

INTRODUCCION

Hay muchas razones por las cuales los vehículos dejan el pavimento e invaden las zonas laterales de la vía

- Fatiga o desatención del conductor
- Velocidad excesiva
- Conducir bajo la influencia de drogas o alcohol
- Evitar un choque
- Rebote de choque inicial en la calzada
- Condiciones ambientales: nieve, lluvia, pobre visibilidad
- Falla del vehículo
- Defectos viales: incoherencia, falta de visibilidad, superficie deslizante

Independientemente de la razón, una invasión puede dar lugar a daños y lesiones en los ocupantes del vehículo, a colisiones secundarias e interferencias con otros usuarios de la vía o daños en personas u objetos vulnerables (llamados terceros) próximos a la carretera ver figura 1.

La zona lateral ideal debería estar completamente libre de cualquier tipo de obstrucción a la seguridad de los vehículos errantes. Esta condición impediría daños en los choques por salida desde la calzada mediante la provisión de un espacio suficiente (Zona despejada) como para que los conductores retomen el control de sus vehículos y los detengan o vuelvan a la calzada con seguridad, sin chocar con ningún objeto ni volcar. Sin embargo, usualmente no es posible construir un entorno del camino completamente libre de peligros continuos (Ej. Taludes, obras de arte) o fijos (Postes, arboles, pilares de puentes, señales de tránsito).

Si estos obstáculos o peligros no pueden eliminarse, reubicarse o modificarse por razones técnicas, económicas o ambientales, se deben utilizar sistemas de contención vehicular para reducir la agresividad implícita en un eventual siniestro de tránsito por salida de carretera. Las barreras de contención vehicular, sus terminales, los pretils de puentes y los atenuadores de impacto son elementos que pretenden reducir la gravedad de las lesiones de los ocupantes del vehículo, otros usuarios, terceros vulnerables y las pérdidas materiales producto de la colisión, su misión fundamental no es la prevención, como pudiera pensarse, sino la disminución de la severidad, por lo tanto, se deben utilizar solamente si no es posible implementar ningún otro tratamiento, ya que el mismo sistema puede generar lesiones o daños a los actores viales involucrados.

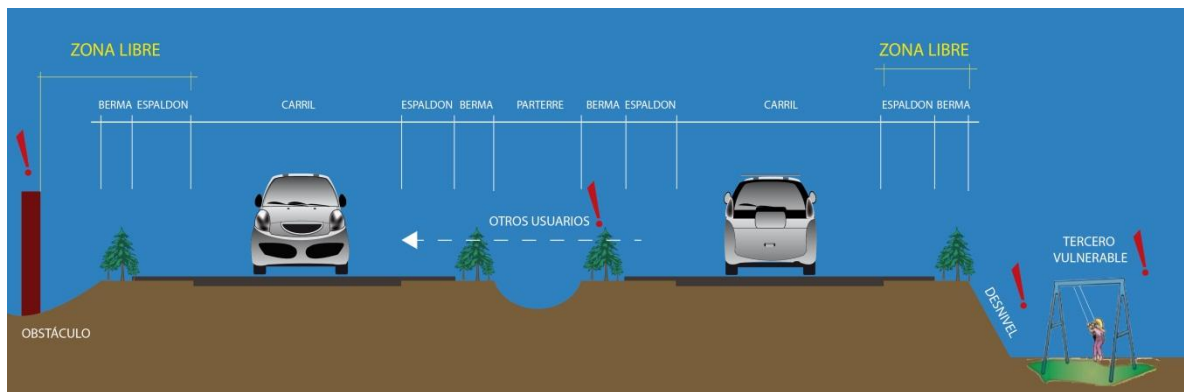


Figura 1. Sección de la vía y posibles peligros adyacentes a ella

1. OBJETIVOS

- Proponer posibles tratamientos tendientes a eliminar elementos potencialmente peligrosos para posibles vehículos errantes que transiten de manera eventual por las zonas laterales de una vía.
- Determinar los criterios generales que han de considerarse para el diseño e instalación de sistemas de contención vehicular en las carreteras y vías urbanas.
- Establecer la designación, definición y utilización de los diversos elementos que conforman dichos sistemas.

2. DEFINICIONES

2.1. Carril

Franja longitudinal destinada a la circulación de los vehículos, delimitada o no por marcas viales longitudinales y con ancho suficiente para el tránsito de vehículos, el conjunto de carriles de una carretera forman una calzada.

2.2. Carretera

Camino público, ancho y espacioso, pavimentado y dispuesto para el tránsito de vehículos, con o sin accesos controlados, que puede prestar un servicio de comunicación a nivel nacional, interestatal, estatal o municipal.

2.3. Espaldón

Franja longitudinal pavimentada, contigua a la calzada, no destinada al uso de vehículos automóviles más que en circunstancias excepcionales.

2.4. Sistemas de contención

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 del camino. Según su operación y ubicación, los sistemas de contención se clasifican de la siguiente manera:

- Barreras laterales
- Barreras centrales o separadoras de sentidos de circulación (Barreras de parterre)
- Barrera de transición y conexión
- Secciones Extremas
 - Amortiguadores o Atenuadores
 - Sección Terminal

2.4.1. Barreras laterales

Como su nombre lo indica son las barreras colocadas al lado derecho (con respecto al sentido de circulación) de las carreteras o vías urbanas, en subtramos específicos donde se identifique un peligro potencial, con el propósito de incrementar la seguridad de los usuarios evitando que los vehículos salgan del camino si el conductor pierde el control. Ocasionalmente pueden ser usadas para proteger a peatones y ciclistas del tránsito vehicular bajo condiciones especiales. Este tipo de barreras son diseñadas para recibir impactos sólo por uno de sus lados.

2.4.2. Barreras centrales o separadoras de sentidos de circulación (Barreras de parterre)

Como su nombre lo indica son las barreras que se colocan en el parterre de caminos divididos para separar una calzada de otro con flujo vehicular en sentido opuesto, con el propósito de impedir que algún vehículo abandone su carril e invada el otro, también quedan comprendidas dentro de esta definición, las barreras que se utilicen eventualmente para separar carriles en el mismo sentido de circulación. Ocasionalmente pueden ser usadas para evitar el acceso (retornos) de vehículos por sitios indebidos a carriles restringidos. Este tipo de barreras están diseñadas para recibir impactos por ambos lados.

2.4.3. Barreras de transición

Barreras lateral o separadoras de sentidos de circulación, con arreglos y configuraciones particulares, que se colocan para conectar dos 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 entrada a túneles, 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.

2.4.4. Secciones extremas

Dispositivos conectados en el inicio o fin de una barrera, ya sea lateral 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 amortiguadoras o atenuadoras cuando se instalan para amortiguar el impacto potencial e impedir que la barrera penetre en el vehículo, o son terminales cuando se colocan para reforzar y proteger la barrera.

2.5. Deflexión dinámica y Ancho de Trabajo

La deflexión dinámica es el máximo desplazamiento dinámico lateral de la cara del sistema más próxima al tráfico, el Ancho de trabajo es la distancia entre la cara más próxima al tráfico antes del impacto, y la posición lateral más alejada que durante el impacto alcanza cualquier parte esencial del sistema o vehículo. Ver figura 2.

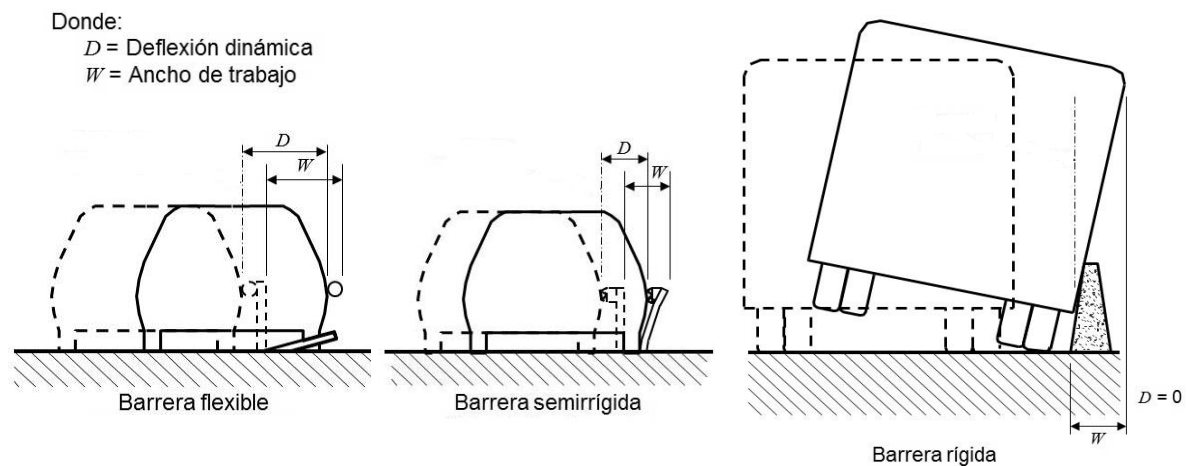


Figura 2. Deflexión dinámica (D) y Ancho de trabajo (w)

3. ENSAYOS A ESCALA REAL

Los ensayos a escala son pruebas normadas que han sido diseñadas para evaluar uno o más de los principales factores que se han identificado y que afectan el comportamiento de los sistemas de contención vehicular, como el comportamiento estructural, el riesgo para los ocupantes del vehículo y el comportamiento del vehículo de ensayo después del impacto. Su propósito es verificar el adecuado funcionamiento del sistema, para garantizar la seguridad de los ocupantes del vehículo, otros usuarios de la vía y terceros vulnerables.

Existen tres procedimientos Internacionales para confirmar la aceptabilidad de un sistema de barreras de contención la EN 1317 (European Norm), el NCHRP 350 (por sus siglas en Inglés (National Cooperative Highway Research Program Report) y la actualización mas reciente de este ultimo MASH - "Manual para la Evaluación de Hardware de Seguridad de 2009".

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

- Son comparables.
- No son intercambiables.
- Establecen ensayos uniformes
- Facilitan la comparación entre elementos.
- Se ensaya bajo condiciones severas.

Una barrera de seguridad certificada es aquella que ha pasado por pruebas de impacto de acuerdo a los requisitos normativos establecidos por la NCHRP Report 350 o MASH de los Estados Unidos de Norteamérica o por la EN 1317 de la comunidad Europea.

Mediante las pruebas de impacto a la barrera de seguridad se obtienen los siguientes parámetros:

- Nivel de contención.
- Nivel de severidad del impacto.
- Deformación del sistema.
- Capacidad de redireccionamiento del sistema.

Las pruebas de impacto son realizadas en un laboratorio autorizado autenticada por el organismo normativo del país en donde se desarrolló la prueba. En el informe de la prueba de impacto debe estar indicado el nivel de contención, nivel de severidad del impacto, deformación del sistema, los componentes de la barrera de seguridad, planos del diseño de la barrera, tipo de suelo donde fue instalada la barrera, e incluir los videos del funcionamiento de la barrera durante el impacto del vehículo y toda la documentación solicitada en la normativa internacional (NCHRP 350, MASH o EN 1317).

3.1. Nivel de contención

El nivel de contención es la capacidad de la barrera de seguridad de absorber la energía de impacto de un vehículo con base a criterios como tamaño (centro de masa), peso, velocidad y ángulo de impacto, manteniendo una adecuada deformación, deceleración y capacidad de redireccionamiento del vehículo. Con base a las 2 normativas anteriormente mencionadas y a la actualización MASH, podemos agrupar y comparar sus distintas definiciones de nivel de contención, en las tablas 1 y 3 podemos observar los niveles de prueba definidos en la NCHRP 350 y la EN1317 respectivamente, en la tabla 2 se describen los principales cambios realizados a los niveles de prueba de la NCHRP 350 incluidos en MASH.

Nivel de Contencion	Nivel de prueba	Masa del vehículo (kg)	Tipo Vehículo	Velocidad de impacto (km/h)	Ángulo Impacto Grados	Altura CG (mm)	Energía cinética (KJ)
NC1	TL1	820	C	50	20	550	9,25
		2000	P	50	25	700	34,45
NC2	TL2	820	C	70	20	550	18,13
		2000	P	70	25	700	67,53
NC3	TL3	820	C	100	20	550	37,01
		2000	P	100	25	700	137,81
NC4	TL4	820	C	100	20	550	37,01
		8000	S	80	15	1250	132,32
NC5	TL5	820	C	100	20	550	37,01
		36000	V	80	15	1850	595,44
NC6	TL6	820	C	100	20	550	37,01
		36000	T	80	15	2050	595,44
	C Automovil		S Camion tipo van		V Semi trailer tipo Van		
	P Pick Up		T Semi-trailer tipo tanque		CG: centro de gravedad del vehículo.		

Tabla 1. Niveles de contención según NCHRP 350

Tema	NCHRP 350	MASH
Coche pequeño vehículo de prueba	820 C vehículo (1.800 lbs.)	1100 C vehículo (2.420 lbs.)
Coche pequeño ángulo de impacto	20 grados	25 grados
Camioneta vehículo de prueba	2000 P vehículo (4.400 lbs.)	2270 P vehículo (5.000 lbs.)
Camion tipo van	8000 S Vehiculo (17.600 lbs)	10000 S Vehiculo (22.000 lbs)
Camion tipo van	80 Kph	90 Kph

Tabla 2. Principales cambios según actualización MASH

Nivel de prueba	Masa del vehículo (kg)	Tipo Vehiculo	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
C Automóvil		A Vehículo articulado de		CG: centro de gravedad del vehículo.		
B Bus		R Vehículo rígido de carga pesada				

Tabla 3. Niveles de contención según EN 1317

En la siguiente tabla se establece una relación o equivalencia entre los niveles de contención expuestos en las 2 normativas:

	NCHRP 350	EN 1317	RANGO
NIVEL DE CONTENCIÓN	TL2	N1	BAJO
	TL3	N2	MEDIO
	TL4	H1 - H2 - H3	ALTO
	TL5 - TL6	H4a - H4b	MUY ALTO

Tabla 4. Equivalencia entre niveles de prueba NCHRP 350/MASH y EN 1317

Los sistemas de contención vehicular a instalar en el Ecuador deberán cumplir con la (NCHRP) 350 "Procedimientos recomendados para la Evaluación del Desempeño Seguridad Características de la carretera" o MASH - "Manual para la Evaluación de Hardware de Seguridad de 2009" también será aceptable, las pruebas de choque a EN 1317 también se consideraran particularmente a los más altos niveles de contención (H1 y superior). Las pruebas para los niveles de contención normales (N1 y N2) sólo se tendrán en cuenta si el sistema ha sido probado para NCHRP 350, MASH, para terminales atenuadores y amortiguadores de impacto se tendrá preferencia por elementos ensayados bajo NCHRP350 o MASH dado que estos son probados con vehículos de mayor centro de gravedad. Los sistemas nuevos a instalar deberán ser compatibles con los sistemas descritos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2473:2008.

3.2. Nivel de Severidad del Impacto

Se define como el nivel de riesgo de sufrir lesiones para los ocupantes del vehículo como consecuencia de una colisión. Este nivel es inversamente proporcional a la capacidad de deflexión del elemento utilizado como barrera de contención, es decir, si el elemento tiene una gran capacidad de deflexión la severidad del impacto tiende a disminuir (barreras flexibles), si por el contrario la deflexión del elemento es mínima ante un posible impacto la severidad del mismo será mayor (barreras rígidas).

3.3. Deformación del sistema

Tiene que ver con las características del sistema relacionadas a el ancho de trabajo (w) y deflexión dinámica (d), definidas para cada sistema en los como resultado de los ensayos realizados a escala real. Estos valores deberán estar registrados en los informes de la prueba de impacto de la barrera de seguridad certificada.

3.4. Capacidad de redireccionamiento del sistema

El ángulo de salida del vehículo posterior al impacto debe ser lo más paralelo posible al eje de la calzada por lo tanto, dicho ángulo debe ser menor que el ángulo de entrada antes del impacto, si esta condición no se cumple el vehículo siniestrado podrá invadir otros carriles, impactando otros vehículos, terceros vulnerables o la barrera del lado opuesto.

4. EL CONCEPTO DE ZONA DESPEJADA (ZD)

Se define como "Zona despejada" (ZD) al espacio transversal comprendido entre el borde exterior de la vía y el obstáculo, desnivel u objeto vulnerable más próximo a ella. Esta Zona Libre es el área en el que, después de salirse de la vía, un conductor podría reconducir o detener su vehículo de manera segura, sin interferir con ningún peligro. La ZD incluye siempre el espaldón y de manera total, parcial o nula la berma y puede comprender, además, un espacio de anchura variable o indefinida exterior a la propia vía.

Si se dispone de un ancho de zona despejada, hay una expectativa razonable de que la mayoría de los vehículos que dejan la calzada tendrán espacio suficiente para retomar el control y volver al pavimento sin que ocurra un choque grave, por lo tanto siempre en los diseños de las vías se debería procurar la existencia de zonas despejadas seguras para los vehículos errantes, en la tabla 5 se muestran las zonas libres despejadas que deberían existir de acuerdo a la velocidad de la vía y a la pendiente de los terraplenes adyacentes a la misma, sin embargo, por distintas razones (económicas, topográficas, e.t.c), no siempre es posible contar con este tipo de zonas y por ende se encuentran en las vías una serie de peligros que pueden ser mortales ante un siniestro por salida de vía.

A continuación se identifican los peligros que pueden encontrarse en el entorno al costado del camino, y tratamientos posibles para reducir el riesgo para los conductores.

Hay cinco amplias categorías de peligros posibles:

- Terraplenes.
- Objetos rígidos – árboles, postes de servicios públicos, cabeceras de alcantarillas, etc.
- Parterres (choques por cruzar el parterre).
- Drenes abiertos.
- Masas de agua.

A pesar de las restricciones físicas, ambientales y económicas, los tratamientos preferidos (en orden de preferencia) de los peligros laterales son:

- Remover el obstáculo.
- Modificar el obstáculo para hacerlo traspasable.
- Reubicar el obstáculo a un lugar de menor riesgo.
- Aminorar la rigidez del obstáculo.
- Colocar un escudo al obstáculo (proteger con barrera o amortiguador).
- Delinear el obstáculo.

Con base a lo anterior podemos definir que solo se deben instalar barreras cuando el daño esperado, en los usuarios y vehículos, al colisionar con éstas, sea menor al daño que les ocurriría si la barrera no estuviera o en otras palabras, Las barreras longitudinales solo se deben utilizar para proteger a los conductores de los peligros naturales o artificiales al costado del camino a los que no se les puede aplicar ningún otro tratamiento. Ocasionalmente se usan para separar al tránsito de peatones, ciclistas.

Velocidad Diseño	TMDA	Terraplén			Corte		
		1:6 o menor	1:5 to 1:4	1:3	1:3	1:5 to 1:4	1:6 o menor
60 km/h o menor	< 750	2.0-3.0	2.0-3.0	* *	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0
	750-1500	3.0-3.5	3.5-4.5	* *	3.0-3.5	3.0-3.5	3.0-3.5
	1500-6000	3.5-4.5	4.5-5.0	* *	3.5-4.5	3.5-4.5	3.5-4.5
	> 6000	4.5-5.5	5.0-5.5	* *	4.5-5.0	4.5-5.0	4.5-5.0
70-80 km/h	< 750	3.0-3.5	3.5-4.5	* *	2.5-3.0	2.5-3.0	3.0-3.5
	750-1500	4.5-5.0	5.0-6.0	* *	3.0-3.5	3.5-4.5	4.5-5.0
	1500-6000	5.0-5.5	6.0-8.0	* *	3.5-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5
	> 6000	6.0-6.5	7.5-8.5	* *	4.5-5.0	5.5-6.0	6.0-6.5
90 km/h	< 750	3.5-4.5	4.5-5.5	* *	2.5-3.0	3.0-3.5	3.0-3.5
	750-1500	5.0-5.5	6.0-7.5	* *	3.0-3.5	4.5-5.0	5.0-5.5
	1500-6000	6.0-6.5	7.5-9.0	* *	4.5-5.0	5.0-5.5	6.0-6.5
	>6000	6.5-7.5	8.0-10.0*	* *	5.0-5.5	6.0-6.5	6.5-7.5
100 km/h	< 750	5.0-5.5	6.0-7.5	* *	3.0-3.5	3.5-4.5	4.5-5.0
	750-1500	6.0-7.5	8.0-10.0*	* *	3.5-4.5	5.0-5.5	6.0-6.5
	1500-6000	8.0-9.0	10.0-12.0*	* *	4.5-5.5	5.5-6.5	7.5-8.0
	> 6000	9.0-10.0*	11.0-13.5*	* *	6.0-6.5	7.5-8.0	8.0-8.5
110 km/h	< 750	5.5-6.0	6.0-8.0	* *	3.0-3.5	4.5-5.0	4.5-4.9
	750-1500	7.5-8.0	8.5-11.0*	* *	3.5-5.0	5.5-6.0	6.0-6.5
	1500-6000	8.5-10.0*	10.5-13.0*	* *	5.0-6.0	6.5-7.5	8.0-8.2
	> 6000	9.0-10.5*	11.5-14.0*	* *	6.5-7.5	8.0-9.0	8.5-9.0

Tabla 5. Zona Despejada Necesaria según la velocidad de la vía y la pendiente del talud de corte o terraplén. ** Considerar al pie del talud, * Puede usarse una ZD de 9m o mas
Fuente Guía de Diseño de Orillas de Camino (Roadside Design Guide, American Association of State Highway and Transportation Officials, USA, 2002).

5. BARRERAS LATERALES Y CENTRALES

Anteriormente se han definido las barreras laterales y las barreras centrales o separadoras de sentidos de circulación (Barreras de parterre), estas pueden clasificarse según su nivel de contención o según su grado de deflexión dinámica como se describe a continuación:

5.1. 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 laterales y las centrales se clasifican en los niveles de contención descritos en la NCHRP 350/MASH y en la EN 1317 (Ver tablas 1 y 3).

5.2. Clasificación según la deflexión dinámica

De acuerdo con la deflexión dinámica que pueden presentar las barreras laterales o las barreras centrales al ser impactadas por el vehículo con la velocidad y el ángulo de impacto considerados en su diseño, se clasifican en flexibles, semi rígidos o rígidos como se muestra en la tabla 6.

DEFLEXION	SISTEMAS FLEXIBLES	
1.2 – 5.5 m	Barreras Flexibles con Postes Débiles	Cable de acero
		Doble Onda
		Triple Onda
	SISTEMAS SEMI RIGIDOS	
0.5 – 2.5 m	Doble - Onda, poste rígido con separador	
	Triple – onda, poste rígido con separador modificado	
	Triple – onda, poste rígido con separador	
	Acero revestido de madera	
	SISTEMAS RIGIDOS (HORMIGON)	
0 – 0.7 m	General Motors, GM	
	New Jersey	
	Sección “F”	
	Muro Vertical	
	Quickchang	

Tabla 6. Clasificación de barreras según deflexión dinámica.

5.3. Utilización de barreras laterales y las barreras centrales o separadoras de sentidos de circulación (Barreras de parterre),

Siempre y cuando se haya realizado el análisis respectivo para el tratamiento de peligros al borde de vía y definitivamente no se pueda lograr una zona despejada adecuada para las condiciones existentes en la vía se deben utilizar barreras laterales y las barreras centrales o separadoras de sentidos de circulación (Barreras de parterre), en los siguientes casos:

5.3.1. En terraplenes

Los factores que determinan la necesidad de una barrera en un terraplén o en un balcón, ya sea en tangente o en curva, son la altura y la pendiente de sus taludes, como se muestra en la figura 3, en la que el punto definido por la altura y la pendiente, determina si se debe o no colocar la barrera, según el área donde caiga dicho punto. Para carreteras con velocidades de operación menores de 50 km/h y un tránsito diario promedio anual (TDPA) menor de 1 000, la barrera es opcional (dependiendo de otros factores como radio de curvatura y ancho de calzada).

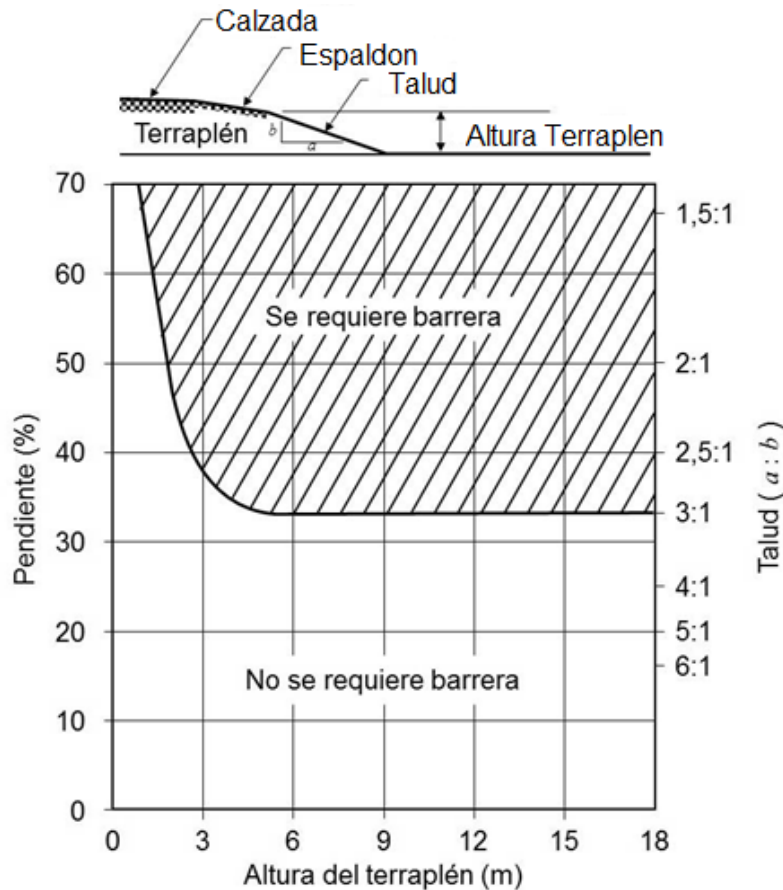


Figura 3. Fuente Guía de Diseño de Orillas de Camino (Roadside Design Guide, American Association of State Highway and Transportation Officials, USA, 2002).

5.3.2. En curvas horizontales

Se deben colocar barreras en cada curva horizontal (circular o circular con espiral de transición) 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, mayores de cinco (5) kilómetros, en ambos casos sólo 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. Las barreras flexibles

de cables de acero sólo se pueden instalar en curvas cuyos radios sean iguales a doscientos (200) metros o mayores, salvo que sean estrictamente indispensables, en cuyo caso la distancia entre los postes deberá reducirse en veinte por ciento (20%) con respecto a su distancia normal, para radios entre ciento cincuenta (150) y ciento noventa y nueve (199) metros, y cuarenta por ciento (40%) para radios entre cien (100) y ciento cuarenta y nueve (149) metros, pero nunca se instalarán en curvas con radios menores de cien (100) metros.

5.3.3. Por obstáculos laterales

Se deben colocar barreras cuando existan obstáculos laterales ubicados dentro de una franja de nueve (9) metros de ancho, adyacente a la carretera o de la vía urbana de circulación continua, o en la franja divisoria cuando se trate de cuerpos separados, dependiendo del tipo y la cercanía de esos obstáculos. Es importante resaltar que solo se deben instalar barreras cuando el daño esperado, en los usuarios y vehículos, al colisionar con éstas sea menor al daño que les ocurriría si la barrera no estuviera y cuando por algún motivo no sea factible reubicarlo, removerlo o hacerlo traspasable. La Tabla 7 ofrece una guía para definir la instalación de sistemas de contención vehicular ante la presencia de ciertos obstáculos laterales.

OBSTACULO LATERAL	RECOMENDACIÓN
Pilas, columnas, estribos u otros elementos estructurales que representen peligro	Cuando esten dentro de la zona despejada
Obras menores de drenaje y muros cabezales	Cuando su tamaño, forma u obicacion representen peligro
Obras de drenaje longitudinal	Cuando no sean traspasables o cuando sean traspasables y ello represente peligro
Taludes de corte sin irregularidades	Generalmente no requieren sistemas de contencion
Taludes de corte y terraplenes con irregularidades	Cuando sea probable que los vehiculos impacten con las irregularidades
Muros de contencion	Cuando su forma y ubicación sea tal que represente un peligro
Estructuras de señalizacion elevada, postes de servicio publico y semaforos	De acuerdo a las características del transito y el lugar
Arboles	Cuando sea probable que los vehiculos impacten con troncos de diametro superior a diez (10) centimetros
Rocas de gran magnitud	Cuando el costo de removerlas sea mayor al de instalar sistemas de contencion
Cuerpos de agua permanentes	Cuando su ubicación y profundidad representen peligro o por cuestiones de tipo ambiental

Tabla 7. Guía para definir la instalación de sistemas de contención vehicular ante la presencia de ciertos obstáculos laterales.

Fuente Guía de Diseño de Orillas de Camino (Roadside Design Guide, American Association of State Highway and Transportation Officials, USA, 2002).

5.3.4. En casos especiales

La necesidad de una barrera lateral o de parterre en zonas donde peatones, ciclistas o viviendas, 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.

5.3.5. Barreras en dobles calzadas

Las barreras separadoras de sentidos de circulación se deben instalar en los parterres de las carreteras o vías urbanas de alta velocidad de dos o más carriles por sentido de circulación, para impedir que los vehículos invadan los carriles de sentido opuesto y evitar que se produzcan colisiones frontales.

Cuando el parterre tenga un ancho mayor de nueve (9) metros, no se requieren barreras separadoras de sentidos de circulación, ya que en la mayoría de los casos los vehículos errantes se pueden detener o retomar su rumbo en esa distancia, antes de invadir los carriles opuestos. Sin embargo, es recomendable analizar si se justifica su instalación por un motivo operacional o por que se trate de un lugar donde frecuentemente ocurran accidentes con víctimas.

En casos especiales estas barreras también se pueden instalar entre carriles del mismo sentido, para controlar el flujo del tránsito cuando las condiciones geométricas u operacionales así lo requieren, con el propósito de definir y limitar adecuadamente una trayectoria.

6. SELECCIÓN

Una vez se hayan identificado los lugares donde se hace necesario instalar barreras laterales o separadoras de sentidos de circulación, se debe seleccionar su tipo en función de su nivel de contención, su deflexión dinámica y ancho de trabajo, considerando lo siguiente:

6.1. Selección según el nivel de contención

Con base en la composición del flujo vehicular en términos del tránsito diario promedio anual (TDPA) y la velocidad de operación en el subtramo donde se emplazarán las barreras laterales o separadoras de sentidos de circulación, que se esperan en los siguientes cinco (5) años, en la Tabla 8 se proponen los niveles de contención mínimos para diferentes casos.

Velocidad de operación km/h	Nivel de contención (NC) ^[1] mínimo de la barrera				
	Caminos de dos carriles, uno por sentido de circulación			Caminos de dos o más carriles por sentido de circulación	
	Tránsito diario promedio anual (TDPA)			Tránsito diario promedio anual (TDPA)	
	< 1 000	1 000 – 9 999	≥ 10 000	< 10 000	≥ 10 000
Hasta 50	NC-1	NC-1	NC-1	NC-1	NC-2
51 - 70	NC-2	NC-2	NC-2	NC-2	NC-3 ^[2]
71 - 100	NC-3	NC-3 ^[2]	NC-3 ^[2-3]	NC-3 ^[2-3]	NC-3 ^[2-3]
101 - 120	NC-3	NC-3 ^[2-3]	NC-4 ^[4]	NC-4 ^[4]	NC-5

Tabla 8. Nivel de contención mínimo de una barrera según velocidades y TPDA.

NC = Niveles de contención según NCHRP350/MASH (ver tabla 1) y equivalencia con EN1317 (ver tabla 3)

De contar con autobuses en un 25% o mas del TPDA utilizar mínimo NC 4

De contar con camiones de carga con masa vehicular mayor a 10.000 kg, en un 25% o mas del TPDA utilizar mínimo NC 4

De contar con camiones de carga con masa vehicular mayor a 18.000 kg, en un 25% o mas del TPDA utilizar mínimo NC5

6.2. Selección según la deflexión dinámica y ancho de trabajo

Para seleccionar el tipo de barrera lateral o separadora de sentidos de circulación en función de su deflexión dinámica y ancho de trabajo se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

Para las barreras laterales desplantadas sobre la corona de los terraplenes o balcones, en tangentes o en curvas, se debe considerar un ancho de trabajo máximo de ciento sesenta (160) centímetros y no más de ciento veinte (120) centímetros cuando se desplanten en el talud, como se muestra en la figura 4.

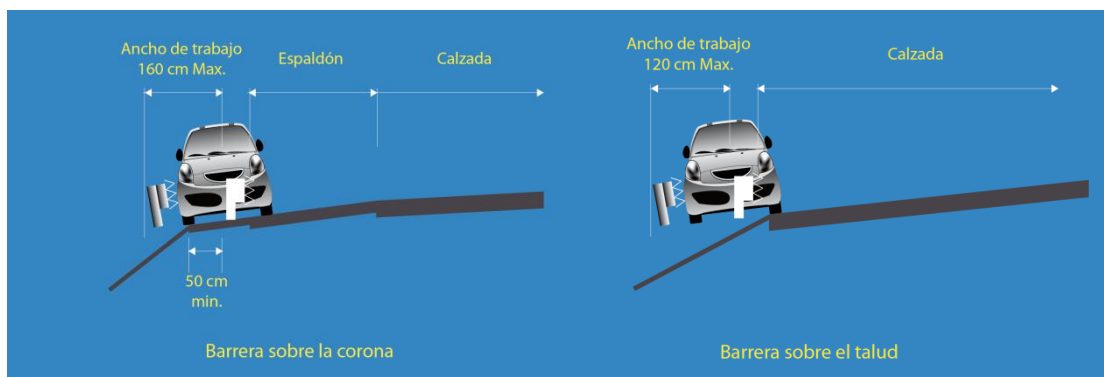


Figura 4. Ancho de trabajo máximo para casos especiales.

Cuando existan obstáculos laterales que representen peligro, en tangentes o en curvas, el ancho de trabajo máximo de las barreras, corresponde al espacio libre disponible entre la parte posterior de la barrera y el obstáculo lateral o peligro adyacente a la vía, como se muestra en la figura 5.

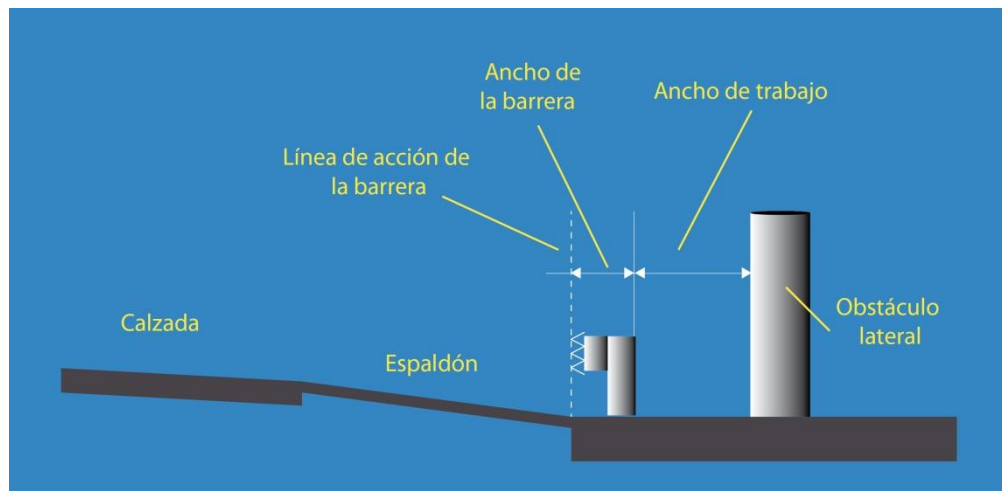


Figura 5. Emplazamiento lateral con respecto al ancho de trabajo.

Cuando en un sitio específico la deflexión dinámica de la barrera lateral o separadora de sentidos de circulación, flexible o semirrígida 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 el fabricante certifique que la nueva modulación cumple con las condiciones de nivel de contención y otros criterios de evaluación según la norma que aplique.

7. EMPLAZAMIENTO

7.1 Emplazamiento lateral de las barreras

7.1.1. Distancia de la orilla de la calzada a la barrera

Una barrera instalada lo más lejos posible de la calzada 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 vía, sin embargo instalar barreras excesivamente lejos de la calzada, 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.

Otro factor importante en el emplazamiento lateral es la denominada distancia de preocupación, que se define como la distancia desde el borde de la calzada, más allá de la cual un elemento potencialmente peligroso o cualquier elemento ajeno a la vía (barrera lateral o separadora de sentidos de circulación) no es percibido como un obstáculo y no ocasiona que el conductor de un vehículo reduzca la velocidad o cambie de carril, en la tabla 9 se establecen unos rangos mínimos para distancias de preocupación, en función del número de carriles de un mismo sentido de circulación y de la velocidad de operación.

Número de carriles ⁽¹⁾	Velocidad de operación, km/h			
	Hasta 50	60 - 70	80 - 100	≥ 110
	Distancia de Preocupacion Minima (m) (2)			
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

[1] Número de carriles en un mismo sentido de circulación.

[2] 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.

Tabla 9. Distancia de preocupacion minima

Fuente Guía de Diseño de Orillas de Camino (Roadside Design Guide, American Association of State Highway and Transportation Officials, USA, 2002).

En carreteras con espaldón, las barreras 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 espaldón coincida con el hombro de un talud, en cuyo caso la barrera debe colocarse sobre el espaldón, indicando la reducción de su ancho mediante el señalamiento horizontal y vertical de la carretera. En cualquier caso, entre el borde exterior de los postes de la barrera y el hombro de un talud, debe quedar un espacio libre de al menos cincuenta (50) centímetros (retranqueo) 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 espaldón, a la altura (h) especificada en el diseño de la barrera que se utilice, como se muestra en la figura 6.

En carreteras sin espaldón, las barreras se deben ubicar lo más lejos posible de la calzada. 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 cincuenta (50) centímetros (retranqueo). Cuando la calzada 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 de la calzada, 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 la figura 6, para un buen desempeño de las barreras laterales y separadoras de sentidos de circulación, flexibles o semirrígidas, se debe

respetar la interacción entre los postes y el suelo. Las barreras semirrígidas no funcionan adecuadamente si los postes están sumergidos en concreto por lo que éstos se deben hincar en el suelo por medios mecánicos siempre y cuando los suelos no sean rocosos o excesivamente duros (ya que la interacción del poste con el suelo en el caso de ser impactado funcionara similar a como si estuviera sumergido en concreto). Por el contrario, las barreras flexibles pueden contar con postes ahogados en concreto o pueden ser hincados en el suelo por medios mecánicos.

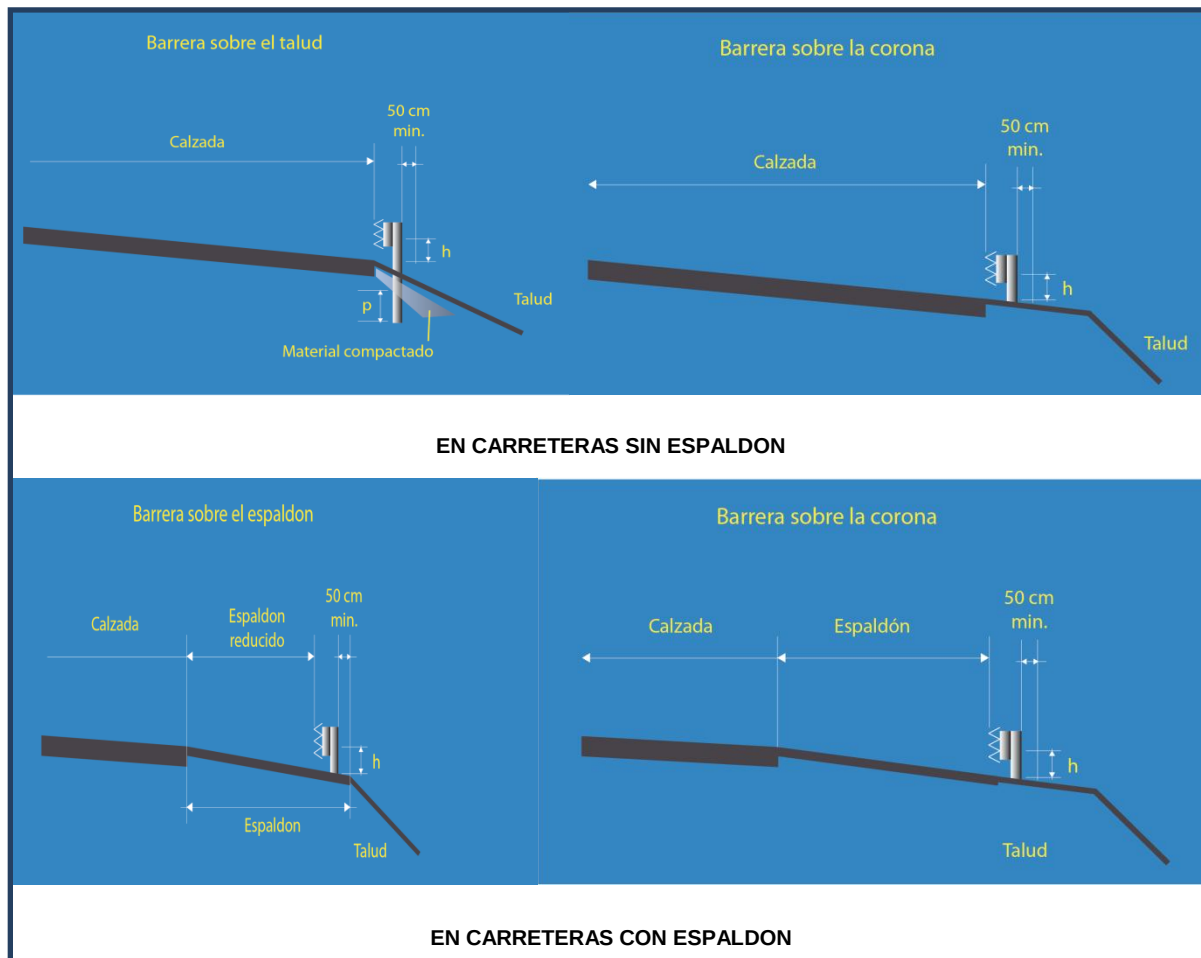


Figura 6. Casos emplazamiento lateral para carreteras con espaldón y sin espaldón.

7.1.2. Emplazamiento lateral de las barreras separadoras de sentidos de circulación

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

Si el parterre tiene una superficie sensiblemente plana, con pendientes transversales no mayores de diez (10) por ciento (talud de 10:1), 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 de la calzada y la barrera, ésta se debe emplazar al centro del parterre, como se muestra en la figura 7.

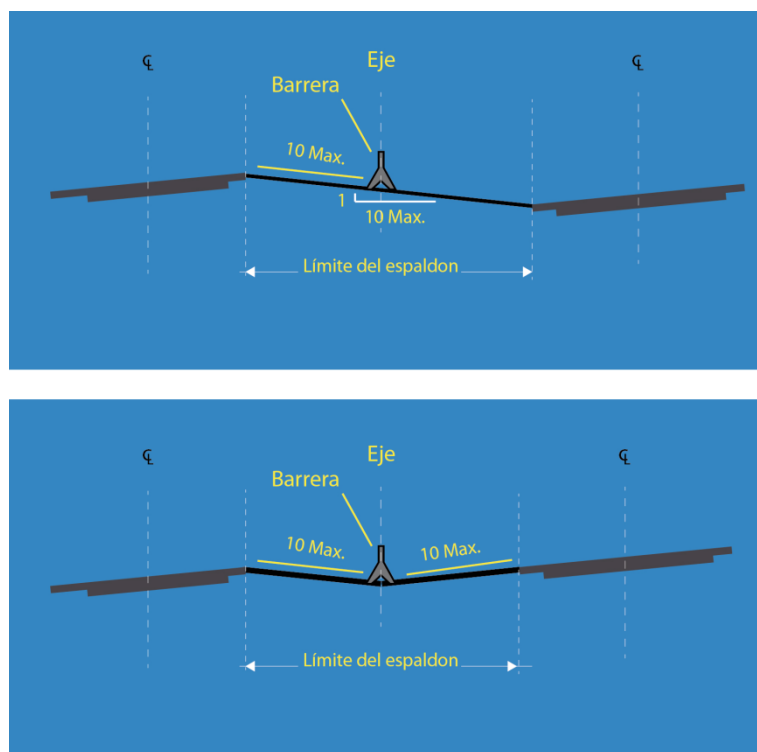


Figura 7. Emplazamiento lateral de barreras centrales en parterres con pendientes transversales máximas de 10% sin obstáculos.

Si el parterre tiene una superficie con pendientes transversales entre treinta y tres coma tres (33,3) por ciento (talud 3:1) y diez (10) por ciento (talud 10:1) y sin obstáculos tales como bordillos, cunetas o similares, entre el borde de la calzada y la barrera, ésta se debe emplazar en el lado más alto del parterre, como se muestra en la figura 8.

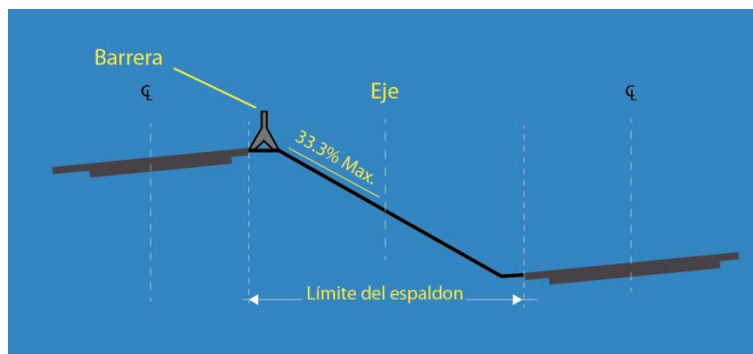


Figura 8. Emplazamiento lateral de barreras centrales en parterres con pendientes transversales entre 10% y 33,3%, sin obstáculos.

Si el parterre tiene una superficie con pendientes transversales mayores de treinta y tres coma tres (33,3) por ciento (talud 3:1) o existen en ella obstáculos que representen peligro, en lugar de las barreras separadoras de sentidos de circulación, se deben emplazar barreras laterales a ambos lados del parterre.

Es importante resaltar que en las figuras 7 y 8 se ilustra una barrera rígida, sin embargo pueden ser utilizadas barreras metálicas con viga en los dos extremos o barreras de cables siempre y cuando cumplan con los ensayos a escala real dispuestos en la norma que las certifique.

7.1.3. Pendiente transversal

A fin de asegurar el correcto desempeño de la barrera durante un impacto, se requiere que la superficie entre la calzada y la barrera sea uniforme, con una pendiente transversal no mayor de diez (10) por ciento, sin escalones, cunetas o bordillos, entre otros.

7.1.4. Esviaje de las barreras

Una barrera se considera esviada cuando no es paralela al borde de la calzada, como se muestra en la figura 11, lo que se puede hacer en el extremo inicial de la barrera para disminuir su longitud, así como la percepción de angostamiento de la calzada (distancia de preocupación) y finalmente disminuir la posibilidad de un impacto frontal con un elemento terminal. Los valores de esviaje máximo para barreras semi rígidas y rígidas se muestran en la Tabla 10, en función de la velocidad de operación. Para barreras de laterales flexibles no se recomienda el esviaje.

Velocidad de operación km/h	Esviaje maximo de barreras a : b ^[1]	
	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

[1] "a" es la distancia en el sentido longitudinal del borde del arroyo vial y "b" es la distancia en el sentido transversal.

Tabla 10. Esviaje máximo de barreras

Fuente Guía de Diseño de Orillas de Camino (Roadside Design Guide, American Association of State Highway and Transportation Officials, USA, 2002).

- 1) Se determina la longitud “C” de la vía, donde, por la altura y pendiente del talud del terraplén, se requiera la barrera, atendiendo lo indicado en la figura 3.
- 2) Sobre la sección transversal de la vía 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 que nueve (9) metros, se considera igual a dicho límite.

- 3) En la Tabla 11 se determina la longitud de escape (L_e), 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	Tránsito diario promedio anual (TDPA)			
	Menos de 800	800 a 2 000	2 000 a 6 000	Más de 6 000
≥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 11. Longitud de escape (L_e) en metros

Fuente Guía de Diseño de Orillas de Camino (Roadside Design Guide, American Association of State Highway and Transportation Officials, USA, 2002).

- 4) Con la siguiente expresión se calcula la longitud previa mínima (L_p) necesaria, la que debe ser siempre mayor de diez y seis (16) metros o igual:

$$l_p = l_e \left(1 - \frac{l_1}{D} \right)$$

Donde:

- L_p Longitud previa mínima de la barrera, en el sentido del flujo vehicular hasta el inicio de la longitud “C” de la vía, donde, por la altura y pendiente del talud del terraplén, se inicie el requerimiento de la barrera, atendiendo lo indicado en la figura 3, (m, con aproximación a la unidad).
- D Distancia horizontal en la sección transversal de la vía, entre el borde del carril de circulación y el pie del talud o, en su caso, el borde exterior de la cuneta, (m). Si esta distancia resulta mayor que 9 m, se considera igual a dicho límite.
- L_e Longitud de escape que se indica en la Tabla 11, en el sentido del flujo vehicular hasta la sección “C”, en función del tránsito diario promedio anual esperado y de la velocidad de operación, (m).
- L_1 Distancia en la sección transversal, del interior de la barrera al borde del carril, (m), esta debe ser en lo posible mayor a la distancia de preocupación mínima tabla 9.

- 5) Cuando la carretera o vía 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 lateral debe ser como mínimo de diez y seis (16) metros, a partir de la parte final de la longitud “C”, donde, por la altura y pendiente del talud del terraplén, concluya el requerimiento de la barrera, atendiendo lo indicado en la figura 3.
- 6) En caso de presentarse en curvas la sección C es la distancia entre el principio de la curva (PC) y el principio de la tangente (PT), la longitud D se asume de 9m (ver figura 10).

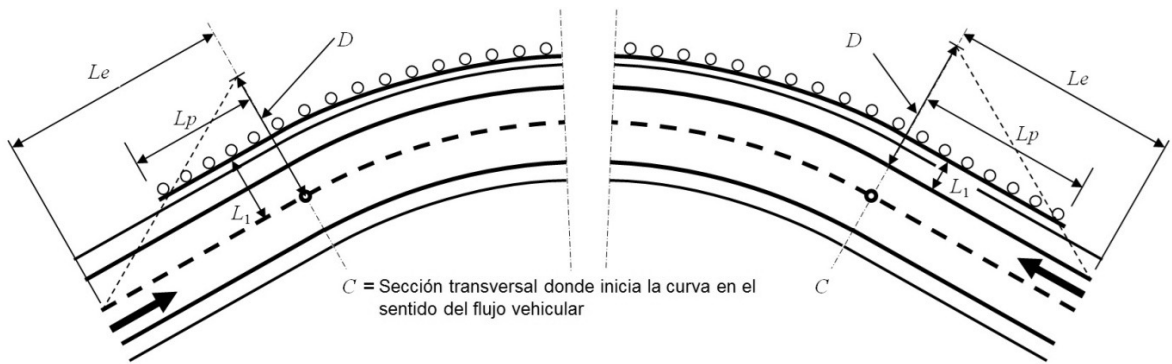


Figura 10. Longitud previa mínima necesaria para barreras laterales en curvas.

7.2.2 Determinación de la longitud necesaria de barreras laterales por obstáculos adyacentes

La longitud de barrera laterales necesaria para evitar que un vehículo fuera de control impacte en un obstáculo lateral que se encuentre dentro de una franja de nueve (9) metros de ancho, adyacente a la calzada, 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 lateral debe ser como mínimo de 40m sin contar con las secciones extremas.

La longitud previa mínima (L_p) necesaria de la barrera lateral debe ser mínimo de diez y seis (16) metros y se determina mediante la siguiente expresión, según se ilustra en la figura 11.

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

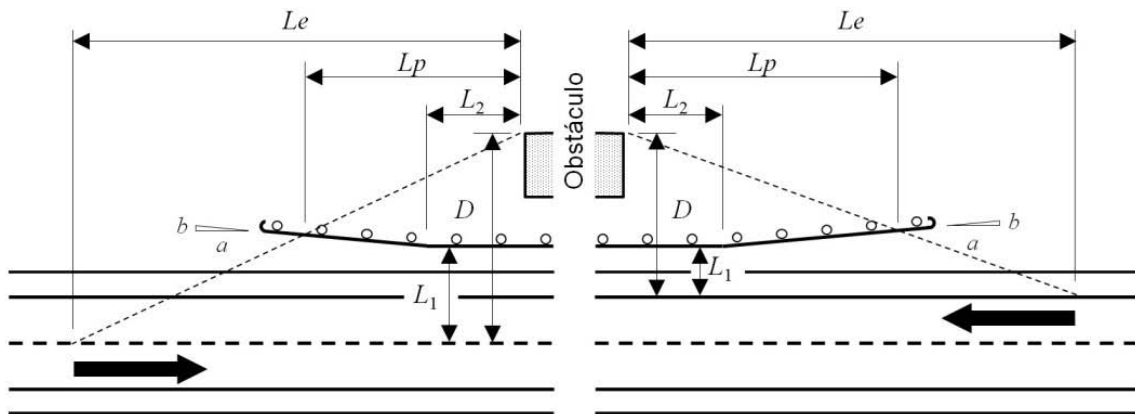


Figura 11. Longitud previa mínima necesaria de barreras laterales para obstáculos adyacentes

Donde:

- Lp Longitud previa mínima de la barrera, en el sentido del flujo vehicular hasta el borde anterior del obstáculo.
- D Distancia horizontal en la sección transversal de la vía, entre el borde del carril de circulación y el borde más alejado del obstáculo. Si esta distancia resulta mayor que 9 m, se considera igual a dicho límite
- Le Longitud de escape que se indica en la Tabla 11, en el sentido del flujo vehicular hasta el borde anterior del obstáculo.
- L1 Distancia en la sección transversal, del interior de la barrera al borde del carril, (m), esta debe ser en lo posible mayor a la distancia de preocupación mínima tabla 9.
- L2 Longitud de la barrera paralela a la calzada la cual sería de 5m si el obstáculo no sobresale del terreno (obras de arte, cuerpos de agua) y 8m para obstáculos que sobresalen del terreno (árboles, postes, e.t.c)
- b/a Esviaje de la barrera, de acuerdo con lo indicado en la Tabla 10, (m)

7.2.3 Emplazamiento longitudinal de las barreras separadoras de sentidos de circulación

Las barreras separadoras de sentidos de circulación se deben instalar a todo lo largo de las fajas separadoras o los parterres que la requieran (según las mismas consideraciones para las barreras laterales: pendiente talud, obstáculos, curvas peligrosas), en la figura No 12 se puede observar un criterio adicional para la decisión de utilización de una barrera de parterre según el ancho de la mediana y el TPD, es

importante resaltar que en sus extremos se deben colocar secciones de amortiguamiento.

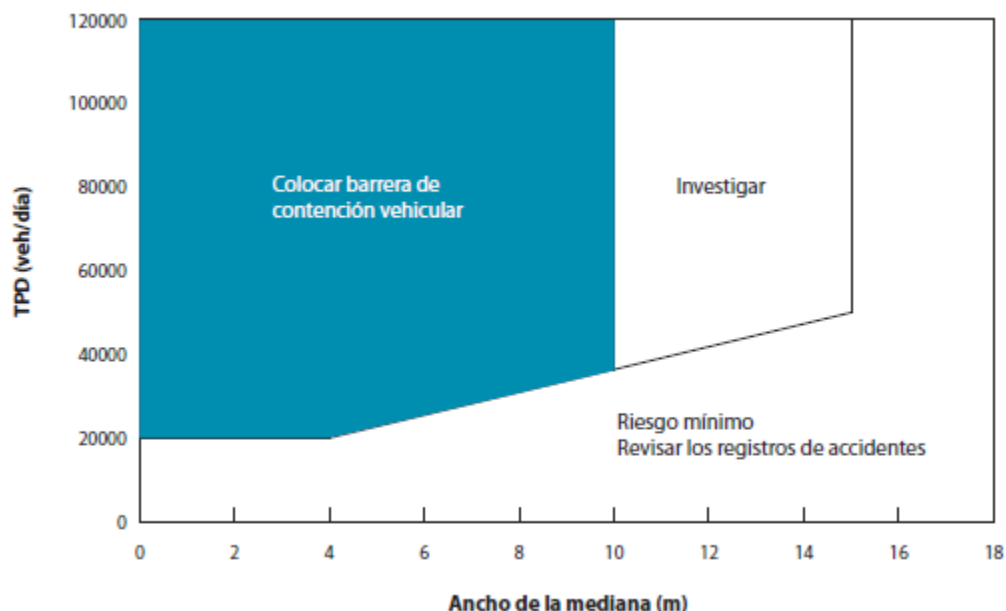


Figura 12. Utilización de una barrera de parterre según el ancho de la mediana y el TPD.

8. BARRERAS DE TRANSICIÓN Y CONEXIÓN

Se deben utilizar barreras de transición cuando se requiera conectar dos barreras que tengan niveles de contención o deflexiones dinámicas diferentes o conectar las barreras con estructuras de puentes o estructuras similares, u otros elementos estructurales rígidos como muros de contención y muros de entrada a túneles, entre otros. La barrera de transición debe proveer un cambio gradual de rigidez, es decir, del nivel de contención y de la deflexión dinámica, en la zona de aproximación al elemento más rígido, capaz de evitar la deformación exagerada por el impacto de un vehículo, que resulta en ángulos excesivos de redireccionamiento con trayectorias peligrosas, 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, por lo que en cada caso debe seleccionarse la transición adecuada que haya mostrado buen comportamiento al ser probada y certificada por cada proveedor, sin embargo, en lo general, deben considerarse los siguientes aspectos:

8.1 Carreteras y vías urbanas de dos carriles. En el caso de carreteras y vialidades urbanas que tengan un carril por sentido de circulación, las barreras de transición se deben utilizar de manera que se asegure la protección de los vehículos que circulen en los dos sentidos.

8.2. 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 diez (10) a doce (12) veces la diferencia entre las deflexiones normales de ambos elementos. Por ejemplo, al conectar una barrera metálica cuya deflexión normal es de un (1) metro, con una barrera rígida cuya deflexión normal es de cero (0) metros, la diferencia entre sus deflexiones normales es de un (1) metro y el largo del tramo de transición entre estos sistemas sería de diez (10) a doce (12) metros. 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.

8.3. Conexiones adecuadas. 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 la figura 13 y placas de distribución de carga detrás del elemento de concreto, para repartir las cargas adecuadamente.

8.4. 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. 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 y al elemento rígido mediante una sección de transición, como se muestra en la figura 14.

8.5. Doble banda. En algunos casos, en lugar de la sección de transición a que se refiere el Párrafo anterior, es recomendable usar una viga acanalada adicional colocada abajo de la normal para evitar el impacto vehicular en postes u otros elementos del sistema no aptos para ello, integrándose así una configuración de barrera denominada de “doble banda”.

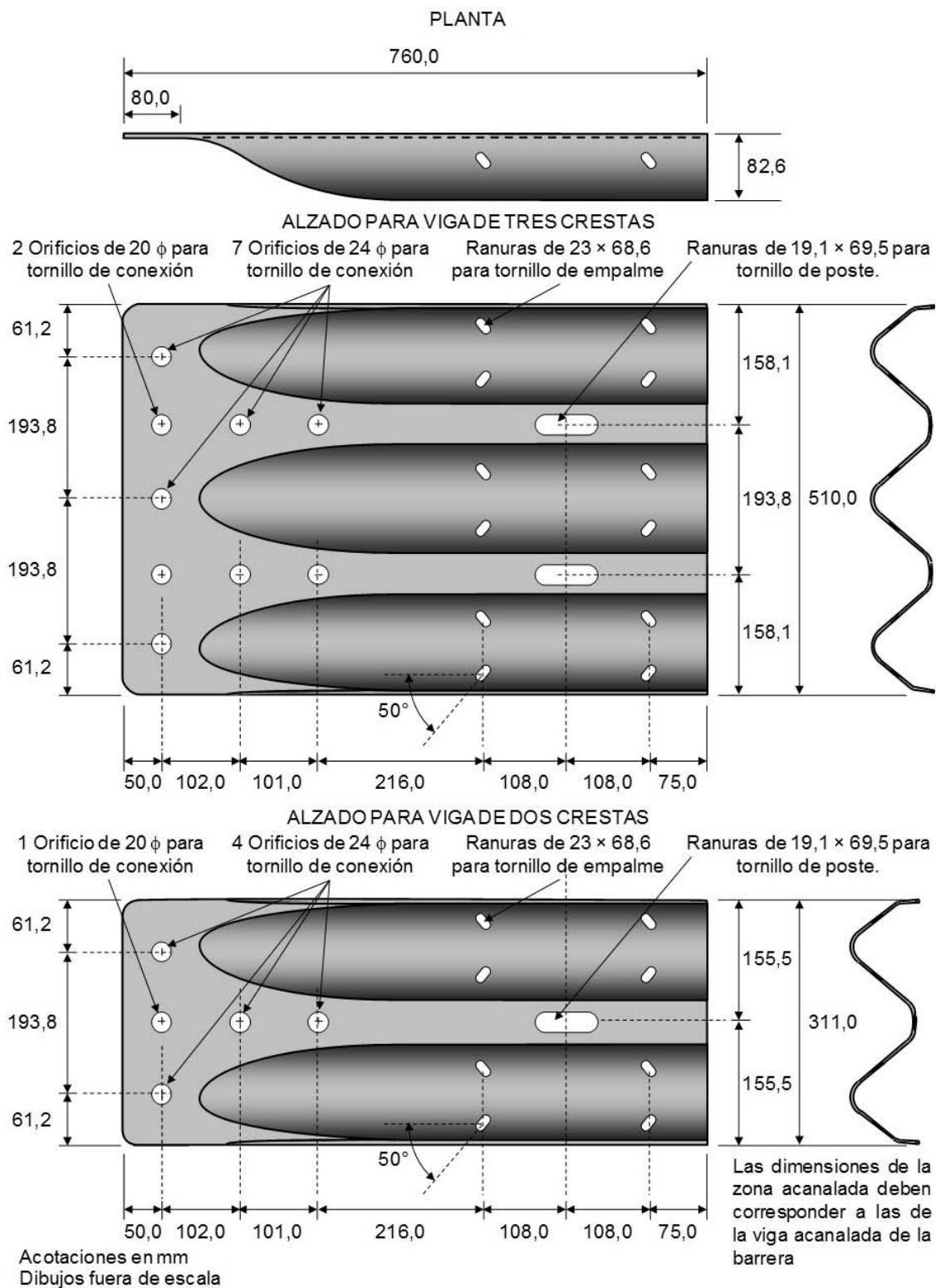


Figura 13. Zapatas de conexión para barreras de vigas de acero.

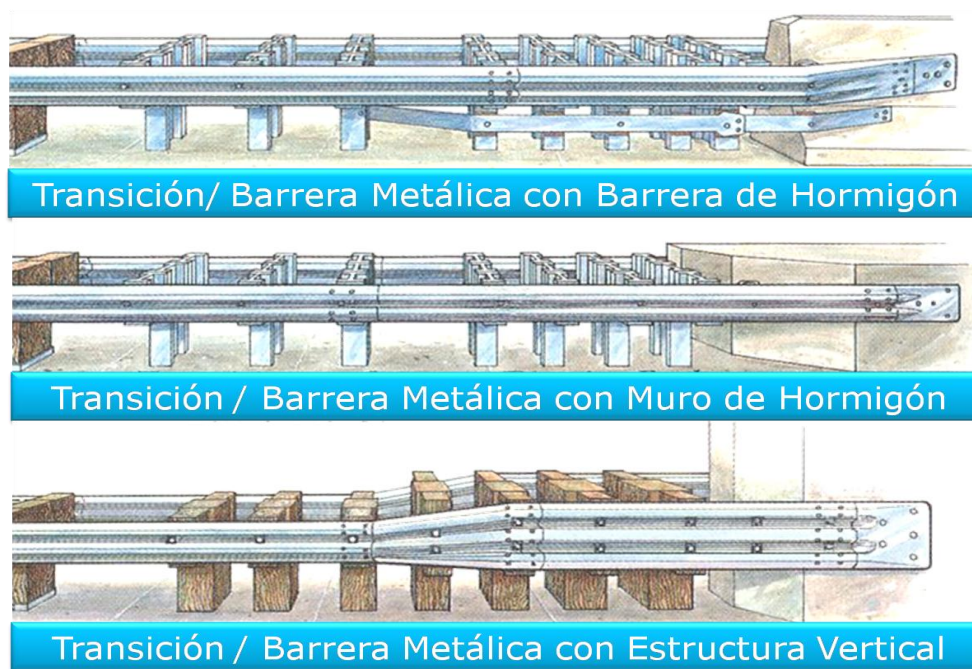


Figura 14. Diseño sección de transición entre una barrera flexible o semi rígida a un elemento rígido.

9. SECCIONES EXTREMAS DE LAS BARRERAS

Para asegurar el correcto y seguro funcionamiento de cada barrera, se deben diseñar con dos secciones extremas, una al inicio y otra al final de cada tramo de barrera según sea necesario. Las características mecánicas, los detalles estructurales de las secciones en sí mismas y las geométricas del emplazamiento, deben ser materia del diseño particular de cada caso, lo cual dependerá fundamentalmente de las características del resto de la barrera, las condiciones del suelo y la situación geométrica del camino.

Las secciones extremas iniciales pueden ser amortiguadoras o atenuadoras cuando se colocan en el extremo de la barrera en el que un vehículo que se aproxima a ella se pueda impactar de frente en ese extremo, empotradas en talud (cuando la topografía del terreno lo permite) o en cola de pez siempre y cuando la barrera se haya esviado de tal manera que la distancia entre el borde de la calzada y dicha sección extrema sea como mínimo de 9m.

Para las secciones terminales cuando se colocan en el extremo de la barrera donde no exista posibilidad de que un vehículo se impacte de frente en él y pueden ser de tipo cola de pez o abatidas y enterradas, la longitud mínima de la sección será la que resulte del número de vigas necesarias para contener 8 postes, es decir si utilizamos vigas con postes cada 2m la longitud mínima será de 16m, para postes cada 4m la longitud mínima será de 32m, esta longitud debe ser independiente de la longitud previa de la barrera l_p .

9.1. Secciones de amortiguamiento o atenuadoras

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

9.1.1. Clasificación

Las secciones de amortiguamiento se clasifican según su modo de operación y según su nivel de prueba, como se indica a continuación:

9.1.1.1. 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) y No redireccionables (NR).

9.1.1.1.1. Secciones de Amortiguamiento Redireccionables–No traspasables (RNT)

Son diseñadas para absorber toda la energía de un impacto, frontal o angular, desde 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 la calzada. 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.



Imagen 1. Terminal atenuador para barrera lateral, Redireccionables–No traspasables (RNT).



Imagen 2. Terminal atenuador o amortiguador de impacto para parterre, Redireccionables–No traspasables (RNT).

Los terminales denominados amortiguadores de impacto (imagen inferior) pueden instalarse en bifurcaciones y zonas especiales como estaciones de peaje y siempre se deberá optar por el sistema mas corto siempre y cuando cumpla con el nivel de contención requerido.

9.1.1.1.2. 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 la calzada.

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.



Imagen 3. Terminal atenuador lateral traspasable entre el primer y segundo poste, redireccionable a partir del segundo poste.

9.1.1.1.3. Secciones de Amortiguamiento No Redireccionables

Son diseñadas para absorber toda la energía de un impacto frontal en su extremo inicial, acelerando cantidades preestablecidas de arena, agua u otro material, 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, resultando irrecuperables después del mismo. Impactos angulares cercanos al final del dispositivo pueden resultar en desaceleraciones críticas para los vehículos. Generalmente se utilizan en situaciones de peligro temporal como en obras.



Imagen 4. Terminal de amortiguamiento no redireccionable.

9.1.1.2. 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, redireccionar, las secciones de amortiguamiento se clasifican en los tres niveles de contención que se indican en la Tabla 12, según la NCHRP 350/MASH y EN1317

Elemento	NCHRP 350	EN 1317
Niveles de Prueba	3	5
Auto (Kg)	700, 820	900, 1.300, 1.500
Camioneta (Kg)	2000 (MASH 2270)	no
Velocidades (Km/h) Nivel	50 – TL1 70 – TL2 100 – TL3	50 – Nivel 50 80 – Nivel 80 100 – Nivel 100 110 – Nivel 110
Llegada	De Frente centro, De Frente a ¼ panel, De Frente a 15°, lateral 20° y 160°	De Frente centro, De Frente a ¼ panel, De Frente a 15°, lateral 15° y 165°
Ángulo	0, 15, 20, 165	8, 15, 165

Tabla 12. Niveles de contención y características de prueba según la NCHRP350 y la EN1317.

En el caso específico de las Secciones de amortiguamiento o atenuadoras es aconsejable optar por los sistemas aprobados por la NCHRP350/MASH dado que los ensayos se realizan para vehículos con mayor centro de gravedad.

9.2 Sección inicial empotrada en un talud

Es una solución muy efectiva, consiste en alejar el extremo de la barrera del borde de la vía y anclarlo a un talud de corte (Ver imagen 5). El talud debe ser empinado, con una pendiente mayor a 1H: 5V y una superficie suave (no rocosa) capaz de redireccionar el vehículo sin provocar el enganchamiento o vuelco del mismo. Si el diseño de la barrera de contención vehicular y su terminal es adecuado (considerando su disposición en campo y diseño estructural), este tipo de anclaje provee una defensa absoluta a los usuarios de la vía, elimina la posibilidad de una colisión frontal con el terminal de la barrera, y minimiza la posibilidad de que el vehículo traspase la barrera y alcance el obstáculo, por lo tanto se considera que es un tipo de terminal infranqueable. La longitud mínima de la sección será

la que resulte del numero de vigas necesarias para contener 8 postes, es decir si utilizamos vigas con postes cada 2m la longitud mínima será 16m, para postes cada 4m la longitud mínima serán 32m, esta longitud debe ser independiente de la longitud previa de la barrera lp.

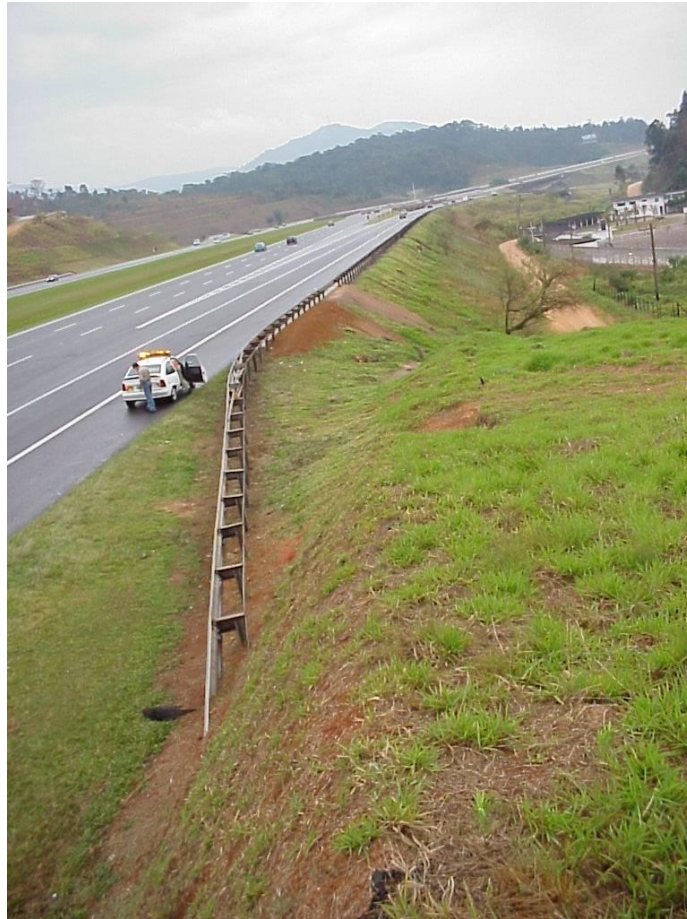


Imagen 5. Terminal empotrado en talud.

9.3. Sección Inicial con Cola de Pez o Abatida

Son las secciones menos recomendables de las soluciones por considerarse peligrosa ante un impacto frontal, por este motivo, solo se podrán utilizar cuando se desarrolle un terminal con una longitud necesaria y una razón de esviaje definida (tabla10) de tal manera que el terminal cola de Pez o la sección abatida (figura 16) queden a una distancia del extremo de la calzada de mínimo 9m. La longitud mínima de la sección será la que resulte del numero de vigas necesarias para contener 8 postes, es decir si utilizamos vigas con postes cada 2m la longitud mínima será 16m, para postes cada 4m la longitud mínima serán 32m, esta longitud debe ser independiente de la longitud previa de la barrera lp.

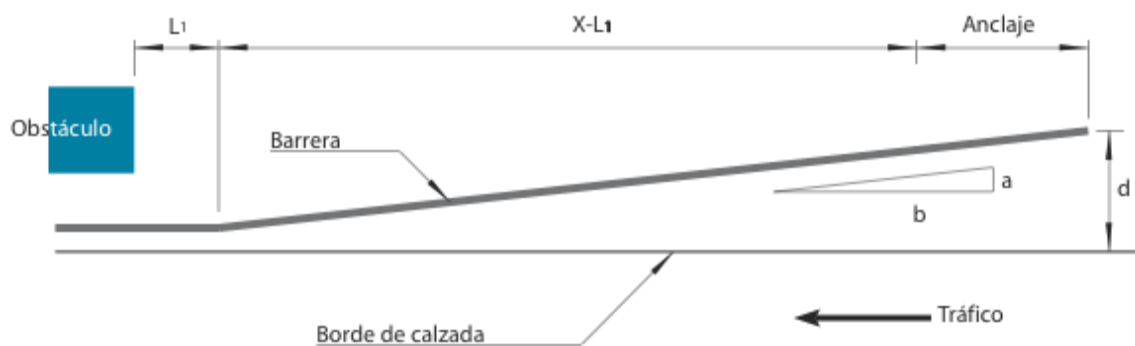


Figura 15. Solo se podrá usar una sección inicial cola de pez cuando el valor de d sea mínimo de 9m y la relación de esviaje sea correspondiente a la tabla 10.

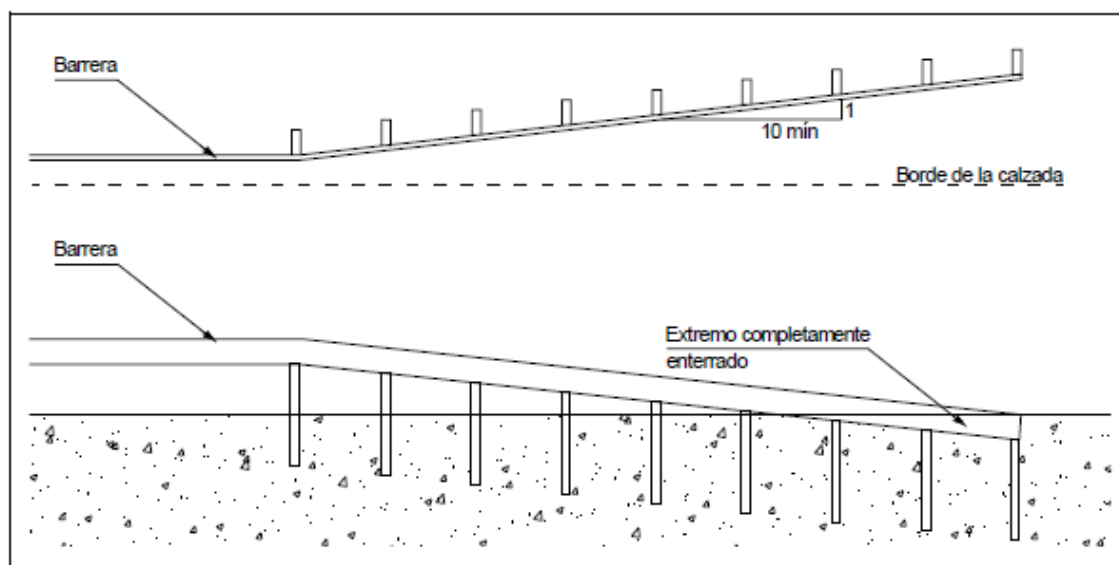


Figura 16. Terminal esviado y abatido. La distancia mínima desde el borde de la calzada hasta el extremo final de la barrera debe ser de 9m.

10. BIBLIOGRAFÍA

AENOR (1999) *Norma UNE-EN 1317-1, Sistemas de Contención Para Carreteras, Parte 1: Terminología y Criterios Generales para los Métodos de Ensayo*. Asociación Española de Normalización y Certificación.

AENOR (1999) *Norma UNE-EN 1317-2, Sistemas de Contención Para Carreteras, Parte 2: Clases de Comportamiento, Criterios de Aceptación para el Ensayo de Choque y Métodos de Ensayo para Barreras de Seguridad*. Asociación Española de Normalización y Certificación.

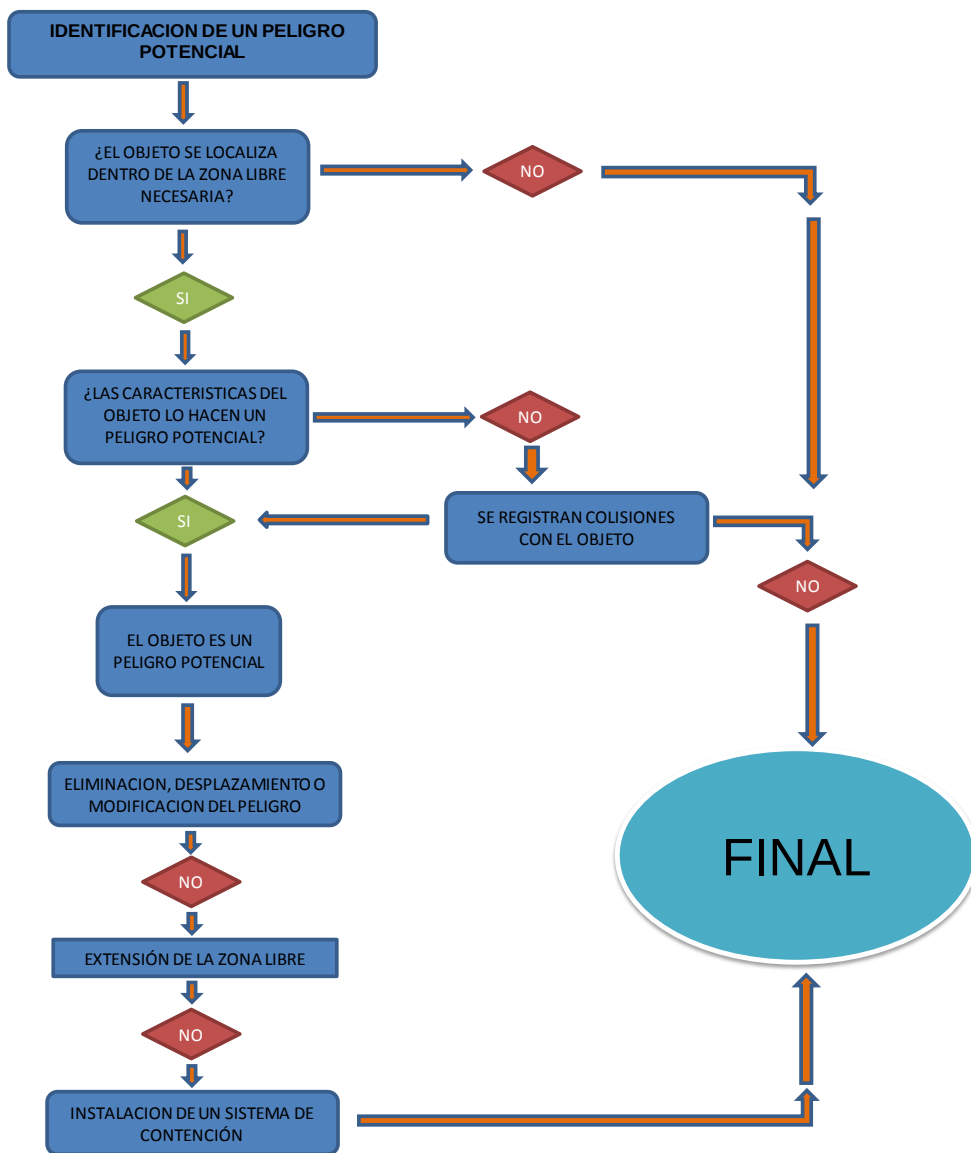
Reporte 350 Procedimientos Recomendados para Evaluar el Desempeño de los Dispositivos de Seguridad de Carreteras del Programa Nacional de Cooperación e Investigación de Carreteras de los Estados Unidos de América (Report 350 Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features, National Cooperative Highway Research Program, USA, 1993).

Manual para la Evaluación de Equipos de Seguridad de la Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transportes Oficiales (Manual for Assessing Safety Hardware [MASH], American Association of State Highway and Transportation Officials, USA, 2009).

Guía de Diseño de Orillas de Camino (Roadside Design Guide, American Association of State Highway and Transportation Officials, USA, 2002).

Guía de Elementos para Barreras Estándar de Carreteras (A Guide to Standardized Highway Barrier Hardware), AASHTO-AGC-ARTBA, EUA.

ANEXO 1. SECUENCIA DE DECISION PARA LA EVALUACION DE LA SEGURIDAD DE UNA CARRETERA ANTE UN PROBABLE ACCIDENTE POR SALIDA DE CALZADA



ANEXO 2. PROCEDIMIENTO GENERAL PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTENCION VEHICULAR

