

4 BARRERAS DE CONTENCIÓN

En este capítulo se da a conocer el estado del arte en otros países seleccionados referente a los estudios de ingeniería para la instalación de barreras de contención, y de la misma forma se establece la guía para realizar la instalación de las mismas, con base en experiencias, metodologías existentes que han sido exitosas, así como las tecnologías que para ello han sido utilizadas; considerando a su vez la jerarquía de las carreteras en zonas rurales y considerando todo los criterios técnicos de ingeniería pertinentes para elaborar estos diseños, resaltando siempre todos los criterios de seguridad vial que deben cumplir y para los cuales se elaboran.

4.1 INTRODUCCIÓN

Cobran especial relevancia los comentarios del Ing. Pedro Chocontá Rojas, ilustre catedrático de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia y de la Escuela Colombiana de Ingeniería, en sus Apuntes de Diseño Geométrico de Vías, con relación a la incidencia de las interrelaciones entre la infraestructura, el vehículo y el conductor, sobre los criterios de diseño geométrico de carreteras:

“Se han hecho numerosos estudios de los accidentes en relación con los elementos de la vía y se ha llegado, en primer lugar, a la conclusión de que en carreteras con diseños semejantes, el porcentaje de accidentes aumenta proporcionalmente al volumen del tránsito, aunque es difícil aislar el efecto del volumen solamente, pues otros aspectos, como el ancho inadecuado de los carriles, el ancho de las bermas deficiente o las distancias de visibilidad pequeñas, pueden contribuir a la producción de accidentes.

*El control de accesos es un factor muy importante en la reducción del número de accidentes. En carreteras con accesos completamente controlados los accidentes que se producen son solamente de la tercera parte a la mitad de los que ocurren en vías con control de accesos. El control parcial de accesos es útil en la reducción de accidentes en áreas rurales, pero más bien de poco efecto en sectores urbanos, posiblemente debido a que los conductores adquieren una falsa sensación de seguridad y están mal preparados cuando se presentan conflictos inesperados en la circulación.”*³³

³³ Chocontá Rojas, Pedro. Apuntes de Diseño Geométrico de Vías. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 1990.

Al respecto, debe insistirse en que las especificaciones geométricas de los diseños viales obedecen a criterios claramente establecidos en la literatura técnica de referencia, pero los diseños de señalización y demarcación, quedan relevados al buen juicio del especialista, sin que primen guías metodológicas o ejemplos de aplicación en determinados casos.

Las soluciones de sistemas de contención deben corresponder a patrones probados, usados y aceptados internacionalmente, ya que detrás de ellos existe toda una permanente investigación y experiencia en la aplicación de estos elementos. Actualmente en nuestro país se carece de una normatividad que enmarque los criterios de localización de este tipo de dispositivos de seguridad vial. De otra parte, el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación – Icontec, adoptó documentos de referencia de la AASHTO (M 180-00:2004), en correspondencia para normalizar las especificaciones para defensas metálicas para carreteras (NTC 3755), debidamente recomendadas por el Comité Técnico 215 Defensas metálicas viales, en Diciembre de 2007, en el cual participaron el Fondo de Prevención Vial e importantes empresas nacionales dedicadas a la provisión de bienes y servicios en estructuras metálicas tales como: Acerías Paz del Río, Accssvial, Corpacero, Tubos Colmena, Cintac, entre otras.

En concordancia, la Norma Técnica Colombiana NTC 4083, presenta los requisitos y especificaciones constructivas que deben tener las barreras de seguridad de concreto para vías, recomendadas por el Comité Técnico 369902 Prefabricados en concreto, en Enero de 1997.

A nivel internacional, existe la Norma Europea EN 1317³⁴ con sus 5 partes y el Reporte 350 de la National Cooperative Highway Research Program, “Recommended procedures for the safety performance evaluation of Highway features”³⁵ las cuales marcan las pautas para la evaluación de sistemas de contención.

Este capítulo contiene definiciones, resume requisitos y recomendaciones generales de instalación para las barreras de contención y propone algunos criterios, utilizados en otros países que han avanzado en investigaciones sobre este tema, para seleccionar y diseñar un sistema de contención, en función de las características de la vía y las condiciones típicas de tránsito, prevalecientes en el medio colombiano. Así mismo, se describe la estructura y los requisitos de seguridad que deben garantizar las barreras de contención y, algunas consideraciones en cuanto a elementos de transición.

Finalmente, se incluyen pautas y metodologías comúnmente usadas en el mundo para verificar la correcta colocación y diseño de este tipo de elementos de seguridad vial.

³⁴ European Committee for Standardization. European Standard EN 1317. Road Restraint Systems. Bruselas, 2001.

³⁵ Transportation Research Board. National Cooperative Highway Research Program NCHRP Report 350, “Recommended procedures for the safety performance evaluation of Highway features” Washinston D.C., 1999.

4.2 BARRERAS DE CONTENCIÓN O DEFENSAS VIALES

4.2.1 Definición

Una barrera de contención es un dispositivo longitudinal, ubicado a la orilla de la vía, cuyo objetivo es proteger a los automovilistas de obstáculos naturales o artificiales, localizados en las zonas laterales de la vía. Puede, en algunos casos, instalarse como un elemento de protección a los peatones y ciclistas.

La definición de defensa vial, que figura en la norma NTC 3783³⁶ es la siguiente:

“Defensa vial: elemento de protección instalado a uno o ambos lados de las carreteras y puentes con el objeto de prevenir siniestros automovilísticos; su función básica es la de barrera de contención durante las colisiones accidentales de los vehículos automotores. Está compuesto, principalmente, por párales (postes), vigas y elementos terminales.”

4.2.2 Objetivo

El objetivo de una barrera de contención es soportar y redireccionar un vehículo que por cualquier razón abandone la calzada de circulación, evitando que se impacte con un objeto fijo, caiga por un borde de terraplén o choque frontalmente contra otro vehículo; dejando muy claro que no se instala una barrera para evitar un accidente, sino para disminuir sus consecuencias.

La barrera en sí es un objeto fijo y constituye un riesgo, es por ello que solo se deben instalar cuando el daño esperado en los usuarios y vehículos sea menor al daño que les ocurrirá si la barrera no estuviera.

De acuerdo con las recomendaciones contenidas en Roadside Design Guide de la AASHTO³⁷, los atenuadores de impacto “*crash cushions*”, no pretenden reducir el número de accidentes, pero sí podrían disminuir la severidad de los accidentes. Para ello, deberían ser instalados en terreno relativamente plano, sobre superficies duras, tales como las que ofrecen los concretos hidráulicos. En condiciones ideales, deberían ubicarse alejados de taludes con pendientes

³⁶ Norma Técnica Colombiana NTC 3783. Ratificada por el Consejo Directivo de 1998-06-24. Defensas metálicas para carreteras. Párales de acero para la instalación de defensas viales. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación – Icontec. Bogotá D.C., 2010.

³⁷ American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Roadside Design Guide. Washington, D.C. 2002.

superiores al 2%, con el objetivo de afectar lo menos posible el ángulo de impacto³⁸ del vehículo colisionado.

De esta manera, en caso de presentarse colisión de un vehículo contra una barrera de seguridad, aunque sea de concreto, ésta debe ser capaz de absorber la energía del impacto, con una trayectoria que tenga un ángulo pequeño con respecto al eje longitudinal de la barrera; de tal manera que lo oriente y el vehículo pueda continuar en la dirección del tráfico, sin volcarse. Esta contención del impacto se debe dar sin que se presente ninguna deflexión o deformación transversal significativa de la barrera.

4.2.3 Estado del arte en Colombia

En el Manual de Señalización Vial Dispositivos para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorutas de Colombia³⁹, se hace referencia a delineadores de canalización:

“Son dispositivos que se usan para advertir al conductor la proximidad a obstáculos en el sentido en que se circula. Se emplearán para señalar estructuras canalizadoras dentro de la calzada, tales como: islas, separadores o cualquier otro tipo de elemento canalizador del tránsito.

Son placas metálicas rectangulares elaboradas en lámina reflektiva tipo I o de un grado de reflectividad tipo III o superior, (...). Las características de la lámina y de la estructura de soporte serán similares a las de las señales verticales.

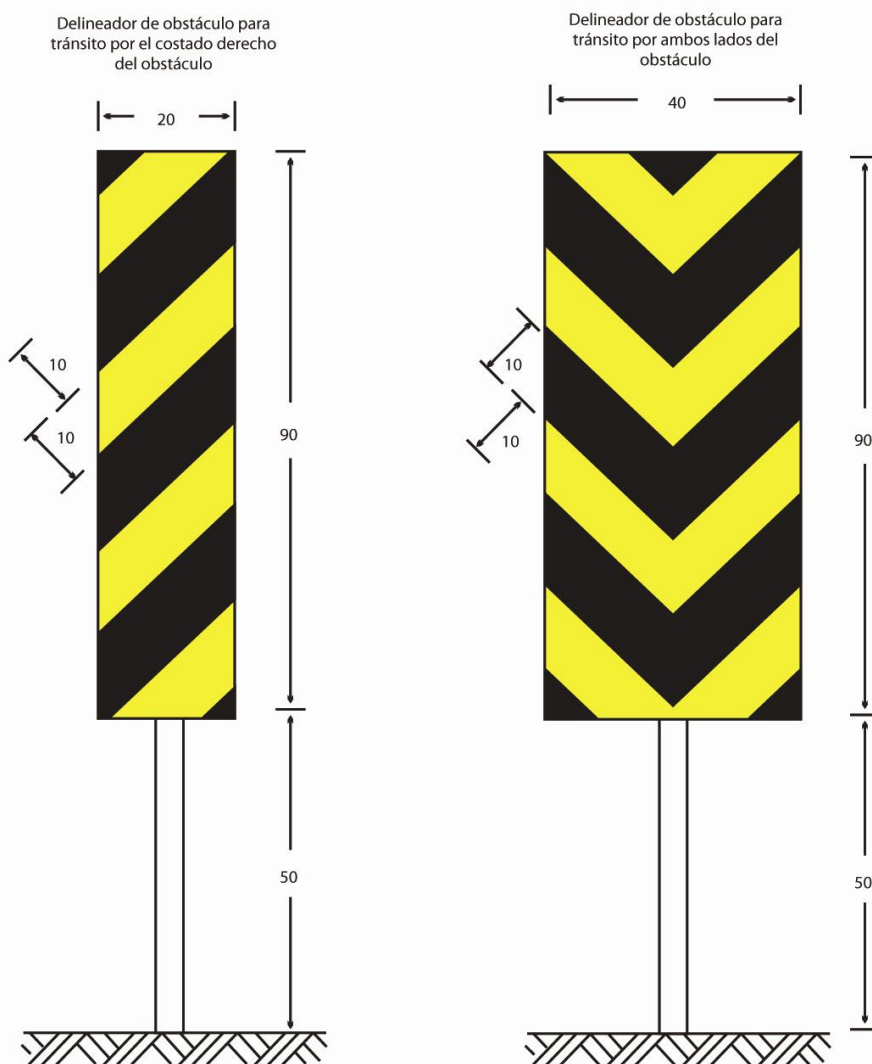
El uso de los delineadores de canalización para vías de un sentido y de doble sentido de circulación se muestra en la Figura 50 y la Figura 51.

Por otra parte, en el documento llamado **“Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras”** del INVIAS, capítulo 7, sección 7.3 (sobre defensas), se mencionan algunas especificaciones constructivas sobre las defensas metálicas y de concreto en los artículos 730-07 y 731-07 respectivamente.

³⁸ Se define como ángulo de impacto (por impacto con una barrera de contención), al ángulo entre el eje de simetría de la barrera y una tangente a la trayectoria del vehículo.

³⁹ Manual de Señalización Vial. Dispositivos para la regulación de tránsito en calles, carreteras y Ciclorutas de Colombia. Resolución 1050 de 2004. Ministerio de Transporte. Bogotá D.C.

Figura 50. Delineadores de obstáculo (dimensiones en centímetros)



Fuente: Manual de Señalización Vial, Colombia.

El artículo 730-07 sobre **defensas metálicas** menciona lo siguiente:

“Las barandas de las defensas metálicas serán de lamina de acero corrugado obtenidas por los sistemas de crisol abierto, horno eléctrico o convertidores básicos de oxígeno (...)

Los espesores de las laminas con las cuales se fabricaran las defensas, serán los de defensa clase A, de calibre 12 (2.67 mm).

Salvo que los documentos del proyecto o las especificaciones particulares determinen lo contrario, la lamina deberá cumplir todos los requisitos de calidad establecidos en la especificación M-180 de la AASHTO (...)”

Sobre las características de la defensa menciona el artículo lo siguiente:

“La forma de la defensa será curvada del tipo doble onda (perfil W) y sus dimensiones deberán estar de acuerdo con lo indicado en la especificación AASHTO M-180, excepto si los planos del proyecto establecen formas y valores diferentes.

Las defensas que deban instalarse con un radio de curvatura de cuarenta y cinco metros (45 m) o menor, deberán adquirirse con la curvatura aproximada de instalación. La defensa no necesita ningún revestimiento adicional (pintura o anticorrosivo).

Para la visualización de las defensas en horas nocturnas, en cada poste se adosara un captafaro (...).”

Sobre los postes de fijación, menciona el artículo lo siguiente:

“Podrán ser perfiles estructurales de acero en un todo de acuerdo con las dimensiones y pesos indicados en los planos y respondiendo a las características mecánicas indicadas en ellos, o perfiles de lamina de acero en U o en I (...), que permita sujetar la baranda por medio de tornillos sin que los agujeros dejen secciones debilitadas (...)

Su longitud deberá ser de un metro con ochenta centímetros (1.80 m), salvo que los documentos del proyecto establezcan un valor diferente”

Adicionalmente la norma fija parámetros para los elementos de fijación (tornillos), equipo necesario, parámetros de ejecución de los trabajos, condiciones para el recibo de los trabajos, medidas y forma de pago.

En cuanto a la localización en vía de los trabajos ejecutados, es de mencionar lo siguiente:

“Si los planos o el Interventor no lo indican de otra manera, los postes deberán ser colocados a una distancia mínima de noventa centímetros (90 cm) del borde de la capa de rodadura o del borde considerado en vías sin pavimentar y su separación centro a centro no excederá de tres metros y ochenta centímetros (3.80 m).”

Los postes se deberán enterrar bajo la superficie aproximadamente un metro con veinte centímetros (1.20 m) (...)

La defensa se fijara a los postes de manera que su línea central quede entre cuarenta y cinco centímetros (45 cm) y cincuenta y cinco centímetros (55 cm), por encima de la superficie de la calzada.

La longitud mínima de los tramos de defensa deberá ser de treinta metros (30 m)."

Sobre las **defensas de concreto**, el artículo 731-07 menciona que la resistencia mínima a la compresión tendrá que ser de 28 MPa (280Kg/cm²). En cuanto a la ejecución de los trabajos, menciona el artículo lo siguiente respecto a la superficie de colocación:

"Los módulos podrán instalarse en forma individual, sobrepuestos sobre la capa de rodadura del pavimento, en los lados, en el medio, o en las bermas de la vía, asegurando que los módulos se enganchan entre sí.

En caso de que las defensas de concreto no se coloquen sobre la capa de rodadura del pavimento, estas se apoyaran sobre una capa de veinte centímetros (20 cm) de espesor de hormigón, o un solado artificial o una capa estabilizada convenientemente, compactada y nivelada (...)"

El artículo menciona unas especificaciones de fabricación y construcción de las defensas de concreto fundidas "in situ" y prefabricadas. En ambos casos se recomienda que un módulo no exceda los 3 m de longitud, el uso de varillas No. 3 o 8M para la armadura (transversal o perimetral según corresponda) y en el centro de todas las caras, y el uso de varillas longitudinales No. 4 o 12M en las caras superior e inferior.

Dentro de las consideraciones adicionales, se menciona en el artículo lo siguiente:

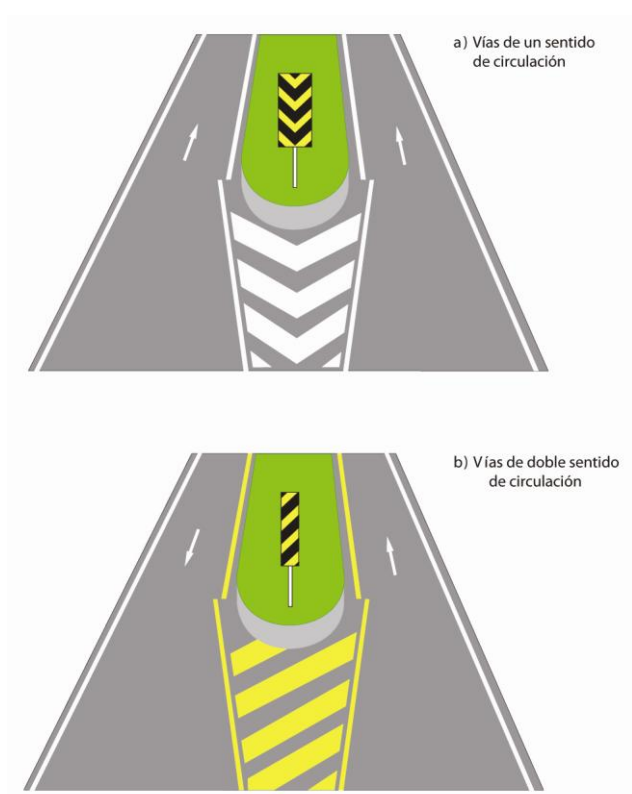
"Para el inicio y el termino de las barreras, se construirán módulos especiales de altura variable, con sus respectivas piezas de enganche si fueren del caso, de modo que la barrera disminuya paulatinamente su altura desde el borde superior hasta doscientos milímetros (200 mm), medidos sobre el piso, en dieciocho metros (18 m) de longitud. Cuando sea posible, estos tramos extremos serán además curvados. En el caso que la barrera sea corta para realizar la transición respectiva en dieciocho metros (18 m) esta se realizara en una menor longitud pero gradualmente hasta alcanzar la altura especificada.

Las barreras deberán tener perforaciones en su base, que permitan el adecuado drenaje de las aguas superficiales de la calzada.

Adicionalmente, se podrán instalar captafaros (...) o pintar la barrera de acuerdo con lo que especifica el "Manual de Señalización Vial", publicado por el Ministerio de Transporte de Colombia en el año 2004, para marca de objetos o aproximaciones a obstrucciones en el capítulo de señalización horizontal (...)

De igual manera que para las defensas metálicas, el artículo finaliza mediante la mención de unas condiciones para el recibo de los trabajos, medida y forma de pago.

Figura 51. Uso de los delineadores de canalización



Fuente: Manual de Señalización Vial, Colombia.

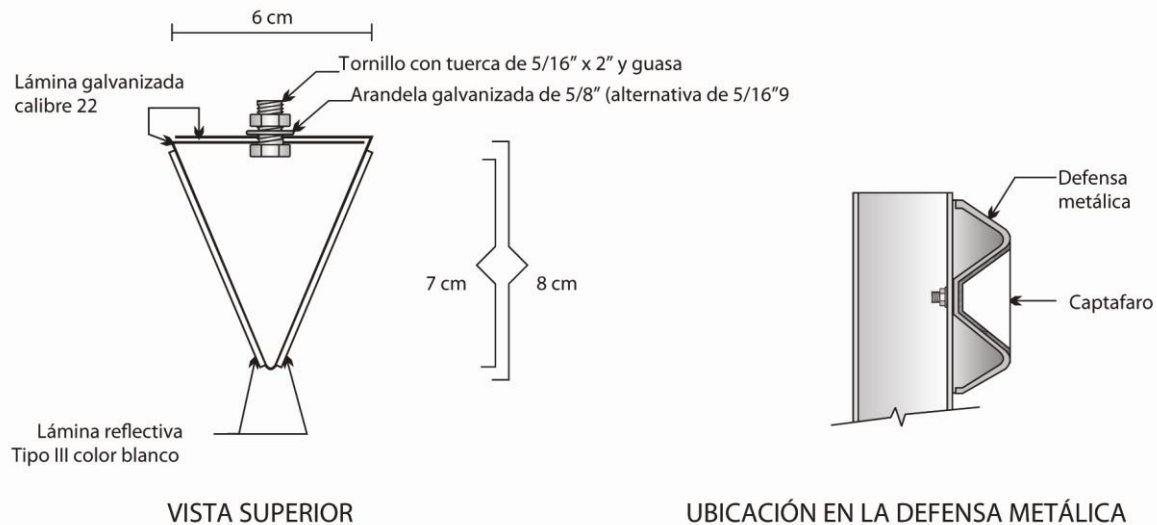
La única referencia sobre barreras de contención o defensas laterales que aparece en el Manual de Señalización Vial colombiano, es la siguiente:

“Los captafaros son delineadores que se ubican sobre las defensas laterales, metálicas o de concreto, que se ubican en los tramos de vía en donde existen peligros potenciales de accidente por la geometría del lugar o por el desarrollo de altas velocidades por parte de los conductores. Se utilizan principalmente en curvas peligrosas o en tangentes con terraplenes altos o en balcón. Los captafaros que se ubiquen en vías con doble sentido de circulación deberán tener caras reflectivas en ambas caras.

Estos elementos serán fabricados en lámina galvanizada calibre 22 y sobre sus caras frontales se adherirán franjas de lámina reflectiva tipo III o de características superiores. Los captafaros se sujetarán a la defensa mediante tornillos y puntos de soldadura. Las dimensiones de estos dispositivos son las que se muestran en la figura 5.10.”

En la Figura 52 se muestran los esquemas de captafaros que son mostrados en el MSV colombiano.

Figura 52. Captafaros



Fuente: Manual de Señalización Vial, Colombia.

Las defensas viales, son un ejemplo puntual en los que se pueden utilizar acero estructural u hormigón armado o estructural.

Las defensas viales, se pueden construir de hormigón o acero, pero en este caso el impacto es más controlado por la seguridad, las defensas metálicas tienen un tiempo de montaje inferior al de las de hormigón y la forma de trabajo de una defensa metálica es más segura, pues permite que al impacto del vehículo sea absorbida la menor cantidad de energía posible, mientras que la defensa rígida, funciona mas como una barrera, evitando que el vehículo salga de la vía, pero haciendo que el impacto sea más severo.

El costo de una defensa metálica es aproximadamente (a pesos de 2009) de 400.000 \$/m y su instalación puede hacerse rápidamente, mientras que la defensa rígida es más costosa por metro y su construcción toma mayor tiempo, debido al requerimiento de formaletería, preparación del refuerzo, vaciado y tiempo de fraguado.

Figura 53. Defensa metálica con Delineadores de curva horizontal



Fuente: Glennon, John. Nuevo Concepto para determinar la longitud de necesidad de la baranda de defensa.

Aunque se puedan encontrar hormigones con resistencias cercanas a los 200 MPa, en Colombia se trabaja máximo hasta 50 Mpa, lo cual muestra la necesidad de invertir en investigación y tecnología, para sacar el máximo provecho de las características mecánicas de este material. El acero estructural se presenta por lo general en forma de perfilería o laminas.

Es un material que posee alta resistencia a compresión como a tracción, por lo que no necesita de otro tipo de material para trabajar. Debido a su vulnerabilidad a la corrosión por lo general va acompañado de un recubrimiento el cual puede ser galvanizado (recubrimiento de zinc), recubierto de anticorrosivo, de pintura o una mezcla de ellos.

Las especificaciones que actualmente se aplican para las defensas metálicas deben cumplir con los estándares para lámina de alta resistencia bajo los requerimientos de la norma NTC 3755 y postes según la norma NTC 3783.

Figura 54. Defensa metálica con doble perfil W



Fuente: Catálogo Defensas Viales. Industrias Ceno S.A. Colombia.
www.industriasceno.com

En Colombia es un material de poca utilización comparado con el hormigón armado y la perfilería no se produce nacionalmente, por lo que es necesario importarla o armarla por medio de cordones de soldadura.

Figura 55. Defensa metálica con perfil “W”



Fuente: Catálogo Defensas Viales. Industrias Ceno S.A. Colombia.
www.industriasceno.com

Pese a ello, se destacan los esfuerzos que ha hecho el Ministerio de Transporte y el Invías, en la exigencia del cumplimiento de calidad de los materiales, y en las obras concesionadas a través del INCO, se han visto ejemplos de aplicación de barreras de contención, aunque no se cuente con criterios estandarizados para ser incluidos en los diseños de los nuevos trazados viales.

4.3 ESTADO DEL ARTE EN OTROS PAÍSES:

4.3.1 En Estados Unidos:

Los Estados Unidos de América tienen miles de barandas de defensa instaladas para proteger a los conductores errantes de peligrosos objetos fijos y empinados taludes de terraplén. La mayoría de ellas se ubicaron hace años, aplicando criterios inadecuados para ubicar el extremo corriente-arriba o de aproximación a la baranda, para satisfacer la necesidad de total protección.

Como resultado, los vehículos que se desvían hacia afuera de la calzada, inmediatamente corriente-arriba de la baranda, a menudo pasan por detrás de ella y chocan contra el peligro “*protegido*”. Por otra parte, muchas barandas de

defensa instaladas usando las guías más recientes de la *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*⁴⁰ son tan largas que, en realidad, aumentan la gravedad esperada por muchos impactos de vehículos que, de otra forma, podrían encontrar un contiguo costado del camino relativamente seguro cerca del extremo de la baranda.

Como resultado de los defectuosos procedimientos de AASHTO⁴¹, los cuales determinan longitudes de necesidad excesivas, muchos organismos viales rechazaron estos procedimientos y acudieron a una amplia variedad de racionalizaciones para determinar longitudes de barandas más cortas. Muchas de estas instalaciones parecen ser demasiado cortas para proteger adecuadamente a los conductores errantes.

Figura 56. Defensa metálica típica



Fuente: Glennon, John. Nuevo Concepto para determinar la longitud de necesidad de la baranda de Defensa.

Actualmente en Estados Unidos, se está trabajando en un procedimiento más amplio y lógico que considere la gravedad de la baranda de defensa comparada con la de los objetos fijos más graves y taludes de terraplén a proteger, y que también considere la gravedad relativa entre baranda de defensa y otras secciones del costado del camino contiguas que terminan siendo protegidas por la baranda.

⁴⁰ American Association of State Highway and Transportation Officials, *Guide for Selecting, Locating, and Designing Traffic Barriers*, 1977.

⁴¹ American Association of State Highway and Transportation Officials, *Roadside Design Guide*.1996

En una época cuando muchos organismos viales en el mundo, están reajustando nuevos tratamientos de extremos de barandas válidos al choque, es oportuno considerar el método para determinar la longitud de necesidad (LDN) de la baranda de defensa, de modo que pueda proteger adecuadamente a los conductores.

“Desafortunadamente, las guías de AASHTO, más que dar buena guía sobre este tema, dan un enfoque sin fundamentos y potencialmente deficiente, demostrado sólo por ejemplos algo simplistas que tienden a perpetuar esa mala aplicación”⁴².

4.3.2 En México

Muchos de los accidentes que ocurren en carretera son producidos por el exceso de velocidad y con una posterior proyección hacia afuera de la carretera; para evitar las graves consecuencias derivadas de este hecho, en México existen diferentes sistemas de contención de vehículos como barreras metálicas y de hormigón, barandales de protección, amortiguadores de impacto y rampas de frenado de emergencia, cada uno de ellos apropiado para resolver problemas distintos.

BARRERAS DE SEGURIDAD: Las barreras de seguridad pueden ser deformables o rígidas. Las primeras se deforman durante el impacto de un vehículo, por lo que posteriormente se podría determinar la posición y la magnitud de las fuerzas de contacto. En este tipo se incluyen las barreras metálicas y las de hormigón.

a).- Barrera Metálica

La barrera metálica consiste en un perfil de doble onda, una pieza separadora entre barreras y un poste antiguamente con perfil “doble T” y más recientemente con perfil en “C”.

El poste en “C” dispone de una rigidez superior y carece de aristas vivas. La función principal de la barrera metálica es evitar la salida de la vía en caso de accidente, reteniendo el vehículo sin provocar fuertes deceleraciones sobre los ocupantes. El poste que tiende a colocarse actualmente dispone de baja rigidez, deformándose fácilmente, y actualmente los postes son clavados en la tierra y no anclados, de tal manera que ante el empuje del separador y agotando la

⁴² John C. Glennon, D. Engr., P.E. Nuevo Concepto para Determinar la Longitud de Necesidad de la Baranda de Defensa. Noviembre de 2002.

posibilidad de deformación se evite que se desprendan con facilidad de su alojamiento.

Figura 57. Detalle barrera metálica



Fuente: www.formet.com.mx/images/defensa.jpg

b).- Barrera de Hormigón

Las barreras rígidas de hormigón están formadas por piezas prismáticas con perfiles transversales característicos, los cuales se encargan de encauzar a los vehículos que choquen con ellas, disipando parte de la energía cinética por energía de rozamiento.

La sección transversal de estas barreras adopta ese particular diseño para que las ruedas delanteras del vehículo monten ligeramente sobre ella, con lo cual la deceleración es más eficaz y ayuda a que las ruedas finalmente recuperen el contacto con la calzada.

Figura 58. Detalle construcción barrera de hormigón



Fuente: <http://www.highwayguardrail.com>

BARANDAL DE PROTECCIÓN: Las obras que por necesidades del terreno son construidas en las carreteras, requieren una protección especial, tal es el caso de los puentes donde el peligro de salirse de la vía es muy superior, para lo cual se utilizan barandales de protección de tal forma que el puente ofrezca al usuario de la carretera índices de seguridad similares al de cualquier otro punto o tramo de la vía.

Figura 59. Barandal de protección



Fuente: <http://www.highwayguardrail.com>

- En la primera fase el vehículo golpea el barandal con su parte frontal (en una posición más adecuada que su centro de gravedad). Como consecuencia del golpe, el vehículo ve impedido el movimiento transversalmente al barandal, sufriendo un giro alrededor del eje vertical del vehículo.
- En la segunda fase, el vehículo golpea al barandal con su parte posterior en un punto por detrás del centro de gravedad. Este coletazo rectifica la trayectoria del vehículo devolviéndolo a la calzada a 15°, el golpe trasero no se produce rectificando fácilmente la trayectoria.

Las defensas viales se establecen de la siguiente manera:

“(...) Podrán ser de lámina galvanizada, concreto u otro material resistente apoyados en postes adecuados al tipo de material.

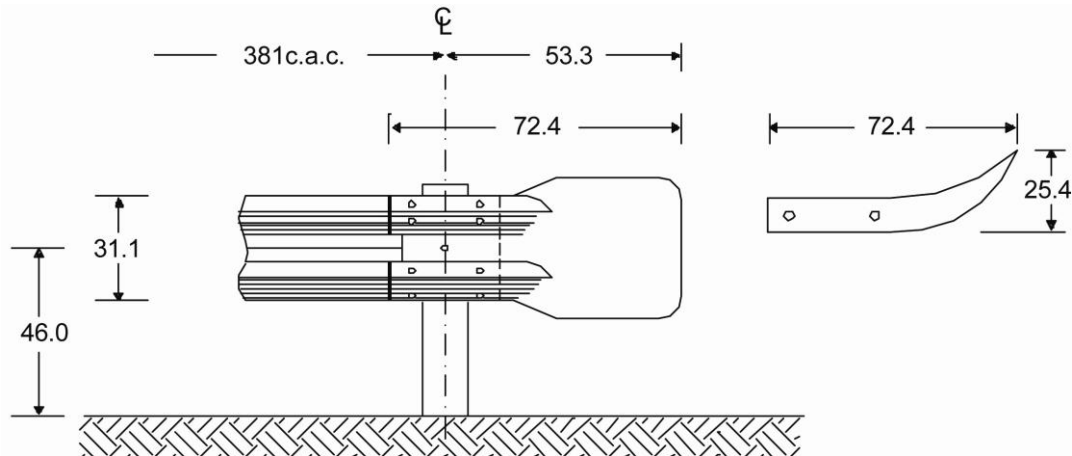
Su forma será aquella que permita un adecuado encauzamiento de los vehículos fuera de control; en las figuras siguientes, se muestran algunas características de la forma y dimensionamiento de las defensas más usuales.

La defensa lateral se instalará en los lugares donde existe mayor peligro, ya sea por el alineamiento del camino o por accidentes topográficos. Deberán colocarse en la silla exterior de las curvas peligrosas o en tangentes con terraplenes altos o en balcón, en una o ambas orillas según se requiera.

(...) Para mayor seguridad en el uso de las defensas, principalmente metálicas, en el extremo de la dirección por donde se aproxima el tránsito, el límite de la misma deberá empotrarse en el piso.

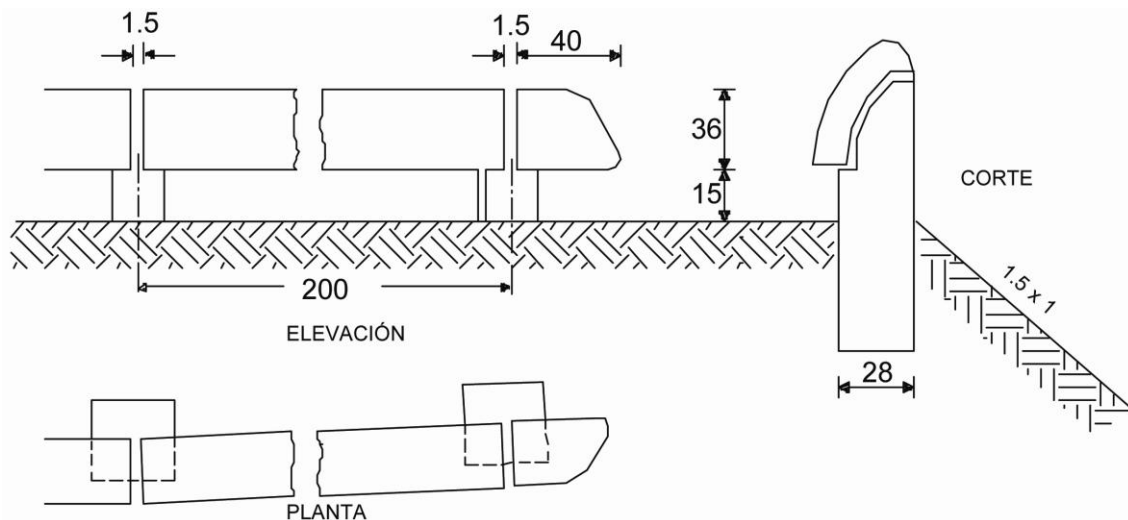
Las defensas laterales se pintarán dependiendo de los recursos económicos (...).⁴³

Figura 60. Defensas Laterales de Lámina Galvanizada.



Fuente: Manual de proyecto geométrico de carreteras. México

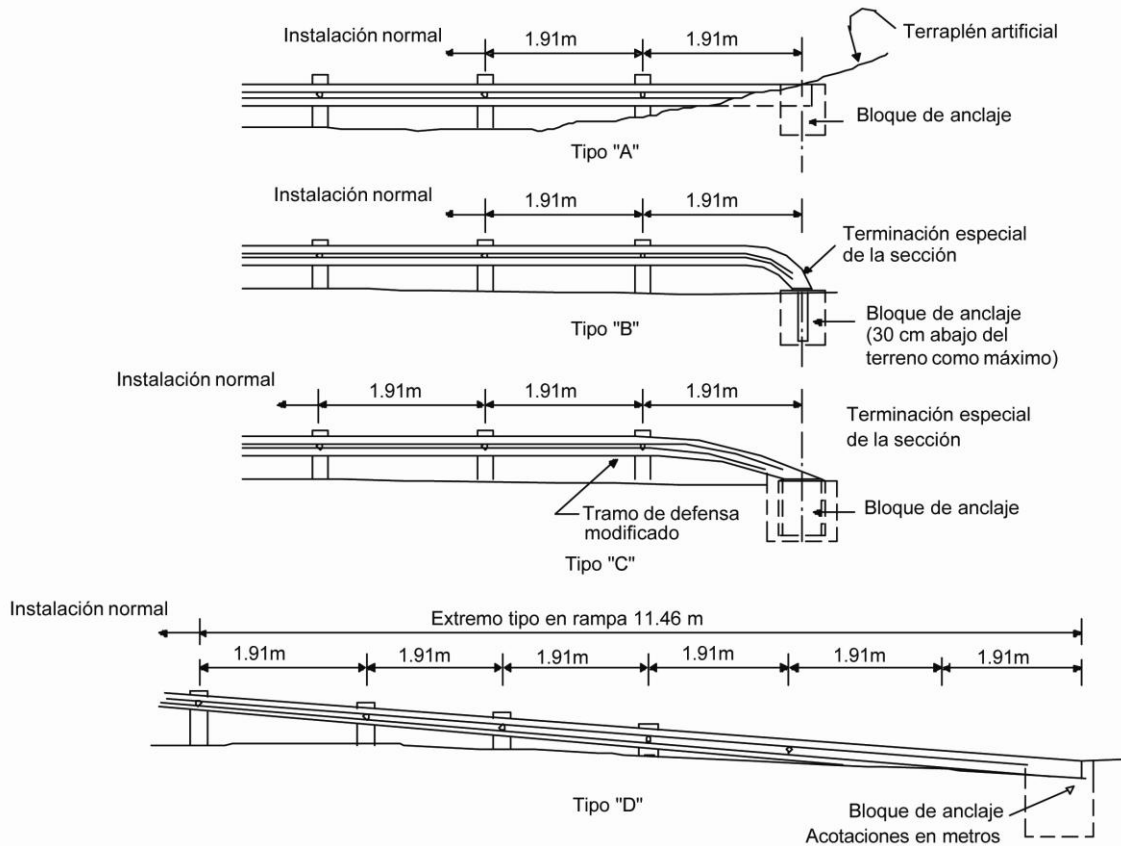
Figura 61. Defensas Laterales de Concreto Reforzado.



Fuente: Manual de proyecto geométrico de carreteras. México

⁴³ Instituto Mexicano del Transporte, Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Subsecretaría de Infraestructura. Normas de Servicios Técnicos, Proyecto Geométrico, Carreteras. México D.F. 2002.

Figura 62. Forma de Anclaje en los extremos de Defensas.



Fuente: Manual de proyecto geométrico de carreteras. México

AMORTIGUADORES DE IMPACTO: En vías urbanas la velocidad de circulación es menor y existen estructuras, señales de tránsito y de iluminación en los márgenes de éstas en donde las colisiones con estos objetos normalmente rígidos y/o de sección reducida, ejemplo: los pilares de puentes, el principio o fin de barandales de puentes y estructuras, los postes grandes de señales, soportes de banderolas y postes de luz.

Para evitar la gravedad de las colisiones contra estos objetos se instalan amortiguadores de impacto que pueden ser de dos tipos: redirectivos y no redirectivos. En los primeros, al recibir un impacto lateral el amortiguador redirige al vehículo impactante con los ángulos de salida que impiden que interfiera en la trayectoria del tránsito.

El segundo tipo de amortiguadores carece de estas características, pero al recibir un impacto frontal tiene la capacidad de absorber la energía del vehículo y detenerlo con seguridad.

Figura 63. Amortiguador de impacto



Fuente: Speier, Greg. Presentación Auditorías de Seguridad Vial herramienta del siglo 21 para modernizar la infraestructura de seguridad vial.

RAMPA DE FRENADO DE EMERGENCIA: Para controlar y manejar con seguridad un vehículo cargado en una bajada prolongada, es necesario usar reiteradamente el freno. Si el vehículo es un camión esto se vuelve más importante, ya que se produce un calentamiento en los frenos como consecuencia del uso excesivo y prolongado, perdiendo así eficacia y ganando el vehículo cada vez una mayor velocidad.

Figura 64. Rampa de frenado de emergencia



Fuente: *Tomado Road Hazard Management Guide – Department of Infrastructure, Energy and Resources - DIER*

Para evitar un grave accidente conviene situar estratégicamente rampas de frenado de emergencia, las cuales consisten en explanadas de grava contiguas a la carretera de diferentes longitudes y anchuras dependiendo de las características de la vía. Se sitúan al final de bajadas pronunciadas y pueden o no estar bordeadas hacia el exterior mediante una barrera de hormigón, lo que favorece por roce la frenada. La eficacia de este sistema permite salvar la vida de los ocupantes siempre y cuando éstos tengan puesto el cinturón de seguridad.

4.3.3 En Venezuela

Los accidentes de tránsito en Venezuela, desde hace mucho tiempo, se encuentran entre las primeras diez causas de mortalidad en el país, por lo que la correcta instalación de las defensas en los bordes viales adquiere, con el correr de los años, una renovada importancia habida cuenta del incremento paulatino que sufre el parque automotor, tanto liviano como de carga pesada, así como por los programas de ampliación y mejoramiento de las redes de carreteras y autopistas del país.

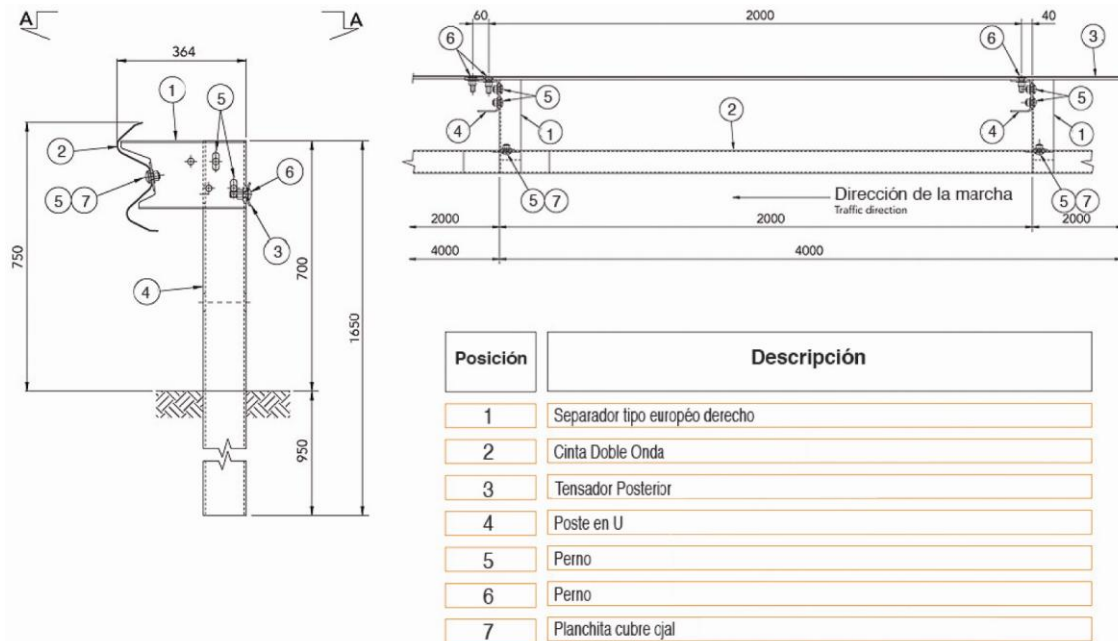
Para la selección del tipo y características de la baranda a ser colocada en los márgenes de las plataformas viales, no basta con escoger la mejor a todo efecto. La función que la barrera debe desempeñar depende de numerosas variables.

En primer lugar el destino de la barrera que, respecto a la ubicación, puede ser reconducido a cuatro tipologías principales:

- Defensa central (isla parte tráfico).

- Defensa lateral sobre puentes y viaductos.
- Defensa en presencia de obstáculos fijos inmediatamente al lado del carril.
- Defensa lateral para plataformas realizadas en terraplén.

Figura 65. Detalle defensa de dos ondas. Planta y sección



Fuente: Tomado de Revista Construcción. “Defensas Viales Luz y Sombras”. Francesco Puglia Carrillo

Por otra parte tiene especial importancia en la selección, la clase de vehículo que transita mayoritariamente por la vialidad en la que será colocada la defensa; nos referimos al peso, estructura, dimensiones, posición del baricentro, velocidad y ángulo de impacto contra la barrera.

De las múltiples combinaciones de las variables indicadas derivan diferentes exigencias de contención que la defensa debería satisfacer, entre las cuales sobresale la necesidad de evitar, a toda costa, que el vehículo asumido como referencia traspase la barrera.

Ciertamente se observa el caso en que una tipología de barrera logra este fin pero a un alto costo en daños y riesgo, por ejemplo una barrera rígida puede mantener aún un vehículo pesado en su carril, pero ocasionando desaceleraciones perniciosas para los ocupantes de vehículos ligeros. Igualmente se da el caso de

barreras diseñadas para limitar el daño a los vehículos ligeros y sus ocupantes, pero que resultan ineficientes para mantener vehículos pesados dentro del carril.

Por estos motivos la selección de la modalidad de barrera a ser adoptada debería ser el resultado de una atenta observación y evaluación de la composición del tráfico predominante en la vía, la velocidad permitida en la misma y, de ser posible, del análisis de las características de los accidentes ocurridos en esa vialidad o, al menos, los hipotéticamente probables. Todo esto sin duda alguna atenuaría la gravedad de los accidentes a ocurrir en una vía cuyas defensas sean seleccionadas de esta manera.

Figura 66. Defensa lateral



Fuente: Tomado de Revista Construcción. “Defensas Viales Luz y Sombras”. Francesco Puglia Carrillo

La selección y adecuada colocación de la defensa vial supone, entonces, un verdadero proyecto técnico (tipología estructural y materiales a utilizar) pensado para alcanzar los mejores coeficientes de seguridad posibles.

En caso de que la selección se orientara hacia proyectos de defensa en acero se supone, sobre la base de la experiencia y los conocimientos acumulados, que las siguientes especificaciones a cerca de las características estructurales, derivadas de la hipótesis según la cual dichas defensas trabajen aún en el campo plástico y

con una oportuna limitación de las deformaciones restantes admisibles, bajo las fuerzas impulsivas a que puedan ser sometidas.

Todos los componentes metálicos de la barrera deben ser de acero de calidad no inferior a ASTM A-569, galvanizado en caliente con una cantidad de zinc no inferior a 300 gr./m² según norma ASTM A-123-97 Calidad G-200, por cada cara, con las siguientes características mínimas:

- Bobina o cinta: espesor mínimo 3 mm., perfil en doble onda según AASHTO M-180-95, altura efectiva no inferior a 300 mm., desarrollo no inferior a 475 mm., módulo de resistencia no inferior a 25 Kg./cm³.
- Postes, si son metálicos, como es preferible, deben tener perfil en U de dimensiones no inferiores a 80 x 120 x 80 mm., espesor no inferior a 5 mm, longitud no inferior a 1,65 m. para las defensas de isla y 1,95 para las defensas laterales;
- Separadores: altura 30 cm., profundidad no inferior a 15 cm., espesor mínimo 2 mm., hecha la salvedad de la adopción en casos especiales (autopistas) de distanciadores del “*tipo europeo*” de dimensiones 350 x 190 x 300 x 80 mm., espesor 4 mm., constituido por acero ASTM A 510 M-93.
- Pernos: de cabezal redondo y de alta resistencia.
- Planchas: cubre-ojal antideslizamiento de dimensiones 45 x 100 mm. y espesor 4 mm.

Además deben ser adoptadas las siguientes modalidades de colocación:

- La barrera debe ser colocada en forma de que su borde superior se encuentre a una altura no inferior a 70 cm. sobre el plano de rodamiento.
- Los postes deben ser colocados a distancia recíproca no superior a 3,60 m. e hincados en el terreno (con capacidad de carga normal) por una longitud no inferior a 0,95 m. por lo que refiere a barreras centrales y 1,2 m. por las barreras laterales.
- Las bobinas deben tener un solape no inferior a 32 cm.

Figura 67. Defensa instalada sobre el separador central



Fuente: Tomado de Revista Construcción. “Defensas Viales Luz y Sombras”. Francesco Puglia Carrillo

Las anteriores son indicaciones y requerimientos mínimos y están referidas a destinos que no prevén la contención contundente y categórica de los vehículos en carreteras (terraplenes y trincheras sin obstáculos fijos laterales).

Para defensas en puentes o viaductos, para islas centrales parte tráfico y/o en presencia de obstáculos fijos laterales, curvas peligrosas, pendientes muy inclinadas, aguas u otras plataformas viales y ferroviarias adyacentes, deberán adoptarse diferentes y más apropiadas soluciones estructurales, cual el incremento de número de postes y la utilización de postes de mayor resistencia. Otras soluciones deben ser el producto de la aplicación de los criterios de diseño de la ingeniería y, en los casos más complejos, de la verificación empírico-experimental.

Esta tarea resulta inaplazable ante el vertiginoso aumento del parque automotor, la cantidad de proyectos de nueva vialidad y autopista y la necesidad de proteger la vida de los ciudadanos que se desplazan en la red vial.

4.3.4 En Costa Rica

En el Ministerio de Obras Públicas y Transportes y sus dependencias, no existe un procedimiento general para determinar las necesidades de colocación de barreras de contención lateral o guardavías en las carreteras nacionales, sino que cada una de las áreas que requieren la contratación de estos elementos, utiliza diferentes

formas para definir las necesidades e igualmente diferentes formas o procesos de contratación de estos materiales y de su colocación.

“Estas especificaciones se refieren al tipo y calidad de los materiales que las conforman, como por ejemplo el grado del acero o el tipo de pintura que ha de utilizarse para su protección, pero no dan ninguna orientación con respecto al comportamiento esperado de la barrera ante el impacto de un vehículo, es decir, sobre el nivel de rigidez o flexibilidad del sistema de contención. De ahí que el tipo de barandas que se han venido colocando en nuestras carreteras es uniforme, y no necesariamente adaptado a las características propias de la carretera como son la topografía, el diseño geométrico, las condiciones climáticas, el volumen de tránsito, etc.”⁴⁴

4.3.5 En Chile

El Ministerio de Obras Públicas de Chile encargó al Departamento de Seguridad Vial de la Dirección de Vialidad y al Departamento de Estudios de la Dirección de Vialidad con el apoyo de la Unidad Técnica de Normalización y Seguridad, la elaboración de un instructivo, publicado en Enero de 2000 cuyo objetivo es sentar las bases que aseguren un adecuado funcionamiento de las barreras de seguridad metálicas (defensas camineras) que se han de instalar en las rutas concesionadas, ya que por tratarse de carreteras de altos estándares, con características técnicas distintas a las tradicionales, requieren de otro tipo de barreras.

Para lograr este objetivo se definen los requisitos mínimos que se le deben exigir a las barreras metálicas, a su ubicación e instalación, con el fin de asegurar un adecuado comportamiento frente a las eventuales cargas a las que podrían ser expuestas. Se han tomado en cuenta para la determinación de estos requisitos la experiencia de países que han desarrollado grandes avances en el tema de la seguridad vial como Estados Unidos, Italia, y la Comunidad Europea en general.

Uno de los requisitos de las barreras metálicas, es la exigencia del cumplimiento de parámetros que permitan cuantificar su comportamiento. Una vez que se cuenta con estos parámetros, se somete a la barrera metálica a una prueba real, denominada test de impacto en donde en forma controlada se lleva a cabo un impacto entre un vehículo tipo y la barrera. Los test de impacto se encuentran normalizados en Estados Unidos (NCHRP 350) y en la Comunidad Europea (EN1317-2) y hoy en día para poder utilizar una barrera se debe certificar que sus características cumplen con las normas establecidas según corresponda.

⁴⁴ Informe N° DFOE-OP-9/2006. Contraloría General de Costa Rica. División de Fiscalización Operativa y Evaluativa – Servicios de Obra Pública y Transporte. Junio 16 de 2006.

Además de cumplir con los test de impacto definidos en la norma EN 1317-2, las barreras deben presentar un adecuado comportamiento durante los impactos. Algunos de estos requisitos son:

- La barrera de seguridad deberá contener y redireccionar el vehículo sin que la cinta metálica pierda su continuidad.
- Ninguna pieza de la barrera debe llegar a desprenderse presentando un excesivo riesgo para el tráfico, peatones o personal en una zona de trabajo.
- Los elementos de la barrera de seguridad no deben penetrar el compartimento de pasajeros del vehículo. Deformaciones o intrusiones en el compartimento de pasajeros no están permitidas.

4.3.6 En Paraguay

El Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones de la República del Paraguay, en la formulación de su Plan Nacional de Seguridad Vial 2008-2013, considera como una de las medidas de mejoramiento en la infraestructura para la seguridad vial:

“(...) elaborar e implementar manuales, guías y especificaciones técnicas para mejorar la seguridad vial, enfocadas a disponer de las herramientas tecnológicas necesarias de la ingeniería vial y de la ingeniería de tránsito, para el diseño, construcción, rehabilitación, mantenimiento y operación de vías, en lo que concierne a los aspectos esenciales para la seguridad vial”⁴⁵.

Para dar cumplimiento a este objetivo específico, es preciso modificar ciertas características y condiciones de la infraestructura vial existente, en la calzada, la señalización, la zona lateral, en ciertos puntos y tramos, de manera que se mejore la seguridad para los usuarios que circulan por ella. Con este fin se proponen los siguientes objetivos operativos o medidas a implementar progresivamente:

” Proyectar y ejecutar las obras y/o el equipamiento para mejorar la seguridad vial en carreteras de acuerdo con las recomendaciones de las auditorías e inspecciones, las cuales pueden incluir:

- *Diseño y realización de mejoras en puntos y tramos de concentración de accidentes.*
- *Colocación de las señales informativas, preventivas y reglamentarias.*
- *Demarcación de los pavimentos con líneas centrales y laterales.*

⁴⁵ Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. Plan Nacional de Seguridad Vial 2008-2013. Paraguay, 2007

- *Señalización de curvas, intersecciones y sitios peligrosos.*
- *Dotación de servicios de comunicación SOS en las carreteras principales.*
- *Colocación de pintura en muros y barandas de puentes.*
- *Modificación, pintado o protección de cabezotes de alcantarillas en sitios de algo riesgo.*
- *Eliminación, modificación o protección con relación a objetos físicos cercanos a la vía.*
- *Actuaciones de mejora de la seguridad vial en el derecho de vía.*
- ***Colocación de barreras de contención y absorbedores de impacto.***
- *Ampliación de carriles y de bermas.*
- *Corrección de peraltes.*
- *Ensanches o ampliaciones de curvas.*
- *Construcción de carriles de protección y zonas de estacionamiento.*
- *Áreas de descanso y de servicio.*
- *Rediseño y cambios en intersecciones.*
- *Adecuación especial en el paso por poblaciones.*
- *Mejora del trazado longitudinal y de la distancia de visibilidad.*
- *Mejoras de la sección transversal.*
- *Medidas de protección contra la inestabilidad de taludes.*
- *Iluminación de intersecciones, puentes y sitios identificados como peligrosos durante la noche.*
- *Descontaminación visual de las vías y retiro de vallas comerciales o de anuncios diferentes a la señalización vial.*
- *Mejora del coeficiente de rozamiento de los pavimentos.*
- *Recuperación y mantenimiento de los pavimentos.*
- *Ornamentación de la vía y de su entorno.*
- *Construcción de variantes en el paso por poblaciones.*
- *Diseño e instalación de señales de mensaje variable.*
- *Implementación de control temporal del tránsito en zonas de trabajos viales.*

- Otro tipo de medidas.”

Con relación a los diseños de la infraestructura vial en Paraguay, se destaca que no se dispone de instrumentos tecnológicos apropiados, tales como especificaciones, manuales y guías para el diseño, la construcción y la operación de las carreteras. Por ello, en el Plan Nacional de Seguridad Vial, se contempla que en el corto plazo se debe contar con un manual de señalización o manual de dispositivos de control de tránsito, un manual de diseño geométrico de carreteras y una guía para el control temporal de tránsito de las zonas de trabajo y, además, una normativa técnica similar para las vías urbanas.

4.3.7 En Argentina

Con respecto a la normatividad aplicable a las barreras de seguridad o defensas Laterales (ver Tabla 32. Distancia de ubicación de Barreras de Seguridad), la Dirección General de Carreteras de la República Argentina, dictó la Ley Nacional No.24.449 y concretamente establece la necesidad de considerar las defensas laterales en su Artículo 21:

*“Estructura Vial. “El diseño de las vías pavimentadas se realizará bajo el concepto global de Seguridad Vial, incluyendo, además de la infraestructura caminera y obras de arte, la señalización que exijan las condiciones de tránsito y situaciones de riesgo; asimismo, **las defensas laterales**, los vibradores de advertencia, los sistemas de registro automático de ocurrencia de infracciones; y todo otro elemento que la evolución de la técnica vial aconseje incorporar”.*

También se cuenta con las Recomendaciones Técnicas sobre Sistemas de Contención de Vehículos Orden Circular 321 de 1995, en la cual se establecen las distancias que deben tener las barreras sobre el borde de la banca.

Tabla 32. Distancia de ubicación de Barreras de Seguridad

DISTANCIA TRANSVERSAL A ZONAS PELIGROSAS	DISTANCIA DEL COMIENZO DE LA BARRERA A LA SECCIÓN DONDE SE NECESITA	
	CALZADA ÚNICA	CALZADAS SEPARADAS
Menos de 2.0 m	100	140
De 2.0 m a 4.0 m	64	84
De 3.0 a 6.0 m	72	92
Más de 6.0 m	80	100

Fuente: Recomendaciones Técnicas sobre Sistemas de Contención de Vehículos Orden Circular 321 de 1995. Argentina

Se aclara que las distancias se fijan a lo largo sobre tramos rectos y con una estructura simple.

Figura 68. Barrera New Jersey “In situ”



Fuente: Tomado de Revista Motos. www.mtuamotera.org

4.3.8 En España

En los proyectos de nuevas carreteras o de acondicionamiento de las existentes la necesidad de disponer o no de estos sistemas deberá estar presente en las fases de diseño del trazado, de la sección transversal, de las obras de drenaje longitudinal, de las estructuras, etc. En estos proyectos se realizará un análisis de los márgenes de la plataforma, en el que se identificarán las zonas en las que pueda haber obstáculos, desniveles y demás elementos o situaciones de menor seguridad. A los efectos anteriores se considerarán tales elementos o situaciones potenciales de riesgo, al menos, los siguientes:

- Las dotaciones viales que sobresalgan del terreno, tales como báculos de iluminación, elementos de sustentación de carteles, pórticos y banderolas, postes SOS, pantallas anti ruido, etc.
- Postes de señales de tráfico, otros postes, elementos o árboles, cuando tengan más de 15 cm de diámetro medio medido a 50 cm de altura desde la superficie de rodadura.

- Las carreteras o calzadas paralelas.
- Los muros, tablestacados, edificios, instalaciones, cimentaciones y elementos del drenaje superficial (arquetas, impostas, etc.) que sobresalgan del terreno más de siete (7) cm.
- Los accesos a puentes, túneles y pasos estrechos.
- Los elementos estructurales de los pasos superiores.
- Las cunetas que no sean de seguridad⁴⁶.
- Los desmontes cuyos taludes (H:V) sean inferiores al 3:1, si los cambios de inclinación transversal no se han redondeado, o al 2:1, si están redondeados.
- Los terraplenes de altura superior a 3 m y aquellos de altura inferior pero cuyos taludes (H:V) sean inferiores al 5:1, si los cambios de inclinación transversal no se han redondeado, o al 3:1, si están redondeados.

Figura 69. Defensas metálicas y barreras rígidas para canalización temporal del tráfico



Fuente: Tomado de Revista Moteros. www.moteros.org

⁴⁶ Se podrá considerar que una cuneta es de seguridad si la relación H:V de sus taludes es superior o igual a 6:1 y sus aristas están redondeadas.

Una vez identificadas las zonas con elementos o situaciones potenciales de riesgo, se plantearán las soluciones alternativas que se señalan a continuación, todas ellas preferibles en lo que a seguridad vial se refiere a la instalación de una barrera de seguridad metálica, con el orden de prioridad siguiente:

- Eliminar el obstáculo o desnivel.
- Diseñar de nuevo el elemento que suponga un obstáculo o un desnivel (v.g.: taludes de desmontes y terraplenes más tendidos, medianas más anchas y sensiblemente llanas, cunetas de seguridad, arquetas que no sobresalgan del terreno, etc.), de modo que resulte franqueable por los vehículos en condiciones de seguridad.
- Trasladar el obstáculo a otra zona donde resulte menos probable que el vehículo impacte con él (v.g.: situarlo a mayor distancia del borde de la calzada o disponerlo en un tramo recto en vez de en una alineación curva).
- Disminuir la severidad del impacto contra el obstáculo disponiendo una estructura soporte eficaz para la seguridad pasiva (v.g.: báculos de iluminación con fusible estructural), entendiendo por tales aquellos elementos que satisfacen los requisitos de la norma UNE EN 12767, siempre que la caída del elemento no pueda provocar daños adicionales a terceros.

Figura 70. Barreras de hormigón combinada con barreras metálicas



Fuente: Tomado de Revista Moteros. www.mutuamotera.org

La selección de un nivel de contención determinado (ver Tabla 33) deberá tener en cuenta al menos los parámetros de la carretera, especialmente la velocidad de proyecto y el valor de intensidad media de vehículos pesados por sentido.

Tabla 33. Selección del nivel de contención recomendado para barreras de seguridad metálicas, según el riesgo de accidente.

RIESGO DE ACCIDENTE ^(*)	CLASE DE CONTENCIÓN	INTENSIDAD MEDIA DE VEHÍCULOS PESADOS POR SENTIDO	NIVEL DE CONTENCIÓN
MUY GRAVE	Muy alta	-	H3 - H2 - H1
GRAVE	Alta	IMDp ≥ 5000	H2 - H1
		$400 \leq \text{IMDp} < 5000$	H1
		IMDp < 400	H1 - N2
NORMAL	Normal	-	H1 - N2

Fuente: Recomendaciones sobre criterios de aplicación de barreras de seguridad metálicas. O.C. 28 de 2009. España

Adicionalmente, la selección de la clase de barrera de seguridad metálica a disponer en los márgenes de la carretera, se efectuará atendiendo al riesgo de accidente detectado y se seguirán los siguientes criterios:

- Donde las características del tramo en estudio determinen la existencia de un riesgo de accidente normal, las barreras de seguridad metálicas deberán ser de contención normal (nivel N2). Excepcionalmente y siempre que se justifique, podrán emplearse niveles de contención superiores al indicado. Donde se detecte un riesgo de accidente grave o muy grave, las barreras de seguridad metálicas deberán ser de contención alta (niveles H1, H2 y H3).
- Las barreras de seguridad metálicas podrán ser de contención muy alta (nivel H4) exclusivamente donde se determine la existencia de un riesgo de accidente muy grave y se deberán utilizar con carácter excepcional. A los efectos anteriores, el empleo de una barrera de seguridad metálica de contención muy alta requerirá autorización expresa de la Dirección General de Carreteras, que deberá solicitarse para cada obra o actuación concreta.
- Cuando otras circunstancias no derivadas de la existencia de un obstáculo o desnivel o elemento de riesgo justifiquen la instalación de barreras de seguridad metálicas, se podrán emplear dispositivos de contención normal (nivel N2).

Figura 71. Barreras de hormigón con empradización



Fuente: Tomado de Revista Moteros. www.mutuamotera.org

Tabla 34. Normas AEN/CTN 135/SC 1 "Barreras de Seguridad"

CÓDIGO	TÍTULO	ESTADO ACTUAL
UNE 135111	Sistemas viales de contención de vehículos. Barreras de hormigón. Definiciones, clasificación, dimensiones y tolerancias.	EDITADA
		Jul-94
		EN REVISIÓN
UNE 135112	Sistemas viales de contención de vehículos. Barreras de hormigón. Materiales básicos y control de ejecución.	EDITADA
		Abr-94
		EN REVISIÓN
UNE 135121	Barreras metálicas de seguridad para contención de vehículos. Valla de perfil de doble onda. Materiales, geometría, dimensiones y ensayos.	EDITADA
		Sep-03
UNE 135122	Barreras metálicas de seguridad. Elementos accesorios de las barreras metálicas. Materiales, dimensiones, formas de fabricación y ensayos.	EDITADA
		Sep-03
UNE 135123	Barreras metálicas de seguridad para contención de vehículos. Elementos accesorios de la barrera metálica simple con poste tubular. Materiales, geometría, dimensiones y ensayos.	EDITADA
		Oct-02
UNE 135124	Barreras metálicas de seguridad de doble onda para contención de vehículos. Condiciones de manipulación y almacenamiento. Procedimientos de montaje de los elementos constituyentes y accesorios.	EDITADA
		Jul-03
UNE 135125-1	Barreras metálicas de seguridad para contención de vehículos. Evaluación de la durabilidad mediante ensayos de corrosión acelerada.	EDITADA
	Parte 1: Ensayo en cámara de niebla salina	Sep-06
UNE 135900-1	Evaluación del comportamiento de los sistemas para protección de motociclistas en las barreras de seguridad y pretiles.	EDITADA
	Parte 1: Terminología y procedimientos de ensayo.	Sep-08
UNE 135900-2	Evaluación del comportamiento de los sistemas para protección de motociclistas en las barreras de seguridad y pretiles.	EDITADA
	Parte 2: Clases de comportamiento y criterios de aceptación.	Sep-08

Fuente: Normatividad Carreteras AENOR. España

Tabla 35. Normas UNE-EN “Barreras de Seguridad”

CÓDIGO	TÍTULO	ESTADO ACTUAL
UNE-EN 1317-1	Sistemas de contención para carreteras.	EDITADA
	Parte 1: Terminología y criterios generales para los métodos de ensayo	Mar-99 REVISIÓN EN IPP
UNE-EN 1317-2	Sistemas de contención para carreteras.	EDITADA
	Parte 2: Clases de comportamiento, criterios de aceptación para el ensayo de choque y métodos de ensayo para barreras de seguridad.	Mar-99 REVISIÓN EN IPP
UNE-EN 1317-2	Sistemas de contención para carreteras.	EDITADA
	Parte 2: Clases de comportamiento, criterios de aceptación para el ensayo de choque y métodos de ensayo para barreras de seguridad.	Abr-04
UNE-EN 1317-2:1999/A1	Sistemas de contención para carreteras.	EDITADA
	Parte 2: Clases de comportamiento, criterios de aceptación para el ensayo de choque y métodos de ensayo para barreras de seguridad.	Nov-07
UNE-EN 1317-3	Sistemas de contención para carreteras.	EDITADA
	Parte 3: Clases de comportamiento, criterios de aceptación para el ensayo de choque y métodos de ensayo para atenuadores de impactos.	Dic-00 REVISIÓN EN IPP
UNE-ENV 1317-4	Sistemas de contención para carreteras.	EDITADA
	Parte 4: Clases de comportamiento, criterios de aceptación para el ensayo de choque y métodos de ensayo para terminales y transiciones de barreras de seguridad.	Abr-02
UNE-EN 1317-5	Sistemas de contención para carreteras.	EDITADA
	Parte 5: Requisitos de producto y evaluación de la conformidad para sistemas de contención de vehículos.	Jul-08
UNE-EN 1317-5:2008+A1	Sistemas de contención para carreteras.	EDITADA
	Parte 5: Requisitos de producto y evaluación de la conformidad para sistemas de contención de vehículos.	Dic-08

Fuente: Normatividad Carreteras AENOR. España

Con base en el análisis de la revisión acerca del estado del arte del diseño de barreras de contención o defensas metálicas en proyectos viales, es de destacar que aunque existen normas de amplia referencia a nivel mundial (AASHTO, Road Design Guide, AENOR, EN, etc.), son generalizados los criterios para la selección del tipo de barrera, y las especificaciones que deben cumplir de acuerdo con los resultados de las pruebas de impacto a que son sometidas, pero en cuanto a los pormenores acerca de la conveniencia de su localización, dependen siempre del buen juicio del especialista, que no siempre es el mismo diseñador geométrico del proyecto.

4.4 CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS BARRERAS DE CONTENCIÓN

Las barreras de contención o defensas laterales se pueden clasificar en tres grandes grupos o sistemas de acuerdo a su ancho de trabajo (ver Tabla 36).

Tabla 36. Clasificación general de barreras por tipologías principales según el sistema

SISTEMA		
Flexible	Semi-rígido	Rígido
Cable de acero triple, poste débil.	Perfil “W” o doble onda simple, poste rígido con separador	Perfil de concreto tipo “F” o perfil New Jersey Muro Vertical Recto
Cable de acero triple, poste débil. (Sistema CASS)	Perfil Triple onda simple, poste rígido con separador	
Cable de acero cuádruple, poste débil. (Sistema Brifen)	Perfil Triple onda simple, poste rígido con separador modificado.	
Perfil “W” o doble onda simple, poste débil.	Perfil Triple onda simple, poste rígido con separador europeo	
Perfil Triple onda simple, poste débil.	Perfil de acero revestido en madera (Sistema Bois de tertu)	

Fuente: Road Design Guide de la AASHTO

4.4.1 Barrera flexible de cable de acero triple:

Consiste en tres cables de acero montados en postes débiles. La función principal de los cables es contener y redireccionar a los vehículos que los impactan y la función de los postes es mantener la elevación de los cables a una altura

constante. La altura del cable superior se ha ensayado para rangos entre 690 mm y 760 mm, los postes pueden estar separados hasta 5 m.

Análisis recientes desarrollados por el Estado de Nueva York en EE.UU., indican que se obtiene un mejor comportamiento del sistema con el cable superior ubicado a 700 mm. Esta consideración se fundamenta especialmente porque un alto número de vehículos que componen el flujo total poseen un perfil delantero bajo.

Estos sistemas han sido ensayados exitosamente con vehículos de 820 a 2.000 Kg, incluyendo vehículos de perfil bajo y camionetas de pasajeros tipo Van (1.800 Kg).

La barrera de cable contiene y redirecciona a los vehículos que la impactan después que se desarrolla tensión suficiente en el cable. Los postes en el área de impacto ofrecen una resistencia marginal, sin embargo, para algunos tipos de postes, se ha demostrado que el espacio entre ellos está relacionado con la deflexión del sistema. En pruebas realizadas para un vehículo de 1.600 Kg a 100 Km/h se observaron deflexiones de 2,1 m a 3,3 m, para espacios entre postes en el rango de 1,2 m a 4,9 m.

La investigación que se ha desarrollado en forma paralela en varios Estados de EE.UU., ha definido consideraciones adicionales al alcance de la barrera, como por ejemplo la aceptación de una pendiente transversal máxima de 1:2 (V:H) en la zona considerada como ancho de trabajo.

Otras consideraciones especiales se refieren al caso de ubicar la barrera en zonas de curvas. En particular se distinguirán dos situaciones, la primera se refiere al caso de la curva a la derecha con la barrera ubicada al costado izquierdo, en esta situación sólo debe disponerse de un ancho de trabajo mayor al considerado en una zona recta. Una situación más difícil de resolver se produce cuando la curva es a la derecha con la barrera ubicada al lado derecho, en este caso, a pesar de ser considerado menos probable, la barrera de cable en cualquiera de sus tipos no se recomienda. Esto tiene especial relevancia cuando se trata de zona de curvas sucesivas o riesgos adyacentes importantes, para los cuales tampoco se recomienda su instalación.

Existen algunas recomendaciones particulares en cuanto a la curvatura mínima y la separación entre postes. Por ejemplo, en el Estado de New York se recomienda instalar la barrera de cables en curvas con radio superior a 220 m y separación entre postes de 4,9 m y, con radios superiores a 135 m con separación entre postes de 3,7 m.

Las principales ventajas que se consideran tienen estos sistemas son el bajo costo inicial y, una eficaz contención y re direccionamiento de una amplia gama de tamaños de vehículos. Las fuerzas de deceleración en los ocupantes del vehículo son bajas. Son apropiadas para zonas con nieve o arena, porque su perfil, casi transparente, facilita los trabajos de mantenimiento y despeje de la carretera. Un aspecto práctico, que puede ser relevante, es su facilidad de transporte y almacenamiento en espacios reducidos, además de su facilidad de instalación.

Las mayores desventajas del uso de barreras de cable se refieren a la inconveniencia de instalarlas en tramos largos; la necesidad de reparación inmediata luego de un impacto, ya que el tramo colapsará completamente; el área despejada que se necesita detrás de la barrera para su ancho de trabajo y su efectividad reducida en las curvas, especialmente cuando estas son de radios pequeños. Además, un aspecto práctico que puede limitar su instalación se refiere al hecho de que esta barrera es muy susceptible de ser robada o sufrir actos vandálicos, ya que su material principal, cable de acero, es útil en muchas otras aplicaciones.

4.4.2 Barrera flexible de cable de acero cuádruple - Sistema Brifen

Un caso especial dentro de las barreras flexibles lo ocupa la barrera de cuatro cables usada ampliamente en rutas de australianas y algunas autopistas de Inglaterra. Es un caso similar a la barrera de tres cables americana, pero cuenta con una disposición simétrica de los cables que permite su empleo tanto como una barrera lateral como una barrera central para medianas. Al igual que los sistemas de tres cables este sistema presenta el mismo buen comportamiento, con niveles de severidad inferiores que otros sistemas más rígidos.

Al momento de elegir este tipo de barrera deberá considerarse su especial diseño, el cual considera la materialización de terminales especiales para realizar el anclaje de los cables. El comportamiento de la barrera depende en gran medida de esta longitud de anclaje, pudiendo ser de 100 m hasta aproximadamente 600 m. Según el monto de estas longitudes es posible inferir un menor tiempo empleado para la instalación de extensos tramos, sin embargo, debe tenerse en cuenta que a mayores longitudes de anclaje, es decir, mayor espaciamiento entre anclajes, el comportamiento de la barrera cambia (nivel de contención y deflexión dinámica).

Para esta barrera se han realizado diferentes pruebas bajo diferentes normativas, obteniéndose buenos resultados en todas ellas. En particular se han realizado ensayos bajo la norma National Cooperative Highway Research Program - NCHRP 350, nivel de contención 3, con buenos resultados. La instalación de prueba de la barrera de seguridad de cables de acero que fue presentada para su

aprobación bajo el sistema NCHRP 350 nivel 3, tenía aproximadamente 109 metros de largo (Distancia entre anclajes). Sus cuatro cables de acero fueron apoyados en los postes de forma S de 1525 mm de largo centrados en placas fijas al suelo cada 3,2 metros. Los postes fueron hechos de acero galvanizado de 6 mm de espesor (grado 36 de ASTM A709) y puestos en un suelo compactado del tipo AASHTO M 147-65.

El cable superior fue fijado en una ranura en la tapa de los postes a una altura de 720 mm sobre la tierra. Los dos cables medios fueron colocados a ambos lados de los postes en una altura de 675 mm y cruzados entre cada espaciamiento de los postes. El cable inferior fue colocado en una altura nominal de 510 mm y era también entrelazado entre cada espaciamiento de postes. La posición de este cable resulta en una barrera simétrica que se puede instalar en una mediana para tráfico en direcciones opuestas, así como de cualquier lado de un camino como barrera lateral. Una vez que están instalados, los cables son tensados a un grado especificado, dependiendo de la temperatura ambiente. Esta tensión varía a partir de los 14,0 kN a 30 grados de centígrados hasta 36,0 kN a los 10 grados centígrados. Esta cantidad de tensión **es 4 a 5 veces mayor** que lo especificada para la barrera de cable de 3-hebras de Estados Unidos y considera una deflexión dinámica perceptiblemente reducida en las pruebas de impacto así como una menor longitud de barrera dañada en un impacto.

Para la primera prueba, un vehículo de 898 kg impactó las cuerdas de acero a 101 Km/h en un ángulo de 20 grados. La velocidad máxima de impacto de los ocupantes fue de 4,6 m/seg y la aceleración máxima de frenado fue de 4,0 g.s. La deflexión dinámica fue de 1,04 metros.

Para la segunda prueba, una camioneta de 1999 Kg impactó la barrera a 99,4 Km/h en un ángulo de 26 grados. La velocidad máxima del impacto de los ocupantes fue de 3,4 m/seg y la aceleración máxima de frenado fue de 2,8 g.s. La deflexión dinámica fue de 2,4 metros.

Las barreras de seguridad con cables de acero presentan limitaciones de uso o no pueden ser empleadas cuando:

- La longitud de la barrera medida en el extremo superior fuere menor que 24 m.
- En curvas horizontales de radio menor que 200 metros.
- Existen curvas longitudinales con un radio menor que 3000 metros.

- En separadores sin obstáculos centrales y con anchos inferiores a:
 - 3, 14 m Cuando los postes de apoyo se instalan a una distancia de 2,4 m entre sí.
 - 2,75 m Cuando los postes de apoyo se instalan a 1,2 m entre sí.
 - 2,40 m Cuando los postes de apoyo se distancian a 1,0 m entre sí. (Estas consideraciones son válidas para longitudes de anclaje de 109 m)
- En separadores cuando el propósito es utilizarlas como cierre en cruces de emergencia o en cruces para mantenimiento, excepto cuando ya existan barreras de seguridad con cables de acero en ambos lados de dichos puntos de cruce.
- Si la altura de la solera adyacente al borde del pavimento excediere en 110 mm cuando la distancia horizontal entre el borde de la barrera y el borde de la solera que mira al tráfico fuere inferior a 1,5 metros.
- Si existieren postes de alumbrado en altura instalados a menos de 10 metros del borde de la superficie pavimentada.
- Adicionalmente, las barreras de cables de acero no deberán ser unidas físicamente a ningún otro tipo de barrera ni barandas de puentes.

Criterios para el diseño de barreras flexibles

La planificación de las barreras de seguridad con **cables de acero** deberá ceñirse a los siguientes requisitos de diseño y detalles:

- Distancia del sistema al borde de la calzada en el eje lateral: La distancia mínima deseable del sistema al borde de la calzada (si existe berma considerar desde el borde de ésta), no puede ser menor a 1,5 metros.
- Distancia del sistema al borde de la calzada dentro del separador: Cuando no existan obstáculos y se considere solamente una barrera en el centro de la mediana y cuando el distanciamiento entre los postes sea de 2,4 metros, la distancia desde el borde de la calzada a la barrera deberá ser de 1,5 metros. En toda situación distinta (por ejemplo: dos barreras paralelas independientes) la distancia desde el borde de la calzada no deberá ser inferior a 1,5 metros.

Otras variables a considerar son:

- Perfil transversal del suelo: El suelo bajo la barrera, y hacia ambos lados de la barrera hasta las soleras deberá estar idealmente nivelado y libre de obstrucciones dentro de los espacios correspondientes a las distancias desde el borde de la calzada y las separaciones entre postes.
- Longitud de la barrera: En aquellos casos en que se instale una barrera de seguridad frente a un obstáculo, la barrera deberá extenderse a plena altura (sin interrupciones por anclajes) al menos 30 metros antes del inicio de la obstrucción y no menos de 30 metros de barrera, después de terminado el obstáculo (en vías bidireccionales), o no menos de 7,5 metros (en vías unidireccionales).

En terraplenes de 6 o más metros de altura, las barreras con cables de acero deberán sobrepasar ambos extremos de estos sectores de 6 metros de altura para evitar que los vehículos que pudieran salirse de su pista en dichos tramos del terraplén ingresen por detrás de las barreras a los sectores de 6 metros de altura. En algunas curvas podría ser aconsejable una mayor extensión de la barrera con el objeto de reducir el riesgo de que algún vehículo pasare por detrás de la barrera.

4.4.3 Barrera flexible de perfil “W” o doble onda simple, poste débil

El sistema de barrera flexible de doble onda y poste débil se comporta muy similar a la barrera de cable, es decir, los postes sirven para sostener la viga, manteniéndola en una elevación apropiada y la viga es el elemento que contiene y redirecciona el vehículo. En este caso se debe contar con un mecanismo de desenganche, que no permita a la viga ser arrastrada al suelo con el poste cuando el sistema es impactado. El tamaño del poste, en general, es similar al sistema de cable y éstos se instalan a distancias que son múltiplos del largo del perfil. Es frecuente encontrar postes a distancias de 2 y 4 m, coincidente con vigas de largo 4 u 8 m. Se recomienda una altura de viga entre 700 y 760 mm.

También son aplicables las consideraciones referidas a la instalación en curvas, tal como en las barreras de cable, pero en este caso existe un factor adicional que favorece su desempeño. Este es el hecho de que la viga de tipo “W” puede recibir una cantidad limitada de esfuerzos de compresión sin experimentar la deformación por pandeo, con esta consideración, se recomienda su instalación en curvas.

En las pruebas de impacto este sistema ha contenido y redireccionado con éxito a vehículos con pesos entre 800 y 1.800 kg. De acuerdo al seguimiento realizado en

EE.UU. a su instalación en terreno por un período de dos años, no ha presentado problemas para contener vehículos de peso hasta 2.000 Kg, aunque no ha sido probada en laboratorio con vehículos de esta masa. El ancho de trabajo en una prueba de impacto con un vehículo de 1.800 Kg de peso a 28° y 95 Km/h fue de 2,2 m. En estas pruebas de impacto el espaciamiento entre postes fue de 3,810 m.

Figura 72. Barrera flexible de perfil “W”



Fuente: www.formet.com.mx/images/defensa.jpg

4.4.4 Barrera flexible de perfil triple onda simple, poste débil

El sistema de barrera flexible de triple onda y poste débil, sólo se diferencia del descrito anteriormente, por el uso de una viga de triple onda. El ancho adicional proporciona a la viga la capacidad de contener una gran variedad de vehículos de diferentes tamaños. Aunque la experiencia con este sistema es muy limitada, es considerado operacional, ya que básicamente es una mejora del sistema flexible con perfil “W”. Se recomienda una altura de viga igual a 840 mm.

El elemento de triple onda, al contrario de la viga de doble onda, no debe ser montada en los postes con una disposición simétrica de los pernos. En pruebas realizadas a una viga de triple onda montada solamente con los pernos superiores, se observó que al ser impactada por un vehículo se produjo una torsión importante. Para prevenir el efecto del mencionado esfuerzo, se recomienda que la viga de triple onda sea montada alternando los pernos, arriba y abajo, en postes sucesivos.

En las pruebas de impacto este sistema ha contenido y redireccionado con éxito a vehículos con pesos entre 800 y 2.000 Kg. En pruebas realizadas con vehículos

de hasta 2.000 Kg se llegó a un ancho de trabajo de 1,9 m. Todas las pruebas fueron realizadas con elementos de espesor nominal de 3,5 mm y una distancia entre postes de 3,810 m.

La barrera flexible no requiere tratamientos terminales especiales. El extremo de cada longitud de barrera termina a nivel del suelo y no impone ningún riesgo mayor que el resto de la barrera.

Figura 73. Barrera flexible de perfil triple onda



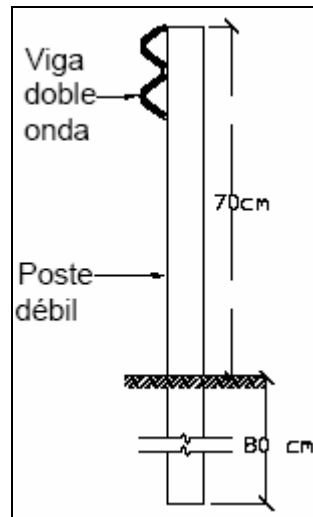
Fuente: Tomado Road Hazard Management Guide –
Department of Infrastructure, Energy and Resources - DIER

4.4.5 Barrera semirrígida de perfil “W” o doble onda simple, poste rígido con separador

El sistema de barrera con viga doble onda y poste resistente es el más utilizado en la actualidad. Se caracteriza por una viga metálica con perfil doble onda (ver Figura 74), montada sobre postes de madera o acero y un elemento separador entre la viga y el poste, que puede estar fabricado de madera, acero, plástico reciclado u otro material resistente.

El buen comportamiento de este sistema de barrera depende, en gran medida, de una adecuada combinación entre resistencia pasiva del suelo y flexibilidad de los postes para una deformación gradual.

Figura 74. Barrera semirrígida de perfil “W”



Fuente: Road Design Guide de la AASHTO

Varios tipos de postes son utilizados, los más comunes en EE.UU. son los de madera, fabricados de piezas con resistencia estructural mínima de 8 Mpa garantizada y con dimensiones de 200 x 150 mm. Alternativamente se utilizan postes metálicos con sección IP o canal. En Europa la regla general es usar postes de acero con sección canal de dimensiones 120 x 80 x 6 mm.

Las barreras semirrígidas, tal como la viga-W, pueden terminarse con varios diseños diferentes de terminales. El tipo a usar en un caso particular dependerá de las características de la instalación.

Por ejemplo, el Terminal acanalado rompible de cable usa postes de madera debilitados y una viga-W acanalada para provocar la rotura del Terminal y girar hacia atrás de la barrera cuando es golpeada por un vehículo.

Figura 75. Terminal rompible acanalado de cable



Fuente: Tomado Road Hazard Management Guide –
Department of Infrastructure, Energy and Resources - DIER

En casos donde se ubica un poste en una zona diferente a la unión entre dos vigas, en EE.UU. se recomienda la instalación de un refuerzo tras la viga para eliminar la posibilidad de corte por cizalle en la sección inmediata al poste. Este refuerzo consiste en una sección de viga de aproximadamente 30 cm de longitud.

El bloque separador tiene como función minimizar la probabilidad de que el vehículo enganche uno de sus elementos estructurales o las ruedas entre los postes, provocando un giro violento. Otra función del bloque separador es mantener la altura de la viga durante la primera fase del impacto, evitando de esta manera que el vehículo sobrepase la barrera.

El bloque separador es normalmente del mismo material que el poste y para estos elementos existe un gran número de diseños alternativos.

Los diseñadores europeos recomiendan la utilización de una golilla rectangular en el perno que sostiene la viga al separador, evitando que esta se desenganche durante el impacto, logrando así que los postes trabajen hasta su deflexión máxima. Cuando el poste se encuentra totalmente abatido, la viga debe mantener una altura adecuada para la contención del vehículo, objetivo que se logra parcialmente con la estructura del bloque separador. La tendencia norteamericana es no recomendar este elemento, argumentando que durante impactos severos la viga debe desengancharse del poste.

Una característica funcional relevante de estos sistemas es que, en general, permanecen con cierta integridad estructural luego de impactos moderados, con esto se elimina la necesidad de reparación inmediata luego de una colisión.

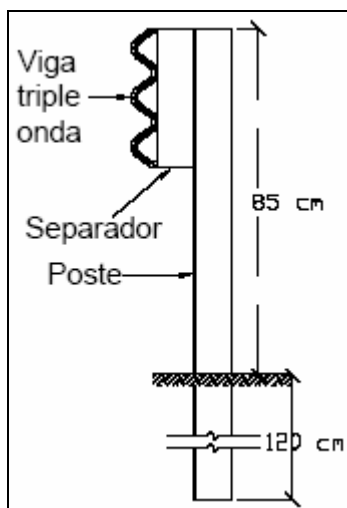
Según pruebas de impacto real, el comportamiento ante impactos de vehículos con peso entre 800 y 2.000 Kg ha sido aceptable. El límite superior está establecido con un vehículo de 2.100 Kg a una velocidad de 95 Km/h, impactando en un ángulo de 21°. En este caso la deflexión dinámica fue de 0,6 a 0,9 m. También fue probado con éxito en camionetas de 1.900 Kg, sin embargo, falló en pruebas con buses escolares con peso de 9.100 Kg, siendo sobrepasada y en algunos casos provocando volcamiento del vehículo.

Las pruebas han demostrado un comportamiento equivalente independiente de utilizar los sistemas con poste metálico o poste de madera, a una separación de 1,905 m.

4.4.6 Barrera semirrígida de perfil triple onda simple, poste rígido con separador

Este sistema es más resistente que la barrera semirrígida de doble onda. Como se observa en la Figura 76, el pliegue adicional en el perfil le permite tener mayor rigidez, con lo cual además, es menos propensa a dañarse durante los impactos moderados. Producto de su mayor altura, este sistema logra la contención de vehículos más altos y grandes que los automóviles estándar. Aunque esta barrera ha sido probada con éxito con una altura de 810 mm, las investigaciones recientes sugieren la instalación de su parte superior a 900 mm.

Figura 76. Barrera semirrígida de perfil triple onda simple



Fuente: Road Design Guide de la AASHTO

En las pruebas de impacto, este sistema ha contenido vehículos con un peso de 820 Kg a 1990 Kg a 97 Km/h y en ángulo de 25°, con un espacio entre postes de 1,905 m. La prueba con un vehículo de 2000 Kg no se ha realizado, sin embargo, se asume que la barrera es adecuada para este requerimiento, por cuanto corresponde a una mejora en el diseño de la barrera de doble onda con poste rígido.

El ancho de trabajo en impactos de automóviles y camionetas con un peso de 1800 Kg fue de 0,5 y 1,0 m, respectivamente. En una prueba para establecer su límite superior de contención, esta barrera montada con su perfil a 810 mm, contuvo y redireccionó a un bus escolar con peso de 9.100 Kg, sin embargo, falló en evitar el volcamiento durante la prueba.

4.4.7 Barrera semirrígida de perfil triple onda simple, poste rígido con separador modificado

Para mejorar el funcionamiento de la barrera con perfil triple onda se ha desarrollado una modificación del bloque separador, que consiste básicamente en un perfil especial con un corte triangular en su parte inferior. Este corte permite que el perfil triple onda se doble durante una colisión, manteniendo, de esta forma, una superficie de contacto vertical mayor cuando el poste y el bloque separador se inclinan hacia atrás.

Los costos de reparación de este sistema suelen ser muy reducidos debido a que las vigas de perfil triple onda sufren, en general, daños menores cuando se

producen impactos de mediana intensidad, por lo que las labores de reposición y mantenimiento se simplifican, pudiendo programarse con anticipación.

El comportamiento del sistema de contención ha sido exitoso en pruebas de impacto con vehículos de 820 Kg y un autobús escolar con un peso de 9100 Kg a 90 Km/h y a 15°, con un espacio entre postes de 1,905 m. El ancho de trabajo en esta prueba fue de 0,96 m. También fue contenido con éxito un autobús interurbano con un peso de 14500 Kg a 97 Km/h y en ángulo de 14°.

4.4.8 Barrera semirrígida de perfil triple onda simple, poste rígido con separador europeo

Este sistema consiste en una viga de perfil triple onda, con un separador de 450 mm de ancho efectivo y postes rígidos. La viga utilizada en este sistema corresponde exactamente a la usada en los sistemas anteriores, la modificación, en este caso, corresponde al bloque separador, el que ha sido desarrollado en Europa.

El bloque separador de esta barrera incluye un sistema disipador de energía que durante un impacto se desplaza gradualmente por aplastamiento, manteniendo la posición vertical del perfil triple onda. La necesidad de incorporar disipadores de energía se justifica por el requerimiento de índice de severidad en la contención de vehículos pequeños.

Los bloques separadores y disipadores de energía, característicos de este sistema, permiten deceleraciones graduales y controladas frente al impacto de vehículos livianos, en estos casos el sistema prácticamente no sufre daños y, en general, sólo se deben reemplazar los bloques dañados. Cuando la barrera es impactada por vehículos pesados los bloques separadores colapsan rápidamente.

Una configuración especial de este tipo de sistemas es la incorporación de un perfil canal inferior, sin bloque separador, ubicado a 300 mm de altura. El perfil inferior es utilizado para evitar el enganchamiento, de vehículos de perfil bajo, entre los postes. En este caso, la parte superior del perfil triple onda va aproximadamente a una altura de 1 m.

Este sistema es considerado uno de los diseños más avanzados y seguros en barreras metálicas, siendo utilizado ampliamente en las carreteras europeas, existiendo en Chile algunas aplicaciones en las cuales se ha demostrado su efectividad y seguridad.

Para la instalación y reposición de este sistema es necesario contar con un número importante de piezas diferentes y se requiere tener supervisión especializada, lo que se traduce en un mayor costo con respecto a otros sistemas. Por todo esto, su utilización es restringida a situaciones especialmente riesgosas.

Este sistema se encuentra certificado de acuerdo a la norma EN 1317 como clase H2, lo que significa que aprobó satisfactoriamente un ensayo de impacto para un vehículo liviano de 900 Kg a 100 Km/h y a 20°. El mismo sistema fue probado exitosamente con el impacto de un bus interurbano de peso 13000 Kg a 70 Km/h y a 20°, obteniéndose un ancho de trabajo inferior a un metro.

4.4.9 Barrera semirrígida de perfil de acero revestido en madera

La barrera de acero recubierta o reforzada con madera se desarrolló como una alternativa estética a los sistemas tradicionales. Este consiste en una viga de acero reforzada con una viga de madera y apoyada en postes de acero recubiertos de madera, o bien, solo de madera. La placa de acero proporciona la continuidad estructural que necesita el sistema y evita el desprendimiento de trozos de la barrera durante el impacto.

Los elementos de madera proporcionan una apariencia más rústica que el acero y el concreto, por lo que normalmente esta barrera se especifica para el uso a lo largo de los caminos bajo la administración de parques nacionales y zonas turísticas en general. En Francia se han desarrollado algunas modificaciones prácticas al sistema utilizado en EE.UU. que consisten básicamente en la utilización de rollizos de madera en lugar de perfil cuadrado o rectangular.

Esta barrera ha sido probada con éxito en EE.UU., para un vehículo de 820 kg a 81 Km/h y un ángulo de impacto de 20° y con un vehículo de 2.000 kg a 81 Km/h a un ángulo de impacto de 25°. Por su parte, en Francia las pruebas entregaron resultados similares y el ancho de trabajo observado fue de 1,7 m.

4.4.10 Barrera semirrígida de perfil de acero revestido en madera, Sistema *Bois de Tertu*

Corresponde a un caso particular de las barreras mixtas metal - madera. Dentro de los tipos disponibles en nuestro país destaca la denominada T 40 y la T 18 4M.

La barrera T 18 4M presenta un nivel de contención certificado N2 y un ancho de trabajo W7. Lo anterior significa que el sistema es capaz de contener adecuadamente un vehículo de hasta 1500 kg, a 100 km/h en un ángulo de 20°, deformándose hasta 2.5m.

La barrera anterior también cuenta con una variante, la denominada T 18 4MS2, que es idéntica a la anterior, salvo que el espaciamiento entre postes es de 2m en vez de 4m. Este dispositivo también fue sometido a ensayos y presentó un nivel de contención certificado N2, pero un ancho de trabajo menor (W5). Lo anterior implica que el sistema es capaz de contener adecuadamente un vehículo de hasta 1500 kg, a 100 km/h en un ángulo de 20°, deformándose hasta 1.7m.

La barrera T 40 presenta un nivel de contención certificado H2 y un ancho de trabajo W4. Lo anterior significa que el sistema es capaz de contener adecuadamente un vehículo de hasta 13000 kg, a 70 km/h en un ángulo de 20°, deformándose hasta 1.2m.

4.4.11 Barreras rígidas de perfil de concreto

Esta clasificación incluye cualquier estructura suficientemente rígida como para no deformarse sustancialmente frente al impacto de un vehículo de la clase para la cual fue diseñada. En esta clasificación se incluyen: los perfiles New Jersey y “F”, el muro liso vertical y pretilas de puentes de varias configuraciones. En algunos casos, se combinan un elemento inferior de concreto y un elemento superior de acero y, en otros, se construyen totalmente de concreto o de acero.

Estas barreras se pueden construir en sitio mediante moldajes continuos o moldajes deslizantes, con o sin acero de refuerzo, dependiendo del diseño. También pueden ser prefabricadas como elementos modulares, los cuales requieren de una conexión fuerte entre ellos, ya que durante un impacto serán sometidos a esfuerzos importantes.

Figura 77. Barrera rígida de perfil de concreto



Fuente: <http://www.highwayguardrail.com>

Esta clasificación abarca sistemas capaces de contener y redireccionar desde el vehículo más liviano hasta buses de 18.000 kg y camiones con remolque de 36.300 kg, a 15° y a 84 km/h. Dado que su deflexión es prácticamente nula, estos sistemas son la solución de preferencia para las situaciones con medianas de sección reducida, puentes y muros de contención de suelos y túneles, donde es esencial minimizar el ancho de trabajo.

Estas barreras pueden funcionar basadas en su peso propio o como parte solidaria del pavimento o berma. Como elemento de contención en un puente deberían ser incorporadas con la losa, de hecho, son la forma preferida de pretil en los EE.UU.

Típicamente, tienen una elevación de por lo menos 80 cm, dependiendo de las características de los eventuales vehículos que las impactarán y también de las condiciones del lugar de emplazamiento. Es importante mencionar que algunos de estos sistemas absorben energía lateral levantando parcialmente el vehículo, factor que debería ser considerado para su uso en túneles o puentes de galibo limitado.

Una de las ventajas más importantes de las barreras de concreto es que en general no requieren labores de mantenimiento, aún después de múltiples impactos. Su diseño estructural debe ser tal que estos elementos puedan resistir además cambios de temperatura y otros efectos ambientales. Ante un impacto, los segmentos móviles tienen que contar con una armadura suficientemente fuerte, para resistir los esfuerzos impartidos a los elementos durante su desplazamiento.

Al ser chocadas por vehículos pesados a ángulos muy abiertos, es decir, mayores a 20° , es probable que los elementos estructurales de estos vehículos impacten directamente en el concreto, provocando daños a la barrera.

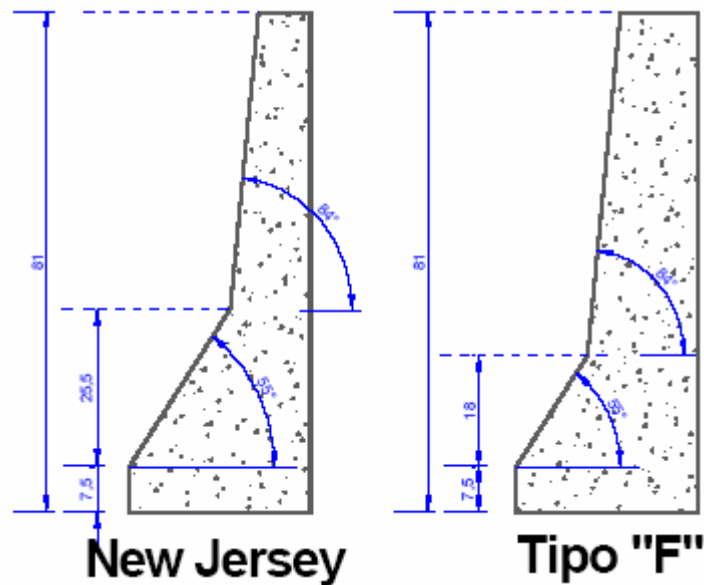
El perfil de este tipo de barreras puede contener algún elemento de diseño ajeno al sistema de contención propiamente tal, como por ejemplo espacios para vegetación, bordes superiores irregulares, barandas de madera, texturas, etc.

4.4.11.1 Las formas “F” y New Jersey

El sistema más difundido de esta tipología de barreras corresponde a un diseño desarrollado en los años 30 por el Sr. Wesley Bellis en el Estado de New Jersey, EE.UU. El sistema es conocido y utilizado hasta hoy como la barrera “New Jersey”. Con una pequeña, pero importante variación en las dimensiones de este diseño, se da origen al llamado Perfil “F”, siendo éste el diseño más evolucionado y acorde a las características de los vehículos actuales.

Para entender mejor como funcionan todos los sistemas rígidos se puede pensar que conceptualmente existen dos extremos, el muro liso vertical y un muro inclinado a poco ángulo con el horizonte (ver Figura 78), digamos por el momento de 20° . Teóricamente, un vehículo errante chocaría de lado con el primero, comprimiendo y deformando la carrocería y, de esa manera, absorbiendo su energía lateral. Por el otro extremo, teóricamente, un vehículo errante empezaría a subir por los 20° del muro inclinado, consumiendo su energía lateral por tener que superar las fuerzas gravitacionales. En teoría, llegaría a una elevación donde el vehículo empezaría a bajar del muro debido a la fuerza de gravedad. Obviamente, para este segundo caso hipotético, se tendría que contar con un muro de grandes proporciones. Se podría además argumentar, que a un ángulo mayor con la horizontal, se necesitaría menos muro, pero que al seguir aumentando el ángulo, la inclinación llegaría a ser tal, que tendería a volcar los vehículos, por ejemplo si el ángulo fuera de 75° . También debería ser obvio que a cierto ángulo, los vehículos no subirían el muro inclinado, más bien, chocarían con él, comportándose igual que el muro liso vertical.

Figura 78. Barreras de concreto tipo New Jersey y "F"



Fuente: Road Design Guide de la AASHTO

Al ser impactados, los perfiles New Jersey y "F" funcionan primero como un muro inclinado a 55° y después funcionan como un muro liso vertical. En el caso de la forma New Jersey, el muro inclinado sube verticalmente hasta un máximo de 33 cm, medidos de la superficie de rodadura adyacente, y, a esa elevación, se convierte en un muro liso, casi vertical, a un ángulo de 84° . En el caso de la forma "F", la transición de muro inclinado a muro vertical ocurre a una elevación de 25,5 cm.

De esta manera, en el caso de impactos a ángulos menores, la componente horizontal de la reacción (normal al muro inclinado) tiende a empujar lateralmente los neumáticos del vehículo, causando su contención y redirección sin lograr contacto con el muro vertical. La componente vertical de la reacción (normal al muro inclinado) tiende a levantar el vehículo.

En el caso de impactos a ángulos mayores, además de las fuerzas descritas anteriormente, la carrocería del vehículo hará contacto con el muro vertical, deformándose y absorbiendo energía lateral, logrando el sistema de esta manera contener y redireccionar el vehículo.

La altura donde se intersectan los dos planos, uno a 55° y el segundo a 84° , es crítica para el buen funcionamiento de estos perfiles. La diferencia de 7,5 cm de elevación entre el perfil New Jersey y el perfil "F" es importante, ya que en los años 70 y 80 se notó un aumento significativo del parque de vehículos pequeños,

los cuales tendían a volcarse al impactar con el perfil New Jersey. Un estudio definió, basado en ensayos a escala real, la elevación ideal para la intersección de los dos planos. Se encontró que bajándolo de 33 a 25,5 cm, se limitaba el fenómeno del volcamiento de vehículos pequeños.

El perfil de estas barreras lo constituyen tres segmentos demarcados con puntos de quiebre, un segmento inferior vertical, un segmento intermedio inclinado a 55° y un segmento superior inclinado a 84° . Cada uno tiene una función importante para el sistema, tal como se describe a continuación:

- **Segmento inferior vertical**

La sección inferior, de altura 75 mm, está diseñada con un corte vertical por un requerimiento práctico del diseño general de estructuras de concreto. En efecto, el ángulo de 55° podría iniciarse desde el pavimento mismo, pero esto generaría una zona débil en la estructura de concreto, lo cual es subsanado por el plano vertical de 75 mm. La altura de 75 mm se determinó en base a numerosas pruebas, obteniéndose que éste era el valor máximo que evitaba un efecto negativo ante un impacto de un vehículo pequeño.

Si este elemento del diseño es ampliado por cualquier razón, se generan dos problemas importantes. Primero, se eleva el punto de transición entre el plano de 55° y 84° , aumentando la posibilidad de volcar vehículos pequeños. Segundo, algunos vehículos no podrían pasar por encima de este segmento, anulando la efectividad de la barrera. Si la dimensión del segmento inferior es disminuida, no se afecta el funcionamiento de la barrera.

- **Segmento intermedio, inclinado a 55°**

La función de este segmento es desviar la trayectoria del vehículo verticalmente, lo que se consigue con el impulso inferior a la rueda que impacta. Para la mayoría de los casos, este segmento provoca que el primer impacto del vehículo contra la barrera sea en las ruedas y no directamente en su carrocería. Para impactos a baja velocidad el vehículo podrá retomar su pista de circulación con daños menores o, en muchos casos, sin daños.

Las pruebas de impacto real han demostrado la conveniencia de levantar de manera moderada el vehículo durante el impacto, ya que esto contribuye a eliminar el contacto entre los neumáticos y el pavimento, facilitando el redireccionamiento horizontal del vehículo.

- **Segmento superior, inclinado a 84°**

Por último, el segmento superior tiene la función de evitar que el vehículo sobrepase la barrera y es el último elemento responsable del redireccionamiento horizontal de la trayectoria del vehículo. La mayor parte de la energía disipada por el roce entre el vehículo y la barrera también se produce en este tramo. El pequeño ángulo que mantiene con el eje vertical se relaciona con la conveniencia de mantener el centro de gravedad de la barrera a una baja altura y, adicionalmente, contribuye a disminuir la severidad del impacto horizontal.

En relación a las dimensiones de estas barreras, es necesario tener presente lo siguiente:

- La altura entre la superficie del pavimento adyacente a la barrera y el quiebre entre los planos de 84° y 55° nunca debe superar los 330 mm (perfil New Jersey) y es aconsejable que no fuera menor de 180 mm.
- La altura máxima del segmento inferior nunca debe superar los 75 mm. No hay límite inferior.
- La altura total de la barrera se recomienda en 810 mm, sin límite superior. Nunca debe ser inferior a 740 mm.

El perfil New Jersey y el perfil “F” han sido los sistemas de barreras más probados en los últimos años. En la mayoría de los casos, el elemento de prueba ha sido una sección típica del “perfil”, con lo que se asume un comportamiento absolutamente rígido del elemento de contención.

Las pruebas se han realizado con todo tipo de vehículos, demostrando un comportamiento adecuado en el rango de 820 a 2.000 kg. Ocasionalmente, ha demostrado también un comportamiento adecuado en la contención de autobuses, con un peso aproximado de 8.000 kg y en impactos moderados. El perfil utilizado en estos casos tiene una altura de 810 mm.

Un perfil New Jersey con una altura de 1.070 mm ha contenido de manera razonable un camión con acoplado, con un peso de 36.300 kg, impactando a 15° y una velocidad de 84 Km/h.

El comportamiento de este tipo de barreras no se considera regular cuando son colisionadas en forma moderada por vehículos pesados, mostrando un desempeño aleatorio en cuanto a la estabilidad y redireccionamiento, teniendo en la mayoría de los casos como consecuencia el volcamiento del móvil.

Se han realizado pruebas con perfiles de mayor altura para contener de manera estable vehículos con centros de gravedad más altos, sin embargo, estas no han sido concluyentes en cuanto a la conveniencia de su utilización. Es decir, se reconoce que funcionan, pero no está claro si tienen una buena relación costo/beneficio.

Por último, se debe mencionar que estos sistemas son usados más comúnmente como barrera central, sin embargo, también es adecuado en ubicaciones laterales. En este caso, se puede omitir la construcción del perfil simétrico en la parte posterior, pero se debe asegurar la estabilidad estructural de la barrera o proveer los anclajes adecuados entre elementos y/o el suelo.

4.4.11.2 Muros verticales

El diseño más simple de los sistemas rígidos es un muro recto vertical de concreto, que tenga una estructura suficientemente resistente como para contener todo tipo de vehículos. Este sistema presenta ventajas desde el punto de vista estructural, ya que evita que sea sobrepasado o desplazado casi por cualquier tipo de vehículo, sin embargo, las consecuencias para los ocupantes, especialmente en vehículos pequeños, pueden ser muy graves, ya que toda la disipación de energía se realiza mediante la deformación del vehículo.

En situaciones de velocidades de operación de 50 Km/h o menos, muros verticales, cunetas altas y soleras de 20 a 50 cm pueden contener y redireccionar algunos vehículos de una manera segura. No obstante, el proyectista debería siempre consultar las referencias antes de incorporar en cualquier obra una forma o configuración que no ha sido aceptada.

- **Muro vertical de concreto**

El muro liso vertical de concreto ha dado buenos resultados, tanto del punto de vista teórico como práctico. La ventaja principal de esta forma es su fácil construcción y es especialmente útil en medianas restringidas. Su resistencia a un impacto será función de su diseño estructural. Dependiendo de la cantidad de acero incorporado, las características del concreto y sus dimensiones, estas barreras pueden ser capaces de resistir cualquier vehículo.

- **Muro vertical de mampostería de piedra**

Este sistema es esencialmente similar al muro vertical de concreto, con la diferencia que se recubre con mampostería de piedras planas con juntas de mortero, entregando una apariencia rústica, la cual tiene gran aceptación en vías

escénicas, de atractivo turístico o reservas naturales. Cualquiera sea el elemento de terminación exterior del muro, se deben evitar los diseños que contengan protuberancias o elementos irregulares que puedan enganchar o penetrar el vehículo. Muchas veces su diseño complementa otros elementos de infraestructura como muros de contención de la plataforma del camino o bien como elemento de protección a la caída de rocas o materiales similares.

El muro vertical ha sido probado con un automóvil de 820 Kg que impacta a 97 Km/h y a 15°, y también con una camioneta de 1.950 Kg a 97 Km/h, a un ángulo de 25°. En ambos casos el muro utilizado corresponde a superficie lisa de altura 690 mm. Este sistema, en general, no presenta problemas de resistencia en la contención de los vehículos, sin embargo, los daños que pueden sufrir los ocupantes de ellos pueden ser de consideración.

- **Transiciones**

Las secciones de transición son necesarias para proporcionar la continuidad estructural y geométrica en la unión de dos sistemas de barreras distintas. Un caso de especial atención para este tipo de uniones lo constituye la conexión de barreras flexibles o semirrígidas con barreras de puentes, sistemas rígidos o cualquier otro elemento de mayor rigidez como un muro o un pilar. En estos casos debe cuidarse de manera especial el proveer una transición gradual desde el punto de vista estructural.

Figura 79. Transición desde barrera flexible a barrera de puente



Fuente: Speier, Greg. Presentación Auditorías de Seguridad Vial herramienta del siglo 21 para modernizar la infraestructura de seguridad vial.

Donde se encuentren dos tipos diferentes de barreras, es necesario construir un tratamiento de transición en la unión de las dos barreras. Por ejemplo, para conectar una viga-W (semirrígida) a una barrera de hormigón (rígida) de puente se requiere un elemento de transición de rigidez suficiente para asegurar que un vehículo que se deslice a lo largo de la barrera semirrígida deformable no se enganche en la barrera rígida no indulgente.

Figura 80. Ejemplo de una mala práctica: Guardavías no ensayados



Fuente: Speier, Greg. Presentación Auditorías de Seguridad Vial herramienta del siglo 21 para modernizar la infraestructura de seguridad vial.

La pieza de transición en este caso se forma mediante una rigidización progresiva de la viga-W por una corta distancia que conduzca hasta la barrera rígida. La rigidez adicional se genera acercando los postes y duplicando la viga-W. Estas características se muestran en la siguiente fotografía.

Figura 81. Transición desde barrera semirrígida (viga-W) hasta barrera rígida



Fuente: Tomado Road Hazard Management Guide – Department of Infrastructure, Energy and Resources - DIER

En la mayoría de los casos se puede utilizar un refuerzo del sistema más flexible, con el objeto de disminuir gradualmente la deformación prevista para esta tipología. La situación que debe evitarse con un tramo de transición, es que el vehículo durante el impacto provoque un embolsamiento en el sistema flexible antes de llegar al elemento rígido y, de esta forma, impacte frontalmente con éste.

El largo de una transición debe ser entre 8 y 12 veces la diferencia entre las deflexiones previstas para los sistemas involucrados. Por ejemplo, si un sistema flexible que tiene una deflexión prevista de 1,5 m, debe unirse con un sistema semirrígido con una deflexión prevista de 0,3 m, entonces la longitud de la transición debe ser como mínimo de 10 m, con una rigidización gradual del sistema flexible.

Figura 82. Barrera de cables de alambre usada como barrera de mediana y transición con barrera de agujero cuadrado



Fuente: Tomado Road Hazard Management Guide
– Department of Infrastructure, Energy and
Resources - DIER

A manera de conclusión, como guía general se recomienda considerar los siguientes elementos para la definición de un sistema de contención:

- Fotografías o esquemas de la barrera
- Una descripción breve que muestre, a modo de referencia, los elementos principales, materiales, dimensiones, características estructurales y los parámetros geométricos relevantes como la separación entre postes, altura total, anclajes, uniones, etc. En cualquier caso, antes de la selección de un dispositivo específico, el especialista debe obtener detalles completos del sistema, incluyendo planos normalizados y definiciones precisas.
- Una descripción breve de su comportamiento en las pruebas de impacto. Esto permitirá definir de manera referencial el rango de vehículos para los cuales el sistema ha sido probado con éxito. Se recomienda usar las pruebas normalizadas para realizar una comparación cuantitativa.

Si el elemento existe en terreno, y están disponibles los datos de su comportamiento en servicio, estos datos son antecedentes adicionales valiosos para el diseñador, ya que permiten conocer instalaciones modelo y su comportamiento frente a situaciones no cubiertas por las pruebas de impacto real.

Figura 83. Barrera de concreto con barandas metálicas



Fuente: Speier, Greg. Presentación Auditorías de Seguridad Vial herramienta del siglo 21 para modernizar la infraestructura de seguridad vial.

4.5 CRITERIOS DE ACEPTABILIDAD DE BARRERAS DE CONTENCIÓN

Las pruebas de impacto real, son los procedimientos que definen las condiciones de prueba para elementos de contención. El Reporte 350 de la National Cooperative Highway Research Program, *“Recommended procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features”*, describe las etapas de verificación para las características de las barreras de seguridad en las fases experimental y operacional. Una barrera que ha pasado la prueba de impacto de manera aceptable, pasa a la fase de evaluación operacional o de servicio.

Estas barreras son clasificadas como operacionales y se recomienda su instalación con un monitoreo permanente y continuo. La determinación de si una barrera debe ser utilizada o no, es una facultad del organismo regulador y la autoridad competente. Adicionalmente, una barrera puede ser considerada operacional si se ha usado por un periodo extendido de tiempo y demuestra que su comportamiento real es satisfactorio en lo que se refiere a construcción,

mantenimiento y la experiencia de los accidentes ocurridos. Esto no evitará que un determinado organismo pueda considerar cualquiera de las barreras como experimental para los propósitos de determinar si ellas satisfacen sus necesidades particulares.

Es pertinente en este punto, presentar una comparación entre los dos procedimientos internacionales normalizados (ver Tabla 37) para confirmar la aceptabilidad de un sistema de barreras de contención, con base en las pruebas de los elementos considerados para evaluar el desempeño de diferentes tipos de vehículos, aclarando que se trata de la norma americana (NCHRP-350) y la norma europea (EN 1317-2):

Tabla 37. Comparación entre los procedimientos para aceptación de barreras de contención

ELEMENTO	NCHRP - 350	EN 1317-2
Niveles de prueba	6	11
Peso del vehículo Liviano	700 - 820	900 – 1300 - 1500
Peso Camioneta	2000	-
Peso Bus	8000 - 36000	10000 – 16000 – 30000 – 38000
Velocidad (Km/h)	50 -70 - 100	65 – 70 – 80 – 100 - 110
Ángulo	15° - 20° - 25°	8° - 15° - 20°

Fuente: Presentación en el Curso: “Sistemas de Contención Vial Conceptos y Últimas Tecnologías”. Preparado y presentado por Ing. Gregory Speier. Speier Road Safety Solutions. Octubre de 2008, Buenos Aires.

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

De otra parte, los criterios de evaluación establecidos en cada una de estas normas internacionales, se basan en la evaluación de los aspectos que se muestran en la tabla Tabla 38, a continuación:

Tabla 38. Criterios de Evaluación en cada procedimiento normalizado

NCHRP - 350	EN 1317-2
Suficiencia Estructural	Contención
	Deflexión dinámica y ancho de trabajo
Riesgo del Ocupante	Severidad
	Riesgo del Ocupante
Trayectoria vehicular	Trayectoria vehicular

Fuente: Presentación en el Curso: "Sistemas de Contención Vial Conceptos y Últimas Tecnologías". Preparado y presentado por Ing. Gregory Speier. Speier Road Safety Solutions. Octubre de 2008, Buenos Aires.

Al hacer la selección es importante considerar las condiciones presentes como las condiciones futuras. Normalmente, al mejorar una vía se genera un aumento de la demanda y una posible modificación en la composición del tránsito, lo cual debe ser considerado en la selección de los sistemas.

La omisión de alguno de los sistemas de contención en este documento, no necesariamente implica que no es aceptable su utilización. Hay numerosas barreras actualmente en uso, que no han sido probadas mediante estos procedimientos, pero han demostrado un comportamiento satisfactorio en el tiempo.

En la Tabla 39 se resumen los criterios que se deben tener en cuenta para la selección de una barrera de contención.

Tabla 39. Criterios para la Selección de Barreras de Contención.

Criterios	Comentarios
Capacidad de la Barrera	La barrera debe ser capaz de contener y redireccionar los vehículos para los cuales fue diseñada.
Deflexión de la Barrera	La deflexión esperada no debe exceder el espacio disponible en terreno.
Condiciones del lugar	La pendiente próxima al lugar de emplazamiento de la barrera y la distancia desde la calzada son factores que descartan la utilización de algunos tipos de barrera.
Compatibilidad	La barrera debe ser compatible con los terminales seleccionados y tiene que ser capaz de lograr una transición adecuada con otros sistemas de barreras (como las barreras de puentes).
Costo	Los sistemas de barrera más comúnmente ocupados son consistentes con su costo, no así aquellos más complejos, donde el costo es significativamente mayor.
Mantenimiento Rutinario	Son pocos los sistemas que requieren una inversión significativa en mantenimiento de rutina.
Mantenimiento - Colisión	Generalmente los sistemas flexibles y semirrígidos requieren un mayor mantenimiento después de un choque respecto a los sistemas rígidos.
Almacenamiento de materiales	Mientras menor es el número de sistemas distintos de barreras, menor es el inventario de piezas de repuesto y también menor el espacio de almacenamiento.
Simplicidad	Los sistemas simples, además de su bajo costo, por lo general presentan menos errores de instalación y reparación.
Consideraciones estéticas	Ocasionalmente, la estética de la barrera es una consideración importante en su elección.
Experiencia en terreno	El comportamiento y los requerimientos de mantenimiento de sistemas existentes deben ser monitoreados, para identificar los problemas que podrían ser minimizados o eliminados al seleccionar un sistema diferente.

Fuente: Road Design Guide de la AASHTO

4.5.1 Capacidad de la Barrera

La primera consideración dice relación con la velocidad y composición del tránsito de la vía. Tradicionalmente, la mayoría de las barreras se han desarrollado para automóviles de pasajeros, por lo que ofrecen un bajo nivel de contención cuando son impactadas por vehículos más pesados. Esta situación se torna crítica a velocidades elevadas y ángulos de impacto mayores.

Geometrías restrictivas, volúmenes de tránsito y/o velocidades altas y, volúmenes significativos de vehículos pesados, pueden justificar la instalación de elementos más resistentes. Estos aspectos son especialmente relevantes si las consecuencias ocasionadas por el hecho de que un vehículo traspase la barrera son previstas como graves para los ocupantes del mismo u otros usuarios. De manera similar, se puede considerar el caso en que el volumen de tránsito de vehículos livianos es bajo y la velocidad es reducida, en las cuales se justifica la instalación de un sistema sencillo y de bajo costo.

La barrera seleccionada debe contar con la capacidad de contención y redireccionamiento necesario para el tipo de vehículo solicitante y debe poder responder a las condiciones que impone la situación de riesgo que se quiere resolver.

Así entonces, una barrera rígida puede ser la mejor solución cuando las situaciones correspondan a restricciones geométricas severas, asociadas a un camino con alto volumen de tránsito o velocidad y un significativo flujo de tránsito pesado. También lo será cuando la salida de un vehículo hacia otra calzada pueda ocasionar graves consecuencias a otro móvil.

Se utilizará además una barrera rígida cuando se trate de una obra de paso o puente, donde las consecuencias de traspasar la barrera serían muy graves. En cambio, se podrá utilizar una barrera flexible donde además de lograr la contención del vehículo solicitante, se consiga su adecuado redireccionamiento y además se cuente con el espacio suficiente para la deflexión de la barrera.

En la elección de la barrera de acuerdo a la capacidad de contención, se debe considerar la información proporcionada por las pruebas de impacto y la experiencia obtenida en las aplicaciones existentes.

4.5.2 Deflexión esperada de la Barrera

Todo elemento de contención tiene una deflexión esperada (ver Tabla 40), la cual es una distancia que se define con base en pruebas de laboratorio y

posteriormente a la evaluación en terreno, es ajustada a las condiciones máximas de impacto que podría soportar.

Ante un impacto la energía de choque es absorbida por la barrera y/o por el vehículo, ambos sufren una deformación, en el caso de las barreras, la deformación depende de la rigidez del sistema.

La deflexión esperada para un determinado tipo de barreras nunca debiera superar el espacio disponible para esta acción. La siguiente tabla muestra los diferentes sistemas de barreras y los rangos esperados de deformación después de un impacto.

Tabla 40. Tipos de Barreras y Deflexiones Esperadas

TIPO	DEFLEXIÓN (m)
Flexible	De 1.5 a 3.5
Semirrígida	De 0.5 a 1.5
Rígida	De 0.0 a 0.7

Fuente: Road Design Guide de la AASHTO

Mientras más rígida es una barrera menor será la deflexión y se esperan mayores daños en el vehículo, por lo tanto los sistemas flexibles ocasionaran menor daño a los vehículos, sin embargo, como se interpreta de la anterior tabla, pueden llegar a tener una deflexión de hasta 3.5 m, esta distancia define el ancho de trabajo de una barrera, es decir, debe haber una distancia igual o mayor a la deflexión entre la barrera y el objeto fijo del que se quiere proteger.

Una vez definida la capacidad que requiere tener la barrera, será necesario examinar las características del sitio donde será instalada. Si se dispone de una sección transversal suficiente, es posible proporcionar el espacio necesario para permitir una gran deflexión, ocasionando por consiguiente menores reacciones en el vehículo y en sus ocupantes, será entonces será más conveniente instalar una barrera flexible.

Sin embargo, si el obstáculo, del cual se quiere defender, quedara muy cercano a la barrera, se requerirá un sistema de mayor rigidez, que evite la colisión del vehículo con éste cuando la barrera se deflece con el impacto.

La mayoría de los sistemas semirrígidos pueden rigidizarse en la zona de interés disminuyendo la distancia entre sus postes, con lo cual se reduce la deflexión de la barrera.

4.5.3 Condiciones del Lugar

Algunos elementos cuentan con especificaciones técnicas, suministradas por el fabricante, que limitan las condiciones de su uso. Se debe asegurar siempre que no existan condiciones de instalación incompatibles con estas especificaciones o con otras propias del proyecto.

Muchas veces las condiciones del terreno resultan ser preponderantes al momento de elegir una barrera de seguridad. Amplias bermas y zonas laterales planas aconsejarán el uso de barreras flexibles. Sin embargo, como ocurre generalmente en nuestros caminos, el espacio lateral muy reducido recomendará el uso de barreras semirrígidas, lo que se conseguirá aumentando en algunos casos la profundidad de hincado de los postes y/o disminuyendo su distanciamiento.

Las condiciones del terreno, por si solas, podrán determinar la factibilidad de instalación de un cierto tipo de barreras y estas condiciones deben ser tomadas en cuenta al momento de estudiar el proyecto, ya que de otra manera, no se podrá ejecutar la instalación.

Otro aspecto relevante a tener en cuenta son los requerimientos de soporte del suelo necesarios para la correcta instalación, generalmente estos forman parte de las especificaciones técnicas del producto.

4.5.4 Compatibilidad

En general los organismos encargados del diseño, instalación y mantenimiento prefieren tener en uso una limitada variedad de barreras de contención, por cuanto significa mejorar la especialización en la mano de obra, tener un menor número de piezas diferentes tanto para los terminales como para los empalmes o transiciones con otros sistemas, etc.

Por consiguiente, se debe tratar de promover la uniformidad y versatilidad de las barreras seleccionadas al menos para un mismo camino, provincia, región o concesión. En lo posible, se debe evitar el uso de dos sistemas diferentes en una misma instalación. Cuando esto no sea posible, la recomendación general es que los elementos de unión, aparte de ser compatibles con los sistemas que unen, proporcionen un aumento gradual de resistencia o una disminución del ancho de trabajo, para pasar de la barrera menos resistente a la más resistente.

Existen diferentes tipos de dispositivos de empalme entre las más variadas tipologías de barreras. Estos elementos son provistos por los fabricantes pero el

diseñador debe cuidar de manera especial la compatibilidad estructural de los elementos y la factibilidad de instalación del mismo.

Hasta hace algunos años, las barreras laterales fueron desarrolladas e instaladas con la intención de contener y redireccionar a vehículos con masas superiores a 2000 Kg, sin embargo, la experiencia señaló que, en general, no eran capaces de contenerlos o redireccionarlos cuando chocaban a altas velocidades y en ángulos de impacto importantes. Estos sistemas han demostrado, eso sí, que son efectivos en impactos producidos por vehículos livianos a velocidades razonables (menores a 100 Km/h) y ángulos relativamente tangenciales (menores a 25°).

Por otro parte, los hechos han demostrado que el comportamiento esperado de una barrera diseñada para vehículos livianos, puede provocar consecuencias graves en vehículos más grandes. Reconociendo estos hechos, varios centros de investigación se han esforzado en el desarrollo de sistemas de barreras capaces de redireccionar y contener vehículos pesados.

En general, no existen recomendaciones objetivas para la instalación de elementos de alta contención, adecuados a vehículos pesados, por lo que normalmente se consideran factores subjetivos para ello, tanto en el caso de construcción de nuevas carreteras como en el caso de rectificaciones de vías existentes, dentro de los cuales los más relevantes son:

- El porcentaje de vehículos pesados.
- Condiciones geométricas restrictivas.
- Consecuencias severas asociadas con la penetración de una barrera dentro de un vehículo pesado.

Estos mismos factores se aplican en los proyectos de reconstrucción o rehabilitación de caminos, pero en estos casos, el especialista contará con una ventaja adicional para la evaluación del diseño, como es la historia de accidentes ocurridos en el pasado, el funcionamiento del sistema existente y los costos de mantenimiento asociados a ellos. Si la instalación de una barrera más resistente y segura permite disminuir la gravedad y severidad de accidentes futuros o reducir los costos de mantenimiento, entonces es posible realizar un análisis costo / beneficio para justificar económicamente su instalación.

A continuación se presenta a consideración algunos requisitos generales que pueden ser tenidos en cuenta para la instalación de barreras de contención.

4.6 CRITERIOS GENERALES PARA LA INSTALACIÓN DE BARRERAS DE CONTENCIÓN

La misión fundamental de todo dispositivo de seguridad vial diseñado como sistema de contención, es impedir que un vehículo abandone su calzada de circulación de manera imprevista y golpee un objeto que lo detenga violentamente, caiga por un borde de terraplén o, que las consecuencias previstas del accidente sean mayores que las provocadas por el impacto con la propia barrera.

Una forma eficaz para evaluar el comportamiento de un sistema de contención, lo constituye la aplicación de pruebas de impacto real (*crash test*), las cuales entregan información muy precisa acerca de las condiciones y el comportamiento de los elementos involucrados. No obstante, debe tenerse en cuenta que resulta imposible abarcar todas las posibilidades de choque en un número finito de pruebas, por lo cual, los especialistas han enfocado su trabajo en la estandarización de estas pruebas, con el objetivo de contar con herramientas confiables de comparación entre diversos sistemas probados en condiciones similares.

Una vez revisado el diseño geométrico de un tramo vial, y verificadas las condiciones del terreno, visibilidad, condiciones prevalecientes del ambiente, etc., debe considerarse si la instalación de una barrera de contención reducirá la severidad de accidentes potenciales; es decir, si se cree que las consecuencias de chocar un objeto fijo o de salirse del camino son más serias que los daños que sufrirá producto del impacto con la barrera, entonces se recomienda su instalación. No obstante, existe la posibilidad de encontrar casos donde no es tan obvio determinar si la barrera o los elementos de protección deben instalarse, ya que éstos pueden transformarse en un riesgo mayor.

Como criterio base para el diseño de barreras de contención o defensas laterales, es preciso evaluar cuidadosamente la consistencia en los diseños, el análisis cualitativo de los parámetros operativos del tránsito como la velocidad de diseño, el TPD y la composición del tráfico y una evaluación económica de los costos involucrados.

En este caso, se sugiere evaluar las siguientes opciones:

- Quitar o reducir el riesgo de tal manera que el elemento de contención ya no sea requerido. Esto implica el aumento en las cantidades de cubicación del proyecto.

- Instalar una barrera apropiada o un elemento de contención seguro. Generando especificaciones que obedezcan a criterios de optimización de recursos y seguridad vial.
- Dejar el área descubierta o con medidas de protección menores, como demarcación o mayor distancia de visibilidad. También implica adquisición de predios e incremento en la sección del proyecto.

La tercera opción normalmente sólo sería recomendable para vías con bajos volumen de tránsito promedio diario (TPD), o zonas de velocidad restringida, donde se pueda verificar, además, que la probabilidad de ocurrencia de accidentes sea baja.

Los costos asociados a la instalación de elementos de contención, mantenimiento y los costos involucrados en accidentes, pueden ser comparados en situaciones hipotéticas, donde en un caso se instala la barrera y en el otro no. Este criterio obedece a la premisa básica adoptada por el Ministerio de Transporte, en la cual prima el aspecto de seguridad vial sobre la percepción de los usuarios de la vía, o los niveles de servicio y capacidad.

Con base en estos aspectos, es posible encontrar tres situaciones típicas donde se recomienda la instalación de elementos de contención, las cuales son: bordes de terraplenes, obstáculos laterales próximos y la presencia frecuente de peatones, ciclistas, colegios, etc. Esta última situación se conoce con el nombre de "*espectadores inocentes*".

A continuación se analizan por separado cada uno de los tres casos enunciados anteriormente.

4.6.1 Terraplenes

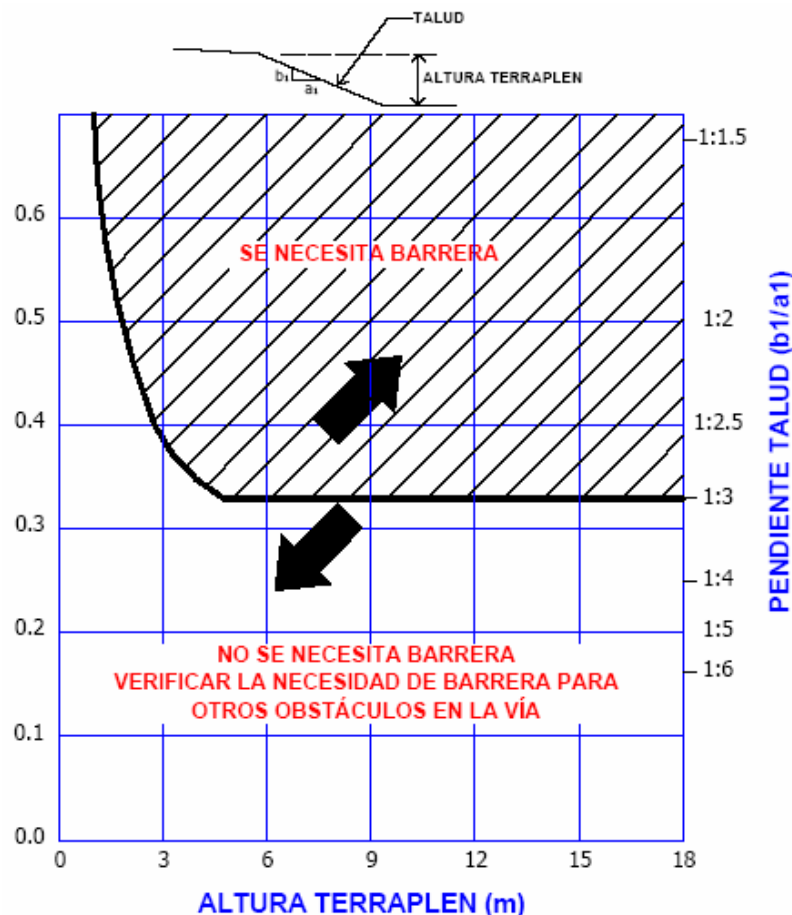
Los factores básicos a considerar que determinan la necesidad de una barrera junto a un terraplén son su altura y pendiente lateral. Estos criterios están basados en estudios de la severidad relativa de abandonar la calzada en una zona de pendiente lateral versus el impacto probable con la barrera de contención.

Los terraplenes con pendiente lateral no transitable, alturas considerables y emplazados en una zona de curvas, se transforman en riesgos adicionales al terraplén propiamente tal a menos que se disponga de una zona lateral despejada de dimensiones adecuadas.

A continuación se muestra un gráfico extraído del Road Design Guide (RDG) de la AASHTO (Figura 84. Recomendación para la instalación de barreras en terraplenes.), que recomienda la instalación de barreras de seguridad considerando la pendiente lateral y altura de terraplén.

Se aclara que la construcción del gráfico en la Figura 84 obedece solamente a una recomendación y, por lo tanto, no asegura que su estricta adopción por sí misma, constituya un diseño adecuado, debiéndose tener en cuenta siempre las condiciones generales del entorno y la visión experta de un especialista.

Figura 84. Recomendación para la instalación de barreras en terraplenes.



Fuente: Road Design Guide de la AASHTO

Con base en la interpretación de la figura anterior, la AASHTO considera que para taludes 1:3 (V:H) o más extendidos no es necesario el uso de barreras, independiente de la altura del terraplén. Para taludes con inclinación superior a 1:3

la colocación o no de barreras dependerá de la combinación entre la pendiente del talud y la altura del terraplén.

Se han desarrollado también, otros gráficos que pueden ser usados como apoyo al diseño, que contienen consideraciones relativas al costo efectividad de las medidas posibles de adoptar. En estos casos, las variables de diseño consideradas son: el tránsito medio diario en el horizonte del proyecto, la longitud de la instalación y la altura de caída. De acuerdo a esto, se puede elaborar un gráfico diferente para cada combinación de pendiente transversal, velocidad de diseño y número de pistas.

Este método de diseño resulta muy complejo de implementar dado que es sensible a la calibración y tiene en consideración un gran número de variables de decisión, sin embargo, no logra reunir todas aquellas que son relevantes para un diseño adecuado y, por lo tanto, solo representan un apoyo en la evaluación de la decisión final.

Por último, es recomendable que la pendiente lateral no tenga un cambio brusco, prefiriéndose las soluciones de borde redondeado, en las cuales los conductores tienen mayor probabilidad de recobrar el control del vehículo por sus propios medios. El redondeo óptimo en los cambios de pendiente del terraplén se define, arbitrariamente, como el radio mínimo que un automóvil, de clasificación estándar, pueda mantener sus neumáticos en contacto con el suelo. Dependerá de la velocidad de diseño, el ángulo entre las pendientes y las características propias de cada vehículo.

4.6.2 Obstáculos Laterales

Un obstáculo lateral es cualquier elemento no traspasable por un vehículo liviano. Entre otros se pueden mencionar, los objetos fijos artificiales como las entradas o salidas de alcantarilla, sifones, postes, puentes y cualquier otra construcción lateral. Los obstáculos fijos naturales pueden ser árboles y rocas. Todos estos condicionan la seguridad de la carretera.

Al final de este punto se entrega una lista con las situaciones más comunes y la medida de mitigación más recomendada en cada caso. Dentro de ellas se pueden distinguir las líneas de acción más evidentes, como son la remoción o traslado de los elementos de riesgo o, las menos intuitivas, como es determinar la distancia adecuada hasta dónde se debe trasladar el objeto o la distancia recomendable entre la barrera y el obstáculo, en el caso de que ésta exista o se prevea su instalación.

Por sobre todo y particularmente en el caso de los obstáculos laterales, debe prevalecer, hasta donde sea posible, como característica fundamental del diseño la implementación de la “zona lateral despejada”. Esta es la única forma de asegurar que los riesgos a los conductores se reducirán al mínimo. En la mayoría de los objetos artificiales que se incorporan a un proyecto de construcción de carretera, el diseñador puede minimizar o eliminar el peligro que ellos presentan al conductor mediante pequeñas modificaciones, que en general, no cambian las características estructurales ni funcionales del objeto en cuestión. Esto es particularmente cierto en el caso de desagües, alcantarillas pequeñas, fosos laterales, entradas de túneles y apoyos de puentes o viaductos. En todos estos casos se puede evaluar la posibilidad de modificar el diseño, haciéndolo “no agresivo” para los conductores y, con ello, se evita definitivamente la instalación de barreras o elementos de contención.

4.6.3 Peatones, Ciclistas y “Espectadores Inocentes”

Un área de preocupación especial de los proyectistas y administradores de carreteras debe ser lo que se ha llamado el “espectador inocente”. En la mayoría de los casos, el criterio convencional presentado en los anteriores numerales, no puede ser aplicado para determinar la necesidad de instalación de barreras.

Por ejemplo, una vía principal, carretera o autopista, puede estar próxima a una zona de escuela, pero la distancia que los separa puede ser insuficiente si se considera el riesgo a que se expone a los escolares, incluso al interior del establecimiento. En este caso no existe un criterio para indicar que la barrera se instale, sin embargo, es evidente la necesidad de un elemento de contención para minimizar el potencial contacto de un vehículo con los alumnos.

Consideraciones similares pueden hacerse en el caso de una zona comercial, pasarelas peatonales, obras de construcción, parada de buses, acceso a instalaciones de público masivo u otras similares. En este sentido, particular atención debe prestarse a situaciones en que por alguna razón del entorno u operacional, se conozca la ocurrencia de accidentes frecuentes, como pueden ser combinaciones de curvas y pendientes, salidas de autopistas, zonas de acumulación de hielo u otras similares.

Las zonas de tránsito peatonal y las ciclovías son casos particulares de lo mencionado anteriormente y deben ser motivo de preocupación especial. La solución más deseable a este problema es separarlas físicamente del tráfico vehicular, pero a veces esta solución suele ser no factible por restricciones de espacio, operativas o costo.

Como en los otros casos, no existe un criterio objetivo para otorgar garantías a los peatones y ciclistas, a pesar de ello se pueden tener en cuenta algunas recomendaciones básicas para una mejor solución. En particular, siempre será recomendable la ubicación de una barrera o una solera alta para separar a los peatones y ciclistas del tráfico vehicular en las calles de baja velocidad. A velocidades superiores a 50 Km/h, un vehículo puede montar las restricciones de este tipo, por lo que debe disponerse de elementos más resistentes, que impidan definitivamente el ingreso de vehículos a la zona peatonal o ciclo vía.

En la Tabla 41 se entregan algunas recomendaciones respecto a la instalación de barreras de contención en las situaciones tratadas en los puntos anteriores.

Tabla 41. Recomendación de instalación para zonas no traspasables y obstáculos laterales.

Ubicación	Recomendación
Cepas de puente, estribos y extremos peligrosos	Generalmente se requiere protección
Construcciones	La decisión debe basarse en la probabilidad de impacto y la naturaleza del obstáculo
Tuberías y muros frontales	La decisión debe basarse en el tamaño, forma y ubicación del obstáculo
Cunetas bajas	Generalmente no se requiere protección
Cunetas altas	La decisión debe basarse en la probabilidad de impacto
Drenajes longitudinales	Aplicables criterios de zona lateral despejada
Drenajes transversales	Se recomienda instalación de protecciones, especialmente si la probabilidad de impacto es alta
Terraplenes	La decisión depende de la altura y pendiente transversal
Muros de contención	Depende de la forma del muro y el ángulo máximo de impacto probable
Marcos de señalización	Cuando están ubicados en zonas aisladas y pistas de alta velocidad, siempre se recomienda su protección
Árboles	Se recomienda el análisis particular de la situación
Zonas de Servicios	Se recomienda protección de acuerdo a las características del lugar.
Cursos de agua permanente	La decisión debe tomarse basándose en la profundidad, ubicación y la probabilidad de caída.

Fuente: Road Design Guide de la AASHTO

Notas:

1. Se recomienda la instalación de barreras para proteger al usuario de la vía de un elemento no traspasable o de un obstáculo a la orilla del camino, sólo cuando está dentro de la “zona despejada” y no se puede quitar o reubicar; además, se debe determinar que la barrera proporcione una mejora de la seguridad bajo las condiciones antes mencionadas.

2. En situaciones límites, con respecto a la decisión de colocación o no de una barrera, normalmente se decidirá por la accidentalidad del lugar

- En tramos rectos, los dispositivos de contención (barreras o defensas) se deben instalar en forma paralela al eje de la vía.
- En curvas horizontales, se pueden tomar otras disposiciones para reducir el ángulo de choque, de tal forma, que el ángulo de confluencia del vehículo impactante no sea superior a los 30°. Necesariamente la barrera debe formar un ángulo con el borde de la calzada, a razón de 20 m de longitud por cada metro de separación transversal.
- Donde entre los extremos de dos barreras de seguridad consecutivas, quede una distancia menor a 50 m, se deben unir en una sola barrera continua, salvo que exista accesos a asentamientos.
- Las barreras no deben colocarse a menos de 0,50 m del borde de la calzada.
- Donde la inclinación del talud sea inferior a 1/2, se recomienda colocar barreras a una distancia mínima de 2.5 m.
- Los extremos de la barrera deben estar empotrados en el talud y se debe colocar una pieza terminal que actúe como amortiguador de impacto.

Acogiendo los conceptos impartidos por el experto en Seguridad Vial, Ing. Gregory Speier, en uno de los curso sistemas de contención vial, específicamente en la capacitación desarrollada con el Instituto Mexicano del Transporte, en 2001, se recomienda también el empleo de barreras rígidas como elementos separadores de los sentidos de circulación, en los casos donde el ancho de la franja separadora es muy reducido.

La Tabla 42 presenta una recomendación acerca del tipo de sistema de contención en función del ancho de la franja separadora.

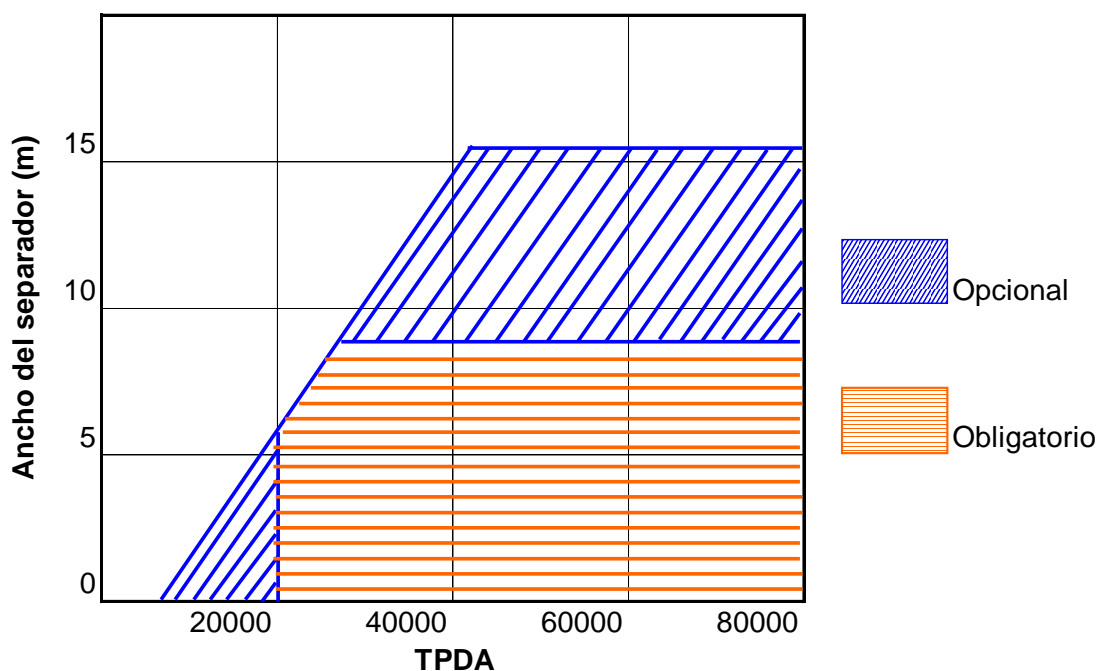
Tabla 42. Relación entre el ancho del separador y la selección de la barrera central

ANCHO DISPONIBLE	BARRERA
Menor a 0.50 m	Delimitar con líneas
0.50 – 0.80 m	Muro liso vertical
0.80 – 2.50 m	Tipo “F” o New Jersey
Mayor a 2.50 m	Sistema Semirrígido
Mayor a 5.00 m	Sistema flexible

Fuente: Speier, Gregory. Memorias del curso sistemas de contención vial, Instituto Mexicano del Transporte, 2001

Por otra parte, la Figura 85 ilustra la necesidad de instalación de una barrera de contención, en función del tránsito diario promedio anual (TPDA) y del ancho del separador.

Figura 85. Recomendación para la justificación de una barrera central



Fuente: Speier, Gregory. Memorias del curso sistemas de contención vial, Instituto Mexicano del Transporte, 2001

4.6.4 Costos y Ciclo de Vida

En el tema de las barreras de contención, generalmente ocurre que el costo de adquisición aumenta a medida que se incrementa su capacidad de contención,

incrementándose con mayor velocidad en aquellos sistemas de alto rendimiento, no obstante, en estos casos los costos de mantenimiento suelen ser decrecientes.

Tanto los costos iniciales como los costos eventuales de los diferentes sistemas de contención son consideraciones importantes en el proceso de selección. En términos generales, el costo inicial de un sistema aumenta en cuanto aumenta su resistencia o capacidad de contención. Los costos de mantenimiento bajan. Por otro lado, un sistema con costos de instalación bajo, frecuentemente requiere un costo mayor de reposición después de un impacto.

4.6.5 Mantenimiento

Esta variable es importante evaluarla en tres ámbitos. El primero, corresponde al mantenimiento periódico o rutinario que requiere cada tipo de barrera. El segundo, se refiere a la reparación necesaria después de una colisión y, en tercer lugar, también se debe evaluar la diversidad de repuestos y partes requeridas por cada alternativa.

- **Mantenimiento rutinario**

Los costos asociados al mantenimiento rutinario actualmente son muy bajos, ya que en el caso de las barreras metálicas cuentan con tratamientos de protección galvanizada, que aseguran una larga duración. Por su parte, las barreras de concreto no requieren labores de mantenimiento rutinario.

En este punto es necesario distinguir el mantenimiento rutinario propio del elemento de contención y los efectos que la barrera puede producir en el entorno de su instalación. Algunas tipologías de barrera favorecen la acumulación de basura, arena u otros materiales en el lugar donde se encuentran instaladas o bien favorecen el crecimiento de vegetación, con lo que obstruyen las obras de drenaje y visibilidad de los elementos. El mantenimiento asociado al despeje y limpieza de las zonas donde están instaladas las barreras no se considera como mantenimiento de la barrera.

- **Colisiones**

El mantenimiento por colisiones incluye todas las reparaciones o ajustes necesarios después de un impacto. La consideración de estos costos es muy relevante en la selección de un sistema, ya que por lo general son los únicos costos de mantenimiento.

El número de impactos que ocurrirá en un tramo de barrera depende en gran medida de: la velocidad y volumen del tránsito, el diseño geométrico y la distancia entre la barrera y la calzada. La extensión del daño provocado por un impacto es función de la resistencia de la barrera. De tal manera entonces, los costos de colisión pueden ser un factor importante en aquellas zonas de geometría restrictiva o de alto volumen de tránsito.

Este último caso es la situación típica a lo largo de vías urbanas de alta velocidad, donde además el trabajo de mantenimiento se hace difícil e interfiere con el tránsito. En estos casos, una barrera rígida de concreto es frecuentemente la barrera seleccionada.

Otra consideración de menor relevancia es la posibilidad de enderezar y reutilizar elementos de un sistema de acero. En general éstos no podrán ser reparados, aún así pueden tener un valor remanente.

- **Almacenamiento y disponibilidad**

Antes de seleccionar un sistema de barreras, se debe realizar un importante esfuerzo para determinar la futura disponibilidad de materiales necesarios para el mantenimiento y reparación, además de los requerimientos de bodegaje. Es necesario ir incrementando el número de piezas de repuesto a medida que estas se van utilizando. Así, obviamente es muy ventajoso el hecho de usar sólo un sistema de barreras, cuyas piezas de repuesto son las mismas para todo el elemento, además de la simpleza que conlleva su almacenamiento.

En resumen, en la selección de las barreras se debe tener presente que convendrá tener la menor diversidad de estos elementos, porque así se disminuyen las necesidades de almacenamiento y las provisiones pueden realizarse por volúmenes mayores.

- **Simplicidad en el diseño**

La simplicidad del sistema de contención también juega un papel importante en la decisión, por cuanto generalmente permitirá desarrollar las labores de instalación, mantenimiento y reparación con mayor rapidez.

4.7 CONSIDERACIONES FINALES SOBRE BARRERAS LATERALES

Como premisa básica, debe considerarse que la instalación de un sistema de contención obedece a una medida correctiva de deficiencias en un trazado geométrico. Por sí misma, no garantiza la reducción del número de accidentes.

No obstante, antes de hacer uso de este recurso, es preciso realizar análisis rigurosos que tiendan a identificar las causas más frecuentes de accidentalidad en sitios críticos, encaminados a generar soluciones de fondo (diseño de parámetros, señalización, etc.), puesto que con barreras de contención lo único que se puede lograr, es reducir la severidad cierto tipo de siniestros.

Las barreras de seguridad no deben ser extremadamente resistentes, sino que tiendan a una interacción dinámica con el vehículo y con su cimiento, absorbiendo parte de esa energía cinética, provocando su encausamiento y desaceleración. Sobre el particular, solamente se aconseja la utilización de dispositivos de contención de vehículos, que hayan aprobado los ensayos de impacto, de acuerdo con las normas homologadas internacionalmente.

De acuerdo con la documentación consultada, las barreras deben ser capaces de contener y redireccionar los vehículos para los cuales fueron diseñadas. La selección del tipo de barrera depende fundamentalmente de las condiciones propias del sitio y de las características de la carretera donde será colocada.

Así, por ejemplo, dependiendo del espacio disponible entre el borde de la calzada y el obstáculo, se podrá instalar una barrera más o menos flexible. De ahí la existencia en el mercado de varios tipos de barrera, según las necesidades que se determinen: rígidas, semirrígidas o flexibles. Los diseñadores de este tipo de elementos de protección realizan experimentos en vivo, para determinar cuál va a ser el comportamiento del vehículo y de la baranda después del impacto, y de esta forma poder garantizar la capacidad de la barrera. Por lo tanto, estas empresas garantizan el producto como un sistema integral, es decir incluidas las barandas, los postes, los separadores, la tornillería, etc.

De modo que a la hora de contratar la colocación de barandas metálicas, se debe considerar esta circunstancia, y no combinar elementos que no son los originalmente recomendados por el fabricante. Por ejemplo, no se debe cambiar la distancia de los postes indicada por el fabricante, ni colocar postes diferentes, ya que estos podrían ser más fuertes o más débiles que los ensayados en el experimento, y entonces en la práctica, el sistema no se comportaría como el tipo de barrera que fue concebida, es decir flexible, rígida o semirrígida.

La selección de una barrera de contención debe atender a las características propias de cada tramo de la vía de circulación, fluidez del tráfico y severidad de los accidentes que se pretende evitar.

Por su funcionalidad, se sugiere la utilización de dispositivos de contención (barreras o defensas), que cumplan con las especificaciones técnicas de diseño, de acuerdo con los ensayos de prueba estandarizados en las normas homologadas internacionalmente.

No existe un sistema de barreras ideal, capaz de contener y redireccionar a toda clase de vehículos a cualquier velocidad y bajo cualquier condición de instalación. Sin embargo es importante que los sistemas existentes se encuentren debidamente instalados y cumplan con los estándares mínimos de seguridad.

De acuerdo con la bibliografía consultada, a veces, los organismos viales instalan barandas de defensa muy largas y, por eso, gastan dinero para aumentar el peligro lateral. Otras veces, los organismos viales instalan barandas de defensa muy cortas y, por eso, pierden reducciones de beneficio- costo en el peligro al costado del camino.

Lo que se necesita es un método amplio y lógico para determinar la longitud necesaria de la baranda como una función de la configuración lateral y longitudinal del talud del terraplén, tamaño de objeto fijo y separación lateral, volumen y velocidad del tránsito, curvatura del tramo, y un análisis beneficio/costo incremental. El resultado puede tomar una o más formas incluyendo procedimientos de pasos, ecuaciones, gráficos, y tablas. Hay que esforzarse para hallar la óptima solución de compromiso entre precisión y utilidad de los procedimientos:

1. Desarrollar un marco para analizar el cambio de gravedad incremental asociado con la protección de baranda de defensa para taludes de terraplén en caminos rectos y curvos como una función del ancho de zona-despejada, incluyendo la consideración de taludes perpendiculares y masas de agua peligrosas al pie del talud.
2. Desarrollar un marco para analizar el cambio de gravedad incremental asociado con la protección de baranda de objetos fijos en secciones rectas y curvas para un rango de configuraciones esperadas.
3. Analizar la solución de compromiso de beneficio/costo para determinar la longitud de la barrera de contención en función del tamaño del objeto fijo y

la ubicación lateral, configuración del talud lateral, geometría, volumen de tránsito, número esperado de impactos y velocidad del tránsito.

4. Aplicar análisis de sensibilidad para determinar dónde pueden usarse generalizaciones razonables para simplificar la aplicación.

Este Manual Guía para la Señalización, es un reto para que, de manera coordinada, los distintos organismos territoriales del sector Transporte, Universidades, Institutos de Investigación, Empresas Consultoras, Constructoras y Proveedoras en los temas de gestión vial, aporten experiencias para el diseño de normas que respondan a las características específicas del tráfico predominante en cada uno de los casos expuestos.