



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Análisis y revisión de criterios
de barreras de contención
establecidos en la NOM-037-
SCT2-2012**

TESINA

Que para obtener el título de
Especialista en Vías Terrestre

P R E S E N T A

Ing. Caleb Calderón Sánchez

DIRECTOR(A) DE TESINA

M.I. Francisco Javier Granados Villafuerte



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., Febrero 2020

Contenido

1. Objetivo.....	2
2. Introducción	3
3. Ordenamiento Jurídico de los Estados Unidos Mexicanos	6
3.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.....	6
3.2 Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.....	7
3.3 Leyes Ordinarias.....	7
3.4 Reglamentos	8
3.5 Norma Oficial Mexicana NOM-037-SCT2-2012	8
4. Norma NOM-037-SCT2-2012.....	9
4.1 Contenido	9
4.2 Definición.....	9
4.3 Clasificación.....	11
4.4 Utilización de barreras de orilla de corona y separadoras	15
4.5 Selección.....	19
4.6 Emplazamiento	29
4.7 Instalación.....	42
4.8 Barreras de Transición.....	43
4.9 Secciones de amortiguamiento	48
4.10 Secciones Terminales	52
5. Normativa europea EN 1317 “Equipamiento para la señalización vial”	54
5.1 Niveles de Contención.....	54
5.2 Niveles de Severidad	56
5.3 Deformación del sistema	57
5.4 Capacidad de redireccionamiento.....	57
6. Análisis y comparativa.....	59
7. Pretilos/Parapetos.....	62
8. MASH (Calculo programable de longitud necesaria de barreras “ <i>Barrier Length of Need LON</i> ”).....	65
9. Conclusiones.....	69
10. Referencias	71

1. Objetivo

- Identificar los parámetros o características que contempla la NOM-037-SCT2-2012, analizando si la norma necesita modificaciones o adiciones.
- Comparar los criterios determinados por la NOM-037-SCT2-2012, con respecto a la normativa europea, con el fin de analizar si dichos criterios son los adecuados, y en el caso que no, analizar las posibles adiciones que deberían ser agregadas en una actualización de la normativa.



Figura 1. Vista frontal de barreras de contención.

2. Introducción

Las comunicaciones cumplen una función muy importante dentro de la economía de cualquier país. Por lo que, la deficiencia o carencia de estas, provocan que el movimiento de bienes, ya sean productos o servicios, no se lleven a cabo de manera óptima, además de que ocasiona el aislamiento de diversas localidades alrededor del mismo.

En las últimas décadas, a nivel mundial, se ha visto un incremento en los movimientos migratorios de grandes masas de población hacia los principales centros urbanos de cada país, provocando una necesidad de crecimiento de estas ciudades, así como de la búsqueda tanto de construcción, como de modernización, de sus vías terrestres tanto urbanas como carreteras, esto debido al incremento del número de vehículos que transitan por estas vialidades. Debido a estos cambios, así como de las condiciones mecánicas de los automóviles, el número de accidentes en carreteras se ha visto incrementado.

En el análisis de la accidentabilidad en carreteras, es necesario tener presente que el tránsito de estas es un sistema compuesto, principalmente por estos 3 elementos: *conductor, vehículo y camino*, estableciendo que un accidente es la consecuencia de un evento no esperado multicausal, cuya ocurrencia se debe a la falla en alguno de los elementos que conforman el sistema de tránsito.

Según datos declarados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), cada día alrededor de 3500 personas fallecen y decenas de millones de personas sufren lesiones en las carreteras cada año a nivel mundial, constituyendo una de las principales causas de la mortalidad, costando a la mayoría de los países el 3% de su Producto Interno Bruto, nuestro país ocupa el séptimo lugar a nivel mundial en muertes por siniestros viales.

De acuerdo con la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), el factor humano es la causa de aproximadamente el 93% de los accidentes, considerando este factor importante para la seguridad vial. La seguridad vial, en el presente trabajo es, la tarea de minimizar la probabilidad de que el conductor cometa un error, así como tomar las medidas necesarias para disminuir las consecuencias cuando esto ocurra.

Datos declarados por el Instituto Mexicano del Transporte, en el año 2017, en su Anuario estadístico de accidentes en carreteras federales, clasifican a los accidentes en base al

tipo de siniestro por el que fueron originados. A continuación, se presentará la figura donde es presentada esta información:



Figura 2. Distribución porcentual de colisiones y víctimas, por tipo de siniestro, 2017.

Como la figura lo muestra, el principal tipo de siniestro que provoca aproximadamente el 30% de accidentes carreteros en nuestro país, son por “salida del camino”, accidentes que se producen cuando un vehículo se desvía de la superficie de circulación de la carretera y colisiona con algún objeto fijo, vuelca o atropella a un tercero en el margen de la carretera. Este tipo de accidentes, puede ser debido a diversas razones: exceso de velocidad, falla de frenos, deslumbramiento, efectos del alcohol, fatiga, evitar un choque, etc. Debido a la dificultad que se tendría en tener un completo control sobre factores mecánicos de cada vehículo, así como del usuario, se ha optado por mejorar y acondicionar los márgenes de la red de carreteras, como una medida efectiva en la reducción de las víctimas de los accidentes de tránsito.

Un sistema de contención es aquel elemento situado en el margen o a la mitad de una carretera con el objetivo de atenuar las consecuencias de los accidentes de los vehículos que abandonan la calzada de forma incontrolada o puedan chocar con elementos de mayor riesgo que la misma barrera.

El diseño de las barreras de protección de una vía, como un componente del diseño de una carretera, forma parte del concepto "*Forgiving Highways*", concepto originado en los países Bajos en los años ´70. Este concepto promueve el diseño de carreteras que minimicen las consecuencias derivadas por errores en los caminos. Este busca redireccionar a los vehículos que dejan la vía, así como permitir zonas lo suficientemente amplias y despejadas para poder retomar el control del vehículo, en caso de que se salen del camino.

La colisión con un sistema de contención vehicular constituye un accidente sustituido del que tendría lugar en caso de no existir dicho mecanismo, cuyas consecuencias son calculadas y por lo tanto menos graves, sin embargo, esto no significa que los ocupantes del vehículo estén exentos de riesgos.

Las barreras, así como sus terminales constituyen también un obstáculo en los márgenes de las vías, por lo tanto, solo deben ser colocadas si se espera que tal dispositivo reduzca la severidad del accidente.

En la actualidad, gran cantidad de países han optado por incluir normas que regulen el diseño de barreras de contención, con el fin de disminuir este tipo de accidentes.

3. Ordenamiento Jurídico de los Estados Unidos Mexicanos

Tomando en consideración que el área de construcción se encuentra regulada por medio de diferentes dispositivos legales, es importante mencionar cuales son las normatividades jurídicas que regulan el diseño y la construcción de las barreras de contención, para ello y para tener un mejor entendimiento se citara la Pirámide de Kelsen, la cual nos muestra la jerarquía que tienen las normas jurídicas entre sí.



Figura 3. Pirámide de Kessel.

Como se puede observar en la figura anterior, dentro del aspecto legal existe un orden descendente de la importancia de las regulaciones jurídicas, las cuales aplicando dicha pirámide se desprende que las barreras se encuentra regulada dentro de las siguientes normas:

3.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

La ley fundamental en su artículo 90 nos menciona los siguiente “La Administración Pública Federal será centralizada y paraestatal conforme a la Ley Orgánica que expida el Congreso, que distribuirá los negocios del orden administrativo de la Federación que estarán a cargo de las Secretarías de Estado y definirá las bases generales de creación de las entidades paraestatales y la intervención del Ejecutivo Federal en su operación.”

Que se traduce en que para una mejor administración se hará por medio de Secretarías de estados, las cuales se dividirán por funciones distintas, en este caso se habla de la SCT.

3.2 Ley Orgánica de la Administración Pública Federal

En dicha ley establece en su artículo 2º que el Poder Ejecutivo de la Unión para el ejercicio de sus atribuciones se auxiliara de distintas dependencias, entre las que sobresalen las secretarías de Estado, asimismo en su artículo 26 hace mención de las dependencias con las que contará el Poder Ejecutivo, reconociendo así la Secretaría de Comunicación y Transportes, y por último en su artículo 36 hace mención cual son las atribuciones de esta secretarías, resaltando entre ellas las siguientes: Construir y conservar caminos y puentes, en cooperación con los gobiernos de las entidades federativas, con los municipios y los particulares; y otorgar concesiones o permisos para construir las obras que le corresponda ejecutar; las cuales corresponden a las fracciones XXII y XXIV respectivamente de dicho artículo.

3.3 Leyes Ordinarias

3.3.1. Ley Federal Sobre Metrología Y Normalización

Esta ley tiene por objeto en Materia de Metrología entre otros establecer el sistema general de unidades de medida, tal como lo establece el artículo 2º de la misma.

Además, en su artículo 40º, establece las características y/o especificaciones que deban reunir los productos y procesos cuando estos puedan constituir un riesgo para la seguridad de las personas o dañar la salud humana, así como las características y/o especificaciones de los productos utilizados como materias primas o partes o materiales para la fabricación o ensamble de productos finales sujetos al cumplimiento de Normas Oficiales Mexicanas

3.3.2. Ley De Caminos, Puentes Y Autotransporte Federal

La presente Ley tiene por objeto regular la construcción, operación, explotación, conservación y mantenimiento de los caminos y puentes, los cuales constituyen vías generales de comunicación; así como los servicios de autotransporte federal que en ellos operan, sus servicios auxiliares y el tránsito en dichas vías.

3.4 Reglamentos

Son de carácter meramente administrativos, razón por la cual no se considera que sean estrictamente aplicables al caso concreto.

3.5 Norma Oficial Mexicana NOM-037-SCT2-2012

La presente norma, se encuentra hasta el final de dicha pirámide, sin embargo la misma regula de manera concreta y específica las barreras de contención, pues establece los criterios generales que han de considerarse para el diseño y colocación de dichas barreras; además de tener carácter obligatorio en su aplicación en las carreteras que cumplan con dichas características.

4. Norma NOM-037-SCT2-2012

4.1 Contenido

Esta Norma contiene los criterios generales para el diseño y colocación de las barreras de protección, también conocidas como barreras de contención, en las carreteras y vialidades urbanas de jurisdicción federal, estatal y municipal, así como la designación, definición y utilización de los diversos elementos que las conforman, para que puedan proveer de seguridad a los usuarios de las carreteras y vialidades urbanas.

4.2 Definición

4.2.1 Arroyo Vial

Franja destinada a la circulación de los vehículos, delimitada por los acotamientos o las banquetas.

4.2.2 Barreras de protección

Dispositivos que se instalan longitudinalmente en uno o en ambos lados del camino, con el objeto de impedir, por medio de la contención y redireccionamiento, que algún vehículo fuera de control salga de los límites del camino, ya sea por fallas en la conducción, condiciones meteorológicas o por fallas mecánicas.

Según su operación y ubicación, las barreras de protección pueden ser clasificadas de la siguiente manera:

- Barrera de orilla de corona
- Barrera separadora de sentido de circulación
- Barrera de transición
- Secciones extremas
 - Sección de amortiguamiento
 - Sección Terminal

4.2.2.1 Barreras de orilla de corona

También reciben el nombre de barreras laterales o de defensa, como su nombre lo indican son aquellos elementos colocados en la orilla de las carreteras o vialidades urbanas, en subtramos específicos donde exista un peligro potencial, como puede ser una curva cerrada, la altura excesiva de un terraplén o la cercanía de estructuras u objetos fijos, con el propósito de incrementar la seguridad de los usuarios evitando que los vehículos salgan del camino si el conductor pierde el control, siempre y cuando dichos vehículos circulen en las condiciones normales de operación para las que se diseñen las barreras, en cuanto a velocidad, masa y dimensiones. Ocasionalmente pueden ser usadas para proteger a peatones y ciclistas del tránsito vehicular bajo condiciones especiales. Son concebidas para recibir impactos solo por unos de sus lados.

4.2.2.2 Barreras separadoras de sentidos de circulación

También conocidas como barreras centrales, son dispositivos colocados en caminos divididos para separar un arroyo vial de otro con flujo vehicular en sentido opuesto, con el propósito de impedir que algún vehículo abandone su arroyo vial e invada el otro, ya sea por condiciones meteorológicas, por fallas mecánicas o de conducción. También son empleadas para separar carriles en el mismo sentido de circulación y las que sean móviles mediante un dispositivo especial, para abrir y cerrar carriles reversibles o habilitar carriles de emergencia por accidentes. Ocasionalmente pueden ser usadas para evitar el acceso de vehículos por sitios indebidos a carriles restringidos. Son concebidas para recibir impactos por ambos lados.

4.2.2.3 Barreras de Transición

Barreras de orilla de corona o separadora de sentidos de circulación, con arreglos y configuraciones particulares, que se colocan para conectar barreras comunes con niveles de contención o deflexión dinámica diferentes, o entre las barreras comunes y los parapetos de puentes o de estructuras similares, o entre aquellas y cualquier elemento lateral rígido como muros de contención y muros de entradas a túneles, entre otros, para lograr la transición progresiva del nivel de contención y la deflexión dinámica de las primeras entre otros, para lograr la transición progresiva del nivel de contención y la

deflexión dinámica de las primeras al de los segundos, tanto en las aproximaciones como en las salidas de esas estructuras, con el propósito de evitar la deformación exagerada que resulta en ángulos excesivos de redireccionamiento con trayectorias peligrosas, el impacto de los vehículos en los elementos rígidos de las estructuras, con la consecuente desaceleración excesiva o la penetración de las barreras en los vehículos impactados a lo largo de la transición.

4.2.2.4 Secciones extremas

Dispositivos conectados en los extremos de una barrera, ya sea de orilla de corona o separadora de sentidos de circulación, con el objeto de protegerla y reforzarla o disminuir el peligro que representa para los ocupantes de un vehículo el impacto en el extremo inicial de la barrera. Son secciones de amortiguamiento cuando son instaladas para reducir el impacto potencial e impedir que la barrera penetre en el vehículo, o son terminales cuando se colocan para reforzar y proteger la barrera.

4.3 Clasificación

Las barreras de orilla de corona y separadoras de sentidos de circulación pueden ser clasificadas tomando los siguientes criterios:

- Deflexión Dinámica
- Nivel de Contención

4.3.1 Clasificación según la deflexión dinámica

La deflexión dinámica es la deformación horizontal máxima respecto a la posición inicial o línea de acción de la barrera de protección que le produce la colisión del vehículo con la velocidad y el ángulo de impacto considerando en el diseño de la barrera, y que determina el ancho de trabajo mínimo requerido para el correcto funcionamiento de la barrera.

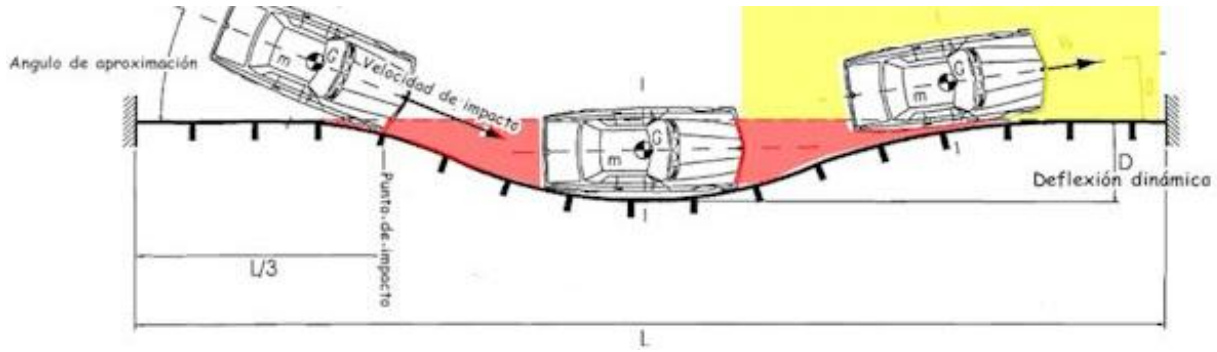


Figura 4. Representación del funcionamiento ideal de una barrera de contención

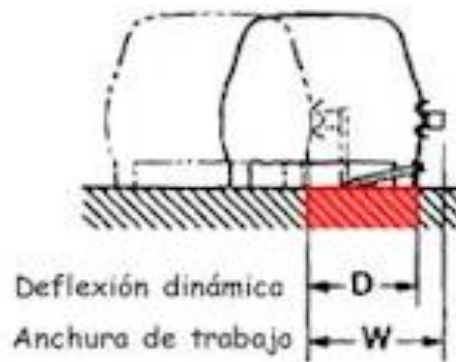


Figura 5. Deflexión dinámica y ancho de trabajo

De acuerdo con la deflexión dinámica que pueda presentar las barreras de orilla de corona, así como de las separadoras de sentido de circulación, al ser impactadas por el vehículo con la velocidad y el ángulo de impacto considerados en su diseño, se clasifican en:

- Flexibles, cuando su deflexión dinámica es mayor a 160 centímetros.

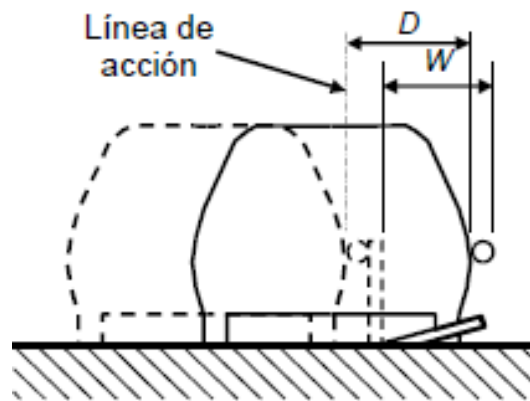


Figura 6. Deflexión y ancho de trabajo de una barrera Flexible

- Semirrígidas, cuando su deflexión dinámica es mayor de 70 centímetros, pero menor a 160 centímetros.

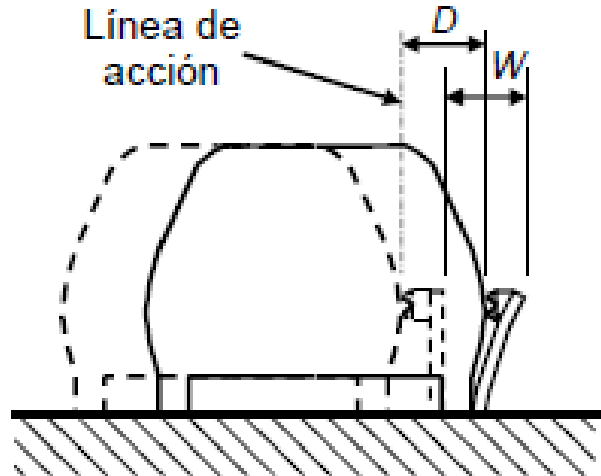


Figura 7. Deflexión y ancho de trabajo de una barrera semirígida

- Rígidas, cuando su deflexión dinámica es menor de 70 centímetros

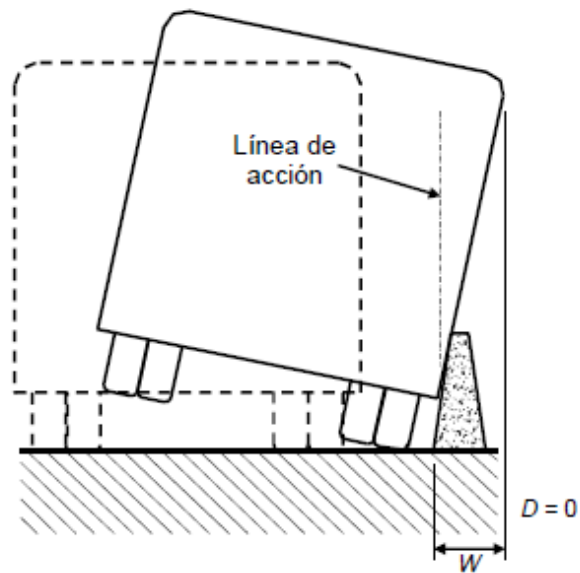


Figura 8. Deflexión y ancho de trabajo de una barrera rígida

4.3.2 Clasificación según el nivel de contención

De acuerdo con las características, velocidad y ángulo de impacto de los vehículos que son capaces de contener y redireccionar, las barreras de orilla de corona y separadoras de sentido de circulación se clasifican en 6 niveles de contención como se indican en la tabla siguiente:

Nivel de contención	Vehículos que contiene y redirecciona			Prueba			
	Designación	Vehículo	Masa Kg	Nivel de Prueba	Velocidad de Impacto	Angulo de Impacto	Condiciones
NC-1	Ap	Automóvil	820	1	50	20	a)
	Ac	Camioneta	2,000		50	25	
NC-2	Ap	Automóvil	820	2	70	20	a)
	Ac	Camioneta	2,000		70	25	
NC-3	Ap	Automóvil	820	3	100	20	a)
	Ac	Camioneta	2,000		100	25	
NC-4	Ap	Automóvil	820	4	100	20	a) y b)
	Ac	Camioneta	2,000		100	25	
	C2	Camión Unitario	8,000		80	15	
NC-5	Ap	Automóvil	820	5	100	20	a) y b)
	Ac	Camioneta	2,000		100	25	
	T3-S2	Tractocamión	36,000		80	15	
NC-6	Ap	Automóvil	820	6	100	20	a) y b)
	Ac	Camioneta	2,000		100	25	
	T3-S2	Tractocamión	36,000		80	15	

Tabla 1. Clasificación de las barreras de orilla de corona y separadoras de sentidos de circulación según su nivel de contención

- a) La barrera, dentro de su deflexión dinámica, debe contener y redireccionar al vehículo sin que éste la penetre ni la cruce; los elementos, fragmentos u otros residuos de la barrera o del vehículo no deben penetrar a su cabina o generar algún tipo de peligro a otros vehículos y peatones; la cabina del vehículo no debe presentar deformaciones que representen riesgos para sus ocupantes; el tanque de combustible debe permanecer intacto y sin punzonamientos; el ángulo de salida del vehículo, medido en el momento en que pierda contacto con la barrera, debe ser como máximo el 60% del ángulo de impacto y su trayectoria no debe interferir con carriles adyacentes.
- Los vehículos con masas de 820 y 2 000 kg, durante el impacto y su salida, no deben presentar giros respecto a sus ejes longitudinal y transversal, que puedan ocasionar su volcamiento.
- La velocidad de impacto de los ocupantes de vehículos con masa hasta de 820 kg, debe ser como máximo de 5 m/s en la dirección frontal y la resultante de las velocidades frontal y lateral no debe exceder de 12 m/s, con una desaceleración no mayor de 196 m/s²

La velocidad de impacto de los ocupantes de vehículos con masa de 2 000 kg, debe ser como máximo de 12 m/s en la dirección frontal, con una desaceleración no mayor de 196 m/s².

- b) Es preferible, aunque no esencial, que los vehículos con masa de 8 000 kg o más, no vuelquen durante el impacto y su salida.

Estos niveles de prueba deben satisfacer el *“Report 350 Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features”* de la National Cooperative Highway Research Program.

4.4 Utilización de barreras de orilla de corona y separadoras

4.4.1 Barreras de orilla de corona

Este tipo de barreras son instaladas en aquellas zonas de la vialidad donde se tenga un mayor riesgo de que ocurra un accidente que pueda ocasionar muertos o lesionado, debido a la salida de un vehículo de los límites de la calzada.

Este tipo de incidentes pueden ser debidos a diversas razones:

- Altura e inclinación de los taludes del terraplén o de los balcones
- La presencia de una curva horizontal
- La cercanía a obstáculos laterales

4.4.1.1 Altura e inclinación de taludes del terraplén y balcón

la existencia de pendientes en los taludes de los terraplenes debe reunir ciertos criterios basados en la seguridad, tanto del cuerpo mismo del terraplén, así como de los vehículos que salgan de los límites de la calzada, siendo esta última, el evento que se busca evitar con la colocación de las barreras de contención.

Se ha demostrado que entre la pendiente sea cada vez menor, los vehículos tienen menores probabilidades de volcarse y por lo tanto no es necesario del uso de este sistema de contención.

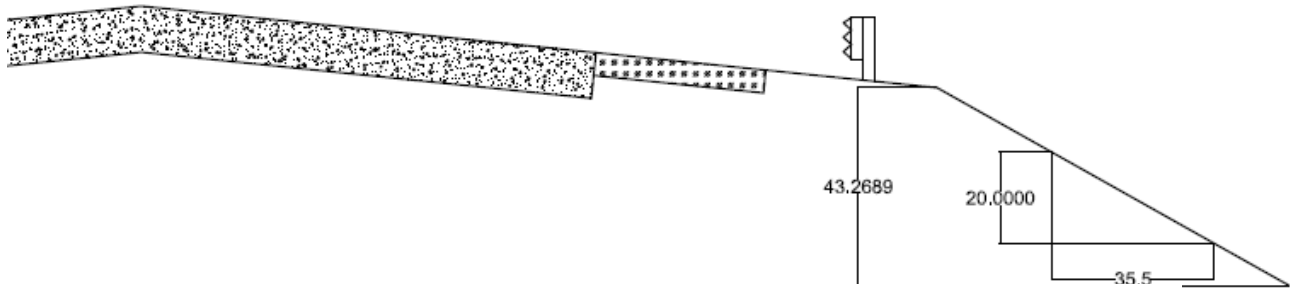


Figura 9. Pendiente de talud en terraplén

Es por ello que instituciones como la ASSHTO, han optado por la implementación de un gráfico que, dependiendo de los factores antes mencionados, se determina si es necesario el uso de las barreras de orilla.

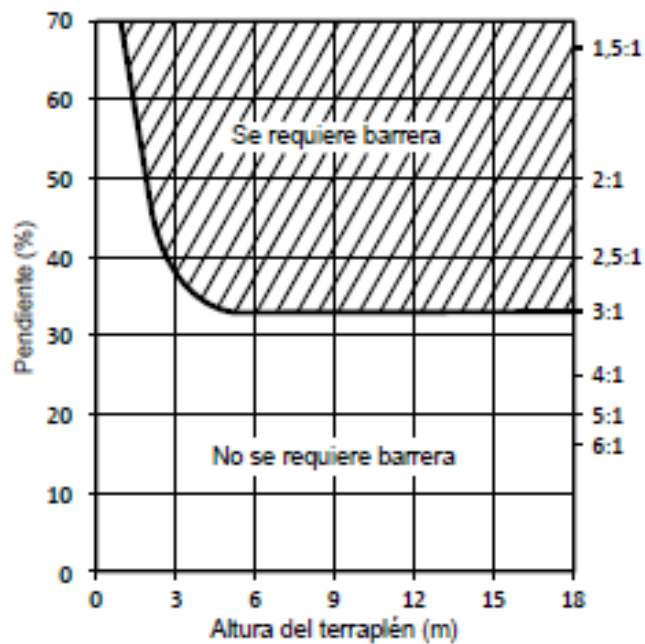


Figura 10. Instalación de barreras de orilla de corona en terraplén,

Para carreteras con velocidades de operación menores de 50 km/h y un tránsito diario promedio anual (TDPA) menor de 1000, el uso de barreras de protección es opcional.

4.4.1.2 Curvas Horizontales

Se deben colocar barreras de orilla de corona en cada curva horizontal (circular o espiral), cuya velocidad de proyecto sea menor que la velocidad de operación del tramo inmediato anterior a la curva y en las curvas que se ubiquen inmediatamente después de tangentes largas, de más de 5 km, en ambos casos solo cuando la salida de un vehículo represente un riesgo a los ocupantes y se estime que la severidad del accidente pueda ocasionar muertos o lesionados, independientemente del tipo de sección transversal existente en la curva horizontal (corte, terraplén o balcón).

Estas barreras se deben emplazar en la orilla exterior de dichas curvas si la carretera o la vialidad urbana es de dos carriles o en la orilla exterior de cada sentido de circulación si la carretera o la vialidad urbana cuenta con barrera separadora de sentidos de circulación o es de cuerpos separados.

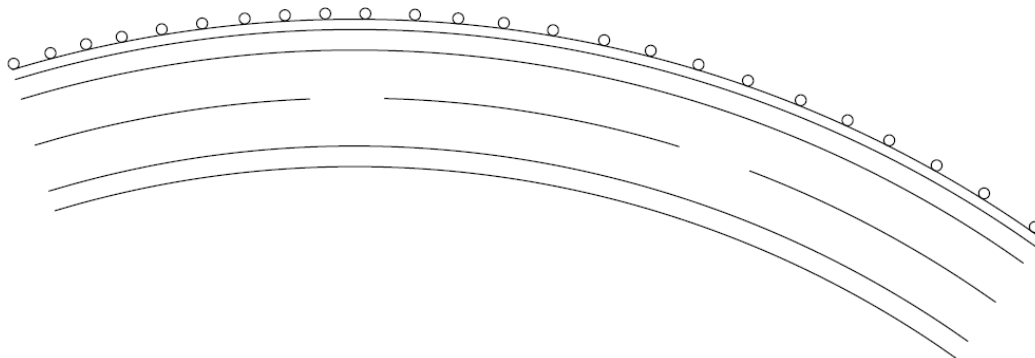


Figura 11. Vista de planta de una curva horizontal con barrera de contención

4.4.1.3 Por obstáculos laterales

Se colocan barreras de orilla cuando existan obstáculos laterales ubicados dentro de una franja de 9 metros de ancho, adyacentes al arroyo vial de la carretera, o en la faja separadora cuando se trate de cuerpos separados, dependiendo del tipo y la cercanía de esos obstáculos. Su instalación solo se justifica sólo si la colisión contra la barrera produjera menor daño que el choque directo contra el obstáculo lateral, cuando no sea económicamente factible reubicarlo o removerlo.

En la siguiente tabla se muestra algunos ejemplos de obstáculos laterales que se ven considerar al momento de determinar si es necesario la instauración de este modo de seguridad vial.

Obstáculo lateral	Recomendación
Pilas, columnas, estribos u otros elementos estructurales que representen peligro	Colocar barreras de orilla de corona
Obras menores de drenaje y muros cabezales	Cuando su tamaño, forma o ubicación representen peligro, colocar barreras de orilla de corona
Obras de drenaje longitudinal	Cuando sea probable traspasarlas y ello represente peligro, colocar barreras de orilla de corona
Taludes de cortes sin irregularidades	Generalmente no se requieren barreras de orilla de corona
Taludes de cortes y terraplenes con irregularidades	Cuando sea probable que los vehículos impacten contra las irregularidades, colocar barreras de orilla de corona
Muros de contención	Cuando la forma y ubicación de un muro de contención sea tal que represente un peligro, colocar barreras de orilla de corona
Estructuras de señalamiento elevado y de iluminación	Colocar barreras de orilla de corona
Postes de servicios públicos y de semáforos	De acuerdo con las características del lugar y del tránsito, colocar barreras de orilla de corona
Arboles	Cuando sea probable que los vehículos impacten contra árboles con troncos de diámetro mayor de 10 centímetros, colocar barreras de orilla de corona
Rocas con una magnitud tal que el costo de removerlas sea significativo	Cuando sea probable que los vehículos impacten contra rocas de tal tamaño que el costo de removerlas sea significativo, colocar barreras de orilla de corona
Cuerpos de agua permanentes	Cuando su ubicación y profundidad representen peligro, colocar barreras de orilla de corona

Tabla 2. Guía para colocar barreras de orilla de corona, por obstáculos laterales

4.4.1.4 Casos especiales

La necesidad de una barrera de orilla de corona en zonas donde peatones o ciclistas convivan de forma habitual con el tránsito vehicular de la carretera o de la vialidad urbana, depende de la intensidad de tránsito vehicular y peatonal en cada caso particular.

4.5 Selección

4.5.1 Selección por Nivel de Contención

Con base al flujo vehicular en términos de Transito Diario Promedio Anual (TDPA) y la velocidad de operación donde se colocará la barrera de protección, tanto de orilla o separadora, se procede a la selección del nivel de contención requerido.

Velocidad de operación km/h	Nivel de contención mínimo de la barrera				
	Caminos de dos carriles, uno por sentido de circulación			Caminos de dos o más carriles por sentido de circulación	
	Transito diario promedio anual TDPA			Transito diario promedio anual TDPA	
	< 1000	1000 – 9999	≥ 10000	< 10000	≥ 10000
≤ 50	NC-1	NC-1	NC-1	NC-1	NC-2
51 – 70	NC-2	NC-2	NC-2	NC-2	NC-3
71 – 100	NC-3	NC-3	NC-3	NC-3	NC-3
101- 120	NC-3	NC-3	NC-4	NC-4	NC-5

Tabla 3. Niveles de contención mínimos según las características del tránsito y la velocidad de

4.5.2 Selección por Deflexión Dinámica

Para seleccionar el tipo de barrera de orilla de corona o separadora de sentidos de circulación en función de su deflexión dinámica, es necesario tener en consideración los siguientes criterios:

4.5.2.1 Ubicación

Es necesario tener consideración de la zona donde es necesario la colocación de cualquier tipo de barrera, ya sea de orilla o separadora, a continuación, se presenta algunas de las consideraciones

4.5.2.1.1 Carreteras

4.5.2.1.1.1 Carreteras con acotamientos

En carreteras con acotamientos, las barreras de orilla de corona se deben ubicar fuera del mismo, en su lado exterior, de manera que ningún elemento de las barreras lo invada, salvo cuando la orilla exterior del acotamiento coincida con el hombro de un talud, en cuyo caso la barrera debe colocarse sobre el acotamiento, siempre y cuando no invada el carril de circulación contiguo, de lo contrario, la barrera se debe colocar en el talud. Si la barrera se coloca sobre el acotamiento, la reducción de su ancho se debe indicar mediante el señalamiento horizontal y vertical de la carretera, prohibiendo, de ser necesario, el estacionamiento en el acotamiento. En el caso en que la barrera se coloque sobre la corona de la carretera, entre el borde exterior de sus postes y el hombro del talud, debe quedar un espacio libre de al menos 50 centímetros y el eje horizontal del elemento de contención de la barrera (viga acanalada de acero, cables de acero u otro material) debe quedar sobre la superficie del acotamiento, a la altura (h) especificada en el diseño de la barrera que se utilice, como se muestra en la siguiente figura:

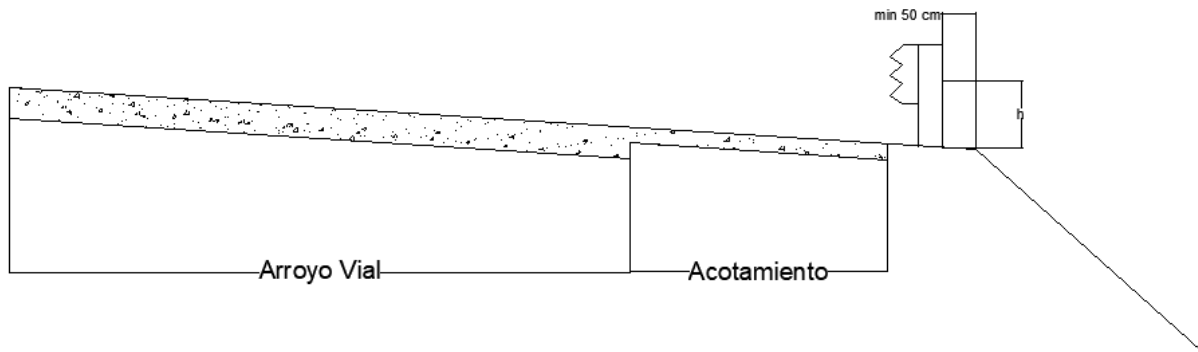


Figura 12. Barrera sobre corona

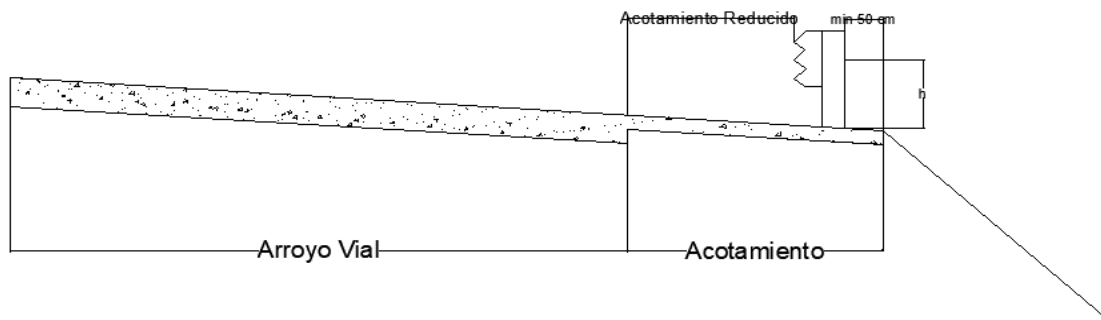


Figura 13. Barrera sobre acotamiento

4.5.2.1.1.2 Carreteras sin acotamientos

En carreteras sin acotamiento, las barreras se deben ubicar lo más lejos posible del arroyo vial. Si se ubican en terraplén o en balcón, se debe procurar que su desplante se haga sobre la corona de forma que quede entre el borde exterior de los postes y el hombro del talud, un espacio libre de al menos 50 centímetros. Cuando el arroyo vial llegue hasta el hombro de un talud, los postes de la barrera podrán colocarse en el talud, a una distancia tal que el borde interior de la barrera coincida con el hombro del talud, en cuyo caso, la longitud de los postes deberá ser la necesaria para que el eje horizontal del elemento de contención de la barrera (viga acanalada de acero, cables de acero u otro material) quede sobre la superficie del arroyo vial, a la altura (h) y que los postes queden a la profundidad efectiva (p) dentro del material compactado, de acuerdo con el diseño y las especificaciones del fabricante de la barrera que se utilice, como se muestra en las siguientes figuras:

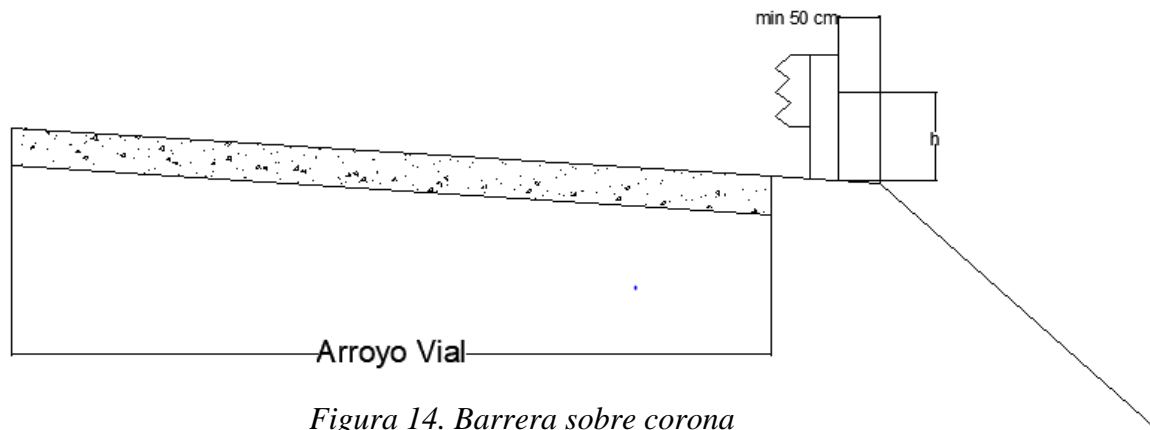


Figura 14. Barrera sobre corona

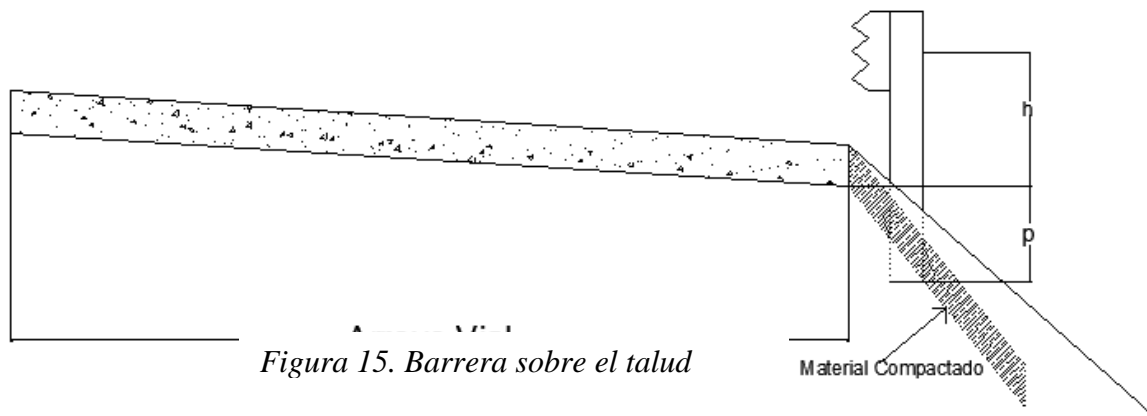


Figura 15. Barrera sobre el talud

4.5.2.1.2 Vialidades Urbanas

En las vialidades urbanas las barreras de orilla de corona se deben ubicar fuera del arroyo vial. Si existen banquetas o camellones con guarnición, las barreras se deben ubicar lo más cerca posible de la orilla de la guarnición, pero de forma que ningún elemento de la barrera invada al arroyo vial.

4.5.2.1.3 Obstáculos laterales

4.5.2.1.3.1 En orilla de la calzada

Cuando se requieran barreras de orilla de corona, por la existencia de obstáculos laterales, entre estos y la barrera debe quedar un espacio equivalente al ancho de trabajo que limita la deflexión dinámica de la barrera.

4.5.2.1.3.2 Al centro de la calzada (camellones de hasta 10 m)

Las barreras separadoras de sentidos de circulación se deben ubicar en las fajas separadoras o en los camellones que tengan un ancho hasta de 10 metros y que separen arroyos viales con sentidos de circulación opuestos o que separen carriles de un mismo sentido de circulación cuando las condiciones geométricas y operacionales así lo requieran. Para fajas o camellones con anchos entre 7 y 10 metros o que separen arroyos viales con distinto nivel de rasante, en lugar de las barreras separadoras de sentidos de circulación, se pueden ubicar a cada lado, barreras de orilla de corona.

4.5.2.1.3.3 Al centro de la calzada (camellones de más de 10 m)

Cuando las fajas separadoras o los camellones tengan un ancho mayor de 10 metros y sus superficies no sean transitables, o cuando contengan obstáculos que representen peligro, se deben ubicar en cada uno de sus lados, barreras de orilla de corona

4.5.2.2 Ancho de trabajo

Una vez definida la ubicación de la barrera de orilla de corona o separadora de sentidos de circulación, se determina su ancho de trabajo, y para ello es necesario tener las siguientes consideraciones:

4.5.2.2.1 Barreras de orilla de corona en balcones

Para las barreras de orilla de corona desplantadas sobre la corona de los terraplenes o balcones, en tangentes o en curvas, se debe considerar un ancho de trabajo máximo de 160 centímetros y no más de 120 centímetros cuando se desplantan en el talud, como se muestra en las siguientes figuras.

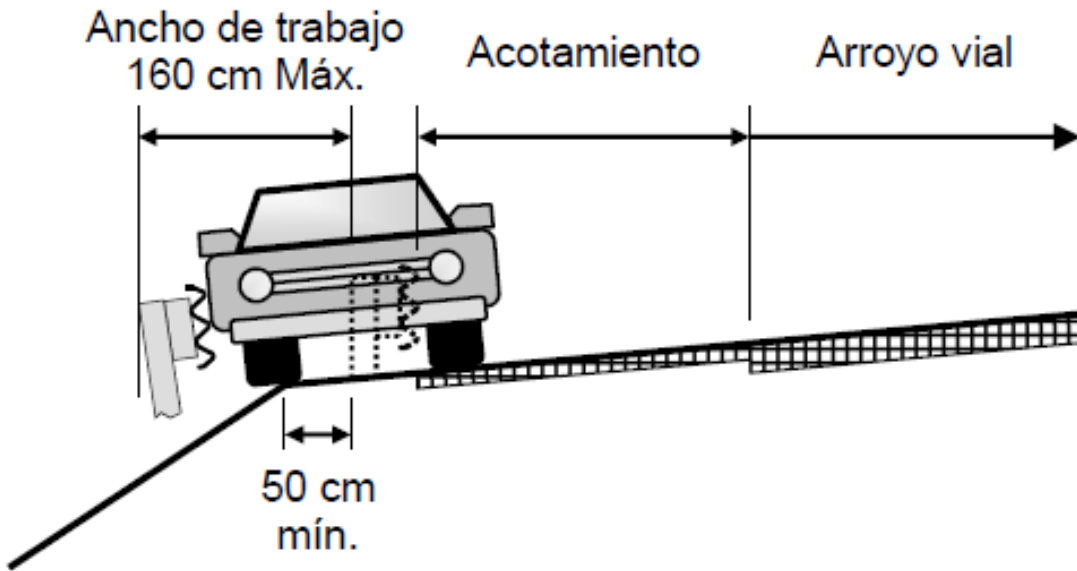


Figura 16. Barrera sobre corona

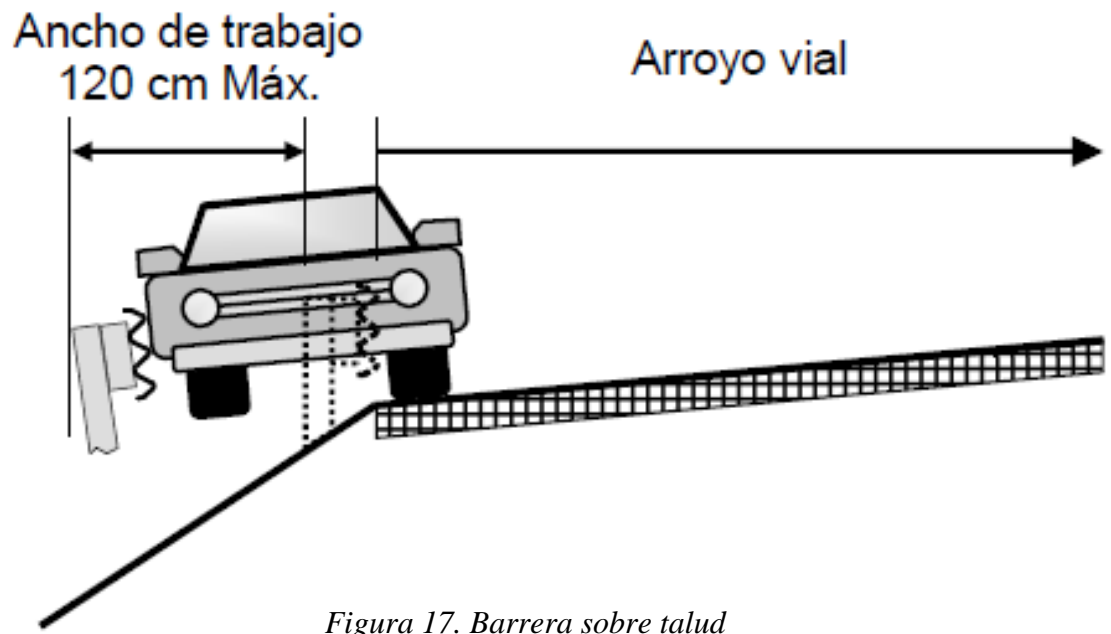


Figura 17. Barrera sobre talud

4.5.2.2 Obstáculos laterales en orillas de calzada

Cuando existan obstáculos laterales que representen peligro, en tangentes o en curvas, el ancho de trabajo máximo de las barreras de orilla de corona, corresponde al espacio libre disponible entre la barrera y el obstáculo, como se muestra en la siguiente figura:

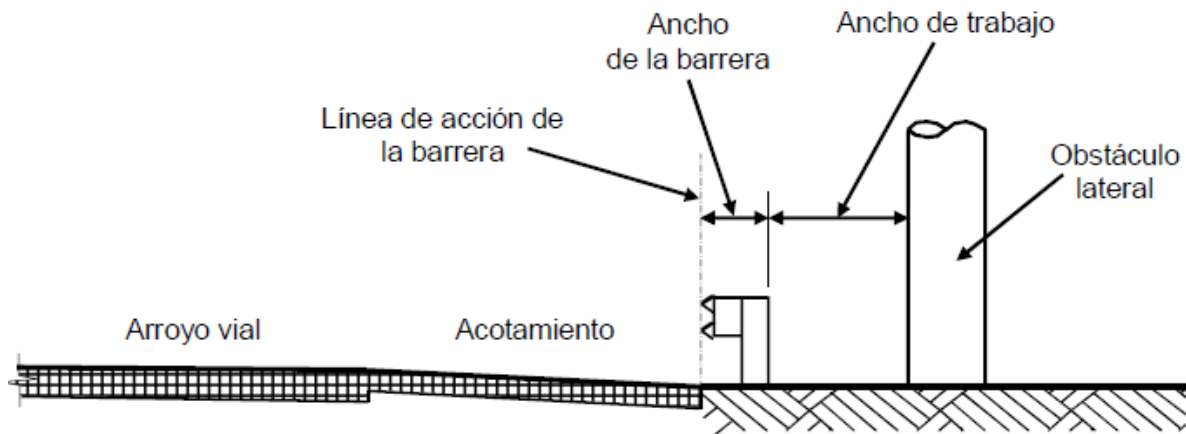


Figura 18. Ancho de trabajo de barreras de orilla de corona para obstáculos laterales

4.5.2.2.3 Obstáculos laterales en orillas de calzada

Para las barreras separadoras de sentidos de circulación, el ancho de trabajo está limitado por el espacio libre disponible entre la barrera y el lado exterior del acotamiento del carril que se desea proteger, como se muestra en la siguiente figura:

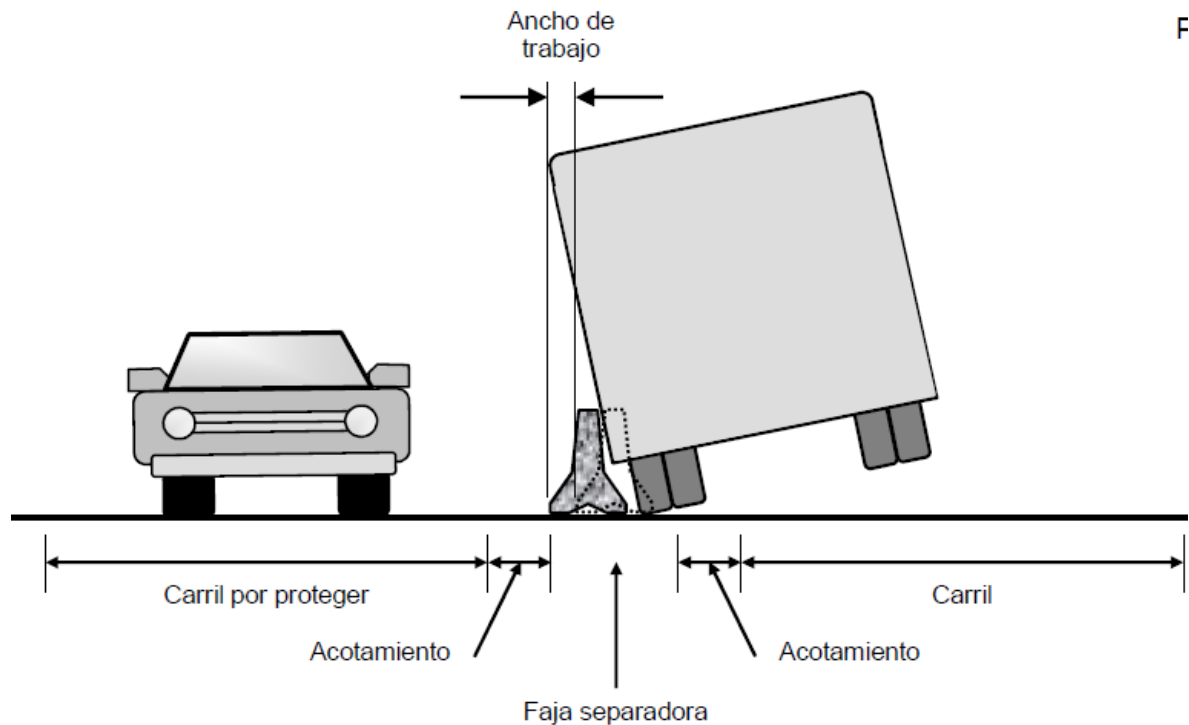


Figura 19. Ancho de trabajo de barreras separadoras de sentidos de circulación

4.5.2.3 Selección de barrera

Una vez determinado el ancho de trabajo, se selecciona una barrera de orilla de corona o separadora de sentidos de circulación del tipo requerido, que satisfaga el nivel de contención determinado como se indica en el apartado 4.5.1 y que tenga una deflexión dinámica igual que el ancho de trabajo o menor. La barrera se debe seleccionar de entre las que se haya certificado, por un laboratorio debidamente acreditado o reconocido por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), que su nivel de contención cumpla con los criterios establecidos en el “*Report 350 Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features*”, de la National Cooperative Highway Research Program (NCHRP)) y del “*Manual for Assessing Safety Hardware (MASH)*”, de la American Association of State Highway and Transportation Officials (ASSHTO). Estos documentos, establecen, con detalle las especificaciones del sistema de barreras aprobado, y, por lo tanto, las únicas que deben ser colocadas.

La Guía de Elementos para Barreras Estándar de Carreteras (A Guide to Standardized Highway Barrier Hardware), es la publicación en donde se encuentran algunas de las barreras que cumplen con estas características.

A continuación, se presentarán algunas de las barreras contenidas en esta guía, y principalmente, las más empleadas en nuestro país:

Designación y tipo de barreras		Nivel de contención	Nivel de prueba (2)	Deflexión dinámica	Barrera		
					Numero (3)	Descripción del sistema	
Barreras de orilla de corona	Flexibles	NC-2	2	220	SGR02 a	Defensa de acero de dos crestas con traslapes en los apoyos, sin separadores, en postes débiles de acero a cada 3,81 m, con placas de cimentación	
					SGR02 b	Defensa de acero de dos crestas con traslapes entre los apoyos, sin separadores, en postes débiles de acero a cada 3,81 m, con placas de cimentación.	
		NC-3	3	220	350	SGR01 a	Tres cables de acero en postes débiles de acero IPR a cada 5 m, con placas de cimentación.
					SGR01 b	Tres cables de acero en postes débiles de acero U a cada 5 m, con placas de cimentación.	
	Semirrígidas	NC-2	2	90	SGR04 a	Defensa de acero de dos crestas con traslapes en los apoyos, con separadores de acero, en postes fuertes de acero a cada 1,91 m.	
					SGR04 b	Defensa de acero de dos crestas con traslapes en los apoyos, con separadores de madera, en postes fuertes de madera a cada 1,91 m.	
		NC-3	3	90	SGR04 c	Defensa de acero de dos crestas con traslapes en los apoyos, con separadores de madera, en postes fuertes de acero a cada 1,91 m.	
					150	SGR03	Tubo de acero de sección cuadrada con uniones entre los apoyos, en postes débiles de acero a cada 1,83 m, con placas de cimentación
	Rígidas	NC-3	3	50	SGR09 a	Defensa de acero de tres crestas con traslapes en los apoyos, con separadores de madera, en postes fuertes de acero a cada 1,91 m.	
					SGR09 b	Defensa de acero de tres crestas con traslapes en los apoyos, con separadores de madera, en postes fuertes de madera a cada 1,91 m.	
					61	SGR05	Defensa de acero de dos crestas con traslapes en los apoyos, con separadores de madera, en postes fuertes de acero a cada 1,91 m, anclados a las losas de alcantarillas.
		NC-4	4	60	SGR09 C	Defensa de acero de tres crestas con traslapes en los apoyos, con separadores modificados de acero, en postes fuertes de acero a cada 1,91 m.	

Tabla 4. Barreras de orilla de corona aprobadas por la Guía de Elementos para Barreras Estándar de Carreteras (A Guide to Standardized Highway Barrier Hardware), que se utilizan con mayor frecuencia

Designación y tipo de barreras		Nivel de contención	Nivel de prueba (2)	Deflexión dinámica	Barrera			
					Numero (3)	Descripción del sistema		
Barreras separadoras de sentido de circulación	Flexibles	NC-2	2	210	SGM02	Defensas de acero de dos crestas con traslapes en los apoyos, sin separadores, en postes débiles de acero a cada 3,81 m, con placas de cimentación		
		NC-3	3	170	SGM03	Tubo de acero de sección cuadrada con uniones entre los apoyos, sobre postes débiles de acero a cada 1,83 m, con placas de cimentación.		
					350	SGM01	Tres cables de acero en postes débiles de acero IPR a cada 4.88 m, con placas de cimentación.	
	Rígidas	NC-3	3	0 - 20	SGM22	Barrera de concreto reforzado movable, de 82 cm de altura.		
					50	SGM09 a	Defensa de acero de tres crestas con traslapes en los apoyos, con separadores de madera, en postes fuertes de acero a cada 1,91 m.	
				60		SGM09 b	Defensa de acero de tres crestas con traslapes en los apoyos, con separadores de madera, en postes fuertes de madera a cada 1,91 m.	
					SGM04 a	Defensa de acero de dos crestas con traslapes en los apoyos, con separadores de madera, en postes fuertes de acero a cada 1,91 m.		
				SGM04 b		Defensa de acero de dos crestas con traslapes en los apoyos, con separadores de madera, en postes fuertes de acero a cada 1,91 m.		
					SGM06 a	Defensas de acero de dos crestas y vigas de acero U, con traslapes en los apoyos, con separadores de madera, en postes fuertes de acero a cada 1,91 m.		
				SGM06 b		Defensas de acero de dos crestas y vigas de acero U, con traslapes en los apoyos, con separadores de madera, en postes fuertes de acero a cada 1,91 m.		
					NC - 4	4	0 - 20	SGM10 a
				SGM11 a				Barrera de concreto reforzado tipo New Jersey de 81 cm de altura.
				50				SGM09 c
				NC - 5	5	0 - 20	SGM10 b	Barrera de concreto reforzado tipo F de 107 cm de altura.
							SGM11 b	Barrera de concreto revisado tipo New Jersey y 107 cm de altura.
	SGM12	Barrera de concreto simple tipo Ontario de 107 cm de altura.						

(2) Nivel de prueba que satisface del Report 350 Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features, National Cooperative Highway Research Program de EUA.

(3) Números que identifican los sistemas de las barreras de protección establecidas en "A Guide to Standardized Highway Barrier Hardware).

Tabla 5. Barreras separadoras de sentidos de circulación aprobadas por la Guía de Elementos para Barreras Estándar de Carreteras (A Guide to Standardized Highway Barrier Hardware), que se utilizan con mayor frecuencia

4.5.2.3.1 Casos especiales

Cuando en un sitio específico la deflexión dinámica de la barrera de orilla de corona o separadora de sentidos de circulación, que se seleccione, sea mayor que el ancho de trabajo disponible, se puede disminuir su deflexión dinámica reduciendo el espacio entre los postes de soporte, siempre y cuando se certifique por un laboratorio debidamente acreditado o reconocido por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, que la nueva configuración cumple con el nivel de contención requerido, conforme al “Report 350 Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features” o al “Manual for Assessing Safety Hardware [MASH]”.

Para un buen desempeño de las barreras de orilla de corona y separadoras de sentidos de circulación, se debe respetar la interacción entre los postes y el suelo. Las barreras semirrígidas y rígidas pueden no funcionar adecuadamente si los postes están ahogados en concreto por lo que estos se deben hincar en el suelo por medios mecánicos, salvo que el detalle o las especificaciones del sistema de barrera aprobado, contenido en el certificado de cumplimiento, indique lo contrario. Las barreras flexibles pueden contar con postes ahogados en concreto o pueden ser hincados en el suelo por medios mecánicos, según lo indique el detalle o las especificaciones del sistema de barrera aprobado, contenido en el certificado de cumplimiento.

4.6 Emplazamiento

4.6.1 Emplazamiento de barreras de orilla de corona

4.6.1.1 Emplazamiento lateral de las barreras de orilla

El emplazamiento lateral las barreras de orilla de corona requiere considerar la distancia entre el arroyo vial y la barrera, la pendiente transversal y el ángulo entre la Barrera y el camino:

4.6.1.1.1 Distancia de la orilla del arroyo vial a la barrera de orilla de corona

Para la determinación de la distancia lateral de la barrera a la orilla del arroyo vial se debe considerar lo siguiente:

- Una barrera de orilla de corona instalada lo más lejos posible del arroyo vial brinda mejores oportunidades al conductor de un vehículo errante de retomar su control y evitar un accidente grave; además de que se aumenta la distancia de visibilidad,

especialmente al aproximarse a una intersección o en curvas horizontales. Siempre que sea posible esta distancia debe ser uniforme a lo largo de la carretera o vialidad.

- Instalar barreras de orilla de corona excesivamente lejos del arroyo vial, puede resultar en mayores ángulos de impacto, con lo que se reduce el nivel de contención deseado o se incrementa la deflexión dinámica de la barrera con respecto a la requerida.
- La distancia desde el borde del arroyo vial, más allá de la cual una barrera de orilla de corona o separadora de sentidos de circulación no es percibida como un obstáculo y no ocasiona que el conductor de un vehículo reduzca la velocidad o cambie de carril, se conoce como distancia de cautela, la que debe estar dentro de los rangos que se indican en la siguiente tabla, en función del número de carriles de un mismo sentido de circulación y de la velocidad de operación.

Número de carriles en un sentido de circulación	Velocidad de operación km/h			
	≤50	60 - 70	80 - 100	≥110
	Distancia de cautela mínima, m			
1	0.5	1.5	2.0	2.5
2	0.5	1.5	2.0	2.5
3	0.5	0.5	2.0	2.5

Tabla 6. Distancias de cautela mínima para el emplazamiento lateral de barreras de orilla de corona

Nota: El área comprendida dentro de la distancia de cautela, debe ser sensiblemente plana, con una pendiente transversal no mayor de 10%, sin escalones y estar libre de obstáculos laterales como cunetas o bordillos, entre otros.

4.6.1.1.2 Pendiente transversal

A fin de asegurar el correcto desempeño de la barrera durante un impacto, se requiere que la superficie entre el arroyo vial y la barrera sea uniforme, con una pendiente transversal no mayor de 10 por ciento, sin escalones, cunetas o bordillos, entre otros. En terraplenes de reciente construcción en los que sea necesaria la construcción de un bordillo, éste se colocará en el hombro del terraplén, atrás de la barrera, como se muestra en la siguiente figura.

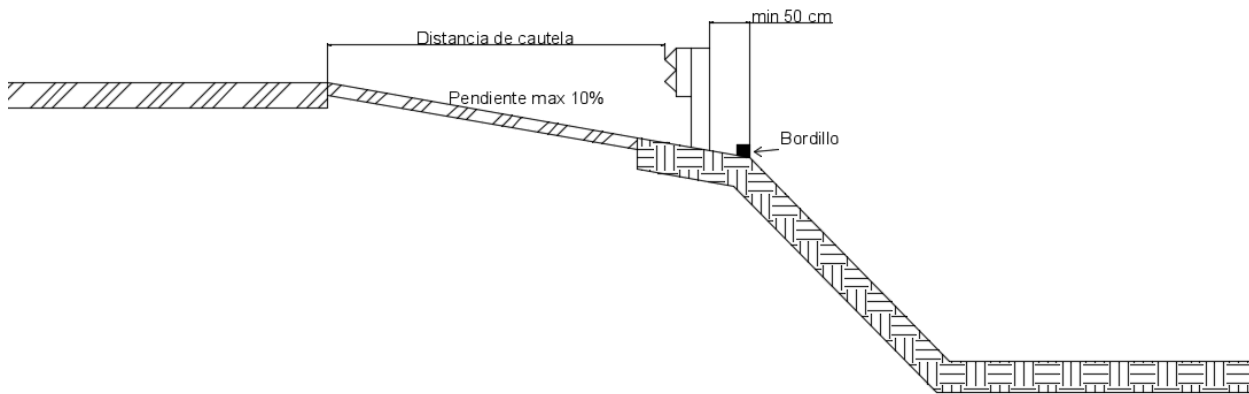


Figura 20. Pendiente transversal dentro de la distancia de cautela

4.6.1.1.3 Esviaje de las barreras de orilla de corona

Una barrera de orilla de corona se considera esviada cuando no es paralela al borde del arroyo vial, como se muestra en la siguiente figura, lo que se puede hacer al inicio de la barrera para disminuir su longitud, así como la percepción de angostamiento del arroyo vial. Cabe mencionar que, para barreras de orilla de corona flexibles, no se recomienda el esviaje, salvo en el caso de que las barreras sean de cables, en las que el esviaje máximo será de aproximadamente 30:1.

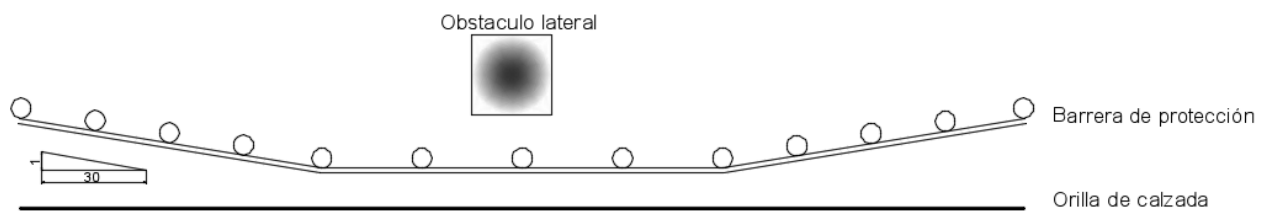


Figura 21. Esviaje en barreras de orilla

Los valores de esviaje máximo para barreras de orilla de corona semirrígidas y rígidas se muestran en la tabla siguiente, en función de la velocidad de operación.

Velocidad de operación km/h	Esviaje máximo de barreras de orilla de corona	
	Semirrígidas	Rígidas
≥110	15:1	20:1
100	14:1	18:1
90	12:1	16:1
80	11:1	14:1
70	10:1	12:1
60	8:1	10:1
50	7:1	8:1

Tabla 7. Esviaje máximo para el diseño de barreras de orilla de corona

4.6.1.2 Emplazamiento longitudinal de las barreras de orilla de corona

El emplazamiento longitudinal de las barreras de orilla de corona comprende la determinación de la longitud de barrera necesaria para evitar que un vehículo fuera de control salga a una superficie no transitable o impacte contra un obstáculo lateral.

4.6.1.2.1 Determinación de la longitud necesaria de barreras de orilla de corona en terraplenes

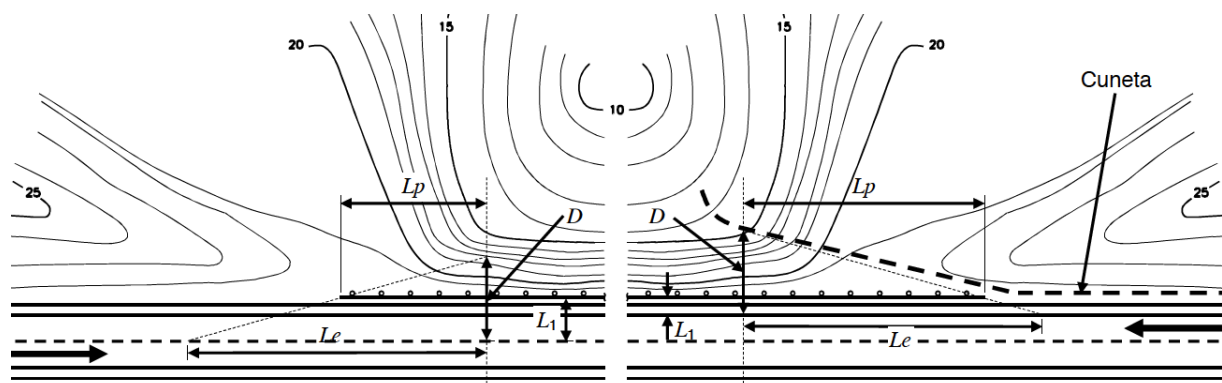


Figura 22. Longitud previa mínima necesaria de barreras de orilla de corona para terraplenes

La longitud de barrera de orilla de corona, necesaria para que un vehículo fuera de control no salga hacia el talud de un terraplén no transitable, se determina de la siguiente manera:

1. Se determina la sección transversal "C" del arroyo vial, donde, por la altura y pendiente del talud del terraplén, se inicie el requerimiento de la barrera, para ello se recomienda el uso de la figura 11

2. Sobre la sección transversal “C” se mide la distancia horizontal “D” entre el borde del carril de circulación y el pie del talud o, en su caso, el borde exterior de la cuneta. Si esta distancia resulta mayor de 9 metros, se considera igual a dicho límite.
3. Haciendo uso de la siguiente tabla, se determina la longitud de escape (Le), en el sentido del flujo vehicular hasta la sección transversal “C”, en función del tránsito diario promedio anual esperado y de la velocidad de operación.

Velocidad de operación km/h	C			
	TDPA			
	< 800	800 - 2000	2000 - 6000	>6000
≥110	109	118	134	143
100	103	109	125	133
90	89	98	109	114
80	74	79	91	100
70	58	63	71	77
60	48	53	59	65
50	41	47	52	53

Tabla 8. Longitud de escape (m)

4. Con la siguiente expresión se calcula la longitud previa mínima (Lp) necesaria, la que debe ser siempre mayor de 10 metros o igual:

$$Lp = Le * \left(1 - \frac{L_1}{D}\right)$$

donde:

Lp: Longitud previa mínima de la barrera, en el sentido del flujo vehicular hasta la sección transversal “C” del arroyo vial, m.

D: Distancia horizontal en la sección transversal “C”, entre el borde del carril de circulación y el pie del talud o, en su caso, el borde exterior de la cuneta, m.

Le: Longitud de escape en función del tránsito diario promedio anual esperado y de la velocidad de operación, m.

L₁: Distancia en la sección transversal “C”, del interior de la barrera al borde del carril, (m)

5. Cuando la carretera o vialidad urbana sea de cuerpos separados, o de dos o más carriles por sentido de circulación con barrera separadora de sentidos de circulación, la longitud posterior de la barrera de orilla de corona debe ser como mínimo de 10 metros, a partir de la sección transversal del arroyo vial, donde, por la altura y pendiente del talud del terraplén, concluya el requerimiento de la barrera.

4.6.1.2.2 Determinación de la longitud necesaria de barreras de orilla de corona en curvas horizontales circulares o circulares con espirales

La longitud de barrera de orilla de corona, necesaria para que un vehículo fuera de control no salga hacia una superficie no transitable en una curva horizontal circular o circular con espirales, corresponde a la longitud desde la sección transversal donde inicie la curva hasta la sección transversal donde empiece la tangente, en el sentido del flujo vehicular, más las longitudes previa y posterior requeridas para cubrir completamente la situación de riesgo, sin considerar la longitud adicional que proveen las secciones extremas de la barrera.

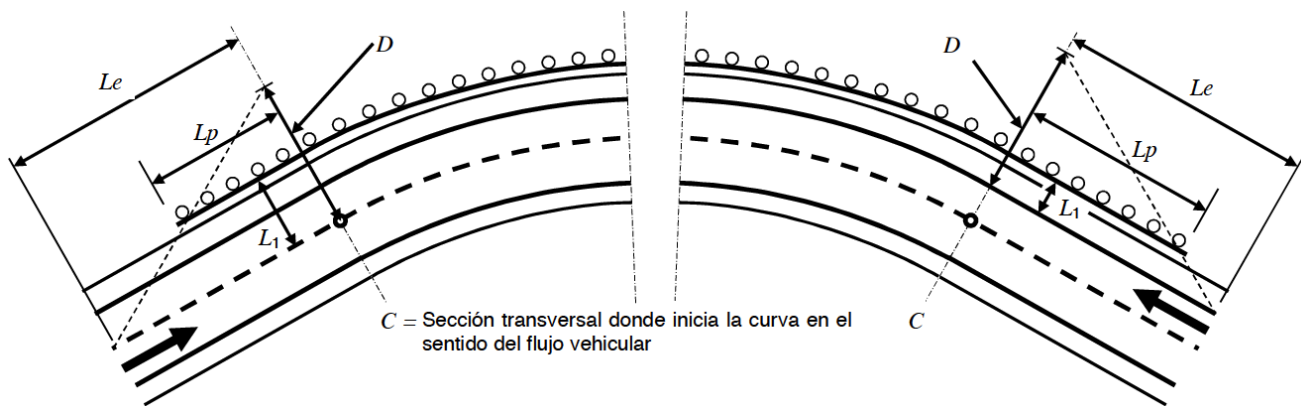


Figura 23. Longitud previa mínima necesaria de barreras de orilla de corona para curvas horizontales, circulares o espirales (L_p)

- Se determina la sección transversal "C" del arroyo vial, donde inicie la curva en el sentido del flujo vehicular, en los puntos denominados "Principia Curva" (PC) y "Principia Tangente" (PT) si la curva es circular, o "Tangente Espiral" (TE) y "Espiral Tangente" (ET) si la curva es circular con espirales.
- Sobre la sección transversal "C" se establece una distancia horizontal "D" de 9 metros a partir del borde del carril de circulación.
- Mediante el uso de la *tabla 8* se determina la longitud de escape, sección transversal "C", en función del tránsito diario promedio anual esperado y de la velocidad de en el sentido del flujo vehicular hasta la sección transversal "C", en función del tránsito diario promedio anual esperado y de la velocidad de operación.
- Mediante la siguiente ecuación se calcula la longitud previa mínima (L_p) necesaria, buscando que sea mayor o igual a 10 metros.

$$L_p = L_e * \left(1 - \frac{L_1}{9}\right)$$

donde:

L_p: Longitud previa mínima de la barrera, en el sentido del flujo vehicular hasta la sección transversal "C" del arroyo vial donde se inicia la curva, m.

L_e: Longitud de escape, m.

L₁: Distancia en la sección transversal "C", del interior de la barrera al borde del carril, m.

- e) Cuando la carretera o vialidad urbana sea de cuerpos separados, o de dos o más carriles por sentido de circulación con barrera separadora de sentidos de circulación, la longitud posterior de la barrera de orilla de corona debe ser como mínimo de 10 metros, a partir de la sección transversal del arroyo vial, donde termine la curva en el sentido del flujo vehicular.

4.6.1.2.3 Determinación de la longitud necesaria de barreras de orilla de corona por obstáculos laterales

La longitud de barrera de orilla de corona, necesaria para evitar que un vehículo fuera de control impacte en un obstáculo lateral que se encuentre dentro de una franja de 9 metros de ancho, adyacente al arroyo vial, corresponde a la longitud del obstáculo en el sentido del flujo vehicular, más las longitudes previa y posterior requeridas para cubrir completamente la situación de riesgo, sin considerar las longitudes adicionales que proveen las secciones extremas de la barrera. La longitud total de barrera de orilla de corona debe ser mayor de 40 metros o igual.

a) Longitud previa en tangentes

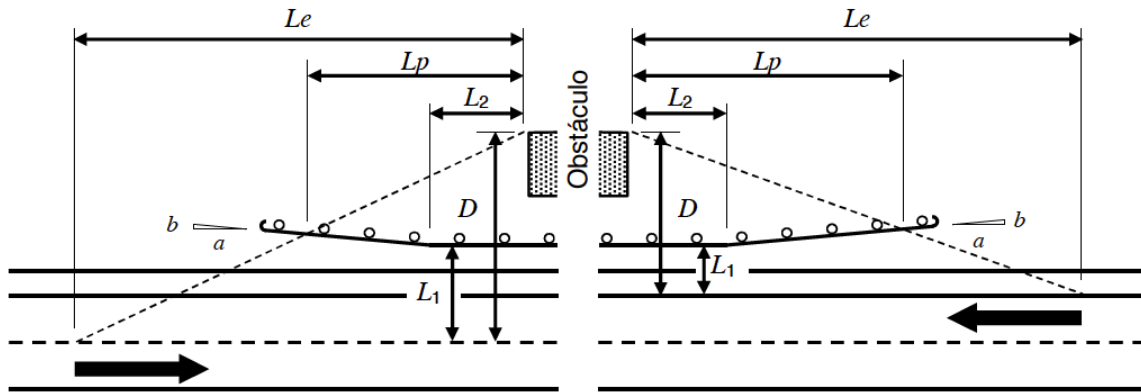


Figura 24. Longitud previa mínima necesaria de barreras de orilla de corona para obstáculos en tangentes (L_p)

La longitud previa mínima (L_p) necesaria de la barrera de orilla de corona en una tangente, que debe ser siempre mayor de 10 metros o igual, se determina mediante la siguiente expresión.

$$L_p = \frac{D + L_2 * \left(\frac{b}{a}\right) - L_1}{\left(\frac{b}{a}\right) + \frac{D}{L_e}}$$

donde:

L_p : Longitud previa mínima de la barrera, en el sentido del flujo vehicular hasta el borde anterior del obstáculo, m.

D : Distancia entre el borde del carril de circulación y el borde más alejado del obstáculo, m. Si esta distancia resulta mayor de 9 m, se considera igual a dicho límite.

L_e : Longitud de escape que se indica en la *Tabla 8*, en el sentido del flujo vehicular hasta el borde anterior del obstáculo, m.

L_1 : Distancia del interior de la barrera en la zona del obstáculo al borde del carril, m.

L_2 : Longitud de la barrera paralela al arroyo vial, propuesta por el proyectista, pero nunca mayor que L_e , en el sentido del flujo vehicular hasta el borde anterior del obstáculo, m.

b/a : Esviaje de la barrera, de acuerdo con lo indicado en la *Tabla 7*, m.

b) Longitud previa en curvas horizontales circulares

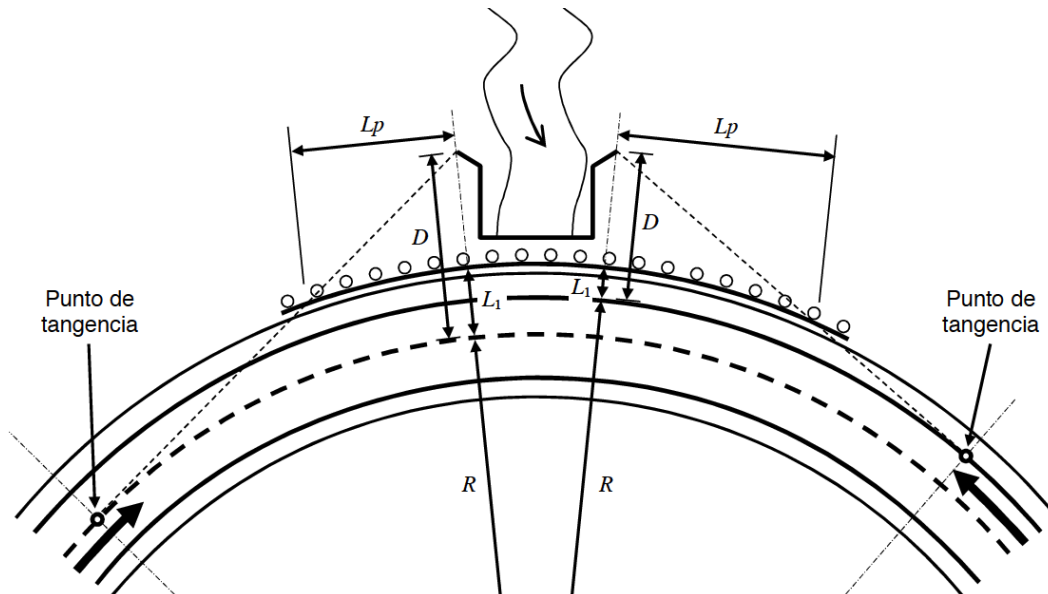


Figura 25. Longitud previa mínima de barreras de orilla de corona para obstáculos en curvas horizontales circulares (L_p)

La longitud previa mínima (L_p) necesaria de la barrera de orilla de corona en una curva horizontal, que debe ser siempre mayor de 10 metros o igual, se determina mediante la siguiente expresión:

$$L_p = \frac{R \left(((R + D)^2 - R^2)^{\frac{1}{2}} - ((R + L_1)^2 - R^2)^{\frac{1}{2}} \right)}{R + D}$$

donde:

L_p : Longitud previa mínima de la barrera, en el sentido del flujo vehicular hasta el borde anterior del obstáculo, m.

D : Distancia entre el borde del carril de circulación y el borde más alejado del obstáculo, m. Si esta distancia resulta mayor de 9 m, se considera igual a dicho límite.

L_1 : Distancia del interior de la barrera en la zona del obstáculo al borde del carril, m.

R : Radio del borde exterior del carril de circulación cercano a la barrera, m.

c) Longitud previa en curvas horizontales espirales

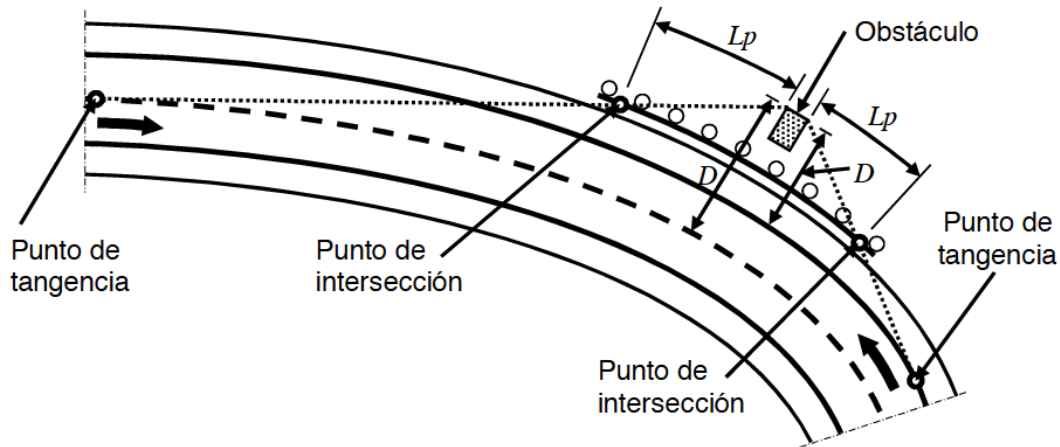


Figura 26. Longitud previa mínima de barreras de orilla de corona para obstáculos en curvas espirales (L_p)

La longitud previa mínima (L_p) necesaria de la barrera de orilla de corona en una curva espiral, que debe ser siempre mayor de 10 metros o igual, se determina gráficamente o en el campo mediante el siguiente procedimiento:

1. En el borde anterior del obstáculo en el sentido del flujo vehicular se selecciona el punto más alejado del borde del carril de circulación. Si la distancia "D" entre ese punto y el borde del carril es mayor de 9 metros, el punto se ubica a esta última distancia.
2. Desde el punto seleccionado se traza en sentido opuesto al del flujo vehicular, una tangente al borde del carril.
3. La longitud previa mínima (L_p) de la barrera es la que resulta desde el punto de la intersección de su trayectoria con la tangente trazada, hasta la sección transversal correspondiente al borde anterior del obstáculo, en el sentido del flujo vehicular.

d) Longitud posterior

Cuando la carretera o vialidad urbana sea de cuerpos separados, o de dos o más carriles por sentido de circulación con barrera separadora de sentidos de circulación, la longitud posterior de la barrera de orilla de corona debe ser como mínimo de 10 metros a partir del borde posterior del obstáculo, en el sentido del flujo vehicular.

4.6.1.2.4 Determinación de la longitud necesaria de barreras de orilla de corona en casos especiales

La longitud de barrera de orilla de corona, necesaria para evitar que un vehículo fuera de control pueda dañar a peatones o ciclistas en zonas donde estos convivan de forma habitual con el tránsito vehicular de la carretera o de la vialidad urbana, se debe determinar mediante un estudio de ingeniería de tránsito para cada caso especial, considerando que deben incluirse las longitudes previa y posterior requeridas para cubrir completamente la situación de riesgo, mismas que deben ser siempre mayores de 10 metros o iguales, sin incluir las longitudes adicionales que proveen las secciones extremas de la barrera.

34.6.1.2.5 Secciones extremas de barreras de orilla de corona

En el caso de que algún extremo de la barrera de orilla de corona, incluyendo sus longitudes previa y posterior, quede a corta distancia de un talud de corte sin irregularidades, la barrera se prolongará de forma que se traslape con el corte por lo menos 10 metros, en cuyo caso las secciones extremas se deben seleccionar y diseñar según lo establecido en criterios que se explicaran más adelante.

4.6.1.2.6 Conexiones entre barreras de orilla de corona

Se debe proceder a la conexión de barreras de orilla de corona cuando la distancia entre sus extremos contiguos sea igual o menor que la indicada en la siguiente Tabla, tomando en cuenta el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) esperado y la velocidad de operación, excepto cuando exista la presencia de accesos, paraderos, cruces peatonales o cortes sin irregularidades, entre otras.

Transito Diario Promedio Anual (TDPA)	Velocidad de operación km/h	Distancia de conexión entre sistemas m
≤7500	≤80	40
	>80	80
>7500	≤80	60

Tabla 9. Distancia justificante de conexión entre sistemas

Cuando las barreras por conectar sean iguales, sus extremos contiguos se deben prolongar hasta que se unan formando una sola barrera, de lo contrario, la conexión se hará mediante una barrera de transición, como se plantea en los siguientes capítulos.

4.6.2 Emplazamiento de barreras separadoras de sentidos de circulación

4.6.2.1 Emplazamiento lateral de barreras separadoras de sentidos de circulación

El emplazamiento lateral de las barreras separadoras de sentidos de circulación requiere considerar la configuración transversal de la faja separadora o del camellón, así como el ancho de trabajo disponible, tomando en cuenta lo siguiente:

4.6.2.1.1 Faja separadora con superficie plana

Si la faja separadora o el camellón tiene una superficie sensiblemente plana, con pendientes transversales no mayores de 10 por ciento, sin desniveles que produzcan una guía forzada de las ruedas del vehículo sin control y sin obstáculos tales como bordillos, cunetas o similares, entre el borde del arroyo vial y la barrera, ésta se debe emplazar al centro de la faja o camellón, como se muestra en las siguientes figuras.

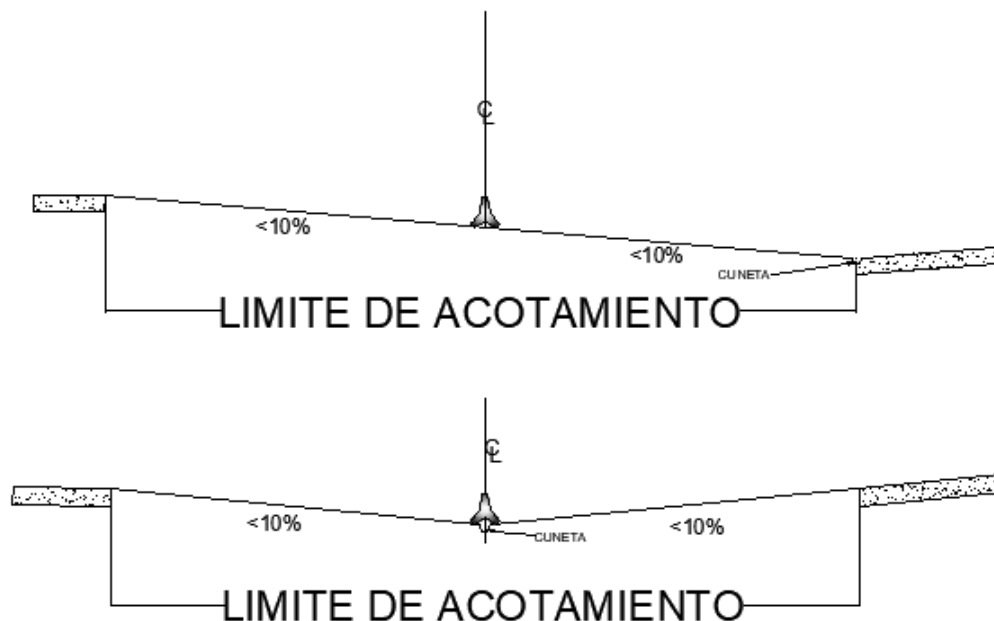


Figura 27. Emplazamiento lateral de barreras separadoras de sentidos de circulación en fajas o camellones con pendientes transversales máximas de 10% por ciento, sin obstáculos,

4.6.2.1.2 Faja separadora con superficie con pendiente de entre 10% y 33.3%

Si la faja separadora o el camellón tiene una superficie con una pendiente transversal de entre 10 % a 33.3 %, y sin obstáculos tales como bordillos, cunetas o similares, entre el borde del arroyo vial y la barrera, esta se debe emplazar en el lado más alto de la faja separadora o camellón.

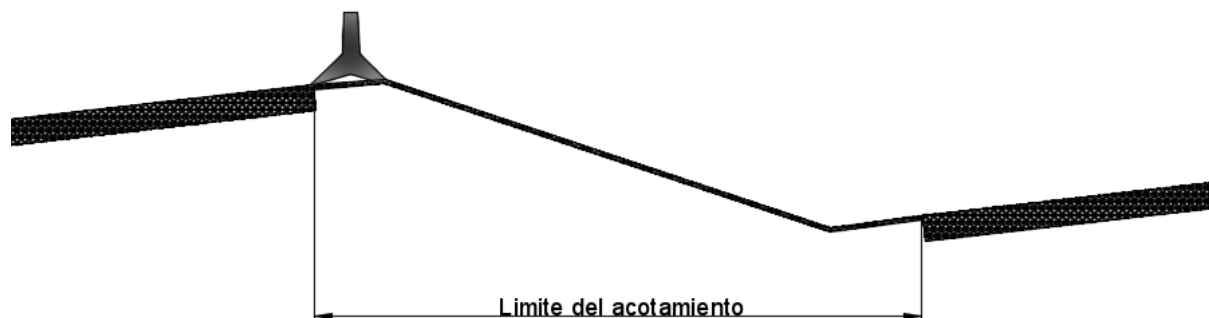


Figura 28. Emplazamiento lateral de barreras separadoras de sentidos de circulación en fajas o camellones con pendientes transversales entre 33,3 % y 10% por ciento, sin obstáculos

Si la faja separadora o el camellón tiene una superficie con una pendiente mayor a 33.3 %, o exista obstáculo que representen peligro, en lugar de las barreras separadoras, se emplearán de orilla de corona.

4.6.2.2 Emplazamiento longitudinal de las barreras separadoras de sentidos de circulación

Las barreras separadoras de sentidos de circulación se deben emplazar a todo lo largo de las fajas separadoras o los camellones que la requieran, considerando que en sus extremos se deben colocar sus secciones de amortiguamiento.

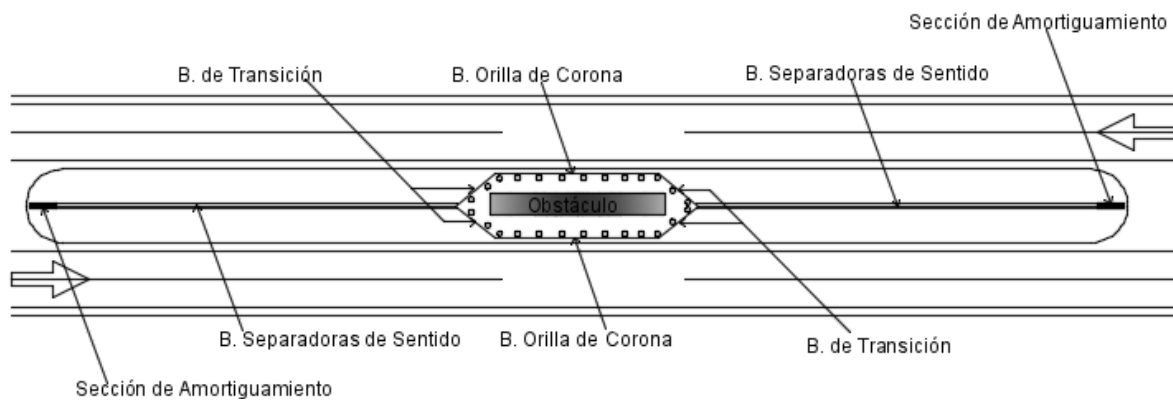


Figura 29. Emplazamiento longitudinal de barreras separadoras de sentidos de circulación

Si en algún tramo de la faja separadora o del camello se requieren barreras de orilla de corona, como lo explicado anteriormente, se usará una barrera de transición, considerando el esviaje máximo indicada en la *tabla 7*, tomando en cuenta la velocidad de operación. Las secciones extremas de las barreras separadoras de sentido de circulación, deben tener características de amortiguamiento, explicadas más adelante.

4.7 Instalación

Las barreras de orilla de corona o separadoras de sentidos que son seleccionadas, deben ser instaladas de acuerdo a especificaciones del fabricante, sin embargo, deben considerarse los siguientes aspectos:

4.7.1 Postes

Para aquellas barreras que hagan uso de postes, es necesario que estos sean hincados en el terreno o insertados en una excavación, según sea requerido en las especificaciones del fabricante.

4.7.2 Traslapes

Cuando las barreras de orilla de corona o separadoras de sentidos de circulación estén integradas con elementos de contención que se traslapen, como vigas acanaladas de acero o vigas de acero en “U”, los separadores deben fijar a los postes, considerando las especificaciones del sistema de barrera aprobada.

Los traslapes deben colocarse en sentido contrario al tránsito del carril más próximo a la barrera, de manera que el traslape cubra la fijación del tramo anterior, buscan que las

perforaciones de ambos elementos de la barrera coincidan, como se muestra en la siguiente figura.

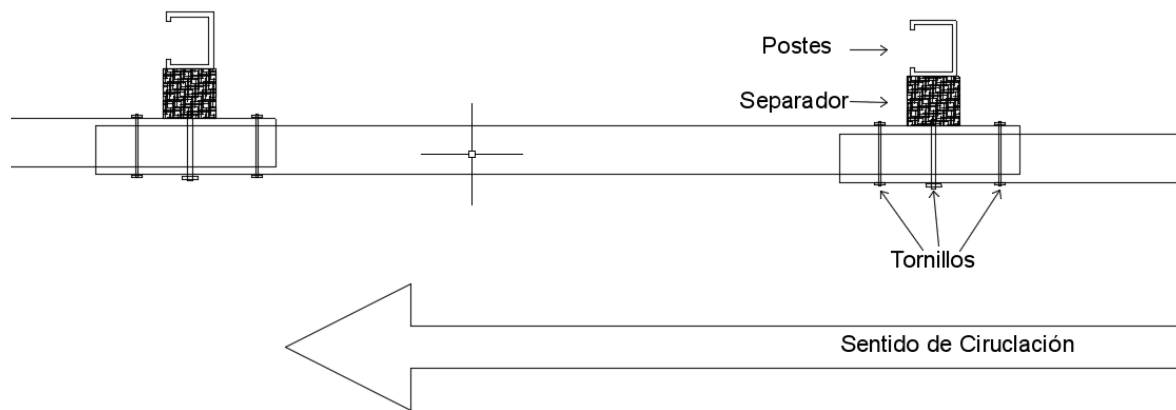


Figura 30. Traslapes en vigas acanaladas

4.8 Barreras de Transición

Se deben utilizar barreras de transición cuando se requiera conectar dos barreras, ya sean de orilla de corona o separadoras de sentidos de circulación, que tengan niveles de contención o deflexiones dinámicas diferente, o conectar las barreras con los parapetos de puentes o estructuras similares.

La barrera de transición debe proveer un cambio gradual de rigidez, es decir, del nivel de contención y de la deflexión dinámica, capaz de evitar la deformación exagerada por el impacto de un vehículo, o el impacto de los vehículos en los elementos rígidos de las estructuras, con la consecuente desaceleración excesiva o la penetración de las barreras en los vehículos impactados a lo largo de la transición.

Cada transición está en función de las características específicas de las barreras por unir, y para ello se considera los siguientes aspectos:

4.8.1 Longitud de transición

La transición se hará gradualmente aumentando la rigidez de la barrera en la aproximación al elemento más rígido, en un largo de 10 a 12 veces la diferencia entre las deflexiones normales de ambos elementos. Esto se puede lograr mediante una combinación de las siguientes acciones: disminuir gradualmente el espaciamiento entre postes, aumentar la sección de los postes y reforzar la sección de la viga acanalada de dos o tres crestas,

sobreponiendo dos vigas acanaladas adicionales, una adelante de la otra o usando vigas acanaladas de mayor espesor. Todos los elementos de la barrera de transición tendrán un diseño que evite el impacto vehicular en postes u otros elementos del sistema.

4.8.2 Conexiones

Las conexiones entre las barreras serán tan resistentes a un impacto como la barrera de aproximación, para lo que se requiere que los tornillos de conexión atraviesen completamente ambos sistemas. Cuando la conexión se haga con un elemento de concreto, mampostería u otro material muy rígido, se deben usar zapatas de conexión especiales, como las mostradas en las siguientes figuras, así como de placas de distribución de carga detrás del elemento de concreto, para repartir las cargas adecuadamente.



Figura 31. Vista de planta de una conexión

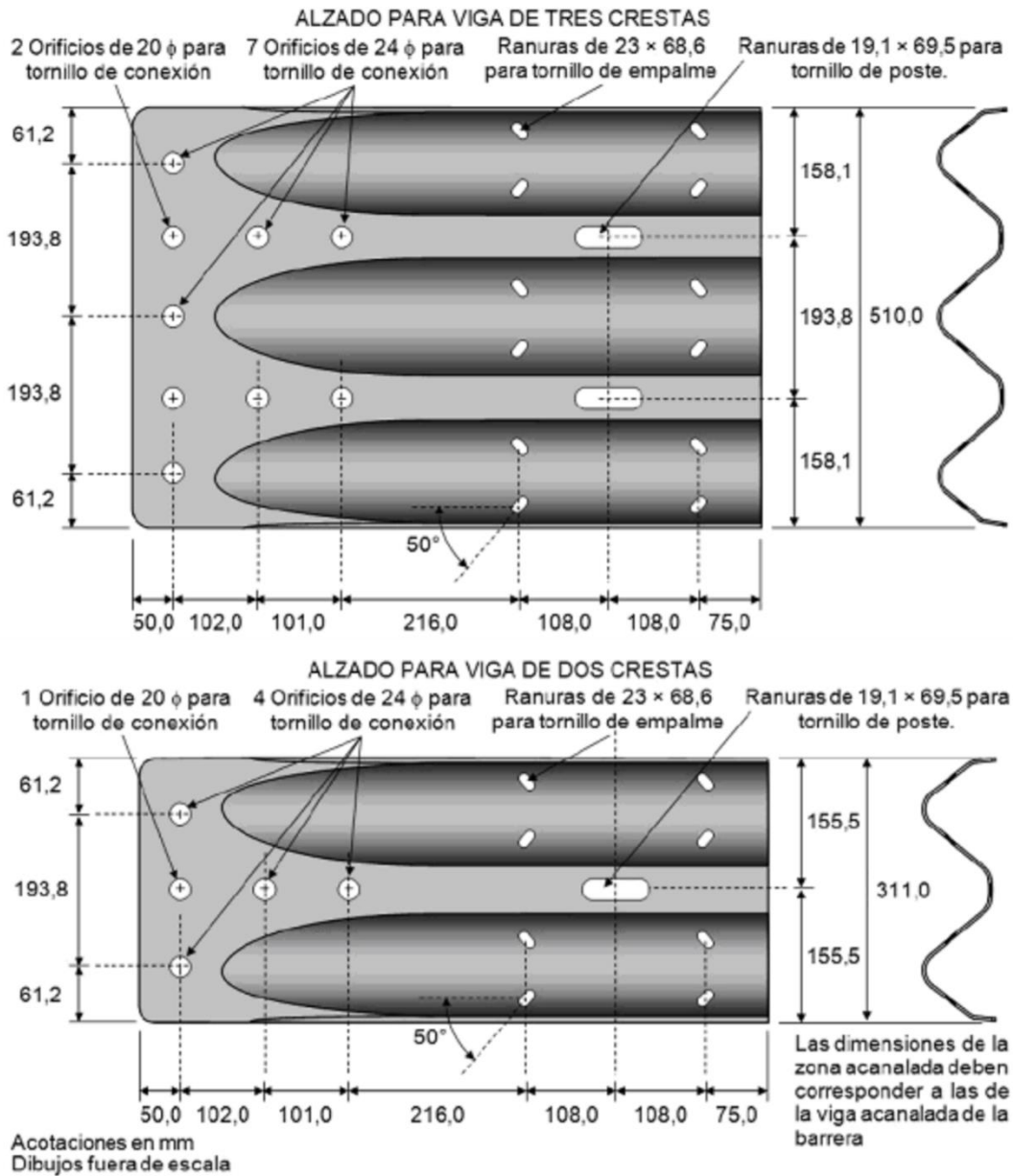


Figura 32. Vista horizontal de conexión de 2 y 3 crestas

4.8.3 Sección de transición

Las secciones de transición que se utilicen para unir un tramo de barrera de acero con vigas acanaladas de dos crestas con otro tramo con vigas acanaladas de tres crestas, o viceversa, tendrán en uno de sus extremos la misma sección transversal que la de las vigas de dos crestas y, en el otro, la de las vigas de tres crestas, como se muestra en la figura 33. Cuando sea necesario pasar de una barrera de acero de dos crestas a un elemento muy rígido, la transición será una barrera de acero de tres crestas unida a la de

dos mediante una sección de transición, como se muestra en la figura 34.

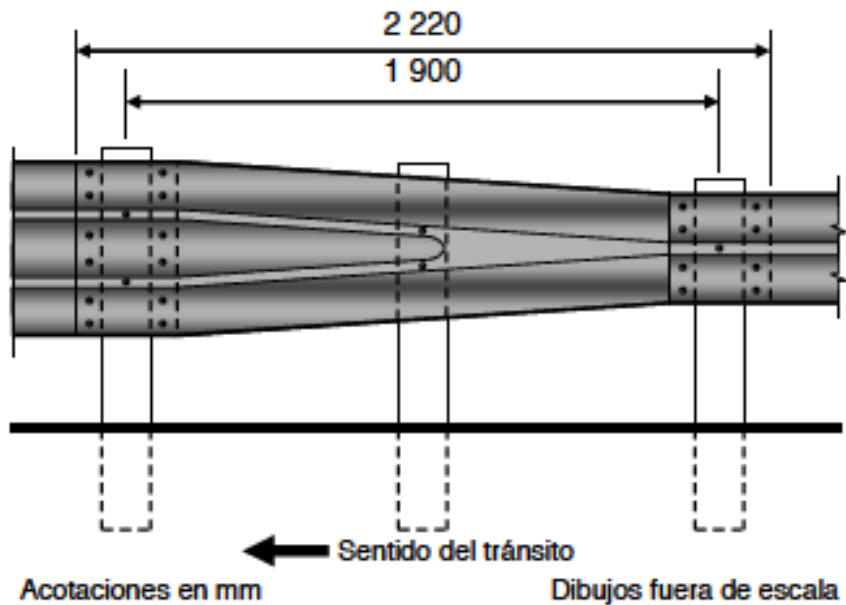


Figura 33. Sección de transición para unir vigas acanaladas de dos y de tres crestas

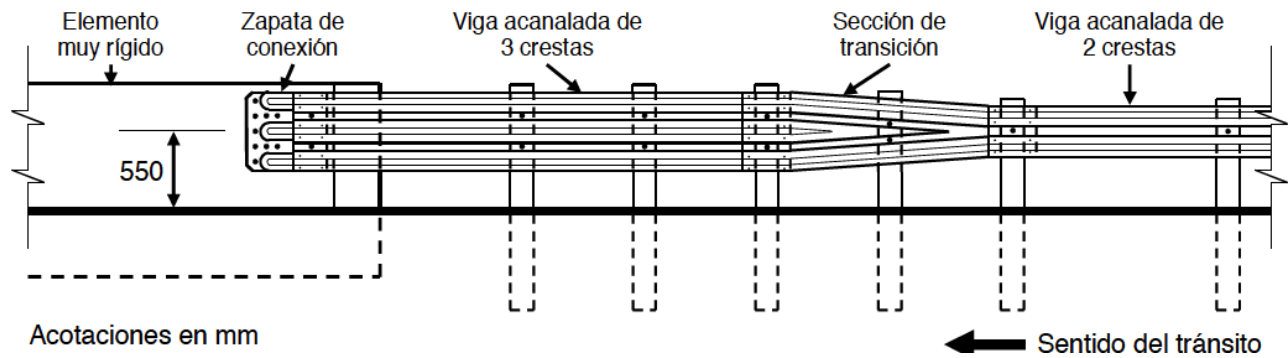


Figura 34. Transición de barrera metálica de dos a tres crestas y a muro vertical recto

4.8.4 Doble Banda

En ciertos casos con el fin evitar el impacto vehicular en postes u otros elementos del sistema no capaces de soportar, es recomendable el uso de una viga acanalada adicional colocada debajo de la normal.

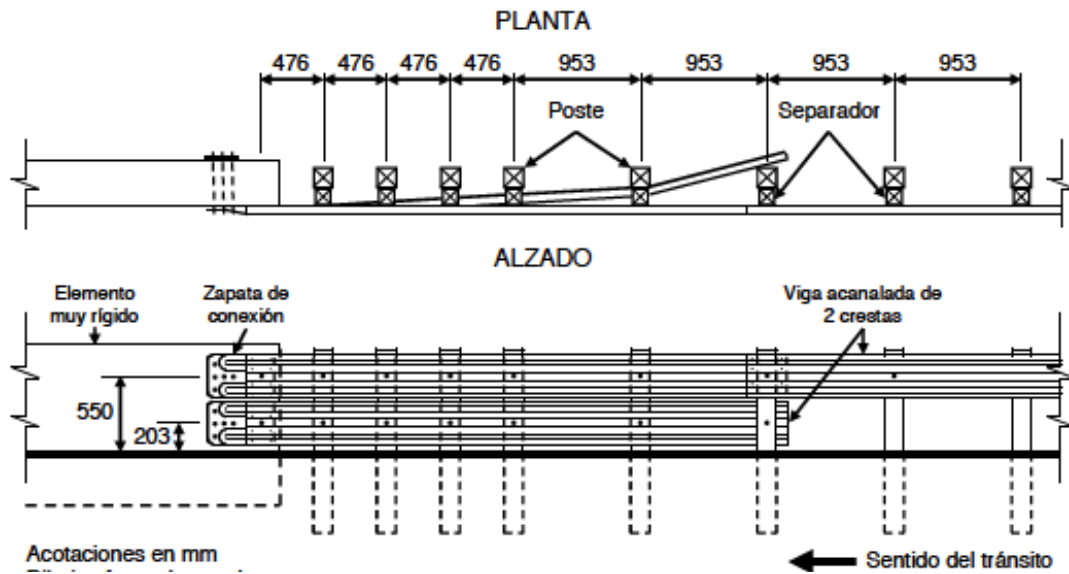


Figura 35. Transición de barrera metálica de doble banda a muro vertical recto

4.8.5 Transición de barreras flexibles de cable de acero

Cuando se requiera pasar de una barrera flexible de cables de acero a otra barrera que tenga nivel de contención mayor o deflexión dinámica menor, la transición se debe hacer mediante una barrera de acero con vigas acanaladas de dos o tres crestas, traslapada a la de cables en una longitud que comprenda toda la terminal de la barrera de cables más 7.5 metros, de forma que ambas barreras trabajen independientemente en este tramo.

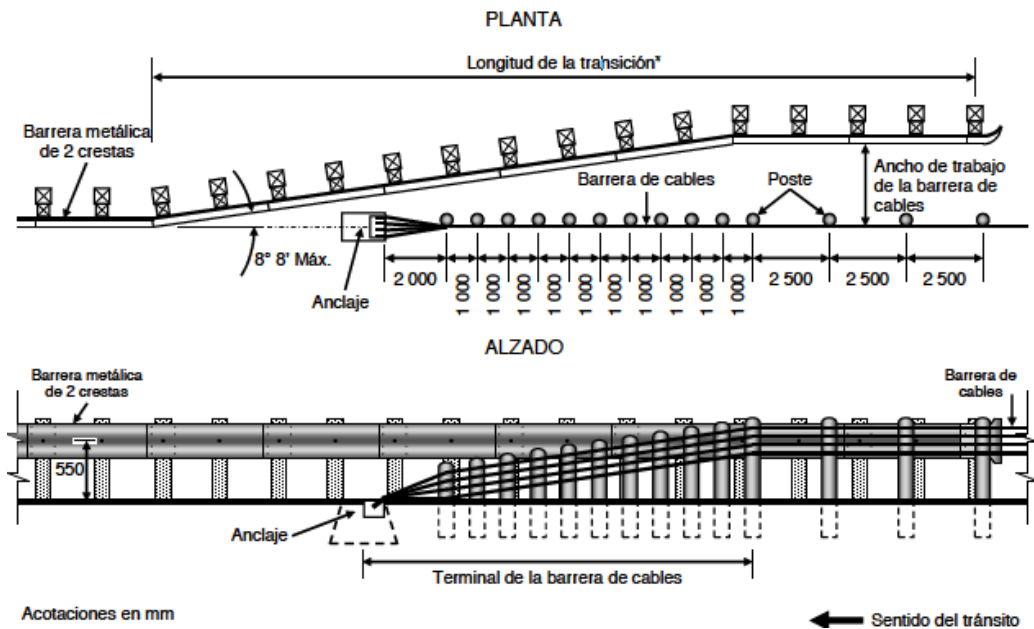


Figura 36. Transición de barrera flexible de cables de acero

4.8.6 Pendientes laterales del terreno

La franja de terreno entre el arroyo vial y la barrera de transición tendrá una pendiente transversal máxima de diez a uno (10:1) y la zona estará despejada de cualquier elemento que impida su correcto funcionamiento como puede ser una cuneta o un bordillo, entre otros.

4.9 Secciones de amortiguamiento

Las secciones extremas deben ser secciones de amortiguamiento cuando se colocan en el extremo de la barrera en el que un vehículo que se aproxima a ella se pueda impactar de frente.

4.9.1 Clasificación

4.9.1.1 Clasificación según su modo de operación

Las secciones de amortiguamiento se clasifican de acuerdo con su modo de operación en tres categorías:

- Redireccionables No traspasables (RNT)
- Redireccionables Traspasables (RT)
- No Redireccionables (NR).

4.9.1.1.1 Secciones de Amortiguamiento Redireccionables–No traspasables

Son diseñadas para absorber toda la energía de un impacto, frontal o angular, en su extremo inicial, desacelerando al vehículo por diversos mecanismos, ya sea cortando o deformando placas de acero, comprimiendo cartuchos deformables u otro mecanismo, hasta detener el vehículo en forma controlada y segura. Si el impacto es angular y se produce pasado el extremo inicial, el sistema absorbe parte de la energía del vehículo y lo redirecciona hacia el arroyo vial. Dependiendo de su configuración, pueden resistir impactos por uno o por ambos lados.

Estos dispositivos son apropiados en lugares donde existen condiciones geométricas restringidas o donde se requiera evitar que los vehículos invadan los carriles de sentido opuesto.

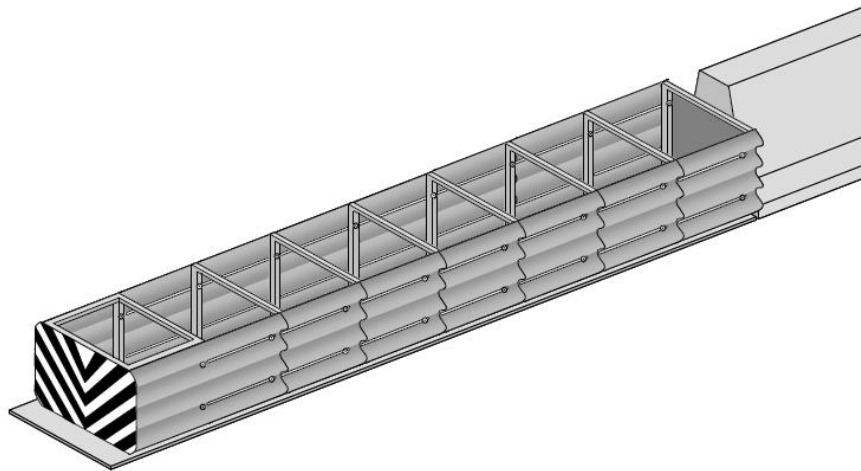


Figura 37. Sección de Amortiguamiento Redireccionable – No traspasable

4.9.1.1.2 Secciones de Amortiguamiento Redireccionables–Traspasables

Son diseñadas para absorber toda la energía de un impacto frontal en su extremo inicial, desacelerando el vehículo por diversos mecanismos, ya sea cortando o deformando placas de acero, comprimiendo cartuchos deformables u otro mecanismo, hasta detener el vehículo en forma controlada y segura. Si el impacto es angular y se produce en el extremo inicial, el vehículo puede traspasar el sistema después de transferir una parte de su energía cinética al dispositivo. Si el impacto es angular y se produce pasado el extremo inicial, el sistema absorbe parte de la energía del vehículo y lo redirecciona hacia el arroyo vial. Dependiendo de su configuración, pueden resistir impactos por uno o por ambos lados.

Estos dispositivos son apropiados en lugares donde existe un espacio transitable limitado detrás del dispositivo en donde el vehículo que lo traspase pueda tener tiempo y espacio para detenerse antes de impactar algún objeto fijo o caerse por un terraplén no transitable.

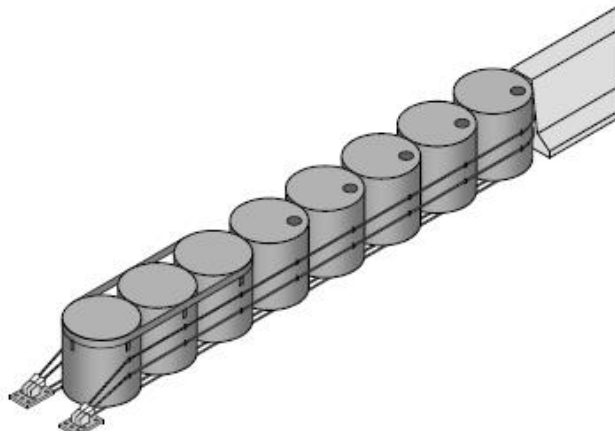


Figura 38. Sección de Amortiguamiento Redireccionable – Traspasable

4.9.1.1.3 Secciones de Amortiguamiento No Redireccionables

Son diseñadas para absorber toda la energía de un impacto frontal en su extremo inicial, por transferencia del impulso a partículas de arena, agua u otro material contenido en recipientes especialmente diseñados, por lo que desaceleran al vehículo hasta detenerlo en forma controlada y segura. Estos dispositivos no tienen capacidad de contener ni redireccionar a un vehículo que lo impacte por un costado.

Son apropiados en lugares donde existe un amplio espacio y terreno transitable detrás de ellos. Por lo general son destruidos durante el impacto, resultandos irrecuperables. Con respecto a los Impactos angulares cercanos al final del dispositivo, estos pueden resultar en desaceleraciones críticas para los vehículos.

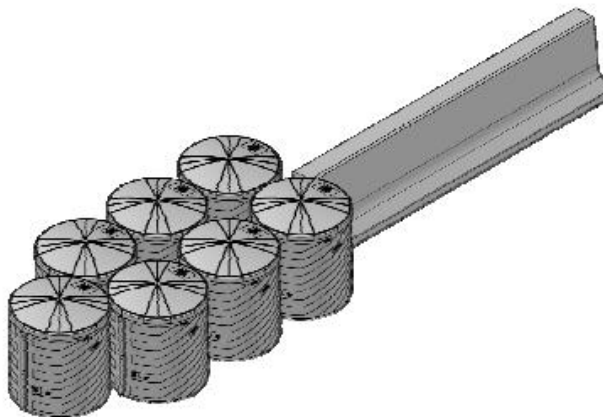


Figura 39. Sección de Amortiguamiento No Redireccionable

4.9.1.2 Clasificación según el nivel de contención

De acuerdo con las características, velocidad y ángulo de impacto de los vehículos que son capaces de contener y, en su caso, redireccionarse se clasifican en los tres niveles de contención que se indican en la siguiente tabla, según el nivel de prueba que satisfagan del “*Report 350 Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features*” de la National Cooperative Highway Research Program.

Nivel de contención	Vehículos que contiene y redirecciona			Prueba		
	Designación	Vehículo	Masa Kg	Nivel de Prueba	Velocidad de Impacto	Angulo de Impacto
NC-1	Ap	Automóvil	820	1	50	0 y 15
	Ac	Camioneta	2,000		50	0, 15 y 20
NC-2	Ap	Automóvil	820	2	70	0 y 15
	Ac	Camioneta	2,000		70	0, 15 y 20
NC-3	Ap	Automóvil	820	3	100	0 y 15
	Ac	Camioneta	2,000		100	0, 15 y 20

Tabla 10. Clasificación de las secciones de amortiguamiento según su nivel de contención

4.9.1.3 Clasificación según su vida útil

4.9.1.3.1 Secciones de Amortiguamiento Desechables

Son las que al sufrir el impacto de un vehículo se destruyen quedando irreparables. Pueden ser utilizadas en aquellos sitios en los que se estime que la probabilidad de un impacto es de 0.0004 % o menor, o donde haya ocurrido sólo un impacto en un año.

4.9.1.3.2 Secciones de Amortiguamiento Parcialmente Reusables

Son las que al sufrir el impacto de un vehículo quedan dañadas en un 25% - 50% de su estructura, pudiendo ser reparadas. Pueden ser utilizadas en aquellos sitios en los que se estime que la probabilidad de un impacto es 0.0012 % o menor, o donde hayan ocurrido hasta tres impactos en un año.

4.9.1.3.3 Secciones de Amortiguamiento Reusables

Son las que al sufrir el impacto de un vehículo quedan dañadas en menos del 25% de su estructura, pudiendo ser reparadas rápidamente. Pueden ser utilizadas en aquellos sitios

en los que se estime que la probabilidad de un impacto es mayor de 0.0012% o donde hayan ocurrido más de tres impactos en un año.

4.10 Secciones Terminales

Las secciones extremas deben ser secciones terminales cuando se colocan en el extremo de una barrera de orilla de corona para reforzarla y protegerla, cuando sea reducido el riesgo de que un vehículo se impacte de frente en ese extremo.

Las secciones terminales pueden ser para los siguientes casos.

4.10.1 Para barreras de orilla de corona de acero con vigas acanaladas de dos o tres crestas

a) Secciones terminales sencillas, “cola de pato”

Este tipo de sección es colocada cuando el extremo final de la barrera en el sentido de circulación del tránsito sea esviado.

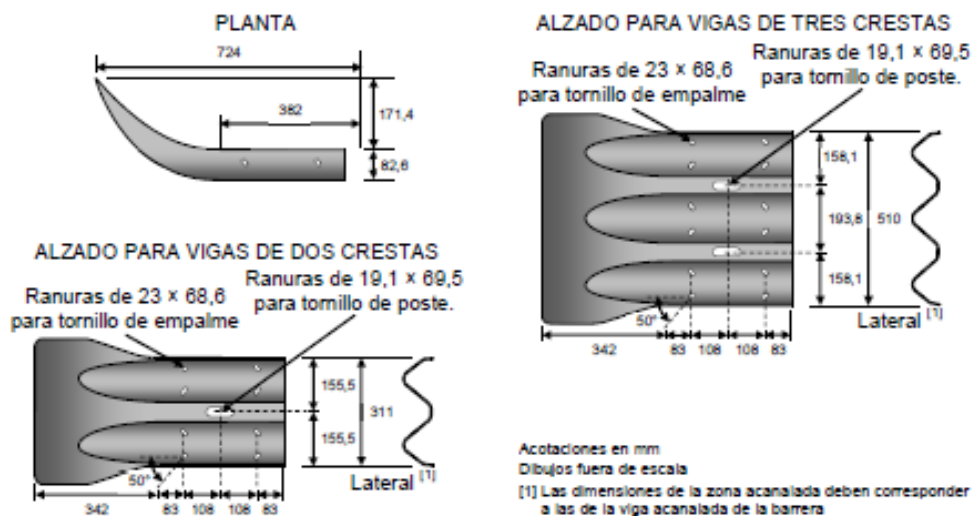


Figura 40. Secciones terminales sencillas para vigas acanaladas de dos y de tres crestas

b) Secciones terminales aterrizadas

Este tipo de sección se debe colocar sólo en el extremo final de la barrera en el sentido de circulación del tránsito, cuando ésta sea paralela al arroyo vial en toda su longitud.

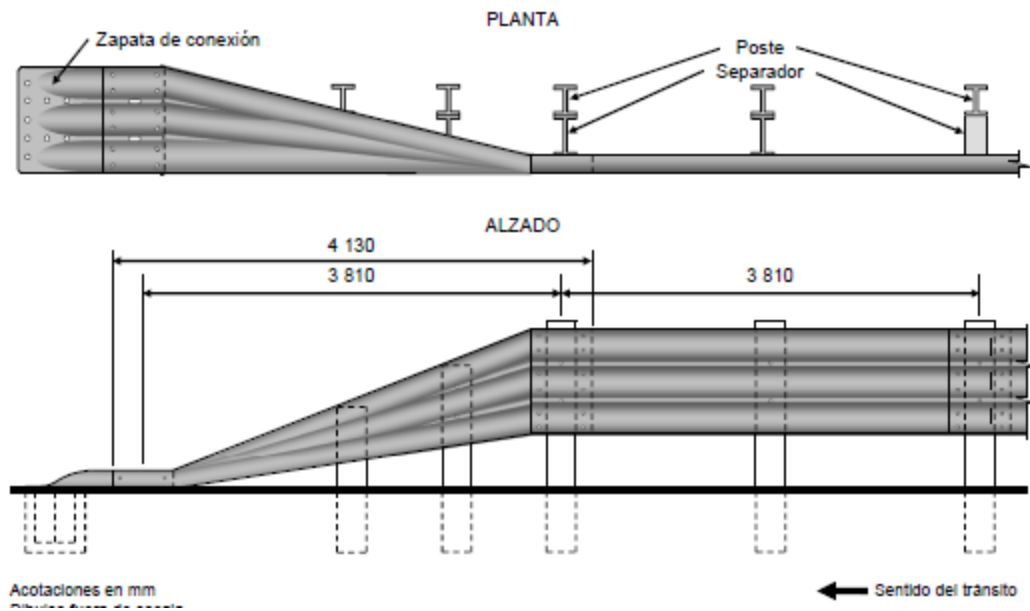


Figura 41. Sección terminal aterrizada para vigas acanaladas de dos y de tres crestas

5. Normativa europea EN 1317 “Equipamiento para la señalización vial”

Desde el 1 de enero de 2011 todos los sistemas de contención de vehículos instalados en carreteras de la Unión Europea deben estar certificados bajo la UNE EN 1317. Este texto ha demostrado ser una gran contribución al sector de la seguridad vial ya que homogeneiza la metodología de ensayo y los criterios de aceptación de los Sistemas de Contención Vehicular en toda Europa.

El objetivo final de la norma es garantizar que cualquier Sistema de Contención Vehicular instalado cumpla con los siguientes criterios:

- Nivel de contención
- Severidad del Impacto
- Deformación del sistema
- Redireccionamiento

5.1 Niveles de Contención

Existen 10 niveles de contención divididos en 4 grandes niveles: baja, normal, alta y muy alta contención. Para cada una de ellas existen pruebas o ensayos llevados a cabo para definir las características que deben existir para usarlas en un contexto determinado. A estas pruebas se les llama “ensayo de aceptación” e indican la velocidad de impacto, el ángulo de impacto, el peso del vehículo y el tipo de vehículo adecuados para cada uno de los 10 niveles de contención.

Siendo los niveles de contención más usados normal, alta y muy alta, a continuación, se detallan cada uno de los niveles.

Ensayo	Velocidad de impacto	Ángulo de impacto	Masa del vehículo	Tipo de vehículo
	(Km/h)	(grados)	(Kg)	
TB11	100	20	900	automóvil
TB21	80	8	1300	automóvil
TB22	80	15	1300	automóvil
TB31	80	20	1500	automóvil
TB32	100	20	1500	automóvil
TB41	70	8	10000	Pesado articulado no
TB42	70	15	10000	Pesado articulado no
TB51	70	20	13000	bus
TB61	80	20	16000	Pesado articulado no
TB81	65	20	38000	camión articulado

Tabla 11. Criterios de ensayo según normativa EN1317

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

Tabla 12. Niveles de contención según normativa EN1317

5.2 Niveles de Severidad

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

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

Estos indicadores son:

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

El primero de ellos THIV, se refiere a la velocidad con que la cabeza choca el parabrisas, los otros dos, PHD y ASI, corresponden a las deceleraciones que se experimentan en el interior del vehículo. Si las desaceleraciones son excesivas, se producen daños severos y desprendimientos de órganos internos que pueden causar la muerte de los ocupantes del vehículo, por lo que sus valores deben ser limitados.

Se establecen tres niveles de severidad en función de los índices THIV, ASI y PHD.

Niveles de Severidad	Valores de los índices	
A	$ASI \leq 1.0$	THIV \leq 33 km/hr PHD \leq 20g
B	$1.0 \leq ASI \leq 1.4$	
c	$1.4 \leq ASI \leq 1.9$	

Tabla 13. Niveles de severidad del impacto según normativa EN1317

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

5.3 Deformación del sistema

La deformación de la barrera de seguridad durante el ensayo de choque está caracterizada por la deflexión dinámica y la anchura de trabajo.

Es importante que la deformación sea compatible con el espacio disponible detrás del sistema.

Si como consecuencia de la deformación provocada por el vehículo sobre el sistema, no es posible determinar la posición lateral antes mencionada, se utilizará para medir la anchura de trabajo la posición lateral más alejada alcanzada por el vehículo.

De acuerdo con su anchura de trabajo, la normativa EN 1317 clasifica la deformación de las barreras de seguridad de acuerdo con los criterios que se muestran en la siguiente tabla:

Clases de ancho de trabajo	de de	Niveles de ancho de trabajo (m)
W1		$W \leq 0.6$
W2		$W \leq 0.8$
W3		$W \leq 1.0$
W4		$W \leq 1.3$
W5		$W \leq 1.7$
W6		$W \leq 2.1$
W7		$W \leq 2.5$
W8		$W \leq 3.5$

Tabla 14. Clases de deformación según normativa EN1317

5.4 Capacidad de redireccionamiento

La normativa EN 1317 evalúa la capacidad de redireccionamiento de un sistema mediante el Recinto CEN (“CEN Box”),

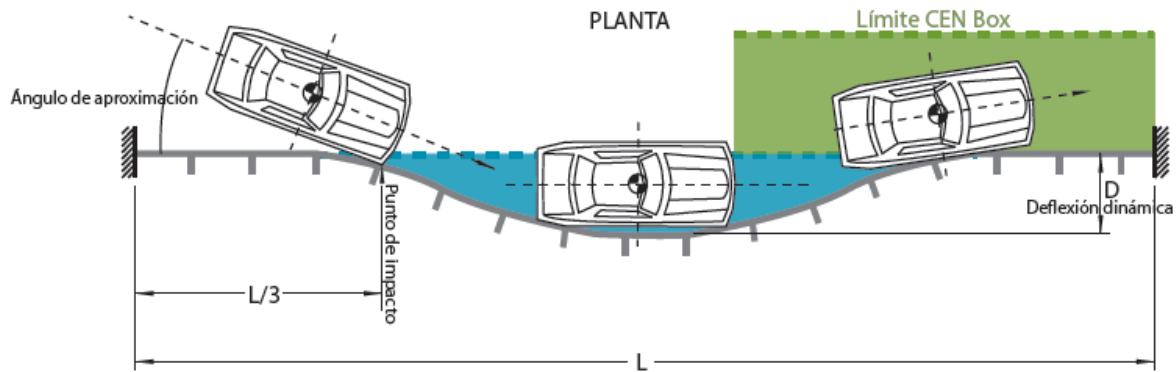


Figura 42. Representación de la CEN Box

Si las ruedas del vehículo tras el impacto cortan un segmento teórico paralelo ubicado a una cierta distancia del sistema, entonces se considera que la barrera carece de capacidad de redireccionamiento y no es aceptable.

Teniendo en cuenta que, una de las funciones básicas de las barreras de seguridad y de los parapetos de puente es su facultad de reconducir los vehículos que abandonan la vía. Las dimensiones del recinto CEN se definen de acuerdo con los criterios que se indican en la siguiente tabla:

Tipo de vehículo	A (m)	B (m)
Automóvil	2.2	10
Otros vehículos	4.4	20

Tabla 15. Dimensiones de la CEN Box según la EN 1317

6. Análisis y comparativa

Como se puede apreciar, ambas normativas presentan criterios semejantes, así como factores a considerar antes de hacer una selección definitiva del sistema de contención a emplear.

- Nivel de contención
- Deflexión de la barrera.

Cabe mencionar que, existen dos normativas para la evaluación de sistemas de contención vehicular, la normativa europea EN 1317 y la norma estadounidense NHCR Report 350, y como la normativa mexicana está fuertemente influenciada por la estadounidense, es factible comparar este con la europea.

Con respecto a la deflexión de la barrera, ambas normativas presentan valores muy similares con respecto al ancho de trabajo, así como la clasificación de los sistemas en: flexibles, semirrígidos y flexibles. Las diferencias se presentan en los niveles de contención con el que se rigen cada normativa.

Tanto la normativa europea como la estadounidense establece 6 niveles de prueba o clases técnicas, cada una de estas con sus respectivos valores de energía cinética transversal correspondiente a los ensayos a que son sometidas las barreras de seguridad. En las siguientes tablas se muestran cada una de las pruebas con los vehículos a usar y sus características, velocidad y ángulo del impacto y la energía cinética transversal capaz de retener el sistema, para cada normativa.

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

Tabla 16. Niveles de prueba definidos en la normativa EN 1317

Nivel de prueba	Masa del vehículo (kg)	Tipo Vehículo	Velocidad de impacto (km/h)	Ángulo Impacto Grados	Altura CG (mm)	Energía cinética (KJ)
TL1	820	C	50	20	550	9,25
	2000	P	50	25	700	34,45
TL2	820	C	70	20	550	18,13
	2000	P	70	25	700	67,53
TL3	820	C	100	20	550	37,01
	2000	P	100	25	700	137,81
TL4	820	C	100	20	550	37,01
	8000	S	80	15	1250	132,32
TL5	820	C	100	20	550	37,01
	38000	V	80	15	1850	595,44
TL6	820	C	100	20	550	37,01
	38000	T	80	15	2050	595,44

Tabla 17. Niveles de prueba definidos en la normativa NCHRP

Buscando comparar ambas normativas, empleando la siguiente figura, se observa la diferencia que existe entre cada nivel tomando como referencia la energía cinética transversal que el sistema es capaz de absorber durante el ensayo.

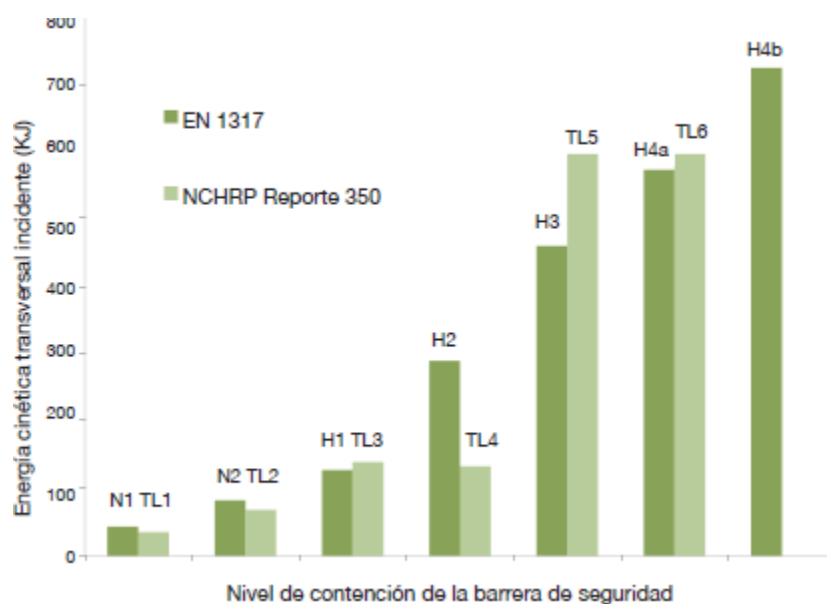


Figura 43. Energía cinética transversal máxima incidente en la barrera de seguridad según los niveles de prueba definidos en las normativas EN 1317 y Reporte 350 NCHRP

sometido, por lo que dos niveles presenten valores de energía muy similares, no significa que sirven para los mismos casos, esto debido a que no necesariamente puedan retener a un mismo vehículo.

Adicional a eso, se puede apreciar la gran diferencia entre la energía cinética absorbida por los niveles 4 y 5 de la normativa estadounidense, mostrando que es posible la instauración de pruebas intermedias, con el fin de determinar nuevos niveles de contención y así realizar sistemas de contención acorde a la necesidad, y no sobrados. Además, la inexistencia de un nivel de contención comparable al H4b de la normativa europea en el Reporte 350 NCHRP, puede significar que en Estados Unidos no sea necesario una absorción mayor de energía, pero esto no significa que en nuestro país sea así.

A continuación, se presenta una tabla con una relación más clara entre los niveles de contención de cada normativa, tanto la americana/mexicana como de la europea.

EN 1317	Reporte 350 NCHRP	NOM-037-SCT
N1	TL1	NC -1
N2	TL2	NC -2
H1	TL3, TL4	NC -3, NC -4
H2	-	-
H3	-	-
H4a	TL5, TL6	NC -5, NC -6
H4b	-	-

Tabla 18. Comparativa entre los niveles de prueba de las distintas normativas

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

7. Pretilos/Parapetos

Uno de los elementos a los que la normativa europea hace referencia explícitamente y en la norma mexicana no, son los pretilos o parapetos en puentes.

Los parapetos de puente son barreras de seguridad longitudinales, específicamente diseñada para ser instaladas en los bordes de tablero de puentes y viaductos, coronación de muros de contención u otras estructuras similares.

Los parapetos de puente, deben ser considerados como un conjunto, constituido, por las siguientes partes:

- Parapeto (parte emergente)
- Anclaje
- Losa de Apoyo
 - Geometría
 - Armadura de refuerzo
 - Resistencia del concreto

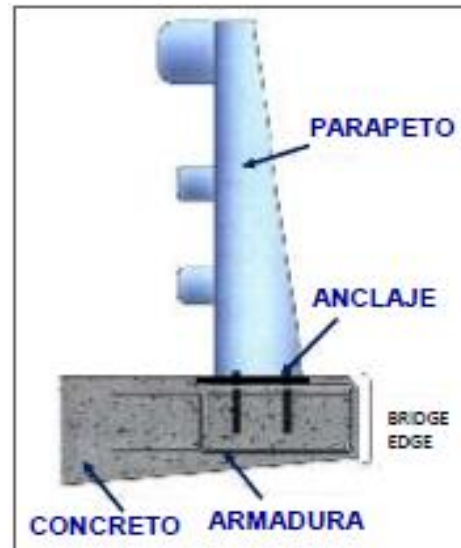


Figura 44. Representación gráfica de las partes de un parapeto

descontroladamente la vía a lo largo de un puente, o estructura similar, no es diferente al caso que lo haga de la orilla de corona, es por ello que la necesidad de tener elementos que, contengan y redirijan al vehículo descontrolado en la vía de un puente, tienen la misma importancia que los que realizan la misma acción en orillas de corona o separadores de sentidos de circulación.



Figura 45. Parapeto de un puente

Las barreras de protección se evalúan, clasifican y son aprobadas en base a su comportamiento ante el impacto de vehículo mediante las pruebas de choque a escala, por lo tanto, para los parapetos deberían aplicarse las mismas normas.

7.1 Requisitos técnicos para un parapeto

7.1.1 Contención

la probabilidad de accidentes ocurridos por la salida abrupta de vehículos de la vía de un puente es relativamente baja, sin embargo, al ocurrir los daños y afectaciones ocasionadas pueden ser altamente graves, tanto que la EN 1317 declara este tipo de accidente como graves y muy graves, por lo que el nivel de contención debe ser alto.

7.1.2 Deformación

La disponibilidad, en los bordes de tablero, de un espacio lateral muy estrecho para el funcionamiento del sistema de contención, exige que el sistema tenga una deformación lateral reducida.

Figura 46. Vehículo de ensayo de choque contra barrera nivel H4B



7.1.3 Integridad del tablero

El anclaje de un parapeto en el tablero de un puente no sólo condiciona el comportamiento del sistema ante impacto de vehículo sino también la estructura del tablero, esto debido al anclaje de la estructura del parapeto a la estructura del puente.

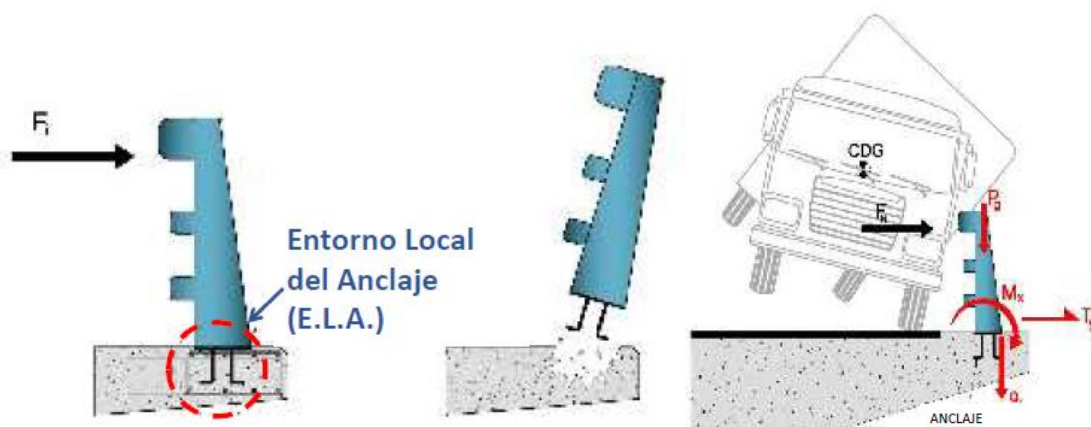


Figura 47. Fallo del entorno local del anclaje.

7.1.4 Durabilidad

La larga vida requerida a una estructura de puente, determina la necesidad del empleo de parapetos que garanticen una larga durabilidad.



Figura 48. Parapeto con recubrimiento dúplex sobre acero.

8. MASH (Calculo programable de longitud necesaria de barreras “Barrier Length of Need LON”)

Los procedimientos establecidos en la NOM-037-SCT2-2012 están basados casi en su totalidad en la NCHRP 350 y MASH 2009: barreras longitudinales, barreras de transición, secciones terminales, amortiguadores de impacto, atenuadores montados en camiones y dispositivos de control de tráfico en zonas de trabajo.

Algo que caracteriza a este procedimiento es el uso de diversas fórmulas y gráficos ya determinados, por lo que diversos autores han tomado la iniciativa de realizar hojas de cálculos con las formulas ya programadas, con el fin de agilizar la determinación de los valores requeridos para el diseño y colocación de las barreras de contención.

El archivo editable busca ser de fácil uso, con el fin de agilizar la obtención de los valores, por ello es que contiene un breve instructivo de uso, así como un esquema ilustrativo de las longitudes a obtener.

A continuación, se mostrarán imágenes del archivo:

Edition: June 26, 2018

Data from RDG 2011 and FLHBG

The AASHTO Roadside Design Guide 2011, 4th Edition, is available within each FLH Division office.

The FLH Barrier Guide for Low Volume and Low Speed Roads is available within each FLH Division Office and on-line at:

HINTS

1. Green cells are user data entry cells with drop-down boxes or text entry.
2. Other colored cells are calculating cells.
3. The LON includes bridge rail transitions, some of the bridge rail length, and all of a terminal except for the two section before the very end (usually around 12.5').
4. Bridge rail that can be included in the LON is the length from the top of the embankment or the edge of the water or hazard, whichever is closest.
5. Clear Zone had to be split into two formulas (and cells) due to limitations within Excel for the number of layers within a formula.

REMEMBER

Calculate Length of Need for adjacent approaching traffic.

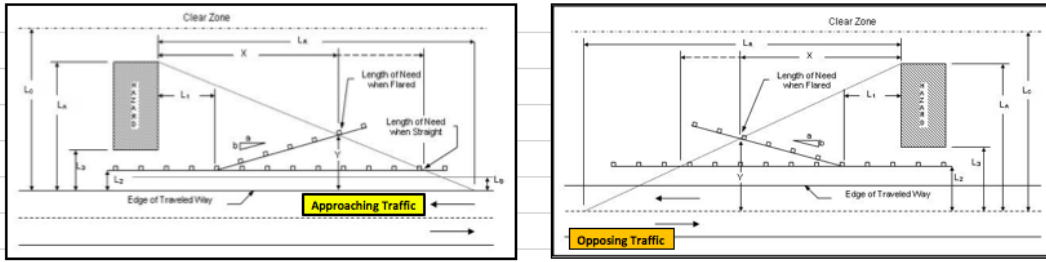
Calculate Length of Need for opposing traffic.

Determine barrier that is in-between approaching and opposing traffic ends.

Add together these lengths for overall contract length of guardrail installation.

MASH terminal LONs are NOT included at this time.

Figura 49. Instructivo del archivo LON



Definitions:

- X: The Length of Need (LON) is the total length of a longitudinal barrier needed upstream to shield an area of concern. The LON point for a given system is usually confirmed by successfully passing a redirection crash test with impact at the LON point.
- Y: The lateral offset of the end of the LON for when the barrier system has a flare. **NOTE:** this is **NOT** the same as a flare associated with a terminal.
- L_A: The lateral distance from the edge of the traveled way to the far side of the fixed object or hazard.
- L_C: The clear zone width, measured from the edge of the traveled way. L_C serves as a check on L_A. *It is not necessary to shield a hazard beyond the clear zone, so L_A does not have to be greater than L_C. (See RDG Table 3-1 and FLHGB Table 2.1.)
- L_F: The lateral distance from the edge of the traveled way to the front edge of the hazard.
- L₂: The offset of the roadside barrier measured from the edge of the traveled way to the front face of the barrier, and is generally the shoulder width plus any extra widening for the guardrail. L₂ should be greater than the L₂ shy-line offset, but that may not always be practical for short, isolated installations.
- L_R: The runout length, measured longitudinally from the upstream extent of the hazard along the edge of roadway to the point where a vehicle is assumed to leave the roadway. (See RDG Table 5-10 and FLHGB Table 4.1.)
- L_S: The shy-line offset distance beyond which a roadside object will not be perceived as an obstacle and result in a motorist's reducing speed or changing vehicle position on the roadway. A shy-line offset should be provided if possible, but is not always needed on low volume roads. (See RDG Table 5-7 and FLHGB Table 4.2.)
- a:b If the barrier is placed on a flare, the flare is described as a:b. The flare a:b is in the standard section of the barrier and is not related to any flare that may be required for an end treatment. A flatter flare is suggested when a barrier is located within the shy-line offset distance. (See RDG Table 5-9 and FLHGB Table 4.3.)
- L₁: If a flare in the standard section is used, L₁ is the tangent length of the barrier measured from the upstream limit of the hazard and defines the beginning point of the flare.

Figura 50. Esquema ilustrativo de las longitudes a determinar con LON

Cabe mencionar que la persona que realizo este archivo programo los cálculos considerando unidades norteamericanas (ft, in, etc.), en una hoja, y los cálculos en unidades métricas en otra, procurando emplear ecuaciones que satisfagan cada sistema de unidades.

US CUSTOMARY		Hints		LookUps		Shy Distance	
Design Speed (mph)	35	Ls	4.5	Runout Length			
ADT (<=)	1500	Lr	95	Clear Zone			
		Lc	12				
Approaching Traffic LON (measured from the right side of vehicle, or ETW)				Opposing Traffic LON (measured from the left side of vehicle, or centerline)			
Fill Slope	TV:SH to TV:4H	Lh	12	Fill Slope	TV:SH to TV:4H	Lh	12
Ls (ft)	22	Lh is the smaller of La or Lc		Ls (ft)	22	Lh is the smaller of La or Lc	
L2 (from ETW right, ft)	11			L2 (from ETW left, ft)	12		
System Flare?	No	On Outside Curve?	No	System Flare?	No	On Outside Curve?	No
Connect to Structure?	No	Use Terminal Length (ft)	TL-2 25	OK for <=45 mph	Connect to Structure?	No	Use Terminal Length (ft) TL-2 25
LON for Parallel Run (no system flare)				LON for Parallel Run (no system flare)			
X =	$\frac{Lh - L2}{(Lh/Lr)}$	=	1.0000	=	0.0000	=	0.0
			0.1263		0.1263		0.0
LON for Flared Run				LON for Flared Run			
X =	$\frac{Lh + (b/a)L1 - L2}{(b/a) + (Lh/Lr)}$	=		=		=	
Y =	$Lh - X(Lh/Lr)$	=		=		=	

Figura 51. Cálculo de Longitud necesaria en unidades norteamericanas

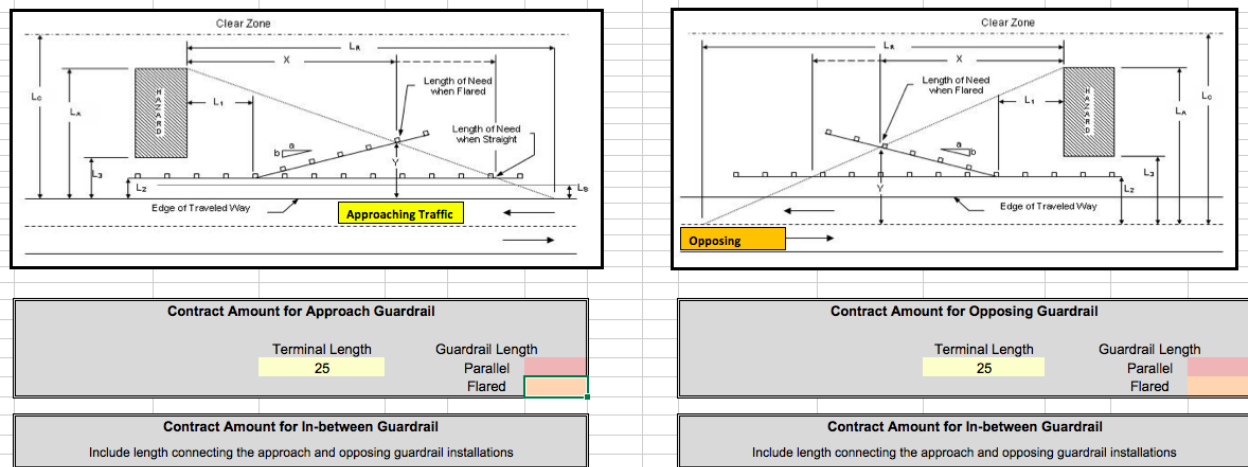


Figura 52. Cálculo de Longitud necesaria en unidades norteamericanas (Continuación)

METRIC		Hints	
Givens		LookUps	
Design Speed (km/h)	80	Ls	2
ADT (<=)	2000	Lr	49
		Lc	5.5
			Shy Distance
			Runout Length
			Clear Zone
Approaching Traffic LON (measured from the right side of vehicle, or ETW)			
Fill Slope	1V:6H or flatter	Lh	5.5
La (m)	12	Lh is the smaller of La or Lc	
L2 (from ETW right, m)	1.8		
System Flare?	No	On Outside Curve?	No
Connect to Structure?	Yes	Use Terminal	TL-3
Length (m)	13.34	Length (m)	12.42
			OK for >=60 mph
			SBT TL-2 Terminal
LON for Parallel Run (no system flare)			
X =	$\frac{Lh - L2}{(Lh/Lr)}$	=	3.7000
		=	0.1122
		=	33.0
LON for Flared Run			
X =	$\frac{Lh + (b/a)L1 - L2}{(b/a) + (Lh/Lr)}$	=	
Y =	$Lh - X(Lh/Lr)$	=	
Opposing Traffic LON (measured from the left side of vehicle, or centerline)			
Fill Slope	1V:6H to 1V:4H	Lh	5.5
La (m)	7	Lh is the smaller of La or Lc	
L2 (from ETW left, m)	5		
System Flare?	No	On Outside Curve?	No
Connect to Structure?	No	Use Terminal	TL-3
Length (m)		Length (m)	12.42
			OK for >=60 mph
			SBT TL-2 Terminal
LON for Parallel Run (no system flare)			
X =	$\frac{Lh - L2}{(Lh/Lr)}$	=	0.5000
		=	0.1122
		=	4.5
LON for Flared Run			
X =	$\frac{Lh + (b/a)L1 - L2}{(b/a) + (Lh/Lr)}$	=	
Y =	$Lh - X(Lh/Lr)$	=	

Figura 53. Cálculo de Longitud necesaria en unidades métricas

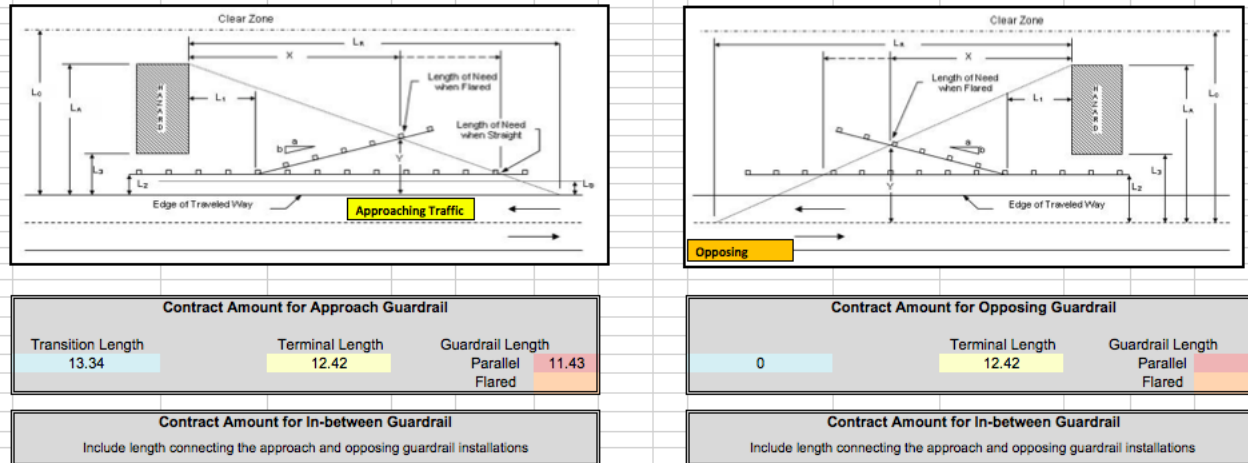


Figura 54. Cálculo de Longitud necesaria en unidades métricas (continuación)

El encontrar un archivo de este tipo para la norma americana, hace pensar que es factible la realización de un archivo similar o adaptación de este documento, para la normativa mexicana, así como para toda normativa basada en la americana, con el fin de agilizar el cálculo de la extensión necesaria de cada barrera de protección.

9. Conclusiones

Al proyectar una carretera sería deseable poder hacerlo sin la presencia de peligros en su entorno y, por lo tanto, sin que fuera necesario instalar sistemas de contención vehicular. No obstante, en la práctica es frecuente, y en muchos casos es inevitable, la presencia de elementos de la naturaleza (árboles), desniveles, dispositivos de control del tránsito, estructuras y otras vías, además de objetos o individuos vulnerables situados en los márgenes de la carretera, lo que hace necesario considerar la instalación de dispositivos especiales para garantizar la seguridad vial, tales como barreras de seguridad, amortiguadores de impacto, pretilas de puente, entre otros.

No se debe pensar que estos dispositivos serán los mejores elementos para la reducción de accidentes en nuestro sistema carretero, como todo en la vida, siempre habrá nuevas cosas que harán una labor mucho más eficiente que las barreras, es por ello que la implementación de nuevas tecnologías (ITS, Intelligent Transport System, de nuevos proveedores), es de suma importancia para, no eliminar, sino el reducir el número de incidencias.

Cabe recalcar que las barreras de contención son los últimos recursos, así como las rampas de emergencia, con los que el automovilista cuenta en caso de perder el control de su vehículo, por lo que deben estar colocadas en aquellos puntos donde el riesgo de desviarse es alto, así como deben estar debidamente señaladas, para que, ya sea en el día más soleado o en la noche más oscura, por seguridad, el conductor pueda identificar la ubicación de estos elementos, ya sea mediante señalamiento horizontal (marcas de colores fluorescentes sobre el pavimento, botones reflejantes), o señalamiento vertical que identifiquen la existencia de curvas o tramos de alto riesgo. Para ello, la SCT, tiene una normativa, NOM-034-SCT2-2011, "*SEÑALAMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL DE CARRETERAS Y VIALIDADES URBANAS*" que a barca en mayor detalle en las características del señalamiento en nuestro sistema carretero.

Las NOM's deberán ser revisadas cada 5 años a partir de la fecha de entrada en vigor, debiendo notificarse al Secretario Técnico de la Comisión Nacional de Normalización los resultados de la revisión, dentro de los 60 días naturales posteriores a la terminación del periodo quinquenal correspondiente.

Principales cambios propuestos en la NOM-037-SCT2-2012:

- Incorporación de criterios para el diseño y colocación de los “Parapetos” en los puentes y estructuras similares.
- Actualización del criterio de prueba de los dispositivos de seguridad (barreras, secciones de transición y secciones extremas), esto es que deben satisfacer el nivel de prueba conforme al *Manual for Assessing Safety Hardware (MASH 2016)*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Estados Unidos de América, 2016. Eliminando el uso del protocolo 350 del NCHRP y el MASH 2009.

10. Referencias

- Normativa para Barreras de protección en carreteras y vialidades urbanas NOM-037-SCT2-2012.
- “Sistemas de seguridad para infraestructura vial: Parapeto de Puente”, Amengual, Antonio, XI Seminario de Ingenieria Vial AMIVTAC.
- “Barreras metálicas de Seguridad, Administraciones Publicas”, del Pino, D Jose, octubre 2012.
- “Manual SCV: Guia para el analisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carretera”, Valverde, German, Universidad de Costa Rica, 2011.
- “Proyecto de mejoramiento de un tramo carretero a partir de su evaluación con el modelo iRAP”, IMT
<https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt389.pdf>
- Normativa Europea para Sistemas de contención para carreteras UNE-EN 1317

“Normativa para el diseño de sistemas de protección”, Herrera, Sergio, SCT, Jornada de Seguridad Vial,