



Mayo, 2011

Universidad de Costa Rica  
Vicerrectoría de Investigación

Germán Valverde González



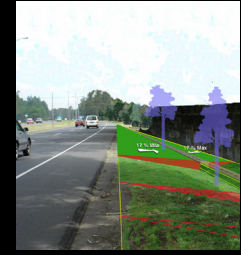
**Cunetas y drenajes**

Colocación de tapas de concreto para hacer traspasable el margen



**Sistemas de contención**

Instalación de barrera de seguridad empotrada en el talud de corte



**Tratamiento del margen**

Sustitución de árboles y aplanamiento del terreno amplían la zona libre

## MANUALSCV

# Guía para el análisis y diseño

## de seguridad vial de márgenes de carreteras







**Mayo, 2011**

Universidad de Costa Rica  
Vicerrectoría de Investigación  
Germán Valverde González

## **MANUALSCV**

# Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras

Universidad de Costa Rica  
Vicerrectoría de Investigación

**Autor**

Ing. Germán Valverde González, M.B.A., M.Sc.  
*Profesor de la Escuela de Ingeniería Civil*  
*Universidad de Costa Rica*

**Con el apoyo técnico de**

Ing. Ruth Quesada Valverde  
*Asistente de Ingeniería*  
*Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales*  
*Universidad de Costa Rica*

Ing. Ángel Valentín Martínez  
*Responsable Proyectos Internacionales*  
*División de Equipamiento Vial*  
*HIASA*

Este es un proyecto de:



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA



Patrocinado por:



LABORATORIO NACIONAL  
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURAL

# Contenido

## I Introducción 7

- 1 Antecedentes 7
- 2 El concepto de carreteras que perdonan 8
- 3 Los sistemas de contención vehicular 8
- 4 Objetivos 9
- 5 Ámbito de aplicación 9
- 6 Conceptos básicos 9

## II Sistemas de contención 15

- 1 Definiciones 15
- 2 Ensayos a escala real 16
- 3 Factores que se consideran en la selección de barreras de seguridad 33
- 4 Criterios generales para la disposición de las barreras de seguridad 35
- 5. Terminales de barreras y amortiguadores de impacto 39

## III Procedimiento de análisis 47

- 1 El procedimiento 47
- 2 Zona libre 47
- 3 Identificación y tratamiento de peligros potenciales 54
- 4 Procedimiento de diseño de las barrera de contención vehicular 62

## IV Bibliografía 83



# Introducción

## 1 Antecedentes

De acuerdo con las estadísticas nacionales e internacionales, los eventos conocidos como “accidentes por salida de la vía”—aquellos accidentes viales que se producen cuando un vehículo se sale de la superficie de circulación de la carretera y colisiona con algún objeto fijo, vuelca o atropella a un tercero en el margen de la carretera— producen más del 30% de las muertes en carretera.

Por esta razón, mejorar y acondicionar los márgenes de la red de carreteras es una medida muy efectiva en la reducción de las víctimas de los accidentes de tránsito. Para realizar esta labor adecuadamente es necesario contar con criterios técnicos fundamentados y uniformes y por ello nace la iniciativa del autor de desarrollar un manual técnico para el análisis de márgenes de carretera y la disposición de sistemas de contención vehicular para Costa Rica.

El diseño de los márgenes de una vía, como un componente del diseño integral de una carretera, es un concepto relativamente reciente, y forma parte del concepto general conocido como “carreteras que perdonan” (“Forgiving Highways”). La mayoría de los componentes de diseño de una vía fueron establecidos a finales de los años 40 y en los años 50. Estos componentes incluyen el alineamiento horizontal, el alineamiento vertical, el diseño hidráulico, la distancia de visibilidad, entre otros.

El concepto básico de diseño de una carretera se ha mantenido por décadas. El diseño de seguridad vial de los márgenes de carreteras no comenzó sino hasta finales de los años 60, después de muchas discusiones, y fue en la década de los años 70 cuando este tipo de diseño se incorporó en los proyectos de carreteras a nivel mundial.

En Costa Rica es hasta el año 2007 que el ingeniero y profesor de la Universidad de Costa Rica, Germán Valverde González, inicia la elaboración de un manual técnico de análisis y diseño de márgenes de carreteras, que incorpora en esta guía el estado del arte sobre esta materia.

Es así como durante el primer semestre del 2007 el Ing. Valverde junto con la estudiante Ruth Quesada, proponen como Trabajo Final de Graduación en la Escuela de Ingenie-

ría Civil de la Universidad de Costa Rica, el tema de investigación titulado “Revisión de criterios para la disposición de los sistemas de contención vehicular en Costa Rica”.

Posteriormente en el 2008, siendo entonces coordinador del Programa de Infraestructura de Transporte (PITRA) del Lanamme, el Ing. Valverde propone invertir parte de los fondos generados por el “I-Congreso Iberoamericano de Seguridad Vial (I-CISEV)” —evento organizado por el Lanamme en agosto del 2008, bajo la dirección del Ing. Valverde— en la elaboración de una guía técnica de seguridad vial de los márgenes de carreteras, que incluya los criterios técnicos para el diseño de sistemas de contención vehicular para Costa Rica, que se base en las conclusiones y recomendaciones del Trabajo Final de Graduación (TFG) de Ruth Quesada.

De esta forma, el año 2009 el Ing. Valverde elabora un estudio de validación de los criterios y recomendaciones expuestos en el TFG de Ruth Quesada y plasmados en un borrador de Manual elaborado por el Ing. Valverde. Este estudio (Valverde, G., 2009) consistió en analizar las condiciones de seguridad existentes en los márgenes de la Carretera Florencio del Castillo, a la luz de los criterios técnicos expuestos en el borrador de Manual. Este trabajo fue financiado con los fondos generados por el I-CISEV. En la ejecución de este trabajo participaron funcionarios de la Dirección General de Ingeniería de Tránsito (DGIT) y del Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI).

Para finalizar la elaboración del manual, en julio del 2010 el Ing. Valverde inscribe ante la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, el proyecto de investigación denominado “Infraestructura y Seguridad Vial”, y es así como se elabora la primera versión del “Manual SCV: Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras de Costa Rica”.

Para elaborar este documento se hizo una revisión de diversos manuales técnicos internacionales, de los cuales se adoptó aquellas metodologías que mejor se adaptan a las condiciones de Costa Rica, o aquellas que se consideraron con mayor nivel de desarrollo técnico. Como parte de la investigación se proponen criterios técnicos para la elección de sistemas de contención vehicular, así

como también se adaptaron las metodologías y otros criterios que fueron adoptados de la práctica internacional. Así por ejemplo, los criterios para determinar si la sección transversal de una cuneta se considera traspasable, son una adaptación para Costa Rica de los criterios recomendados en **AASHTO (2002)**; los criterios para establecer el nivel de contención de las barreras de seguridad son una combinación de las metodologías de España, Italia y Alemania, con una adaptación a las condiciones de tráfico y velocidad de las vías nacionales; mientras que la metodología de diseño de rampas de escape han sido adaptadas de la norma mexicana **SCT (2007)**.

## 2 El concepto de carreteras que perdonan

Existen muchas razones por las cuales un vehículo se sale de la vía y sufre un accidente en el margen de la carretera, que incluyen: fatiga o inatención del conductor, exceso de velocidad, conducir bajo los efectos de drogas o alcohol, evitar un choque, condiciones de la superficie de ruedo como lluvia, presencia de materiales sueltos como grava, aceite, entre otros, falla mecánica del vehículo, pobre visibilidad.

Independientemente de la causa por la cual un vehículo se sale de la vía, un margen de carretera libre de obstáculos fijos y con taludes de pendiente suave dan la oportunidad al conductor de reconducir su vehículo de vuelta a su carril de circulación, evitando que se vuelque o colisione con objetos fijos.

El concepto de “carreteras que perdonan” consiste en, permitir a los vehículos errantes abandonar involuntariamente la vía y, encontrarse con un margen de carretera cuyo diseño reduzca las consecuencias del accidente. Este concepto ha sido refinado al punto de que el diseño de los márgenes de carreteras, en muchos países, ha sido incorporado como parte integral de los criterios de diseño de la infraestructura vial.

Las opciones de diseño para evitar que elementos de la infraestructura, obstáculos y otros elementos sean potenciales peligros en los márgenes de una carretera son, en orden de preferencia, los siguientes:

1. Remover o eliminar el obstáculo o peligro.
2. Rediseñar o modificar el obstáculo para que sea traspasable de forma segura.
3. Relocalizar el obstáculo a un sitio donde sea menos probable colisionar contra él.
4. Reducir la severidad de un potencial impacto usando un dispositivo fusible apropiado.
5. Proteger del obstáculo mediante un sistema de contención vial (como una barrera de seguridad o un amortiguador de impactos, entre otros) diseñado para

contener y redireccionar a los vehículos.

6. Delinear o demarcar el obstáculo en caso de que las opciones anteriores no sean factibles o apropiadas.

## 3 Los sistemas de contención vehicular

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, desniveles, dispositivos de control del tránsito, estructuras y otras vías, además de objetos o individuos vulnerables situados en los márgenes de la carretera, lo que hace necesario considerar la instalación de dispositivos especiales para garantizar la seguridad vial, tales como barreras de seguridad, amortiguadores de impacto, pretilos de puente, entre otros.

Cuando no exista la posibilidad razonable, técnica o económica, de resolver las situaciones de riesgo a través de una intervención en el diseño; la eliminación, desplazamiento o modificación del 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.

Los sistemas de contención vehicular son dispositivos que se instalan en los márgenes de una carretera, su finalidad es retener y redireccionar los vehículos que salen fuera 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.

La colisión con un sistema de contención vehicular constituye un accidente sustitutivo del que tendría lugar en caso de no existir este mecanismo, y de consecuencias más predecibles y menos graves; pero esto no significa que los ocupantes del vehículo estén exentos de riesgos. Las barreras y sus terminales constituyen también un obstáculo en los márgenes de las vías y solo deben colocarse si se espera que tal dispositivo reduzca la severidad del accidente, al evitar que el vehículo colisione con un objeto rígido, vuelque o ingrese a una zona peligrosa.

El presente documento recopila los criterios de diseño que rigen para las barreras de seguridad, los terminales de barrera y las transiciones. Se debe resaltar que el término diseño implica la selección del nivel de contención del sistema y la disposición de éste con respecto al obstáculo y la carretera. El término no incluye la especificación de los componentes de un sistema, como por ejemplo las características estructurales de la viga de



una barrera flexible, el tamaño de los pernos, el tipo de postes, etc.

Los conceptos y procedimientos que se presentan en este manual no sustituyen el criterio del ingeniero. En cada caso se debe realizar un análisis particular de la zona peligrosa y evaluar los beneficios de los posibles tratamientos. La mejor solución es aquella que brinda el nivel de protección requerido por los usuarios de la carretera al menor costo durante un determinado período de tiempo. Siempre se debe analizar la viabilidad económica de otras propuestas que incluyen la eliminación o modificación del obstáculo, cambios en el diseño geométrico de la vía, extensión de la zona libre disponible, intervenciones en la estructura de pavimentos, entre otras.

#### 4 Objetivos

Los objetivos del manual se puntualizan a continuación:

- Exponer los conceptos relacionados con la evaluación y diseño de los márgenes de una carretera y su relación con los accidentes por salida de vía.
- Listar los elementos potencialmente peligrosos más comunes que se ubican en los márgenes de las vías y especificar los criterios técnicos para evaluar el potencial riesgo que producen según sus características.
- Proponer posibles tratamientos para los elementos potencialmente peligrosos más comunes.
- Definir los requerimientos que deben cumplir los sistemas de contención vehicular que se utilicen en Costa Rica.
- Brindar pautas y procedimientos para la selección y disposición de las barreras de seguridad, los terminales de barrera y las transiciones, y otros sistemas de seguridad vial para los márgenes de carreteras.

#### 5 Ámbito de aplicación

Los criterios establecidos en esta guía son

aplicables a proyectos nuevos de construcción o proyectos de conservación, rehabilitación y reconstrucción de carreteras que incluyan la intervención de los márgenes de las carreteras.

Los proyectos de rehabilitación o restauración de la red vial principalmente se enfocan en el mantenimiento de la estructura de pavimento, sin embargo, se pueden incluir especificaciones dirigidas a realzar la seguridad vial de la carretera y, más específicamente, al tratamiento de los peligros en los márgenes de la vía. Debido a las limitaciones presupuestarias, se deben identificar aquellas zonas peligrosas más críticas que requieren ser intervenidas perentoriamente. Los proyectos que contemplan realizar cambios en el trazado del alineamiento horizontal o vertical de la vía, presentan las más amplias oportunidades para aplicar los conceptos propuestos en este manual.

#### 6 Conceptos básicos

##### 6.1 Los accidentes por salida de la vía

Los accidentes por salida de la vía comprenden aquellos sucesos eventuales en que un vehículo errante sale de la calzada y colisiona con un objeto fijo, invade otra vía o desciende por un talud empinado y se vuelca.

Un accidente por salida de la vía puede ocurrir al margen derecho o izquierdo de la calzada. Si el vehículo sale de su carril de circulación por el margen izquierdo, puede irrumpir en la mediana de la carretera (vías de calzada separada) o puede cruzar los carriles de circulación en sentido contrario y luego salir de la vía (vías de calzada única) o en el peor de los casos se puede producir una colisión frontal.

La salida de la vía se puede producir por causas directas relacionadas con la infraestructura vial, el ambiente, el conductor o el vehículo, por ejemplo:

##### Infraestructura

- Demarcación horizontal y señalización deficientes.
- Mala condición de la estructura de pavimento.
- Falta de iluminación.

**Conductor**

- Maniobras inseguras.
- Uso de drogas.
- Conducción temeraria (exceso de velocidad).
- Despiste, confusión, duda o cansancio en el conductor.

**Vehículo**

Fallas mecánicas del vehículo.

**Ambiente**

- Falta de visibilidad debido a la lluvia o neblina
- Interferencia de un objeto, usuario o tercero vulnerable.

Un accidente por salida de la vía también se puede producir de forma indirecta, como un efecto secundario de otro evento, por ejemplo un vehículo podría salir de la vía luego de colisionar a otro vehículo por detrás.

Generalmente, los accidentes por salida de la vía involucran solamente un vehículo, sin embargo, si otro vehículo en movimiento o estacionado se ve implicado en el incidente, se puede considerar como una colisión múltiple.

Las estrategias para reducir los accidentes por salida de la vía se enfocan en alguno de los siguientes objetivos:

- Evitar que los vehículos salgan de la

Objetivo	Estrategia
Evitar que los vehículos se salgan de la vía	<p>Instalar bandas sonoras en los espaldones o en medio de los carriles de circulación.</p> <p>Ensanchar los carriles de circulación.</p> <p>Mejorar el alineamiento horizontal de la vía.</p> <p>Brindar un adecuado mantenimiento al pavimento, específicamente se debe verificar la fricción entre la llanta y el pavimento.</p> <p>Proveer demarcación y señalización adecuada a la carretera.</p> <p>Ampliar el espaldón.</p> <p>Pavimentar los espaldones.</p> <p>Eliminar el desnivel entre el espaldón y el carril de circulación.</p>
Minimizar la probabilidad de que un vehículo colisione con un objeto fijo peligroso o se vuelque si desciende por un talud	<p>Diseñar e implementar elementos traspasables y seguros.</p> <p>Remover o reubicar los objetos fijos potencialmente peligrosos.</p> <p>Delinear los obstáculos o zonas peligrosas</p>
Reducir la severidad del accidente por medio de la disposición de sistemas de contención vehicular	<p>Proveer el equipamiento vial adecuado como postes fusibles o quebradizos.</p> <p>Disponer sistemas de contención vehicular si no es posible eliminar, mitigar o modificar el peligro debido a razones técnicas, económicas o ambientales.</p>

**Tabla I-1**  
Estrategias aplicables según objetivo

**Fuente:**  
NCHRP Report 500, Volume 6

vía.

- Minimizar la probabilidad de que un vehículo colisione con un objeto fijo peligroso o se vuelque si desciende por un talud empinado.
- Reducir la severidad del accidente por medio de la instalación de dispositivos de seguridad.

Lo ideal es que el diseño de la vía se oriente a mantener el vehículo en el carril de circulación y proporcionar zonas seguras al margen de los carriles de circulación, donde el conductor pueda detenerse o reducir la velocidad y recuperar el control sin interceptar objetos o terceros vulnerables.

Si un vehículo sale fuera de control de la vía, la probabilidad de que ocurra un accidente depende de los elementos que se ubiquen al margen de la carretera, como por ejemplo árboles, postes, cunetas, taludes y componentes del sistema de drenaje. Si la zona al margen de la vía es un área plana, compactada y libre de objetos fijos, la probabilidad de que ocurra un accidente se minimiza, ya que en la mayoría de los casos el conductor es capaz de detener el vehículo o reconducirlo de manera segura.

Si un obstáculo o peligro no puede eliminarse, reubicarse o modificarse por razones técnicas, económicas o ambientales, se deben disponer sistemas de contención vehicular para reducir la severidad del accidente. El equipamiento vial como los postes y bases fusibles o quebradizas, las barreras de seguridad y sus terminales, los pretilos de puentes y los atenuadores de impacto son elementos que pretenden reducir la gravedad de las lesiones de los ocupantes del vehículo y las pérdidas materiales producto de la colisión, por lo tanto, se deben utilizar solamente si no es posible implementar ningún otro tratamiento, ya que los ocupantes del vehículo no están exentos de sufrir algún tipo de lesión o pérdidas materiales si colisionan contra el sistema.

En la **Tabla I-1** se resumen algunas de las principales estrategias según cada uno de los objetivos.

La lista presentada en el cuadro anterior no incluye todos los posibles tratamientos para reducir la frecuencia y severidad de los accidentes por salida de la vía. Desde las primeras etapas de un proyecto de construcción o

reconstrucción se pueden implementar otras estrategias que permitan reforzar la seguridad vial que incluyen aspectos como la planificación del desarrollo urbano para limitar los accesos a la vía y la ubicación de las paradas de buses por calles marginales.

Las estrategias que plantean modificar el diseño geométrico de la vía, como mejorar el alineamiento horizontal o ampliar el ancho de la calzada, generalmente son aplicables a proyectos de construcción de carreteras nuevas o reconstrucción de tramos extensos, ya que su costo de implementación y operación se considera muy alto.

Las intervenciones en la infraestructura al margen de la vía, son medidas que se pueden implementar rápidamente y de forma puntual en carreteras existentes y si se aplican de manera acertada, producen excelentes resultados en un corto plazo. Su costo de implementación depende de muchos factores, especialmente de la longitud de la vía que se va a intervenir, la necesidad de ampliar o recuperar el derecho de vía y el estado actual del equipamiento vial.

El enfoque del presente manual se dirige hacia los últimos dos objetivos que se presentan en la tabla, ya que pretende servir como guía de diseño de las zonas libres al margen de la vía y la disposición de sistemas de contención vehicular.

## 6.2 Evaluación de la seguridad en los márgenes de una vía

Identificación de elementos potencialmente peligrosos

El primer paso que debe dar un proyectista o un auditor, cuando pretende evaluar la seguridad de una carretera nueva o existente respecto a los accidentes por salida de vía, es identificar los elementos potencialmente peligrosos en el entorno de la carretera.

Un elemento potencialmente se identifica a partir de las siguientes condiciones:

- La naturaleza del elemento es tal que su interacción con un vehículo puede producir graves lesiones a sus ocupantes. Para ello se deben considerar sus dimensiones, geometría, configuración, rigidez, etc.

- La distancia del elemento potencialmente peligroso al borde de la vía es igual o inferior a una distancia mínima preestablecida, denominada zona libre necesaria (En el capítulo 3 de éste manual se presenta la definición y metodología de cálculo de la zona libre necesaria). Un objeto que por sus características sea agresivo, no se considera como peligroso si se encuentra suficientemente alejado de la carretera.
- El registro de accidentes indica que un determinado elemento es un peligro y debe tratarse.

### 6.3 Tratamientos y diseño de las soluciones

En esta fase se proponen los posibles tratamientos para cada uno de los obstáculos y se realizan los diseños correspondientes para efectos de poder comparar las soluciones en la siguiente fase.

En la **Tabla I-2** se listan las estrategias y

algunos tratamientos específicos asociados, como ejemplos, según orden de preferencia desde el punto de vista de la seguridad vial.

El costo de los tratamientos abarca un amplio rango desde los muy costosos hasta los relativamente económicos. Entre los tratamientos más costosos se puede mencionar la ampliación de la zona libre disponible al margen de la vía por medio de la adquisición de propiedades (ampliación del derecho de vía) o la conformación de taludes traspasables y seguros en el derecho de vía disponible. Los tratamientos más económicos, lo que no significa que sean baratos o su costo sea despreciable, son los que se enfocan en remover el obstáculo de la vía o reubicarlo más allá del límite de la zona libre necesaria.

La colocación de postes de sección fusible o de naturaleza deformable a lo largo de toda una vía también puede requerir una inversión muy elevada. El uso de tales dispositivos está únicamente extendido en los Estados Unidos de América y parte de Europa, ade-

Estrategia	Tratamientos (ejemplos)
Remover los obstáculos	Remover las rocas de los márgenes de la vía  Reemplazar los árboles de tronco mayor a 10,0 cm de diámetro en su madurez
Modificar el obstáculo	Aplanar los taludes en los márgenes de la vía.  Diseñar cunetas traspasables.  Implementar dispositivos fusibles o quebradizos.  Modificar los terminales de alcantarillas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Construir cubiertas de concreto para los cabezales.</li> <li>• Construir terminales oblicuos que no sobresalgan del talud del terraplén.</li> </ul>
Reubicar el objeto fuera de la zona libre necesaria para reducir la probabilidad de que sea impactado por un vehículo	Reubicar los árboles pequeños fuera de la zona libre necesaria  Reubicar los postes fuera de la zona libre necesaria.
Colocar un sistema de contención vehicular	Colocar barreras de seguridad para proteger a los usuarios de objetos fijos rígidos, taludes empinados o desniveles  Colocar pretiles en los puentes y en las coronaciones de muros de retención
Delinear el obstáculo si ninguna de las opciones anteriores es factible	Delinear los postes con balizas o cinta retroreflectiva.

**Tabla I-2**  
Ejemplos de tratamientos

más plantea otros problemas de seguridad secundarios como son la caída de fragmentos sobre la vía, los cuales pueden constituir un grave obstáculo para el tránsito.

La eliminación o desplazamiento del obstáculo a veces resulta inaplicable debido a la naturaleza y finalidad del elemento, como es el caso de los soportes de señales verticales, luminarias, elementos de la infraestructura de drenaje de aguas pluviales, pilares de puentes, etc. Otras veces, el desplazamiento o eliminación de un obstáculo requiere inversiones elevadas o sencillamente esta solución no se quiere asumir por motivos que nada tienen que ver con la seguridad vial, como la eliminación de árboles que afectaría las condiciones estéticas y ecológicas.

La ampliación de la zona libre disponible al margen de la vía no siempre resulta factible por razones económicas y además siempre existe la posibilidad de que un vehículo colisione con algún objeto ubicado más allá del límite de la zona libre necesaria, la cual se establece como un valor mínimo para garantizar un nivel de seguridad aceptable en la vía.

Cualquiera otra medida de mitigación del peligro es siempre preferible a la instalación de un sistema de contención vehicular, siempre y cuando el tratamiento sea técnicamente posible y su costo sea razonable. En una buena parte de los casos, no obstante, la única solución es la implantación de un sistema, especialmente en las carreteras existentes. Debe aclararse que la instalación de estos dispositivos en los márgenes de la carretera representa, en la gran mayoría de los casos, un obstáculo más en la vía, motivo por el cual no se recomienda su uso, a menos de que se haya demostrado la imprescindible necesidad de utilizarlo, más allá de otras posibles soluciones. En ese caso, será preciso establecer el tipo de dispositivo (nivel de contención) y su disposición en campo (longitud del sistema y posición con respecto al obstáculo y el borde de la vía).

La colisión con un sistema de contención de vehículos constituye un accidente sustitutivo del que tendría lugar en caso de no existir este mecanismo, y de consecuencias más predecibles y menos graves; pero esto no significa que los ocupantes del vehículo estén exentos de riesgos. Los sistemas rígidos pueden absorber menos energía del impacto,

por lo que deben colocarse solo en aquellas situaciones de alto riesgo, como en plataformas de puentes o coronaciones de muros de retención.

Usualmente, el sistema más adecuado será uno que cumpla con los requerimientos básicos y además tenga a lo largo de su vida útil una relación costo/beneficio menor. La evaluación de costos y beneficios no se encuentra establecida de manera objetiva, sin embargo, el análisis de los riesgos asociados, las condiciones de operación, la geometría y cualquier otro aspecto relevante permitirán establecer criterios de jerarquización adecuados para una valoración técnica del especialista.

#### **6.4 Análisis de las posibles soluciones y priorización de acciones**

La última fase consiste en realizar una evaluación cuantitativa de las opciones de tratamiento, para ello se utilizan técnicas de análisis económico como la razón costo/beneficio (C/B). Los beneficios se miden en términos de reducción de costos sociales como consecuencia de la disminución en el número de accidentes y/o la severidad de las colisiones. Los costos directos comprenden los costos de instalación, construcción, mantenimiento y reparación de los dispositivos de seguridad implementados. Se debe destacar, que la solución recomendada según criterios económicos también debe ser valorada cualitativamente, considerando factores sociales y ambientales.

Las acciones que deben ejecutarse para tratar los peligros en los márgenes de las vías se priorizan de acuerdo a técnicas de análisis de costo/beneficio y el juicio de los ingenieros encargados del proyecto.



# II Sistemas de contención

## 1 Definiciones

Un **sistema de contención vehicular** es un dispositivo que tiene por objeto reducir la gravedad de las consecuencias de los accidentes por salida de la vía, tanto para los ocupantes del vehículo como para otros usuarios de la vía y terceros situados en las proximidades. Su función es sustituir la colisión del vehículo contra el obstáculo por un impacto más controlado contra el mismo sistema. Por lo tanto, su función no es prevenir los accidentes por salida de la vía, sino más bien reducir su severidad.

Clasificación de los sistemas según su función y ubicación:

**Barrera de seguridad:** es un sistema longitudinal paralelo al flujo vehicular, su propósito es contener y redireccionar los vehículos que pierden el control y salen de la vía.

Barreras de seguridad especiales:

- Sistemas de valor estético: se utilizan en parques nacionales y zonas protegidas para realzar la belleza del paisaje.
- Sistemas de contención para motociclistas: son sistemas de seguridad que se diseñan para evitar que los motociclistas sufran lesiones graves si pierden el control y colisionan contra la barrera de seguridad.
- Sistemas para ciclistas y peatones: se utilizan en puentes peatonales o ciclo-

vías.

La rigidez de la barrera se define como la capacidad que posee de soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones o desplazamientos. Los sistemas rígidos casi no se deforman si son impactados por un vehículo, por lo que resultan elementos más agresivos para los usuarios de las vías.

Las barreras de seguridad se clasifican según su rigidez en una de las siguientes categorías.

- Flexibles.
- Semi-rígidas.
- Rígidas.

La **Tabla II-1** muestra los rangos de deflexión para cada uno de los tipos de barrera.

Si hay suficiente espacio entre el obstáculo y el borde de la vía, es preferible colocar una barrera flexible o semi-rígida, ya que imponen menores fuerzas de impacto a los ocupantes del vehículo, reduciendo la posibilidad de que sufran lesiones severas.

**Atenuador de impacto:** es un dispositivo que detiene un vehículo a una razón de desaceleración tolerable para sus ocupantes o redirecciona el vehículo lejos del objeto potencialmente peligroso.

**Pretil de puente:** es un sistema análogo a una barrera de seguridad, pero se diseña específicamente para bordes de tableros de obras de paso, puentes, coronaciones de muros de retención y obras similares.



**Figura II-1**  
Barrera de seguridad metálica

FUENTE: [www.condesa.com](http://www.condesa.com)



**Figura II-2**  
**A.** Barrera de seguridad ornamental  
**B.** Pretil para puentes peatonales o ciclovías

**Terminal de barrera:** es un sistema que se diseña para reducir la probabilidad de que un vehículo sea lanzado, se vuelque o sufra una excesiva desaceleración si impacta el extremo de una barrera de seguridad. Generalmente incluyen el anclaje de la barrera de seguridad.

**Transición:** una sección de barrera cuya rigidez aumenta gradualmente para unir un sistema flexible o semi-rígido a un sistema rígido o un objeto fijo.

**Lechos de frenado, rampas de escape o rampas de frenado:** son áreas adyacentes a la calzada de la carretera donde los vehículos pesados pueden detenerse si pierden el control. El terreno se conforma de materiales limpios, difíciles de compactar y con alto coeficiente de resistencia al rodado. Los lechos de frenado también pueden ser un carril de escape pavimentado.

el comportamiento de los sistemas de contención vehicular, como el comportamiento estructural, el riesgo para los ocupantes del vehículo y el comportamiento del vehículo de ensayo después del impacto. Su propósito es verificar el adecuado funcionamiento del sistema, para garantizar la seguridad de los ocupantes del vehículo, otros usuarios de la vía y terceros vulnerables.

Los ensayos se realizan bajo condiciones ideales, entre las que se pueden mencionar:

El terreno donde se realiza la prueba posee una superficie plana y nivelada, libre de obstáculos.

- Se utiliza un tipo específico de vehículo, la masa, dimensiones y altura del



**Figura II-3**  
 Atenuador de impacto instalado en acceso al Puente sobre Rotonda Del Rancho de Guanacaste

## 2 Ensayos a escala real

### 2.1 Conceptos

Los ensayos a escala son pruebas normadas que han sido diseñadas para evaluar uno o más de los principales factores que afectan

Clasificación	Deflexión (m)	Ejemplos
Flexible	2,0 - 3,5	Barreras de cables
Semi-rígido	0,6 - 2,0	Barreras de viga triple onda
Rígido	0,0 - 0,6	Barreras de concreto ancladas

**Tabla II-1**  
 Rangos de deflexión de las barreras de seguridad



centro de gravedad (CG) se especifican en las normativas.

- El vehículo se lanza contra el sistema de contención a una cierta velocidad y trayectoria (ángulo de impacto).
- El vehículo se encuentra en marcha durante el ensayo. No se considera el efecto de los frenos, por lo que el vehículo no se desliza ni rota sobre su eje.

Las condiciones en las carreteras generalmente difieren de aquellas que se construyen durante las pruebas a escala real, por lo tanto, el ingeniero debe prestar atención a algunos factores importantes cuando se instala un sistema.

- Las condiciones del sitio, como el estado del espaldón.
- El relieve del terreno (las pendientes en los márgenes de las vías).
- Condiciones del terreno en los márgenes: tipo de suelo, grado de compactación, vegetación, etc.
- La cimentación de los postes, ya que el suelo debe proveer el soporte requerido durante el impacto.
- La presencia de otros elementos de la infraestructura vial o naturales.
- La dinámica de un vehículo fuera de control que sale de la carretera (la trayectoria más probable que seguiría un vehículo que sale de la vía fuera de control).

Las pruebas de impacto a escala real son un medio para verificar el óptimo desempeño de una barrera de seguridad en servicio, por lo que resulta necesario replicar en campo las condiciones de instalación de la barrera durante el ensayo. La mejor recomendación es aplicar de manera consistente los criterios establecidos en las normativas, estándares y



FUENTE: www.hiasa.com

A



FUENTE: www.hiasa.com

B



FUENTE: www.hiasa.com

C



FUENTE: www.fhwa.dot.gov

D



FUENTE: www.hyd.gov.hk

E

**Figura II-4**  
 A. Pretil de puente  
 B. Terminal de barrera  
 C. Comportamiento del terminal de barrera  
 D. Transición entre sistemas  
 E. Rampa para frenado de emergencia

especificaciones técnicas de los fabricantes. Sin embargo, el rendimiento de las barreras de seguridad y otros productos debe ser monitoreado en campo para verificar su adecuado funcionamiento.

Se definen los siguientes parámetros para evaluar la eficiencia de las barreras de contención vehicular y definir los límites de aceptación así como las clases técnicas.

- Nivel de contención.
- Severidad del impacto.
- Deformación del sistema de contención.
- Capacidad de redireccionamiento o trayectoria del vehículo después de impactar el sistema.

El **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. Ninguna parte relevante del sistema debe desprenderse o penetrar en el habitáculo del vehículo durante la prueba, de manera que el vehículo se mantenga estable durante y después del impacto con el dispositivo. Un leve cabeceo, balanceo o inclinación puede ser aceptable.

La **severidad del impacto** se define como el nivel de riesgo de sufrir lesiones para los ocupantes del vehículo como consecuencia de una colisión. 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, es por ello que se han desarrollado a nivel mundial parámetros que permiten cuantificar la severidad del impacto, entre ellos se destacan las deceleraciones medidas en el interior del vehículo y la deformación del habitáculo.

La **deformación del sistema** se describe mediante dos distancias transversales que se miden durante los ensayos de impacto a escala real: ancho de trabajo (**W**) y deformación dinámica (**D**). Representan el máximo espacio transversal, que bajo las condiciones de impacto normalizadas del ensayo, ha sido empleado por el sistema durante su deformación. Si la deformación del sistema es mayor que el espacio transversal entre éste y la zona peligrosa, entonces el sistema no protege realmente al usuario del peligro (Ver **Figura II-6**).

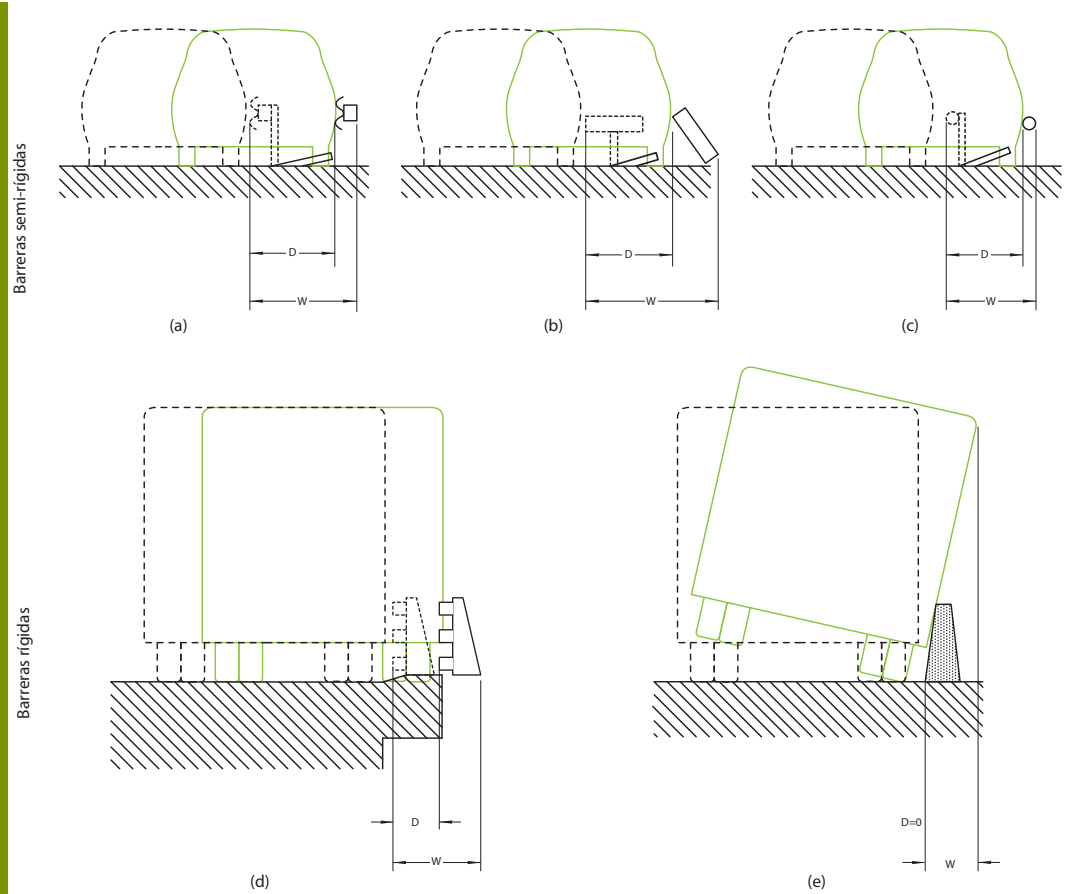


FUENTE: www.tti.tamu.edu

**Figura II-5**

Ensayo a escala real de una transición entre sistemas

**Figura II-6**  
Deflexión dinámica (D) y ancho de trabajo (W) de una barrera de contención vehicular



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 o vehículo.

La **deflexión dinámica (D)** es el máximo desplazamiento dinámico lateral de la cara del sistema más próxima al tráfico.

La deflexión dinámica y el ancho de trabajo permiten fijar la ubicación de la barrera de seguridad con respecto al obstáculo o zona peligrosa.

El **ángulo de salida** es un parámetro utilizado para medir la capacidad de la barrera de seguridad para otorgar al vehículo que la impacta una dirección de salida lo más paralela posible al eje de la calzada.

Una deformación horizontal excesiva del sistema puede producir un “embolsamiento”, lo que genera un ángulo de salida mayor al de entrada, como consecuencia el vehículo puede impactar otros vehículos que circulan por la misma vía o incluso puede volver a impactar la barrera del lado opuesto.

- La cimentación de los postes, ya que el suelo debe proveer el soporte requerido durante el impacto.

- La presencia de otros elementos de la infraestructura vial o naturales.

- La dinámica de un vehículo fuera de control que sale de la carretera (la trayectoria más probable que seguiría un vehículo que sale de la vía fuera de control).

## 2.2 Normativas de ensayo

Existen dos normativas para la evaluación de sistemas de contención vehicular, la norma europea EN 1317 y la norma NCHRP Reporte 350 estadounidense.

Estas normativas contienen procedimientos estándar de ensayo, evaluación y clasificación de los sistemas de contención vehicular.

## 2.3 Normativa europea EN 1317

### 2.3.1 Niveles de contención

Los criterios de ensayo que define la normativa europea EN 1317 se resumen en la **Tabla II-2**.

En función de los ensayos a los que son sometidas las barreras de seguridad y resultan exitosos se designa el nivel de contención del sistema.

Contar con una variedad de sistemas con distinto nivel de contención le permite al diseñador escoger el sistema de contención vehicular que mejor se ajuste a las características del tráfico (volumen y composición de la flota vehicular, velocidad de circulación) y las condiciones de la vía.

La norma EN 1317 clasifica las barreras de seguridad de acuerdo con los niveles de contención que se resumen en la **Tabla II-3**.

#### Observaciones

- Los niveles de baja contención (T1, T2

y T3) se supone que se utilizarán solamente en zonas de trabajo (los ensayos de impacto a escala real se realizan para ángulos de 8° y 15°), sin embargo, las barreras de seguridad temporales se pueden ensayar para niveles de contención más altos.

- Si un sistema supera las pruebas para un determinado nivel de contención, se considera que cumple con los requisitos de los niveles inferiores, con la excepción de N1 y N2 que no incluyen el nivel T3.

Los ensayos que se deben realizar para evaluar los parámetros en función de los cuales se valora la aceptación del sistema se presentan en la **Tabla II-4**, en función de cada uno de los niveles de contención.

Se aclara que durante el ensayo, después del impacto, se pueden producir colisiones secundarias del vehículo contra la barrera, las cuales no debe tenerse en cuenta para establecer la aceptación del sistema, ni determinar su comportamiento.

Ensayo	Velocidad de impacto (Km/h)	Ángulo de impacto (grados)	Masa del vehículo (Kg)	Tipo de vehículo
TB11	100	20	900	automóvil
TB21	80	8	1300	automóvil
TB22	80	15	1300	automóvil
TB31	80	20	1500	automóvil
TB32	100	20	1500	automóvil
TB41	70	8	10000	camión rígido de carga pesada
TB42	70	15	10000	camión rígido de carga pesada
TB51	70	20	13000	bus
TB61	80	20	16000	camión rígido de carga pesada
TB81	65	20	38000	camión articulado de carga pesada

**Tabla II-2**  
Criterios de ensayo según normativa EN1317

**Tabla II-3**  
Niveles de contención según normativa EN1317

Nivel de contención	Ensayos de aceptación	Índices de severidad del impacto	Deformación del vehículo	Deformación de la barrera de seguridad
T1	TB21	TB 21	TB 21	TB 21
T2	TB22	TB 22	TB 22	TB 22
T3	TB41 y TB21	TB 21	TB 21	TB 41
N1	TB31	TB 31	TB 31	TB 31
N2	TB32 y TB11	TB 32 + TB 11	TB 32 + TB 11	TB 32
H1	TB42 y TB11	TB 11	TB 11	TB 42
H2	TB51 y TB11	TB 11	TB 11	TB 51
H3	TB61 y TB11	TB 11	TB 11	TB 61
H4a	TB71 y TB11	TB 11	TB 11	TB 71
H4b	TB81 y TB11	TB 11	TB 11	TB 81

### 2.3.2 Niveles de severidad

Bajo la normativa EN 1317 para las barreras de seguridad con niveles de contención T3, N2, H1, H2, H3, H4a y H4b, además de determinar el nivel de contención máximo del sistema, se debe comprobar que el dispositivo no es una unidad tan rígida como para provocar lesiones severas a los ocupantes de un vehículo liviano.

Para evaluar el nivel de desaceleración del vehículo durante el impacto, se emplean indicadores arbitrarios obtenidos a partir de los registros de dispositivos (acelerómetros) instalados en el interior del vehículo y que se ubican próximos a su centro de gravedad. Éstos indicadores son:

- Velocidad Teórica de Choque de la Cabeza (**THIV**)
- Deceleración de la Cabeza tras el Choque (**PHD**)
- Índice de Severidad de la Aceleración (**ASI**)

El primero de ellos **THIV**, es el más intuitivo y se refiere a la velocidad con que la cabeza choca el parabrisas, los otros dos, **PHD** y **ASI**, corresponden a las deceleraciones que

se experimentan en el interior del vehículo. Si las desaceleraciones son excesivas, se producen daños severos y desprendimientos de órganos internos que pueden causar la muerte de los ocupantes del vehículo, por lo que sus valores deben ser limitados.

Los parámetros mencionados anteriormente tienen por finalidad servir de indicadores que aseguren que las barreras de contención vehicular no constituyen obstáculos muy rígidos que pueden causar lesiones muy graves a los ocupantes de los vehículos.

Cuanto mayor es el nivel de contención del sistema, mayor es la dificultad de los fabricantes por desarrollar diseños que presenten adecuados indicadores de nivel de severidad para vehículos livianos. Sin embargo, no se debe olvidar que las barreras de seguridad deben otorgar adecuadas desaceleraciones a los usuarios de cualquier tipo de vehículo.

Los índices de severidad deben conformarse a los requerimientos que se especifican en la **Tabla II-5**. Se establecen tres niveles de severidad en función de los índices **THIV**, **ASI** y **PHD**.

El nivel **A** ofrece un mayor grado de seguridad a los ocupantes del vehículo que el nivel **B**, y el nivel **B** ofrece un mayor grado

**Tabla II-4**  
Criterios de evaluación de ensayo según normativa EN 1317

<p><b>Niveles de contención</b></p>	<p>Los niveles de contención de las barreras de seguridad deben cumplir los requisitos de la <b>Tabla II-3</b> cuando se ensayen de acuerdo a los criterios de la <b>Tabla II-2</b>.</p> <p>La evaluación de un sistema T3, N2, H1, H2, H3 y H4b, requiere la realización de dos ensayos diferentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Un ensayo acorde al máximo nivel de contención del sistema</li> <li>• Un ensayo para comprobar que el dispositivo no es una unidad tan rígida como para provocar lesiones severas a los ocupantes de un vehículo liviano.</li> </ul>
<p><b>Severidad del impacto</b></p>	<p>Los indicadores de la severidad del impacto sufrido por los ocupantes del vehículo, los índices ASI, THIV y PHD, deben cumplir los requisitos de la <b>Tabla II-5</b> (los índices se definen en la normativa EN 1317-1)</p>
<p><b>Deformación del sistema</b></p>	<p>La deformación de la barrera de seguridad durante el ensayo de choque se caracteriza por la deflexión dinámica y la anchura de trabajo.</p> <p>La deformación del sistema debe ser compatible con el espacio disponible entre la barrera de seguridad y cualquier otro elemento ubicado detrás de la barrera.</p> <p>La deformación del sistema debe cumplir con los requisitos que se presentan en la <b>Tabla II-6</b>.</p> <p>La deformación y anchura de trabajo se deben registrar en el informe.</p> <p>Si durante el ensayo de choque se utilizan vehículos pesados o autobuses, se debe registrar la posición extrema lateral del sistema y la posición extrema lateral del vehículo.</p>
<p><b>Comportamiento de la barrera de seguridad</b></p>	<p>La barrera de seguridad debe contener y redireccionar el vehículo sin que se produzca rotura de los principales elementos longitudinales del sistema.</p> <p>No se debe desprender completamente ninguna parte esencial del sistema, ni representar un peligro evidente para los peatones, otros usuarios de la vía o el personal en las zonas de trabajo.</p> <p>Los anclajes al terreno y los elementos de unión entre las diferentes partes del sistema, se debe deben comportar de acuerdo con lo establecido en el diseño del mismo.</p>

**Tabla II-4 (Continuación)**  
 Criterios de evaluación de ensayo según normativa EN 1317

<p><b>Comportamiento del vehículo ensayado</b></p>	<p>El centro de gravedad del vehículo no debe sobrepasar el eje medio del sistema deformado.</p> <p>El vehículo debe permanecer recto (sin volcarse) durante y después del choque con el prototipo del sistema. Se considera aceptable un ligero balanceo u oscilación.</p> <p>El vehículo debe ser reconducido por la barrera de seguridad de tal forma que, después del impacto, la trayectoria de las ruedas no atraviese una línea paralela a la posición inicial de la cara del sistema más próxima al tráfico, situada a una distancia <b>A</b> de dicha cara aumentada en la anchura del vehículo y en el 16% de la longitud del vehículo, y sobre una distancia <b>B</b> medida desde la intersección final (ruptura) de la trayectoria de las ruedas del vehículo con la cara del sistema más próxima al tráfico.</p> <p>Para los vehículos tipo automóvil liviano y otros contemplados en la <b>Tabla II-2</b>, las distancias A y B se especifican en el siguiente cuadro.</p> <p style="text-align: center;">Criterios para las distancias de salida</p> <table border="1" data-bbox="529 892 1495 1098"> <thead> <tr> <th>Tipo de vehículo</th> <th>A (m)</th> <th>B (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Automóvil</td> <td>2,2</td> <td>10,0</td> </tr> <tr> <td>Otros vehículos</td> <td>4,4</td> <td>20,0</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo de vehículo	A (m)	B (m)	Automóvil	2,2	10,0	Otros vehículos	4,4	20,0
Tipo de vehículo	A (m)	B (m)								
Automóvil	2,2	10,0								
Otros vehículos	4,4	20,0								
<p><b>Deformación del vehículo de ensayo</b></p>	<p>La deformación del interior del vehículo se mide y registrará en formato VCDI en todos los ensayos con vehículos tipo automóvil, como se describe en la normativa EN 1317-1.</p>									

de seguridad que el nivel C. En igualdad de condiciones, es preferible instalar un sistema de nivel A.

### 2.3.3 Deformación del sistema

De acuerdo con su anchura de trabajo, la normativa EN 1317 clasifica la deformación de las barreras de seguridad de acuerdo con los criterios que se muestran en la **Tabla II-6**.

#### Observaciones

- Se puede especificar una clase de ancho de trabajo menor a W1.
- La deformación depende del tipo de sistema y las características del ensayo de impacto a escala real.
- La deformación dinámica y el ancho de trabajo permiten determinar las condiciones de instalación del sistema y definir el espacio que se requiere entre el dispositivo de seguridad y el obstáculo.
- En la normativa EN 1317 se exige que la huella de las llantas del vehículo se mantenga en el interior de una zona denominada “Recinto CEN” o si el vehículo atraviesa ésta zona, lo haga a una velocidad inferior al 10% de la velocidad nominal del ensayo.

### 2.3.4 Capacidad de redireccionamiento

La normativa EN 1317 evalúa la capacidad de redireccionamiento de un sistema mediante el Recinto CEN (“CEN Box”), que aparece representado en la **Figura II-7**.

Si las ruedas del vehículo tras el impacto cortan un segmento teórico paralelo ubicado a una cierta distancia del sistema, entonces

se considera que la barrera carece de capacidad de redireccionamiento y no es aceptable.

Debemos tener en cuenta que una de las funciones básicas de las barreras de seguridad y de los pretiles de puente es su facultad de reconducir los vehículos que abandonan la vía.

Las dimensiones del recinto CEN se definen de acuerdo con los criterios que se indican en **Tabla II-4** (Comportamiento del vehículo ensayado).

## 2.4 Normativa americana NCHRP Reporte 350

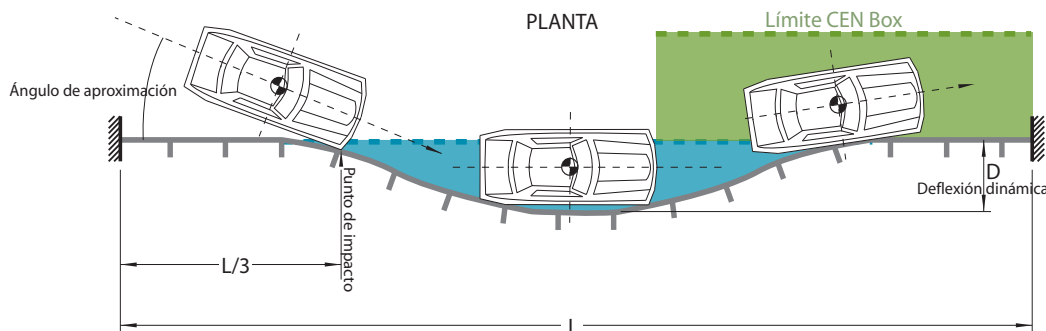
### 2.4.1 Niveles de contención

Los niveles de contención (niveles de prueba) y los criterios de evaluación que establece la normativa americana NCHRP Reporte 350 para los sistemas de contención vehicular se resumen en la **Tabla II-7**.

Para que los ensayos aplicados a una barrera de seguridad o a una transición de acuerdo con el Reporte 350 de la NCHRP se considere exitoso, y a dicho sistema se le asigne el nivel de contención correspondiente a los niveles de prueba de la **Tabla II-7**, los resultados de ensayo deben verificar una serie de criterios de evaluación, los cuales se resumen en la **Tabla II-8**.

### 2.4.2 Niveles de severidad

La normativa NCHRP Reporte 350 establece dos parámetros como criterios para evaluar el nivel de severidad para los ocupantes del vehículo, la velocidad de impacto de los ocupantes y la aceleración negativa experimentada durante los ensayos a escala real.



**Figura II-7**  
Deflexión dinámica (D), ángulo de aproximación y ángulo de salida



Tabla II-5 Niveles de severidad del impacto según normativa EN1317	Nivel de severidad	Valores de los índices	
	A	$ASI \leq 1,0$	THIV $\leq 33$ km/hr PHD $\leq 20g$
	B	$1,0 \leq ASI \leq 1,4$	
	C	$1,4 \leq ASI \leq 1,9$	

Tabla II-6 Clases de deformación según normativa EN1317	Clases de ancho de trabajo	Niveles de ancho de trabajo (m)
	W1	$W \leq 0,6$
	W2	$W \leq 0,8$
	W3	$W \leq 1,0$
	W4	$W \leq 1,3$
	W5	$W \leq 1,7$
	W6	$W \leq 2,1$
	W7	$W \leq 2,5$
	W8	$W \leq 3,5$

La **Tabla II-9** muestra los valores de velocidad máxima permitida durante los ensayos a escala real, mientras que la **Tabla II-10** indica los criterios correspondientes a la aceleración negativa.

Además, tal y como indica el Factor de evaluación J de la **Tabla II-8**, como medida adicional del potencial riesgo de los ocupantes del vehículo se pueden efectuar mediciones adicionales con un Dummy instrumentado del tipo Hybrid III Dummy (el cual es válido únicamente para medir impactos frontales y de cabeza, en los que el movimiento es esencialmente paralelo al eje longitudinal del vehículo). Para más detalles se sugiere revisar el Reporte 350 NCHRP y el Capítulo V del *Code of Federal Regulations* de los Estados Unidos.

El Reporte 350 NCHRP no requiere medir ni calcular los indicadores **THIV**, **PHD** y **ASI**. Sin embargo, para efectos de la aceptación de sistemas de contención vehicular en Costa Rica esos indicadores deben ser reportados en los resultados de ensayo y cumplir con los criterios de la **Tabla II-5**.

### 2.4.3 Deformación del sistema

De acuerdo con la normativa NCHRP Reporte 350 el reporte de ensayo debe incluir el dato de la deflexión dinámica (máxima deformación lateral que sufre el sistema durante el impacto) y la deflexión permanente del sistema (deformación lateral que presenta el sistema después del choque).

### 2.4.4 Capacidad de redireccionamiento

Los criterios sobre la capacidad de redireccionamiento del sistema en la normativa NCHRP Reporte 350 corresponden a los factores de evaluación K, M y N de la **Tabla II-8** (Trayectoria del vehículo).

## 2.5 Comparación de los niveles de contención

Los criterios de ensayo de las normativas EN 1317 y Reporte 350 NCHRP pueden compararse según el nivel de contención o energía cinética transversal que el sistema es capaz de retener de manera controlada.

La normativa europea EN1317 establece 6 niveles de prueba o clases técnicas (Ver **Tabla II-3**). En la **Tabla II-11** se muestran los valores de la energía cinética transversal correspondiente a los ensayos a que son sometidas las barreras de seguridad de cada nivel de contención. Para cada una de las pruebas se muestra el tipo de vehículo y sus características (masa y altura del centro de gravedad CG), la velocidad y ángulo de impacto del vehículo y la energía cinética transversal capaz de retener el sistema.

En Estados Unidos de América se han definido 6 niveles de prueba o clases técnicas, las cuales se definen en el Reporte 350 NCHRP.

En la **Tabla II-12** se muestra para cada una de las clases técnicas, dos de los tipos de vehículos utilizado en el ensayo a escala real (para efectos de comparación con los niveles de prueba realizados con la Normativa EN 1317) y sus características (masa y altura del centro de gravedad CG), la velocidad y ángulo de impacto del vehículo y la energía cinética transversal capaz de retener el sistema.

Para efectos de comparar los niveles de con-

**Tabla II-7**  
 Criterios de ensayo según normativa NCHRP Reporte 350

Nivel de prueba	Sección de la barrera	Designación del ensayo	Condiciones de impacto			Criterios de evaluación
			Vehículo	velocidad nominal (km/h)	Ángulo nominal (grados)	
TL1	LON	1-10	820C	50	20	A, D, F, H, I (J), K, M
		S1-10 (a)	700C	50	20	A, D, F, H, I (J), K, M
		1-11	2000P	50	25	A, D, F, K, L, M
	T	1-20 (d)	820C	50	20	A, D, F, H, I (J), K, M
		S1-20 (a)	700C	50	20	A, D, F, H, I (J), K, M
		1-21	2000P	50	25	A, D, F, K, L, M
TL2	LON	2-10	820C	70	20	A, D, F, H, I (J), K, M
		S2-10 (a)	700C	70	20	A, D, F, H, I (J), K, M
		2-11	2000P	70	25	A, D, F, K, L, M
	T	2-20 (d)	820C	70	20	A, D, F, H, I (J), K, M
		S2-20 (a)	700C	70	20	A, D, F, H, I (J), K, M
		2-21	2000P	70	25	A, D, F, K, L, M
TL3	LON	3-10	820C	100	20	A, D, F, H, I (J), K, M
		S3-10 (a)	700C	100	20	A, D, F, H, I (J), K, M
		3-11	2000P	100	25	A, D, F, K, L, M
	T	3-20 (d)	820C	100	20	A, D, F, H, I (J), K, M
		S3-20 (a)	700C	100	20	A, D, F, H, I (J), K, M
		3-21	2000P	100	25	A, D, F, K, L, M
TL4	LON	4-10	820C	100	20	A, D, F, H, I (J), K, M
		S4-10 (a)	700C	100	20	A, D, F, H, I (J), K, M
		4-11 (d)	2000P	100	25	A, D, F, K, L, M
		4-12	8000S	80	15	A, D, G, K, M
	T	4-20 (d)	820C	100	20	A, D, F, H, I (J), K, M
		S4-20 (a)	700C	100	20	A, D, F, H, I (J), K, M
		4-21 (d)	2000P	100	25	A, D, F, K, L, M
		4-22	8000S	80	15	A, D, G, K, M

**Tabla II-7 (Continuación)**  
 Criterios de ensayo según normativa NCHRP Reporte 350

Nivel de prueba	Sección de la barrera	Designación del ensayo	Condiciones de impacto			Criterios de evaluación
			Vehículo	velocidad nominal (km/h)	Ángulo nominal (grados)	
TL5	LON	5-10	820C	100	20	A, D, F, H, I (J), K, M
		S5-10 (a)	700C	100	20	A, D, F, H, I (J), K, M
		5-11 (d)	2000P	100	25	A, D, F, K, L, M
		5-12	36000V	80	15	A, D, G, K, M
	T	5-20 (d)	820C	100	20	A, D, F, H, I (J), K, M
		S5-20 (a)	700C	100	20	A, D, F, H, I (J), K, M
		5-21 (d)	2000P	100	25	A, D, F, K, L, M
		5-22	36000V	80	15	A, D, G, K, M
TL6	LON	6-10	820C	100	20	A, D, F, H, I (J), K, M
		S6-10 (a)	700C	100	20	A, D, F, H, I (J), K, M
		6-11 (d)	2000P	100	25	A, D, F, K, L, M
		6-12	36000T	80	15	A, D, G, K, M
	T	6-20 (d)	820C	100	20	A, D, F, H, I (J), K, M
		S6-20 (a)	700C	100	20	A, D, F, H, I (J), K, M
		6-21 (d)	2000P	100	25	A, D, F, K, L, M
		6-22	36000T	80	15	A, D, G, K, M

**NOTAS:**

- **LON:** ensayo realizado a una barrera de seguridad en el cual el vehículo de ensayo se hace chocar dentro de la longitud mínima de la barrera.

- **T:** ensayo ejecutado a un sistema de transición entre barreras de distinto nivel de rigidez. El vehículo de prueba se hace chocar contra la transición.

- Tipos de vehículos:

- C** Automóvil
- P** Pick-up
- S** Camión tipo van
- T** Semi-trailer tipo tanque
- V** Semi-trailer tipo van

- El número que aparece en el código del tipo de vehículo

corresponde al peso del vehículo de ensayo en kg.

- Criterios de evaluación: el código de letras corresponde a los criterios de evaluación que aparecen en la **Tabla II-8**.

- **(J):** Este factor de evaluación es opcional (Ver **Tabla II-8**).

**Tabla II-8**  
 Criterios de evaluación de ensayo según normativa  
 NCHRP Reporte 350

Factores de evaluación	Criterios de evaluación	
Suficiencia estructural	A	El sistema debe contener y redireccionar el vehículo, el vehículo no debe penetrar, incrustar o saltar el dispositivo. Se permite que el sistema se deforme de manera controlada.
	B	El artículo de prueba debe funcionar de la manera prevista, ya sea que se deforme, se quiebre o se rompa.
	C	El comportamiento del dispositivo de prueba es adecuado si: Desacelera y detiene el vehículo en una corta distancia, Permite una penetración controlada del vehículo o Retiene y redirecciona el vehículo.
Nivel de riesgo para los ocupantes del vehículo	D	Los elementos, fragmentos o restos del artículo de prueba no deben penetrar el habitáculo del vehículo, ni representar un riesgo para sus ocupantes. Tampoco deben representar un obstáculo o peligro para otros vehículos que circulan por la vía, peatones y el personal de las zonas de trabajo.
		Las deformaciones o intrusiones en el habitáculo del vehículo que pueden causar serios daños a los ocupantes no son aceptables.
	E	Los elementos, fragmentos o restos del artículo de prueba que se desprenden durante el impacto no deben impedir la visibilidad del conductor o causar que éste pierda el control del vehículo.
	F	El vehículo debe permanecer derecho durante y después de la colisión, aunque se admite una leve inclinación, rotación o cabeceo.
	G	Es preferible, pero no esencial, que el vehículo permanezca derecho durante y después del impacto.

**Tabla II-8 (Continuación)**  
 Criterios de evaluación de ensayo según normativa  
 NCHRP Reporte 350

Factores de evaluación	Criterios de evaluación	
Nivel de riesgo para los ocupantes del vehículo	H	Las velocidades de impacto de los ocupantes del vehículo deben satisfacer los criterios de la Tabla II-8.
	I	Las aceleraciones negativas que experimentan los ocupantes del vehículo deben satisfacer los criterios de la Tabla II-9
	J	Opcional. Ver sección 5.3 del NCHRP Reporte 350 (Hybrid III Dummy).
Trayectoria del vehículo	K	Preferiblemente, el vehículo no debe invadir otros carriles de circulación después del impacto.
	L	La componente longitudinal de la velocidad de impacto de los ocupantes del vehículo no debe ser superior a 12 m/s. La aceleración negativa longitudinal de los ocupantes del vehículo no de ser mayor a 20G.
	M	El ángulo de salida del vehículo debe ser menor a $0,6\theta$ ( $\theta$ es el ángulo de impacto de la prueba), medido en el momento en que el vehículo pierde contacto con el sistema.
	N	Se considera aceptable que la trayectoria del vehículo continúe detrás del dispositivo de prueba.

Tabla II-9 Velocidades de impacto de los ocupantes permitidas según normativa NCHRP Reporte 350	Componente	Velocidad de impacto de los ocupantes del vehículo (m/s)	
		Valor preferible	Valor máximo
	Longitudinal y lateral	9	12
Longitudinal	3	5	

Componente	Aceleración negativa de los ocupantes del vehículo (G)	
	Valor preferible	Valor máximo
Longitudinal y lateral	15	20

**Tabla II-10**  
Aceleración negativa permitida según normativa NCHRP Reporte 350

Nivel de prueba	Masa del vehículo (kg)	Tipo de vehículo	Velocidad de impacto (km/h)	Ángulo Impacto (Grados)	Altura CG (mm)	Energía cinética (KJ)
N1	1500	C	80	20	530	43,33
N2	900	C	100	20	490	40,62
	1500	C	110	20	530	81,91
H1	900	C	100	20	490	40,62
	10000	R	70	15	1500	126,63
H2	900	C	100	20	490	40,62
	13000	B	70	20	1400	287,48
H3	900	C	100	20	490	40,62
	16000	R	80	20	1600	462,13
H4a	900	C	100	20	490	40,62
	30000	A	65	20	1600	572,03
H4b	900	C	100	20	490	40,62
	38000	A	65	20	1900	724,57

**Tabla II-11**  
Niveles de prueba definidos en la normativa EN 1317

**NOTAS:**

Tipos de vehículos:

**C** Automóvil**B** Bus**A** Vehículo articulado de carga pesada**R** Vehículo rígido de carga pesada**CG:** centro de gravedad del vehículo.

Nivel de prueba	Masa del vehículo (kg)	Tipo Vehículo	Velocidad de impacto (km/h)	Ángulo Impacto Grados	Altura CG (mm)	Energía cinética (KJ)
TL1	820	C	50	20	550	9,25
	2000	P	50	25	700	34,45
TL2	820	C	70	20	550	18,13
	2000	P	70	25	700	67,53
TL3	820	C	100	20	550	37,01
	2000	P	100	25	700	137,81
TL4	820	C	100	20	550	37,01
	8000	S	80	15	1250	132,32
TL5	820	C	100	20	550	37,01
	36000	V	80	15	1850	595,44
TL6	820	C	100	20	550	37,01
	36000	T	80	15	2050	595,44

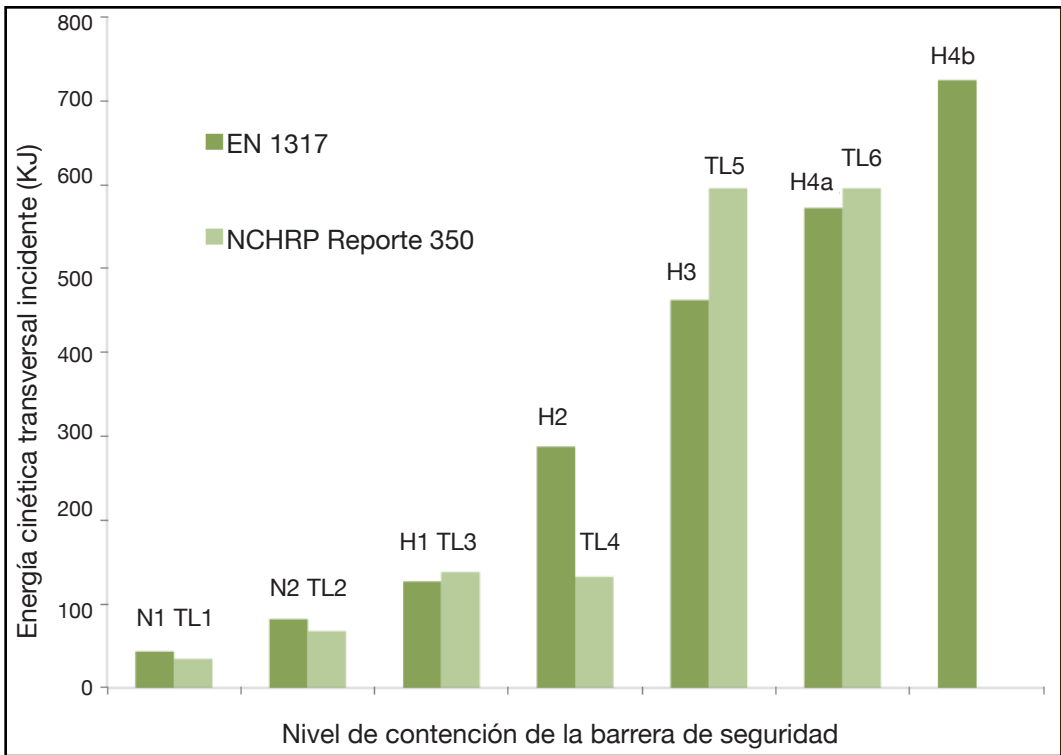
**Tabla II-12**  
Niveles de prueba definidos en la normativa NCHRP Reporte 350

**NOTAS:**

Tipos de vehículos:

- C** Automóvil
- P** Pick-up
- S** Camión tipo van
- T** Semi-trailer tipo tanque
- V** Semi-trailer tipo van

**CG:** centro de gravedad del vehículo.



**Figura II-8**  
Energía cinética transversal máxima incidente en la barrera de seguridad según los niveles de prueba definidos en las normativas EN 1317 y Reporte 350 NCHRP

tención que se definen en ambas normativas e intentar equipararlos, se utiliza la máxima energía cinética transversal incidente a la que son sometidas las barreras de seguridad.

El gráfico de la **Figura II-8** muestra los valores de la energía cinética transversal máxima incidente correspondientes a los diferentes niveles de contención que establecen ambas normativas. Esta figura permiten observar la comparación de los niveles de prueba según la energía cinética transversal que el sistema es capaz de absorber durante el ensayo.

Es importante aclarar que solamente se está comparando la energía cinética incidente, por lo que dos sistemas equivalentes (que son capaces de absorber una cantidad similar de energía cinética), por ejemplo TL3 y TL4, no necesariamente son capaces de retener el mismo vehículo, ya que las pruebas se realizan con diferentes tipos de camiones. Así, un vehículo más alto puede inclinarse sobre una barrera y volcarse a pesar de que el sistema tenga la capacidad de disipar la energía cinética del impacto. Cabe resaltar que en Estados Unidos se utiliza un vehículo tipo camioneta para evaluar las barreras de baja contención, mientras que en Europa se utiliza un automóvil más pequeño.

Las clases TL5 y TL6 absorben hasta un

76% más de energía cinética transversal durante el impacto que las clases inferiores inmediatas TL3 y TL4, lo que implica que el incremento en el nivel de contención no es gradual. Por lo tanto, hay un rango de energías que no se incluye en la normativa estadounidense, las cuales corresponden a las clases H2 y H3 de la normativa europea. Por su parte, en el gráfico de la **Figura II-8** se observa claramente como los niveles de contención establecidos en la normativa europea se incrementan de una forma más gradual.

Además, se observa que la normativa NCHRP Reporte 350 no incluye un nivel de prueba que sea equivalente (en cuanto a la energía cinética transversal máxima incidente) al nivel de contención H4b de la normativa EN 1317.

NCHRP Reporte 350	EN 1317
TL2	N2
TL3, TL4	H1
-	H2
-	H3
TL5, TL6	H4a
-	H4b

**Tabla II-13**  
Niveles de prueba definidos en la normativa EN 1317



Los sistemas de alta contención no son superiores (mejores) que los sistemas de menor nivel de contención. En cada caso se debe realizar un análisis de la zona peligrosa para determinar el nivel de contención que requiere la barrera para proteger a los usuarios de la vía y los terceros vulnerables.

En términos de la energía cinética transversal máxima incidente, los niveles de prueba que establece la normativa EN 1317 presentan un incremento más gradual que los normados en la NCHRP Reporte 350, lo cual permite seleccionar niveles de contención que se ajusten mejor a distintas condiciones particulares en sitios diferentes.

En esta guía se establecen como referencia para el diseño los niveles de contención que define la normativa EN 1317. En el caso de que el sistema que se desee instalar como solución corresponda a una barrera de seguridad ensayada bajo la normativa NCHRP Reporte 350, esta guía define las equivalencias entre niveles de prueba que se muestran la **Tabla II-13**.

Esta equivalencia entre los niveles de prueba únicamente considera la energía cinética transversal máxima que la barrera de seguridad es capaz de absorber durante el impacto. Los sistemas que se consideran equivalentes no se comportan exactamente de la misma manera y en cada caso se deben analizar otros factores como ancho de trabajo, deformación dinámica y nivel de severidad para seleccionar el sistema más adecuado según las condiciones del sitio.

### 3 Factores que se consideran en la selección de barreras de seguridad

El proceso de selección de una barrera de contención vehicular es complicado debido a las diferentes situaciones que se encuentran en los márgenes de las vías y las múltiples opciones de sistemas disponibles en el mercado.

Se debe enfatizar que la mejor opción es aquella que brinda el nivel de protección requerido al menor costo durante un determinado período.

Instalar una barrera de seguridad o cualquier otro sistema de contención vehicular debe considerarse como última opción. Siempre se debe analizar la viabilidad técnica y económica de otras opciones que incluyen la eliminación, modificación o mitigación del peligro potencial.

De no ser factible la solución del problema de seguridad existente en los márgenes de una carretera mediante la eliminación o modificación del peligro existente, y sea

necesario instalar una barrera de seguridad, la elección del sistema debe basarse en criterios técnicos objetivos y oficialmente establecidos.

Los siguientes factores se deben considerar antes de hacer una selección definitiva del sistema de contención vehicular:

- Nivel de contención.
- Deflexión de la barrera.
- Condiciones del sitio.
- Compatibilidad.
- Costos de instalación y mantenimiento.
- Estética.
- Condiciones ambientales.
- Historial de desempeño del sistema.

Cada uno de éstos factores se describen a continuación.

#### 3.1 Nivel de contención

La barrera de seguridad debe poseer la capacidad estructural para contener y redireccionar el vehículo de diseño de manera segura. Si la prioridad es proteger los vehículos de pasajeros, un sistema de contención estándar, desarrollado para impactos de baja severidad con automóviles y camiones livianos será seleccionado normalmente. Si la vía presenta deficiencias en el diseño geométrico, altas velocidades de circulación, elevados volúmenes de tránsito o un volumen significativo de vehículos pesados puede ser necesario instalar un sistema de alta contención o reforzar los sistemas semi-rígidos. En especial, se deben analizar aquellos casos en que terceros 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 el capítulo 3 de este manual se brinda una guía para seleccionar el nivel de contención de la barrera de seguridad de acuerdo al nivel de riesgo, el volumen y composición del tránsito vehicular y la velocidad de diseño.

#### 3.2 Deflexión de la barrera

Una vez que se ha determinado el nivel de contención requerido, la deflexión del sistema es un criterio que toma relevancia y puede dictar el tipo de barrera que se seleccione. Un principio general que debe aplicarse es colocar la barrera más flexible posible, siempre que se cumplan con los criterios dados por las normativas vigentes y las especificaciones del fabricante, ya que la severidad del impacto será menor, causando menores daños físicos a los ocupantes del vehículo.

Si el obstáculo se ubica muy cerca de la vía, probablemente la mejor opción es colocar un sistema semi-rígido

o rígido. Los sistemas semirígidos pueden ser reforzados 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. Algunos dispositivos flexibles también pueden ser reforzados si se reduce el espacio entre los postes, como los sistemas de cables. Se debe comprobar en todos los casos que el suelo pueda resistir las cargas laterales impuestas durante el impacto.

Si el obstáculo se ubica muy cerca de la barrera y es un elemento que supera la altura de la misma, como pilas de puentes o columnas de edificios, se debe considerar la posibilidad de que los camiones y buses se inclinen sobre la barrera e impacten la estructura, situación que por ejemplo podría provocar una tragedia mayor debido al colapso del soporte. En ese caso, se debe disponer una distancia mayor al ancho de trabajo entre el peligro y la barrera de seguridad, o incrementar la altura de la barrera para minimizar la inclinación del vehículo durante el impacto (si se trata barreras hechas de concreto).

### 3.3 Condiciones del sitio

En general, la pendiente de aproximación a la barrera de seguridad no debe ser mayor a 1V:10H para asegurar el adecuado funcionamiento del dispositivo durante el impacto. Si la pendiente del terreno es mayor a 1V:10H, el centro de gravedad del vehículo puede desviarse de su posición normal, lo que puede provocar que el vehículo traspase el dispositivo de seguridad, se vuelque o sea enganchado por un poste. Algunos sistemas flexibles pueden colocarse en terrenos con pendientes de hasta 1V:6H, sin embargo, se deben revisar las especificaciones técnicas del fabricante para garantizar que esta configuración es adecuada.

La cimentación y el suelo son una parte integral del sistema de contención vehicular, se debe revisar detalladamente las condiciones bajo las que se realizaron los ensayos a escala real y las recomendaciones de instalación de los fabricantes para garantizar el adecuado comportamiento del dispositivo de seguridad en campo.

En los planos y especificaciones técnicas del fabricante se define cuál es el tipo de suelo requerido para la cimentación del sistema, los parámetros que lo caracterizan, los ensayos que deben efectuarse para medir la resistencia del suelo y las normativas de referencia.

El Contratista del proyecto o Administrador de la carretera debe garantizar que la resistencia del suelo donde será instalado el sistema de contención vehicular sea suficiente para que el sistema tenga un comportamiento similar al que presentó el prototipo ensayado exitosamente bajo la norma EN 1317 o NCHRP Reporte 350

o las normativas que las sustituyan.

### 3.4 Compatibilidad

Una recomendación frecuentemente practicada por las agencias de administración de carreteras, es utilizar una reducida variedad de sistemas de contención vehicular debido a las siguientes ventajas:

- Los sistemas de contención vehicular en uso, que han demostrado su efectividad y confiabilidad a través de los años y se han instalado conforme a las especificaciones técnicas del fabricante y las normativas vigentes, deberían seguir siendo utilizados por las agencias administradoras de carreteras, ya que los registros históricos son las mejores pruebas que pueden respaldar la efectividad de un determinado modelo.
- Se facilita el manejo de inventarios, ya que solamente se requiere adquirir unas cuantas piezas diferentes.
- El personal de construcción y mantenimiento puede especializarse en la instalación o reparación de los sistemas más utilizados.
- Los terminales y transiciones pueden estandarizarse para situaciones normales.

### 3.5 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 son menores.

Se consideran los siguientes costos de mantenimiento:

- Mantenimiento rutinario: los costos de mantenimiento rutinario son mínimos e incluyen los costos de las operaciones de limpieza y pintura. Éstos son prácticamente iguales para cualquier tipo de barrera de seguridad.
- 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 las colisiones con la barrera son frecuentes, 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, es preferido instalar una barrera rígida de concreto, que prácticamente no sufre

ningún daño durante el choque.

- Materiales y almacenamiento de piezas: se debe determinar la disponibilidad de las piezas para su reemplazo en un futuro y cuales son los requerimientos de almacenamiento.
- Los diseños simples son más fáciles de instalar y reparar, además los trabajadores pueden ser capacitados más rápidamente para realizar esas tareas.

### 3.6 Estética

En la mayoría de los casos, este factor no rige la selección del sistema, sin embargo, en algunas áreas turísticas o reservas naturales se prefiere colocar barreras rústicas o de apariencia natural, que contribuyan a la belleza escénica de la zona.

### 3.7 Condiciones Ambientales

Las barreras de contención forman parte de la infraestructura vial y por lo tanto deben ajustarse a las condiciones ambientales presentes en la zona. Por ejemplo: las barreras no deben obstaculizar la visibilidad de los conductores que se aproximan a una intersección desde una vía secundaria.

### 3.8 Historial de desempeño del sistema

El desempeño de la barrera durante su vida útil y los costos de instalación y reparación deben ser monitoreados y registrados por la agencia administradora de la carretera, ya que estos datos son necesarios para realizar una adecuada gestión de la infraestructura vial. Los ingenieros encargados de la selección, diseño y construcción de las barreras de seguridad también deben tener acceso a estos datos para realizar la mejor elección. Si un tipo de sistema se ha desempeñado satisfactoriamente durante su vida útil y los costos de mantenimiento no son excesivamente altos, no existe ninguna razón para que se sustituya por otro, del cual no se posea pruebas o documentación histórica que respalde su confiabilidad.

Se debe enfatizar que las pruebas de impacto a escala real son un medio para verificar

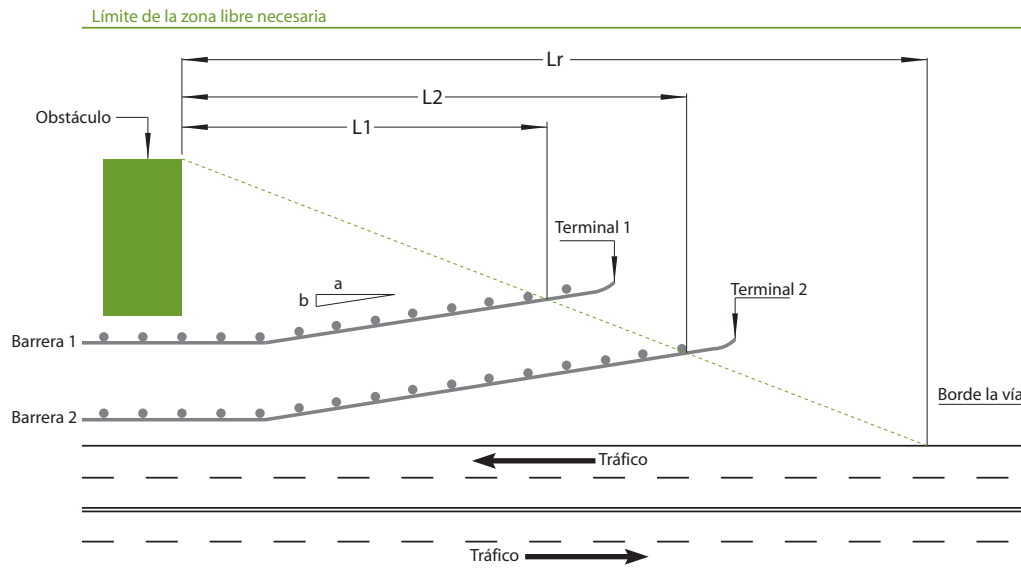
el óptimo desempeño de una barrera en servicio, por lo que resulta necesario replicar en campo las condiciones de instalación de la barrera durante el ensayo. Se requiere aplicar de manera consistente los criterios establecidos en las normativas, estándares y especificaciones de los fabricantes. Sin embargo, el rendimiento de las barreras y otros productos debe ser monitoreado en campo para verificar su adecuado funcionamiento.

## 4 Criterios generales para la disposición de las barreras de seguridad

### 4.1 Alineación lateral

Se hace énfasis en que las barreras de contención vehicular se coloquen a la mayor distancia posible desde el borde de la vía, debido a que un alto porcentaje de los conductores pueden detener el vehículo o recuperar el control del mismo en un área libre de obstáculos y plana que se extienda frente a la barrera de seguridad, de ésta manera se maximizan las probabilidades de evitar una colisión con el sistema. Por otra parte, se reduce la longitud de la barrera si ésta se coloca cerca del obstáculo, tal y como se observa en la **Figura II-9**. Sin embargo, si la separación entre la vía y el sistema de contención es muy amplia, aumenta la posibilidad de que los ángulos de impacto sean mayores, consecuentemente se incrementa la severidad del impacto debido a que el desempeño de la barrera no es el más adecuado y además el vehículo podría traspasar o arrancar el sistema dando lugar a un accidente de consecuencias muy graves.

La distancia a partir de la cual un objeto ubicado en el margen de la vía no es percibido como un obstáculo que induciría al conductor a reducir la velocidad o cambiar la posición del vehículo en la calzada se define como **distancia de preocupación** (“shy line offset”). De ser posible, se recomienda que las barreras de seguridad se coloquen a una distancia mínima igual a la **distancia de preocupación**, medida desde el borde externo del carril de circulación. Sin embargo, la **distancia de preocupación** es un criterio que pocas veces rige la colocación de una barrera de seguridad, ya que si ésta se coloca más allá del espaldón, no tendrá un impacto importante en la velocidad de circulación o la posición del vehículo en la calzada.



**Figura II-9**  
Relación entre la disposición transversal de la barrera y la prolongación de la sección anterior al obstáculo

#### NOTAS:

- **L1** Longitud de la sección anterior al obstáculo para la "Barrera 1". La longitud **L1** no incluye la longitud del terminal.
- **L2** es la longitud de la sección anterior al obstáculo para la "Barrera 2". La longitud **L2** no incluye la longitud del terminal.
- **L2 > L1**
- **Lr** 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 calzada. En el Capítulo 3 se explica detalladamente como calcular la longitud necesaria de una barrera de seguridad a partir de  $L_r$ .

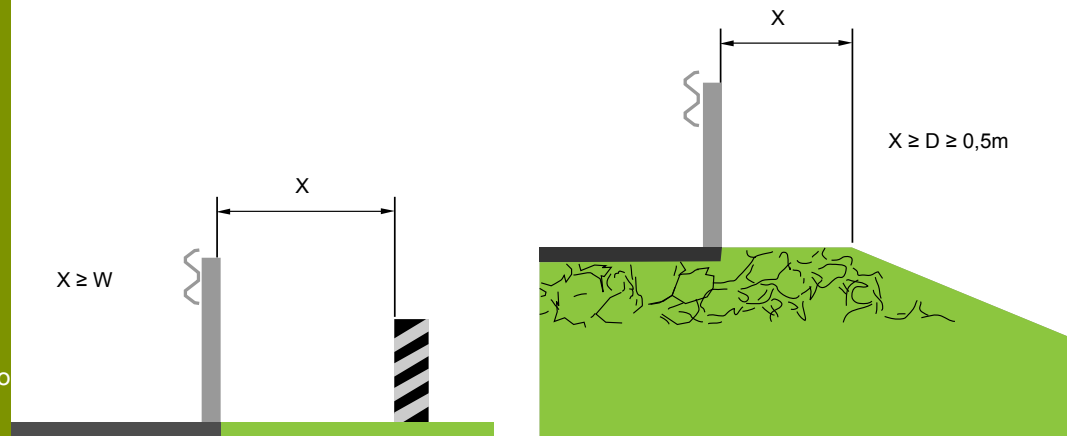
Se sugiere que se mantenga una zona libre uniforme entre el tráfico y los elementos ubicados en los márgenes de las vías (como parapetos, barreras de seguridad, muros de retención, barandas de puentes y otros). La razón es que un alineamiento uniforme realza la seguridad de la vía, ya que se reduce la preocupación y la reacción del conductor ante los objetos ubicados en los márgenes. Si se trata de la instalación de una barrera corta y aislada, si se debe respetar la distancia de preocupación recomendada para evitar una reacción súbita del conductor ante tal elemento. Nunca se debe instalar un dispositivo de seguridad a menos de 0,5 m del borde de la vía.

Las barreras de contención deben instalarse fuera del espaldón para mantener constante el ancho de la calzada a lo largo del tramo de vía. En este punto, se requiere contemplar los proyectos de ampliación y mejoramiento de las vías (como construcción de espaldones), para evitar que la barrera tenga que ser reubicada en un corto plazo.

Donde se coloque un tramo de barrera significativamente extenso es necesario proveer un espaldón adecuado, de 3,0 m de ancho aproximadamente, que permita abrir las puertas de un vehículo estacionado al margen de la vía, sin interrumpir el tránsito en el carril adyacente. Si el espacio es limitado y no es esencial brindar un espaldón amplio para los vehículos que sufren una emergencia o desperfecto mecánico, se puede proveer un espaldón más estrecho, siempre que se consideren las distancias de preocupación.

Si el obstáculo se ubica lejos del borde de la vía, es preferible instalar una barrera flexible, ya que ésta impone las menores fuerzas de impacto a los ocupantes del vehículo debido a que la barrera absorbe más energía del impacto y experimenta una mayor deformación. Si el obstáculo está ubicado cerca de la carretera, no queda otra opción que colocar una barrera rígida o semi-rígida. La mayoría de los sistemas de contención semi-rígidos se pueden reforzar para proteger un objeto fijo aislado ubicado cerca de la vía,

**Figura II-10**  
Ubicación de la  
barrera con respecto  
a los obstáculos



por medio de la colocación de postes adicionales o el refuerzo de la viga. Si alguno de estos procedimientos se aplica se debe verificar que el suelo pueda proveer un adecuado anclaje al sistema.

La deformación de la barrera de contención debido a un impacto, es un factor crítico en la selección del tipo de barrera y su disposición en el campo, especialmente si el peligro que se requiere proteger es un objeto rígido. La distancia entre la barrera y el obstáculo debe ser tal, que el vehículo no quede enganchado. También es importante resaltar que los vehículos que poseen un centro de gravedad relativamente alto, pueden inclinarse sobre la barrera y golpear el objeto, por lo que en algunos casos se requiere disponer una distancia mayor a la deflexión dinámica máxima de la barrera, la cual se denomina **ancho de trabajo**.

Los siguientes criterios establecen las distancias mínimas entre la barrera de seguridad y el tipo de obstáculo (Ver **Figura II-10**):

- La distancia entre un objeto rígido y la barrera de seguridad debe ser mayor o igual al **ancho de trabajo (W)** del sistema.
- La distancia entre la barrera de seguridad y un talud crítico, desnivel o cuerpo de agua debe ser mayor o igual a la **deflexión dinámica** del sistema (**D**). Se debe comprobar que el suelo provea un adecuado soporte a los postes de la barrera, por lo tanto se deben revisar aspectos como la pendiente del talud, el tipo de suelo, las condiciones de impacto esperadas, la sección transversal de

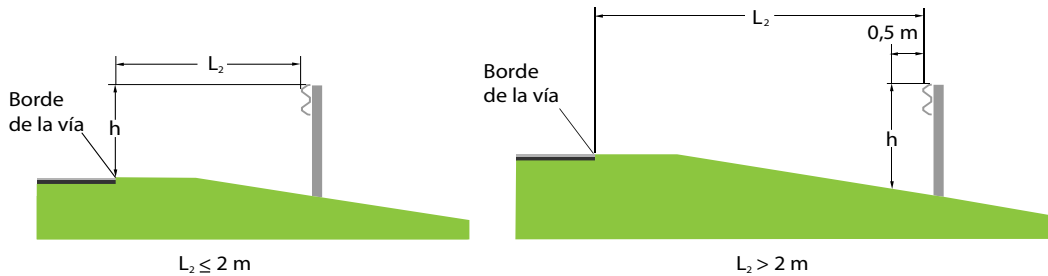
los postes y la profundidad de cimentación.

#### 4.2 Disposición en altura de las barreras de contención

La altura de la barrera de seguridad 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 o las normativas vigentes en el país. La altura recomendada para las barreras o pretiles de puentes se establece a partir de los ensayos a escala real que se realizan para aprobar y clasificar un sistema de contención vehicular, por lo tanto, se debe observar que durante su vida útil esta disposición se mantenga constante. Por ejemplo, la altura relativa de la barrera con respecto a la plataforma de la vía puede cambiar luego de que se apliquen tratamientos de mantenimiento y conservación como la colocación de sobrecapas.

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 franquear la barrera, inclinarse sobre la barrera y colisionar con el obstáculo o volcarse.

El punto de referencia con respecto al cual se debe medir la altura de la barrera se especifica en la **Figura II-11**. Si la distancia lateral entre el límite externo del carril y el sistema de contención vehicular es menor o igual a 2,0 m, la altura se mide con respecto



**Figura II-11**  
Pautas para  
la disposición  
en altura de la  
barrera

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.

#### 4.3 Condiciones en los márgenes de las vías

Las barreras son ensayadas en terrenos planos y nivelados. Si la barrera se coloca en un terreno con pendiente mayor a 1V:10H, los estudios y pruebas han demostrado que para ciertos ángulos de impacto y velocidades, un vehículo puede traspasar la barrera o quedar atrapado bajo la viga.

Si la barrera de seguridad se coloca lejos del borde de la vía, el terreno entre la vía y el sistema debe ser plano, nivelado y libre de obstáculos para garantizar que el centro de gravedad del vehículo esté en su posición normal al momento del impacto y el desempeño de la barrera sea óptimo. Por esta razón, se recomienda que las pendientes sean iguales a 1V:10H ó más planas, en todo caso se deben consultar las especificaciones del fabricante, ya que no todos los tipos de barreras se comportan adecuadamente si se colocan en pendientes más empinadas.

#### 4.4 Razón de esviaje

El esviaje de la barrera es una práctica generalmente utilizada para alejar el terminal de la vía, el cual puede representar un obstáculo muy peligroso para los vehículos si no se le brinda un tratamiento adecuado. Una de las ventajas de alejar el terminal de barrera es que se minimiza la reacción del conductor ante un obstáculo cercano a la vía, ya que la barrera se acerca gradualmente al borde de la carretera. 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 barrera y colisione con el elemento peligroso.

Por otra parte, si la razón de esviaje es mayor, se incrementa el ángulo de impacto, por lo que la severidad del accidente puede ser mayor, provocando lesiones más graves a los ocupantes del vehículo, especialmente si el sistema de contención es rígido o semi-rígido. 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 accidente en una carretera de calzada única.

Si la carretera posee taludes empinados, generalmente se preferirán las razones 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 los terminales de la misma, esto con el fin de garantizar un adecuado comportamiento del sistema de contención vehicular durante el impacto.

#### 4.5 Longitud de la barrera

La disposición longitudinal de una barrera en relación con la zona peligrosa requiere que la barrera 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. El capítulo III contiene los criterios técnicos para determinar la longitud requerida de una barrera de seguridad.

#### 4.6 Continuidad de las barreras

Los terminales de barrera son señalados como un problema en varios estudios realizados en países Europeos, por lo que se obtienen mayores beneficios al unir los tramos de barrera consecutivos en las vías de ma-



FUENTE: [www.hiasa.com](http://www.hiasa.com)



FUENTE: [www.hiasa.com](http://www.hiasa.com)

**Figura II-12**

Terminales de barrera:

- A. Terminal brusco
- B. Terminal abatido y enterrado
- C. Terminal abatido en barrera rígida
- D. Terminal empotrado en talud
- E. Terminal atenuador de impacto
- F. Comportamiento del terminal tipo atenuador

por volumen vehicular.

Se deben unir los tramos de barrera que estén separados por menos de 50,0 m de distancia. A menos que, entre ambos sistemas se encuentre un acceso a una propiedad, parada de autobuses, etc.

## 5. Terminales de barreras y amortiguadores de impacto

Los terminales de barrera son dispositivos especialmente diseñados para proteger a los ocupantes de un vehículo que colisiona con el extremo de una barrera de contención o contra un elemento rígido, en el caso de los amortiguadores de impacto

Algunos terminales solo funcionan como elementos de seguridad, mientras otros también proporcionan anclaje a la barrera.

Un terminal de barrera funciona de alguna de las siguientes maneras:

- Desacelera el vehículo hasta detenerlo en una corta distancia.
- Permite una penetración controlada del vehículo detrás de la barrera.
- Retiene y redirecciona el vehículo.
- Combina las funciones anteriores.

### 5.1 Tipos de terminales y amortiguadores

Los terminales de barreras se pueden clasificar en cuatro categorías de acuerdo a su configuración y funcionalidad:

- Terminales bruscos.
- Terminal abatido y enterrado.
- Terminal empotrado en talud de corte.
- Terminales atenuadores de impacto.

**Terminales bruscos:** existen dos tipos, los llamados “cola de pez” y los cortes verticales de los muros y barreras de concreto. No son recomendables debido a su comportamiento negativo a cualquier velocidad. El riesgo de penetración del habitáculo del vehículo es elevado, imponen desaceleraciones muy altas a los ocupantes del vehículo y como no disponen de anclaje se reducen las prestaciones de la barrera en los extremos. En la **Figura II-12 (A)** se muestra un terminal tipo cola de pez que no se permite

instalar en el país.

**Terminal en abatimiento:** consiste en disminuir la altura de la barrera hasta que ésta alcance el nivel del suelo y pueda enterrarse el anclaje (Ver **Figura II-12 (B)**). No ofrece un elevado riesgo de penetración del habitáculo del vehículo, pero puede producir el ascenso o vuelco de los vehículos que lo impactan frontalmente. En los casos en que la barrera se ubique muy próxima a la vía, se debe instalar de manera que en planta presente un tramo en ángulo, de tal forma que el extremo enterrado del terminal se aleje del borde de la vía (efecto de esviaje). A pesar de ser una solución de bajo costo, estos diseños no son recomendados para una velocidad superior a 70 km/h, sin embargo, tienen aplicación en vías con velocidades menores.

**Terminal en abatimiento en barrera rígida:** la **Figura II-12 (C)** muestra una barrera rígida de concreto con una terminal de tipo abatido. El comportamiento que se obtiene con este tipo de elemento es similar al obtenido en los terminales abatidos en barreras de acero, es decir, no son recomendables para ser aplicados 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.

**Terminal empotrado en un talud:** es una solución muy eficiente, consiste en alejar el extremo de la barrera del borde de la vía y anclarlo a un talud de corte (Ver **Figura II-12 (D)**). 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 del mismo. Si el diseño de la barrera de seguridad y su terminal es adecuado (considerando su disposición en campo y diseño estructural), este tipo de anclaje provee una defensa absoluta a los usuarios de la vía, elimina la posibilidad de una colisión frontal con el terminal de la barrera, y minimiza la posibilidad de que el vehículo traspase la barrera y alcance el obstáculo, por lo tanto se considera que es un tipo de terminal infranqueable.

**Terminales atenuadores de impacto:** como su nombre lo indica, este tipo de terminales se comportan como sistemas atenuadores de impactos frontales y como barreras de seguridad ante las colisiones laterales. Constituyen el tipo óptimo de terminal, pero su instalación es poco común debido a razones de índole económica. La **Figura II-12 (E)** muestra un ejemplo de terminal atenuador de impacto. El comportamiento de este tipo de terminal se ilustra en la **Figura II-12 (F)**.

**Amortiguadores de impacto:** se utilizan para proteger zonas u obstáculos peligrosos contra choques frontales, para los que las barreras de seguridad no resulten 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 II-13** muestra un amortiguador de impacto colocado en la terminal de una barrera rígida de concreto hidráulico

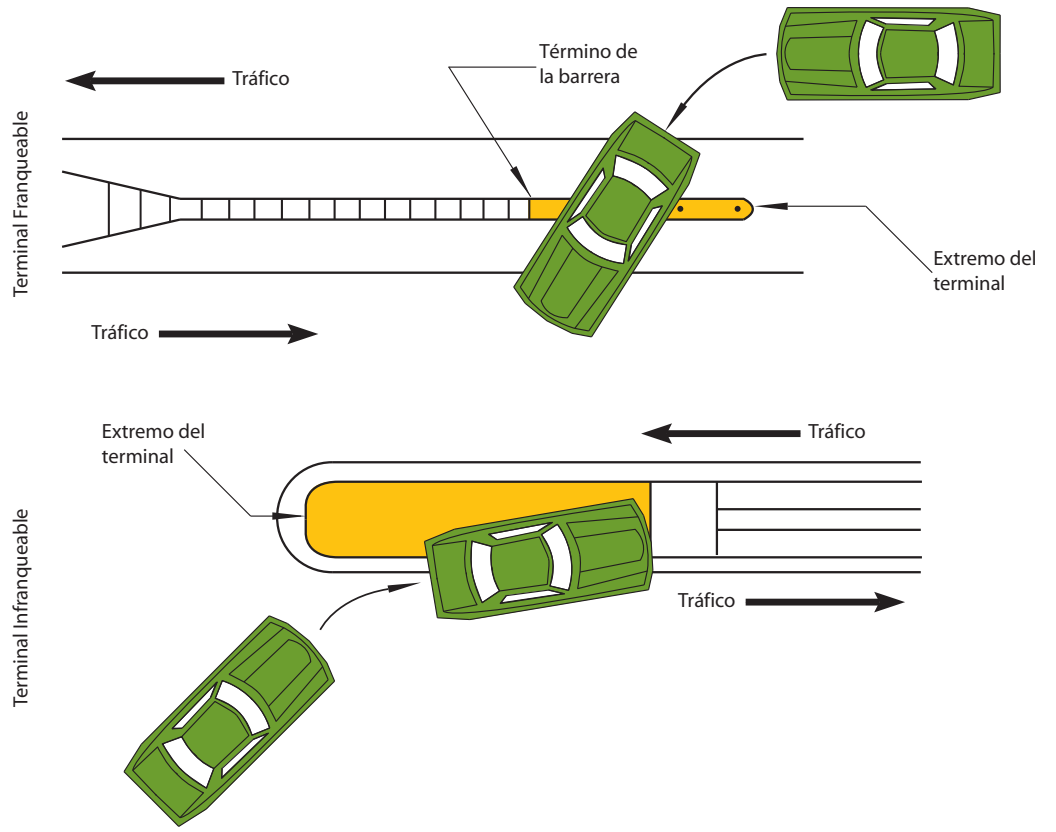
Los terminales de barrera se pueden clasificar de la siguiente manera:



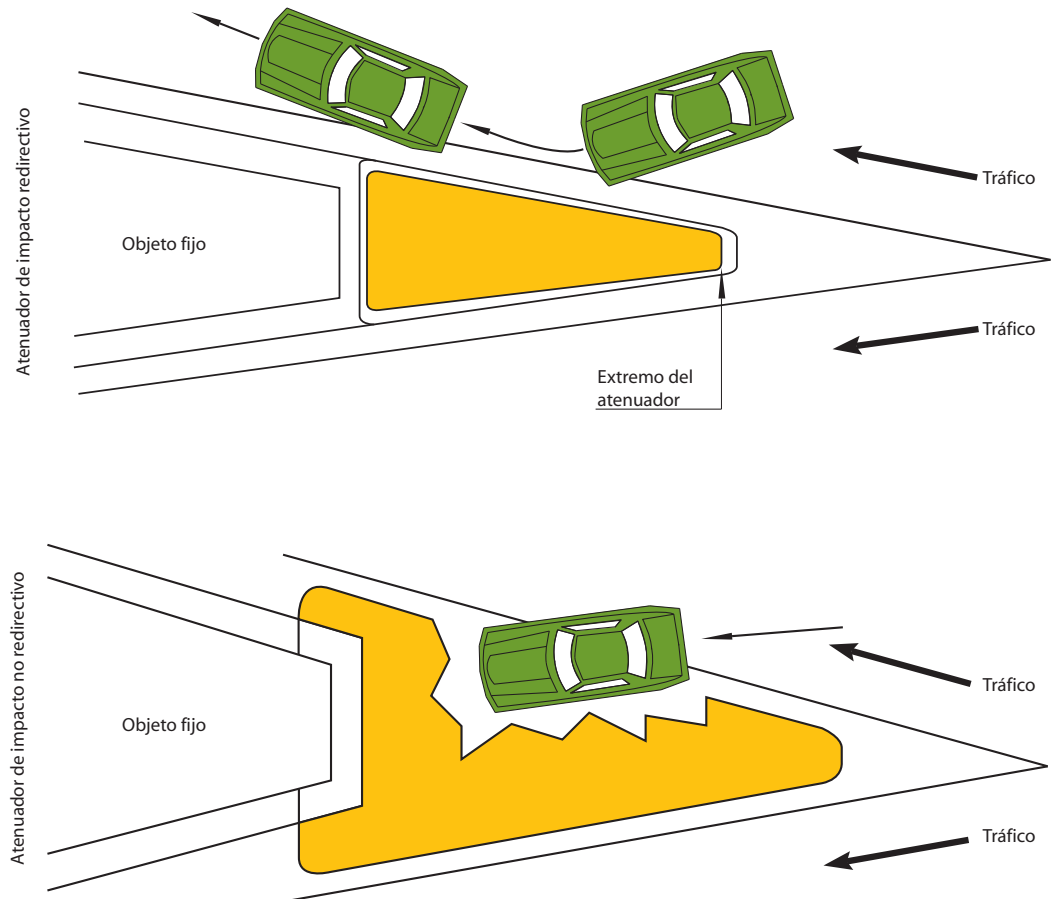
**Figura II-13**  
Amortiguador de impacto instalado en acceso a puente sobre rotonda del Rancho Guanacaste



**Figura II-14**  
Terminales  
franqueables e  
infranqueables



**Figura II-15**  
Amortiguadores  
redirectivos y no  
redirectivos



- Franqueables e
- Infranqueables

La **Figura II-14** ilustra el concepto de terminales franqueables e infranqueables.

Los terminales infranqueables y con capacidad de redireccionamiento no permiten que el vehículo traspase la barrera. Si el choque es frontal, el terminal detiene de manera controlada y segura el vehículo. Si el choque es lateral, el terminal desacelera y cambia la trayectoria del vehículo, permitiéndole regresar a la vía.

Los terminales franqueables y no redirectivos son diseñados para que el vehículo pase a través de ellos e ingrese en una área ubicada detrás de la barrera, la cual debería ser plana y libre de obstáculos.

Los amortiguadores de impacto se pueden clasificar de la siguiente manera (Ver **Figura II-15**):

- Redirectivos
- No redirectivos

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

Los atenuadores de impacto redirectivos contienen el vehículo y cambian su dirección, apartándolo del objeto rígido peligroso.

Los siguientes factores se deben considerar para seleccionar el terminal de barrera más apropiado:

- Las características del terminal de barrera (sobretudo las que se refieren a la capacidad de redireccionamiento de los vehículos)
- Velocidad.
- Espacio disponible para la instalación y deformación del terminal.
- Capacidad para absorber las colisiones.
- Compatibilidad con la barrera de seguridad.
- Costos de instalación y mantenimiento.

Cada uno de estos factores se describen a continuación.

## 5.2 Características del terminal

Los terminales infranqueables y redirectivos no requieren un área libre de obstáculos detrás de la barrera para acomodar el vehículo, por lo tanto son idóneos para proteger zonas estrechas, donde las condiciones de emplazamiento no son favorables.

### 5.2.1 Velocidad

Los terminales de barrera y atenuadores de impacto han sido examinados para diferentes velocidades.

El tratamiento que se seleccione para una barrera debe ajustarse a las condiciones ambientales, especialmente la velocidad de la vía. Un determinado tipo de terminal puede que se adapte mejor al entorno de la vía o su configuración puede modificarse para que su comportamiento durante el impacto sea el más adecuado. Por ejemplo, la longitud de algunos atenuadores de impacto puede variarse según las condiciones ambientales y la máxima velocidad de impacto esperada.

La velocidad máxima generalmente se considera igual al percentil 85 de las velocidades observadas en campo. Las recomendaciones del fabricante en todo caso deben seguirse para lograr los mejores resultados.

### 5.2.2 Espacio disponible para la instalación y deformación del terminal

El espacio disponible también influye en la selección de un terminal de barrera. Por ejemplo, algunos atenuadores de impacto se adaptan mejor a las medianas estrechas, mientras otros son más apropiados para proteger peligros amplios (más anchos).

Los atenuadores de impactos no redirectivos y terminales franqueables requieren una zona plana, compactada y libre de obstáculos para acomodar los vehículos que colisionen con el dispositivo y continúen avanzando hacia el área detrás de la barrera, otros requieren espacio para deformarse y acomodarse durante el impacto.

Los requerimientos de espacio de los atenuadores de impacto deben considerarse en todas las etapas de diseño y construcción de una vía, para asegurarse que el diseño final sea compatible con el dispositivo que se va

Velocidad de diseño (km/h)	Áreas reservadas para atenuadores de impacto								
	dimensiones mínimas (m)						dimensiones preferibles (m)		
	condiciones restringidas			condiciones no restringidas					
	N	F	L	N	F	L	N	F	L
50	2,0	2,5	0,5	2,5	3,5	1,0	3,5	5,0	1,5
80	2,0	5,0	0,5	2,5	7,5	1,0	3,5	10,0	1,5
110	2,0	8,5	0,5	2,5	13,5	1,0	3,5	17,0	1,5
130	2,0	11,0	0,5	2,5	17,0	1,0	3,5	21,0	1,5

**Tabla II-14**  
Requerimientos de espacio de los atenuadores de impacto. N, F, L, según Figura II-16

a instalar.

La **Tabla II-14** muestra las dimensiones que se requieren para instalar un atenuador de impacto. Sin embargo, la información que provee la **Tabla II-14** es genérica y debe utilizarse solamente en las primeras etapas de planificación. En la etapa de diseño debe utilizarse información detallada brindada por el fabricante.

Las medidas que se presentan en la **Tabla II-14** pueden aplicarse a varias situaciones, en la **Figura II-16** se ilustra como ejemplo una bifurcación. Se deben acatar siempre todas las recomendaciones del fabricante con respecto al espacio necesario y el acondicionamiento del terreno.

Las dimensiones preferibles se consideran óptimas, las dimensiones para las condiciones no restringidas son los valores mínimos para cualquier circunstancia, a menos que

se pueda demostrar que los costos asociados son irracionales y solamente resulta económicamente factible proveer las dimensiones para las condiciones restringidas.

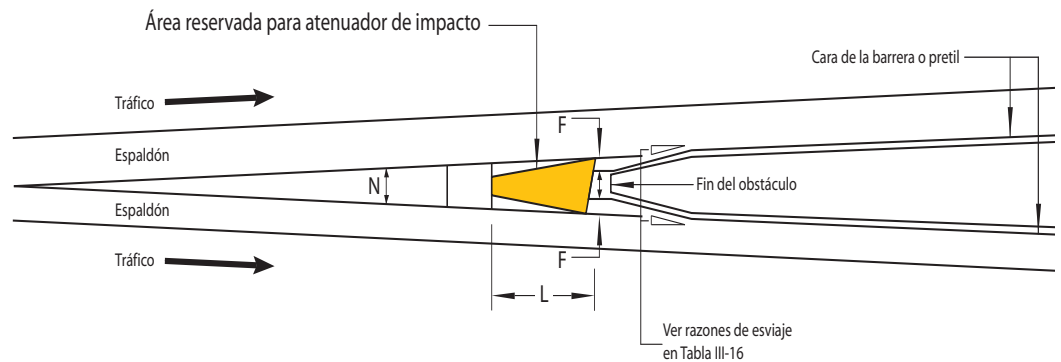
### 5.2.3 Capacidad para absorber las colisiones

Las barreras y los terminales son susceptibles a colisiones menores que no provocan serias lesiones a los ocupantes del vehículo. Si el dispositivo recibe varios impactos menores debería continuar desempeñándose satisfactoriamente sin recibir mantenimiento. Generalmente, los terminales infranqueables se desarrollan mejor en este aspecto.

### 5.2.4 Compatibilidad con la barrera

Las recomendaciones del fabricante deben consultarse para asegurarse que la barrera y el terminal sean compatibles y puedan funcionar adecuadamente.

**Figura II-16**  
Requerimientos de espacio de los atenuadores de impacto



Una sección de transición puede colocarse entre la barrera y el terminal para proveer la rigidez requerida en la conexión entre ambos elementos. La transición evita que el vehículo sea enganchado o embolsado por el sistema y sirve para limitar el cambio en la deflexión.

### 5.2.5 Costos de instalación y mantenimiento

Se deben considerar los siguientes costos:

- Costos de instalación.
- Costos de mantenimiento.
- Costos asociados al riesgo de las actividades de mantenimiento.

Los atenuadores de impacto son relativamente costosos de instalar y reparar, se recomienda utilizarlos si la probabilidad de que un vehículo fuera de control impacte un obstáculo ubicado en los márgenes de la vía es alta y las consecuencias del accidente son severas y además se presenta alguna de las siguientes limitaciones:

- Los otros tratamientos resultan costosos o difíciles de aplicar como: remover o reubicar el obstáculo, implementar un elemento colapsable, o realinear la vía.
- No hay suficiente espacio disponible para instalar una barrera y su terminal, o los terminales de la barrera resultan un obstáculo muy peligroso e inaceptable.

Otras consideraciones que se deben analizar son las siguientes:

- Los costos de instalación y de preparación del sitio pueden ser significativos.
- Si los accidentes por salida de la vía son frecuentes en la zona donde se instala una barrera y su terminal, los costos de reparación y mantenimiento pueden ser factores significativos en el proceso de selección.
- Los tiempos de reparación y reemplazo de los elementos del sistema de contención después de un impacto deben considerarse en el análisis, ya que durante estas actividades se interrumpe o dificulta el tránsito por la vía y por lo tanto aumentan las demoras y los tiempos de viaje.
- Los costos directos asociados al manejo del tráfico y seguridad de la zona de trabajo durante las labores de mantenimiento también deben considerarse.

### 5.3 Criterios generales para la disposición de los terminales de barrera

Un terminal franqueable permite a un vehículo que impacta el costado o la nariz del terminal, pasar a través del dispositivo e ingresar a una zona detrás de la barrera, por lo que el terreno más allá de la barrera y su terminal debe ser traspasable y libre de obstáculos.

Se recomienda un área libre rectangular mínima de 23 m de largo (se miden paralelos a la barrera) y 6 m de ancho (se miden perpendiculares a la barrera). Se debe aclarar que un área de tales dimensiones no puede acomodar a todos los vehículos que impacten el terminal y, por lo tanto, se debe contemplar la probabilidad de que ocurra un accidente debido a la presencia de peligros más allá de ésta área libre establecida.

Los terminales infranqueables y redirectivos no requieren un área despejada detrás de la barrera para acomodar el vehículo y por lo tanto son idóneos para proteger:

- Terminales de barreras en medianas estrechas.
- Zonas estechas.
- Bifurcaciones.
- Objetos fijos localizados en la zona libre necesaria.
- Terminales de pretilas de puentes.
- Pilas de puentes.

Las barreras pueden empotrarse en un talud de corte en aquellos tramos donde se presenten transiciones de un corte a un terraplén. 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 del mismo.

Si el diseño de la barrera y su terminal es adecuado (considerando su disposición en campo y diseño estructural), este tipo de anclaje provee una defensa absoluta a los usuarios de la vía, elimina la posibilidad de una colisión frontal con el terminal de la barrera, y minimiza la posibilidad de que el vehículo traspase la barrera y alcance el obstáculo, por lo tanto se considera que es un tipo de terminal infranqueable.

La configuración del talud debe ser tal, que el vehículo sea redireccionado sin que éste ascienda por la ladera, ya que si esto ocurre podría pasar sobre la barrera y alcanzar la zona peligrosa.

Los aspectos claves que se deben observar en el diseño de un terminal empotrado en un talud de corte son los siguientes:

- Utilizar una razón de esviaje apropiada según la velocidad de diseño
- Colocar un anclaje que sea capaz de desarrollar

el esfuerzo de tensión requerido por la viga de la barrera de seguridad.

- La altura de la viga debe ser uniforme con respecto a la vía hasta que esta cruce el canal de flujo (ubicado al pie del talud de corte por ejemplo).
- Si la barrera esta conformada por una viga de sección “W” se debería colocar una viga inferior adicional (rubrail).
- La pendiente de aproximación del terreno no debe ser mayor a 1V:4H.

Los atenuadores de impacto no redirectivos como los compuestos por contenedores llenos de arena se pueden colocar directamente frente al obstáculo o utilizar como un tratamiento terminal para una barrera, sin embargo, es probable que no sean capaces de redireccionar los vehículos que colisionan lateralmente, especialmente aquellos que se dirigen hacia la parte posterior del dispositivo.

Entre las ventajas que ofrecen están que se pueden utilizar para proteger obstáculos de cualquier ancho y particularmente en ramales de salida, bifurcaciones o divergencias y no requieren estructuras de soporte o muros. El terreno donde se coloquen debe ser plano y compacto, con una pendiente de aproximación no mayor a 1V:20H generalmente, además se recomienda colocar una fundación de concreto o asfalto.

El terreno entre la vía y el terminal debe ser plano, compactado y libre de obstáculos, se recomienda una pendiente igual a 1V:10H o más plana en cualquier dirección, de manera que se garantice que el vehículo se encuentre en una condición estable durante el impacto.



# III Procedimiento de análisis

## 1 El procedimiento

En esta sección se presenta el procedimiento de análisis y diseño de los márgenes de una vía desde el punto de vista de seguridad vial.

El procedimiento general de análisis y diseño consiste en tres etapas:

- Análisis del margen.
- Mejoramiento del margen.
- Implementación de un sistema de contención vehicular.

### 1.1 Análisis del margen

El procedimiento está orientado a determinar si el margen de una vía en una determinada sección presenta condiciones tales que las consecuencias de un accidente por salida de la vía no sean graves. Para que esta condición se cumpla es necesario que el margen esté libre de obstáculos potencialmente peligrosos y que el terreno posea una sección transversal relativamente plana.

La primer etapa consiste en determinar si hay disponible una zona libre de potenciales peligros en el margen de la carretera, para lo cual se debe:

1. Realizar un inventario de los elementos que se ubican en los márgenes de la vía, medir sus dimensiones y localización respecto a los carriles de circulación de la carretera y establecer cuáles podrían ser potencialmente peligrosos (para los usuarios de la vía o terceros) debido a sus dimensiones y características.
2. Medir anchos y pendientes del terreno en el margen de la carretera.
3. Establecer la zona libre disponible.
4. Calcular la zona libre necesaria para cada sección de la vía.

Si la zona libre disponible es mayor o igual a la zona libre necesaria, el margen de la carretera se considera seguro y no es necesario implementar ninguna medida.

### 1.2 Mejoramiento del margen

En caso de que el margen de la carretera no posea condiciones para considerarla segura

(la zona libre no es suficientemente amplia), ya sea por la existencia de obstáculos, por la pendiente del terreno u otro potencial peligro, en primer instancia debe mejorarse el margen eliminando o modificando los obstáculos para reducir el riesgo que producen, y tratar de ampliar la zona libre disponible.

En última instancia, si no fuera posible modificar el margen se debe considerar la posibilidad de instalar algún sistema de contención vehicular.

### 1.3 Implementación de un sistema de contención vehicular

Es importante tener claro que la implementación de un sistema de contención vehicular (SCV) no es necesaria en todos los casos, ya que se adopta como solución final cuando no se logra conseguir resolver el problema de seguridad con alguna medida de la etapa de mejoramiento del margen.

De ser necesario instalar un sistema de contención vehicular, el procedimiento de análisis y diseño permite establecer el nivel de contención necesario del sistema, así como diseñar el sistema, es decir, establecer los parámetros de disposición del sistema (longitud, esviaje, disposición transversal, etc.).

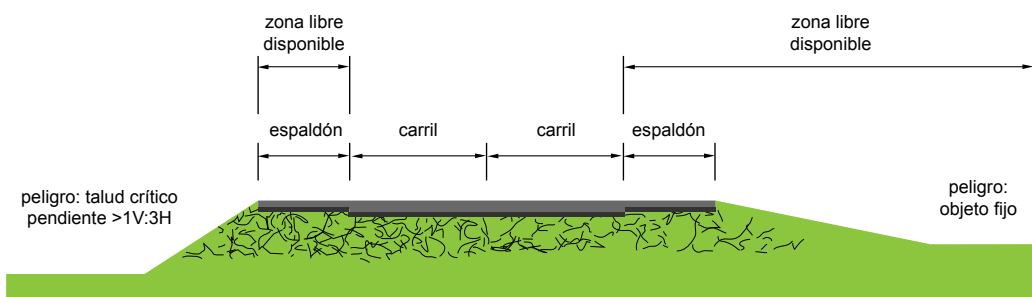
## 2 Zona libre

### 2.1 Definiciones

La **zona libre** es el espacio localizado en el margen de la carretera en el que, después de salirse de la vía, un conductor podría reconducir o detener su vehículo de manera segura, sin volcarse, colisionar contra algún obstáculo peligroso ni causar daño a un tercero.

La **zona libre necesaria (ZLN)** es la distancia medida desde uno de los bordes de la vía hacia el margen correspondiente, necesario para que, después de salirse de la vía, un conductor pueda reconducir o detener su vehículo de manera segura (sin volcarse ni colisionar contra algún obstáculo peligroso).

La **zona libre disponible (ZLD)** se define como el área comprendida entre el borde de la vía y el obstáculo, desnivel u objeto vulnerable más próximo a ella (Ver **Figura III-1**).



**Figura III-1**  
Definición de la zona libre disponible

En las siguientes secciones se presentan los criterios técnicos que permiten establecer las zonas libres necesarias y disponibles.

## 2.2 Taludes y la zona libre

Los taludes de relleno paralelos a la vía se clasifican según su pendiente de acuerdo con los criterios de la **Tabla III-1**.

Los terrenos planos y aquellos que se consideran *traspasables* y *recuperables*, permitirían a un conductor de un vehículo que se sale de la vía, circular de manera segura y recuperar el control del vehículo, o detenerse por completo para luego volver a su carril de circulación en la carretera.

Si la pendiente del terreno se clasifica como aceptable *-traspasable pero no recuperable-* un vehículo que se salga de a vía probablemente no se vuelque al transitar sobre el talud, pero dependiendo de la velocidad a la que circule no le sería posible detenerse en esa zona y descenderá

hasta el final de esa pendiente.

Por otra parte, si la pendiente del talud se clasifica como crítica *-no traspasable-*, el vehículo corre el riesgo de volcarse.

Las zonas de pendiente preferible se consideran seguras y aptas para carreteras de alta velocidad y altos volúmenes de vehículos pesados.

Los taludes de relleno paralelos a la vía se clasifican según su pendiente de acuerdo con la **Tabla III-2**. En este caso se consideran dos factores: la pendiente y la altura del talud.

Se considera que taludes con pendientes ascendentes menores al 50% ( $S \leq 1V:2H$ ), independientemente de la altura del talud, son *traspasables*. Esto significa que un vehículo que se salga de la vía podría transitar sobre el talud sin peligro a colisionar agresivamente contra él.

En el caso de que la altura del talud ascendente no supere 1,2 m, independientemente de su

Clasificación	Descripción	Pendiente (S)
Preferible	Plano	$S \leq 1V:6H$
Seguro	Traspasable y recuperable	$1V:6H < S \leq 1V:4H$
Aceptable	Traspasable pero no recuperable	$1V:4H < S \leq 1V:3H$
Crítico	No traspasable	$S > 1V:3H$

**Tabla III-1**  
Clasificación de los taludes de terraplén según su pendiente

Clasificación	Descripción	Pendiente (S)	Altura (H)
Seguro	Traspasable	$S \leq 1V:2H$	-
Aceptable	Traspasable	$S > 1V:2H$	$H \leq 1,2m$
Crítica	No traspasable	$S > 1V:2H$	$H \geq 1,2m$

**Tabla III-2**  
Clasificación de los taludes de terraplén según su pendiente



	Velocidad (Km/h)	TPDA (vpd)	ZLMN <sub>0</sub> (m)	
			Pendiente del talud	
			negativa	positiva
Tabla III-3 Ancho de la zona libre mínima necesaria (ZLMNo)	<60	< 2000	3,5	3,5
		2000 - 10000	4,5	4,5
		> 10000	4,5	4,5
60-80	< 2000	5,0	5,0	
	2000 - 10000	5,0	5,0	
	> 10000	6,0	5,5	
80-100	< 2000	6,5	5,0	
	2000 - 10000	7,5	5,5	
	> 10000	8,0	6,0	

pendiente, también se considera como un talud *traspasable*.

### 2.3 Cálculo de la zona libre necesaria

La **zona libre mínima necesaria (ZLMN)** es el ancho mínimo de la zona libre necesaria, suponiendo que el terreno al margen de la carretera es plano. Este parámetro teórico de referencia se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$ZLMN = ZLMN_0 * F_c \quad (\text{Ecuación III-1})$$

Donde:

ZLMNo = valor de ZLMN para tramos con alineamiento horizontal recto. Este el valor se obtiene de la Tabla III-3, según la velocidad de diseño y el volumen de tráfico (TPDA en ambos sentidos de circulación) del tramo de carretera.

F<sub>c</sub> = es el factor de corrección debido al radio de curvatura de la vía. Se obtiene de la **Tabla III-4**.

Los valores especificados en la Tabla **III-3**

	Radio de curvatura	Factor de corrección (F <sub>c</sub> )
Tabla III-4 Factores de corrección según el radio de curvatura de la vía	>900	1,0
	900-600	1,2
	600-300	1,3
	300-100	1,5

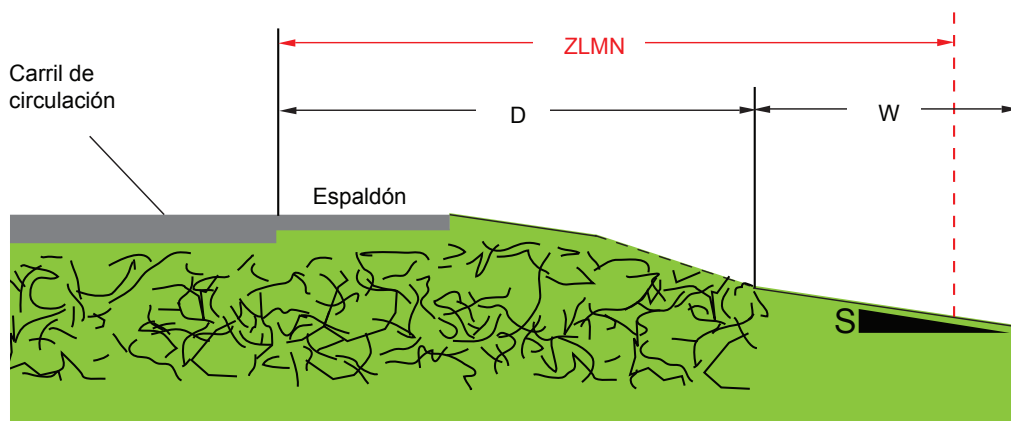
se aplican como **ZLN** a tramos rectos de vía en los cuales el margen de la carretera posee taludes de pendiente negativa igual a 1V:6H o más plana o taludes de pendiente positiva menor a 1V:2H. En el caso de tramos curvos estos valores deben ser corregidos por los factores F<sub>c</sub> de la **Tabla III-4** según el radio de curvatura.

Cuando los taludes localizados dentro de la **ZLMN** poseen pendientes mayores a 1V:6H, la **ZLN** es mayor a la **ZLMN** debido a que se requiere un área adicional para que un vehículo pueda maniobrar y recuperarse o para detenerse.

La **Figura III-2** y la **Tabla III-5** muestran los criterios generales para la determinación de la **ZLN** en taludes de relleno, en función de la **ZLMN** y de la topografía del talud.

Las **Figuras III-3** y **III-4** junto con las **Tablas III-6** y **III-7**, muestran dos ejemplos de aplicación de los criterios para determinar la **ZLN** y la **zona libre potencialmente disponible (ZLPD)** en márgenes que poseen determinadas combinaciones de pendiente. En estos ejemplos se denomina **ZLPD** al área del talud que posee pendientes consideradas traspasables (S < 1V:3H), que de estar libre de obstáculos sería **ZLD**. Sin embargo, en todos los casos la **ZLD** queda limitada por la presencia de obstáculos fijos.

En el caso de que el margen de la carretera posea un talud de corte, la **ZLN = ZLMN**, tal y como se muestra en la **Figura III-5** y en la **Tabla III-8** (la cual muestra también la **ZLPD** en estos casos).



**Figura III-2**  
Taludes de relleno y la ZLN

**NOTAS:**

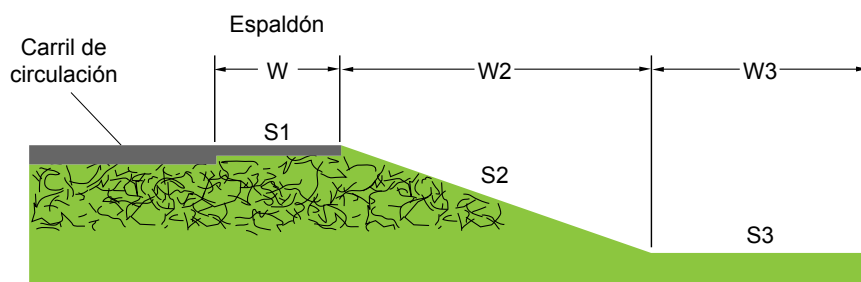
**D** = Ancho del talud con pendiente (s) ≤ 1:6 (V:H). Incluye el espaldón.

**W** = Ancho del talud con pendiente > 1:6 (V:H).

**S** = Pendiente del talud (V:H)

S	≤ 1:6	1:6 ≤ S ≤ 1:4		1:4 ≤ S ≤ 1:3	≥ 1:3
Caso	-	ZLMN - D > ½W	ZLMN - D ≤ ½W	-	-
ZLN	ZLMN	ZLMN + ½W	ZLMN + (ZLMN-D)	ZLMN + W	ZLD < ZLN

**Tabla III-5**  
Taludes de relleno y la ZLN



**Figura III-3**  
Ejemplo 1:  
Talud de terraplén

S <sub>1</sub>	≤ 1:6	≤ 1:6		≤ 1:6	≤ 1:6
S <sub>2</sub>	≤ 1:6	1:6 ≤ S <sub>2</sub> ≤ 1:4		1:4 ≤ S <sub>2</sub> ≤ 1:3	≥ 1:3
S <sub>3</sub>	≤ 1:6	≤ 1:6		≤ 1:6	-
Caso	-	ZLMN - W <sub>1</sub> > ½W <sub>2</sub>	ZLMN - W <sub>1</sub> ≤ ½W <sub>2</sub>	-	-
ZLN	ZLMN	ZLMN + ½W <sub>2</sub>	W <sub>1</sub> + 2(ZLMN - W <sub>1</sub> )	ZLMN + W <sub>2</sub>	ZLD < ZLN
ZLPD	W <sub>1</sub> + W <sub>2</sub> + W <sub>3</sub>	W <sub>1</sub> + W <sub>2</sub> + W <sub>3</sub>	W <sub>1</sub> + W <sub>2</sub> + W <sub>3</sub>	W <sub>1</sub> + W <sub>2</sub> + W <sub>3</sub>	W <sub>1</sub>

**Tabla III-6**  
Cálculo de la zona libre necesaria según las pendientes del terreno, Ejemplo 1

**NOTAS:**

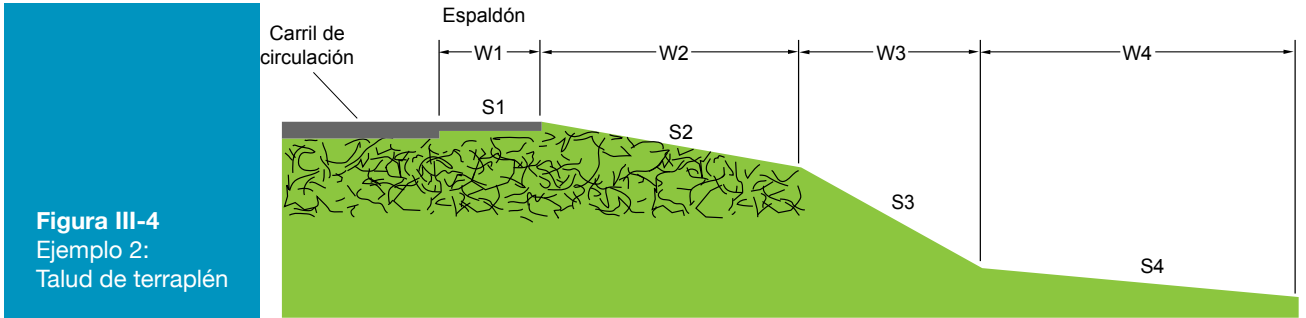
**i** = número de sección (i = 1,2,3)

**S<sub>i</sub>** = Pendiente V:H de la sección i. Cada sección puede estar compuesta por uno o varios segmentos consecutivos cuyas pendientes correspondan al rango indicado.

**W<sub>i</sub>** = Ancho de la sección i.

**ZLN** = Zona libre necesaria.

**ZLPD** = Zona libre potencialmente disponible.



**Figura III-4**  
Ejemplo 2:  
Talud de terraplén

**Tabla III-7**  
Cálculo de la zona libre necesaria según las pendientes del terreno, Ejemplo 2

S <sub>1</sub>	≤ 1:6	≤ 1:6		≤ 1:6	≤ 1:6
S <sub>2</sub>	≤ 1:6	≤ 1:6		≤ 1:6	≤ 1:6
S <sub>3</sub>	≤ 1:6	1:6 ≤ S <sub>3</sub> ≤ 1:4		1:4 ≤ S <sub>3</sub> ≤ 1:3	≥ 1:3
S <sub>4</sub>	≤ 1:6	≤ 1:6		≤ 1:6	≤ 1:6
Caso	-	ZLMN - (W <sub>1</sub> + W <sub>2</sub> ) > ½W <sub>3</sub>	ZLMN - (W <sub>1</sub> + W <sub>2</sub> ) ≤ ½W <sub>3</sub>	-	-
ZLN	ZLMN	ZLMN + ½W <sub>3</sub>	W <sub>1</sub> + W <sub>2</sub> + 2(ZLMN - W <sub>1</sub> - W <sub>2</sub> )	ZLMN + W <sub>3</sub>	ZLMN
ZLPD	W <sub>1</sub> +W <sub>2</sub> +W <sub>3</sub>	W <sub>1</sub> + W <sub>2</sub> + W <sub>3</sub>	W <sub>1</sub> + W <sub>2</sub> + W <sub>3</sub>	W <sub>1</sub> + W <sub>2</sub> + W <sub>3</sub>	W <sub>1</sub> + W <sub>2</sub>



**Figura III-5**  
Ejemplo 3:  
Talud de corte

**Tabla III-8**  
Cálculo de la zona libre necesaria según las pendientes del terreno, Ejemplo 3

S <sub>1</sub>	≤ 1:6	≤ 1:6	≤ 1:6
S <sub>2</sub>	≤ 1:6	≤ 1:6	≤ 1:6
S <sub>3</sub>	< 1:2	≥ 1:2	
H	-	< 1,2 m	≥ 1,2 m
ZLN:	ZLMN	ZLMN	ZLMN
ZLD:	W <sub>1</sub> + W <sub>2</sub> + W <sub>3</sub>	W <sub>1</sub> + W <sub>2</sub> + W <sub>3</sub>	W <sub>1</sub> + W <sub>2</sub> + 1,2(S <sub>3</sub> )

**NOTAS:**  
*i* = número de sección (*i* = 1,2,3)  
**S<sub>i</sub>** = Pendiente V:H de la sección *i*. Cada sección puede estar compuesta por uno o varios segmentos consecutivos cuyas pendientes correspondan al rango indicado.  
**W<sub>i</sub>** = Ancho de la sección *i*.  
**ZLN** = Zona libre necesaria.  
**ZLPD** = Zona libre potencialmente disponible.

## 2.4 Cunetas y canales

Las cunetas y los canales usualmente son canales abiertos paralelos a la carretera ubicados en los márgenes de la vía, cuya función principal es la de recolectar el agua de lluvia superficial a lo largo de la vía y llevarla a puntos adecuados de desagüe.

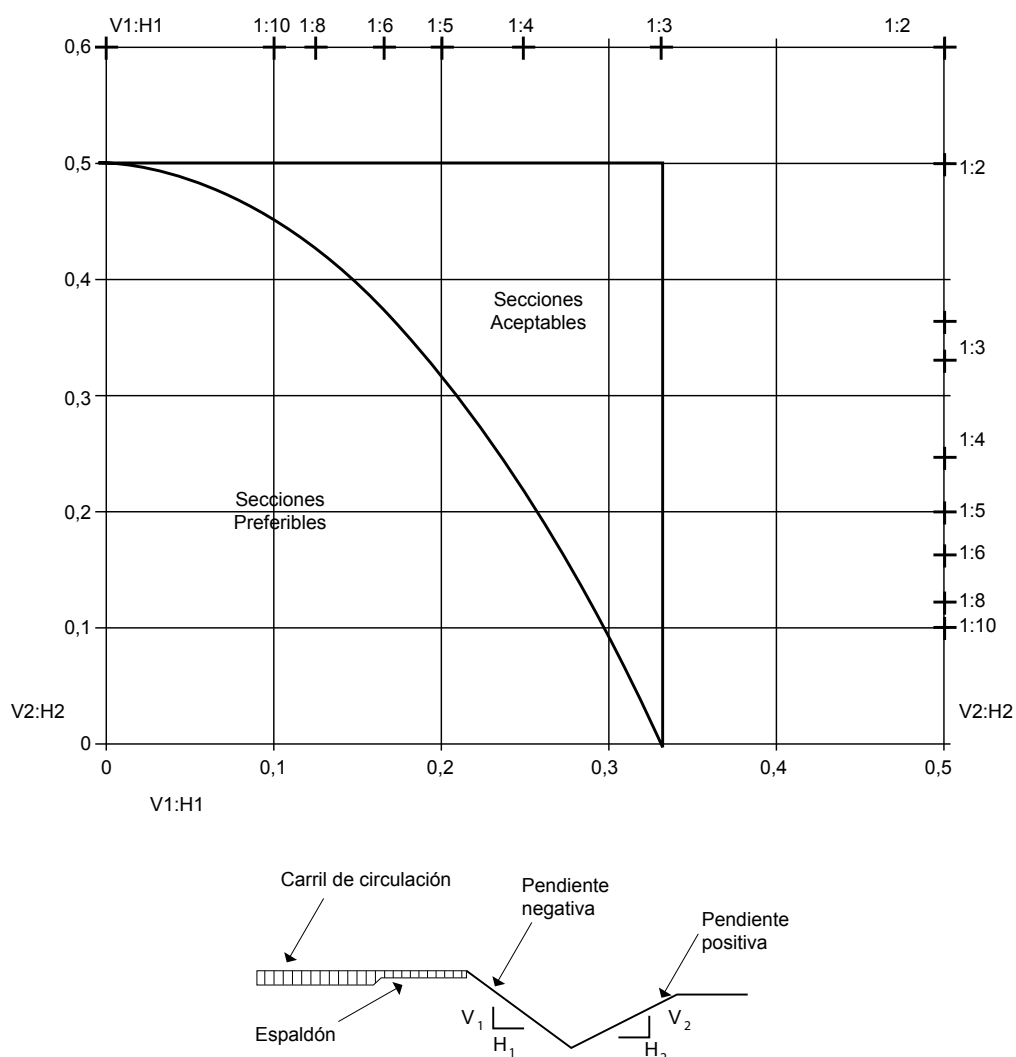
Las cunetas y canales deben diseñarse para que evacúen la escorrentía superficial de diseño y el agua adicional en lluvias excesivas, con el mínimo de inundación o daño de los carriles de circulación. Sin embargo, estos canales también deben ser diseñados, construidos, y mantenidos considerando su efecto sobre la seguridad de la vía.

La **Figura III-6** y la **Figura III-7** muestran las combinaciones de pendientes preferibles y pendientes aceptables para cunetas y canales triangulares y trapezoidales,

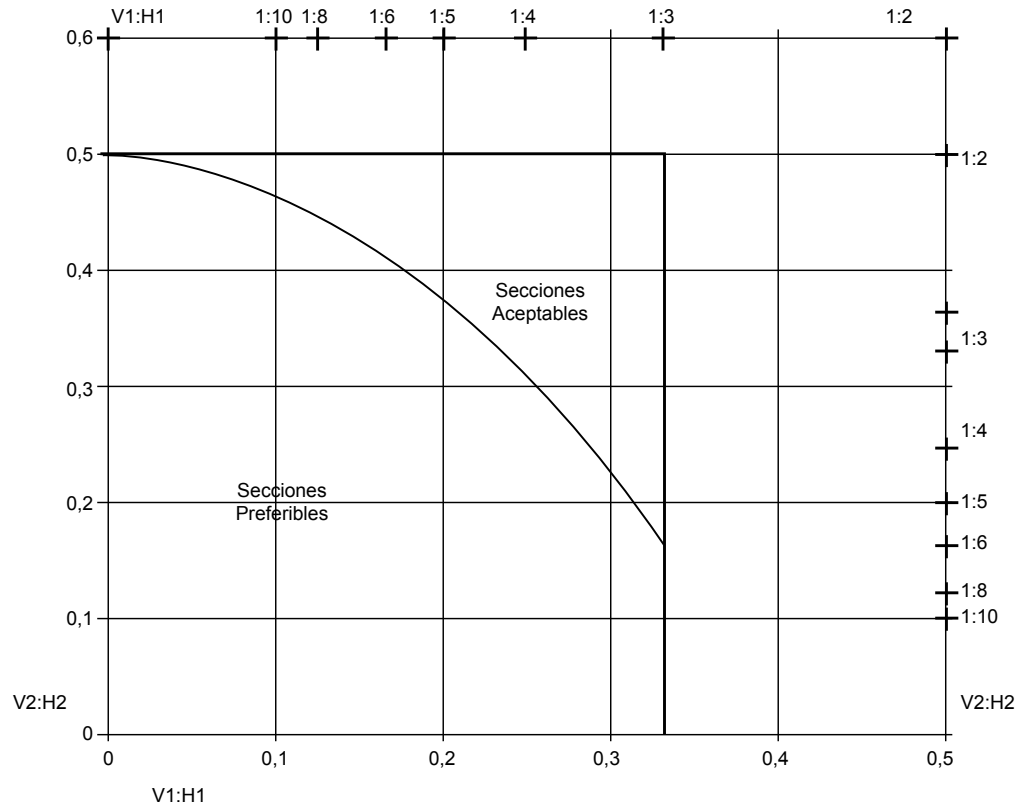
respectivamente.

Siempre y cuando consideraciones económicas o de espacio no lo impidan, la inclinación de las paredes de las cunetas debe ser igual o inferior a 1V:6H y sus aristas redondeadas con un radio mínimo de 10 m. Las cunetas que cumplen con estos criterios de diseño se denominan cunetas de seguridad. La **Figura III-8** muestra una cuneta de seguridad.

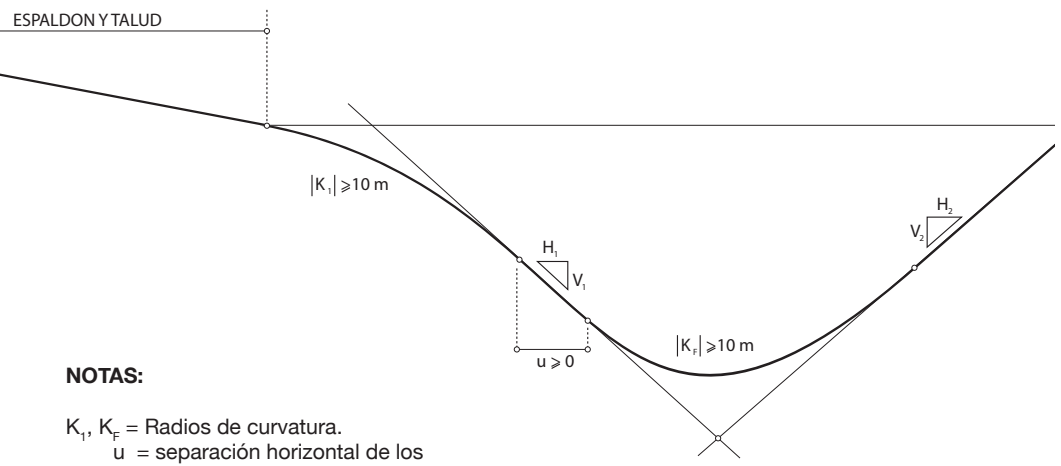
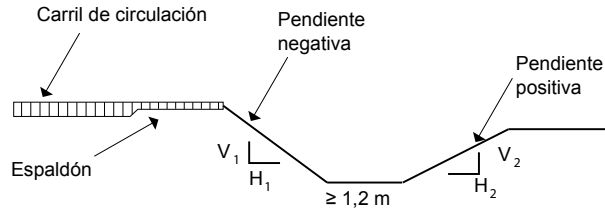
Las **cunetas reducidas**, similares a la que se muestra en la **Figura III-9** solo deben ser usadas cuando el terreno es accidentado y hay limitaciones de espacio, y deben cubrirse con una rejilla o tapa con ranuras, o ser protegidas por una barrera de seguridad.



**Figura III-6**  
Secciones preferibles para canales de sección triangular

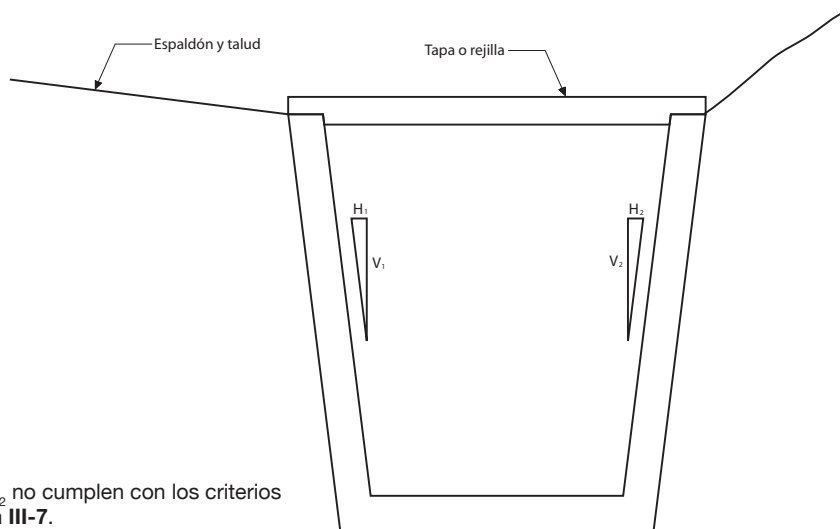


**Figura III-7**  
Secciones preferibles para canales de sección trapezoidal



**NOTAS:**  
 $K_1, K_f$  = Radios de curvatura.  
 $u$  = separación horizontal de los puntos de tangencia.  
 $H_1, V_1, H_2, V_2$  deben cumplir con los criterios de la **Figura III-6**.

**Figura III-8**  
Cuneta de seguridad



**NOTA:**

$H_1, V_1, H_2, V_2$  no cumplen con los criterios de la Figura III-7.

**Figura III-9**  
Cuneta reducida

### 3 Identificación y tratamiento de peligros potenciales

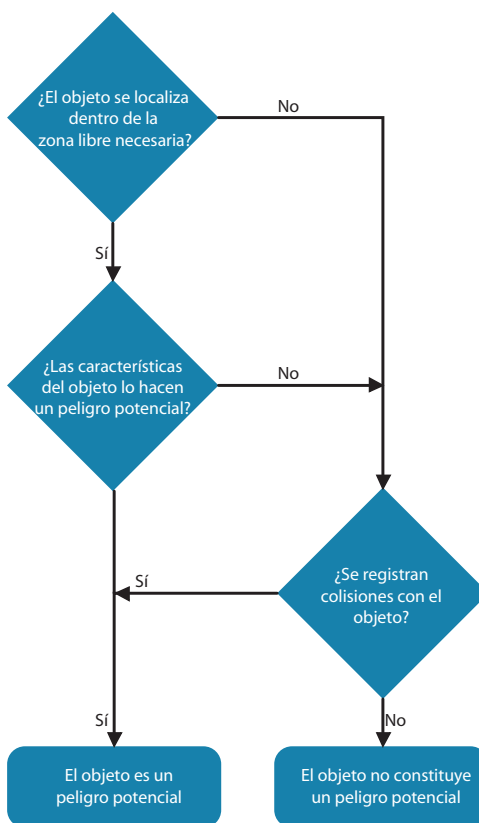
#### 3.1 Procedimiento general de indentificación

El riesgo asociado con un elemento depende de la probabilidad de que éste sea impactado por un vehículo que sale de la vía y la severidad de la colisión (gravedad del accidente).

Un elemento se considera un peligro potencial si cumple simultáneamente las siguientes tres condiciones:

- La **naturaleza del elemento** (dimensiones, geometría o configuración) son tales que su interacción con un vehículo podría producir daños serios.
- La **velocidad de la vía** es suficientemente elevada. Las consecuencias del impacto contra un obstáculo son directamente proporcionales a la velocidad, de tal forma que, la velocidad de circulación condiciona que el impacto contra un obstáculo pueda dar lugar a daños serios o no. Si el análisis se realiza para una carretera nueva (en proyecto), la velocidad que debe considerarse es la “velocidad de diseño”. En una carretera existente se debe emplear la “velocidad real”, representada por la velocidad del percentil 85,  $V_{85}$ .
- La **distancia del elemento al borde de la vía** sea igual o menor a la zona

libre necesaria (**ZLN**). Un obstáculo que por su naturaleza sea peligroso y esté situado en las proximidades de una vía con velocidad suficiente para que el impacto pueda ser severo, no se considera peligroso si se encuentra suficientemente alejado del borde la vía –ubicado después de la ZLN–. Sin embargo, debe tomarse en consideración que un análisis de sitios de concentración de accidentes podría determinar que un obstáculo es peligroso, aún cuando se ubique después de al ZLN.



**Figura III-10**  
Esquema del procedimiento general para la identificación de obstáculos potencialmente peligrosos

El procedimiento general de identificación de obstáculos se muestra en la **Figura III-10**.

Los elementos que se clasifiquen como potencialmente peligrosos deben ser tratados para garantizar la seguridad de los usuarios de la vía y otros terceros vulnerables que se ubiquen en los márgenes de la carretera.

### 3.2 Clasificación de peligros potenciales

Los peligros potenciales se clasifican de la siguiente manera:

- Peligros continuos: son aquellos dispuestos lo largo de la vía y poseen una longitud considerable.
- Peligros discontinuos: son aquellos que se presentan de manera puntual.

#### Peligros discontinuos:

- Árboles aislados o arbustos pequeños.
- Postes de servicios (teléfono, electricidad, etc.)
- Luminarias (postes de alumbrado).
- Soportes de señales, vallas y rótulos.
- Cantos y rocas.
- Pilares de puentes, entradas a túneles.
- Cunetas, canales, tuberías (transversales a la vía).
- Terminales de los drenajes.
- Cuerpos de agua que pasan por debajo de la vía.
- Otras vías transversales y que se ubican a un nivel inferior.
- Edificios o estructuras cercanas a la vía.
- Taludes transversales a la vía.

#### Peligros continuos:

- Filas de árboles, bosques.
- Otras vías paralelas.
- Cuerpos de agua paralelos a la vía como ríos, lagos, estanques o mares.
- Tablestacas y pantallas antirruído.
- Cercas, tapias, paredes y muros de propiedades, muros de retención y muros de tierra o suelo reforzado.
- Terraplenes paralelos a la vía y precipicios.
- Laderas de piedra.
- Canales y cunetas paralelas a la vía.
- Bordillos.

### 3.2 Criterios técnicos para la identificación de peligros

Para identificar cuáles elementos ubicados en el margen de la carretera podrían considerarse como un potencial peligro y comparar los posibles tratamientos en cada caso, se debe realizar un inventario de los elementos y recopilar la siguiente información:

- Ubicación detallada del elemento.
- Características del elemento (dimensiones, materiales, etc).
- Topografía del terreno donde se ubica el elemento.
- Características geométricas de la carretera: curvatura, pendientes, ancho del los carriles de circulación y el espaldón, etc.
- Características de la mediana de la carretera: ancho, topografía, etc.
- Condición de la estructura de pavimento, incluyendo el espaldón.
- Condiciones de la señalización y demarcación horizontal.
- Condiciones de iluminación.

La **Tabla III-9** presenta los criterios técnicos para determinar si un elemento representa un potencial peligro, y los tratamiento más comunes. Se incluyen 17 elementos comunes enumerados del E-1 al E-17

Los tratamientos se presentan en orden de preferencia desde el punto de vista de la seguridad vial, ya que siempre es preferible eliminar, reubicar o modificar el obstáculo que colocar un sistema de contención vehicular.

El equipo de profesionales encargado del diseño de los márgenes de una nueva vía o la administración de una carretera existente, debe seleccionar el tratamiento mas adecuado en cada caso y justificar su elección de acuerdo a un análisis económico (C/B).

**Tabla III-9**  
Criterios técnicos para la identificación de peligros

Muros, tapias, muros de retención, muros de suelo reforzado, tablestacas, pantallas antirruído y cercas rígidas

E-1

Descripción	Tratamientos
Los elementos rígidos o de superficie irregular (rugosa) se consideran peligros potenciales.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Remover el elemento.</li> <li>2. Colocar una barrera de seguridad.</li> <li>3. Delinear la zona peligrosa si las opciones anteriores no son factibles técnica o económicamente.</li> </ol>

Taludes paralelos a la vía

E-2

Descripción	Tratamientos									
<p>Los taludes paralelos a la vía se consideran un peligro potencial si:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se clasifican como críticos según la <b>Tabla III-1</b> o la <b>Tabla III-2</b>, es decir:</li> </ol> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo</th> <th>Pendiente (S)</th> <th>Altura (H)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Talud de relleno</td> <td><math>S \geq 1V:3H</math></td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Talud de corte</td> <td><math>S \geq 1V:2H</math></td> <td><math>H \geq 2m</math></td> </tr> </tbody> </table> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Poseen una superficie irregular o rocosa.</li> <li>3. Presentan cambios de pendiente abruptos (no suavizados).</li> </ol>	Tipo	Pendiente (S)	Altura (H)	Talud de relleno	$S \geq 1V:3H$	-	Talud de corte	$S \geq 1V:2H$	$H \geq 2m$	<p><b>Taludes de relleno</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aplanar y nivelar el terreno a una pendiente segura.</li> <li>2. Colocar una barrera de seguridad.</li> <li>3. Delinear la zona peligrosa si las opciones anteriores no son factibles técnica o económicamente.</li> </ol> <p><b>Taludes de corte</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Conformar al pie del talud rocoso un talud de tierra de pendiente menor o igual a 1V:2H y de 1,5 m altura como mínimo.</li> <li>2. Colocar una barrera de seguridad.</li> <li>3. Delinear la zona peligrosa si las opciones anteriores no son factibles técnica o económicamente.</li> </ol> <p>En tramos donde se pueden identificar múltiples peligros (entre ellos taludes críticos o laderas rocosas) a una distancia uniforme de la vía, pero dentro de los límites de la zona libre necesaria, se pueden aplicar otros criterios, siempre que no se justifique la instalación de una barrera de seguridad continua debido a una alta tasa de accidentalidad en el tramo. Por ejemplo, en carreteras donde el volumen de tránsito es bajo o la velocidad de circulación es restringida debido al diseño geométrico, como en zonas montañosas, se pueden implementar los siguientes tratamientos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Delinear la zona peligrosa y colocar señales de prevención.</li> <li>• Construir bandas sonoras.</li> <li>• Asegurar un adecuado mantenimiento de la superficie de ruedo y los espaldones.</li> <li>• Mejorar el alineamiento horizontal o vertical.</li> <li>• Proveer barreras de contención en las interfaces donde se presenten cambios en los estándares de diseño de la vía, por ejemplo en curvas pronunciadas después de tramos rectos.</li> </ul>
Tipo	Pendiente (S)	Altura (H)								
Talud de relleno	$S \geq 1V:3H$	-								
Talud de corte	$S \geq 1V:2H$	$H \geq 2m$								



**Tabla III-9 (Continuación)**  
 Criterios técnicos para la identificación de peligros

<b>E-3</b> Taludes transversales a la vía	
Descripción	Tratamientos
<p>Los taludes transversales a la vía se ubican en los retornos en las medianas, intersecciones y accesos de propiedades a la vía principal.</p> <p>Se sugiere que las pendientes de los taludes transversales a la vía sean iguales a 1V:6H o más planas en las vías de alta velocidad de tránsito (<math>V &gt; 80 \text{ km/h}</math>), particularmente en las zonas inmediatas a la plataforma de la vía principal. Pendientes más empinadas en zonas urbanas o vías de baja velocidad de tránsito no se consideran tan críticas.</p>	<p><b>Velocidad de la vía mayor o igual a 80 Km/h:</b></p> <p>Aplanar el terreno a una pendiente segura menor o igual a 1V:6H.</p> <p><b>Velocidad de la vía menor a 80 Km/h:</b></p> <p>Aplanar el terreno a una pendiente segura menor o igual a 1V:2H.</p>
<b>E-4</b> Pilares de puentes y entradas a túneles	
Descripción	Tratamientos
<p>Pilares de todo tipo de puentes y entradas a túneles.</p>	<p>Colocar una barrera de seguridad o un atenuador de impacto.</p> <p>Se debe proveer un espacio igual al ancho de trabajo entre la barrera de seguridad y el pilar del puente para permitir el adecuado funcionamiento del sistema y evitar que los vehículos de mayores dimensiones se inclinen sobre la barrera de seguridad y colisionen el pilar del puente.</p>
<b>E-5</b> Desniveles o precipicios	
Descripción	Tratamientos
<p>Desniveles o precipicios al margen de la plataforma de la vía.</p>	<p>Colocar una barrera de seguridad.</p>
<b>E-6</b> Árboles aislados	
Descripción	Tratamientos
<p>Si el diámetro del árbol es mayor a 10,0cm se considera un peligro potencial, sin embargo, cualquier arbusto puede convertirse en un obstáculo si al alcanzar su madurez su tronco es mayor a 10,0 cm de diámetro.</p> <p>Los árboles se consideran obstáculos muy peligrosos para los vehículos livianos ya que absorben muy poca energía cinética durante una colisión, por lo que las consecuencias del accidente pueden ser fatales para los ocupantes del vehículo.</p>	<p>Sembrar en la zona libre necesaria de la vía solamente plantas cuyo tallo no alcance un diámetro mayor a 10,0cm en su madurez.</p> <p>Reemplazar los árboles por plantas cuyo tallo no alcance un diámetro mayor a 10,0cm en su madurez.</p> <p>Reubicar los árboles pequeños fuera de la zona libre necesaria donde no representen un peligro potencial para los usuarios de la vía.</p> <p>Si el árbol no puede removerse debido a razones históricas o ambientales se debe colocar una barrera de contención vehicular.</p>

**Tabla III-9 (Continuación)**  
Criterios técnicos para la identificación de peligros

Filas de árboles o bosques **E-7**

Descripción	Tratamientos
Los árboles poco espaciados y áreas con una alta densidad de vegetación, como los bosques, se consideran un peligro potencial continuo.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reemplazar los árboles que se encuentren dentro de la zona libre necesaria por plantas cuyo tallo no alcance un diámetro mayor a 10,0 cm en su madurez.</li> <li>2. Colocar una barrera de seguridad si la opción anterior no es factible por razones históricas o ambientales.</li> <li>3. Delinear la zona peligrosa si no es factible técnica o económicamente colocar una barrera de seguridad.</li> </ol>

Luminarias, postes de servicio y postes de señales de tránsito, rótulos o vallas **E-8**

Descripción	Tratamientos
<p>Soportes rígidos que no han sido diseñados y certificados según las normativas EN1317 o NCHRP Reporte 350.</p> <p>Postes de concreto reforzado de más de 10,0 cm de diámetro.</p> <p>Soportes que excedan las propiedades equivalentes de una sección de acero de diámetro exterior igual a 89 mm y espesor nominal de 3,2 mm.</p> <p>Los postes se consideran obstáculos rígidos muy agresivos, que pueden provocar serias lesiones a los ocupantes de un vehículo liviano si éste es enganchado.</p>	<p><b>Soportes de señales, rótulos o vallas:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Eliminar la estructura.</li> <li>2. Ubicar la estructura fuera de la zona libre necesaria.</li> <li>3. Si el elemento debe ubicarse cerca de la vía por razones funcionales, por ejemplo las señales de tránsito, se pueden implementar soportes certificados según los requerimientos de la normativa europea EN 1317 o norteamericana NCHRP Reporte 350 y aprobados por la Administración.</li> <li>4. Instalar una barrera de seguridad.</li> <li>5. Delinear el obstáculo si las opciones anteriores no son factibles técnica o económicamente.</li> </ol> <p><b>Luminarias:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ubicar los postes fuera de la zona libre necesaria.</li> <li>2. Colocar soportes ensayados y certificados según la normativa EN1317 o NCHRP Reporte 350.</li> <li>3. Instalar una barrera de contención vehicular.</li> <li>4. Delinear el obstáculo si las opciones anteriores no son factibles técnica o económicamente.</li> </ol> <p><b>Postes de servicios:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ubicar los postes fuera de la zona libre necesaria.</li> <li>2. Implementar instalaciones subterráneas.</li> <li>3. Colocar soportes ensayados y certificados por la normativa EN1317 o NCHRP Reporte 350.</li> <li>4. Instalar una barrera de contención vehicular.</li> <li>5. Delinear el obstáculo si las opciones anteriores no son factibles técnica o económicamente.</li> </ol>

**Tabla III-9 (Continuación)**  
Criterios técnicos para la identificación de peligros

<b>E-9</b>		Postes metálicos o de concreto reforzado colocados para proteger otras estructuras	
	Descripción	Tratamientos	
	Incluye cualquier poste colocado en el margen de la vía con el propósito de proteger otros elementos o estructuras, tales como edificios, luminarias, tuberías, entre otras, o para evitar el paso del tránsito a través del margen de la carretera.	<p>Remover los postes y analizar si la estructura o elemento que se protegía representa un obstáculo potencialmente peligroso y tratarlo.</p> <p>En el caso de que los postes estuvieran evitando que el tránsito pasara a través del margen de la carretera se debe estudiar la conveniencia de instalar una barrera de seguridad que cumpla esta función.</p>	
<b>E-10</b>		Rocas	
	Descripción	Tratamientos	
	Las rocas que se encuentran sobre la superficie del terreno o embebidas en el suelo, se consideran peligrosas si sobresalen más de 20,0 cm sobre el nivel del terreno.	Remover las rocas de los márgenes de las vías.	
<b>E-11</b>		Cuerpos de agua como ríos, lagos, estanques, reservorios y otros	
	Descripción	Tratamientos	
	Los cuerpos de agua de profundidad mayor a 60,0 cm se consideran un peligro potencial. Los ocupantes corren el riesgo de ahogarse si la profundidad del agua es mayor a 60,0 cm y el vehículo se vuelca.	Colocar una barrera de seguridad.	
<b>E-12</b>		Puentes y otras obras de paso	
	Descripción	Tratamientos	
	Obras de paso sobre cuerpos de agua, depresiones, otras vías, en intercambios, entre otros.	Colocar un sistema de contención vehicular. En este caso debe colocarse una barrera de seguridad tipo "pretil de puente", diseñada y ensayada especialmente para este tipo de aplicación.	
<b>E-13</b>		Bordillos	
	Descripción	Tratamientos	
	Los bordillos de más de 10 cm de altura se consideran un peligro potencial en carreteras de alta velocidad ( $V \geq 80$ km/hr).	Construir o reemplazar por bordillos traspasables de altura menor a 10 cm.	
<b>E-14</b>		Otras vías paralelas, nudos o intersecciones complejas	
	Descripción	Tratamientos	
	Otras vías paralelas como líneas de ferrocarril, vías acuáticas, carreteras y otras.	Colocar barreras de seguridad.	
	Nudos e intersecciones complejas		

Cunetas y canales paralelos a la vía

E-15

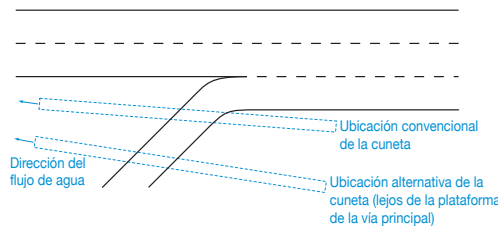
Descripción

Se consideran un peligro potencial las cunetas y canales (revestidas o naturales) que cumplen alguna de las siguientes condiciones:

- Cunetas y canales de profundidad mayor a 50,0 cm.
- Cunetas y canales de pendiente negativa mayor o igual a 1V:3H.
- Cunetas y canales de pendiente positiva mayor o igual a 1V:2H.
- Cunetas y canales que presenten obstrucciones.
- Cunetas y canales de sección no aceptable según la **Figura III-6** o la **Figura III-7**.
- Cunetas reducidas sin tapa o rejilla.

Tratamientos

1. Ubicar las cunetas paralelas a la vía principal fuera de la zona libre necesaria (ver **Figura E15-A**). Este tratamiento permite aplanar los taludes transversales cercanos a la vía principal y que se extienden en la zona libre necesaria.



**Figura E15-A**  
Ubicación alternativa de la cuneta

2. Construir cunetas con una sección aceptable, considerando los criterios de la **Figura III-6**, **Figura III-7** o **Figura III-8**.

3. Construir una cubierta de concreto reforzado (tapa con ranuras) o una rejilla para la cuneta (Ver **Figura E15-B**).



Antes

Después

**Figura E15-B**  
Colocación de tapa sobre cuneta no traspasable

4. Convertir la cuneta en un sistema cerrado como una tubería.

5. Delinear el obstáculo si las opciones anteriores no son factibles técnica o económicamente.

Las cunetas de sección “**no preferible**” pueden permitirse si no es técnica o económicamente factible aplicar cualquiera de los procedimientos anteriores debido a alguno de los siguientes factores:

- Derecho de vía limitado.
- Topografía irregular.
- Taludes rocosos y empinados cercanos a la vía.
- Vías de baja velocidad ( $V < 80\text{Km/h}$ ) o bajo volumen de tránsito.

**Tabla III-9 (Continuación)**  
Criterios técnicos para la identificación de peligros

**E-16** Cabezales, terminales y otras estructuras de drenaje

**Descripción**

Cabezales, terminales de alcantarillas y otras obras de arte transversales a la vía que puedan ser interceptados por un vehículo que se salga de la vía.

Tuberías de alcantarilla transversales a la vía cuyo diámetro sea mayor a 90 cm, o esté compuesto varias tuberías, cada una con un diámetro mayor a 75 cm

**Tratamientos**

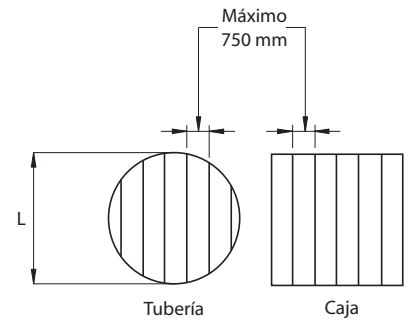
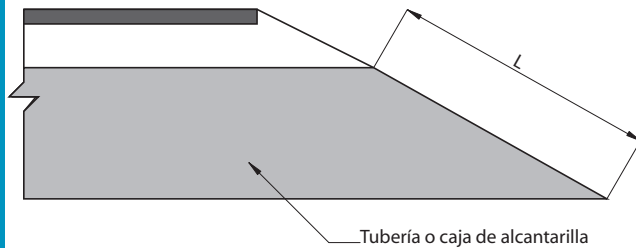
1. Eliminar estructuras de drenaje que no sean esenciales.
2. Diseñar o modificar la estructura de drenaje para que sean **traspasables** o presenten la mínima obstrucción a los vehículos errantes que se salgan de la vía, siempre y cuando la pendiente del terraplén sea traspasable (1V:3H o menor), en caso contrario primero se debe considerar aplanar el talud o colocar una barrera de seguridad.

La **Figura E16-A** muestra terminales diseñados y modificados para que sean traspasables.

En la **Figura E16-B** se muestran los criterios para el diseño de rejillas de tuberías o cajas de alcantarilla. Estas rejillas se construyen con tubos metálicos cuyo diámetro interior se diseña según el cuadro adjunto a la figura.

3. En el caso de obras de arte de gran dimensión en las que no sea factible re-diseñar o reubicar, debe colocarse una barrera de seguridad.

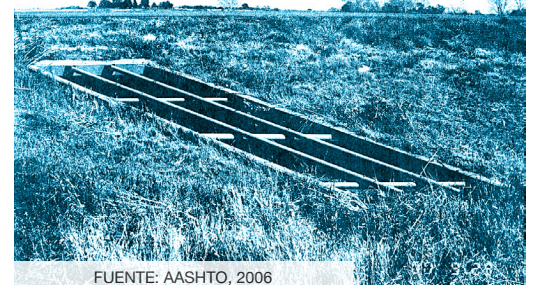
**Figura E16-A**  
Diseño y modificación de terminales



**Figura E16-B**  
Diseño de rejillas para tuberías y cajas de alcantarilla

Longitud, L (m)	Diámetro interno de los tubos de la rejilla	
	(mm)	(in)
< 3,65	75	3
3,65 - 4,90	87	3,5
4,90 - 6,10	100	4
6,10 o menos con soporte central	75	3

Colocación de rejilla de tubos sobre drenaje transversal como tratamiento de seguridad.



FUENTE: AASHTO, 2006

Otros elementos del sistema de drenaje

E-17

Descripción	Tratamientos
Otros elementos del drenaje superficial que sobresalen más de 10 cm del terreno y pueden enganchar un vehículo que se ha salido de la vía fuera de control.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ubicar los elementos más allá de la zona libre necesaria.</li> <li>2. Remover el elemento que sobresale del terreno.</li> <li>3. Construir una cubierta (tapa de concreto o rejilla) para el drenaje, caja de registro o elemento con bordes de pendiente suave (1V:3H o inferior), para hacer el elemento traspasable.</li> <li>4. Colocar una barrera de seguridad.</li> <li>5. Delinear la zona peligrosa.</li> </ol>

#### 4 Procedimiento de diseño de las barrera de contención vehicular

Si no existe la posibilidad técnica o económica de eliminar, reubicar o modificar el peligro potencial, se debe aplicar el siguiente procedimiento para seleccionar el nivel de contención de la barrera de seguridad y diseñar la disposición de la misma en campo. Se debe aclarar que el ensamblaje y la instalación del sistema de contención vehicular en campo deben realizarse conforme a las especificaciones técnicas del fabricante, aprobadas por la Administración.

##### 4.1 Resumen del procedimiento

La **Figura III-11** muestra el procedimiento general para el diseño de una barrera de seguridad vial, entendiéndose “diseño” como la metodología para determinar las características técnicas de la barrera –nivel de contención, anchura de trabajo (**W**), deflexión máxima (**D**), tipo de terminal– y el valor de los parámetros para su disposición –longitud, ubicación transversal y en altura, esviaje–.

El procedimiento general se resumen en los siguientes pasos:

- Reunir la información requerida para el análisis.
- Determinar el nivel de contención requerido de la barrera.
- Establecer la disposición de la barre-

ra:

- ubicación lateral, con respecto al margen de la vía y al obstáculo.
- ubicación en altura.
- parámetros de comportamiento dinámico, **W** y **D**.
- Establecer las dimensiones de la barrera:
  - razón de esviaje.
  - longitud de la barrera de seguridad.
- Establecer el tipo de terminal.
- Seleccionar la barrera de contención y los terminales.

Este procedimiento puede ser aplicado para el diseño de barreras de seguridad que serán instaladas tanto en carreteras existentes como en carreteras en proyecto.

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 aprobados por el Ministerio de Obras Públicas y Transporte. Nótese de la **Figura III-11**, que la disposición lateral de la barrera y su ubicación con respecto al elemento potencialmente peligrosos, depende de los parámetros **W** y **D** y viceversa, por lo tanto, la elección del sistema queda condicionado por estos valores y, únicamente se pueden considerar aquellos sistemas que cumplan con los valores especificados para estos parámetros

de diseño.

Es importante indicar que en el caso de barreras de seguridad que serán instaladas en puentes, siempre debe instalarse una barrera de seguridad tipo “pretil de puente”, diseñada y ensayada especialmente para este tipo de aplicación.

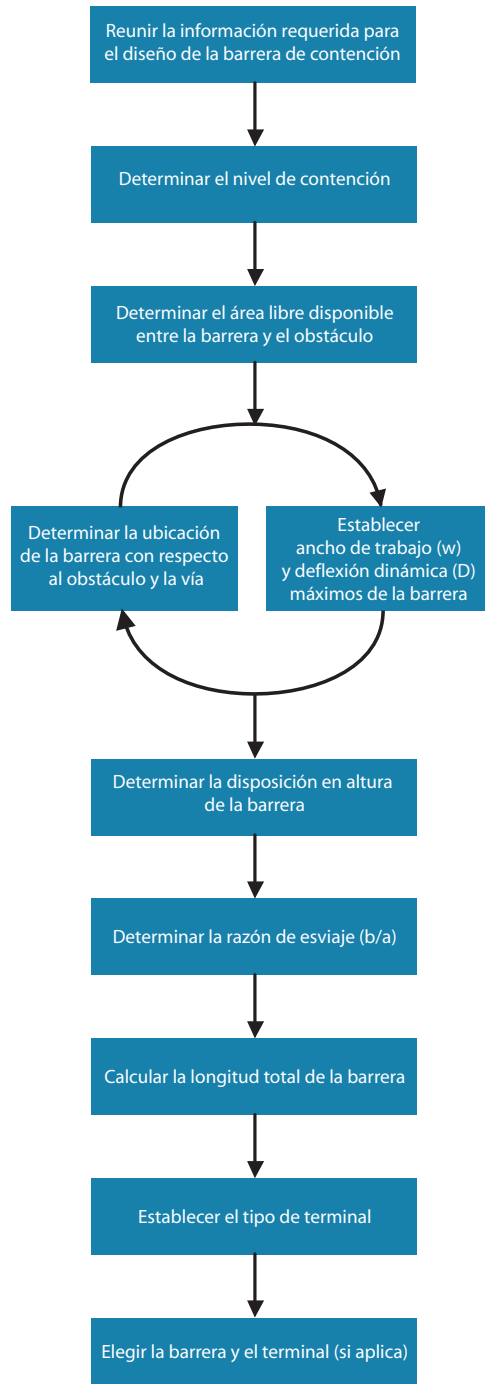
Algunas situaciones que requieren un tratamiento especial en el procedimiento de diseño son:

- Barreras en tramos curvos de carretera.
- Barreras en intersecciones.
- Pasos en las barreras.
- Barreras en medianas.

#### 4.2 Información requerida

Los siguientes datos deben obtenerse para cada uno de los tramos de la vía:

- Registro y análisis de concentración de accidentes de tránsito.
- Volumen y composición del tránsito vehicular: tránsito promedio diario (TPD), porcentaje de automóviles y camiones (según tipos preferiblemente), volumen de ciclistas y peatones.
- Velocidad de circulación ( $V_{85}$ ) o velocidad de diseño de la vía.
- Características geométricas de la vía (pendiente, curvatura, peralte, etc.)
- Información topográfica de los márgenes de la carretera: longitudes transversales y pendientes del terreno.
- Características de los peligros y su ubicación detallada.
- 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, elementos del sistema de drenaje, servicios públicos, etc.
- Condición de la estructura de pavimento (incluyendo el espaldón).
- Ubicación de los sitios donde la visibilidad y la distancia de visibilidad de parada son restringidas.
- Ubicación, disposición, tipo y condición de las barreras de seguridad existentes en la vía.



**Figura III-11**  
Esquema del procedimiento general de diseño de una barrera de seguridad

El propósito de recopilar toda esta información es conseguir que el tratamiento de los peligros en cada una las secciones 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 sea uniforme en todo el recorrido de la vía.

### 4.3 Selección del nivel de contención

La elección del nivel de contención de una barrera de seguridad está en función del nivel de severidad que se esperarí de un accidente por salida de la vía en el sitio, así como de las características del tráfico y de la vía –velocidad de operación ( $V_{85}$ ) o velocidad de diseño, volumen de tránsito y composición del tránsito vehicular (la cantidad de vehículos pesados).

La gravedad del posible accidente (severidad del impacto) se determina a partir del tipo de elemento potencialmente peligro localizado al lado de la vía, y de las condiciones de operación de la carretera. La **Tabla III-10** muestra la clasificación de la gravedad de los accidentes de acuerdo a las condiciones del peligro potencial.

Una vez definido el nivel de gravedad del posible accidente por salida de la vía, y en función de la velocidad del tramo de carretera (velocidad de diseño o  $V_{85}$ , según corresponda a una carretera en proyecto o en operación), el tránsito promedio diario (**TPD**) y el tránsito promedio diario de vehículos pesados (**TPDp**), se elige el nivel de contención de la barrera de acuerdo a los

critérios de la **Tabla III-11**.

Se debe aclarar que la clasificación de los accidentes de tránsito presentada en la **Tabla III-10** solamente debe utilizar para seleccionar el nivel de contención del sistema de acuerdo a los criterios de la **Tabla III-11**.

Cada nivel de contención se dirige a un tipo de tráfico y características del tramo de carretera. Desde el punto de vista de la seguridad vial una barrera con un nivel de contención mayor (por ejemplo, una barrera con un nivel de contención **H4b**, que se ha ensayado con un camión articulado de 38 toneladas) no es necesariamente mejor que otra con un nivel de contención inferior (por ejemplo, una barrera **H3**, que se ha ensayo con un camión rígido de 16 toneladas).

Además de los condiciones que se indican en la **Tabla III-11**, la elección del nivel de contención de la barrera debe complementarse con el criterio profesional. Las barreras de seguridad se instalan en una carretera para reducir las consecuencias de un accidente por salida de la vía, sin embargo, estos sistemas no evitan la ocurrencia de accidentes ni están exentos de riesgo para los ocupantes del vehículo.

Gravedad del accidente	Condiciones
Muy grave	<ul style="list-style-type: none"> <li>Caídas por precipicios.</li> <li>Caídas desde la plataforma de un puente u otra estructura similar.</li> <li>Colisiones con estructuras a nivel inferior, donde se preste un servicio o se almacenen mercancías peligrosas.</li> <li>Nudos e intersecciones complejas.</li> </ul>
Accidente grave para terceros	<ul style="list-style-type: none"> <li>Invasión de otras vías paralelas (líneas férreas, carreteras, ciclovías).</li> <li>Irrupción en zonas donde se localizan terceros vulnerables (parques recreativos por ejemplo).</li> <li>Choque con elementos que puedan producir la caída de objetos de gran masa sobre la plataforma de la vía o puente.</li> </ul>
Accidente grave	<p>Caídas en masas de agua.                      Choque con pilares de puentes o entradas a túneles.                      Colisiones con laderas rocosas.</p>
Accidente normal.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Choque con elementos como:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Árboles.</li> <li>- Postes y soportes de luminarias, señales, rótulos y vallas.</li> <li>- Muros, paredes, muros de retención, muros de suelo reforzado, muros de tierra armada, tablestacas, pantallas antirruído.</li> <li>- Estructuras del sistema de drenaje.</li> <li>- Cunetas o canales de sección no traspasable.</li> <li>- Taludes transversales.</li> </ul> </li> <li>Vuelco (paso por taludes paralelos no traspasables).</li> </ul>

**Tabla III-10**  
 Clasificación de la gravedad de los accidentes



Accidente	Velocidad	TPD	TPDp	Nivel de contención
Muy grave	>60	>2000	>2000	H4b, TL5, TL6
Muy grave	>60	>2000	500<TPD <sub>p</sub> <2000	H3
Muy grave	>60	>2000	<500	H2
Muy grave	>60	<2000	-	H1, TL3, TL4
Grave para terceros	80-100	>2000	>2000	H4b, TL5, TL6
Grave para terceros	80-100	>2000	<2000	H3
Grave para terceros	80-100	>2000	>500	H2
Grave para terceros	80-100	<2000	<500	H1, TL3, TL4
Grave para terceros	60-80	>2000	>500	H2
Grave para terceros	60-80	>2000	<500	H1, TL3, TL4
Grave para terceros	60-80	<2000	-	N2, TL2
Grave	80-100	-	>2000	H3
Grave	80-100	-	<2000	H2
Grave	60-80	-	>2000	H1, TL3, TL4
Grave	60-80	-	<2000	N2, TL2
Normal	80-100	-	>500	H1, TL3, TL4
Normal	80-100	-	<500	N2, TL2
Normal	60-80	-	-	N2, TL2

**Tabla III-11**  
Niveles de contención

**4.4 Ubicación lateral de la barrera**

**4.4.1 Distancia al borde de la calzada**

Tal y como se describe en la **Sección 4.1 del Capítulo II**, las barreras de seguridad deben colocarse a una separación mínima del borde la calzada de 0,50 m, y de ser posible, colocarse más allá de la **distancia de preocupación** ( $L_s$ , ver **Tabla III-12**).

Si la carretera posee espaldón, las barreras de seguridad se colocarán fuera del mismo. Se recomienda en cualquier caso, colocar las barreras de seguridad lo más lejos posible del borde de la vía, pero sin sobrepasar las

distancias máximas que se indican en la **Tabla III-13**).

**4.4.2 Distancia a obstáculos y desniveles**

La disposición lateral de la barrera con respecto al obstáculo depende de la naturaleza del peligro, la deflexión dinámica (**D**) y el ancho de trabajo (**W**) del sistema. El espacio entre la barrera de seguridad 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 siguientes criterios establecen las distancias mínimas entre una barrera de seguridad y el elemento potencialmente peligroso (Ver **Figura III-12**):

- La distancia entre un objeto rígido y la barrera de seguridad debe ser mayor al **ancho de trabajo (W)** del sistema para evitar que los vehículos sean enganchados por el obstáculo.
- La distancia entre la barrera de seguridad y un talud crítico, desnivel o cuerpo de agua debe ser mayor o igual a la **deflexión dinámica (D)** del sistema, y nunca

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

**Tabla III-12**  
Distancias de preocupación ( $L_s$ )

Velocidad de diseño (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

**Tabla III-13**  
Distancias máximas recomendadas entre el borde de la vía y la barrera de seguridad

menor a 0,5 m.

Si el sistema de contención se coloca en la plataforma de un puente, sobre un muro de retención o al borde de un barranco, la barrera deberá ser rígida y ningún tipo de vehículo debe sobrepasarla o inclinarse de tal manera que se vuelque y caiga al precipicio. Por esta razón, en estos casos deben utilizarse barreras de seguridad del tipo “pretil de puente”. Los pretils son sistemas de contención de vehículos, funcionalmente análogos a las barreras de seguridad, pero que han sido diseñados –y ensayados– específicamente para ser instalados en borde de tableros de puente y obras de paso, coronaciones de muros de retención, y obras similares.

#### 4.5 Disposición en altura

La altura recomendada para cada sistema de contención vial, barreras de seguridad o pretils de puentes, la establece el fabricante, de acuerdo con los prototipos ensayos a escala real de forma exitosa bajo la norma EN 1317 o la norma NCHRP Reporte 350, que se realizan para aprobar y clasificar un

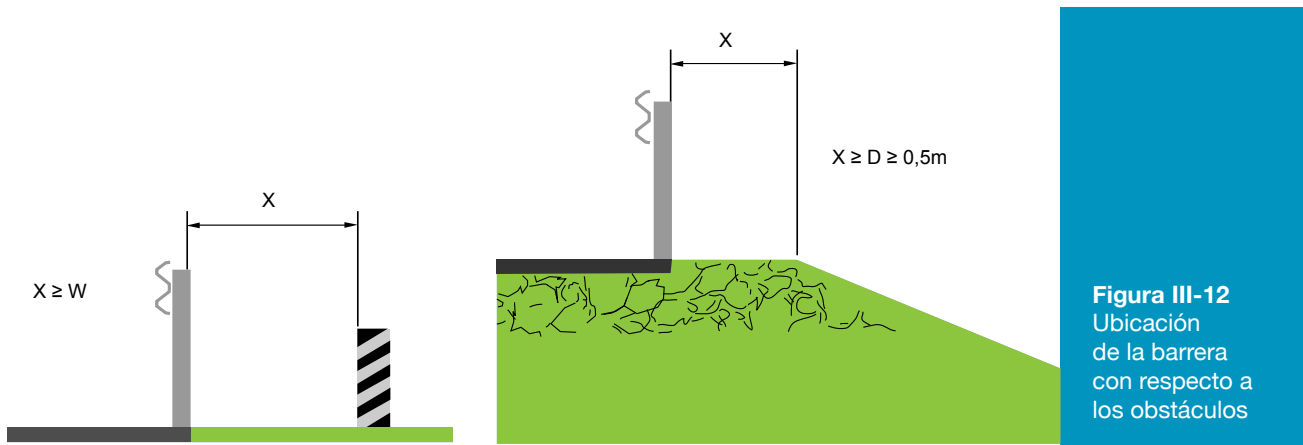
sistema de contención vehicular.

Por lo tanto, las barreras de seguridad deben ser instaladas de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, particularmente lo referente a la disposición en altura del sistema. Se debe observar que durante toda la vida útil del sistema de contención esta disposición se mantenga constante. Por ejemplo, la altura relativa de la barrera con respecto a la plataforma de la vía puede cambiar luego de que se apliquen tratamientos de mantenimiento y conservación como la colocación de sobrecapas.

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 franquear la barrera, inclinarse sobre la barrera y colisionar con el obstáculo o volcarse.

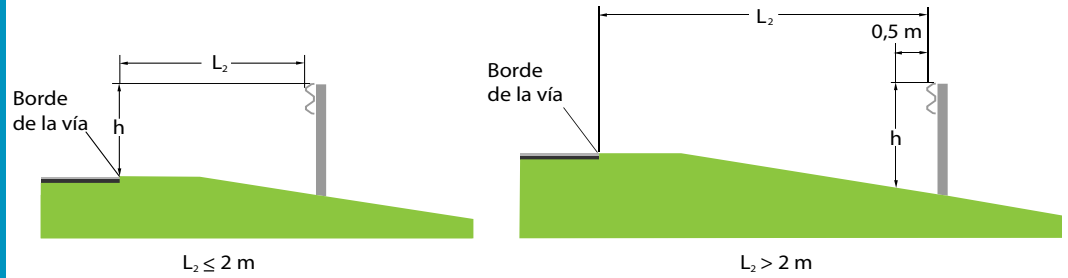
El punto de referencia con respecto al cual se debe medir la altura de la barrera se especifica en la **Figura III-13**.

Si la distancia lateral entre el límite externo



**Figura III-12**  
Ubicación de la barrera con respecto a los obstáculos

**Figura III-13**  
Pautas para la disposición en altura de la barrera



del carril y el sistema de contención vehicular 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 2,0m, 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.

**4.6 Longitud de la barrera**

Las variables que se consideran en la metodología para calcular la longitud de la sección de barrera anterior al obstáculo se muestran en la siguiente **Figura III-14** (sección de aproximación al obstáculo).

$L_s$  = distancia de preocupación (Ver **Tabla III-12**).

$L_R$  = 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 **Tabla III-14** en función de la

velocidad del tramo de carretera (velocidad de diseño o  $V_{85}$ ) y de su TPD.

**ZLN** = es el ancho de la **zona libre necesaria**. La **Sección 2.3** de este **Capítulo III** contiene los criterios técnicos para determinar el ancho de la **ZLN**.

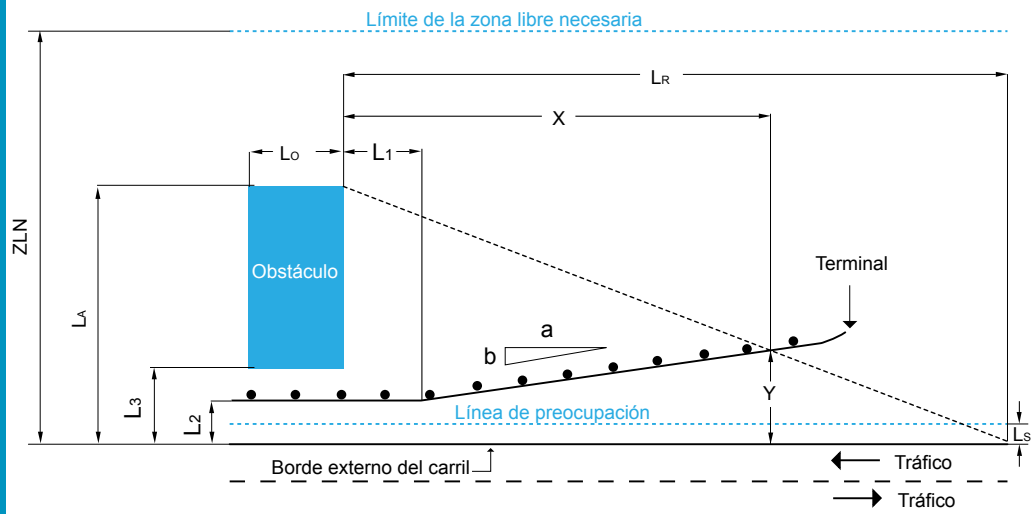
$L_A$  = es la distancia transversal desde el borde del carril hasta el extremo más alejado del obstáculo o zona peligrosa. Si la zona peligrosa se extiende más allá del límite de la zona libre necesaria (**ZLN**),  $L_A$  puede considerarse igual al ancho de de la zona libre necesaria ( $L_C$ ) para el cálculo de la longitud de la barrera de seguridad.

$L_o$  = 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:

- $L_1 = 0$  si el obstáculo no sobresale del terreno, por ejemplo: taludes no traspasables, cuerpos de agua.

**Figura III-14**  
Variables que intervienen en el cálculo de la longitud de la sección de la barrera anterior al obstáculo



Velocidad de la vía (Km/h)	$L_R$ para cada rango de TPD			
	> 6000	2000 - 6000	800 - 2000	< 800
50	50	50	45	40
60	70	60	55	50
70	80	75	65	60
80	100	90	80	75
90	110	105	95	85
100	130	120	105	100

**Tabla III-14**  
Valores de  $L_R$

- $L_1 = 8$  m si el obstáculo sobresale del terreno, por ejemplo: árboles, postes, pilares de puentes, estructuras del sistema de drenaje y otros.
- $L_1 = 5$  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 de seguridad paralela a la vía.  $L_2$  se determina de acuerdo con los criterios de la **Sección 4.4.1** de este capítulo.

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

**b:a** = es la razón de esviaje, la cual se de-

termina en función de la velocidad del tramo de vía (velocidad de diseño o  $V_{85}$ ), 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 al nivel de rigidez según la **Tabla III-15**. La razón de esviaje, **b:a** se establece de acuerdo a los criterios de la **Tabla III-16**.

**X** = es la longitud de la sección de barrera anterior al obstáculo. Si la barrera se colocará paralela a la vía en toda su longitud **X** se calcula mediante la **Ecuación III-2**, y si la barrera se instalará con esviaje **X** se calcula mediante la **Ecuación III-3**.

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

Clasificación	Deflexión (m)	Ejemplos
Flexible	2,0 - 3,5	Barreras de cables
Semi-rígido	0,6 - 2,0	Barreras de viga triple onda
Rígido	0,0 - 0,6	Barreras de concreto ancladas

**Tabla III-15**  
Clasificación de las barreras de seguridad según su rigidez

Velocidad diseño (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 semi-rígidos
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

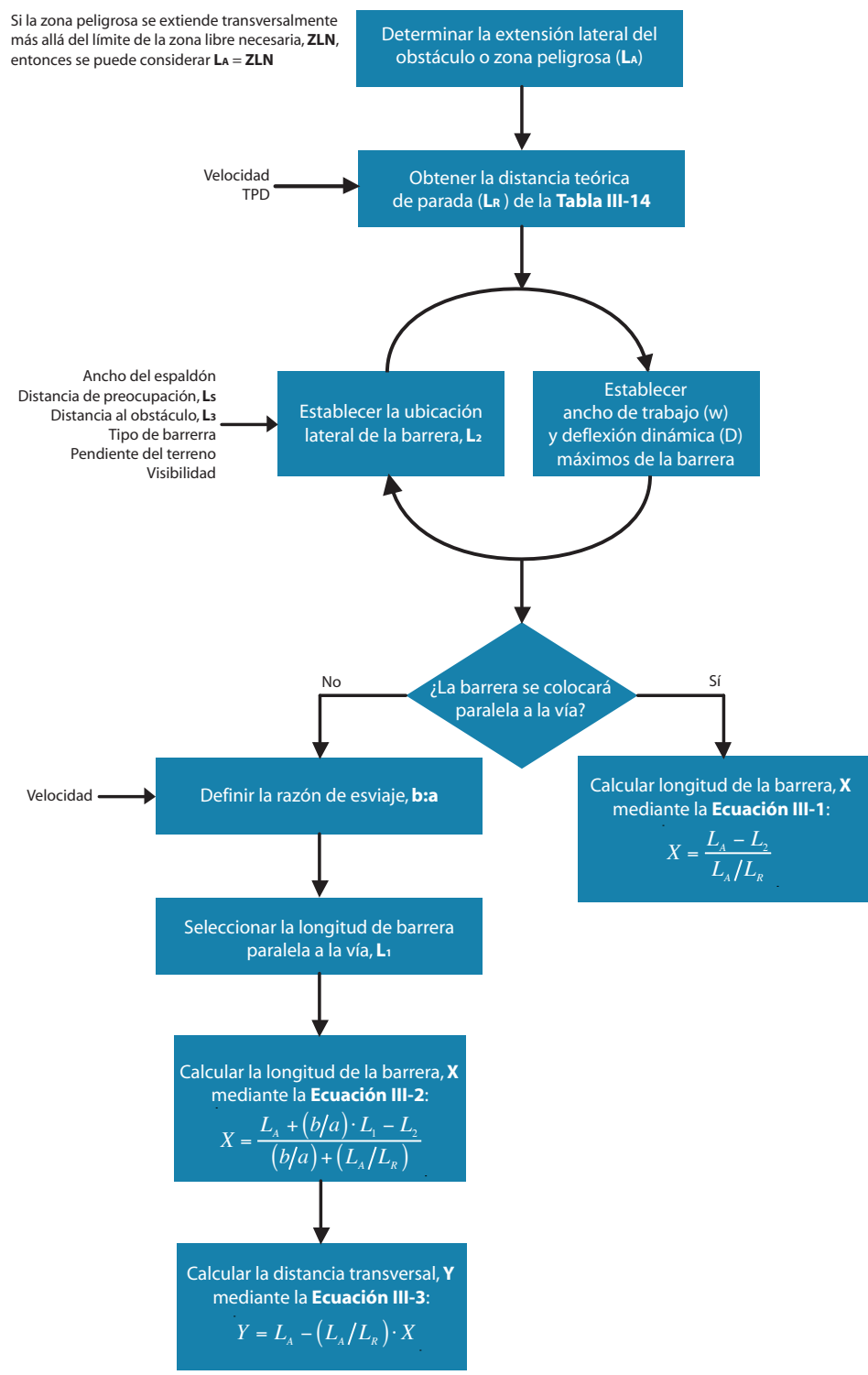
**Tabla III-16**  
Razones de esviaje (b:a)

<b>Ecuación III-2</b> X: Barrera paralela	$X = \frac{L_A - L_2}{L_A/L_R}$
<b>Ecuación III-3</b> X: Barrera con esviaje	$X = \frac{L_A + (b/a) \cdot L_1 - L_2}{(b/a) + (L_A/L_R)}$
<b>Ecuación III-4</b> Y: Barrera con esviaje	$Y = L_A - (L_A/L_R) \cdot X$

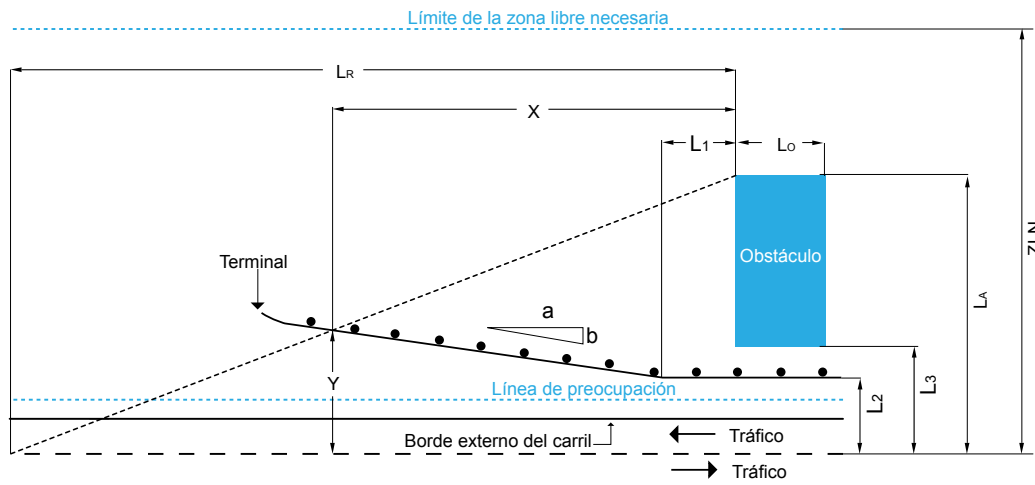
**III-4.**

La **Figura III-15** muestra un esquema del procedimiento general para el cálculo de la longitud de una barrera de seguridad.

La longitud de la sección de barrera posterior al obstáculo se calcula siguiendo la misma metodología planteada, pero las variables de diseño se miden con respecto al



**Figura III-15**  
Esquema del procedimiento general para el cálculo de la longitud de una barrera de seguridad



**Figura III-16**  
Variables que intervienen en el cálculo de la longitud de la sección de la barrera posterior al obstáculo

margen del carril de circulación en sentido contrario (ver la **Figura III-16**).

Observaciones:

- Las fórmulas y procedimientos anteriores para el cálculo de la longitud de una barrera se aplican solamente a barreras de seguridad ubicadas en el margen externo 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.

#### 4.7 Barreras en tramos curvos de carretera

La longitud de la barrera en un tramo curvo de carretera se calcula por medio de una

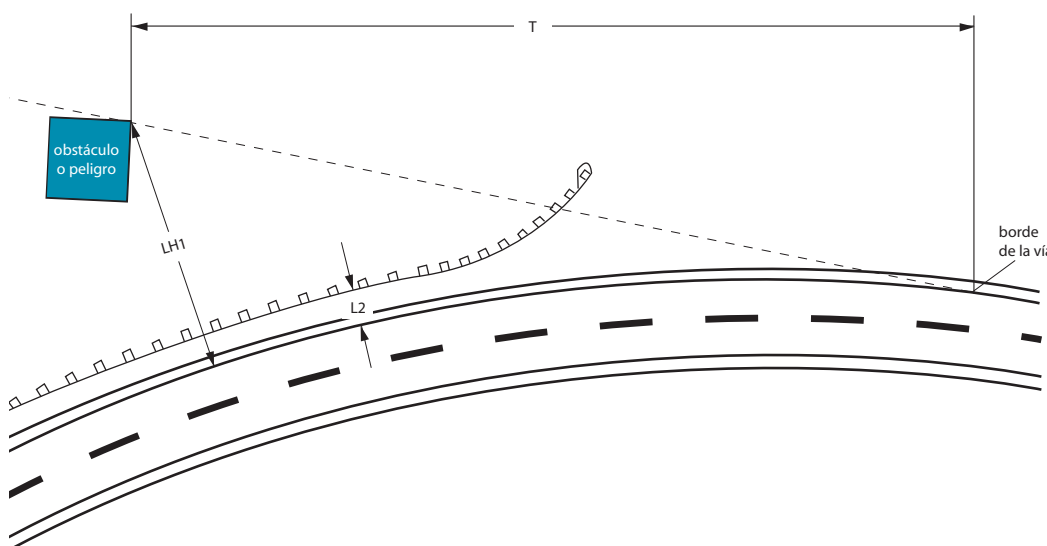
metodología gráfica. Se asume que la trayectoria de salida de la vía del vehículo es tangente a la curva. Este será el caso si la zona libre disponible en los márgenes de la vía es plana y traspasable (pendientes iguales a 1V:3H o más planas).

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 III-17**. Generalmente no se requiere alejar el terminal del borde de la vía (efecto de esviaje).

#### 4.8 Barreras en medianas

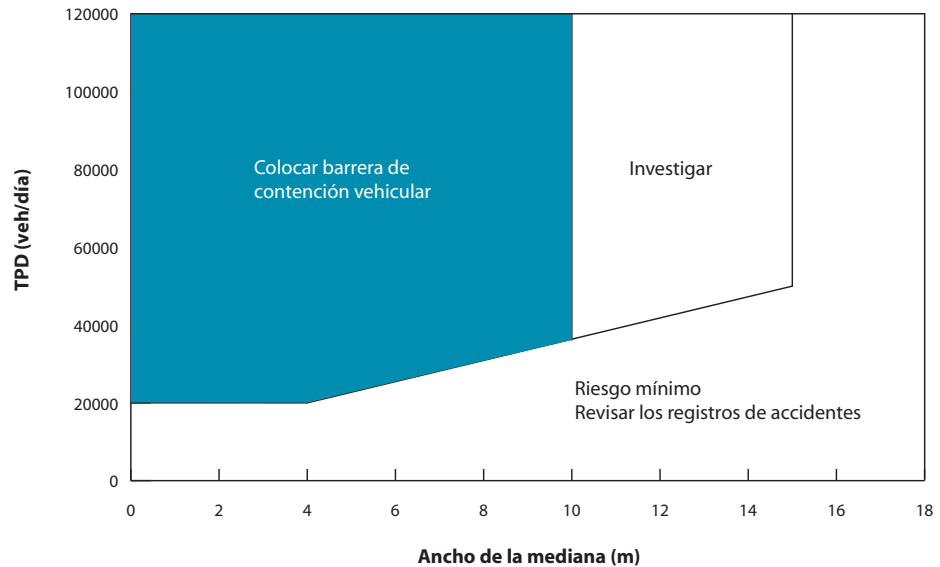
##### 4.8.1 Criterios de implantación

En las siguientes condiciones se debe instalar un sistema de contención vehicular en la mediana de la carretera:



**Figura III-17**  
Barrera de seguridad ubicada en un tramo curvo de carretera

**Figura III-18**  
Criterios para la disposición de barreras de seguridad en medianas



- Un análisis de riesgo o los criterios vigentes (**Figura III-18**) indican que existe una alta probabilidad de que los vehículos crucen la mediana y sufran una colisión frontal con otros vehículos que circulan en sentido contrario.
- El análisis de los registros de accidentes demuestra que es una zona peligrosa.
- Taludes no traspasables, de acuerdo con los criterios de la **Sección 2** de este **Capítulo III**.
- Dentro de la **ZLN** en la mediana (ver criterios para definir la ZLN en la **Sección 2** de este **Capítulo III**) se ubican objetos fijos potencialmente peligrosos como luminarias, pilares de puentes, alcantarillas, y por alguna razón técnica o económica no es posible removerlos, trasladarlos de sitio o modificar dichos objetos para hacerlos “**traspasables**” –por ejemplo sustituyendo las bases de los postes por sistemas colapsables–.

El gráfico de la **Figura III-18** es una pauta para determinar si existe un alto riesgo de que un vehículo cruce la mediana y sufra una colisión frontal con otro vehículo que

circula en sentido contrario. A partir del **TPD** (valor promedio de tráfico diario en ambos sentidos de circulación) y el ancho de la mediana se establece cuál es el procedimiento que debe seguir el profesional encargado de la administración o diseño de una carretera.

Estos criterios se aplican solamente para el caso de que la mediana posea un terreno traspasable y no se encuentren obstáculos, como objetos fijos, en la mediana.

Si se indica que el riesgo es mínimo, la colocación de la barrera de seguridad es opcional, sin embargo, el diseño de la vía debe facilitar la instalación de la barrera en un futuro, si el volumen de tránsito se incrementa significativamente o se presenta una alta tasa de accidentalidad.

Si se requiere realizar una investigación, se debe hacer un análisis de beneficio-costos o una evaluación del riesgo, que considere factores como los volúmenes de tráfico, composición de la flota vehicular, historial de accidentes, topografía de la mediana y el alineamiento horizontal y vertical.

**4.8.2 Selección del nivel de contención**

Si se debe colocar una barrera de contención vehicular, el nivel de contención se selecciona de acuerdo a los criterios de la **Tabla III-17**.

Si el nivel de exposición a accidentes de tránsito es alto se debe considerar instalar una barrera de muy alta contención tipo **H4b**.

Tabla III-17 Criterios para seleccionar el nivel de contención de una barrera de seguridad en la mediana	Velocidad (km/hr)	Nivel de contención
	≤ 60	H1, TL3, TL4
	> 60	H2, H3, H4b, TL5, TL6

### 4.8.3 Criterios para la disposición según la configuración de los taludes del terreno

Se establecen tres tipos de medianas:

**Tipo I:** medianas que presentan una sección transversal tipo canal.

**Tipo II:** medianas que separan carriles de circulación a diferentes elevaciones.

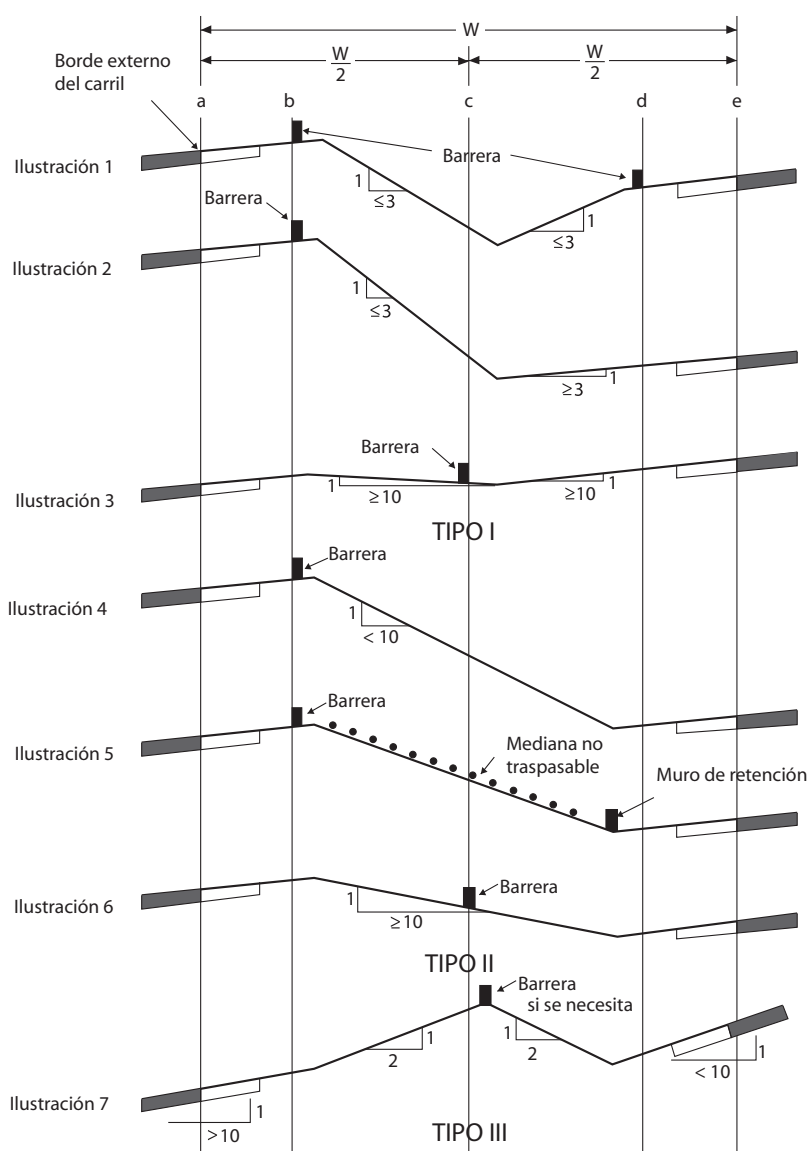
**Tipo III:** medianas elevadas, los taludes del terreno forman un desmonte.

Si las pendientes que conforman el canal son iguales a 1V:3H o más empinadas, se debe colocar una barrera de contención vehicular a ambos lados de la mediana como se mues-

tra en la **Figura III-19, Ilustración 1.**

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), como se observa en la **Figura III-19, Ilustración 2.**

Si las pendientes que conforman el canal son menores a 1V:10H (más planas) y el riesgo de que un vehículo cruce la mediana y sufra una colisión frontal es alto (según el gráfico de la **Figura III-18**), se debe colocar una barrera en centro de la mediana, a menos que



"W" es el ancho de la mediana

**Figura III-19**  
Ubicación correcta de una barrera de contención en la mediana de una carretera



se ubiquen otros objetos fijos potencialmente peligrosos. En la **Figura III-19, Ilustración 3** se muestra este caso.

Si el talud que conforma la mediana presenta una pendiente mayor a 1V:10H (más empinada) y el riesgo de que un vehículo cruce la mediana y sufra una colisión frontal es alto (según el gráfico de la **Figura III-18**), 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, como se muestra en la **Figura III-19, Ilustración 4**.

Si la superficie del talud es rugosa, rocosa, irregular o poco firme se debe colocar una barrera a ambos lados de la mediana, como se observa en la **Figura III-19, Ilustración 5**.

Si la pendiente del talud es igual a 1V:10H o más plana y el riesgo de que un vehículo cruce la mediana y sufra una colisión frontal es alto (según el gráfico de la **Figura III-18**), la barrera se debe colocar en el centro de la mediana, como se observa en la **Figura III-19, Ilustración 6**.

Si los taludes de corte de la mediana presentan una superficie 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 de seguridad.

## 4.9 Atenuadores de impacto

### 4.9.1 Criterios de implantación

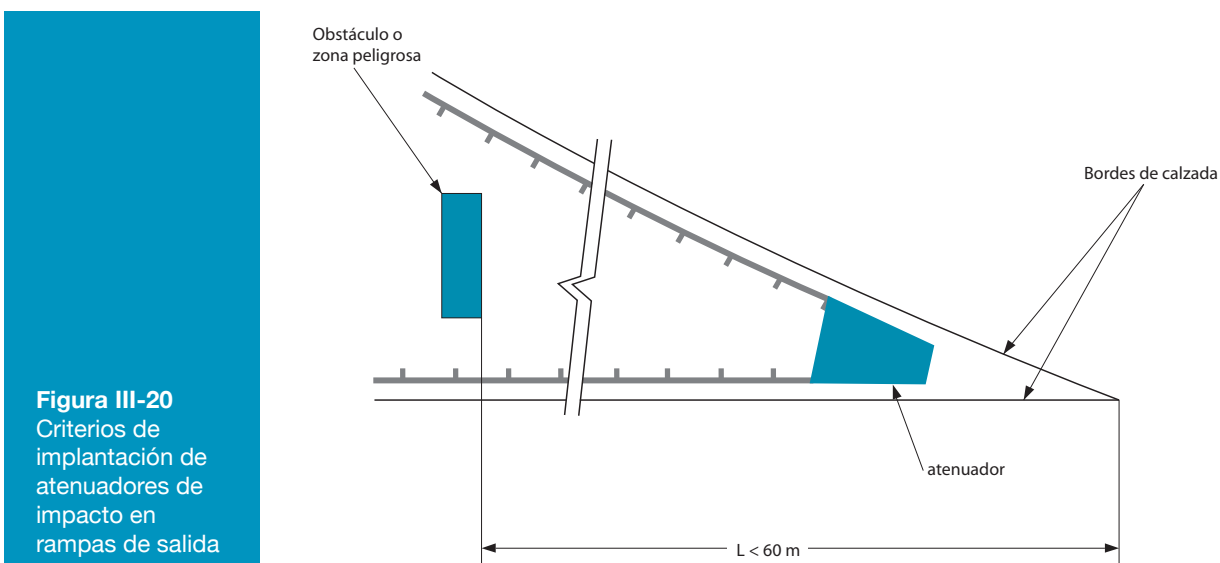
La instalación de un atenuador de impactos está justificada siempre y cuando la distancia de un obstáculo rígido discontinuo al borde de la vía o cualquier otro punto de referencia de la misma, sea inferior a la recomendable en el margen o mediana de una carretera (según los criterios para la **ZLN** de la **Sección 2** de este **Capítulo III**) y no pueda ser protegido ante un impacto frontal mediante la implantación de barreras de seguridad.

La instalación de atenuadores de impacto está específicamente justificada en los siguientes casos:

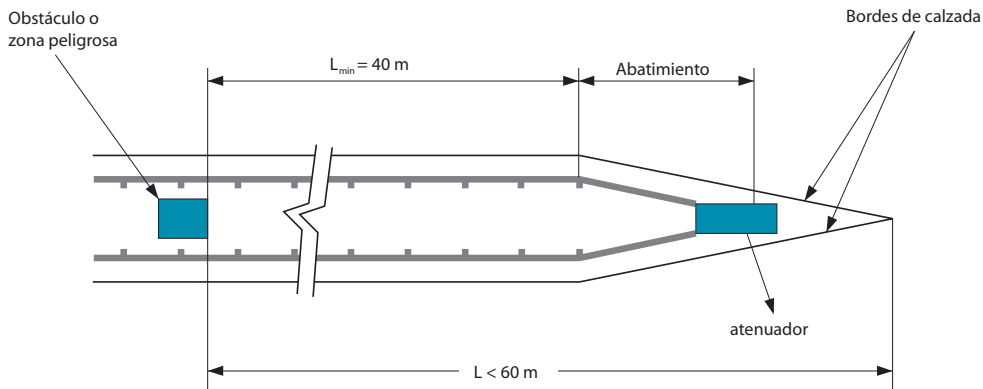
- **“Narices” en rampas de salida.** Cuando en una zona peligrosa asociada a una divergencia de salida o bifurcación no se disponga de un área plana y libre de obstáculos de, al menos, 60 m a partir de del punto de apertura de los carriles divergentes, se dispondrá de un atenuador redirectivo (ver **Figura III-20**).

En las “narices” de una rampa de salida se evitará tanto la disposición de barreras de seguridad con vigas o vallas curvas uniendo dos alineaciones de barrera, como los abatimientos frontales convergentes en un punto.

- **Comienzos de mediana.** Cuando el principio de la barrera doble de seguridad de la mediana diste menos de 40 m



**Figura III-20**  
Criterios de implantación de atenuadores de impacto en rampas de salida



**Figura III-21**  
Criterios de implantación de atenuadores de impacto en un comienzo de mediana

del primer obstáculo situado en ésta, se dispondrá de un atenuador de impacto redirectivo (ver **Figura III-21**).

#### 4.9.2 Selección de la clase de contención

Para determinar el nivel de contención de un atenuador de impactos, se debe tener en cuenta la velocidad de diseño o  $V_{85}$  del tramo de carretera donde va ser instalado, ya que la clase o nivel de contención de estos sistemas se especifica en términos de la velocidad de operación, y existen cuatro clases: 110 km/hr, 100 km/hr, 80 km/hr y 50 km/hr.

La **Tabla III-18** muestra los criterios para elegir la clase de contención de un atenuador de impacto.

Tipo de vía	Velocidad, V (km/hr)	Clase de contención (km/hr)
Autopistas y carreteras separadas	$V > 100$	110
	$85 < V \leq 100$	100
	$V \leq 85$	80
Carreteras interurbanas de calzada única	$85 < V \leq 100$	100
	$65 < V \leq 85$	80
	$V \leq 65$	50
Carreteras en zonas urbanas y áreas de peaje	$V \leq 65$	50

**Tabla III-18**  
Criterios para seleccionar la clase de contención de un amortiguador de impacto

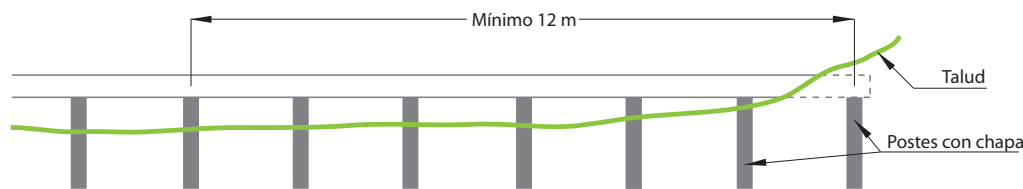
#### 4.10 Terminales

##### 4.10.1 Selección del tipo de terminal

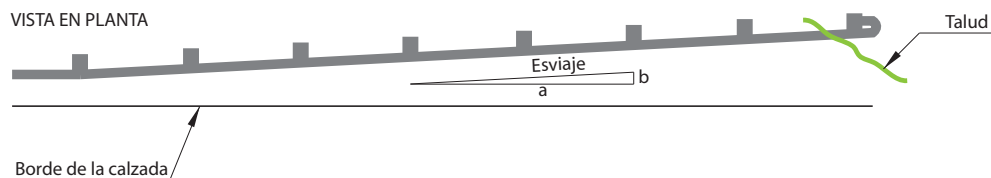
Los extremos de una barrera de seguridad no pueden constituir, en sí mismos, un peligro potencial para los usuarios de la vía.

El tipo de terminal más recomendable y natural de una barrera de seguridad es su **empotramiento en un talud**. Siempre que las condiciones del sitio lo permitan, debe utilizarse este tipo de terminal para los extremos de las barreras de seguridad (ver **Figura III-22**).

VISTA EN ALTURA



VISTA EN PLANTA



**Figura III-22**  
Empotramiento de barrera metálica en talud



**Figura III-23**  
Terminal en abatimiento, paralelo y próximo a la vía

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 III-16**.

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 bien por existir otros elementos interpuestos, entonces será necesario recurrir a otro tipo de terminal de barrera.

Los terminales bruscos deben ser definitivamente excluidos por su comportamiento claramente negativo a cualquier velocidad.

Desde el punto de vista de su comportamiento ante el impacto de un vehículo, los **terminales absorbentes de energía (TAEs)** son siempre de prestaciones superiores y, por lo tanto, resultan preferibles a los terminales en abatimiento, cualquiera que sea su aplicación.

Dado que la instalación generalizada de **TAEs** es todavía hoy poco factible por razones de índole económica, es conveniente determinar en qué situaciones un **TAE** garantiza una relación de beneficio/costo más elevada. La sustitución de un terminal en abatimiento por un **TAE** es tanto más be-

neficia cuanto mayor es el riesgo de vuelco y vuelco.

A continuación se indican dos situaciones particulares en las que la disposición de terminales de barrera en abatimiento pueden representar un peligro:

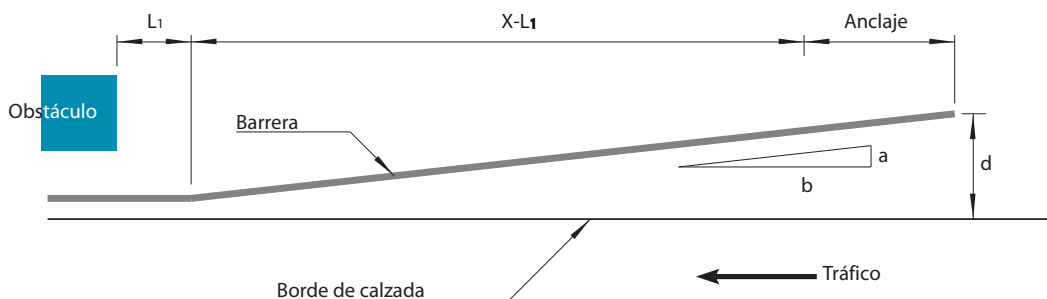
- **Terminal en abatimiento próximo a la vía y de alto riesgo:** un terminal de barrera en abatimiento paralelo y muy próximo al borde de vía (ver **Figura III-23**), genera el riesgo de que, al ser impactado frontal o lateralmente, provoque el vuelco y vuelco del vehículo. Las consecuencias de este tipo de accidente pueden ser graves. Este riesgo aumenta con la velocidad, la proximidad al borde y con el trazado curvo.

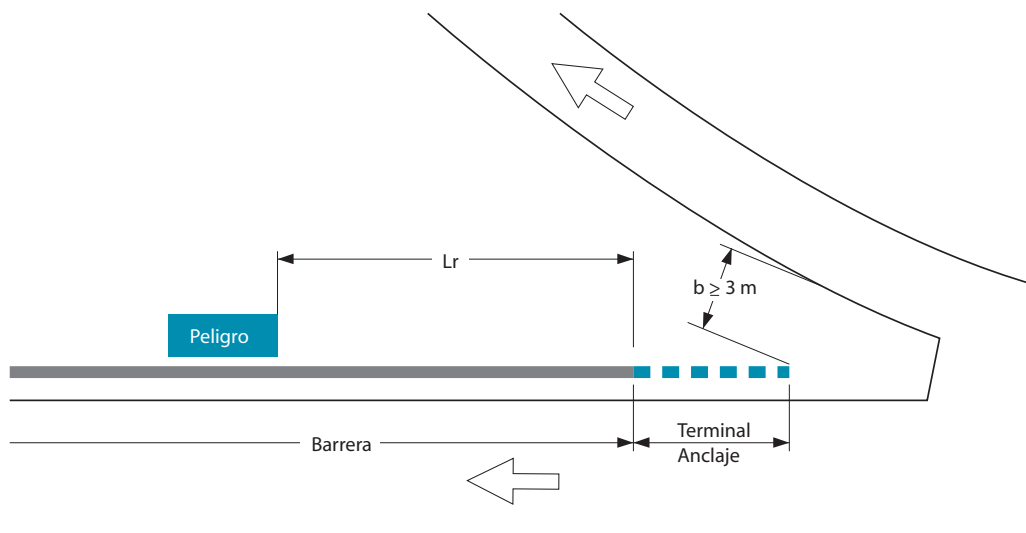
En el caso de un terminal en abatimiento con alto riesgo por proximidad, es conveniente instalar la barrera de manera que, en planta, presente un tramo en ángulo o esviaje, de tal forma que el extremo enterrado del abatimiento terminal se aleje del borde la vía (ver **Figura III-24**). La **Tabla III-16** contiene las razones de esviaje (**b: a**) recomendadas.

- **Terminales en bifurcaciones:** una zona de especial interés para implantación de **TAEs** son los ramales de salida, bifurcaciones o divergencias cuando presentan bien una única alineación de barrera, paralela a una de las vías que se separan (**Figura III-25**) o bien dos alineaciones de barrera de seguridad que convergen, una paralela a cada vía (**Figura III-26**).

- **El caso de una única alineación de barrera (Figura III-25) paralela a una de las vías que se separan**, tendrá lugar cuando la zona peligrosa únicamente afecta a una de las vías (generalmente, la vía principal). En este caso, resulta recomendable la implantación de un terminal con absorción de energía

**Figura III-24**  
Terminal en abatimiento con esviaje, aumentando así la distancia (d) del extremo con el borde de la vía





**Figura III-25**  
Terminal en ramal de salida o divergencia, caso de una única alineación de barrera

(TAE).

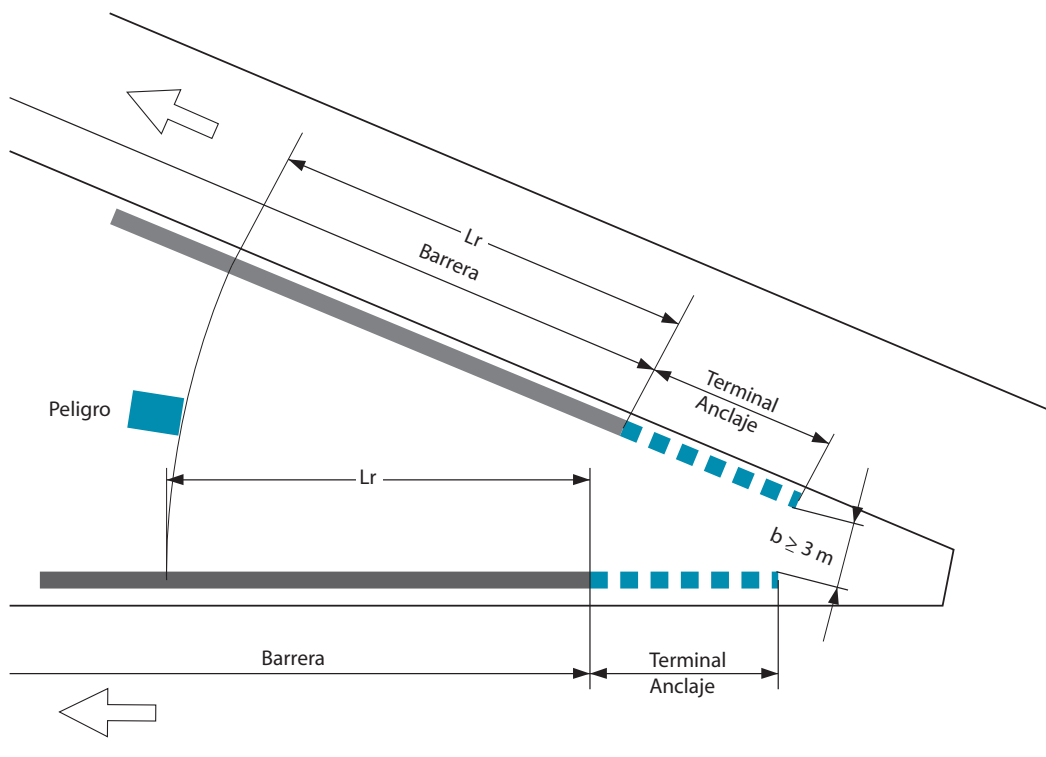
- El caso de dos alineaciones de barrera (Figura III-26) paralelas respectivamente a cada vía y convergentes hacia un punto, tendrá lugar cuando la zona peligrosa que justifica la implantación de barrera afecta a las dos vías que se separan.

Cuando el talud entre ambas plataformas es inferior a 2:1 (más plano), es recomendable que la barrera de la vía secundaria se inicie a partir de la sección en que lo bordes de dichas pla-

taformas se encuentran a una distancia mínima de 3 m.

En el caso de dos alineaciones de barreras, paralelas respectivamente a cada vía y convergentes en un punto (cuando la distancia entre los extremos es menor a 3 m), es preciso recurrir a la implantación de un atenuador de impacto redirectivo.

La disposición de un TAE en bifurcaciones donde existan barreras próximas al punto de divergencia, es recomendable tanto en el caso de una sola alineación de barrera como



**Figura III-26**  
Terminal en ramal de salida o divergencia, caso de dos alineaciones de barrera

en el de dos alineaciones convergentes con sus extremos suficientemente separados.

#### 4.10.2 Selección del nivel de contención

Respecto a la selección del nivel de contención de los terminales de barrera aborventes de energía (TAEs), se pueden aplicar los mismos criterios establecidos para los atenuadores de impacto, excluyendo la clase de 50 km/hr que, para terminales, no está definida.

<b>Tabla III-19</b> Criterios para seleccionar la clase de contención de un terminal de barrera aborvente de energía (TAE)	Tipo de vía	Velocidad, V (km/hr)	Clase de contención (km/hr)
	Autopistas y carreteras separadas	$V > 100$	110
		$85 < V \leq 100$	100
		$V \leq 85$	80
	Carreteras interurbanas de calzada única	$85 < V \leq 100$	100
		$V \leq 85$	80
Carreteras en zonas urbanas y áreas de peaje	$V \leq 85$	80	

La **Tabla III-19** muestra los criterios para elegir la clase de contención de un TAE.

#### 4.11 Transiciones

Cuando se conectan longitudinalmente dos tramos de barrera de distinto comportamiento (nivel de contención o clase de deformación), se debe proveer de un tramo intermedio o transición que, se considera una barrera de seguridad con algunas particularidades o reservas en relación con el punto crítico y dirección del impacto.

La **Tabla III-20** establece los criterios de selección del nivel de contención para la transición entre dos barreras de seguridad.

<b>Tabla III-20</b> Criterios para seleccionar el nivel de contención de transiciones	Transición DE \ A	N2	H1	H2	H4b
	N2	N2	N2	H1	H2
	H1	N2	H1	H1	H2
	H2	H1	H1	H2	H2
	H4b	H2	H2	H2	H4b

En los tramos de transición, tanto entre barreras del mismo como de distintos niveles de contención, no debe considerarse únicamente el nivel de contención sino también la diferencia de deformabilidad 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 accidente de graves consecuencias. Para verificar que esta diferencia de deformabilidades no es peligrosa es preciso comparar la **deflexión dinámica (D)** de ambas barreras correspondiente al ensayo **TB11** –excepto en el caso de que ambas barreras tengan un nivel de contención N2 en que compararían sus **deflexiones dinámicas** de los ensayos **TB32**–.

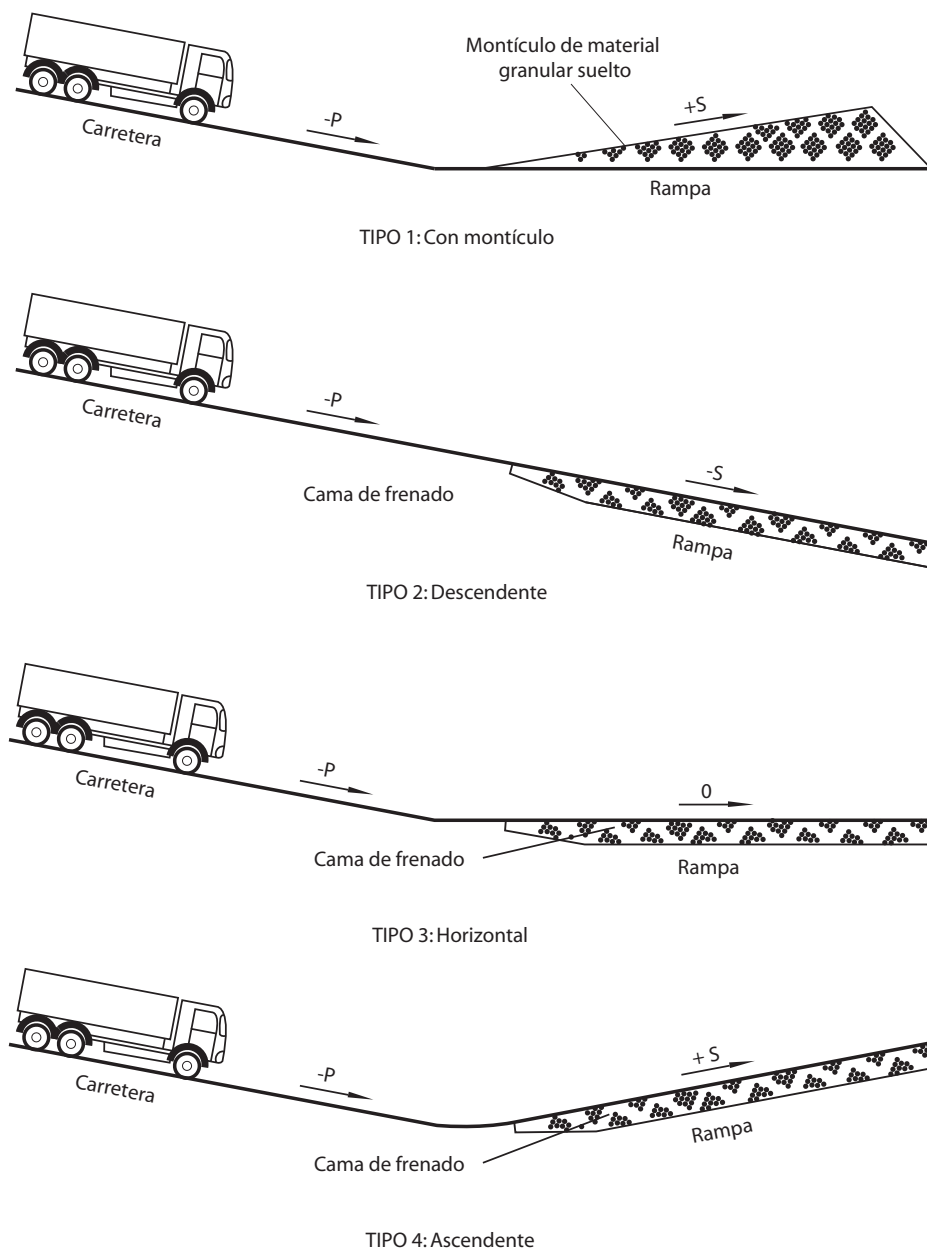
#### 4.11 Rampas para frenado de emergencia

También conocidas como lechos de frenado, rampas de escape o de emergencia, son franjas auxiliares conectadas a la calzada de las carreteras, especialmente acondicionadas para disipar la energía cinética de los vehículos que queden fuera de control por fallas mecánicas, principalmente en sus sistemas de frenos, desacelerándolos en forma controlada y segura, mediante el uso de materiales granulares sueltos y aprovechando, en su caso, la acción de la gravedad.

Existen cuatro tipos de rampas de emergencia (ver **Figura III-27**):

##### Tipo 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 III-27**, 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. Sólo se utilizará este tipo de rampas cuando se tengan limitaciones de espacio y su conveniencia esté sustentada con el análisis correspondiente.



**Figura III-27**  
Tipos de rampas  
para frenado de  
emergencia

### Tipo 2: Rampas descendentes

Tienen una cama de frenado de espesor uniforme con pendiente longitudinal descendente como se muestra en la **Figura III-27**. 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.

### Tipo 3: Rampas horizontales

Tienen una cama de frenado horizontal de espesor uniforme sin pendiente longitudinal

como se muestra en la **Figura III-27**. La detención se limita al aumento de la resistencia a la rodadura. Como el efecto de la gravedad en la detención es nulo, estas rampas suelen ser largas dependiendo de las características del material granular y de la velocidad del vehículo de diseño.

### Tipo 4: Rampas ascendentes

Tienen una cama de frenado con espesor uniforme y pendiente longitudinal ascendente como se muestra en la **Figura III-27**. 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.

#### 4.11.1 Criterios de implantación

En tramos donde existan pendientes prolongadas, y los vehículos puedan perder el control por avería de los frenos, se implantarán rampas para frenado de emergencia, para facilitar la detención de dichos vehículos.

La implementación de una rampa de emergencia se justifica si se verifica alguno de los siguientes criterios:

- La pendiente media (*i*) de la razante descendente es superior al 5% y el producto del cuadrado de la pendiente (*i*<sup>2</sup>), expresada en tanto por ciento, por la longitud del tramo (*L*), expresada en km, resulta superior a 60 (ver **Ecuación III-5**).

<b>Ecuación III-4</b> Criterio para la implantación de rampas de frenado	$i^2 (\%) \cdot L (km) > 60$
---	------------------------------

Si después de la pendiente hubiera una rampa de suficiente longitud o inclinación, podría estar justificado no disponer una rampa de frenado.

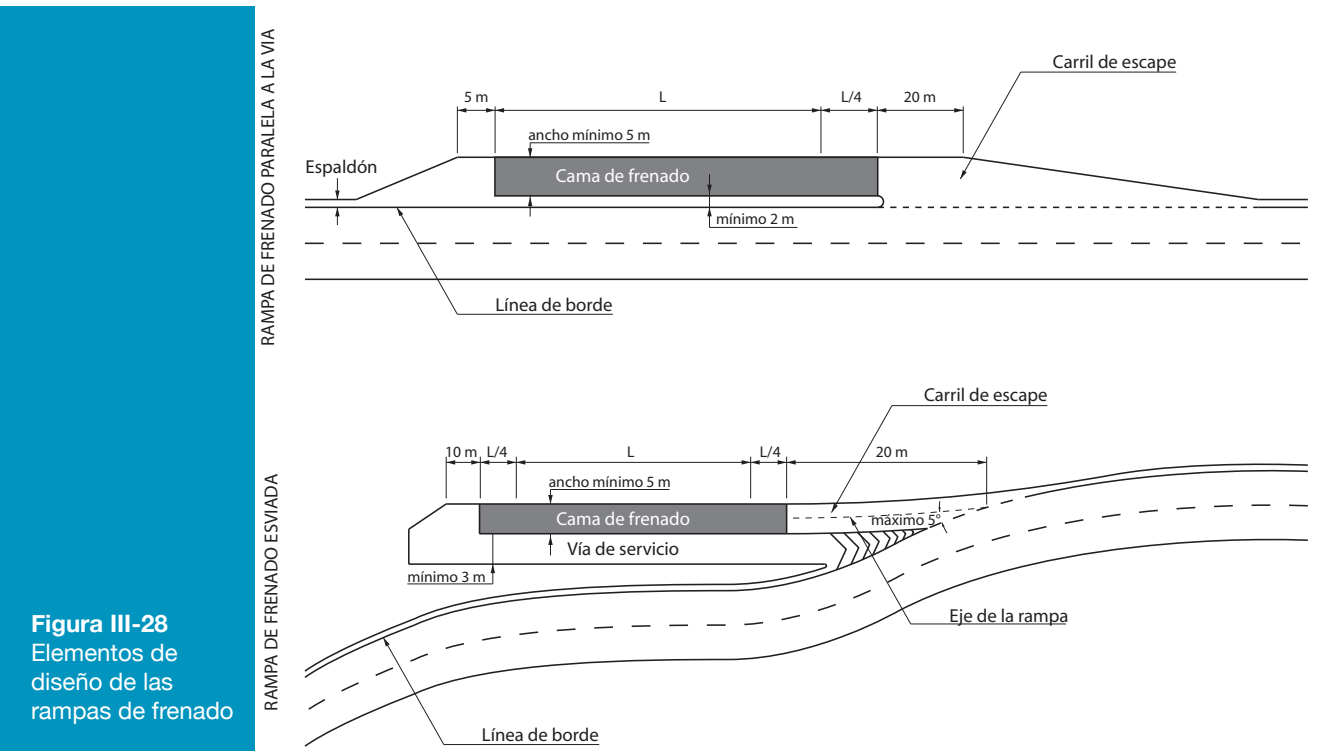
- Tramos de carretera donde existan evidencias de que los vehículos de carga presenten a menudo sobrecalentamiento en el sistema de frenos.

- tramos en los que se ha presentado anualmente un accidente fatal causado por vehículos sin frenos o en los que exista la posibilidad de ocurrencia de accidentes catastróficos, como los que pueden producirse a la entrada de las poblaciones o en zonas en donde puede haber vehículos detenidos, como en plazas de cobro.

#### 4.11.2 Criterios de diseño

El diseño de las rampas para frenado de 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 deban 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 para evitar la percepción de discontinuidades que desalienten la entrada a las mismas.
- El acceso a la rampa sea amplio y suficiente para alojar la cama de frenado y el camino de servicio.
- El ángulo de entrada a cada rampa respecto al eje de la carretera, será de cinco (5) grados como máximo, con el fin de asegurar la estabilidad del vehículo durante la maniobra de ingreso a la rampa



**Figura III-28**  
Elementos de diseño de las rampas de frenado

y su alineamiento horizontal sea recto, de manera que los vehículos que ingresen lo hagan de una forma segura, como se ilustra en la **Figura III-28**.

- La longitud de la cama de frenado ( $L$ ) de cada rampa, si su pendiente es uniforme, se calculará con la **Ecuación III-6**.
- Para determinar la longitud efectiva de la cama 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 III-8** y la **Ecuación III-9**.
- La longitud total de la cama de frenado se incrementará en un 25% o un 50% con respecto a su longitud efectiva,  $L$ , según sea una rampa de frenado paralela o esviada al tramo de carretera, como se muestra en la **Figura III-28**.
- Si por la topografía del terreno o por limitaciones físicas que restrinjan la construcción de la rampa, no es posible proveerla de una cama de frenado con la longitud a que se refiere el párrafo anterior, para impedir que los vehículos salgan de la rampa, la cama de frenado se complementará con un dispositivo atenuador de impactos aceptable que en cada caso apruebe el Ministerio de Obras Públicas y Transporte.
- Las rampas de frenado cuyo eje es esviado respecto al eje de la carretera, contarán con una vía de servicio paralela a la rampa de frenado, como se muestra en la **Figura III-28**, que permita ejecutar su mantenimiento y remover los vehículos que ingresen a ella.
- El pavimento de la carretera se extenderá por el acceso hasta el sitio donde inicie la cama de frenado de cada rampa, como se ilustra en la **Figura III-28**.
- El ancho de las rampas para frenado de emergencia será el adecuado para permitir el libre ingreso de los vehículos y para facilitar las maniobras para removerlos. Comprenderá el ancho de la cama de frenado, que tendrá un ancho mínimo de cinco (5) metros, así como el ancho del camino de servicio, que será de tres (3) a cinco (5) metros.
- La cama de frenado para rampas con montículo (**Tipo 1**), se formará colocando

$$L = \frac{V_e^2}{254(R_c + S)}$$

**Donde:**

$L$  = Longitud efectiva de la cama de frenado, (m)

$V_e$  = Velocidad de entrada a la rampa, calculada con base en la **Ecuación III-6**, (km/hr).

$R_c$  = Resistencia a la rodadura del material con que formará la cama de frenado, de acuerdo con la **Tabla III-21**, (adimensional, expresada en términos de pendiente equivalente). En el análisis de las rampas **Tipo 1**, a partir de los sesenta (60) centímetros de espesor del montículo, la resistencia indicada en la **Tabla III-21** 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.

$S$  = Pendiente de la cama de frenado, positiva si es ascendente o negativa si es descendente, en metro/metro, (adimensional).

**Ecuación III-6**  
L: Longitud de la cama de frenado

$$V_e = \left( V^2 - 254 \sum_{i=1}^n L_{pi} (R + P_i) \right)^{1/2}$$

**Donde:**

$V_e$  = Velocidad de entrada a la rampa, (km/hr).

$V$  = Velocidad de diseño o velocidad de operación de la carretera,  $V_{ds}$ , 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 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  $P_i$ , (m).

$R$  = Resistencia a la rodadura de la superficie del pavimento, 0,010 cuando la carpeta sea de concreto hidráulico ó 0,012 cuando sea asfáltica, (adimensional).

$P_i$  = Pendiente descendente (negativa) del subtramo  $i$  de longitud  $L_{pi}$ , en metro/metro, (adimensional).

**Ecuación III-7**  
 $V_e$ : Velocidad de entrada a la rampa

Material de la cama de frenado	Resistencia a la rodadura, $R_c$
Grava triturada suelta	0,05
Grava de río suelta	0,10
Arena suelta	0,15
Gravilla uniforme suelta	0,25

**Tabla III-21**  
Resistencia a la rodadura del material de la cama de frenado



**Ecuación III-8**  
Velocidad inicial y final del subtramo j

$$VF_j^2 = VI_j^2 - 254 \cdot L_j (R_c + S_j)$$

**Ecuación III-9**  
Suma de longitudes de subtramos j

$$L = \sum_{j=1}^k L_j$$

**Donde:**

**VF<sub>j</sub>**= Velocidad final al término del subtramo j de la cama de frenado que se analiza, (km/h).

**VI<sub>j</sub>**= Velocidad inicial en el subtramo j de la cama de frenado que se analiza, que corresponde, para el primer subtramo, a la velocidad de entrada (Ve) calculada con la **Ecuación III-6**, y para los subtramos subsecuentes, a la velocidad final calculada para el subtramo j-1 (**VF<sub>j-1</sub>**) inmediato anterior, (km/h).

**L<sub>j</sub>** = Longitud efectiva del subtramo j de la cama de frenado que se analiza, (m).

**R<sub>c</sub>** = Resistencia a la rodadura del material con que formará la cama de frenado, de acuerdo con la **Tabla III-21**, (adimensional, expresada en términos de pendiente equivalente). En el análisis de las rampas **Tipo 1**, a partir de los sesenta (60) centímetros de espesor del montículo, la resistencia indicada en la **Tabla III-21** 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<sub>j</sub>** = 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).

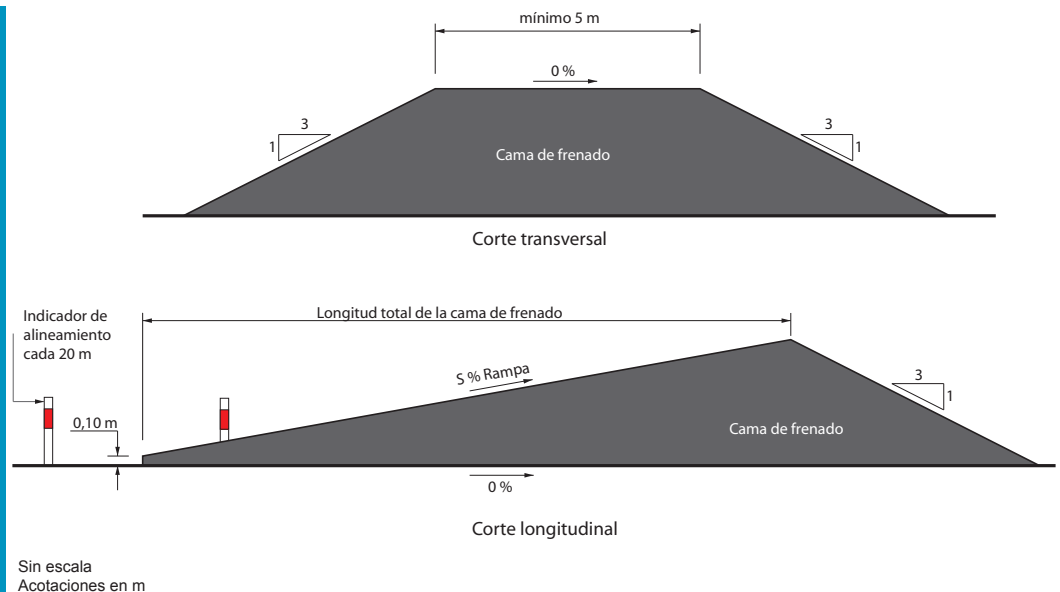
**L** = Longitud efectiva de la cama de frenado, (m).

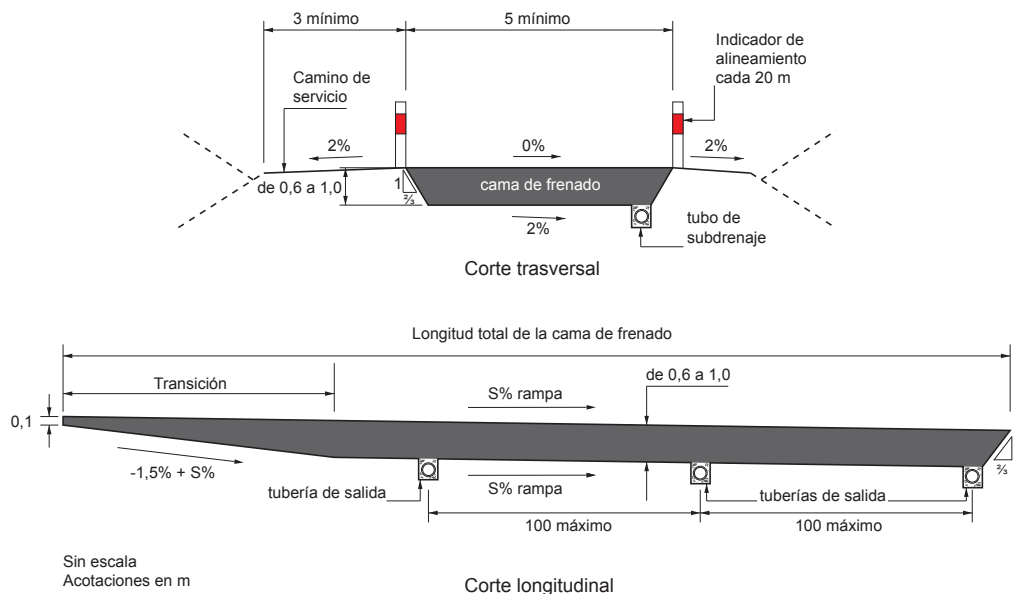
**k** = Número de subtramos de la cama de frenado con pendientes diferentes, (adimensional).

el material a volteo, sobre una terracería horizontal, de forma que la pendiente ascendente del montículo sea menor que dos coma cinco (2,5) por ciento y una longitud total calculada de acuerdo con los criterios anteriores; que sus taludes laterales y final sean como mínimo de tres a uno (3:1 o más planos) y, para evitar que el material se desplace, que su espesor en el punto de entrada sea cuando menos de diez (10) centímetros, como se ilustra en la **Figura III-29**.

- La cama de frenado para rampas descendentes (**Tipo 2**), horizontales (**Tipo 3**) y ascendentes (**Tipo 4**), tendrá un espesor mínimo de sesenta (60) centímetros a un (1) metro y estará colocada a volteo en una caja en la terracería de la rampa, con taludes de dos tercios a uno (2/3:1) y profundidad igual que el espesor de la cama. Para evitar desaceleraciones excesivas en el vehículo, la cama se construirá con un espesor de cuando menos de diez (10) centímetros en el punto de entrada, que aumentará uniformemente hasta alcanzar su espesor de diseño, como se muestra en la **Figura III-30**. Cuando la cama de frenado se construya con grava triturada, el espesor de diseño será de un (1) metro como mínimo.
- Cada rampa contará con un adecuado sistema de drenaje y subdrenaje que evite el deterioro de las características del material que forme la cama de frenado (ver **Figura III-30**).
- El sistema de drenaje y subdrenaje de

**Figura III-29**  
Disposición en corte de las rampas de frenado Tipo 1





**Figura III-30**  
Disposición en  
corte de las  
rampas de frenado  
Tipo 2, Tipo 3 y  
Tipo 4

las rampas para frenado de emergencia se diseñará con el propósito de captar el agua de lluvia, los escurrimientos superficiales y, principalmente, el agua que se infiltre en la cama de frenado, para desalojarla oportunamente, a fin de evitar la acumulación de partículas en suspensión que llenen los huecos del material de la cama y su posible densificación o compactación, así como el eventual congelamiento del agua, que anule la eficacia de la cama.

- Las rampas para frenado de emergencia descendentes (**Tipo 2**), horizontales (**Tipo 3**) y ascendentes (**Tipo 4**) se diseñarán con una pendiente transversal de dos (2) por ciento como mínimo, en el fondo de la caja que alojará la cama de frenado, para interceptar y recolectar el agua que se infiltre, como se ilustra en la **Figura III-30**.

- En el lado más bajo de la caja que alojará la cama de frenado se diseñará un subdrén con una pendiente longitudinal mínima de uno coma cinco (1,5) por ciento, como se ilustra en la **Figura III-30**.

## Referencias bibliográficas

- AASHTO (2004) *Run-off Road Collisions, Executive Summary of the Strategic Highway Safety Plan*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC.
- AASHTO (2002) *Roadside Design Guide*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC.
- AENOR (1999) *Norma UNE-EN 1317-1, Sistemas de Contención Para Carreteras, Parte 1: Terminología y Criterios Generales para los Métodos de Ensayo*. Asociación Española de Normalización y Certificación.
- AENOR (1999) *Norma UNE-EN 1317-2, Sistemas de Contención Para Carreteras, Parte 2: Clases de Comportamiento, Criterios de Aceptación para el Ensayo de Choque y Métodos de Ensayo para Barreras de Seguridad*. Asociación Española de Normalización y Certificación.
- EC (2003) *D05: Summary Of European Design Guidelines For Roadside Infrastructure, European Community R&TD Project, 5th Framework Programme "Growth", Project "RISER", European Commission*.
- DFRD (2005) *Design Manual for Roads and Bridges TD 27/05, Cross-Sections and Headrooms*. The Highways Agency, Scottish Executive, Welsh Assembly Government Llywodraeth Cynulliad Cymru, The Department for Regional Development Northern Ireland.
- DFRD (2006) *Design Manual for Roads and Bridges TD 19/06, Requirement for Road Restraint Systems*. The Highways Agency, Scottish Executive, Welsh Assembly Government Llywodraeth Cynulliad Cymru, The Department for Regional Development, Northern Ireland.
- DOMR (2005) *Road Planning and Design Manual, Chapter 8: Safety Barriers and Roadside Furniture*, Department of Main Roads, Government of Queensland, Australia.
- DOMR (2006) *Main Roads Western Australia Assessment of Roadside Hazards*. Department of Main Roads, Government of Western Australia.
- EC (2006) *D06: European Best Practice for Roadside Design: Guidelines for Roadside Infrastructure on New and Existing Roads, 5th Framework Programme "Growth", Project "RISER", European Commission*.
- ETSC (1998) *Forgiving Roadsides*. European Transport Safety Council, Road Infrastructure Working Party, Brussels.
- FOMENTO (1995) *Recomendaciones sobre sistemas de contención vehicular, Orden Circular 321/95*, Ministerio de Fomento, España.
- FOMENTO (2008) *Criterios de aplicación de pretiles metálicos en carretera, Orden Circular 23/2008*, Ministerio de Fomento, España.
- Martínez, A.V. y A. Amengual (2007) *La Seguridad Vial y los Accidentes por Salida de Vía. Seminario Sobre Seguridad Vial Usuario e Infraestructura*, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.
- MOPT (2006) *Disposición MN-06-2006, Barrera de Acero Tipo Viga Flexible (Flex Beam)*. Ministerio de obras públicas y transportes, Costa Rica.
- MOPT (1978) *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos Carreteras y Puentes (CR-77)*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Costa Rica.
- MOP (2001) *Instructivo para Proyectos de Contención Vial*. Departamento de Seguridad Vial, Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas, Chile.
- Orozco, C. (2008) *Obras a Implementar en el Diseño de una Carretera desde el Punto de Vista de la Seguridad Vial*. Informe de trabajo final de graduación para obtener el grado de licenciatura en ingeniería civil, Universidad de Costa Rica.
- Picado, J., M.E., Rodríguez (2005) *Informe de Auditoría Técnica Externa de Seguridad Vial LM-PI-PV-AT-29-05, Análisis de la Seguridad Vial de los Guardavías en Carreteras Nacionales*. Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.

Quesada, R. (2008) *Revisión de los criterios propuestos para la disposición de los sistemas de contención vehicular en Costa Rica*. Informe de trabajo final de graduación para obtener el grado de licenciatura en ingeniería civil, Universidad de Costa Rica.

SCT (2007) *Norma N-PRY-CAR-10-04-007-07, Rampas de Frenado de Emergencias*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México.

Valverde, G. (2003) *Informe de Auditoría Técnica de Seguridad Vial Carretera Florencio del Castillo*. Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.

Valverde, G. (2009) *Análisis de Seguridad Vial en los Márgenes de la Carretera Florencio del Castillo*. Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.