 m:

- » En el lado exterior de las alineaciones curvas de radio inferior a 200 m. Ver Figura 96

En el lado exterior de las alineaciones curvas en las que la velocidad específica sea inferior en más de 30 km/h a la de la alineación inmediatamente anterior (tramos con falta de consistencia en el diseño y donde la señalización por si sola es insuficiente como medida de seguridad vial).

Figura 94. Criterios de implantación de los SPM en vías de una calzada y berma menor de 1,50m



Fuente: Elaboración propia a partir de ilustración cedida por el autor

5.2.1.2 En carreteras y vías suburbanas con límite de velocidad inferior a 60 km/h

Con carácter excepcional y siempre que se justifique por cuestiones relativas a la operación de la carretera o derivadas de una alta siniestralidad, y configuraciones semejantes a las indicadas en los párrafos anteriores, podrá emplearse un SPM de tipo continuo.

5.2.1.3 Otras consideraciones

Se podrá justificar la instalación de un SPM en un sitio que no cumpla con los criterios anteriores, siempre y cuando la justificación se base en un análisis técnico de la siniestralidad en el sitio, que demuestre la necesidad de instalar un SPM y se justifique técnica y económicamente.

Salvo expresa justificación que sustente su necesidad, no se emplearán SPM de ningún tipo cuando en la zona lateral no existan obstáculos o desniveles próximos al borde de la calzada.

No se emplearán sistemas de protección para motociclistas del tipo puntual.

Resumen de criterios para la implantación de SPM

En la Tabla 27 se resumen los criterios anteriores que justifican la instalación de un SPM:

Tabla 27. Criterios para la implantación de SPM.

Velocidad	Tipo de vía	Berma	Alineación	Condición	Ubicación
>60 km/h	Calzadas separadas		Curva	$R < 750\text{ m}$	Lado exterior
			Rampa de salida	Carril de deceleración directo	Margen izquierdo del ramal de salida a lo largo de la alineación curva
			Curva con reducción de velocidad	Velocidad específica inferior en más de 30 km/h a la alineación inmediatamente anterior	Lado exterior
	Calzada única	$\geq 1,5\text{ m}$	Curva	$R < 250\text{ m}$	Lado exterior
			Curva con reducción de velocidad	Velocidad específica inferior en más de 30 km/h a la alineación inmediatamente anterior	Lado exterior
		$\leq 1,5\text{ m}$	Curva	$R < 250\text{ m}$	Lado exterior
			Curva con reducción de velocidad	Velocidad específica inferior en más de 30 km/h a la alineación inmediatamente anterior	Lado exterior
>60 km/h	Con carácter excepcional y siempre que se justifique por cuestiones relativas a la operación de la carretera o derivadas de una alta accidentalidad, y en configuraciones semejantes a las anteriores.				

Fuente: (Dirección General de Carreteras, 2014)

5.2.2 Determinación del nivel de contención para los SPM

El nivel de contención del SPM está dado por el requerido para blindar la situación de peligro identificada en la zona lateral y las condiciones operativas del sector donde se va a instalar la barrera longitudinal siguiendo lo establecido en el numeral 3.5. Se debe tener cuidado que el conjunto haya sido ensayado para dicho nivel de contención y cumpla con los estándares de prueba. La incorporación de un SPM a una barrera con un determinado nivel de contención según norma europea EN 1317 que ha sido ensayado en otra barrera no garantiza el comportamiento del conjunto resultante.

El conjunto de la barrera longitudinal de soporte y el SPM deben demostrar su comportamiento satisfactorio ante choques de vehículos de 4 o más ruedas, según la norma europea EN 1317-2

5.2.3 Selección del SPM

Una vez determinada la necesidad de un SPM aplicando los criterios descritos anteriormente, se seleccionará de entre los sistemas certificados, aquel o aquellos cuyos parámetros de

comportamiento sean compatibles y adecuados con el sitio y condiciones de instalación del SPM.

5.2.4 Normas aplicables

En todos los casos, únicamente deben instalarse SPM que hayan superado los ensayos establecidos en la especificación CEN/TS 17342 (2019), o en la norma UNE 135 900 (2017), o en las que a nivel internacional sean debidamente probadas y aceptadas.

Por otro lado, es pertinente indicar que en la actualidad no se han desarrollado este tipo de SPM según el manual MASH, por lo que en este capítulo solo se hace referencia a las normas UNE anteriormente citadas.

5.3 Tipos de sistemas de protección para motociclistas

En este numeral se describen los sistemas utilizados para la protección de los motociclistas. No obstante, es preciso señalar que los sistemas de contención vehicular deben ser sometidos a ensayos de conformidad con los requerimientos de la norma MASH o EN 1317.

Así las cosas, la incorporación de cualquier elemento destinado a la protección de motociclistas a una barrera o pretil de hormigón, metálica o mixta, simple o doble, de cualquier nivel de contención, constituye una modificación del producto, y por tanto, el conjunto barrera o pretil con el elemento para protección de motociclistas, debe superar siempre, además de las pruebas de impacto con motociclistas según la CEN/TS 17342:2019 o UNE 135900:2017, los ensayos con vehículos de 4 o más ruedas indicados en la norma MASH o EN 1317.

Debe evaluarse si el objeto por proteger también constituye un elemento de riesgo para los vehículos de 4 o más ruedas, y en ese caso, se recomienda instalar un sistema de contención vehicular dotado de un sistema para protección de motociclistas. En caso de que se verifique que el elemento puntual no supone un elemento de riesgo para los vehículos de 4 o más ruedas, y se decida disponer un elemento para la protección exclusivamente de los motociclistas, este dispositivo debe satisfacer los ensayos recogidos en la norma CEN/TS 17342:2019 o UNE 135900:2017.

5.3.1. SPM basados en barreras rígidas

El desempeño de los SPM existentes han pretendido minimizar el daño físico a los motociclistas tomando de base el análisis de los siniestros reportados, en donde se identifica el tipo de barrera impactada, características del impacto y severidad reportada. En este sentido, unos SPM son probados para impactos donde el motociclista se desliza sobre el pavimento e impacta contra la barrera, otros cuando este sobrevuela por encima de la barrera y pueda lastimarse con el peligro existente detrás. Si bien estos siniestros ocurren, los datos muestran que no son muy frecuentes, pero si ocurren suelen ser muy graves.

Algunos estudios han reportado que es difícil encontrar evaluaciones de efectividad de barreras impactadas por motociclistas que provean resultados sólidos y confiables. Parte de la evidencia del estudio adelantado por Elvik et. al. (2015) es que los sistemas rígidos (barrera de concreto) aparentan ser menos "dañinos" para los motociclistas que los sistemas semirrígidos (barreras metálicas). De Daniello y Gabler (2011), se puede inferir que las barreras de concreto representan una amenaza relativamente menor para los motociclistas

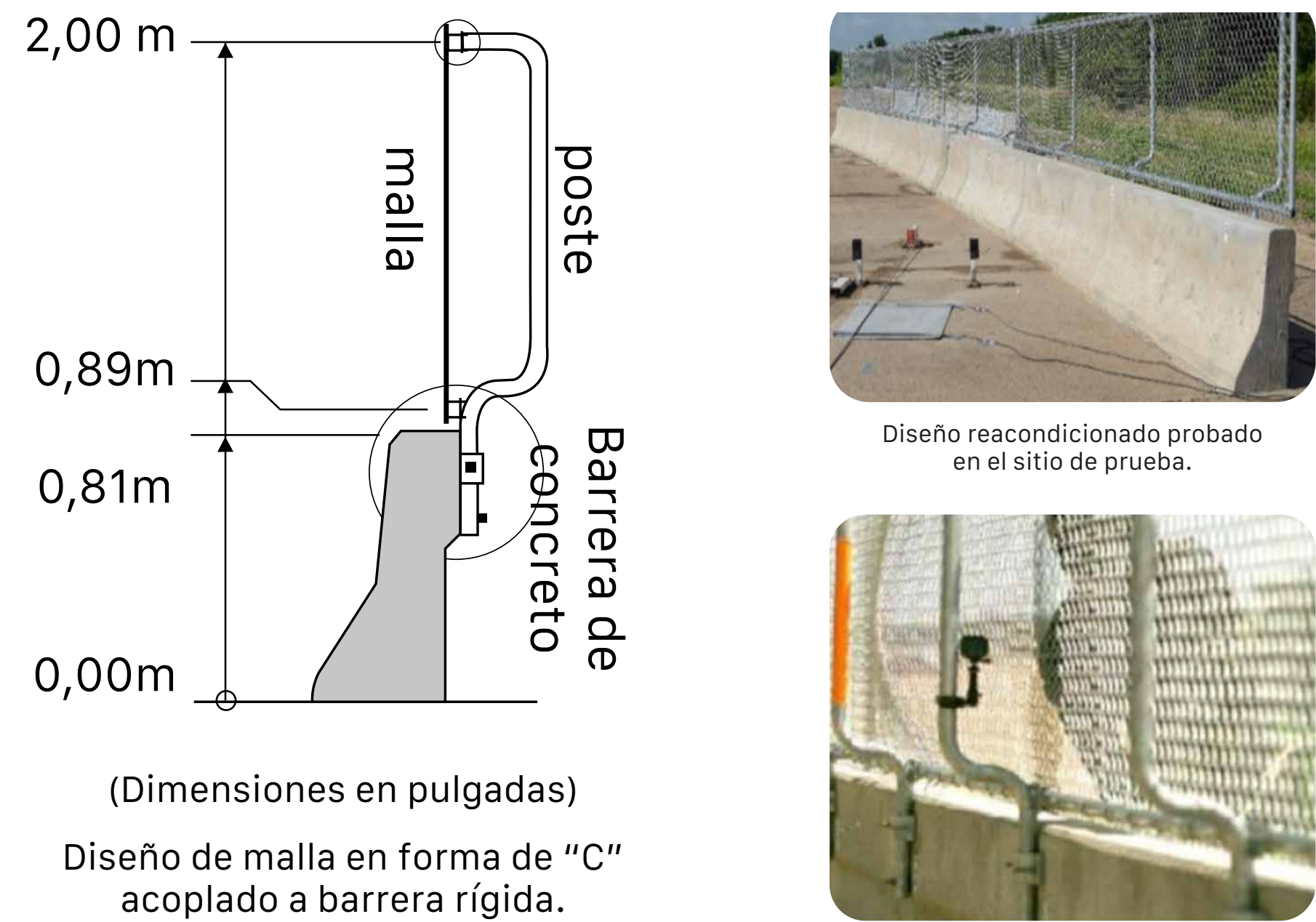
considerando que hay una superficie lisa para que el motociclista se deslice después del impacto. Debe resaltarse, además, que la gravedad aumenta si el evento ocurre sin la protección de un casco certificado, puede ser la diferencia entre resultar herido o morir.

Teniendo presente que los motociclistas que impactan barreras de concreto suelen salir eyectados sobre la barrera (desplazamiento vertical), la primera aproximación a una solución complementaria para motociclistas consistiría en proporcionar protección continua en la parte superior de la barrera para así evitar que el motociclista se salga de la barrera. Esta protección puede ayudar a contenerlo después de un impacto de motocicleta en posición vertical. Ver Figura 95.



Fuente: Ministerio de Transporte - <https://flic.kr/ps/2WnpJd>

Figura 95. Protección continua en la parte superior de la barrera rígida.



Fuente: (Federal Highway Administration, 2021)

Las fotos muestran que el motociclista no entra en contacto con los postes de la malla, lo cual fue una preocupación que los ingenieros e investigadores tuvieron en cuenta. El sistema de contención con malla y poste en forma de "C" modernizado, se consideró adecuado para su implantación en lugares donde

se necesita o se desea una opción de contención vertical para motociclistas. Aún se necesitan las pruebas de cumplimiento de MASH con NC TL-3 para evaluar la integridad estructural del sistema, el riesgo de los ocupantes y la deformación del vehículo. Esto permite ilustrar el grado de desarrollo de estos sistemas y la necesidad de investigación adicional. A medida que se instalan más SPM, se necesitan análisis más profundos para comprender sus posibles beneficios y limitaciones.

5.3.2. SPM basados en barreras semirrígidas

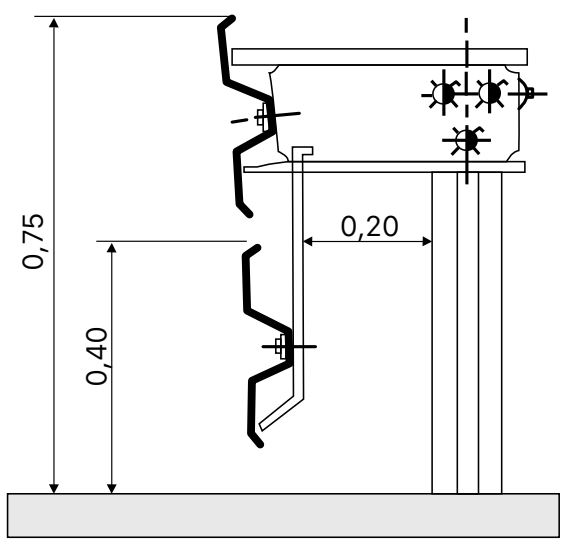
En cuanto a barreras metálicas, el problema asociado a ellas es que por la separación de los postes estos se comportan como un objeto fijo contra el cual un motociclista que se desliza sobre el pavimento puede impactar, lo que puede resultar en una lesión grave o la muerte (Federal Highway Administration, 2021). Frente a esto, se pueden adoptar opciones que brinden protección inferior a los sistemas de defensa metálica para evitar o amortiguar la interacción del motociclista con elementos discontinuos (postes) de la defensa y, de esta manera, mejorar la seguridad para el motociclista.

La protección puede estar vinculada al poste de manera continua a lo largo de la parte inferior de las vigas (W-beam) de manera que cubra los postes y el espacio entre ellos, como se observa en la Figura 96. Los sistemas de protección continua también pueden evitar que un motociclista pase entre postes, debajo de la defensa y golpee el objeto para el que se instaló en principio el SCV. Estos elementos de acuerdo con el estándar EN 1317 deben cumplir un NC N2.



Fuente: Ministerio de Transporte - <https://flic.kr/ps/2WnpJd>

Figura 96. Sistema de protección de motociclistas en barreras metálicas.



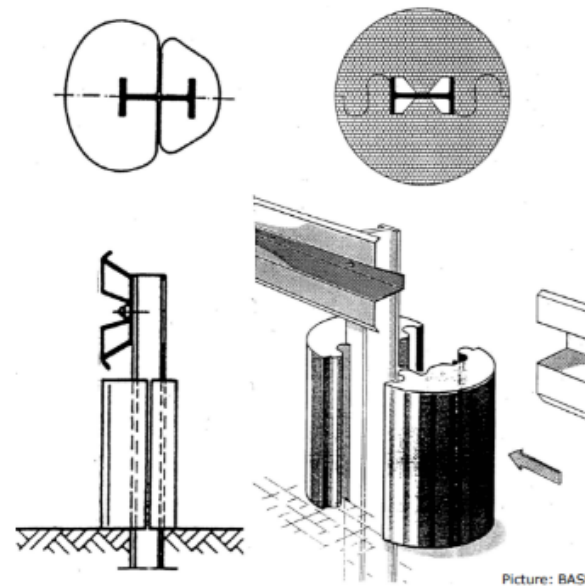
(Dimensiones en metros)



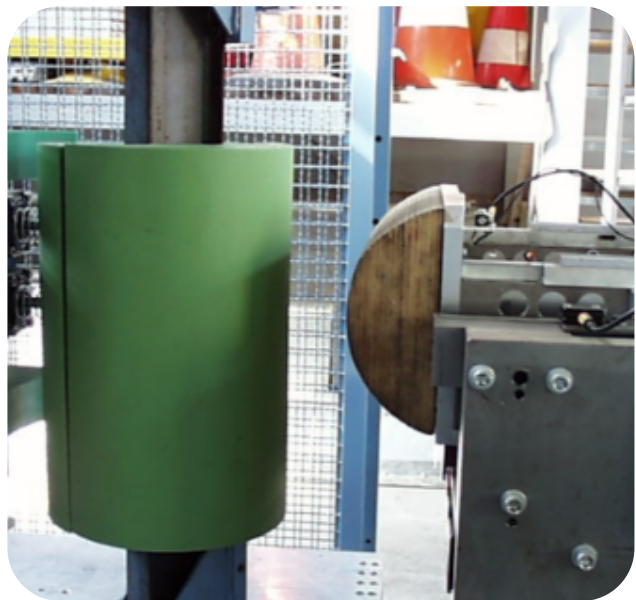
Cara posterior del SPM



Cara anterior del SPM



Diseño protector de poste



Prueba de impacto



Aplicación

Fuente: (1) (Federal Highway Administration, 2021). (2) (Federal Highway Research Institute, 2018)

Los datos recopilados por el Departamento de Transporte de Utah para esta modificación mostraron buenos resultados. En el período de cinco (5) años antes de la instalación del SPM, se

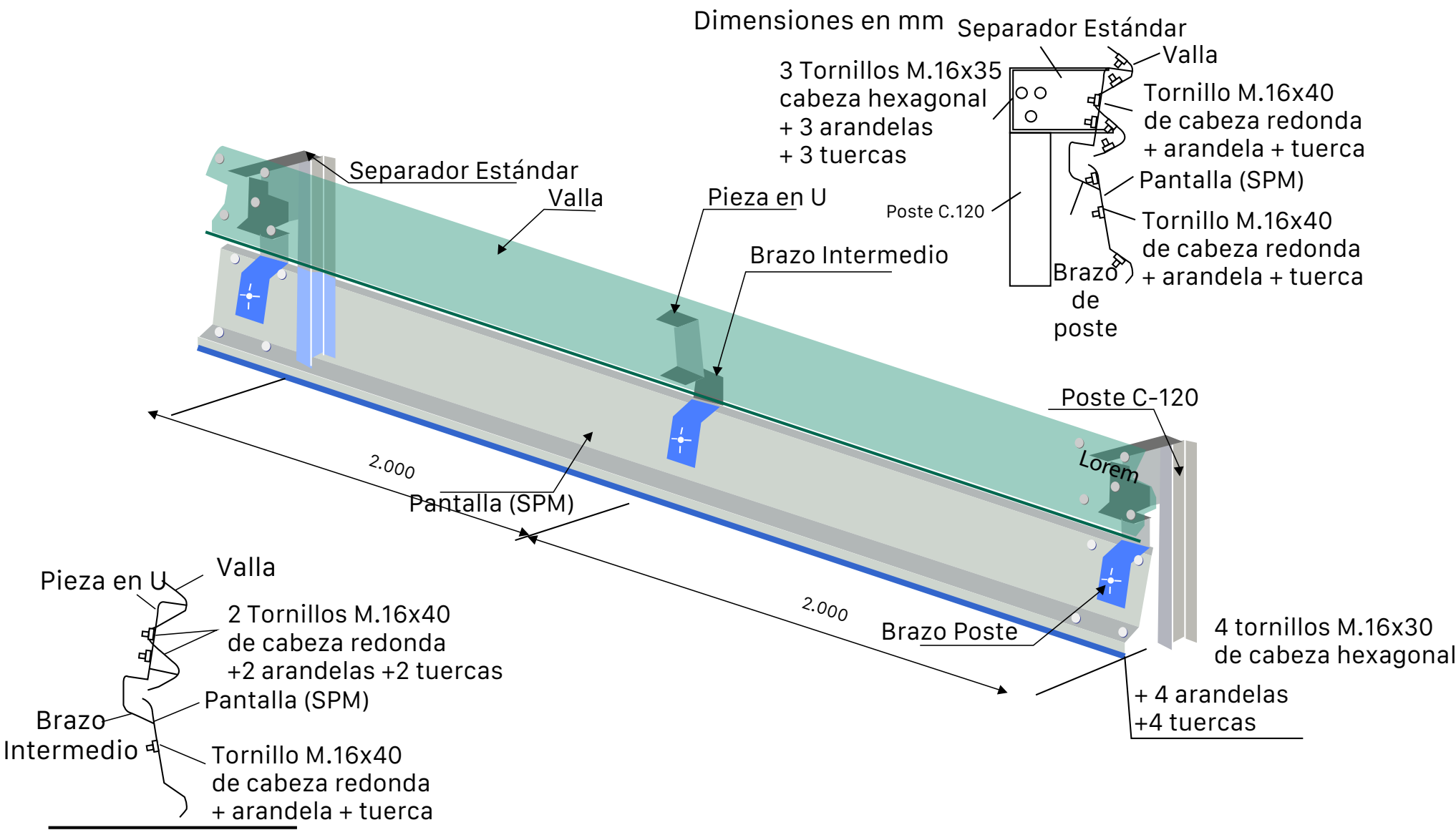
informaron cinco (5) lesiones de motocicleta dentro de la sección de la carretera. Después de la instalación, durante un período de tres (3) años, no se reportaron heridos (Federal Highway Administration, 2021).

En el mercado existen SPM que cumplen los estándares EN 1317 y EN 135900:2017. Ver como el mostrado en imagen superior de la Figura 97 que corresponde a una barrera ensayada en conjunto con la pantalla para la protección de los motociclistas puesto que el conjunto constituye un sistema.



Fuente: Ministerio de Transporte - <https://flic.kr/ps/2WnpJd>

Figura 97. Sistema de protección de motociclistas en barreras metálicas, con atenuador de impacto.



(1) Barrera con SPM ensayada según en 135900:2017 y en 1317



(2) MASH 2016 y EN1317 (barrera ensayada con aditamento plástico)

Fuente: (1) (Federal Highway Administration, 2021)y (2) (HIASA. Grupo Gonvarri, 2010)

De igual forma existen fabricantes que han desarrollado un SPM que consta de un cuerpo hueco hecho de un material plástico con una sección ondulada que puede absorber y redirigir parcialmente la energía en el caso de que se produzca un impacto de un motociclista.

La decisión de instalar estos SPM debe partir de un uso racional del recurso que maximice el beneficio esperado, esto hace que sea necesario comprender e identificar cuáles son las ubicaciones más apropiadas para estos sistemas. Por ejemplo, instalar protección en defensas metálicas o mallas en barreras de concreto puede ser costoso si se instala en largos tramos de vía, por lo que puede ser importante concentrarse en aquellos tramos que realmente requieren una contramedida de seguridad. Además, los SCV instalados en tramos curvos pueden tener requisitos diferentes a los de las instalaciones en carreteras rectas y pueden diferir según las características de las vías, dependiendo de si el entorno es rural o urbano.

Existen normativas de ensayo (TS 17342:2019¹⁷ para la Comunidad Europea y la EN135900:2017 específica para España, que evalúan el comportamiento de SPM. En la especificación

¹⁷ Las generalidades sobre esta especificación se pueden consultar en (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2021).

técnica TS 17342 se establecen cuatro (4) niveles de protección para SPM (C60, C70, D60 y D70) que dependen de la velocidad y ángulo de impacto y son un buen referente para seleccionar un SPM.

5.3.3. SPM para objetos individuales

Este sistema ha sido diseñado específicamente para riesgos individuales en los bordes de las vías y medianas, como postes de iluminación, árboles, torres de transmisión, etc. Un sistema de este tipo suele consistir en un elemento "blando" que se adapta a ciertas tipologías de obstáculo fijo y que es útil para usar en áreas donde las condiciones locales no permiten la aplicación de secciones largas o continuas de barreras de seguridad y, cuando previamente se han agotado otros tratamientos de mitigación menos agresivos para el motociclista.

Los dispositivos como los presentados en la Figura 98, también se pueden usar en elementos identificados como peligrosos, como postes utilitarios y de señalización, con el propósito de blindarlos y brindar de esta manera una protección adicional a los motociclistas siempre y cuando hayan sido ensayados y se encuentren certificados.

Figura 98. SPM para objetos individuales.



(1) Poste utilitario (de servicios públicos)



(2) Postes de señalización

Fuente: (1) (Ingal Civil Products, 2021) y(2) (World Highways, 2012).

El tipo de solución puntual para protección de los motociclistas debe partir de un análisis cuidadoso del tipo de vía, entorno y operación de la misma; así como de identificar los puntos o tramos críticos por salida de vía (si los datos lo facilitan) y revisar el alineamiento geométrico para detectar sectores que, sumado a posibles velocidades inadecuadas o inseguras según en contexto, problemas de iluminación, etc., hagan de estos tramos unos candidatos a ser intervenidos con este tipo de sistemas. Cabe mencionar que, un adecuado conocimiento del problema de seguridad y de las distintas medidas de mitigación factibles, es lo que permitirá decidir sobre la conveniencia o no de implementar un SPM como última opción.



Capítulo 6

Inspección y mantenimiento de barreras longitudinales

6.1 Generalidades

El mantenimiento y la conservación de los sistemas de contención vehicular debe partir de una inspección periódica en la vía en la que se constate directamente el estado físico y de funcionamiento de los elementos que conforman dicho sistema, lo cual permite evaluar y decidir sobre el tipo de intervenciones que es necesario realizar para mantener las barreras conforme a las condiciones del diseño e instalación originales.

En general, la vida útil de las barreras longitudinales es prolongada y su mantenimiento no es requerido mientras no sea afectado por golpes que alteren su estructura. En el Reporte 656 NCHRP - Criteria for Restoration of Longitudinal Barriers (2010), se clasificaron los tipos de daño de los SCV impactados en alto, medio y bajo, con base en ensayos a escala real, como se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28. Grados de daño de barreras impactadas.

Tipo de daño	Descripción
Alto	Un segundo impacto resulta un desempeño inaceptable de la barrera, pudiendo ocasionar penetración y/o vuelco del vehículo.
Medio	Un segundo impacto resulta en un degradado, pero inaceptable desempeño de la barrera.
Bajo	Un segundo impacto da como resultado un desempeño no muy diferente al de una barrera no golpeada.

Fuente: (Transportation Research Board , 2010).

Las labores de mantenimiento de las barreras longitudinales deben hacerse rutinariamente cada vez que hayan sido golpeados y deberán contemplar la sustitución oportuna de los elementos dañados. Por ninguna razón se deberá aceptar que los elementos deteriorados sean enderezados y colocados nuevamente como parte del sistema.

A esto se suma la falta de mantenimiento, pues en muchas ocasiones no se sustituyen oportunamente luego de un impacto o no se les da el debido cuidado para prevenir su deterioro por condiciones ambientales.

Adicionalmente deberán hacerse labores de inspección periódicas, al menos cada seis (6) meses, que contemplen la verificación y, si es del caso, el ajuste o reposición de los elementos que conforman la barrera longitudinal. Así mismo, esta actividad deberá contemplar labores de limpieza que eviten el deterioro por efecto del medio ambiente.

Son variados los tipos de daños o afectaciones que puede sufrir una barrera, para lo cual es importante llevar un registro en donde se consigne el estado de los elementos que la conforman y sus condiciones operativas, que permitan conocer posibles deficiencias o inconformidades que puedan afectar su funcionamiento, en el caso de ser chocadas por algún vehículo.

6.2 Detalle de la inspección y mantenimiento

La inspección periódica de las barreras debe ser registrada y documentada, con el propósito de identificar las necesidades

de mantenimiento necesarias para garantizar su óptimo funcionamiento. Corresponde al administrador de la vía elaborar fichas que guarden el historial de las labores de inspección y mantenimiento a lo largo del tiempo.

6.2.1 Barreras semirrígidas

Al final de este capítulo se presenta la ficha de inspección y mantenimiento de una barrera semirrígida, en la cual se deben registrar las actividades necesarias para la realización de una inspección de campo y las acciones de mantenimiento, que le corresponde hacer al administrador de la vía para garantizar su adecuado funcionamiento. Los aspectos que es necesario consignar en la ficha son:

Verificación de los elementos que conforman barrera

En la ficha deberán registrarse todos los elementos que conforman el SCV, tales como los terminales, la barrera y las transiciones.

1. **Terminales:** deberán identificarse los diferentes tipos de terminales que pueda tener una barrera semirrígida, tales como:

Tabla 29. Tipos de terminal para verificación

Terminal	Observaciones
Cola de pez o similares, tales como láminas dobladas que reemplazan la cola de pez.	En ninguna circunstancia deben aceptarse este tipo de terminales, ya que pueden generar graves siniestros al ser chocados de frente.
Viga empotrada en un talud	Siempre que sea posible utilizar un talud de corte para empotrar la viga de una barrera de manera segura, deberá hacerse, ya que representa una solución sencilla y económica.
Viga enterrada en el suelo	Los terminales de barrera conformados por una viga hincada en el terreno pueden constituirse en rampas que eleven a los vehículos y ocasionar siniestros no controlados que pueden ocasionar graves consecuencias.
Viga esviada	Es la desviación del eje de la barrera para evitar el choque frontal con el vehículo. Es necesario analizar las condiciones de seguridad de acuerdo con las trayectorias de los vehículos.
Viga esviada y enterrada	De acuerdo con el diseño que requiere una barrera semirrígida y una vez verificadas las condiciones de instalación de las barreras, una opción segura para los usuarios de la vía es la colocación de terminales esviados y enterrados en el suelo.
Atenuador de impacto	Los terminales de este tipo resultan ser muy prácticos en los casos en que las condiciones de instalación de las barreras no permiten desarrollar terminales seguros, ya que permiten contener y en algunos casos redireccionar vehículos que se salen de la vía.

Tabla 29. Tipos de terminal para verificación (Continuación)

Otro	Cualquier otra condición que pueda encontrarse, tal como la ausencia de cualquier tipo de terminal u otra pieza que cumpla funciones de terminal.
------	---

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el tipo de terminal que se identifique en una barrera semirrígida se deberá hacer una descripción general del estado de este, que incluya todas las piezas que lo conforman y las posibles afectaciones que haya podido sufrir por efecto de un choque o por alguna circunstancia que le genere deterioro. Se deberán indicar las necesidades de reparación o de reemplazo de piezas.

El mantenimiento que se haga al terminal deberá corresponder con las condiciones identificadas en el proceso de inspección y se colocarán en las fichas de registro los elementos reparados, reemplazados o adicionados. En algunos casos los trabajos de mantenimiento podrán implicar el cambio total del terminal.

Tanto en la inspección como en el mantenimiento se deberán registrar las fechas de realización.

1. **Barrera:** deberán detallarse cada uno de los elementos que conforma la barrera identificando su estado:

Tabla 30. Elementos de la barrera para verificación

Elemento	Observaciones
Vigas	Todas las vigas que hayan sufrido golpes fuertes de vehículos, que alteren su condición física, deben ser reemplazadas. En ningún caso las vigas deberán ser enderezadas. Se deberá registrar la longitud de las vigas instaladas, su cantidad y la longitud total de la barrera.
Postes	Se deberá verificar la condición física y la existencia de todos los postes. No se deberá aceptar postes con alto nivel de deterioro, golpeados o enderezados.
Tornillos, tuercas y arandelas	Todas las vigas, postes, separadores y captafaros deberán tener completos, en buenas condiciones físicas y perfectamente ajustados todos los tornillos, tuercas y arandelas. La ausencia o mal funcionamiento de alguno de estos elementos puede ocasionar el mal funcionamiento de la barrera y agravar el siniestro del vehículo que lo choque.

Tabla 30. Elementos de la barrera para verificación (Continuación)

Tornillos, tuercas y arandelas	Todas las vigas, postes, separadores y captafaros deberán tener completos, en buenas condiciones físicas y perfectamente ajustados todos los tornillos, tuercas y arandelas. La ausencia o mal funcionamiento de alguno de estos elementos puede ocasionar el mal funcionamiento de la barrera y agravar el siniestro del vehículo que lo choque.
Separadores	Pueden ser metálicos, de madera o plásticos. Cualquiera que sea su material su geometría debe corresponder con la función que cumplen de evitar el enganchamiento de los vehículos que chocan la barrera. Los separadores golpeados o deteriorados deben ser reemplazados por otros nuevos
Captafaros	Son los que garantizan la visibilidad de las barreras en las horas de obscuridad y por tal motivo deben estar siempre en perfectas condiciones de reflectividad y estado general.

Fuente: Elaboración propia

Se deberá hacer una descripción general del estado de cada uno de los elementos que componen la barrera o la ausencia de alguno de ellos y las posibles afectaciones que hayan podido sufrir por efecto de un choque o por alguna circunstancia que le genere deterioro. Se

deberán indicar las necesidades de reparación o de reemplazo de piezas, cuando haya lugar.

El mantenimiento que se haga a la barrera se hará conforme a las condiciones identificadas en el proceso de inspección y se colocarán en las fichas de registro los elementos reparados, reemplazados o adicionados.

Tanto en la inspección como en el mantenimiento se deberán registrar las fechas de realización.

1. **Transiciones:** es necesario relacionar en cada ficha los elementos que conforman las transiciones entre barreras.
- » Transiciones: es importante que todas las transiciones que se utilicen para conectar una barrera semiflexible con una rígida, o viceversa, deben corresponder a elementos probados y certificados y su instalación deberá obedecer las exigencias del proveedor o fabricante.
- » Vigas, postes, tornillos, tuercas, tornillos, arandelas, separadores y captafaros: aplican las mismas recomendaciones dadas para las barreras, en el punto anterior.

Se deberá hacer una descripción general del estado de cada uno de los elementos que componen la transición, las posibles afectaciones que hayan sido causadas por siniestros o por alguna circunstancia que le genere deterioro. Se deberán indicar las necesidades de reparación o de reemplazo de piezas, cuando haya lugar.

El mantenimiento que se haga a las transiciones deberá corresponder con las condiciones identificadas en el proceso de inspección y se colocarán en las fichas de registro los elementos reparados, reemplazados o adicionados.

Tanto en la inspección como en el mantenimiento se deberán registrar las fechas de realización.

6.2.1.2 Verificación de las condiciones operativas de la barrera

Después de verificar cada uno de los elementos que conforman el SCV es necesario constatar las condiciones de operación del sistema, con el fin de que cumpla con los parámetros para los cuales fue diseñado. Es indispensable que la barrera esté a la altura recomendada sobre el nivel de la superficie de rodamiento

de los vehículos, las condiciones de hincado o fijación de los postes corresponda con lo previsto en el correspondiente diseño y la debida instalación y la superficie de separación entre la calzada y la barrera sea expedita para garantizar que el choque contra el SCV que tenga un vehículo que se sale de la vía, pueda ser controlado y no genere daños a las personas.

1. **Altura de la barrera:** el diseñador de la barrera debe fijar un rango de altura recomendable que garantice el choque controlado de los vehículos. En los casos de barreras que superen la altura recomendada es posible que los vehículos no sean redireccionados adecuadamente, que presenten daños no previstos de las carrocerías que puedan afectar a las personas o que éste pueda quedar incrustado entre las vigas. De igual manera, cuando se tienen alturas inferiores, se pueden generar saltos sobre la barrera o volcamientos.

En la ficha de inspección y mantenimiento deberá registrarse el rango de altura definida por el diseñador y durante las visitas de inspección se hará la medición de la barrera en cada uno de los puntos en donde están ubicados los postes. Dicha

altura deberá corresponder a la distancia vertical medida entre el nivel del borde de la calzada y la parte superior de la viga.

En el caso de identificarse en la inspección alturas diferentes al rango previsto en el diseño, éstas deberán ser ajustadas durante las visitas de mantenimiento y registrarse en la ficha correspondiente.

Tanto en la inspección como en el mantenimiento se deberán registrar las fechas de realización.

2. **Condiciones de hincado de los postes:** la superficie del terreno en donde se hincan los postes de una barrera debe estar compactada con suficiente firmeza para sostenerlo en posición vertical, pero que permita que estos colapsen en el momento del choque de un vehículo, faciliten su contención y redireccionamiento y permitan que el suelo ayude a disipar parte de la energía del choque. Las condiciones de hincado de los postes deben seguir las recomendaciones del proveedor y en todos los casos deben asimilarse a las condiciones del terreno en que fueron probadas las barreras.

Cuando los postes están empotrados en concreto asfáltico o hidráulico o cuando tienen una fundación en concreto es porque se requiere que la barrera pierda su flexibilidad y se usa solo en los casos especiales en los que se quiere dar rigidez a una barrera semirrígida. En estos casos el concreto debe estar en óptimas condiciones y no se deben permitir fisuras, ni daños mayores que permitan el movimiento de los postes.

En las inspecciones deberá registrarse en la ficha correspondiente las condiciones de compactación del terreno en donde se hincan los postes y en los casos de postes empotrados en concreto asfáltico o hidráulico deberá verificarse las condiciones del concreto y la firmeza de los postes.

Los postes que hayan sido identificados en la inspección con deficiencias en el anclaje deben ser reparados y registrados en la ficha correspondiente.

Tanto en la inspección como en el mantenimiento se deberán registrar las fechas de realización.

3. **Condiciones operativas de las transiciones:** la combinación entre una barrera semirrígida y una rígida, o viceversa, requieren de la adaptación de una transición que permita llevar de manera segura al vehículo que pasa de someterse de una superficie de determinada rigidez a otra diferente. Este cambio brusco puede generar siniestros severos por el enganchamiento del vehículo o por el choque frontal con una superficie dura.

Por lo anterior, es necesario verificar en las inspecciones de las barreras que el tipo de transición utilizado corresponda con lo propuesto por el diseñador del SCV, que el amarre entre los dos tipos de barrera sea firme y no genere peligro de desprendimiento y que los postes de aproximación a la transición cumplan la función de rigidización de la barrera semirrígida, tanto en su anclaje como en la menor distancia entre ellos. La disposición de los elementos de la transición debe corresponder con el diseño de la barrera y las recomendaciones dadas por el fabricante en el manual de instalación.

Durante la inspección de las transiciones deberá verificarse el amarre entre los dos tipos de barrera, el distanciamiento de los postes de aproximación y las condiciones del

empotramiento. Se deberá verificar que se cumplan las condiciones establecidas por el fabricante de la transición y el diseñador. Las condiciones de la transición que de acuerdo con la inspección generen inconformidades, deben ser corregidas en el mantenimiento y registradas en la ficha correspondiente, indicando las fechas.

4. **Condiciones de la superficie entre calzada y barrera:** para que una barrera longitudinal cumpla su función de facilitar un choque controlado a los vehículos que se salen de la vía, la superficie del terreno desde el borde calzada hasta que llegar a la barrera debe estar libre de todo tipo de obstáculos que interfieran en el desplazamiento del vehículo y que afecten la trayectoria de este hasta desde que sale de la vía hasta que choca con la barrera.

La distancia de ubicación lateral de la barrera deberá ser la máxima posible desde el borde de la calzada, con el fin de facilitar posibles maniobras de recuperación de los vehículos que se salen de la vía. La distancia mínima de colocación lateral de las barreras debe corresponder a la distancia de preocupación (Ls). Ver Tabla 8 de esta metodología. No

obstante, sí, y solo si, se presentan condiciones propias del terreno que no permiten cumplir con la distancia mínima de preocupación, se podrán aceptar barreras ubicadas a una distancia de hasta 50 cm. Ver Numeral 3.7 .

En el espacio entre la calzada y la barrera no deberá haber vegetación, zanjas, cunetas profundas, muros, cajas de inspección, piedras y en general cualquier elemento que pueda generar un choque o desestabilización del vehículo antes de que este llegue hasta la barrera.

Con respecto a los bordillos y sardineles ubicados entre la calzada y la barrera, se debe considerar que para velocidades de diseño menores a 80 km/h se permiten bordillos con un perfil achaflanado de altura de máxima de 15 cm.

Para velocidades mayores, la altura recomendada es de máximo 10 cm (American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO], 2011). Es posible instalar una barrera metálica sobre un bordillo, siempre y cuando la cara externa de la viga esté sobre la misma línea vertical de la cara del bordillo.

La pendiente de la superficie entre el borde de la calzada y la barrera a ser impactada debe tener una relación igual o menor (más aplanada) a 1V:10H, para que la afectación en el funcionamiento de la barrera sea muy baja (American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO], 2011).

En la ficha de inspección y mantenimiento deberán registrarse las distancias horizontales entre la línea de borde de calzada y la barrera, medidas cada 30 m o menos. Así mismo, deberá registrarse la pendiente de la superficie en esta misma distancia y los obstáculos si los hubiere. En el caso en que se produzcan mejoras en los aspectos mencionados, como resultado de las inspecciones, estas deberán constar en el registro del mantenimiento, señalando las fechas de los hallazgos y las de las mejoras.

6.2.1.3 Otros aspectos a tener en cuenta en la inspección y mantenimiento

La inspección de las barreras longitudinales puede contemplar otros aspectos relevantes que es necesario tener en cuenta para efectos de su mantenimiento. Dichos aspectos son:

- » Vegetación que puede afectar los diferentes elementos que conforman la barrera.
- » Traslape de las vigas de una barrera: las vigas que conforman una barrera deben unirse entre sí mediante traslapes que exigen montar una viga sobre otra. Es muy importante verificar que la disposición de estas permita siempre que el vehículo en su trayectoria choque la viga que esté en la parte superior, con respecto a la viga siguiente, que deberá estar debajo. Es decir, de acuerdo con la trayectoria prevista para el choque de los vehículos la primera viga estará superpuesta con respecto a la siguiente y así sucesivamente hasta el final de la barrera.
- » Interrupciones de la barrera: por ninguna circunstancia deberán aceptarse interrupciones en la longitud total de la barrera, ni posibles espacios a lo largo de la misma, ya que esta condición puede generar graves siniestros y se perderían las condiciones de diseño de la barrera.
- » Ancho de trabajo: el diseño de un SCV contempla el análisis y determinación de un ancho de trabajo que es necesario respetar para que la barrera cumpla con el objetivo para el cual fue diseñada.

6.2.2 SCV rígidos

Teniendo en cuenta que los SCV rígidos están elaborados en concreto de alta resistencia, su deterioro en el tiempo es mínimo y en pocas ocasiones requieren de labores de mantenimiento. Sin embargo, es importante verificar en las visitas inspección algunos aspectos que es importante garantizar para el adecuado funcionamiento de este tipo de SCV.

Los principales aspectos por considerar en una visita de inspección de un SCV rígido son los siguientes:

1. **La geometría de la barrera, aplicable a muros "F" y New Jersey:** en la Figura 5 del Capítulo 2 de esta metodología se describe la geometría de tipo de muros, la cual se debe respetar en la construcción y en la operación a lo largo del tiempo, ya que esto influye en la estabilidad de los vehículos (Elizondo Chinchilla, 2016). Según AASHTO, la variable crítica para estas barreras es la altura sobre el nivel de superficie del punto de quiebre entre las pendientes superior e inferior. La geometría estándar de estas barreras incluye una provisión 3" (75 mm aproximadamente) para posibles sobrecapas,

por lo que la altura mínima que debe tener la barrera es de 29" (737 mm) (American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO], 2011). Uno de los principales problemas que se presenta es la pérdida de altura debido a la colocación de sobre capas de pavimento en la calzada, pues no se toman las previsiones del caso o bien, se desconoce la información anterior.

2. **Discontinuidad de la barrera:** al igual que las barreras semirrígidas los muros de concreto no pueden tener espacios libres a lo largo de su desarrollo, ya que estos constituyen elementos altamente peligrosos que al ser chocados de frente por los vehículos generan enganchamiento o golpes con elementos contundentes que pueden generar graves consecuencias para los ocupantes.
3. **Elementos incrustados dentro de la barrera:** en algunos casos se colocan postes, canecas, u otros elementos de un ancho mayor o menor al de la barrera que dejan espacios o sobresalen por encima de la superficie de la barrera que pueden tener un efecto similar al del punto anterior.

4. **Terminales de las barreras de concreto:** dada la rigidez de los muros de concreto conviene analizar las condiciones de los terminales, para que no se constituyan en elementos contundentes que generen graves siniestros. En algunos casos es posible esviar el muro en su terminal sin que se afecte mayormente las condiciones de seguridad, en otros casos se construye un terminal en forma de rampa que puede generar grandes peligros para los vehículos que lo choquen de frente y se eleven sobre la superficie de la barrera. En muchos casos se requiere la disposición de terminales tipo atenuador o de amortiguadores de impacto que garanticen la seguridad de los ocupantes de los vehículos que se dirijan hacia el frente del muro de concreto.
5. **Drenaje de las barreras:** la colocación de muros de concreto a lo largo de largos trayectos puede tener incidencia en la evacuación de las aguas de escorrentía que es necesario analizar en la inspección de las barreras rígidas, ya que la acumulación de aguas puede ocasionar otro tipo de accidentes, especialmente por el efecto del hidroplaneo.

6.2.3 SCV flexibles

Los sistemas de contención flexibles, al igual que los rígidos, requieren de pocas acciones de mantenimiento debido a que sus elementos son pocos y de fácil sustitución y mantenimiento. Cuando un sistema de cables es chocado los postes son reemplazados de manera sencilla y rápida y los cables son tensionados de acuerdo con las especificaciones establecidas por el fabricante.

Para la inspección de la barrera deberán considerarse los siguientes aspectos:

- » Revisión de las retenidas que se fraguan al terreno, en donde los cables dirigen la tensión de los golpes al suelo.
- » Tensión de los cables conforme con lo establecido por el fabricante en su manual de instalación.
- » Postes: se deberá verificar el buen funcionamiento de estos y sus elementos de anclaje al terreno

- » Separadores plásticos: deberán estar ubicados en la parte superior del poste y su función es mantener la separación exacta de los cables.
- » Clip de seguridad: se encuentra en la parte superior del poste, bajo la tapa plástica y su función es mantener los cables dentro del poste.
- » Tapa plástica: su propósito es salvaguardar el clip de seguridad, además de evitar la entrada de agua o tierra en el poste.



6.3 Ficha de inspección y mantenimiento de barreras longitudinales

ENTIDAD RESPONSABLE DEL PROYECTO:		SCV No.:
CORREDOR VIAL:	SENTIDO DE RECORRIDO DE LA VÍA	
UBICACIÓN		
Coordenada inicial:	Coordenada final:	
1. VERIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN EL SCV		

1-A. TERMINALES DE LA BARRERA								
TERMINAL INICIAL						Fecha de inspección	Fecha mantenimiento	
Tipo de terminal	Cola de pez o similar	Viga enterrada en el talud	Viga enterrada en el suelo	Viga esviada	Viga esviada y enterrada	Atenuador de impacto	Otro	Elementos reparados:
Identificación (Marque X)								Elementos reemplazados:
Estado general (Descripción)								
Necesidades De Reparación								Elementos adicionados:
Necesidades De Reemplazo								
TERMINAL FINAL			Fecha de inspección:			Fecha mantenimiento:		
Tipo de Terminal	Cola de pez o similar	Viga enterrada en el talud	Viga enterrada en el suelo	Viga esviada	Viga esviada y enterrada	Atenuador de impacto	Otro	Elementos reparados:
Identificación (Marque X)								Elementos reemplazados:
Estado general (Descripción)								
Necesidades De Reparación								Elementos adicionados:
Necesidades De Reemplazo								

Observaciones: _____

1-B. Barrera

Longitud de las vigas (m)		Número de vigas (cantidad)		Longitud total barrera (m)			
			Fecha de inspección:		Fecha mantenimiento:		
Elementos de la barrera	Vigas	Postes	Tornillos	Tuercas	Arandelas	Separadores	Elementos reparados:
En buen estado (cantidad)							
En regular estado (cantidad)							Elementos reemplazados:
En mal estado (cantidad)							
Inexistentes (cantidad)							Elementos adicionados:
Total							

Observaciones: _____

			Fecha de inspección:		Fecha mantenimiento:			
Elementos de la transición	Transiciones	Postes	Vigas	Tornillos	Tuercas	Arandelas	Separadores	Elementos reparados:
En buen estado (cantidad)								
En regular estado (cantidad)								Elementos reemplazados:
En mal estado (cantidad)								
Inexistentes (cantidad)								Elementos adicionados:
Total								

Observaciones: _____

2. VERIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DE INSTALACIÓN DE LA BARRERA

2-A Altura de la barrera

Rango de altura de la barrera según diseño (m):											
Fecha de inspección:						Fecha mantenimiento:					
Altura de la barrera medida en la ubicación de cada uno de los postes						Altura de la barrera medida en la ubicación de cada uno de los postes					
Poste 1		Poste 2		Poste 3		Poste 1		Poste 2		Poste 3	
Poste 4		Poste 5		Poste 6		Poste 4		Poste 5		Poste 6	
Poste 7		Poste 8		Poste 9		Poste 7		Poste 8		Poste 9	
Poste 10		Poste 11		Poste 12		Poste 10		Poste 11		Poste 12	

Observaciones: _____

2-B. Condiciones de hinchado de los postes

Fecha de inspección:						Fecha mantenimiento:					
Poste número	En terreno (condiciones)			En concreto (condición)		Poste número	En terreno (condiciones)			En concreto (condición)	
	Bueno	Regular	Malo	No aceptable	Buena		Bueno	Regular	Malo	No aceptable	Buena

Observaciones: _____

2-C. Condiciones operativas de las transiciones

								Fecha de inspección:	
Transición No.	Amarre entre diferentes tipos de barrera			Distancia entre postes de aproximación a la transición (m)				Rigidización de la transición	
	Bueno	Regular	Malo	Más de 3	De 2 a 3	De 1 a 2	Menos de 1	# de postes	Longitud rigidización (m)
1									
2									

Observaciones: _____

								Fecha de mantenimiento:	
Transición No.	Amarre entre diferentes tipos de barrera			Distancia entre postes de aproximación a la transición (m)				Rigidización de la transición	
	Bueno	Regular	Malo	Más de 3	De 2 a 3	De 1 a 2	Menos de 1	# de postes	Longitud rigidización (m)
1									
2									

Observaciones: _____

2-D. Condiciones de la superficie entre calzada y barrera

Fecha de inspección:				Fecha mantenimiento:			
Distancia horizontal entre línea de borde de calzada y la barrera		Pendiente entre borde de calzada y barrera	Obstáculos entre borde de calzada y barrera	Distancia horizontal entre línea de borde de calzada y la barrera		Pendiente entre borde de calzada y barrera	Obstáculos entre borde de calzada y barrera
Inicio de barrera				Inicio de barrera			
A 30 m				A 30 m			
A 60 m				A 60 m			
A 90 m				A 90 m			

Observaciones: _____

3. Otros aspectos a atender en cuenta en la inspección y mantenimiento

A. Existen condiciones de la vegetación que afecten el SCV. Si ____ No__

Fecha: _____

Acciones de mantenimiento:

B. El traslape de las vigas de la barrera está acorde a lo requerido. Si ____ No__

Fecha: _____

Acciones de mantenimiento:

C. Existen Interrupciones de la barrera. Si ____ No__

Fecha: _____

Acciones de mantenimiento:

D. Existen elementos que afecten el ancho de trabajo de la barrera. Si ____ No__

Fecha: _____

Acciones de mantenimiento:

Referencias

Agencia Nacional de Seguridad Vial. (2022). *Metodología para el diseño de zonas laterales*. Ministerio de Transporte de Colombia.

Agencia Nacional de Seguridad Vial. (2021). *Metodología para el desarrollo de Auditorías e Inspecciones de Seguridad Vial para Colombia, en proyectos de infraestructura vial*. Ministerio de Transporte de Colombia.

Agencia Nacional de Seguridad Vial. (2021). *Análisis de Impacto Normativo. Evaluación del desempeño de sistemas de contención vehicular*.

American Association of State Highway and Transportation Officials. (2005). *SGM10a-b (Perfil F) y SGM11 a-b (perfil NJ), SGM12 (muro liso)*.

American Association of State Highway and Transportation Officials. (2011). *Roadside Design Guide (4Th ed.)*.

American Association of State Highway and Transportation Officials. (2016). *Manual for Assessing Safety Hardware*.

American Association of State Highway and Transportation Officials. (2018). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. (7 ed.)*.

Asamblea General de las Naciones Unidas. (2020). *Resolución 74/299*.

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2002). *Sistemas de contención para carreteras. Parte 4: Clases de comportamiento, criterios de aceptación para el ensayo de choque y métodos de ensayo para terminales (UNE-ENV 1317-4)*. AENOR.

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2009). *Seguridad pasiva de las estructuras soporte del equipamiento. Requisitos, clasificación y métodos de ensayo (UNE-EN 12767)*. AENOR.

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2011). *Sistemas de contención para carreteras. Parte 2: Clases de comportamiento, criterios de aceptación para el ensayo de Impacto y métodos de ensayo para barreras de seguridad Incluyendo pretiles (EN1317 - 2)*. AENOR.

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2011). *Sistemas de contención para carreteras. Parte 3: Clases de comportamiento, criterios de aceptación para el ensayo de impacto y métodos de ensayo para atenuadores de impactos (UNE-EN 1317-3)*.

Association française de Normalisation. (2015). *Raccordements et extrémités de files performantes des dispositifs de retenue (NF058/RNER)*. AFNOR.

Austroads. (2019). *Guide to Road Safety Part 6A. Implementing Road Safety Audit*. Austroads Ltd.

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

Certificación, A. E. (2011). *Sistemas de contención para carreteras. Parte 3: Clases de comportamiento, criterios de aceptación para el ensayo de impacto y métodos de ensayo para atenuadores de impactos (UNE-EN 1317-3)*. AENOR.

Código Nacional de Tránsito Terrestre. *Ley 769 de 2002*. (2002). Congreso de la República.

Colorado Department of Transportation. (2008). *Evaluation of Truck Arrester Beds in Colorado (Report No. CDOT-2008-1)*.

Corporación Fondo de Prevención Vial. (2012). *Guía Técnica para el diseño de zonas laterales, para vías más seguras*. CFPV.

Corporación Fondo de Prevención Vial. (2012). *Guía técnica para el diseño, aplicación y uso de sistemas de contención vehicular*. CFPV.

Daniello, & Gabler. (2011). *Effect of Barrier Type on Injury Severity in Motorcycle-to-Barrier Collisions in North Carolina, Texas, and New Jersey*.

Decreto 672 de 2018. (2018). Alcaldía Mayor de Bogotá.

Department of Main Roads. (2006). *Main roads western Australia assessment of roadside hazards*. Government of Western Australia.

Department of Transportation of Washington State. (2021). *Design Manual*. Obtenido de <https://wsdot.wa.gov/publications/manuals/fulltext/M22-01/M22-0120Complete.pdf>

Dirección General de Carreteras. (2009). *Orden Circular 28. Criterios de aplicación de barreras de seguridad metálicas*, . Ministerio de Fomento de España.

Dirección de Vialidad. (2021). *Manual de Carretera Volumen 4. Planos de obra tipo*. Ministerio de Obras Públicas de Chile.

Dirección de Vialidad. (2021). Manual de Carreteras. Volumen No. 6 Seguridad Vial. *Capítulo 6.500 Sistemas de Contención Vehicular*. Ministerio de Obras Públicas de Chile.

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2017). *Manual de seguridad vial*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual_de_Seguridad_Vial_2017.pdf

Dirección General de Carreteras. (1995). Orden Circular 321. *Recomendaciones sobre sistemas de contención vehicular*. Ministerio de Fomento de España.

Dirección General de Carreteras. (2014). *Orden Circular 35. Sobre Criterios de Aplicación de Sistemas de Contención de Vehículos*. Ministerio de Fomento de España.

Dirección General de Carreteras. (2016). *Trazado, (Norma 3.1-IC)* Ministerio de Fomento.

Elizondo Chimchilla, M. (2016). *Elaboración de una guía de mantenimiento en campo para sistemas de contención vehicular de uso en Costa Rica. [Licenciatura en ingeniería, Universidad de Costa Rica]* Universidad de Costa Rica.

Elizondo Chinchilla, M. (2016). *Guía para el mantenimiento*.

Elvik, R., & Trust, V. (2013). *Manual de Medidas de Seguridad Vial (2 ed.)*. Fundación MAPFRE de España.

European Road Assessment Programme. (2008). *Barriers to Change. Designing Safe Roads for Motorcyclists*. EuroRap.

Federal Highway Administration. (2010). *Memorandum about Application and Installation of Roadside Hardware*. U. S. Department of Transportation. Recuperado el 11 de febrero de 2022, de https://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/countermeasures/reduce_crash_severity/policy_me

Federal Highway Administration. (2013). *Cast-In-Place Concrete Barriers*. U. S. Department of Transportation. Recuperado el 22 de enero de 2022, de https://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/countermeasures/docs/Concrete_Apr2013Saferlogo.pdf

Federal Highway Administration. (2013). *Designing for Transportation Management and Operations: A Primer*. U. S. Department of Transportation. Recuperado el 22 de enero de 2022, de <https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop13013/ch3.htm>

Federal Highway Administration. (2021). *Addressing the Motorcyclist Advisory Council Recommendations: Synthesis on Barrier Design for Motorcyclists Safety*. U. S. Department of Transportation. Obtenido de https://safety.fhwa.dot.gov/motorcycles/docs/FHWA-SA-21-069_Addressing_MAC_Recommendations_Rpt.pdf

Federal Highway Research Institute. (2018). *Impact Attenuating Devices to Protect Motorcyclists from Guardrail Posts. Bast Germany*. Recuperado el 31 de enero de 2022, de <https://unece.org/DAM/trans/doc/2018/wp29grsp/GRSP-65-35e.pdf>

Global Road Safety Facility . (2021). Guide Road Safety Interventions. *Evidence What works and what does not work*. World Bank.

HIASA. Grupo Gonvarri. (2010). *Sistemas de Contención de Vehículos. Sistema de Protección de Motoristas (SPM) en Barreras Metálicas*.

Highways England. (2021). *Requirements for road restraint systems (CD 377)*.

Highways England.

Industrias Duero. (s.f.). *Barreras metálicas simple CE*. Obtenido de <https://industriasduero.com/catalogo/es/barreras-metalicas-simple-ce/133-bmsna4t-2000.html>

Ingal Civil Products. (2021). *Pole protector*.

Instituto Nacional de Vías. (2008). *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. Ministerio de Transporte*. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/985-manual-de-diseno-geometrico>.

International Road Assessment Programme, iRAP. (2020). *Manual de codificación del iRAP*. Edición para la conducción deecha (versión 5.1.).

Ley 1503 de 2011. *Diario oficial No. 48.298. (2011)*. Congreso de la República. .

Ley 1682 de 2013. *Diario oficial No. 48.987. (2013)*. Congreso de la República.

Ley 1702 de 2013. *Diario oficial No. 49.016. (2013)*. Congreso de República.

Lindsay Corporation. (2021). *Amortiguadores de choques*.

McDevitt, C. F. (2000). *Basics of concrete barriers (Vol. 63 No. 5)*. Public Roads Journal.

Ministerio de Transporte de Colombia. (2015). *Manual de Señalización Vial. Dispositivos uniformes para la regulación de tránsito en calles, carreteras y ciclorutas de Colombia*.

MS Industries. (s.f.). *Permanent and Temporary Safety Barriers & Road Safety Products. (s.f.). [digital]*. Recuperado el 6 de noviembre de 2021, de <https://www.constructionireland.ie/c/491343/ms-industries>

Nebraska Department of Transportation. (s.f.). <i>Roadside Safety Pooled Fund 34-Inch Tall Thrie Beam Transition to Concrete Buttress</i> . Obtenido de https://www.roadsidepooledfund.org/transition/34-inch-tall-thrie-beam-transition-to-concrete-buttress	Qingdao Taicheng Transportation Facilities Co. Ltd China. (s.f.). <i>Roller Crash Barrier</i> . Recuperado el 6 de noviembre de 2021, de http://www.rollercrashbarrier.com/supplier-370070-roller-crash-barrier
New Zealand Transport Agency. (2016). <i>Flexible barriers – Why we install wire-rope barriers on New Zealand roads</i> . Ministry of Transport. Recuperado el 6 de noviembre de 2021, de https://nzta.govt.nz/assets/Roads-and-Rail/docs/Report-to-the-Minister-of-Transport-on-median-barriers.pdf	Real Academia Española. (2021). <i>Diccionario de la lengua española - Edición del Tricentenario</i> . Obtenido de https://dle.rae.es/parapeto?m=form
Observatorio de Control y Vigilancia de las Finanzas y las Políticas Públicas. (2018). <i>Glosario</i> . Contraloría General de la República de Colombia. Obtenido de https://observatoriofiscal.contraloria.gov.co/Pages/Glosario.aspx?FilterField1=FL&FilterValue1=H	Road Steel . (2021). <i>Atenuadores de impacto – Amortiguador de impacto vial</i> . Obtenido de https://roadsteel-latam.com/productos/atenuadores-de-impacto
Organización Mundial de la Salud. (2021). <i>Plan mundial para el decenio de acción para la seguridad vial 2021-2030</i> .	Road Steel . (2021). <i>Atenuadores impacto triangulares</i> .
Persia, L., De Simone, F., Shingo Usami, D., & Feypell De La Beaumelle, V. (2016). <i>Management of Road Infrastructure Safety</i> . Transport Research Arena.	Road Steel. (2021). <i>Pretilles</i> .
Plaxico, C. A., Ray, M. H., Weir, J. A., Orengo, F., & Tiso, P. (2005). <i>Recommended Guidelines for Curb and Curb–Barrier Installations (NCHRP Report 537)</i> . National Cooperative Highway Research Program.	Road Steel Engineering. (2021). <i>Clasificación de las transiciones</i> .
	Road Steel Engineering. (2021). <i>Criterios de implantación de los SPM</i> .
	Road Steel Engineering. (2021). <i>Diseño de pretilles</i> .
	Road Steel Engineering. (2021). <i>Ubicación de la barrera con respecto a los obstáculos</i> .

Ross Center for Sustainable Cities. (2012). *Seguridad vial en corredores de autobús. Lineamientos para integrar la seguridad peatonal y vial en el planeamiento, diseño y operación de corredores BRT y carriles para autobuses*. World Resources Institute.

Ross Center For Sustainable Cities. (2015). *Ciudades más seguras mediante el diseño. Lineamientos y ejemplos para promover la seguridad vial mediante el diseño urbano y vía*. World Resources Institute.

RPM HIRE. (s.f.). *Raptor Crash Cushion Barrier*. Recuperado el 6 de noviembre de 2021, de <https://www.rpmhire.com.au/products/raptor/>

RUNT. (2020). *Parque automotor registrado*.

Secretaria de Comunicaciones y Transportes. (2016). *Rampas de emergencia para frenado en carreteras (SNOM-036-SCT2-2016)*. Estados Unidos Mexicanos.

Secretaria de Comunicaciones y Transportes. (2020). *Amortiguadores de impacto en carreteras y vías urbanas*. (NOM-008-SCT2-2020).

Secretaria de Comunicaciones y Transportes. (2020). *Barreras de protección en carreteras y vías urbanas* (NOM-037-SCT2-2020),.

Secretaría Distrital de Movilidad. (2019). *Lineamiento General de Seguridad Vial – SCV. Alcaldía Mayor de Bogotá*. Obtenido de https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Paginas/02-04-2020/1._lineamiento_general_.pdf

Solosar. (2021). *Dispositifs de retenue mixtes bois-metal*. Obtenido de <https://www.solosar.fr/fr/solowood/applications/dispositifs-mixtes-bois-metal>

Speier, G. (2020). *Rampas de Emergencia Modernas*. Recuperado el diciembre de 2021, de <https://speiersafety.com/es/rampas-de-emergencia-modernas>

Tecnotraffic. (2010). *Criterios para seleccionar el amortiguador adecuado*. Recuperado el 16 de febrero de 2022, de <http://www.tecnotraffic.com/Dossier%20QuadGuard.pdf>

Tecnotraffic. (2011). *Sistema Quadguard*.

Texas Department of Transportation. (2020). *Bridge Railing Manual. Placement of Bridge Railing*. Recuperado el 6 de febrero de 2022, de http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/rlg/manual_notice.htm

Traffic Management Work Group. (2009). *Gidelines for passive protection on roads by vehicle restraint systems*. Research Society for Roads and Transportation of Germany.

Transportation Research Board . (2010). <i>Criteria for Restoration of Longitudinal Barriers (NCHRP Report 656)</i> . NCHRP.	Valverde González, G. (2011). <i>Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras</i> . Universidad de Costa Rica.
Transportation Research Board. (2012). <i>Roadside Safety Design and Devices (Circular E-C172)</i> . (T. &. Associates, Ed.)	World Highways. (2012). <i>Improving barrier safety for motorcyclists. (R. O. Ltd., Ed.)</i>
Trinity Highway. (2022). End Terminals.	



Anexos

Ejemplo de aplicación. Diseño de barrera longitudinal

Objetivo del estudio de caso

al requerida para blindar el talud terraplén, considerando que la sección adoptada por el diseño para el mejoramiento de trazado de la carretera no va a ser modificada por consideraciones técnicas (estabilidad del talud) y económicas (costos del relleno para obtener una pendiente traspasable).

Aplicación de la metodología de diseño de SCV

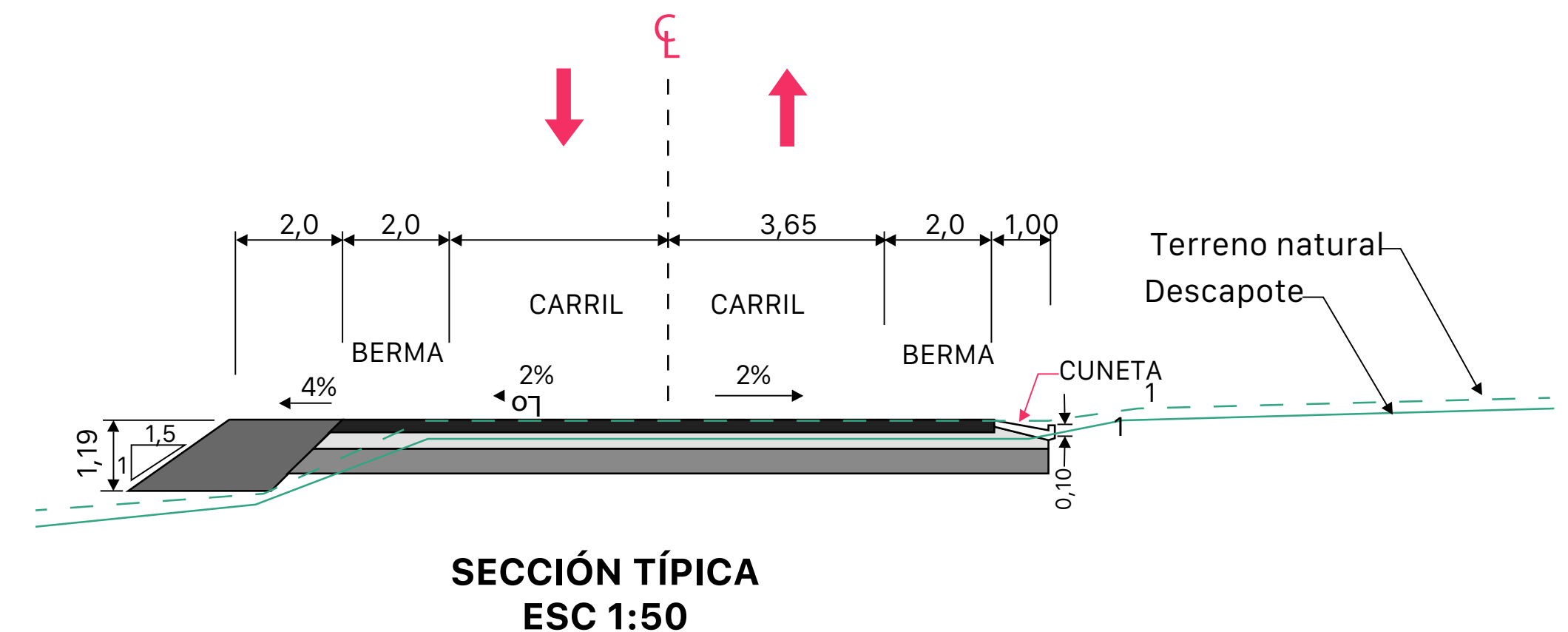
1. Características de la vía y entorno

1.1. Sección típica de la vía en el tramo de estudio

La sección transversal típica de la carretera está compuesta por una calzada bidireccional de dos carriles de circulación con un ancho de 3,65 m cada uno, bermas de 2,0 m, ancho de la berma de retiro o corona del terraplén de 2,0 m y ancho de la corona

de 11,30 m. Pendiente del talud de terraplén costado izquierdo de 1V:5H. Al costado derecho, el terreno es relativamente plano, como se muestra en la siguiente figura.

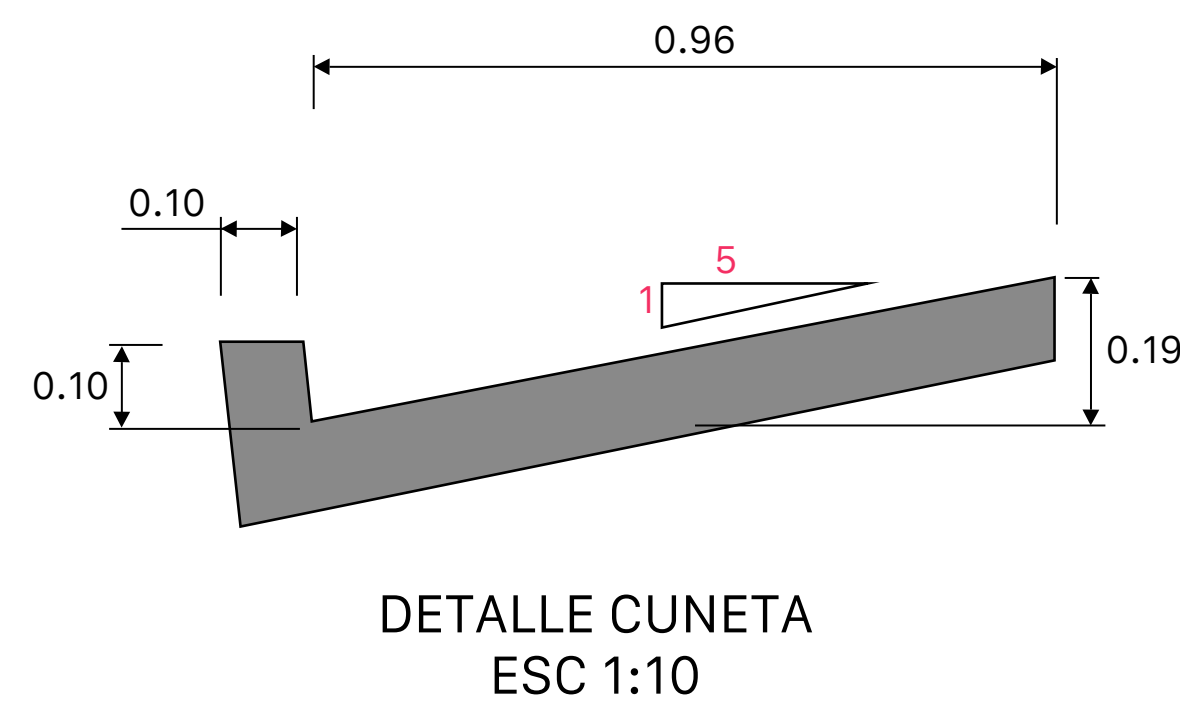
Sección típica para el mejoramiento de la carretera.



De igual manera, carretera dispone de una cuneta revestida al costado derecho para captar la escorrentía superficial

proveniente de la plataforma, de 1,0 m de ancho, pendiente de la cara interior de 1V:5H y bordillo de 0,10 m de alto.

Sección transversal de la cuneta revestida.



Volumen y composición del tránsito vehicular

Sentido	TPDA	Autos	Bus	C2P*	C2G*	C3-C4*	C5*	>C5*
Dos sentidos	5.000	2.400	400	300	400	250	550	700
	%	48	8	6	8	5	11	14t
Por sentido	2.500	1.200	200	150	200	125	275	350
	%	48	8	6	8	5	11	14

*C2P: Camiones pequeños de 2 ejes; C2G: Camiones grandes de 2 ejes; C3-C4: Camiones de 3 y 4 ejes; C5: Camiones de 5 ejes

Parámetros de diseño geométrico

Parámetro	Unidad	Valor
Velocidad de operación (V85)	km/h	80
No de Carriles	Un	2
No de Calzadas	Un	1
Ancho carril:	m	3,65
Ancho de bermas:	m	2,00
Ancho de la berma de retiro	m	2,00
Ancho de Corona	m	11,30
Pendiente longitudinal máxima	%	6
Pendiente longitudinal mínima	%	0,3
Pendiente del talud de terraplén (costado izquierdo)	N/A	1V:1,5H
Altura del talud de terraplén	m	1,19

2. Identificación del elemento peligroso y determinación de la gravedad del siniestro esperado

2.1. Identificación del elemento peligroso

El elemento peligroso identificado es la pendiente del talud de terraplén de 1V:1,5H. Esta pendiente se considera desde el punto de vista de seguridad vial, como **crítica no traspasable**.

2.2. Determinación de la gravedad del siniestro esperado

De acuerdo con las características del talud de terraplén adoptadas por el diseño para el mejoramiento de trazado de la carretera con pendiente de 1V:1,5 H y altura de 1,19 m, la gravedad del siniestro esperado en caso de materializarse el riesgo de que un vehículo fuera de control abandone la carretera y rueda sobre pendiente crítica, se considera como moderada. Ver Tabla 3 para ver la tabla completa.

Pendiente del talud de terraplén = **1V: 1,5H**

Clasificación de los taludes de terraplén según su grado de seguridad

Clasificación	Tipo de talud	Pendiente (P)
Preferible	Plano	$P \leq 1V:6H$
Seguro	Traspasable y recuperable	$1V:6H < P \leq 1V:4H$
Aceptable	Traspasable pero no recuperables	$1V:4H < P \leq 1V:3H$
Crítico	No traspasable	$P > 1V:3H$

3. Determinación del nivel de contención

Para la determinación del nivel de contención requerido para las condiciones operativas de la carretera, se aplica el algoritmo construido para el efecto en la Metodología, el cual se presenta en la Figura 30

3.1. Parámetros para determinar el nivel de contención

En el numeral 1.1 de este ejemplo se incluyen los valores de las variables contempladas en el algoritmo y que son necesarias para determinar el NC.

3.2. Comprobación condiciones establecidas en el algoritmo

3.2.1. Selección de la sección aplicable del algoritmo

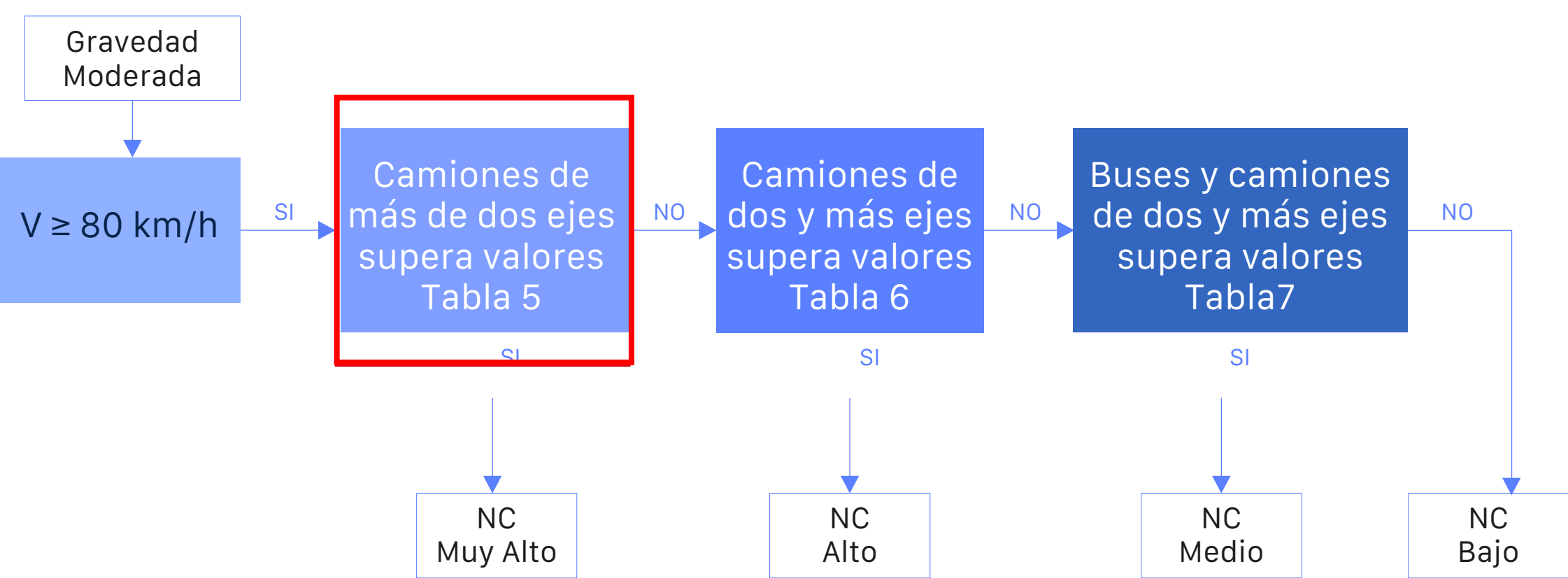
Para seleccionar la sección del algoritmo aplicable a las condiciones de riesgo generadas por elemento peligroso identificado, se escoge la que corresponda según su nivel de gravedad. Los peligros más comunes en zonas laterales y su gravedad asociada, se pueden consultar en la Tabla 3.

Peligros potenciales	Tipo	Continuo	Discontinuo	Nivel de gravedad		
				Bajo	Moderada	Alta
TALUDES						
P=1V:3H de H < 2 m	Natural	x		x		
P=1V:3H de H ≥ 2 m	Natural	x			x	
1V: 2H≤P≤ 1V:1.5H de H < 2 m	Natural	x			x	
1V: 2H≤P≤ 1V:1.5H de H ≥ 2 m	Natural	x				x
Talud Vertical H < 2 m	Natural	x			x	
Talud Vertical Precipicio) H < 2 m	Natural	x				x

Según la pendiente del talud que se tiene en el caso de estudio observa la gravedad es Moderada. Con base en esto, se debe aplicar la sección intermedia del algoritmo presentado en la Figura 30

3.2.2. Condición de decisión sobre la velocidad

La secuencia se inicia con la verificación de si la velocidad adoptada para el proyecto al mejoramiento del trazado de la carretera existente es ≥ de 80 km/h, lo cual se cumple y en consecuencia se debe continuar la aplicación de la secuencia de decisión de la primera columna del algoritmo.



3.2.3. Selección del nivel de contención

Se verifica si el volumen de camiones de más de 2 ejes que circulan por el sector supera el valor de la Tabla 4, para una vía de una sola calzada y un TPD de 5.000 vehículos.

TPD	Camiones de más de 2 ejes (veh/día)	
	Una sola calzada	Doble calzada
≤ 1.000	300	360
1.000 - 3.000	$300 + 0,10 \cdot (TDP - 1000)$	$360 + 0,12 \cdot (TPD - 1000)$
3.000 - 7.000	$500 + 0,08 \cdot (TDP - 3000)$	$600 + 0,10 \cdot (TPD - 3000)$
> 7.000	$820 + 0,06 \cdot (TDP - 7000)$	$1000 + 0,08 \cdot (TPD - 7000)$

V camiones de más de 2 ejes en el tramo = 250 + 550 + 700

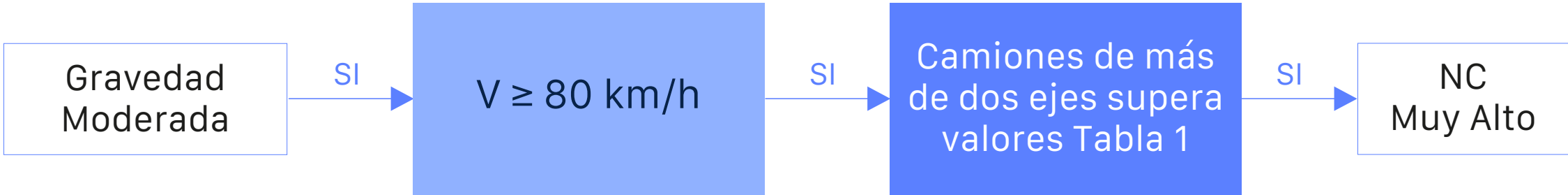
= 1.500 vehículos

V camiones de más de 2 ejes (tabla) = $500 + 0,08 \cdot (5.000 - 3.000)$

= 500 + 0,08 (2.000) = 500 + 160 = 660

1500 (supera) > 660 (valor calculado de la tabla)

Cumple



Se requiere un nivel de contención **MUY ALTO** para las condiciones operativas de la carretera en el sector de estudio.

Nivel de contención	EN 1317	MASH
Bajo	N2	TL2
Medio	H1 L1	TL3
Alto	H2 L2 H3 L3	TL4
Muy alto	H4a L4a H4b L4b	TL5, TL6

4. Determinación disposición lateral de la barrera

4.1. Criterios de localización

Para la disposición lateral de la barrera longitudinal se debe considerar, en resumen, que el sistema debe estar localizado como mínimo a 50 cm del borde de la calzada y a 50 cm del borde del terraplén. En todo caso la barrera debe quedar por fuera de la berma. Ver Figura 31 y Figura 32.

4.2. Determinación del ancho de trabajo disponible

Se dispone de un ancho de la corona del terraplén de 2,0 m, es decir, que se contaría con 1,50 m a partir del borde de la berma. Sin embargo, es recomendable que, en lo posible, la barrera esté localizada también a 50 cm del borde de la berma. Ver sección transversal del numeral 1.1 de este caso de estudio.

En consecuencia, el ancho de trabajo está dado por:

$$W = 2,0\text{ m} - 0,5\text{ m} - 0,5\text{ m} = 1,0\text{ m}$$

4.3. Selección del tipo de barrera

Para la selección del tipo de barrera, se considera el área de trabajo disponible y los rangos de deflexión de los sistemas de barreras disponibles. Ver Tabla 11.

4.4. Designación de la barrera requerida

Tipo de barrera	Deflexión (m)		Distancia al obstáculo desde borde de la berma (m)	Ancho de trabajo (m)
	Rango	Mínima		
Semirrígida	0,6 - 2,0	0,6	2,0	1,0
Rígida	0,0 - 0,6	0,0		

Norma EN 1317

Nivel de contención alto: H4a (se tiene un 30 % de vehículos de más de 2 ejes y velocidad de 80 km/h)
Ancho de trabajo = W = 1,0 m
Ancho de trabajo normalizado = W3 ≤ 1,0 (Ver Tabla 10)
Índice de severidad: A (Ver Tabla 7)

De acuerdo con lo anterior la designación de la barrera requerida según la norma EN 1317 es: H4a - W3 – A

Manual MASH

Nivel de contención alto: TL5
Deflexión dinámica: Menor de 1,0 m

■ Criterios para la implementación de sistema de protección para peatones (SPP) ■

B.1 Generalidades

Idealmente este tipo de elementos deben evitarse ya que se constituyen en barreras funcionales, es decir, están en contraposición a la permeabilidad del territorio y restringen los desplazamientos peatonales. Esto en un contexto urbano resulta poco deseable a la luz de una ciudad que busca ser concebida y rediseñada para las personas. Sin embargo, se identifican sitios donde la infraestructura existente y el comportamiento del tránsito obligan o favorecen el cruce peatonal en sitios donde el riesgo de atropellamiento es alto o donde la cercanía entre el flujo vehicular y la presencia de peatones y ciclistas amerita un tipo de protección especial para estos.

Como medida para eliminar o mitigar el riesgo de atropellamiento, se observa la necesidad de utilizar SPP cuando las condiciones de la infraestructura no permiten otro tipo de intervenciones.

B.2 Criterios para la implementación de barreras longitudinales en zonas de circulación de peatones y ciclistas.

Si se ha determinado que es necesario proveer de una separación física entre usuarios motorizados de los no motorizados por las condiciones del sitio o del tránsito y que, al haber evaluado otras alternativas sobresale la barrera física como la medida de mitigación adecuada, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones, tanto en el entorno rural como urbano, siendo este último el que presenta mayores retos por las dinámicas asociadas al uso del suelo y la mayor confluencia de peatones y ciclistas en entornos dominados por los modos motorizados.

Las características de un entorno urbano o rural suelen diferenciarse dadas sus dinámicas y tipos de infraestructuras, permitiendo identificar el tipo de SPP requerido en cada caso. No obstante, dependiendo de las condiciones del lugar y del problema de seguridad vial identificado, se debe evaluar la posibilidad de implementar SPP¹⁸ :

¹⁸ Estas situaciones puntuales no son exclusivas de un entorno urbano o rural, ya que en entornos rurales pueden identificarse sectores o tramos de vía donde las características del lugar respondan a una dinámica urbana (o de centro poblado). Por otro lado, los aspectos de análisis que aquí se enlistan no son únicos por lo que queda sujeto a

- » Cuando hay cruces peatonales seguros a corta distancia (menos de 150 m)¹⁹ y los peatones no cruzan allí. Las barreras en este caso conducen y canalizan los flujos peatonales²⁰. Es importante tener en cuenta que, si las distancias son grandes, la barrera no es funcional y terminará siendo vandalizada, debe buscarse otra solución menos restrictiva y más en sintonía con las necesidades del peatón.
- » Si la circulación de peatones y ciclistas está expuesta al flujo vehicular y en el corto plazo dicho corredor vial no es posible intervenir con un proyecto más integral con el entorno (asociado a proyectos urbanos, proyectos de mejoramiento y rehabilitación vial, etc.).
- » No existiendo un cruce peatonal seguro ni posibilidades inmediatas de proveerlo (con semaforización, por ej.) y se

criterio del diseñador, evaluar otras situaciones que requieran una evaluación concreta sobre la necesidad de atender los problemas de seguridad vial con este tipo de elementos (SPP). Una referencia que puede complementar el uso de barreras peatonales en entornos urbanos, específicamente en áreas de influencia a corredores de transporte público, es WRI (2012) Seguridad vial en corredores de autobús. Lineamientos para integrar la seguridad peatonal y vial en el planeamiento, diseño y operación de corredores BRT y carriles para autobuses.

¹⁹ En entornos urbanos o zonas con considerable afluencia peatonal, se recomienda situar cruces y pasos peatonales cada 100 m o 150 m, ya sea con semáforos, anteponiendo reductores de velocidad o cruces elevados (esta última alternativa no se recomienda en entornos urbanos y debe ser revisado con cuidado si se considera en entornos rurales (sobre carreteras). Adaptado de World Resources Institute (2015). Ciudades más seguras mediante el diseño, p. 23.

²⁰ Otra referencia de este tipo de canalización para el cruce peatonal en intersecciones semaforizadas se puede tomar de Ministerio de Transporte (2015). Manual de Señalización Vial, p. 685.

determina que hay un riesgo alto de atropellamiento en el tramo identificado donde se observan peatones cruzando. Se usan barreras para canalizar el flujo peatonal hasta donde se encuentre el primer paso seguro. Este punto debe evaluar antes si con medidas de gestión de la velocidad y pacificación vial es posible lograr una circulación a velocidades seguras acorde a su entorno.

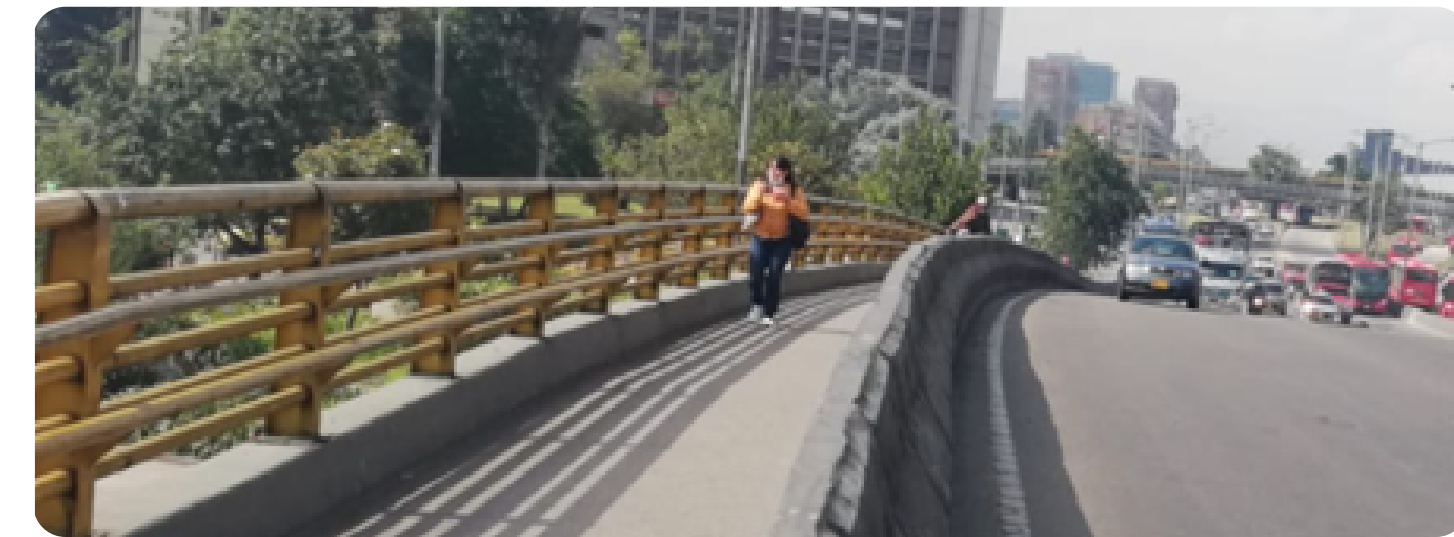
- » Como estrategia temporaria para generar cambios en el comportamiento de los peatones. Pueden utilizarse materas o elementos de fácil remoción. Esto responde a intervenciones de urbanismo táctico que suelen recuperar espacio público de la calzada para otros usos (esparcimiento o estancia, por ej.).
- » Cuando sobre la vía hay presencia de carriles exclusivos bus y se observa cruce en sitios indebidos (inseguros) y se ha determinado que no pueden generarse nuevos cruces peatonales en tramos donde afectaría notablemente la operación del transporte público.
- » Cuando hay tramos de vía largos sin posibilidad de generar atravesamientos peatonales seguros. Situación no ideal desde el diseño que amerita soluciones más integrales.

- » Cuando se haya identificado una línea de deseo peatonal y estos movimientos no estén resueltos ni protegidos mediante infraestructura independiente y segregada, es decir, hay circulación peatonal sobre los costados de la vía, pero no hay andenes y los peatones están constantemente expuestos a ser atropellados.
- » En separadores viales cuando estos funcionan como refugios peatonales o de ciclistas y dichos usuarios requieren una protección del tráfico circundante.

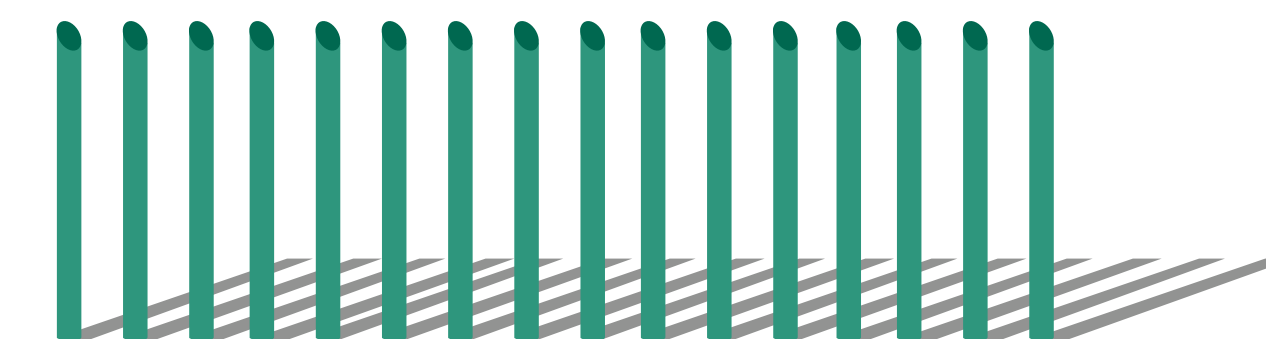
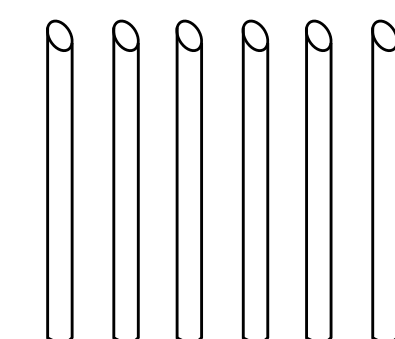
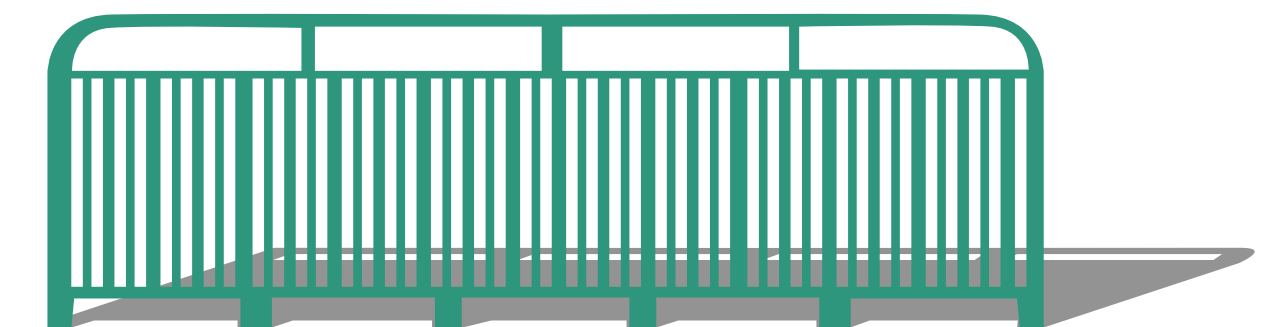
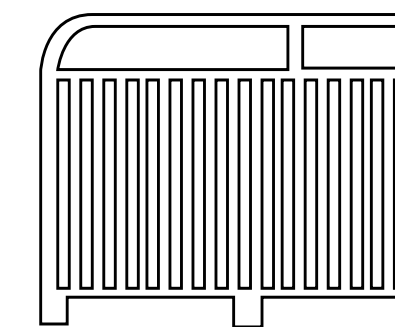
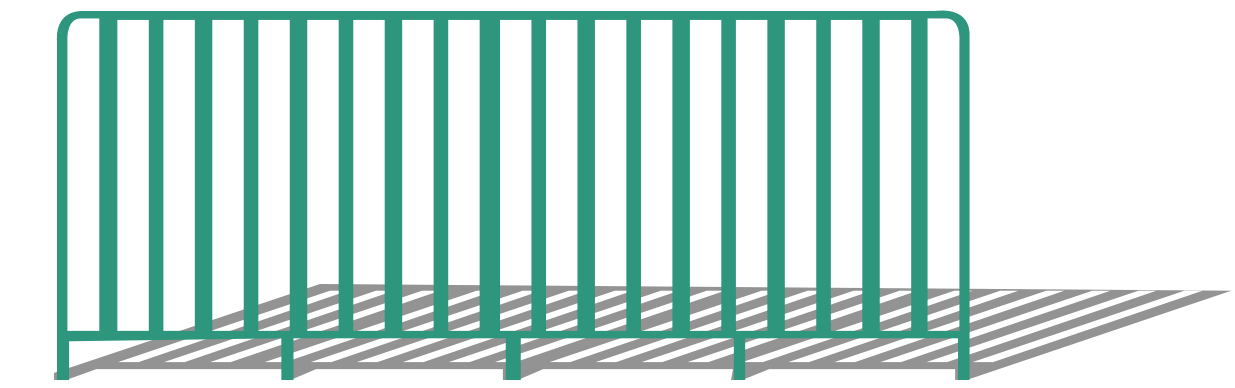
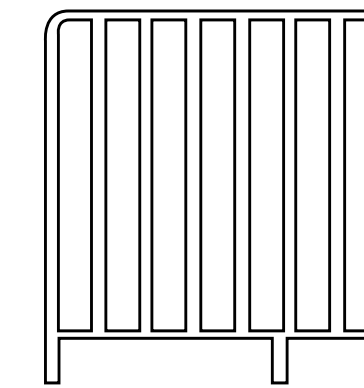
B.3 TIPOS DE SISTEMA DE PROTECCIÓN DE PEATONES (SPP)

Los SPP se clasifican en dos categorías principales: (1) barreras peatonales y (2) parapetos para peatones. Las barreras corresponden a SCV diseñados para separar el flujo vehicular del flujo peatonal en sectores donde estos usuarios vulnerables están en riesgo de ser lastimados por vehículos errantes. Los parapetos responden más a una necesidad de segregación que de contención, lo que los hace elementos más blandos o ligeros, visualmente pueden ser más atractivos o diseñados para tener cierta armonía con el paisaje circundante. Estos últimos suelen tener mayor uso en entornos urbanos dadas sus características como elemento segregador.

Figura 99. Ejemplos de una barrera de protección peatonal y parapetos.



(1) Barreras peatonales



(2) Parapetos o barandas peatonales

Fuente: (1) Foto propia (Bogotá) y (2) (Ministerio de Transporte de Colombia, 2015)

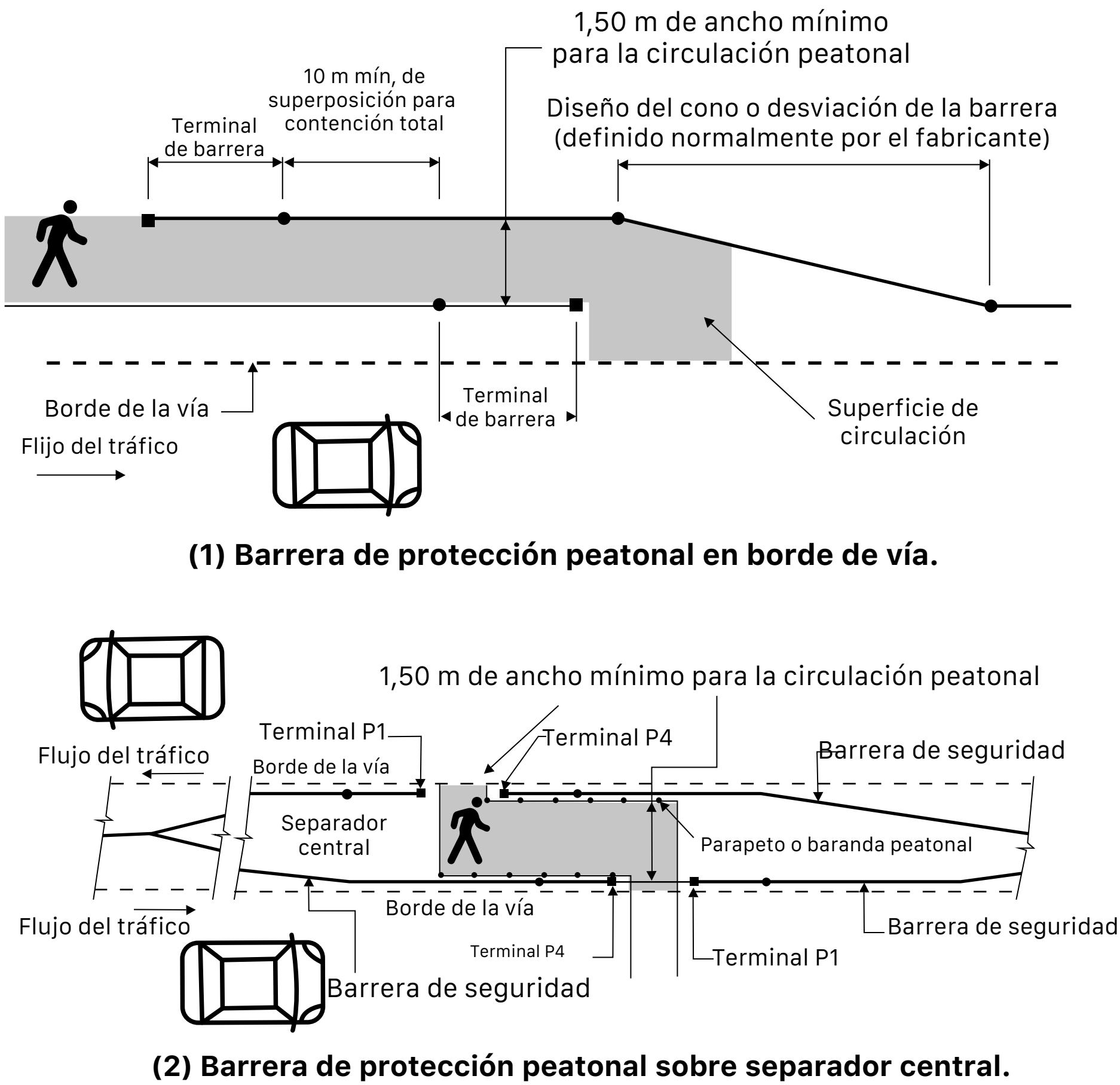
Las consideraciones de diseño para barreras de protección están basadas, en parte, en la norma CD 377 - Requirements for road restraint systems (2020) del Reino Unido.

Barreras de protección

Las barreras de protección para peatones se deben usar cuando se estime necesario y haya un movimiento definido de trabajadores de obra y/o usuarios vulnerables (peatones y ciclistas circulando). Es importante asegurar que cualquier instalación de barrera de seguridad propuesta permita los movimientos de las personas que circulan en las inmediaciones de la vía.

Dos situaciones típicas se presentan cuando se establece un derecho de cruce peatonal a través de una barrera de seguridad continua, en borde de vía o en separador, donde no se haya identificado antes la necesidad de un parapeto para peatones. Los detalles se muestran en la Figura 100

Figura 100. Barreras de protección peatonal en borde de vía y en separador.



Fuente: Elaborada a partir de (Highways England, 2021), figuras 3.67a y 3.67b.

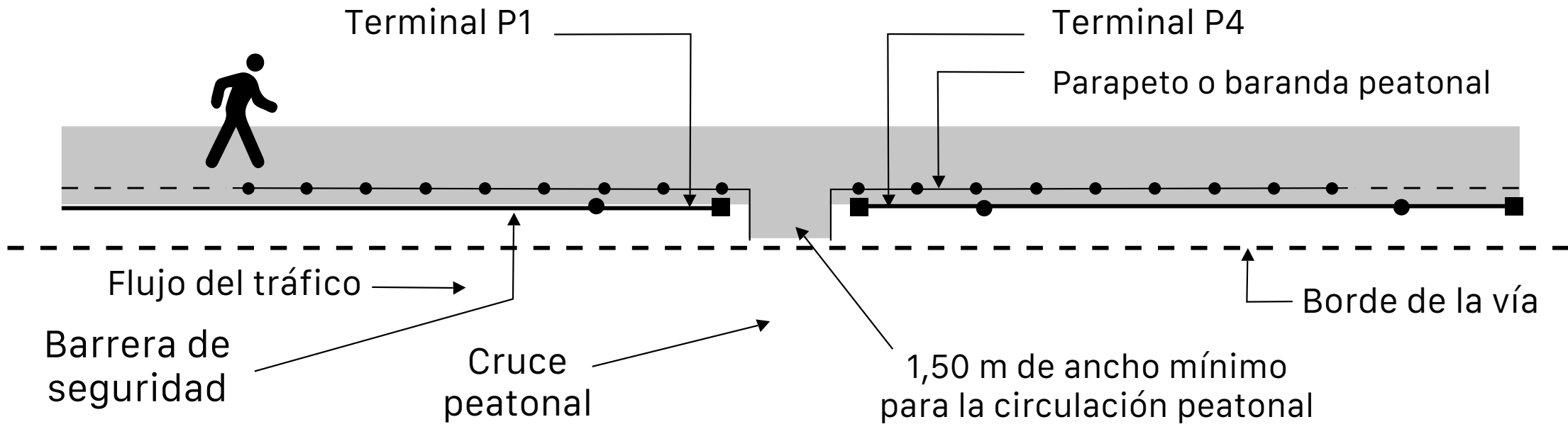
El caso 2 aplica para vías con límites de velocidad altos²¹ donde se espera que el cruce de peatones sea bajo y no existe un requisito adicional para instalar barreras de protección para peatones, condiciones que debe estudiar en detalle el ingeniero que diseñe la medida con el fin de justificar su implementación.

Otras situaciones de uso de barreras de protección peatonal aplican cuando se identifique o defina un derecho de cruce a través de una barrera de seguridad continua y que a la vez se haya identificado la necesidad de un parapeto o baranda peatonal. Los detalles se muestran en la Figura 101.

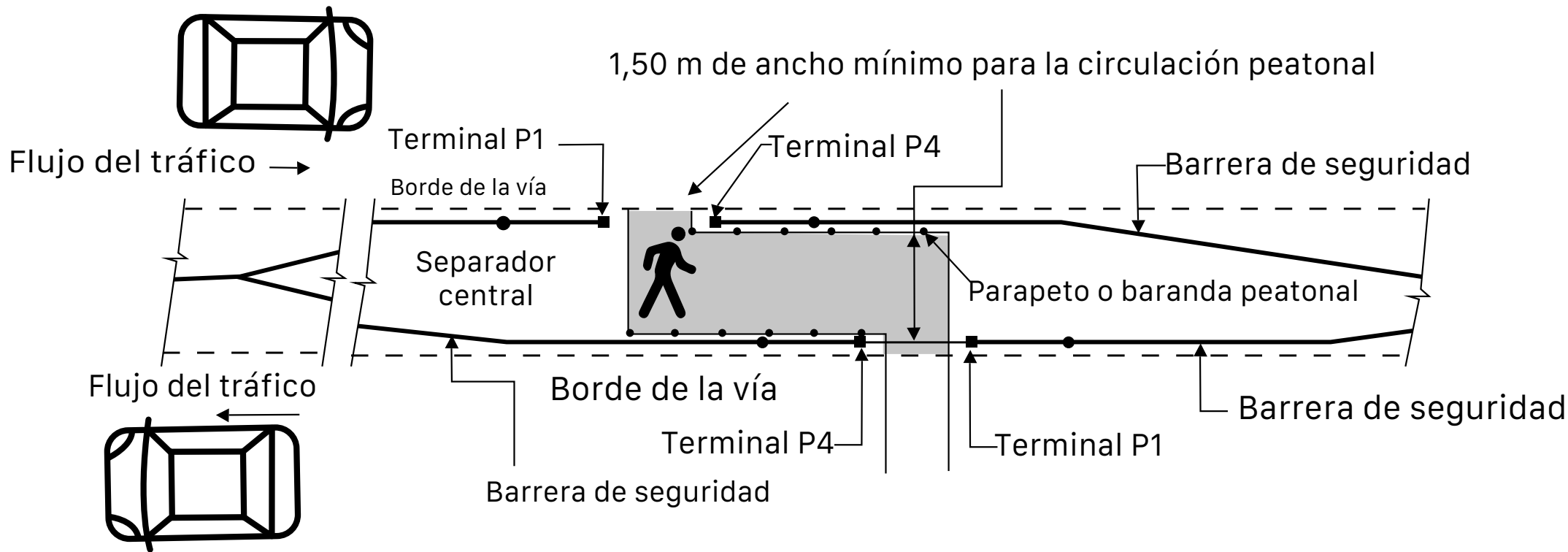


21 Acorde a las recomendaciones de la OMS en su Década de acción para la seguridad vial 2021-2030, (p. 12) se deben implementar tratamientos de infraestructura que aseguren el cumplimiento lógico e intuitivo del entorno de velocidad deseado (por ejemplo, 30 km/h centros urbanos (máx. 50 km/h para el resto de la ciudad); ≤ 80 km/h caminos rurales sin dividir; 100 km/h autopistas). Mayores velocidades en estos contextos sin adecuados tratamientos de infraestructura corresponden a velocidades altas.

Figura 101. Barreras de protección peatonal en borde de vía y en separador con parapeto.



(1) Barrera de protección peatonal en borde de vía con parapeto.



(2) Barrera de protección peatonal sobre separador central con parapeto²².

Fuente: Elaborada a partir de (Highways England, 2021), figuras 3.68a y 3.69b.

22 Los niveles de contención indicados para los Terminales, corresponde a la norma EN 1317 que van de P1 a P4, menor a mayor contención.

Algunas consideraciones:

- » La barrera de protección no debe tener bordes afilados.
- » Todas las medidas de protección adicionales se deben consultar con el fabricante de la barrera para este uso a fin de asegurarse de que esta implementación no afecte negativamente el desempeño del SCV ni atente contra la integridad física de los peatones para la cual se instala.
- » Las líneas de deseo peatonal y toda ruta para su desplazamiento o cruce, debe ubicarse lo más retirada posible de la parte posterior de la barrera de seguridad dado que, dependiendo de la barrera, estas requieren un ancho de trabajo, el cual debe ser tenido en cuenta en su diseño.

Parapetos para peatones

Parapetos en separador central

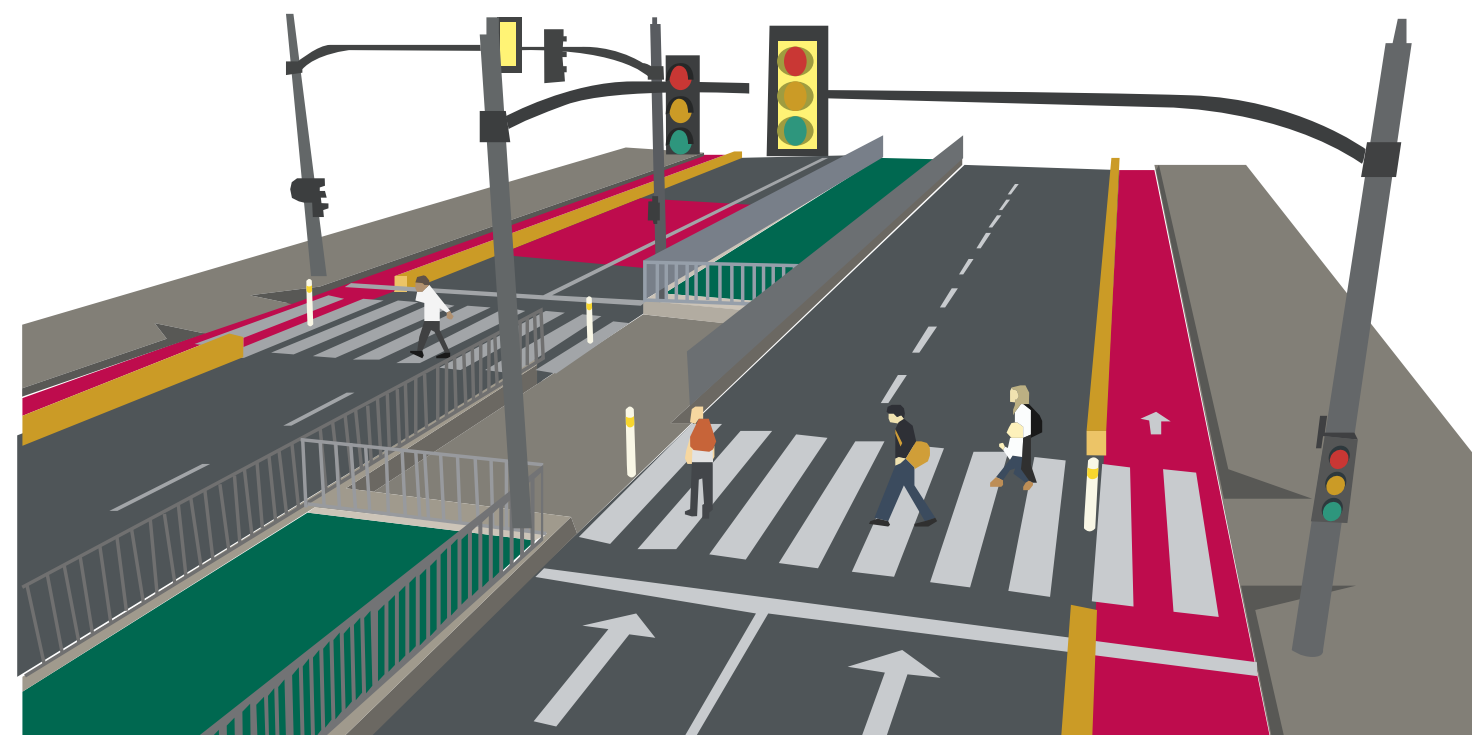
- » Pueden llegar a ser útiles en vías doble calzada o con un volumen vehicular alto.

- » Los elementos dispuestos sobre los separadores no deben obstruir la visibilidad entre peatones y conductores que se aproximan, principalmente en donde se adecua el cruce peatonal seguro.
- » Los parapetos no deben ser una distracción visual para los conductores.
- » Las vallas o parapetos verdes son recomendadas si tienen un buen diseño paisajístico, sirven como regulador bioclimático y como agentes de absorción de CO2 sobre corredores viales con alto flujo vehicular, requieren de mantenimiento constante, aspecto que debe ser tenido en cuenta en su fase de prefactibilidad. Se recomienda una altura máxima de 1,50 m para garantizar la visibilidad entre peatones y conductores, pero también para impedir su fácil sobrepaso. Se pueden complementar con barras verticales en acero para evitar su vandalismo.
- » En muchos casos, los parapetos en separadores deben garantizar un diseño que asegure la visibilidad entre peatones y conductores. Una forma de lograrlo es poner a los peatones a circular (por el separador) en dirección contraria al flujo vehicular.

Figura 102. Parapetos peatonales en separados central.



(1) Parapeto (barrera) verde.



(3) Parapetos de cruces escalonados.²³

Fuente: (1) Google Street View, Singapore highway express road street, (2) (Ross Center For Sustainable Cities, 2015)

²³ Otra referencia de este tipo de solución de cruce peatonal mediante el uso de parapetos peatonales en separadores se puede tomar de Ministerio de Transporte (2015). Manual de Señalización Vial, p. 697.

Parapetos en borde de calzada

- » Deben localizarse sobre la franja de amoblamiento, en ningún caso reducir o bloquear la franja de circulación peatonal, que no debe ser menor a 2,00 m, pero que puede depender del entorno y de la función de la vía.
- » En algunos casos los peatones se pueden ver forzados a transitar por la calzada si las condiciones del andén son deficientes, en este caso debe evaluarse la conveniencia de instalar estos parapetos pues en este caso la barrera puede no ser útil o segura. Se deben identificar acciones complementarias que mejoren las condiciones del andén previo a la instalación de parapetos, como la eliminación de obstáculos, garantizar un ancho óptimo de franja de circulación, adecuarlo para una accesibilidad universal, etc.
- » Los elementos dispuestos como segregación peatonal no deben obstruir la visibilidad entre peatones y conductores.
- » Las barandas o vallas metálicas tradicionales son útiles si están a nivel del pecho (aprox. 1,50 m), pero sin barras

diagonales u horizontales que actúen como posibles escalones.

- » Deben evitarse discontinuidades en los parapetos donde no sea intencional ya que esto vulnera la efectividad de la barrera. Estas discontinuidades suelen ser causadas por obras de mantenimiento sobre la vía que generan aberturas al parapeto, o por vandalismo.
- » En sitios con historial de conflictos entre peatones y vehículos, se recomienda el uso de parapetos diseñados para garantizar la visibilidad de la intersección y su entorno, estos parapetos suelen estar configurados con barras verticales que permiten una visibilidad permanente entre peatones y conductores.
- » Las zonas alrededor de parques y entornos escolares requieren de análisis de seguridad vial más dispendiosos que evalúen la necesidad de parapetos que protejan a niños y demás usuarios vulnerables que puedan estar expuestos a una colisión con un vehículo. Esta vulnerabilidad se acentúa en niños en vista de que sus movimientos en el espacio público suelen ser más erráticos e impredecibles. (Adaptado de WRI, 2016).

Fig 103 Parapetos peatonales en borde de calzada



(1) Parapetos que canalizan los flujos peatonales hacia un cruce seguro



(2) Parapetos con barra escalonada que asegura visibilidad en zonas de alto tránsito, y con altura efectiva para evitar el sobrepaso



(3) Evitar discontinuidades que vulneren su efectividad

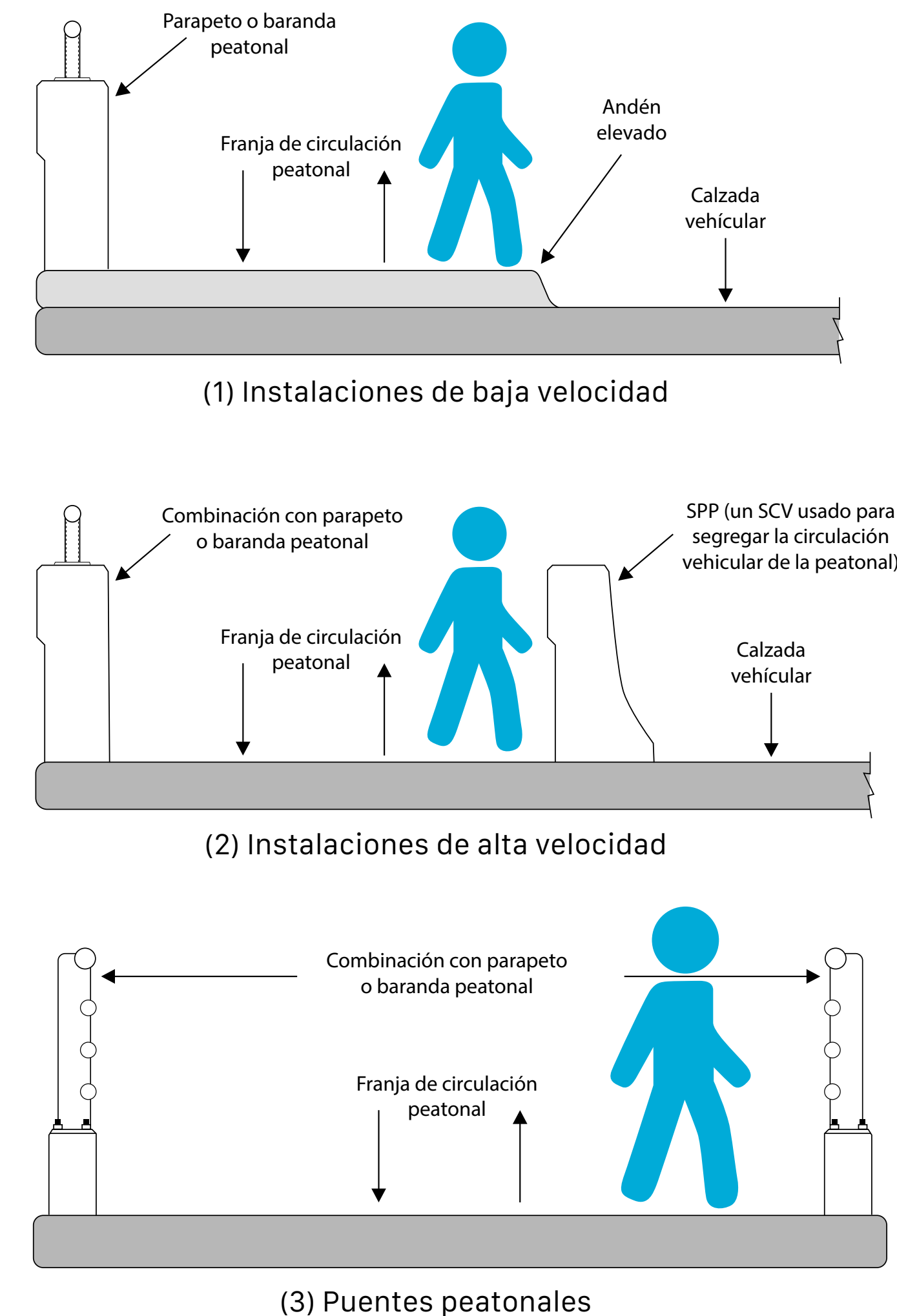
Fuente: (1) (Ross Center For Sustainable Cities, 2015)

Parapetos y barreras en puentes

- » Instalaciones en puentes de baja velocidad ($V < 50$ km/h)
- » Hay casos donde se requiere un SPP entre el tráfico vehicular y la circulación peatonal, allí es conveniente elevar el andén para tener un mínimo de segregación entre los flujos.
- » Instalaciones en puentes de alta velocidad ($V \geq 50$ km/h)
- » Si se requiere una barrera de protección para peatones, no es necesario elevar la superficie del andén con respecto a la calzada, ya que esto simplemente puede agregar una carga adicional al puente.
- » Instalaciones en puentes peatonales

Al tratarse de infraestructuras elevadas, es necesario disponer de parapetos en sus extremos a fin de mantener segura la circulación peatonal.

Figura 104. Parapetos y barreras peatonales en puentes.



Fuente: Elaborado a partir (Texas Department of Transportation, 2020).

Existe la normativa de ensayo TS 16949:2016²⁴ para la Comunidad Europea, que define los requisitos técnicos para el diseño y fabricación de SPP, la cual puede consultarse si se requiere más información.

24 Las generalidades sobre esta especificación se pueden consultar en ANSV (2021). Análisis de Impacto Normativo. Evaluación de Desempeño de SCV.

Existe la normativa de ensayo TS 16949:2016²⁵ para la Comunidad Europea, que define los requisitos técnicos para el diseño y fabricación de SPP, la cual puede consultarse si se requiere más información.

25 Las generalidades sobre esta especificación se pueden consultar en ANSV (2021). Análisis de Impacto Normativo. Evaluación de Desempeño de SCV.



Verificación de calidad de los sistemas de contención vehicular

C.1 Generalidades

Para garantizar que los SCV funcionarán de forma efectiva al ser colisionados por un vehículo fuera de control, conteniendo al vehículo y protegiendo la integridad física de sus ocupantes, los sistemas son sometidos a ensayos de choque a escala real, bajo la normativa europea EN 1317 o del manual MASH.

Si el comportamiento del sistema de contención vehicular es efectivo, de acuerdo con los parámetros establecidos en la normativa de ensayo correspondiente, se espera que el sistema también presente un adecuado comportamiento ante un siniestro real por salida de la vía, siempre y cuando las características del sistema sean las mismas que las del prototipo ensayo en el laboratorio, tanto en la forma y materiales de sus componentes como en las condiciones de instalación.

Por lo tanto, tal y como ya se ha mencionado anteriormente, únicamente se deben instalar SCV que hayan sido sometidos a pruebas de choque a escala real siguiendo las normativas de ensayo antes mencionadas, y hayan cumplido con todos los parámetros de comportamiento considerados como aceptables en dichas normas.

Los fabricantes de sistemas de contención deben demostrar fehacientemente que sus sistemas han superado de forma efectiva todos los requerimientos establecidos en la normativa de ensayo de choque, además de que los fabrican aplicando un sistema de gestión de calidad en su producción, el cual garantiza que suministran las mismas características técnicas que el prototipo ensayado.

A pesar de que todo lo anterior se cumpla, es necesario realizar una verificación de calidad de los SCV que son instalados en la red de carreteras, tanto de sus componentes y materiales

como de su instalación, para garantizar que estos sistemas se comportarán de manera similar a los prototipos ensayados en las pruebas de choque a escala real.

Para garantizar el correcto funcionamiento de un sistema de contención vehicular se debe verificar que:

1. La barrera se debe comportar de forma efectiva, esto se verifica mediante la interpretación de los resultados obtenidos de los ensayos de choque a escala real hechos en laboratorios acreditados. Se debe verificar que el sistema ha sido ensayado en un laboratorio acreditado para tales fines, y que el comportamiento de los SCV en todos los ensayos requeridos para el nivel de contención correspondiente cumple con los parámetros establecidos en la normativa de ensayo bajo la cual se probó dicho sistema.
2. Los componentes de los sistemas de contención deben cumplir con estándares mínimos de calidad física, química y mecánica especificados en las normativas europea o estadounidense, según corresponda, y coincidir con los componentes del ejemplar ensayado en la prueba de choque a

escala real realizado al sistema. Esto es verificable mediante ensayos de laboratorio y mediciones de campo hechos a muestras del sistema que va a ser instalado.

3. El sistema de contención se debe instalar de la misma forma en que se instaló en el laboratorio para realizar la prueba de choque a escala real. Esto se logra exigiendo al vendedor una descripción técnica del producto en la que se indique de forma explícita el procedimiento de instalación del sistema de contención vehicular y verificando en campo que la instalación es adecuada y acorde con la descripción técnica del sistema.

A continuación, se detallan algunos aspectos importantes a tener en cuenta con respecto a la verificación de calidad de los componentes y materiales de los sistemas de contención vehicular.

C.2 Comportamiento del sistema

El objetivo de los sistemas de contención es salvar vidas, y evitar que los ocupantes de un vehículo que se siniestro por salida de la vía sufran daños severos. Para conocer cómo se comportará un sistema de contención vehicular ante la colisión de un vehículo

fuera de control, este se somete a ensayos estandarizados y su comportamiento durante las pruebas de choque debe cumplir con parámetros establecidos en la normativa de ensayo (EN 1317 o MASH, según corresponda).

Los ensayos de choque a escala real deben ser aplicados por un laboratorio acreditado para tal fin, y los resultados del ensayo quedan registrados en un reporte.

El suministrador del SCV que se pretende instalar en la carretera, o el contratista, deben aportar la documentación necesaria para demostrar que el sistema de contención fue ensayado siguiendo la normativa EN 1317 o MASH en un laboratorio acreditado, y que el sistema se comportó de forma efectiva durante los ensayos de choque a los que fue sometido, los cuales deben incluir como mínimo:

1. Certificado de acreditación según la norma ISO 17025 del Laboratorio donde se hayan llevado a cabo los ensayos de choque a escala real, que incluya dentro del alcance la ejecución de ensayos de choque a escala real del sistema de contención vehicular correspondiente, conforme a la norma EN 1317 o MASH.

2. Informe de ensayo a escala real: presentar copia del informe reportando:

- » Nivel de contención.
- » Anchura de trabajo.
- » Deflexión dinámica.
- » Nivel de severidad (de acuerdo con la norma EN 1317 o su equivalente).
- » Resultados y descripción del comportamiento del sistema.
- » Descripción de la barrera.
- » Resultados de la verificación de las características de los materiales y del sistema, que efectúa el laboratorio de ensayo para comprobar que la descripción del sistema aportada por el fabricante coincide con el ejemplar ensayado

3. Documento sellado y firmado por el responsable del Laboratorio de Ensayo de Choque declarando que, en el momento de realizar los ensayos de choque al SCV objeto del presente análisis, el Laboratorio estaba operando conforme a las prescripciones establecidas en la acreditación que se indica en el numeral 1.

C.3 Verificación de componentes

Cualquier modificación realizada a un dispositivo de seguridad puede cambiar su comportamiento ante un choque, ya sea en las características de sus componentes, los materiales de fabricación o en las condiciones de instalación. Por lo tanto, una vez que un dispositivo ha sido ensayado y se ha comportado de forma efectiva, de acuerdo con la normativa de ensayo EN 1317 o MASH, es necesario asegurarse que sea fabricado, distribuido e instalado con las mismas características del ejemplar ensayado.

Por esta razón, es necesario verificar que los componentes de los SCV cumplen con estándares mínimos de calidad física, química y mecánica especificados en la normativa europea y estadounidense, según corresponda, y coincidir en cuanto a dimensiones, forma y composición, con los componentes del



ejemplar ensayado en la prueba de choque a escala real realizado al sistema. Esta verificación se debe hacer mediante la obtención de muestras del sistema que va a ser instalado para realizar ensayos de laboratorio y mediciones de campo.

El suministrador del sistema de contención o el contratista deben aportar una descripción técnica detallada del sistema de contención y de sus componentes, que incluya:

- » Nombre Completo del SCV que será instalado o suministrado. Nombre Comercial del SCV (si procede).
- » Tipo del SCV (vigas y postes, muro continuo, etc.).

- » Tipo de aplicación (borde lateral en tierra, borde lateral en hormigón, pretil de puente, SCV de mediana, SCV temporal, etc.).
- » Nivel de contención según EN 1317 o MASH, clase de severidad y clase de deformación.
- » Resumen de resultados de los ensayos de choque a escala real según EN 1317 o MASH.
- » Descripción gráfica y de posición de las marcas en los componentes del SCV que permitan identificar al fabricante. Todo SCV deberá presentar marcas identificativas, claras e indelebles, que permitan determinar de manera inequívoca el origen de la misma.
- » Lista de todos los elementos que conforman el sistema con sus pesos.
- » Descripción detallada en planos de todos los elementos que conforman el sistema con dimensiones y tolerancias.
- » Características físicas y químicas de los materiales de todos los componentes y de los acabados (por ejemplo, de los recubrimientos), resistencia mecánica y normativa de calidad que cumplen.

- » Resultados de evaluación de la durabilidad de los componentes del sistema.
- » Detalles de las modificaciones aprobadas después de los ensayos de choque.

El primer requisito de cumplimiento que debe verificarse en el SCV para que este sea aceptado, consiste en que la descripción técnica del sistema y de sus componentes, según la lista documental anterior, debe coincidir con la descripción técnica del producto contenida en el informe de ensayo de choque a escala real, y que, de acuerdo con la verificación del Laboratorio de Ensayos, coincide con el ejemplar ensayado. Cualquier diferencia encontrada entre la descripción técnica del sistema hecha por el fabricante, y las características del sistema reportado en el informe de ensayo, puede ser causante de rechazo del material y prohibición de su instalación.

La verificación de calidad de los componentes de los sistemas de contención vehicular incluirá la comprobación de los elementos constituyentes acopiados, así como de la unidad terminada.

El Contratista (Proveedor e instalador del sistema) facilitará al director de las obras, diariamente, un informe de ejecución y de obra en el cual deberán figurar, al menos, los siguientes conceptos:

- » Fecha de instalación.
- » Localización de la obra.
- » Nombre o identificación de la obra.
- » Número de elementos instalados, o número de metros en el caso de barreras de concreto ejecutadas in situ por tipo.
- » Ubicación de las barreras longitudinales.
- » Observaciones e incidencias que a juicio del director de las Obras pudieran influir en las características y/o durabilidad de las barreras longitudinales instaladas.

A la entrega de cada suministro se aportará un listado de partes con documentación anexa, conteniendo, entre otros, los siguientes datos:

- » Nombre y dirección de la empresa suministradora
- » Fecha de suministro
- » Identificación de la fábrica que ha producido el material
- » Identificación del vehículo que lo transporta
- » Cantidad que se suministra y designación de la marca comercial
- » Certificado acreditativo del cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias y/o documento acreditativo del reconocimiento de la marca, sello o distintivo de calidad de cada suministro.

Se comprobará la marca o referencia de los elementos constituyentes de las barreras longitudinales acopiados, a fin de verificar que corresponden con la clase y calidad comunicada previamente al director de las Obras.

La verificación de calidad de los componentes de los sistemas de contención vehicular incluye:

- » Verificación de calidad de los materiales: composición química de metales (cuando corresponda) y resistencia mecánica.
- » Dimensiones de los componentes: ancho, largo y espesor.
- » Homogeneidad y espesor de los recubrimientos (cuando corresponda).

Algunos sistemas de contención, como por ejemplo los atenuadores de impacto, son suministrados generalmente en una sola pieza, es decir completamente armados. En estos casos, no se ejecutarán ensayos de calidad a los materiales y componentes del sistema, aunque sí se verificarán sus dimensiones. Se exigirá a los suministradores del sistema, presentar un certificado y marcas de calidad del productor, así como toda la documentación necesaria que demuestre que el dispositivo es idéntico al ejemplar ensayado en las pruebas de choque a escala real a las que fue sometido el sistema.

Selección de la muestra

Al objeto de garantizar la trazabilidad de estas obras, antes de iniciar su instalación, para los elementos constituyentes de las barreras longitudinales se comprobará su calidad, a partir de una muestra representativa de los elementos constituyentes acopiados.

Para los efectos de esta guía una muestra de material está compuesta por la viga, los postes, los separadores, tuercas y los tornillos, así como cualquier otro componente básico del sistema de contención.

Es necesario mencionar que es potestad del director de obras seleccionar un tamaño de muestra mayor o elementos específicos, si considera que la calidad del material es dudosa.

Una vez definido el tamaño de la muestra, se debe aplicar una técnica aleatoria para la selección de los elementos individuales. Se recomienda seguir el procedimiento descrito en la norma ASTM D 3665.

La selección de la muestra es aplicable a materiales acopiados y a las vigas instaladas. Después de definir el tamaño y

seleccionar aleatoriamente los elementos que conformarán la muestra, se inicia la verificación de calidad.

Los acopios que hayan sido realizados y no cumplan alguna de las condiciones especificadas en esta guía serán rechazados. Podrán presentarse a una nueva inspección, exclusivamente, cuando el suministrador, a través del Contratista, acredite que todas las unidades han vuelto a ser examinadas y ensayadas, se hayan eliminado o corregido todos sus defectos. Las nuevas unidades, en cualquier caso, serán sometidas a los ensayos de control que se especifican en esta guía.



Fuente: Ministerio de Transporte - <https://flic.kr/ps/2WnpJd>

El director de Obra, además de disponer de la información de los ensayos anteriores, podrá, siempre que lo considere oportuno, debe identificar y verificar la calidad de los elementos constituyentes de las barreras longitudinales que se encuentren acopiados.

Procedimiento de verificación de la calidad

Barreras metálicas

» Inspección visual

El primer paso es la inspección visual de los elementos constituyentes del sistema metálico que conforman la muestra, verificando que el recubrimiento galvanizado sea continuo, razonablemente liso y exento de imperfecciones claramente apreciables a simple vista que puedan influir sobre la resistencia a la corrosión de este, tales como ampollas o inclusiones de matas, cenizas o sales de flujo. Tampoco será admisible la presencia de terrones, rebabas o acumulaciones de zinc que puedan interferir con el empleo específico del material galvanizado.

El aspecto gris oscuro mate de la totalidad o de parte del recubrimiento de los elementos, así como las manchas, que no sean eliminables por limpieza con un paño seco, será motivo de rechazo.

También se deben realizar mediciones para verificar que el espesor de recubrimiento de los componentes del sistema de contención, cumplan los requerimientos mínimos establecidos en las especificaciones técnicas de materiales correspondientes, según se indica a continuación:

Tabla 31. Especificaciones técnicas de recubrimiento.

Norma de ensayo de choque aplicada para comprobar el comportamiento del SCV	Normativa que debe cumplir el espesor de recubrimiento de los componentes del sistema
EN 1317	EN ISO 1461
MASH	AASHTO M-180

Fuente: (Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012)

» Mediciones

Se deben realizar mediciones de la geometría de cada uno de los componentes del SCV, y compararlos con las dimensiones especificadas en la descripción técnica del sistema. No se aceptarán partes que difieran en más de un 2 % en cualquiera de sus dimensiones. Debe ponerse especial cuidado al espesor, largo y ancho de cada componente del sistema de contención.

» Verificación

Después de hacer la verificación del recubrimiento y de las dimensiones de cada componente del sistema, se realizarán ensayos de laboratorio para verificar la composición química y las características mecánicas de los componentes de este, para lo cual la muestra de componentes será enviada a uno o varios laboratorios acreditados con el objetivo de efectuar los ensayos requeridos. Esta comprobación será muy útil para verificar la información de los certificados con respecto a los productos que se están suministrando.

Los fabricantes deberán garantizar, como mínimo, las especificaciones técnicas correspondientes a las siguientes características mecánicas:

- a) Carga unitaria máxima a tracción o resistencia a tracción
- b) Límite elástico
- c) Deformación correspondiente a la resistencia a tracción o deformación bajo carga máxima.
- d) Deformación remanente concentrada de rotura
- e) Módulo de elasticidad
- f) Resiliencia

Los componentes del sistema de contención deben cumplir los requerimientos mínimos establecidos para la composición química y las características mecánicas en las especificaciones técnicas de materiales correspondientes, según se indica a continuación:

Tabla 32. Especificaciones técnicas de acero

Norma de ensayo de choque para comprobar el comportamiento del SVC	Característica y tipo de componente	Normativa que debe cumplir el material
EN 1317	Composición química piezas de acero laminado	EN 10025
	Características mecánicas de piezas de acero laminado	EN 10025
	Tuercas, tornillos y arandelas	EN ISO 898 EN ISO 4034 EN ISO 7091
MASH	Composición química piezas de acero laminado	ASTM A-36
	Características mecánicas de piezas de acero laminado	AASHTO M-180 ASTM A-36
	Tuercas, tornillos y arandelas	ASTM A-36

Fuente: (Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012)

Barreras de concreto



Para las barreras de concreto, se considerará como lote, que se aceptará o rechazará en bloque, al menor que resulte de aplicar los dos criterios siguientes:

- » Quinientos metros (500 m)
- » La fracción construida diariamente

El control de la regularidad superficial de la superficie superior de la barrera, medida en la dirección del eje de la carretera, se efectuará mediante una regla de 3,0 m sobre la totalidad de la obra. No se admitirán desnivelaciones superiores a 5 mm, en más del 30 % del lote, ni de 10 mm en ningún punto.

En la barrera prefabricada se tomará un lote constituido por cinco (5) elementos cualesquiera, que en el caso de la barrera ejecutada in situ serán 30 m, sobre los que se comprobará que:

- » Las barreras no deben presentar rebabas que sean indicio de pérdidas graves de lechada, ni más de tres (3) coqueras en una zona de diez decímetros cuadrados (10 dm²) de paramento, ni coquera alguna que deje vistas las armaduras.
- » No presentarán caras deterioradas en las que el hormigón aparezca deslavado, ni señales de discontinuidad en el hormigonado.
- » No se aceptarán barreras con fisuras de más de una décima de milímetro (0,1 mm) de ancho, o con fisuras de retracción de más de 2 cm de longitud.

Además, deben realizarse ensayos de resistencia al concreto con el que se construyen las barreras, para verificar que esta resistencia cumpla con el valor especificado en el diseño de la barrera o sistema de contención vehicular.

También debe verificarse el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos en las siguientes normativas:

Tabla 33. Especificaciones técnicas del concreto hidráulico

Norma de ensayo de choque para comprobar el comportamiento del SVC	Normativa que deben cumplir los sistemas fabricados de concreto
EN 1317	EN 13369
MASH	ASTM C825 - 06

Fuente: (Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012)

Componentes de madera

Debido a que la madera es un material que al estar a la intemperie es muy propenso a experimentar deterioro, deben verificarse las características que garantizan la durabilidad de aquellos componentes del sistema de contención fabricados en dicho material.

A continuación, se indican las especificaciones técnicas que contienen los requerimientos mínimos establecidos para componentes de madera, según sea la normativa de ensayo bajo la cual se comprobó el comportamiento del sistema de contención:

Tabla 34.Especificaciones técnicas de componentes de madera.

Norma de ensayo de choque para comprobar el comportamiento del SVC	Normativa que debe cumplir los componentes de madera
EN 1317	EN 335
MASH	ASTM D7032 - 10a

(Corporación Fondo de Prevención Vial, 2012)

C.4 VERIFICACIÓN DE LA INSTALACIÓN

Es muy importante verificar que los sistemas de contención vehicular sean instalados adecuadamente, siguiendo las recomendaciones del fabricante, y asegurándose de que la

instalación en la carretera coincida con la instalación del ejemplar ensayado con las pruebas de choque a escala real aplicadas al sistema.

Incluso si se verifica que el sistema de contención se comportó de forma efectiva al someterse a los ensayos de choque a escala real, y además se compruebe que los componentes y materiales suministrados por el proveedor cumplen con los estándares de calidad correspondientes, y éstos componentes coinciden con las características técnicas del ejemplar ensayado en las pruebas de choque, cualquier cambio en la instalación del sistema, con respecto a la instalación del ejemplar ensayado en las pruebas de choque a escala real, podría provocar un comportamiento inadecuado del sistema. Por lo tanto, es necesario que la revisión de la instalación sea muy rigurosa y minuciosa.

El fabricante debe suministrar junto con el sistema de contención, un instructivo detallado con la descripción de componentes y el procedimiento de instalación, que contenga, como mínimo:

- » Lista de todos los elementos que conforman el sistema con sus pesos.

- » Descripción detallada en planos de todos los elementos que conforman el sistema con dimensiones y tolerancias.
- » Detalle constructivo y planos e instalación: ubicación de todos los elementos con posición relativa respecto a la vía y al nivel del suelo, torque de apriete de tornillos (si los hubiera) y cualquier otro detalle de instalación. Debe incluir esquemas de instalación y tolerancias.
- » Descripción del proceso de instalación (o de ser el caso, del proceso de construcción en sitio), que incluya características del equipo necesario para la instalación (o construcción).
- » Dimensión o longitud mínima de instalación necesaria.
- » Detalles de las modificaciones aprobadas después de los ensayos de choque.
- » Descripción de las condiciones del terreno o cimentación necesarios para la instalación del sistema.

- » En caso de ser relevante se debe indicar la temperatura ambiente necesaria para la instalación, de lo contrario debe indicarse que este no es un factor que afecte la instalación del sistema.
- » Descripción de las condiciones para la reparación, inspección y mantenimiento del sistema.
- » Características del terreno o superficie donde el sistema debe ser instalado.

Además de esta documentación, es necesario contar con un plano de proyecto, donde se indique el diseño del sistema de contención vehicular, que incluye las dimensiones y ubicación especificada del sistema.

En primer lugar, debe verificarse que el procedimiento y todos los detalles de instalación suministrados por el fabricante del sistema, correspondan con los empleados para instalar el ejemplar ensayado en las pruebas de choque a escala real a los que fue sometido el sistema de contención vehicular (EN 1317 o MASH).

Durante la instalación del sistema se debe verificar que todos los detalles de instalación sean respetados. En particular, deben verificarse los siguientes aspectos:

- » Dimensiones y posición especificada en los planos de proyecto para el SCV, que incluye longitud, alturas, separación respecto a la vía y al peligro potencial del cual se desea proteger a los usuarios de la vía, entre otros detalles.
- » Posición relativa de los componentes del sistema especificados en el instructivo de instalación del fabricante.
- » Tipo y forma de anclaje del sistema de contención vehicular.
- » Tipo de tornillos o cualquier otro elemento de fijación, y torque de apriete según detalles especificados por el fabricante.
- » Procedimiento y equipo de instalación utilizado.
- » Ubicación exacta en el sitio y de sus elementos de anclaje.

Descripción general del problema de la siniestralidad vial en zonas laterales

Situación general

Al proyectar una carretera sería deseable poder hacerlo sin la presencia de peligros en su entorno y, por tanto, sin que fuera necesario instalar sistemas de contención vehicular. No obstante, en la práctica es frecuente, y en muchos casos es inevitable, la presencia de elementos de la naturaleza (como árboles, rocas, desniveles del terreno, etc.), terraplenes altos, y artificiales como dispositivos de control del tránsito, estructuras y otras vías; además de objetos o terceros inocentes situados en las zonas laterales de la carretera, lo que hace necesario considerar la instalación de dispositivos especiales para reducir las consecuencias de un siniestro por salida de la vía, tales como barreras longitudinales, amortiguadores de impacto, pretilas de puente, entre otros.

Cuando no exista la posibilidad razonable, técnica, económica o ambiental, de resolver las situaciones de riesgo a través de una intervención en el diseño o en la gestión de riesgo, ya sea

eliminando, desplazando o modificando el elemento peligroso u obstáculo o la ampliación del espacio entre el borde exterior de la vía y el objeto de peligro (extensión de la zona libre); se deben proyectar, mediante normativas y recomendaciones específicas, todos los elementos de seguridad que se requieran para lograr el objetivo de prevenir y proteger a los usuarios de los peligros potenciales adyacentes a la vía.

Situación en Colombia

Los siniestros por salida de vía han sido identificados en diferentes países como una problemática que causa un importante número de fallecidos en las calles y carreteras del mundo.

Estos siniestros están relacionados con eventos en los cuales los vehículos chocan con elementos ubicados tanto en el interior como en el exterior de la calzada vial (por ej., árboles, señalización, postes, estructuras, dispositivos de contención,

edificaciones etc.), caen a abismos o cuerpos de agua, sufren volcamientos, entre otros. En Colombia, de acuerdo con información del Observatorio Nacional de Seguridad Vial, los siniestros viales con víctimas en los cuales está involucrado un solo vehículo representan aproximadamente el 15.8 % del total de fallecidos en las vías.

De acuerdo con la información del Observatorio Nacional de Seguridad Vial (ONSV), con base en el Informe Policial de Accidentes de Tránsito – IPAT, durante el período comprendido entre los años 2016 y 2020, se registraron un total de 908.919 siniestros viales en el territorio colombiano. Como producto de estos eventos, se produjeron en el mismo período, 33.191 muertes y 176.106 heridos, reportados al ONSV por el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses – INMLCF.

Del total de siniestros contabilizados en el mismo período, el 86.5 % se presentó en zonas urbanas y un 13.5 % en áreas rurales.

Teniendo en cuenta la clasificación de los siniestros viales contenida en el IPAT, los siniestros relacionados con las zonas laterales de una vía (siniestros por salida de vía) corresponden

principalmente a los volcamientos, la caída de ocupante y los choques con objetos fijos, tales como árboles, postes, contra sistemas de contención vehicular o vehículos estacionados, entre otros. Es preciso aclarar que no todos los eventos por caída de ocupante y volcamientos tienen relación con la salida de los vehículos de la vía.



Fuente: Ministerio de Transporte - <https://flic.kr/ps/2WnpJd>

Los siniestros clasificados como caída de ocupante, choque con objeto fijo y volcamiento suman entre el 11,74 % (2017) y el 13,35 % (2020). Estos siniestros serían prevenibles o sus efectos podrían ser mitigados mediante la gestión de los riesgos en la zona lateral de las vías, entre ellos, la implementación de SCV apropiadamente diseñados, instalados y mantenidos.

Con respecto a los fallecidos en siniestros viales por salida de vía, el INMLCF los clasifica como: caída del ocupante, caída del vehículo a un precipicio, choque, explosión, hundimiento, incendio, volcamiento y sin información. Hasta el año 2016 la clasificación de los choques incluía por aparte los choques con objetos fijos. De acuerdo con esta clasificación, los datos que resultan útiles para el análisis de los siniestros por salida de vía son los correspondientes a los siniestros por caída del vehículo a un precipicio, volcamiento, caída del ocupante y choque con objeto fijo.

Con base en la información del año 2016, la mayor parte de las muertes por siniestros viales se produjo por choque entre vehículos con el 41.1 % del total ocurrido en 2016, seguida de los decesos por atropello con el 26.1 %. Entre los fallecimientos en siniestros por salida de la vía, sobresalen los producidos en choques con objeto fijo con el 11.9 %, seguidos de los volcamientos con el 5.6 %, las caídas de ocupante con el 4.9 % y de las caídas de vehículos a precipicios con el 1.9 %.

En el periodo 2016 – 2020 la mayor parte de muertes en siniestros viales por caída de ocupante se produjo de motocicletas con el 63 % de total de muertes de este tipo,

seguidas de las producidas de vehículos pesados con 21 % y las de vehículos livianos con el 10 %. El 55 % en áreas urbanas y un 42 % en zonas rurales.

En lo referente a las muertes en siniestros viales por volcamiento en el mismo periodo anterior, la mayoría se produjo en motocicletas con el 53 % de total de muertes de este tipo, seguidas de las producidas en vehículos livianos con 22 % y en vehículos pesados con el 18 %. El 54 % en áreas rurales y un 43 % en zonas urbanas.

Con relación a las muertes en siniestros viales por caída de vehículo a precipicio en el año 2016, prevalecen las ocurridas en vehículos livianos con el 48% de total de muertes de este tipo, seguidas de las presentadas en motocicletas con 25 %, y en vehículos pesados con el 24 %. El 79 % en áreas rurales y un 18 % en zonas urbanas.

Las muertes en siniestros viales por choque contra objeto fijo entre 2016 y 2020, se produjo principalmente por colisión de motocicletas con el 82 %, seguidas de las presentadas con vehículos livianos con el 11 %, dentro de las más representativas. El 49 % en áreas rurales, un 42 % en zonas urbanas y un 7 % en centros poblados.

Estas cifras confirman la necesidad de actuar sobre el diseño seguro de las zonas laterales de las vías y en el tratamiento de los elementos peligrosos localizados en su interior muy cerca del carril de circulación.

Impacto a nivel internacional del uso actual de los sistemas de contención vehicular y conceptualización

- » En Estados Unidos, la Asociación Americana de Servicios de Seguridad Vial ha indicado que mejorar los SCV es una de las medidas más efectivas para mitigar impactos de siniestros por salida de vía. En este sentido, ha señalado que la correcta instalación de estos dispositivos podría reducir las lesiones graves y fatales entre un 16 % y un 46 %.
- » En relación con los atenuadores o amortiguadores de impacto, señala Mario Leiderman en la investigación denominada «Los amortiguadores de impacto en las carreteras» que la idea de ensayar los prototipos de este tipo de sistema de contención antes de su instalación ha permitido salvar más de 25.000 vidas humanas y evitar cientos de miles de heridos en los últimos 30 años.

- » De forma particular, la experiencia francesa permite vislumbrar la importancia de instalar sistemas de contención vehicular que protejan la vida de los usuarios de la vía. Al analizar el comportamiento de los choques contra estos dispositivos en Francia, es posible observar que cerca del 70 % de las personas involucradas en dichos siniestros vieron protegida su salud o integridad con ocasión del choque, el 26 % presentaron heridas graves y el 4 % perdió la vida.

La Guía para Intervenciones en Seguridad Vial del Global Road Safety Facility del Banco Mundial, presenta buenas prácticas soportadas con evidencia, desde una mirada holística basada en el enfoque de sistema seguro. La importancia de usar recomendaciones probadas a las cuales se les realizó seguimiento es garantía de que una correcta implementación puede proveer una mejora en las condiciones de seguridad vial de nuestras vías.

En materia de infraestructura y el tratamiento de zonas laterales, esta guía destaca las intervenciones de barreras longitudinales a borde de vía y barreras centrales (divisorias de calzada).

Anchos de zona despejada

Tabla 35. Anchos de la zona despejada recomendados por la AASHTO.

Velocidad de diseño	TPD	Pendientes negativas			Pendientes positivas		
		1V:6H o más plana	1V:5H a 1V:4H	1V:3H	1V:3H	1V:5H a 1V:4H	1V:H6 o más plana
60 km/h o menor	< 750	2.0-3.0	2.0-3.0	**	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0
	750-1500	3.0-3.5	3.5-4.5	**	3.0-3.5	3.0-3.5	3.0-3.5
	1500-6000	3.5-4.5	4.5-5.0	**	3.5-4.5	3.5-4.5	3.5-4.5
	> 6000	4.5-5.0	5.0-5.5	**	4.5-5.0	4.5-5.0	4.5-5.0
70-80 km/h	< 750	3.0-3.5	3.5-4.5	**	2.5-3.0	2.5-3.0	3.0-3.5
	750-1500	4.5-5.0	5.0-6.0	**	3.0-3.5	3.5-4.5	4.5-5.0
	1500-6000	5.0-5.5	6.0-8.0	**	3.5-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5
	> 6000	6.0-6.5	7.5-8.5	**	4.5-5.0	5.5-6.0	6.0-6.5
90 km/h	< 750	3.5-4.5	4.5-5.5	**	2.5-3.0	3.0-3.5	3.0-3.5
	750-1500	5.0-5.5	6.0-7.5	**	3.0-3.5	4.5-5.0	5.0-5.5
	1500-6000	6.0-6.5	7.5-9.0	**	4.5-5.0	5.0-5.5	6.0-6.5
	>6000	6.5-7.5	8.0-10.0*	**	5.0-5.5	6.0-6.5	6.5-7.5

Velocidad de diseño	TPD	Pendientes negativas			Pendientes positivas		
		1V:6H o más plana	1V:5H a 1V:4H	1V:3H	1V:3H	1V:5H a 1V:4H	1V:H6 o más plana
100 km/h	< 750	5.0-5.5	6.0-7.5	**	3.0-3.5	3.5-4.5	4.5-5.0
	750-1500	6.0-7.5	8.0-10.0*	**	3.5-4.5	5.0-5.5	6.0-6.5
	1500-6000	8.0-9.0	10.0-12.0*	**	4.5-5.5	5.5-6.5	7.5-8.0
	> 6000	9.0-10.0*	11.0-13.5*	**	6.0-6.5	7.5-8.0	8.0-8.5
110 km/h	< 750	5.5-6.0	6.0-8.0	**	3.0-3.5	4.5-5.0	4.5-4.9
	750-1500	7.5-8.0	8.5-11.0*	**	3.5-5.0	5.5-6.0	6.0-6.5
	1500-6000	8.5-10.0*	10.5-13.0*	**	5.0-6.0	6.5-7.5	8.0-8.2
	> 6000	9.0-10.5*	11.5-14.0*	**	6.5-7.5	8.0-9.0	8.5-9.0
» * Cuando la investigación de un lugar específico indica una alta probabilidad de continuos siniestros, o tales ocurrencias son indicadas por la historia de siniestros, el proyectista puede proveer distancias de zonas despejadas mayores de 9 metros. En la práctica, si la experiencia previa con proyectos o diseños similares señala un comportamiento satisfactorio, puede limitarse a 9 metros.							
** Dado que la recuperación es menos probable sobre taludes desprotegidos y taludes traspasables 1H:3V, no deberían existir objetos fijos en la vecindad del pie de éstos. Puede esperarse que la recuperación de los vehículos que invaden la zona a alta velocidad por detrás del borde de la berma ocurra detrás del pie del talud. La determinación del ancho de la zona de recuperación en el pie del talud debería tomar en consideración la disponibilidad de espacio, los intereses ambientales, factores económicos, necesidades de seguridad, e historia de siniestros. Además, la distancia entre el borde de la calzada y el comienzo del talud 1H:3V debería influir en la zona de recuperación provista al pie del talud.							

Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011)

Tabla 3 Ancho de la zona despejada, basada en variables como la velocidad, radio de la curva, pendiente y gravedad de siniestro esperado.

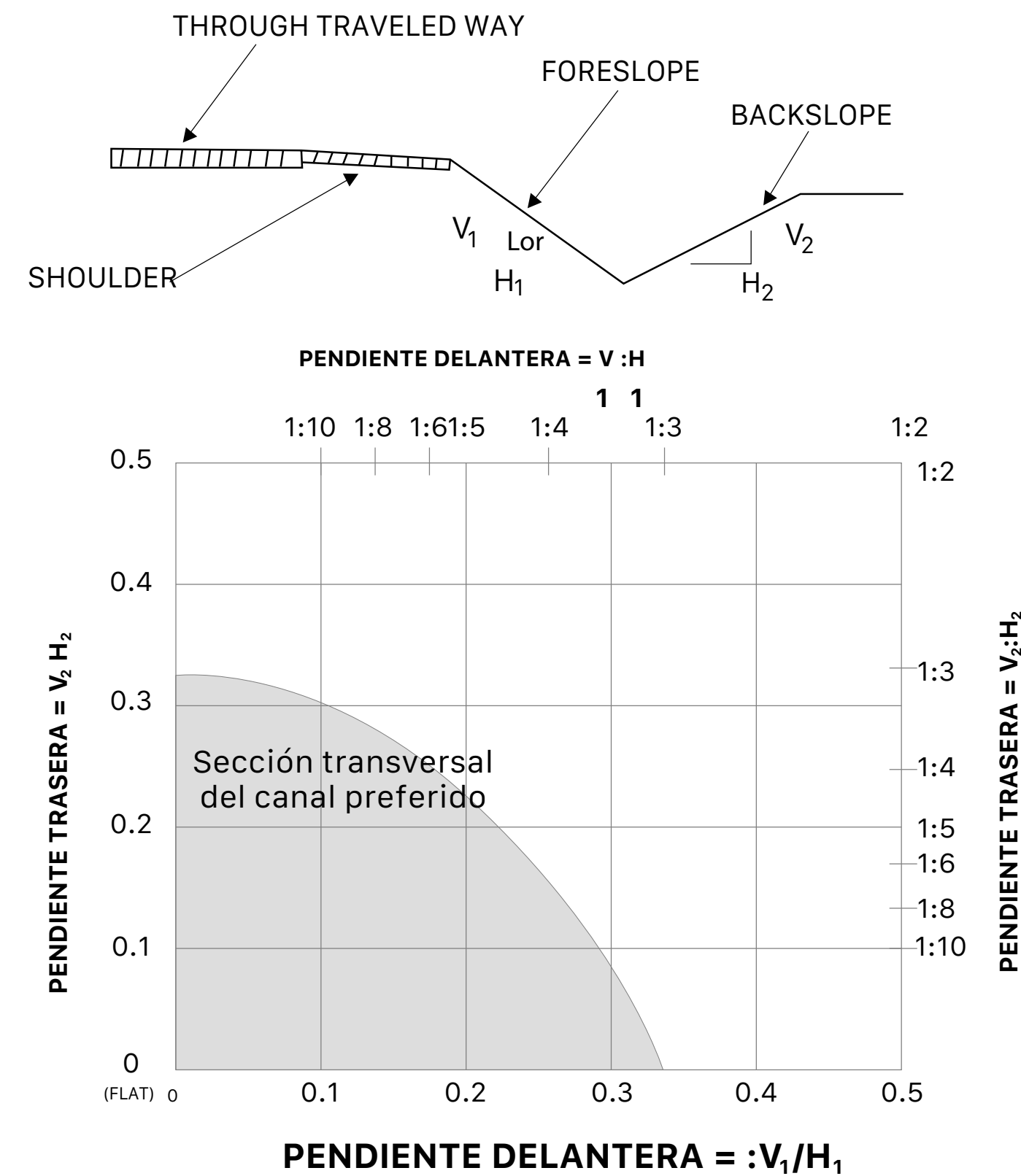
Velocidad de diseño (km/h)	Radio (m)	Pendiente talud H:V	ZD (m)	
			Gravedad Siniestro	
			Baja	Moderada/alta
< 60	> 900	> 8:1	3.50	4.00
		8:1 a 5:1	4.20	4.80
		< 5:1	5.20	6.00
	900-600	> 8:1	4.20	4.80
		8:1 a 5:1	5.00	5.80
		< 5:1	6.20	7.10
	600-300	> 8:1	4.50	5.20
		8:1 a 5:1	5.50	6.30
		< 5:1	6.80	7.80
	< 300	> 8:1	5.20	6.00
		8:1 a 5:1	6.30	7.20
		< 5:1	7.80	9.00
60 - 80	> 900	> 8:1	5.00	5.80
		8:1 a 5:1	6.00	6.90
		< 5:1	7.50	8.60
	900-600	> 8:1	6.00	6.90
		8:1 a 5:1	7.20	8.30
		< 5:1	9.00	10.40
	600-300	> 8:1	6.50	7.50
		8:1 a 5:1	7.80	9.00
		< 5:1	9.70	11.20
	< 300	> 8:1	7.50	8.60
		8:1 a 5:1	9.00	10.40
		< 5:1	11.20	12.90

Velocidad de diseño (km/h)	Radio (m)	Pendiente talud H:V	ZD (m)	
			Gravedad Siniestro	
			Baja	Moderada/alta
80 -100	> 900	> 8:1	6.50	7.50
		8:1 a 5:1	7.80	9.00
		< 5:1	9.70	11.20
	900-600	> 8:1	7.80	9.00
		8:1 a 5:1	9.40	10.80
		< 5:1	11.60	13.30
	600-300	> 8:1	8.40	9.70
		8:1 a 5:1	10.10	11.60
		< 5:1	12.60	14.50
	< 300	> 8:1	9.70	11.20
		8:1 a 5:1	11.70	13.50
		< 5:1	14.50	16.70
> 100	> 900	> 8:1	8.50	9.80
		8:1 a 5:1	10.20	11.70
		< 5:1	12.70	14.60
	900-600	> 8:1	10.20	11.70
		8:1 a 5:1	12.20	14.00
		< 5:1	15.20	17.50
	600-300	> 8:1	11.00	12.70
		8:1 a 5:1	13.30	15.30
		< 5:1	16.50	19.00
	< 300	> 8:1	12.70	14.60
		8:1 a 5:1	15.30	17.60
		< 5:1	19.00	21.90

Fuente: A partir de (Traffic Management Work Group, 2009)

Secciones transversales de cunetas

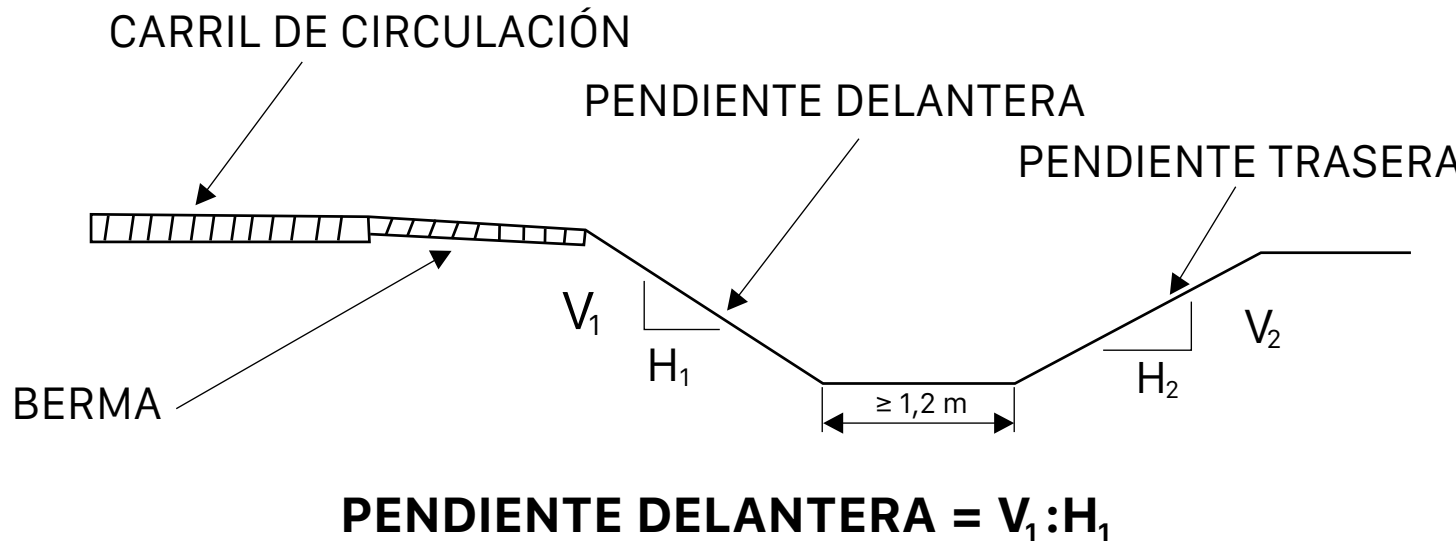
Figura 105. Secciones transversales preferidas para canales con cambios abruptos de pendiente.



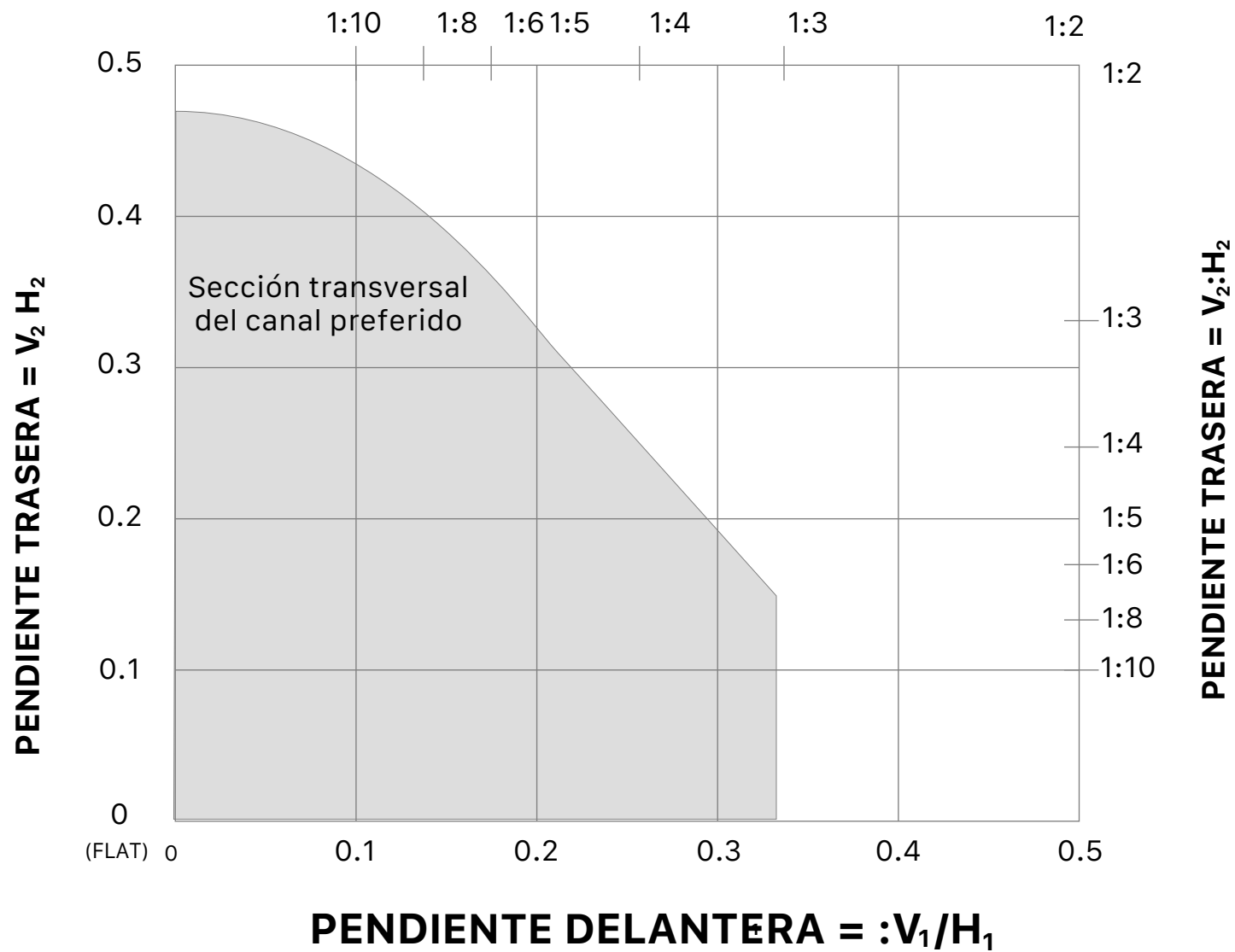
La Figura 105 es aplicable a todas las cunetas con sección en "V", canales redondeados con un ancho de fondo inferior a 2,4 m canalestrapezoidales con ancho de fondo inferior a 1,2 m.

Fuente: (AASHTO, 2011), figura 3.6, p. 3.9.

Figura 106. Secciones transversales preferidas para canales con cambios graduales de pendiente.



La Figura 106 es aplicable a canales redondeados con anchos de fondo de 2,4 m o más y a canales trapezoidales con anchos de fondo iguales o mayores a 1,2 m.



Fuente: AASHTO (2011). Roadside Design Guide, figura 3.7, p. 3.10.

Anchos de zona despejada

En este Anexo se desarrollan algunos elementos de apoyo para:

1. Reunir y analizar la información requerida para el diseño
2. Determinar la gravedad del siniestro esperado

Estos puntos hacen parte del esquema del procedimiento general de diseño de una barrera longitudinal (Ver Figura 29) pero también son útiles para establecer la necesidad de otro tipo de dispositivo de seguridad vial.

G.1 Reunir y analizar la información requerida para el diseño

Características para estudiar:

- » Análisis de siniestralidad haciendo énfasis en siniestros por salida de vía y la gravedad asociada a esos siniestros.

Identificar en el análisis si los motociclistas, peatones o ciclistas son usuarios viales particularmente afectados por este tipo de siniestros.

- » Recopilación de información en períodos comparables, al menos los últimos cinco (5) años si la vía no ha sufrido cambios sustanciales en sus características físicas o geométricas. El período de análisis debe considerar como mínimo los últimos tres (3) años. Entre más años se incorporen al análisis de siniestralidad, es más factible identificar problemas de seguridad históricos (puntos críticos) sobre el corredor vial.
- » En particular, estudiar los eventos que han derivado en víctimas (fatales o heridos) al tratarse de los siniestros de mayor gravedad.
- » Datos de volumen y composición vehicular (TPD) del tramo o vía a intervenir. Interesa identificar la proporción de vehículos

pesados (2 y más ejes), vehículos livianos (y motocicletas cuando estas participan notoriamente de la siniestralidad sector a intervenir)

- » Mediciones de velocidad con muestra estadísticamente representativa. Por un lado, se tiene la velocidad de diseño de la vía, la velocidad específica del tramo, la velocidad promedio y velocidades puntuales en períodos críticos (caso: exceso de velocidad en horas nocturnas). Se debe tener claridad de la velocidad a utilizar para el diseño del sistema ya que esta puede variar dependiendo de la problemática de seguridad vial identificada.
- » Realizar en campo inspecciones de seguridad vial (en lo posible), que permitan identificar los peligros existentes y potenciales que puedan ser objeto de mitigación mediante la intervención de las zonas laterales de la vía o, en su defecto, se determine que un SCV es un buen tratamiento de seguridad vial.
- » Medir las distancias a los objetos fijos, elementos peligrosos, obstáculos desde el borde de vía.
- » Las barreras longitudinales vial existentes en muchos casos

pueden representar un peligro. Se recomienda identificar como mínimo, lo siguiente:

- a. Las barreras están a baja o a muy alta altura y hay bordillos de altura mayor a 10 cm y otros elementos (montículos de tierras, desniveles, cunetas no traspasables).
- b. Discontinuidades en tramos de la barrera no justificadas menores de 50 m.
- c. Tramos de barrera con longitudes menores de 30 m.
- d. Si hay barreras de concreto sin una adecuada continuidad (están espaciados o hay abertura a lo largo de tramo de barrera), extremos expuestos libremente al tránsito.
- e. Se observa elementos en mal estado, desgastados o previamente impactados.
- f. Se observa el punto de inicio y fin de la barrera con una disposición en campo inadecuada para sus pretensiones de proveer seguridad vial.

- g. Las terminales son peligrosas (cola de pez, abatidas sin esviar, enfrentadas al flujo vehicular y sin anclaje).
- h. La distancia entre la barrera y el objeto fijo parece insuficiente para el buen desempeño de la barrera (caso de postes o árboles robustos muy pegados a las barreras metálicas).
- i. Transiciones inadecuadas.

Lista de chequeo para la inspección de campo en los sectores seleccionados y priorizados para intervención:

- » ¿Existen obstáculos, con alta probabilidad de ser impactados por los vehículos en caso de salida de vía o pérdida de control?
- » De ser así, ¿Qué dimensiones tienen y dónde se encuentran ubicados con respecto al borde de la vía?
- » Se evidencian características en la infraestructura que puedan representar peligro potencial en términos de seguridad vial. (curva cerrada, terraplén con altura excesiva o

la cercanía de estructuras u objetos fijos)?

- » ¿Considera factible un tratamiento de seguridad vial distinto a SCV en estos sectores (gestión de la velocidad, señalización, iluminación, urbanismo táctico, rediseño las zonas laterales en cuanto a eliminar obstáculos y hacerlas más traspasables)?
- » De haber existido previamente un SCV en el lugar, ¿se podría haber evitado la colisión y disminuido su gravedad?

G.2 Determinar la gravedad del siniestro esperado

Como complemento a lista de peligros presentada la Tabla 3, se deja la clasificación que hace el Programa de Evaluación Internacional de Carreteras (iRAP por sus siglas en inglés) de la peligrosidad de los objetos laterales, como referencia para determinar la gravedad del siniestro esperado.

Estos peligros laterales se identifican con base en: **(1)** riesgo de vuelco o rigidez del obstáculo, **(2)** distancia a la calzada.

La Tabla 37 enlista los peligros laterales a la vía, enumerados de mayor (#1) a menor (#62) riesgo.

Tabla 37. Riesgo relativo de las combinaciones de distancias y objetos laterales.

#	Distancia	Objeto lateral
1	Cualquiera	Precipicio
2	0 a < 1m	Árbol ≥ 10cm
3	0 a < 1m	Poste no abatible ≥ 10cm
4	0 a < 1m	Estructura o edificación rígida
5	0 a < 1m	Terminal de barrera de seguridad sin protección
6	0 a < 1m	Objeto bajo y rígido ≥ 20cm altura
7	0 a < 1m	Cara vertical peligrosa
8	0 a < 1m	Cuneta profunda
9	1 a < 5m	Árbol ≥10cm
10	1 a < 5m	Poste no abatible ≥10cm
11	1 a < 5m	Estructura o edificación rígida
12	1 a < 5m	Terminal de barrera de seguridad sin protección
13	1 a < 5m	Objeto bajo y rígido ≥20cm altura

#	Distancia	Objeto lateral
14	0 a < 1m	Talud de corte
15	0 a < 1m	Terrapién
16	1 a < 5m	Cara vertical peligrosa
17	1 a < 5m	Cuneta profunda
18	0 a < 1m	Talud de corte - sin pendiente de vuelco
19	1 a < 5m	Talud de corte
20	1 a < 5m	Terraplén
21	1 a < 5m	Talud de corte - sin pendiente de vuelco
22	0 a < 1m	Estructura o edificación semirrígida
23	1 a < 5m	Estructura o edificación semirrígida
24	5 a < 10m	Árbol ≥10cm
25	5 a < 10m	Poste no abatible ≥ 10cm
26	5 a < 10m	Estructura o edificación rígida
27	5 a < 10m	Terminal de barrera de seguridad sin protección

#	Distancia	Objeto lateral
28	5 a < 10m	Objeto bajo y rígido ≥20cm altura
29	5 a < 10m	Cara vertical peligrosa
30	5 a < 10m	Talud de corte
31	5 a < 10m	Talud de corte
32	5 a < 10m	Terraplén
33	0 a < 1m	Barrera de seguridad - concreto
34	5 a < 10m	Talud de corte - sin pendiente de vuelco
35	0 a < 1m	Barrera de seguridad - metal
36	0 a < 1m	Barrera de seguridad - apta para motocicletas
37	1 a < 5m	Barrera de seguridad -concreto
38	5 a < 10m	Estructura o edificación semirrígida
39	1 a < 5m	Barrera de seguridad - metal
40	1 a < 5m	Barrera de seguridad - apta para motocicletas
41	0 a < 1m	Barrera de seguridad - cable
42	1 a < 5m	Barrera de seguridad - cable
43	≥ 10m	Árbol ≥ 10cm

#	Distancia	Objeto lateral
44	≥ 10m	Poste no abatible ≥ 10cm
45	≥ 10m	Estructura o edificación rígida
46	≥ 10m	Terminal de barrera de seguridad sin protección
47	≥ 10m	Objeto bajo y rígido ≥20cm altura
48	≥ 10m	Cara vertical peligrosa
49	≥ 10m	Cuneta profunda
50	5 a < 10m	Barrera de seguridad - concreto
51	≥ 10m	Talud de corte
52	≥ 10m	Terraplén
53	5 a < 10m	Barrera de seguridad - metal
54	5 a < 10m	Barrera de seguridad - apta para motocicletas
55	≥ 10m	Talud de corte - sin vuelco
56	≥ 10m	Sin objetos
57	5 a < 10m	Barrera de seguridad - cable
58	≥ 10m	Estructura o edificación rígida
59	≥ 10m	Barrera de seguridad - concreto
60	≥ 10m	Barrera de seguridad - metal
61	≥ 10m	Barrera de seguridad - apta para motocicletas
62	≥ 10m	Barrera de seguridad - cable

Adecuación del terreno y otros criterios de instalación

Siempre se deberá verificar que el suelo bajo la barrera esté nivelado y libre de obstrucciones, tanto en las zonas desde el borde la calzada, zona de separación entre postes y la zona de ancho de trabajo. Paralelamente se debe prever que la zona próxima a los postes presente características compatibles con el sistema instalado en caso de barreras con postes hincados, se debe verificar que el suelo alrededor de los postes brinde las condiciones para permitir un adecuado funcionamiento ante un impacto, esto significa que esté libre de pavimentos asfálticos o de hormigón, que puedan generar trabazón, evitando el desplazamiento y torsión esperadas para los postes. (Dirección de Vialidad, 2021)

Ensayos para evaluar el comportamiento mecánico del suelo

Tomando lo indicado en el Manual MASH, se recomienda utilizar un suelo estándar de especificaciones AASHTO: ASTM D2487 (Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería), M147 (Especificación estándar de materiales para agregados y capas de subbase, base y carpeta) grado A o B.

Basado en estas especificaciones, tener presente lo siguiente:

- » El Manual MASH recomienda que, cuando sea posible, debe ensayarse la barrera en un suelo similar al de la instalación final.
- » Si la barrera se va a instalar sobre suelos de distinta composición y características a la del suelo estándar, es recomendable evaluar el comportamiento de dicha barrera en estos suelos.
- » Más allá de las características de composición del suelo, se debe asegurar un adecuado comportamiento mecánico del mismo durante los impactos esperados a las barreras.
- » En algunos casos es necesario “rigidizar” el suelo añadiéndole material de relleno.

- » Las características del suelo cambian con el paso del tiempo y las condiciones climáticas. Las certificaciones de los SCV deben informar sobre el tipo de suelo utilizado en los ensayos.

Existen pruebas estáticas y dinámicas para medir la "calidad" del suelo. En un ensayo dinámico, un suelo se somete a una carga mínima de 7500 lbf (33.36 kN) y se mide el desplazamiento, si este está entre 12,7 cm (5") y 50,8 cm (20"), no hay que reforzar el suelo, si el desplazamiento es mayor, es necesario aplicar un tratamiento al suelo.

Los ensayos dinámicos son pruebas costosas que requieren de un vehículo dummy que debe ser estrellado de manera controlada contra un poste hincado en el suelo al cual se le mide su deflexión. Se toma para la prueba un poste normalizado tipo W6x16.

Figura 107. Tipos de ensayos para determinar el comportamiento mecánico del suelo.



Ensayo estático



Desplazamiento en el suelo



Ensayo dinámico



Deflexión del poste

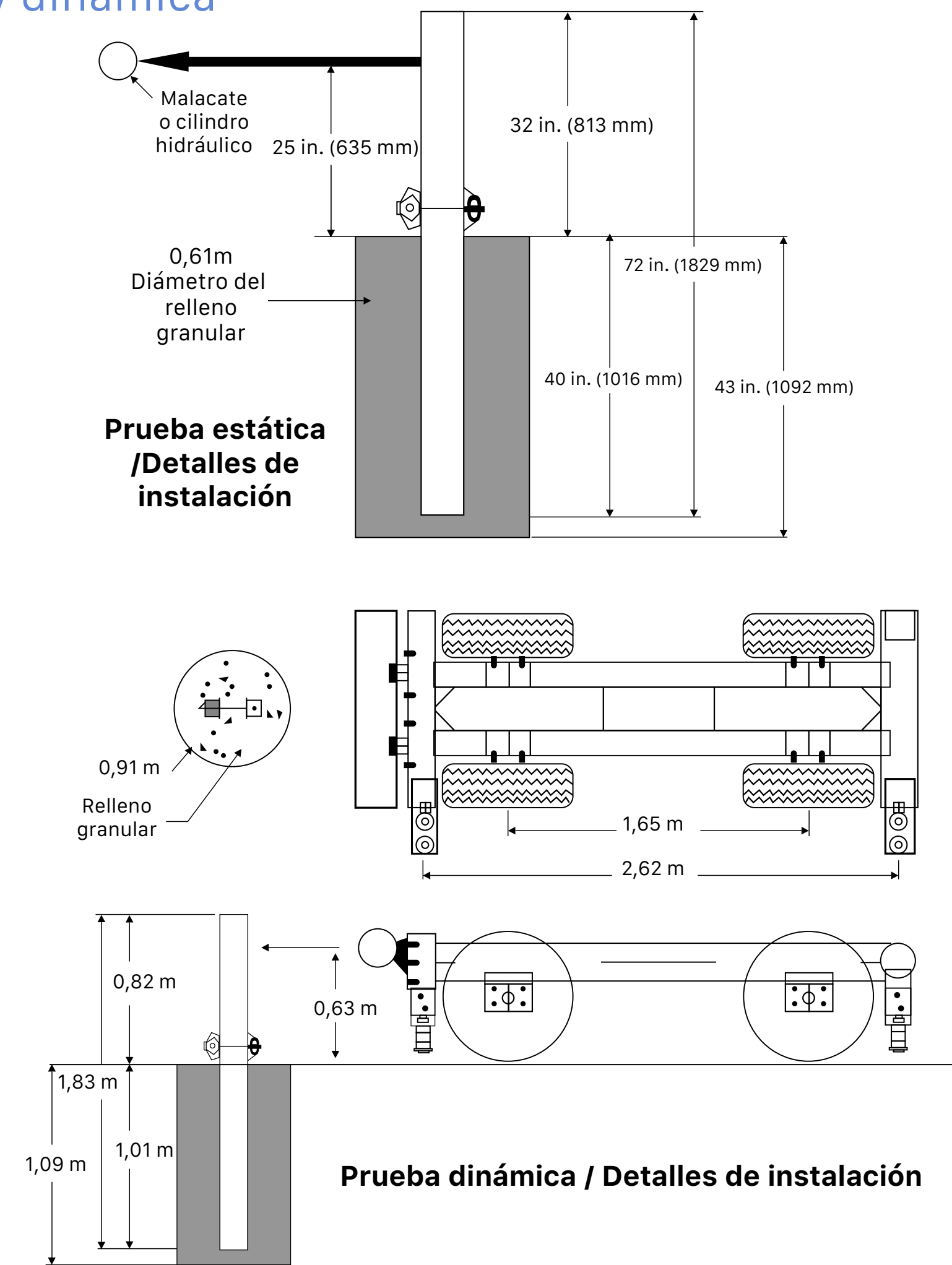
Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2016)

El Manual MASH relaciona dos parámetros importantes para la adecuación del tipo de terreno, por un lado, es importante conocer la composición del suelo, pero más importante aún, conocer su comportamiento mecánico. De ahí que lo que deba garantizarse más que un tipo de suelo en particular, es una respuesta mínima asociada a su rigidez.

El relleno granular dependerá, entonces, de lo que defina el laboratorio de pruebas o el fabricante del sistema, ya que este puede ser modificado en su constitución, usando diferentes materiales de relleno a fin de encontrar un suelo que responda al comportamiento mecánico esperado.



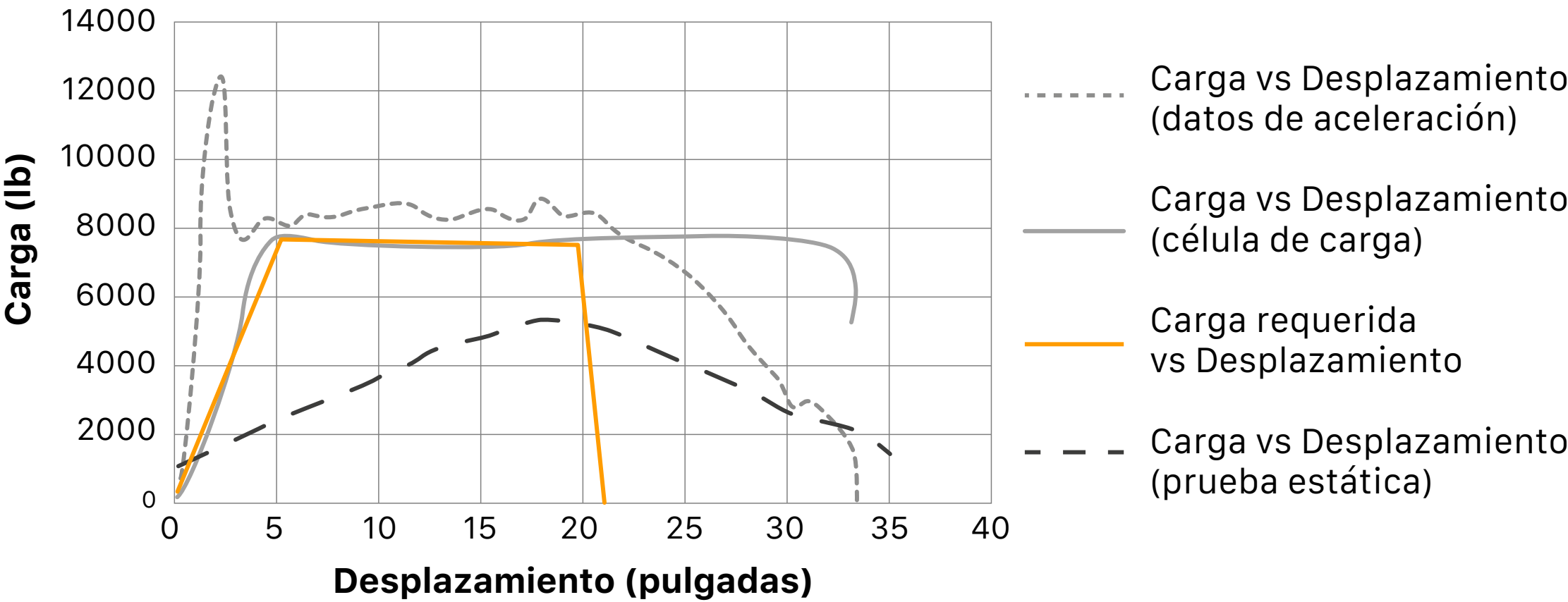
Figura 108. Detalles de instalación del poste para la prueba estática y dinámica



Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2016)

Durante la prueba se mide la carga aplicada y la deformación del poste sufrida en el suelo, si estos valores de carga se encuentran por debajo curva naranja (criterio de aceptación), es porque el suelo requiere ser rigidizado con algún material de relleno.

Figura 109. Criterios de aceptación o rechazo de la rigidez del suelo (ensayo dinámico).



Fuente: (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2016)

Una vez logrado un comportamiento aceptable del suelo en la prueba dinámica, se procede a realizar un ensayo estático, antes de las pruebas de impacto de las barreras. Las curvas de prueba

estática no deben diferir en un 90% para que la configuración del suelo cumpla con el comportamiento mecánico esperado.

Para mayor detalle de posibles tratamientos al suelo para instalación de barreras semirrígidas, puede consultarse AASHTO (2011) Roadside Design Guide en el numeral 5.6.7 Guardrail Posts in Rigid Foundations.



Fuente: Ministerio de Transporte - <https://flic.kr/ps/2WnpJd>

La intrusión del vehículo como parámetro de comportamiento dinámico de la barrera

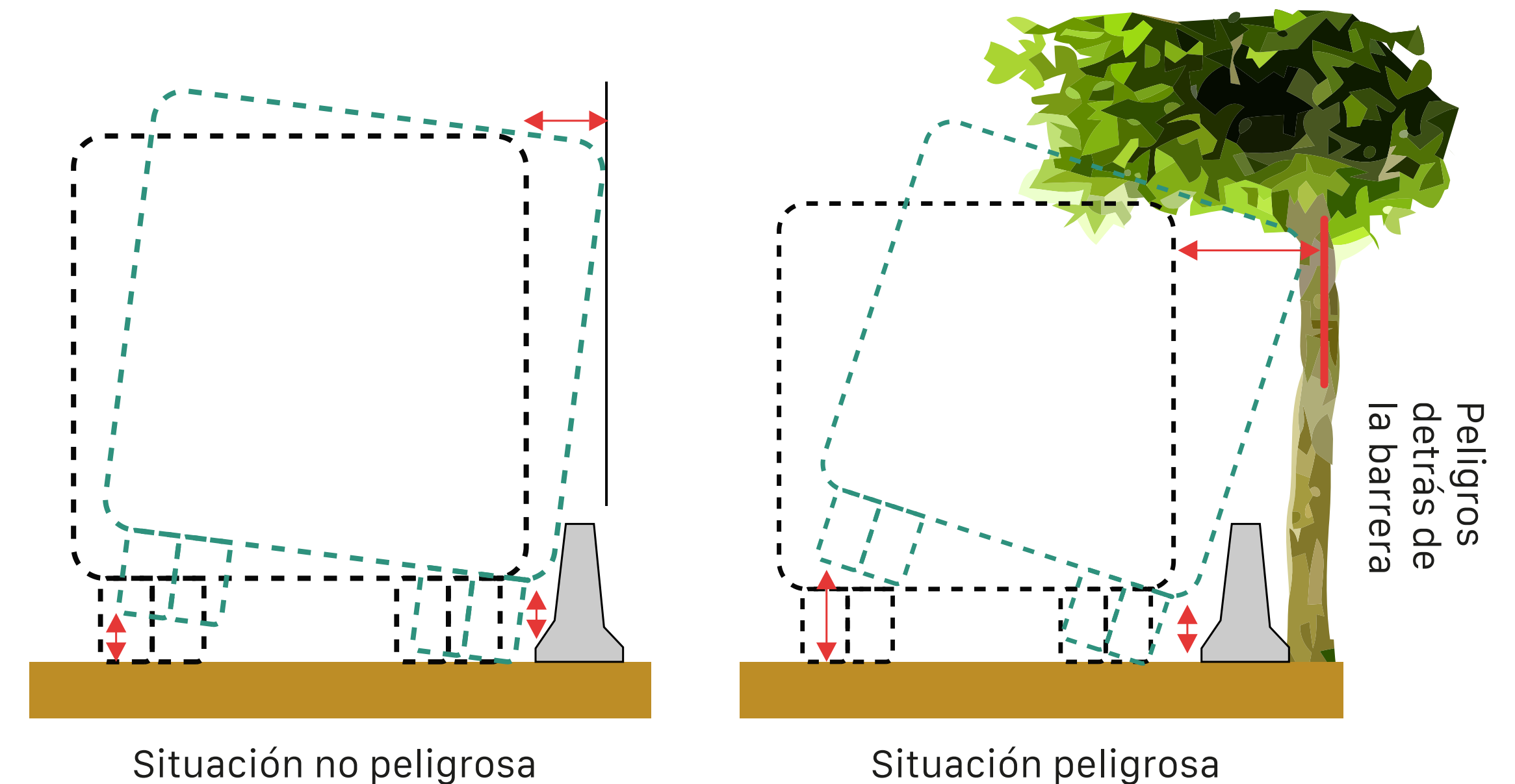
La deformación de las barreras longitudinales en los ensayos de impacto de la norma EN 1317 está caracterizada por el ancho de trabajo normalizado (WN) y la intrusión del vehículo normalizado (VIN).

La intrusión es un parámetro que está definido dentro del comportamiento de vehículos pesados contra las barreras y, según EN 1317-2, corresponde a su máximo desplazamiento lateral dinámico medido con respecto a la cara al tráfico de la barrera sin deformar.



Fuente: Ministerio de Transporte - <https://flic.kr/ps/2WnpJd>

Figura 109. Saltos y cabeceos del vehículo que impacta contra una barrera de concreto típica.



Fuente: Elaboración propia a partir de (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2011).

El diseñador debe determinar cuándo tiene sentido determinar este parámetro y cuándo no. Dado que los valores medidos de intrusión salen de las pruebas de impacto a escala real, es necesario establecer si hay riesgo de que un vehículo durante su "cabeceo" impacte contra algún objeto o elemento detrás de la barrera y este riesgo es mayor en la medida de que los objetos fijos estén muy cercanos a la parte posterior de la barrera. En el caso de barreras centrales, el riesgo aumenta cuando el separador está prácticamente limitado al ancho de la barrera y las bermas son muy angostas o inexistentes.

Con relación a la intrusión vehículo, el estándar EN 1317 lo parametriza de la siguiente manera según se indica en la Tabla 38.

Tabla 38. Intrusión del vehículo normalizado según normativa EN 1317.

Clase de nivel de intrusión	Niveles de intrusión del vehículo (m)
VI ₁	VIN ≤ 0,6
VI ₂	VIN ≤ 0,8
VI ₃	VIN ≤ 1,0
VI ₄	VIN ≤ 1,3
WVI ₅	VIN ≤ 1,7
VI ₆	VIN ≤ 2,1
VI ₇	VIN ≤ 2,5
VI ₈	VIN ≤ 3,5
VI ₉	VIN > 3,5

Fuente: (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2011)

Si diseñador ha determinado que requiere especificar este parámetro y ha establecido el valor probable de seguridad que debe garantizar, debe seleccionar el VIN junto con el NC, WN e índice de severidad ASI.



La movilidad
es de todos

Mintransporte

METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO, SELECCIÓN E INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE CONTENCIÓN VEHICULAR



Agencia
Nacional de
Seguridad Vial