



Índice

7.1	COSTADOS DE LA CALZADA, INVASIONES Y CHOQUES	1
7.2	MANTENIMIENTO DE LOS VEHÍCULOS EN LA CALZADA	4
7.3	SALIDA INVOLUNTARIA DESDE LA CALZADA	32
7.4	ÍNDICES DE RIESGO	55
7.5	DISEÑO DEL CDC	57
7.6	DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN	58
7.7	TRANSICIONES	99
7.8	BARRERAS DE PUENTES	104
7.9	TRATAMIENTO DE EXTREMOS DE BARRERAS	109
7.10	AMORTIGUADORES DE IMPACTO	115
7.11	SEGURIDAD Y ECONOMÍA	115
7.12	LISTA DE VERIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD DEL DISEÑO	122
7.13	BIBLIOGRAFÍA PARTICULAR DE CONSULTA	123
	7 ANEXO	131

7 SEGURIDAD EN LA CALZADA Y SUS COSTADOS

“En tanto la mayor parte de los choques se atribuyen a errores de los conductores, ¿por qué entonces tantos conductores cometen los mismos errores en los mismos lugares de la red vial? Los puntos negros de accidentes no son inventos”.

Ruediger Lamm

En todo el mundo, anualmente mueren más de un millón de personas y hasta cincuenta millones resultan heridas en accidentes viales; en la Argentina se estima en más de ocho mil los muertos en accidentes similares, un muerto por hora.

El nivel de seguridad provisto al usuario vial depende en gran medida de la consciente consideración de la seguridad desde la planificación del camino hasta su construcción y operación final.

Aunque una sola excepción de diseño para una característica vial pueda parecer tener poco efecto en la seguridad, el efecto neto de varios de tales cambios puede ser desastroso. La falla en considerar coherentemente la seguridad de cada componente de diseño y la interacción de las características de diseño pueden conducir a problemas de seguridad sólo aparentes después de abrir un camino al tránsito, para cuya solución se requerirán no previstos costos adicionales.

Para que resulte más significativa la comparación del riesgo relativo de los caminos, el nivel de seguridad vial está indicado por la estadística de choques, a través de las tasas de muertos y heridos en accidentes en función de la exposición (número de vehículos x kilómetros recorridos).

7.1 COSTADOS DE LA CALZADA, INVASIONES Y CHOQUES

Los costados de la calzada (CDC) comprenden las superficies desde los bordes de calzada hasta los límites de la zona de camino. En calzadas divididas, la mediana es CDC de cada una de ellas.

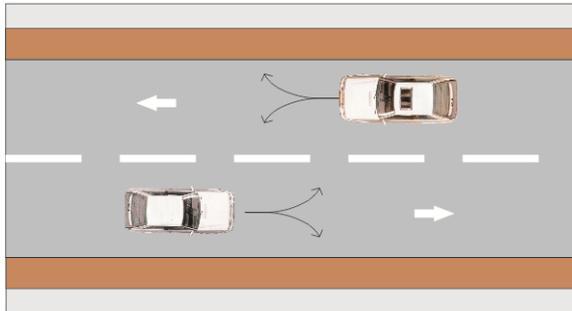
Los pequeños desvíos laterales de un vehículo en su carril -entre 50 y 75 cm según el tipo de vehículo- son normales, propios del sistema de conducción. Los desvíos que superan los límites de carril se llaman invasiones, Figura 7.1. Las invasiones pueden ser voluntarias o involuntarias.

En las invasiones a la derecha, el vehículo circula por la banquina derecha y más allá.

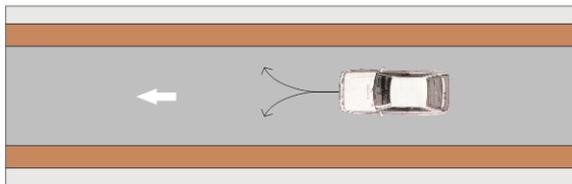
En las invasiones a la izquierda:

- En caminos de una calzada y dos sentidos, el vehículo circula por el carril de sentido contrario, la banquina izquierda, o más allá.
- En caminos de dos calzadas divididas y dos sentidos, el vehículo circula por la mediana, por la calzada de sentido contrario o más allá.

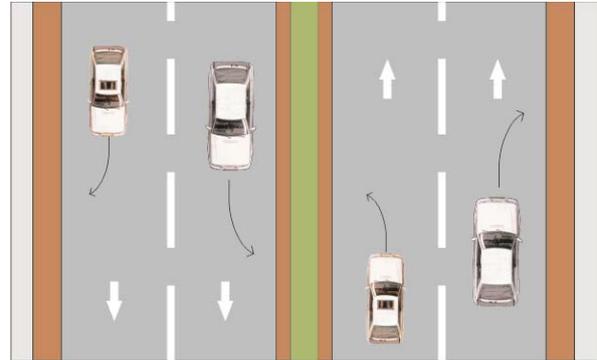
La mayoría de las invasiones no provocan choques, pero la mayoría de los choques se deben a invasiones.



Dos-carriles y dos-sentidos



Una-calzada y un-sentido



Dos-calzadas y dos-sentidos

Figura 7.1 Invasiones en calzadas indivisas (izquierda) y en calzadas divididas (derecha)



Normalmente, los choques frontales (CHF) se producen cuando un vehículo cruza la línea central o la mediana y choca contra otro vehículo en sentido contrario.

Los choques por salida de la calzada (SDC) están asociados con los vehículos que se desvían de la calzada, invaden los CDC y vuelcan; o chocan contra objetos fijos naturales o artificiales [SS7.3.1]. Usualmente involucran un vehículo solo, a menos que el choque sea contra un vehículo parado al CDC.



Según estadísticas internacionales y de la DNV, los CHF entre dos vehículos en la calzada son el 30% de los accidentes y causan el 60% de los muertos. Los choques o vuelcos de un vehículo solo en los costados de la calzada son el 60% de los accidentes y causan el 30% de los muertos. Los dos tipos de choques totalizan el 90% de los accidentes y muertos en accidentes viales.

Los CHF y los producidos por SDC se relacionan con:

- Restricciones de diseño y limitaciones visuales en la calzada [S7.2]
- Peligros en los costados de la calzada [S7.3]

Pueden resultar de acciones del conductor:

- Involuntarias: quedarse dormido, distraerse, viajar demasiado rápido para las condiciones prevalecientes de tránsito o calzada, ... o
- Voluntarias: maniobra de adelantamiento en un camino de dos carriles y dos sentidos, salida desde la calzada para eludir una situación de peligro en ella.

Factores contribuyentes:

- Exceso de velocidad
- Edad del conductor
- Consumo de alcohol o drogas
- Crisis de salud, desmayos, infartos
- Tipo de vehículo
- Condiciones climáticas
- Animales sueltos

En los choques CHF y por SDC el vehículo se desvía de su carril. Si el desvío es involuntario, las causas pueden ser muy similares. Los potenciales CHF pueden ser choques por SDC si no hay ningún vehículo en sentido contrario; y un potencial choque por SDC puede convertirse en un CHF cuando el conductor 'sobrecorrije', o el vehículo es 'sobrecorregido' por el objeto fijo impactado - p. ej. una barrera longitudinal que redirija hacia el carril o calzada de sentido contrario.

Para reducir el número de heridos graves y muertos, el objetivo debe ser mantener a los vehículos en la calzada, y evitar que invadan los costados. Donde esto ocurra, el diseño debe esforzarse por reducir al mínimo el riesgo de choques contra objetos peligrosos en los costados y/o el vuelco del vehículo, y por reducir la gravedad de los accidentes que se produzcan.

Hay un cierto grado de traslape en las contramedidas para reducir los CHF y los por SDC, por lo cual no deben considerarse aisladamente sino como parte de un enfoque o sistema integral.

7.2 MANTENIMIENTO DE LOS VEHÍCULOS EN LA CALZADA

Aunque la seguridad de un camino nunca está totalmente garantizada por su diseño (en todos los caminos ocurren accidentes), existe una relación clara entre el diseño geométrico y la seguridad vial. Una filosofía básica del diseño vial es hacer todos los esfuerzos razonables para mantener a los vehículos en la calzada.

Para mantener a los vehículos en la calzada, ayuda el buen diseño de:

- Diseño geométrico: distancias visuales, alineamiento horizontal, peralte, alineamiento vertical, anchos de carril y banquina, carriles auxiliares [C3]
- Coordinación planialtimétrica y coherencia de diseño [C3]
- Fricción y lisura superficial del pavimento
- Drenaje
- Delineación
- Señalización horizontal y vertical
- Marcación del pavimento
- Franjas sonoras
- Iluminación
- Mantenimiento

7.2.1 Diseño geométrico

El riesgo de accidentes no es uniforme a lo largo de un camino; siendo iguales todas las características ambientales del camino, el riesgo de accidentes es mayor en las curvas horizontales que en las rectas contiguas.

- El índice de accidentes en curvas es de 1,5 a 4 veces mayor que en rectas (Zegeer y otros, 1992)
- La gravedad de los accidentes en curva es alta (Glennon y otros, 1986). Entre 25 y 30 % de todos los accidentes fatales ocurren en curvas (Lamm y otros, 1999)
- Los caminos rurales secundarios construidos según estándares de diseño más bajos (incluyendo más, y más pronunciadas curvas horizontales) tienen en promedio una más alta proporción de accidentes en curvas
- Aproximadamente el 60 % de todos los accidentes que ocurren en curvas horizontales son de un vehículo solo salido de la calzada (Lamm y otros, 1999)
- La proporción de accidentes sobre superficies húmedas es alta en las curvas horizontales
- La SDC a la derecha en curvas a la izquierda es el más frecuente tipo de colisión por SDC en curvas
- La SDC hacia el exterior de las curvas aumenta con el grado de curvatura
- Cuando mayor sea la reducción de velocidad requerida en la curva, mayor será la probabilidad de error y accidente (invasión, deslizamiento, SDC, etc.). El riesgo es aún más alto cuando la reducción de velocidad es inesperada o inusual (curva cerrada aislada)

Distancia visual de detención (DVD)



Las curvas verticales convexas con deficiente DVD que oculten otras características existentes (curvas cerradas, estructuras angostas, accesos a propiedad, intersecciones, etc.), incrementan el riesgo y la gravedad de los accidentes.

La única forma de mejorar una deficiente DVD en convexidades existentes es reconstruir el camino alargando la curva vertical, aplanando las pendientes de aproximación, o las dos cosas. Estos mejoramientos son caros y probablemente de no

efectividad de costo; a menos que la visual esté seriamente restringida, los volúmenes de tránsito sean altos, y un grave peligro esté oculto por la convexidad. Las restricciones visuales en las curvas horizontales, no se producen por el camino mismo sino por obstrucciones laterales en el interior de la curva.

La vegetación a lo largo de un camino puede limitar la visual del conductor al impedirle ver el camino adelante, otros conductores, peatones, animales, señales, semáforos. A veces, las intersecciones a nivel sin control son vulnerables a las restricciones visuales producto del pasto no cortado. Para una dada separación de la obstrucción en el interior de las curvas, cuanto más cerrada sea la curva más fuerte será la obstrucción visual. Las obstrucciones típicas son vegetación, taludes de corte, muros, edificios, barreras de defensa bajo ciertas condiciones en el lado interior de las curvas.



Los cambios estacionales y el crecimiento de la vegetación en el camino pueden alterar la distancia visual disponible en las curvas horizontales; deberían desarrollarse programas para comprobar periódicamente el crecimiento de la vegetación al borde del camino a lo largo de las curvas horizontales.

Distancia visual de adelantamiento (DVA)

Las oportunidades restringidas de adelantamiento en los caminos de dos carriles y dos sentidos, combinadas con la presencia de vehículos lentos, puede resultar en una sustancial congestión, y accidentes por el adelantamiento.

En un camino de dos carriles y dos sentidos, los vehículos que se adelantan deben superar a los vehículos más lentos entrando en el carril de sentido opuesto; una oportunidad de adelantamiento requiere un claro suficientemente grande y visible en el tránsito opuesto para llevar a cabo la maniobra, más la distancia recorrida por ese vehículo, más un margen de seguridad.

Debieran evitarse situaciones con distancia visual disponible más corta que la de adelantamiento requerida, pero suficiente como para inducir a algunos conductores a realizar peligrosas maniobras de adelantamiento.

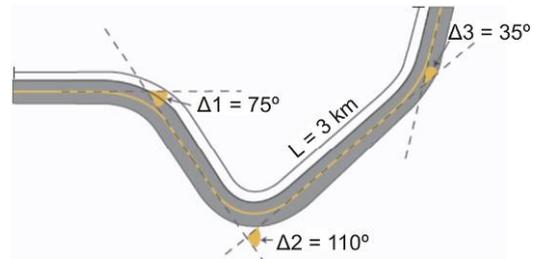
Alineamiento horizontal

La frecuencia de accidentes en curva está influida por las características de la curva misma -características internas- (radio, ángulo de desviación, longitud del arco circular, presencia de curvas espirales, fricción, peralte, etc.) y por las del alineamiento anterior a la curva -características externas- (longitud de recta antes a la curva, y sinuosidad general del camino). Por lo tanto, puede ocurrir que dos curvas similares tengan diferentes comportamientos a la seguridad, en función del contexto del camino en el cual se ubican. En general, puede establecerse que:

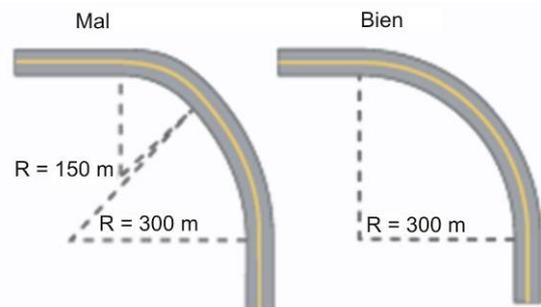
- La curvatura media de un camino [SS3.4.5] tiene un efecto directo sobre el nivel de atención y expectativas de los conductores con respecto al alineamiento venidero del camino. Una curva cerrada es más peligrosa en un camino rectilíneo que en uno curvilíneo.

$$C_m = \left(\frac{75 + 110 + 35}{3} \right) \frac{^\circ}{\text{km}} = 73 \frac{^\circ}{\text{km}} = 1,3 \frac{\text{rad}}{\text{km}}$$

$$R = 0,8 \text{ km}$$

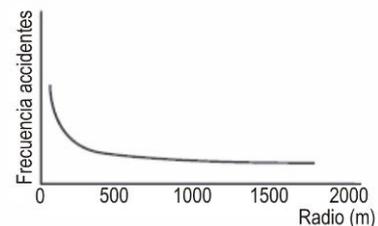


- Deben evitarse los marcados cambios de radios en una curva porque pueden sorprender a los conductores e incrementar el riesgo de error (radio irregular). Usualmente, un radio irregular puede convertirse en una curva de radio uniforme con clotoides, sin mayores cambios en el alineamiento del camino.



El riesgo y gravedad de los accidentes:

- Crecen con la disminución del radio (el aumento es significativo cuando el radio es menor que 400 m).
- Crecen cuando un radio pequeño sigue a uno grande. Una reducción del 50 % en el radio de curva en una distancia de menos de 30 m incrementa el número de accidentes.
- Crecen con la longitud de la recta anterior a la curva
- Disminuyen con el incremento de la longitud del arco circular
- Disminuyen con la existencia de curvas espirales en los extremos del arco circular



La diferencia entre el riesgo de accidentes en curvas de radios pequeños y curvas de radios grandes disminuye con el aumento en el número anterior de curvas por kilómetro.

En determinadas situaciones, la alta incidencia de accidentes por SDC en curvas muy cerradas y ocurrencia de CHF puede justificar los gastos necesarios para la reconstrucción de la curva. Para incrementar el radio de curva es necesario un realineamiento que a veces requiere la expropiación de tierras. En caminos construidos, estos mejoramientos se consideran en los trabajos de mantenimiento a largo plazo. Otros aspectos que mejoran la seguridad vial incluyen la construcción de curvas de transición en las curvas horizontales, la reducción del número de curvas horizontales cerradas a lo largo del camino. Deben evitarse espirales demasiado largas porque pueden engañar la percepción visual de la curva.

Peralte

Las curvas con peralte inadecuado causan problemas de seguridad, particularmente si el peralte real es menor que el peralte recomendado por la norma [SS3.5.3]. Los modelos de predicción de accidentes indican que la insuficiencia de peralte incrementa los accidentes en curva. El peralte excesivo puede causar que los vehículos lentos se desplacen hacia el interior de la curva cuando el nivel de fricción sea muy bajo (p. ej. calzada congelada).



Para introducir gradualmente el peralte es necesaria una zona de transición entre recta y curva horizontal. En parte de esta zona, el perfil del camino se vuelve casi plano, lo cual conduce a la acumulación de agua y contribuye al deslizamiento.

La seguridad se mejora si se corrige el peralte en curvas con peralte menor que el recomendado; el mejoramiento del peralte reduce el número de accidentes en 5 a 10 %. Corregir el peralte es menos costoso que incrementar el radio.

Alineamiento vertical

La frecuencia de accidentes crece con el aumento de la pendiente.

La frecuencia y gravedad de los accidentes son más altas en bajadas que en subidas, con una alta participación de vehículos pesados.



Al analizar la seguridad de una pendiente, los elementos principales a considerar son:

- En bajadas: crece las distancias de frenado y la posibilidad de recalentamiento de los frenos de vehículos pesados
- En subidas: diferencias de velocidades entre vehículos de pasajeros y pesados
- En curvas convexas: distancias visuales restringidas
- En curvas cóncavas: acumulación de agua y acelerada erosión de banquetas por el escurrimiento de agua

La combinación de curva horizontal cerrada en o cerca del punto alto de una pronunciada curva vertical convexa, o cerca del punto bajo de una pronunciada curva vertical cóncava, puede resultar en menores niveles de seguridad.

Anchos de carril y de banquina

La relación entre el ancho de carril y la seguridad tiene dos aspectos principales:

- Cuanto más anchos sean los carriles, más grande será la separación media entre vehículos que se mueven en carriles adyacentes. Esto provee un espacio amortiguador más ancho para absorber las pequeñas desviaciones de los vehículos respecto de su trayectoria deseada. Sin embargo, los conductores se adaptan al camino que ven adelante. Los carriles más anchos tienden a inducir viajes algo más rápidos y quizás con separaciones más próximas entre vehículos. Si esta adaptación compleja a los carriles más anchos beneficia a la seguridad, o si la perjudica no puede anticiparse por especulación. La información útil sólo puede extraerse de la evidencia empírica: los datos de accidentes.
- Un carril más ancho puede proveer más espacio para corregir circunstancias proclives a accidentes. Así, p.ej. un momento de inatención en un carril angosto puede llevar a un vehículo fuera de la calzada y sobre una banquina de grava, pero si el carril es más ancho y la banquina pavimentada, la misma inatención todavía dejará el vehículo en la superficie pavimentada. En estas circunstancias de casi-accidente, es difícil separar entre el efecto del ancho de carril, ancho de banquina, pavimentación de banquina, caídas de borde de pavimento, etcétera.

La evidencia empírica indica que la seguridad mejora cuando el ancho de carril está entre 3,35 y 3,65 m (11 y 12 pies). Anchos mayores pueden ser en detrimento de la seguridad.



La relación entre el ancho de banquina pavimentada y la seguridad tiene cuatro aspectos principales:

- La banquina es una superficie plana y libre de peligros donde los conductores de los vehículos desviados pueden retomar el control, recuperarse de un error, y retomar el viaje normal
- Las banquetas anchas realzan la seguridad al permitir detenciones involuntarias o de emergencia sobre una superficie adecuada; pero también inducen detenciones voluntarias. Los vehículos que se detienen en las banquetas y que luego vuelven a la corriente de tránsito, significan un peligro potencial
- Las banquetas anchas pueden inducir el uso de banquetas para viaje o al menos para permitir el adelantamiento, Figura 7.2; ayuda a disuadir estas situaciones atravesar bandas de unos 4 cm de altura en las banquetas pavimentadas
- Las banquetas pavimentadas proveen un lugar relativamente seguro para peatones y ciclistas
- Es posible que a banquetas más anchas, más alta sea la velocidad de viaje. Pequeños incrementos en la velocidad media tienen notable impacto en la gravedad de los accidentes



Figura 7.2 Vehículos que circulan por banquina

El efecto neto de las banquetas sobre la seguridad es una suma de tendencias opuestas. Si la suma de estas tendencias conflictivas beneficia o perjudica a la seguridad, o si la relación es monótona o de forma de U, sólo puede asegurarse mediante el examen de la evidencia factual, los datos de accidentes. En tanto la evidencia factual internacional es abundante, las conclusiones tienden a ser ambiguas y contradictorias.

El riesgo de accidentes disminuye con el incremento del ancho de banquetas, hasta aproximadamente 3 m. No se justifican anchos mayores, porque los decrecientes beneficios adicionales no compensan los mayores costos. Las banquetas muy angostas ($< 0,5$ m) o no pavimentadas aumentan los accidentes.

Carriles auxiliares de ascenso y adelantamiento

En caminos de altos volúmenes de tránsito, el tránsito opuesto limitará las oportunidades de adelantamiento. En terreno montañoso la distancia visual puede no ser suficiente como para permitir el adelantamiento, por lo cual pueden ser muy efectivos los carriles de adelantamiento para mejorar las operaciones de tránsito mediante la rotura de los pelotones de vehículos y la reducción de demoras causadas por inadecuadas oportunidades de adelantamiento sobre sustanciales longitudes del camino.



La adición de carriles de adelantamiento o ascenso en un sentido de viaje pueden reducir los choques totales aproximadamente 25%, y el agregado de cortas secciones de cuatro carriles puede reducir los choques totales en aproximadamente 35%. Los detalles de diseño de los carriles de adelantamiento varían, y su ubicación puede determinarse mediante modelos de simulación [SS3.8.2], que proponen proveer carriles de adelantamiento relativamente cortos y frecuentes a lo largo de un camino, más que aisladas secciones de carriles de adelantamiento más largos. Los carriles de adelantamiento en un camino de dos carriles y dos sentidos son valiosos de considerar cuando la oportunidad de adelantamiento ocurre en menos de 30% del tiempo de viaje.

El espaciamiento óptimo también varía con las oportunidades de adelantamiento, las cuales se determinan principalmente mediante el alineamiento y el flujo de tránsito. Se recomiendan espaciamientos típicos de 10 -15 km para caminos con moderados volúmenes de tránsito.

Los lugares adecuados para instalar carriles de adelantamiento incluyen cuellos-de-botella (p. ej., pendientes fuertes, lugares con generadores de tránsito cerca del pie de un cerro), lugares que presenten una alta incidencia de accidentes por adelantamiento, lugares donde pueda generarse adecuada distancia visual en abocinamientos de convergencia y divergencia. Los lugares a evitar incluyen lugares cerca de pueblos, lugares con intersecciones significativas, o lugares con un gran número de puntos de acceso. Para maximizar la efectividad, también es hay que atender a los detalles de la señalización y marcación de los carriles de adelantamiento. La señalización anticipada corriente arriba del comienzo de la sección de adelantamiento reduce las presiones sobre los conductores para realizar maniobras de adelantamiento, puesto que son conscientes de que muy pronto tendrán la oportunidad de efectuar la maniobra.

El adelantamiento es una de las maniobras que implica mayor riesgo en la tarea de conducción. Los carriles de adelantamiento proveen significativos beneficios operacionales y de seguridad; su efecto específico depende de la ubicación, su efectividad es mayor si se instalan como parte de una estrategia para el camino como un todo, en términos de los intervalos entre los carriles de adelantamiento y el número provisto respecto del flujo de tránsito y el terreno.

7.2.2 Coordinación planialtimétrica y coherencia de diseño

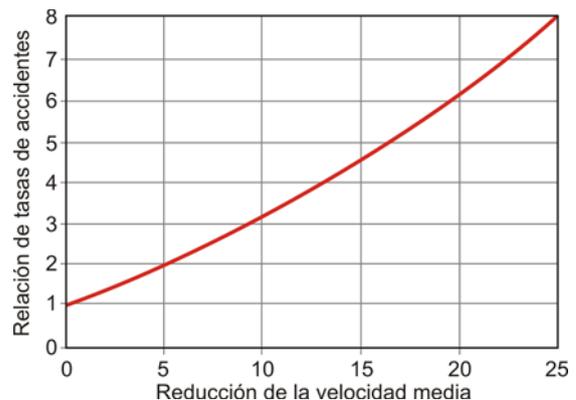
Una gran cantidad de accidentes viales ocurre porque los conductores son sorprendidos por inesperadas características visibles del camino adelante. Las sorpresas de los conductores por diferencia entre lo que esperan, *expectativas*, y lo que observan, *realidades verdaderas o aparentes*, les activan respuestas instintivas de autodefensa, siendo de las primeras la eventual elusión de un obstáculo y la reducción de la velocidad.



Para un determinado lugar del camino, la investigación prueba que a mayores diferencias entre las características visibles esperadas y las observadas, mayores serán las reducciones de velocidad y las concentraciones de accidentes (puntos negros). Por medio del análisis estadístico se hallaron correspondencias entre los accidentes y las características visibles (geométricas) promotoras de grandes cambios de velocidad, las cuales se denominan *incoherencias*. Inversamente, el diseño de las características visibles del camino será *coherente*, si ellas no violan las expectativas de los conductores.



Las reglas halladas para diseñar un camino cualitativamente coherente son la coordinación de los elementos geométricos de los alineamientos horizontal y vertical, *coordinación planialtimétrica*, y la herramienta para la ponderación cuantitativa de los niveles de coherencia son formulaciones matemáticas de modelos empíricos para predecir las reducciones de velocidad de operación, p. ej. el módulo Coherencia de Diseño del *Interactive Highway Safety Design Model* (IHSDM); FHWA [S3.12 y S3.14]. La investigación de la coherencia de diseño comprobó que la reducción de velocidad al entrar en una curva es el mejor indicador de probables accidentes. Las combinaciones de alineamientos que producen grandes reducciones de velocidad tienen índices de choques registrados más altos que el promedio. Los ejemplos incluyen curvas horizontales cerradas al final de largas rectas horizontales, o empinadas bajadas.



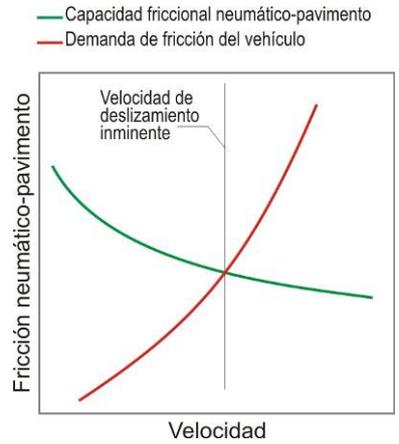
7.2.3 Superficie de la calzada

Los dos principales indicadores representativos de la condición superficial del pavimento que inciden sobre la seguridad vial son: fricción y rugosidad. La probabilidad de ocurrencia de accidentes se relaciona más con la resistencia al deslizamiento debida a la fricción que con la rugosidad. La eficiencia económica de la operación vehicular se relaciona significativamente con la rugosidad; influye sobre los costos de operación de los vehículos, y puede influir, en menor grado, en la ocurrencia de accidentes cuando el pavimento presenta un deterioro excesivo.

Fricción

La fricción es la resistencia al movimiento entre dos superficies en contacto: los neumáticos y el pavimento. Es indispensable para producir el rodamiento de los neumáticos que permite el desplazamiento de los vehículos, y para evitar el deslizamiento de los neumáticos en la superficie de la calzada. El deslizamiento ocurre cuando las fuerzas en la interfaz neumático-pavimento superan la aptitud del neumático y de la superficie -para la condición ambiente- de desarrollar fricción.

El nivel de fricción al cual el deslizamiento es inminente depende principalmente de la velocidad del vehículo, condición de los neumáticos, y las características de la superficie de pavimento. En pavimentos húmedos la velocidad es el factor más significativo porque la demanda de fricción crece con el cuadrado de la velocidad y la resistencia decrece con el aumento de la velocidad. En condiciones secas, la fricción entre la mayoría de los neumáticos y las superficies de pavimento es suficiente para soportar sin deslizamiento las más bruscas maniobras. En condiciones húmedas, la aptitud para desarrollar la fricción neumático-pavimento puede reducirse significativamente por deficiencias de los pavimentos y/o de los neumáticos.



En el diseño geométrico, la fricción es fundamental para determinar la distancia visual de detención y los radios mínimos absolutos de curvas horizontales.

El mecanismo mediante el cual se desarrolla la fricción comprende la deformación del neumático en las finas irregularidades en la superficie del pavimento. Estas irregularidades ocurren en dos niveles: la 'macrotextura', que es la textura superficial visible al ojo desnudo ($\geq 0,5$ mm) definida por los intersticios entre agregados, y la 'microtextura' que es la detallada irregularidad superficial del árido que conforma el pavimento ($< 0,5$ mm); a mayor irregularidad superficial del árido, mayor su aspereza y mayor resistencia al deslizamiento. La microtextura influye más a bajas velocidades; la macrotextura a altas velocidades porque está vinculada con el drenaje. El efecto del tránsito es reducir la aspereza de la microtextura, 'pulir' la superficie. En la Tabla 7.1 se muestran esquemas de perfil de pavimento para diferentes texturas.

Tabla 7.1 Macro y micro textura - perfil de pavimento

Perfil del pavimento	Macrotextura	Microtextura
	Tosco	Áspero
	Tosco	Pulido
	Liso	Áspero
	Liso	Pulido

Hay una fuerte relación entre fricción y seguridad: el índice de accidentes aumenta al disminuir la resistencia al deslizamiento de la superficie de la calzada. Causan deterioro de resistencia:

- Desgaste o pulimento
- Exudación
- Reorientación de áridos
- Contaminación
- Compactación
- Ahuellamiento
- Rugosidad o irregularidades altas
- Insuficiencia de drenaje

El problema se acentúa cuando el pavimento está húmedo, porque el contacto entre los neumáticos y la calzada se reduce. En tiempo húmedo, los accidentes:

- Ocurren 2 a 3 veces más que en tiempo seco, a igualdad de condiciones
- Representan alrededor del 20-30 por ciento del total de accidentes
- Comprenden deslizamiento. En hasta el 70% de los casos la mejora en resistencia al deslizamiento puede ser útil

La concentración de accidentes cuando la superficie está húmeda puede ser un indicador de deficiencia de fricción. El riesgo de accidentes crece cuando el problema:

- Está en un lugar donde el requerimiento de fricción es alto; p. ej., curva horizontal, pendiente en bajada, acceso a una intersección
- Es aislado; p. ej., contaminación de la superficie de la calzada

Los conductores pueden tener dificultad en reconocer los lugares con problemas de resistencia al deslizamiento y por ello pueden no reducir su velocidad en esos lugares, adoptando así un nivel de riesgo superior al que consideran razonable.

Las superficies húmedas reducen la fricción disponible, particularmente al comenzar la lluvia después de un largo período de sequía cuando la resistencia a la fricción puede disminuir a la mitad; la reducción de fricción al inicio de la lluvia se debe a que el polvo llena los intersticios de la superficie y forma una capa causante de que el pavimento se vuelva resbaladizo hasta que el agua de lluvia penetra y lava la superficie.

La fricción puede mejorarse sustancialmente con una adecuada textura superficial, con la resultante potencial de mejoramiento de la seguridad. La relación entre el nivel de agua y textura se muestra en la Tabla 7.2. Los tratamientos para mejorar fricción comprenden:

- Aplicación de una capa de asfalto de alta fricción, asfaltos porosos o abiertos
- Escobillado de la superficie de los pavimentos de hormigón
- Ranurado de la superficie

Los beneficios de seguridad por proveer pavimentos de alta fricción indican reducciones del 30% de los accidentes y para tiempo húmedo reducciones del 50%. Con el ranurado de superficie se observaron reducciones del 70% de los accidentes en tiempo húmedo en una sección empinada de dos carriles. Algunas investigaciones informan sobre reducciones de los accidentes por deslizamiento y no-deslizamiento en condiciones de tiempo húmedo y seco cuando la macrotextura del pavimento era áspera en lugar de fina, lo cual indica sus potenciales beneficios de seguridad.

Las salpicaduras y rocío, asociadas con la ocurrencia de accidentes se relacionan con caminos húmedos, y en particular con vehículos pesados en caminos húmedos. Pueden reducirse por medio del uso de asfalto de textura abierta o porosa; sin embargo, las salpicaduras se controlan principalmente con dispositivos incorporados a los vehículos.

Tabla 7.2 Relación nivel de agua textura

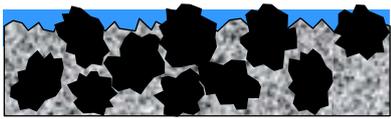
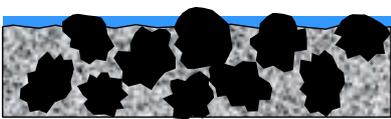
Nivel de agua	Macrotextura	Microtextura
	Tosco	Áspero
	Tosco	Pulido
	Liso	Áspero
	Liso	Pulido



Figura 7.3 Exudación



Figura 7.4 Pulimento y reorientación

Figura 7.5 Pavimento ranurado, para aumentar la resistencia a la fricción



La resistencia al deslizamiento se deteriora con el tiempo; se recomienda su monitoreo para mantenerla en niveles aceptables, especialmente en condiciones húmedas y resbaladizas. La necesidad de un tratamiento puede evaluarse mediante máquinas capaces de medir la resistencia al deslizamiento del pavimento, como los dispositivos: *SCRIM* (*Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine*), *British Pendulum Tester*, *GripTester*, *Trailer ASTM*.



SCRIM



British Pendulum Tester

Figura 7.6 Equipos para medir la resistencia al deslizamiento

El valor del coeficiente de fricción es función de:

- Equipo de medición
- Velocidad del ensayo

Rugosidad

En las investigaciones de los países desarrollados suele darse considerable atención a los efectos de la rugosidad del camino sobre los costos de operación de vehículo y sobre la eficiencia económica de la provisión y optimización del mantenimiento. Menor atención se da a la influencia de la rugosidad sobre la seguridad. Quizás esto se deba a que en tales países los caminos se mantienen en niveles suficientemente altos, como para que la rugosidad no sea un problema de seguridad.

La uniformidad es una medida de la regularidad de la superficie de la calzada. Está afectada por varios tipos de grietas, deformaciones o problemas de desintegración. Se distinguen los componentes longitudinal y transversal de la uniformidad de la calzada. La uniformidad longitudinal se mide usando el IRI (Índice de Rugosidad Internacional), basado en los movimientos verticales en la suspensión de un vehículo que se mueve a lo largo del camino, bajo condiciones normalizadas. El análisis de la rugosidad transversal permite la detección de diferentes tipos de problemas, incluyendo ahuellamiento.

La rugosidad del pavimento afecta la comodidad de los pasajeros, los costos de operación de vehículos y, bajo ciertas circunstancias, la seguridad. Las irregularidades o defectos en la superficie de los caminos afectan adversamente la aptitud del conductor para controlar el vehículo.

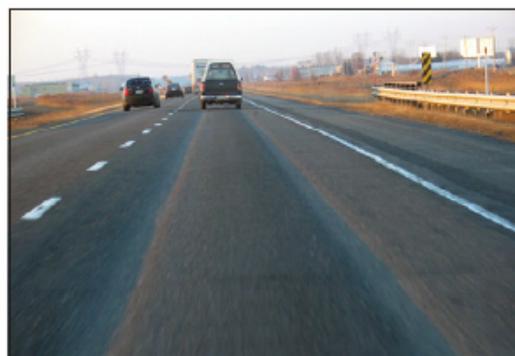


Figura 7.7 Levantamientos (a la izquierda) y Ahuellamiento (a la derecha)

El riesgo de accidentes crece cuando los problemas de rugosidad son tan graves como para reducir el contacto neumático-pavimento, o causar maniobras de elusión, pérdidas de control, fallas mecánicas o acumulaciones de agua, p. ej., deformaciones, surcos.



Cuando la uniformidad de toda una sección de camino se haya deteriorado fuertemente, los usuarios tienden a reducir su velocidad para mantener su comodidad en un nivel aceptable, minimizando así potenciales choques. Sin embargo, la rugosidad del pavimento puede ser muy perjudicial para la seguridad cuando los problemas son localizados, inesperados y significativos. Tales situaciones pueden generar peligrosas maniobras de elusión, pérdidas de control o desperfectos mecánicos de los vehículos, aumentando el riesgo de accidentes.

Las reducciones de la resistencia al deslizamiento causadas por las oscilaciones verticales de los vehículos en calzadas de superficies desparejas pueden ser peligrosas, especialmente para los vehículos pesados y en situaciones aisladas.

La solución más común para los defectos de la superficie de la calzada consiste en repavimentar, la cual puede corregir diferentes tipos de fricción o uniformidad. Sin embargo, cuando los problemas resultan de defectos estructurales, pueden ser necesarias medidas más costosas que incluyan el tratamiento de las bases de la calzada.

7.2.4 Drenaje

El *hidroplaneo* se produce cuando los neumáticos no desplazan el agua que se encuentra entre ellos y el pavimento; la fricción neumático-pavimento no se desarrolla porque se pierde el contacto entre ambos. Para que se produzca este fenómeno es necesario que haya agua en el pavimento y que la velocidad del vehículo sea alta; delante de la cubierta se forma como cuña una capa de agua a presión capaz de levantar el neumático, se pierde el contacto con el pavimento y el vehículo planea.

El hidroplaneo es función de:

- Profundidad del agua
- Velocidad del vehículo
- Condición de los neumáticos
- Presión de aire en neumáticos

Es más probable que se produzca a altas velocidades, con neumáticos desgastados, con baja presión de aire, y una macrotextura fina.



El agua tiene poco efecto sobre la fricción neumático-pavimento cuando los vehículos viajan a bajas velocidades, pero al aumentar la velocidad no se puede expulsar el agua y se pierde el contacto entre neumático y pavimento. La macrotextura provee canales para drenar el agua.

Para evitar el hidroplaneo se debe eliminar la posibilidad de acumulación de agua sobre la calzada. Se puede actuar sobre:

- Planimetría: evitar transiciones demasiado largas porque pueden contribuir a agravar los problemas de drenaje
- Peralte: verificar la calidad del drenaje en la zona de transición del peralte, especialmente entre peralte adverso removido y peralte removido
- Altimetría: en pendientes permitir el rápido escurrimiento del agua desde la superficie de la calzada, e impedir su erosión acelerada
- Altimetría: verificar las condiciones de drenaje en las curvas verticales cóncavas, particularmente en las ubicadas cerca de la zona de transición del peralte de una curva horizontal
- Condición superficial de la calzada:
 - Revestimiento de la calzada con asfaltos porosos o abiertos: mejora la resistencia al deslizamiento y disminuye el rocío
 - Ranurado de superficies: evita la acumulación de agua en la calzada; esta contramedida produce una disminución global del 70% en los accidentes de pavimento mojado
 - Eliminar el ahuellamiento donde el agua se puede acumular
- Mantenimiento: banquetas con pasto sobreelevado que impida el drenaje de la calzada

Cuando no se pueda eliminar la acumulación de agua sobre la calzada debe operarse sobre la reducción de velocidad; para ello debe proveerse señalamiento adecuado que indique a los conductores la velocidad máxima de circulación precautoria en el área de acumulación.

En climas con bajas temperaturas, el problema de la acumulación de agua puede complicarse por la posibilidad de formación de hielo en la calzada.

7.2.5 Delineación

La mayoría de la información que el conductor usa para controlar un vehículo es visual. La delineación adecuada le permite al conductor mantener al vehículo dentro del carril de tránsito (delineación de rango corto), y planear la inmediata tarea de conducción adelante (delineación de rango largo).

La delineación de rango largo permite al conductor planear el camino adelante, y así necesita ser coherente y continua. No se restringe a ubicaciones donde la visibilidad hacia adelante es particularmente confusa o crítica, sino que tiene aplicación sobre el camino como un todo. Las características de sentido y curvatura de una curva pueden necesitar hasta 9 segundos adelante para ser evaluadas.

La delineación vial se usa para:

- Mejorar la previsibilidad, reconocer el tipo de camino y obtener un comportamiento correcto del conductor
- Controlar las ubicaciones y movimientos de los vehículos mediante la provisión de información visual al conductor que identifique los seguros y legales límites de la calzada
- Reservar carriles específicos para determinados tipos de tránsito (p. ej., los vehículos de alta ocupación)
- Regular la dirección de viaje, cambios de carril y adelantamiento
- Marcar carriles o zonas donde se permitan, requieran o restrinjan maniobras tales como giros o estacionamiento
- Mejorar la circulación dentro del carril, particularmente durante la conducción nocturna
- Ayudar a identificar situaciones potencialmente peligrosas, tales como obstáculos y cruces de peatones

Es probable que la delineación se vuelva aún más crítica en los años futuros al envejecer la población de conductores; los conductores ancianos tienen capacidad visual reducida y por ello confían en gran medida en la correcta delineación del camino adelante.

En general, los numerosos dispositivos de delineación en uso se agrupan en:

- Marcas de pavimento:
 - Líneas de carril y líneas de borde
 - Marcadores reflectivos elevados de pavimento
 - Marcas de borde perfiladas
 - Dispositivos sonoros
 - Dispositivos al costado de la calzada:
 - Postes guía y delineadores montados en postes
 - Chebrones
 - Marcadores de alineamiento curvo
 - Marcadores-de-objetos
 - Dispositivos de delineación nuevos
-

La buena delineación tiene beneficios de seguridad y es efectiva si se instalan según guías adecuadas, en cuanto a forma, color, tamaño, ubicación y aplicación, donde haya problemas de accidentes. El mantenimiento es esencial para conservar la efectividad.

Usualmente, las marcas de pavimento se aplican usando principalmente pintura o material termo-plástico. Dado que se requieren para operar de día y de noche, deben ser altamente reflectivos; p. ej., mediante el uso de microesferas de vidrio mezcladas en la pintura. También deben ser antideslizantes y durables. El mensaje que transmiten debe ser claro y no llevar a confusión, y ya que el símbolo empleado será visible sólo durante un tiempo corto, el mensaje debe ser simple y claramente entendido.

Hay tres categorías de marcas de pavimento:

- Líneas longitudinales (líneas de centro, de carriles, de borde de carriles)
- Líneas transversales (líneas de detención en las intersecciones peatonales, líneas de cruce de peatones en intersecciones),
- Marcas de palabras y símbolos (p. ej., flechas de pavimento, canalización pintada).

Se puede usar una marca de pavimento para indicar en qué carril debe estar el vehículo para una salida particular desde una intersección, o los límites de velocidad pueden pintarse sobre la superficie de la calzada, etcétera. Sin embargo, en los caminos argentinos las marcas de palabras y símbolos se usan escasamente, principalmente porque su utilidad es limitada en condiciones adversas (p. ej., de noche, lluvia, bajo tránsito intenso), y porque tales marcas pueden provocar deslizamientos.



Líneas de carril y líneas de borde

El flujo de tránsito y la seguridad mejoran si las corrientes de tránsito se separan claramente en carriles mediante marcaciones. Las líneas de carril permiten a los conductores ubicar el vehículo en la calzada, y así ayudar a evitar choques con objetos laterales y vehículos opuestos.



Las líneas de borde son tan efectivas en alineamientos rectos como en curvas. A veces, las líneas de borde se proveen en el borde exterior de la calzada; esto es altamente deseable, especialmente para caminos más anchos que 6 m.

Ambas líneas proveen a los conductores importante información, especialmente cuando la visibilidad disminuye (operación nocturna o con condiciones climáticas adversas, niebla o lluvia). Son inaplicables en caminos sin pavimentar.

Varios estudios internacionales muestran los beneficios de las líneas de borde:

- Los accidentes pueden reducirse 15% (caminos rectos) a 45% (curvas)
- Reducciones en accidentes nocturnos entre 35 y 40% después de instalar líneas de borde
- Reducción entre 25 y 35% en los accidentes por salida desde calzada (SDC)

Usualmente las líneas de borde son de 10 o 15 cm de ancho. La investigación muestra que las líneas de borde de 15 cm son más efectivas, especialmente en las curvas. Las líneas más anchas -20 cm- podrían ser de efectividad de costo donde el ancho de pavimento supere los 7,3 m, las banquetas no sean pavimentadas, y los volúmenes de tránsito superen los 2000 vpd.



Figura 7.8 Líneas de borde de 10 cm de ancho



Figura 7.9 Líneas de borde de 20 cm de ancho

Las líneas de borde ayudan a posicionar el vehículo en un carril, y a reducir los costos de mantenimiento de banquina y pavimento.

Marcas de borde perfiladas

Muchas calzadas de dos carriles rurales se caracterizan por una proporción relativamente alta de accidentes por SDC. Este problema se agrava cuando el camino tiene poco o ninguna banquina pavimentada. Además estos caminos suelen llevar los menores volúmenes de tránsito y el servicio de una banquina pavimentada no siempre se justifica desde un punto de



vista costo-beneficio. En estas situaciones, las marcas de borde perfilado pueden utilizarse para alertar a los conductores que están cruzando la frontera del carril exterior, y el riesgo de salirse de la calzada. Las marcas se aplican cerca del borde de calzada, hendidas o sobresalientes, moldeadas o fresadas. Se usan varios tipos de diseños para las instalaciones longitudinales, pero típicamente las marcas son altamente reflectivas y, dado que son mucho más gruesas que la pintura, las líneas son fácilmente visibles sobre calzada húmeda, y duran más que las líneas pintadas. Además dan una sensación táctil cuando las ruedas pasan sobre ellas. Incluyen material termoplástico aplicado como una extrusión continua con barras transversales elevadas o como barras transversales separadas, tendidas directamente sobre el pavimento, o una serie de ranuras paralelas prensadas en la banquina.

La aplicación de marcas de borde perfilado puede reducir hasta un 50% los índices de accidentes por SDC, y un 20% el total de accidentes.

Marcadores reflectivos elevados de pavimento

Los marcadores reflectivos elevados de pavimento (MREPs, tachas) se adhieren a la superficie del camino y se elevan ligeramente para presentar una cara reflectiva al tránsito que viene. Una variación es tenerlos insertos en la superficie del pavimento; éstos son relevantes donde fuere necesario barrer la nieve, y los marcadores elevados podrían sufrir daño por parte de la maquinaria de barrido.



Figura 7.10 Imágenes de MREPs; el de la derecha es apto para el barrido de nieve

Los MREPs sobreelevados o hundidos realzan todos los tipos de marcas estándares, especialmente durante intensas lluvias nocturnas cuando las marcas estándares no son fácilmente visibles. Se recomienda usarlos en autopistas donde el costo se justifique. Ambos marcadores tienen buenos registros de retención de su retrorreflectividad.

Los MREPs proveen mejor delineación nocturna que las líneas pintadas de centro y bordes de calzada, especialmente bajo condiciones climáticas adversas. Pueden usarse en forma conjunta. La reducción de los accidentes es alrededor del 15 %.

El uso de MREPs en puentes angostos es efectivo para reducir invasiones a través de la línea central, produciendo un efecto beneficioso para la seguridad.

Postes guía y delineadores montados en postes

Se usan para mostrar el borde del camino y realzar la delineación de la trayectoria a los conductores.

Los postes guía son postes livianos frangibles (rompibles) entre 0,9 y 1,2 m de alto, ubicados 0,6 - 3,0 m desde el borde exterior del carril exterior. Deben ser de bajo costo, fáciles de transportar, baratos de instalar y reemplazar, resistente a extremas condiciones del tiempo, no presentar peligro a los usuarios viales, y no presentar un obstáculo psicológico a los usuarios que mantienen al vehículo en su correcta ubicación en el camino. Se dispone de ellos en una variedad de materiales, incluyendo madera, fibra de vidrio, aluminio y plástico.

Pueden proveerse como dispositivos aislados, p. e. para marcar la presencia de una alcantarilla, en una corta sección de camino, p. ej. para marcar la presencia de una curva, o continuamente a lo largo de una extendida longitud de camino, en cuyo caso, el conductor siempre debe ser capaz de ver por lo menos dos y preferiblemente tres pares de postes guía.



Usualmente los postes guía tienen un dispositivo reflectivo adherido, a menudo referido como delineador montado en poste (DMP), los cuales ayudan a la delineación de alto rango durante la noche.

La combinación de líneas centrales y postes guía con DMP realzan el juicio de la dirección durante la noche.

Aumentando el número de postes en el lado exterior de una curva se mejoran estos juicios. Los DMP son una buena forma de delineación de largo-rango, y la combinación de DMP y líneas de borde anchas (15 cm) ayudan a satisfacer las necesidades de los conductores de delineación de largo y corto rango.

En cuanto a la efectividad de los postes guía con delineadores reflectivos, producen reducciones de hasta el 30% de accidentes en curvas de caminos de dos carriles.

Delineación reflectiva en barrera

El material retrorreflectivo puede ser un tratamiento altamente efectivo para delinear curvas, especialmente durante la noche. Las franjas de láminas reflectivas se aplican a barreras de hormigón o barreras metálicas, para alertar a los conductores que se aproximan a una curva.



El color de la delineación debe ser el mismo que el de las líneas de borde adyacentes, p.ej. blanca en un camino de dos carriles, dos sentidos.

Los delineadores reflectivos no deben comprometer el diseño de la barrera.



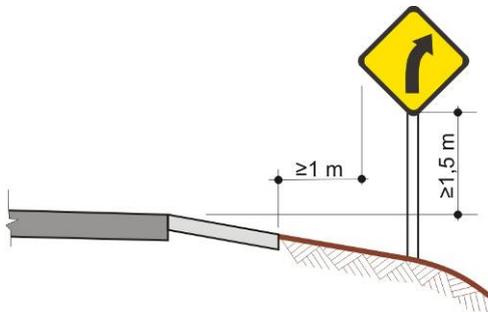


Señales de advertencia o prevención

En tanto los postes-guía y marcas de línea pueden usarse para delinear la trayectoria de un camino, algunos de los aspectos más inesperados de la geometría vial requerirán señalización adicional para comunicar su gravedad y naturaleza a los conductores. Las señales de advertencia de curvas, de velocidad aconsejada y marcadores chebrón de alineamiento son todos tratamientos adecuados para curvas potencialmente peligrosas. Las señales de advertencia y velocidad aconsejada deben usarse en primera instancia, los chebrones instalarlos en lugares donde otra señalización pueda dar insuficiente advertencia. Según la geometría de la curva o conjunto de curvas, se debe ubicar la señal adecuada con anticipación al punto de curvatura.



En secciones de camino con alineamiento curvilíneo, historia de accidentes, y en zonas de paisaje ambientalmente sensible, puede ser deseable proveer una señal de advertencia destacada en ambas aproximaciones a la sección de camino.



En secciones de camino con alineamiento curvilíneo, historia de accidentes, y en zonas de paisaje ambientalmente sensible, puede ser deseable proveer una señal de advertencia destacada en ambas aproximaciones a la sección de camino.

La cuidadosa planificación, instalación y mantenimiento de las señales viales puede contribuir a una operación segura y eficiente de la red vial. Deben transmitir mensaje claros y sin ambigüedades, de modo que sean rápida y fácilmente entendidos. A menudo se usan las señales en conjunto con las marcas de pavimento. Importa la correcta ubicación, la necesidad de usar señales estándares, y de mantener y reemplazar las señales dañadas.

Las señales son una parte aceptada del sistema vial, pero gran parte de la información que proveen es sólo de valor transitorio y, por lo tanto, si el conductor reconoce la señal, acepta su mensaje, y actúa de acuerdo, es esencial que la señal satisfaga los requerimientos de conspicuidad, legibilidad, comprensibilidad y credibilidad.

El sobreuso de señales debe evitarse, dado que su efectividad se reducirá si se usan muy liberalmente.

Chebrones

La delineación es crítica en las curvas horizontales, especialmente curvas aisladas con radio menor que 600 m; los chebrones se usan comúnmente para alertar a los conductores de curvas cerradas y otras situaciones tales como medianas e isletas.

Se recomienda utilizar los chebrones exclusivamente para la delineación de curvas, y no para cualquier otro propósito, tal como rotondas, refugios peatonales, nariz-de-buey de barreras de defensa, etc., dado que tales prácticas 'reducirán su efectividad en la delineación de las curvas más críticas'.

Por su formato y tamaño, y porque varias señales caen en la visual del conductor, definen mejor la dirección y agudeza de la curva que cualquier otro dispositivo.



El espaciamiento recomendado debe ser tal que permita a los conductores ver por lo menos tres señales hasta que el cambio de alineamiento elimine la necesidad de las señales. La separación del borde de calzada es generalmente entre 1,5 y 2 m.



A menudo, los chebrones se introducen como parte de un paquete de medidas de delineación, y es difícil aislar sus efectos, pero se hallaron reducciones estadísticamente significativas en accidentes. Los conductores reaccionan favorablemente a los chebrones en las curvas cerradas, y proveen mejor información de largo-rango en tales curvas que los postes guías.

Velocidad límite señalizada	Espaciamiento entre chebrones
km/h	m
25	12
30	24
40	24
50	24
55	36
65	36
70	48
80	48
90	48
95	60
105	60

Nota: las distancias que se indican son válidas para puntos en la curva. En la aproximación y la salida el espaciamiento es el doble del indicado en la tabla

Marcadores de objetos

Los marcadores de objetos son comunes en toda la red vial, y se aplican a peligros tales como estribos de puente, pilas de pasos bajo nivel, barreras de mano, alcantarillas, árboles, postes, y peligros en el camino tales como pilas de puente.

Algunos estudios mencionan que como parte de un paquete aplicado a lugares tales como puentes angostos, las reducciones de los accidentes fueron significativas.

Otros dispositivos de delineación

Las marcas viales tradicionales han tenido un éxito limitado en la reducción de la incidencia de choques por SDC y los choques frontales (CHF). Por lo tanto, se han desarrollado nuevos tipos de marcas viales para indicar los límites de velocidad y para reducir especialmente los choques por SDC y los CHF.

Se probaron muchos dispositivos para alertar a los conductores sobre lugares peligrosos; p.ej. señales nuevas, marcas viales, espaciamiento irregular de postes, líneas transversales en los carriles, restricciones de ancho, tratamientos de realce de curvas, etcétera. En tanto mostraron tener algún impacto inmediato sobre la reducción de velocidad y la incidencia de los accidentes, sus efectos se disiparon con el tiempo.

El uso de paneles destellantes con una señal de advertencia es otra forma de ganar la atención de los conductores. Típicamente, los paneles se usan con una de las señales de alineamiento horizontal para una curva horizontal. No hay guías publicadas, la disponibilidad de energía es un factor limitante, pueden usarse confiables paneles de energía solar.



7.2.6 Franjas sonoras

Se estima que entre el 40 y 60% de los accidentes por salida de la calzada se debe a la fatiga, somnolencia, o inatención del conductor; que pueden agravarse por la velocidad, el alcohol y las drogas. Similares a las marcas de borde perfiladas, las franjas sonoras son dispositivos muy efectivos para alertar a los conductores que están prontos a salirse del carril asignado o calzada. También son útiles para alertar sobre los límites del carril o calzada para visibilidad reducida por condiciones de lluvia, niebla, nieve o polvo.

Las franjas sonoras (FS) son ranuras o salientes ubicadas sobre la superficie del pavimento que ante la circulación de un vehículo sobre ellas producen sonidos y vibraciones que alertan al conductor de una situación potencialmente peligrosa.

Pueden instalarse en forma:

- Longitudinal: es el principal uso de las FS; se instalan fundamentalmente para contrarrestar la fatiga o desatención del conductor.

- En borde de calzada:

En la banquina FSBa: en caminos con banquetas pavimentadas se colocan entre la línea de borde de carril y el borde de la banquina; son uno de los medios más eficaces para prevenir los choques por SDC.



Sobre la línea de borde de la calzada, FSLBo: una variante de la FSBa, que coloca las líneas de demarcación del pavimento sobre la franja sonora; se utilizan comúnmente en caminos con banquetas estrechas.



- En eje:

A los costados del eje central de caminos de dos sentidos, FSLaE.



Sobre la línea de eje central, FSLE.



El hecho de aplicar las FS sobre las líneas de pavimento –FSLE y FSLBo- agrega a los efectos audibles y táctiles propios de las franjas sonoras, el efecto visual: la pintura retrorreflectiva incrementa la visibilidad del borde de carril (lateral y del centro) durante la noche y en tiempo inclemente (p. ej. lluvia).

- Transversal: ubicadas para alertar a los conductores de una situación potencialmente peligrosa tal como una curva mal diseñada, un paso a nivel, una intersección, una playa de peaje, cambio de límite de velocidad, pérdida de carril, o en la aproximación a una zona de trabajo (franjas sonoras transversales FST).



Hay cuatro tipos de FS, que difieren principalmente en forma, tamaño, instalación, ruido, vibración:

- Fresadas: asfalto, hormigón
Son realizadas cortando o moliendo la superficie del pavimento con un tambor giratorio dentado. Las muescas formadas son de aproximadamente 13 mm de profundidad, 18 cm de ancho en la dirección paralela al carril de viaje y 40 cm de longitud perpendicular al carril de viaje.



Ventajas: pueden ser instaladas sobre superficies nuevas o existentes de asfalto u hormigón; no afectan negativamente a la estructura del camino (espesor mínimo de pavimento debe ser de 6 cm); producen elevados niveles de ruido y de vibración, lo que es especialmente importante para grandes vehículos comerciales. Desventaja: costo.

- Rodilladas: asfalto caliente
Están compuestas de ranuras redondeadas o en forma de V que se presionan en el asfalto caliente durante la fase de compactación. Un rodillo que tiene un tubo de acero soldado a su tambor crea la tira. El tubo de acero, que se eleva más alto que la superficie del tambor, deja una depresión a medida que pasa sobre el asfalto. Suelen ser de 2,5 cm de profundidad y 4 a 6 cm de ancho paralelo al carril de viaje y de 40 a 90 cm de longitud perpendicular al carril de viaje.



La ventaja de este tipo de FS es que son económicas, porque se crean durante el curso normal de la construcción o reconstrucción del pavimento, en la etapa de compactación. Las desventajas son que la instalación sólo puede hacerse durante la construcción o proceso de reconstrucción y no producen un ruido tan fuerte como otros tipos de FS.

- Moldeadas: hormigón fresco
Similares a las rodilladas, con la diferencia que se ejecutan sobre hormigón fresco.
- Elevadas: adosadas a asfalto, hormigón
Hay de muchas formas. Pueden ser de asfalto, o de un material similar a la goma o de plástico reflectivo. Pueden imaginarse angostas etiquetas adheridas a la superficie del pavimento. Los anchos varían desde 5 a 30 cm y las alturas son por lo general de 6 a 13 mm. Pueden ser redondas o rectangulares. Tienen algunas ventajas: dado que el material se pega a la superficie, pueden agregarse perlas de vidrio para dar retroreflectividad a la franja (siempre que no se hagan de asfalto), haciéndolas fácilmente visibles durante la noche; los ciclistas las prefieren porque les producen poca o ningún trastorno; pueden ser aplicadas en cualquier momento. Las desventajas: en zonas de nieve, los quitanieves tienden a removerlas; son más costosas de instalar que las moldeadas.



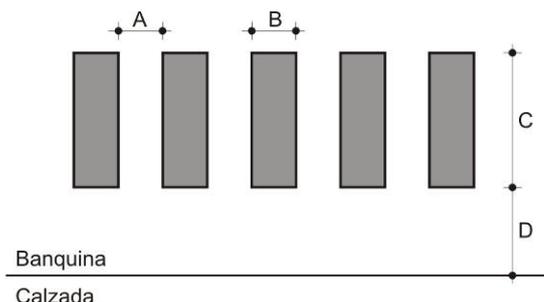
La preferencia mayoritaria de uso son las franjas sonoras fresadas y en segundo lugar las rodilladas; las fresadas producen un nivel de ruido y estímulo vibratorio más alto que las rodilladas. El esquema de ranuras puede instalarse en forma intermitente o continua. El esquema, profundidad, ancho, forma y espaciamiento del ranurado puede ser variable.

Franjas sonoras fresadas en la banquina

- Guía de aplicación
Deben considerarse si hay un alto número de choques por salida desde la calzada. No se usan para una curva individual por su alto costo.
No deberían instalarse en:
 - Banquinas existentes con menos de tres años de vida útil remanente
 - Banquina derecha de caminos designadas como rutas ciclistas o que tienen un sustancial volumen de tránsito ciclista, a menos que la banquina sea suficientemente ancha como para acomodar las franjas sonoras y todavía provea un ancho mínimo de 0,9 m para los ciclistas.

- Diseño

Dimensión	Medida	Fresado
A	Patrón Repetido	≈ 13 cm
B	Ancho Longitudinal	18 cm
C	Ancho Transversal	40 cm
D	Separación del borde	15 cm



En general se prefieren las FS continuas a las intermitentes, aunque en algunos lugares puede evaluarse la ubicación en forma intermitente, para considerar claros para cruce de ciclistas.

- Consideraciones para los ciclistas

Una de las principales preocupaciones de los ciclistas sobre FS es la aptitud para controlar la bicicleta cuando necesitan circular a través o a lo largo de ellas, para girar a la izquierda, o evitar un obstáculo en la banquina pavimentada.

Generalmente, viajar por la derecha de la franja sonora es más beneficioso para el ciclista en tanto la zona esté libre de obstáculos y sea lo suficientemente ancha como para acomodar la bicicleta. En este caso las FS pueden actuar como una zona amortiguadora más segura entre los ciclistas y los vehículos motorizados.

Para permitir que los ciclistas converjan y crucen el tránsito, deberían proveerse claros en la instalación de FSB antes de las intersecciones donde sea probable que los ciclistas giren a la izquierda.

Se recomiendan las prácticas siguientes:

- Los corredores ciclistas deberían identificarse por su volumen de tránsito.
- En los corredores ciclistas identificados, las banquetas existentes deberían proveer un ancho mínimo libre y superficie pareja para uso ciclista de 0,9 m.
- En los corredores ciclistas identificados, debería adoptarse un ancho mínimo de banquina de 1,8 m en los proyectos de reconstrucción o rehabilitación que prevean el uso de FSB y vías ciclistas.
- Cualquier camino vial rural, también identificado para uso ciclista, con historia de choques por salida de la calzada, debería mejorarse con banquetas de por lo menos 1,8 m de ancho para acomodar las FS y el uso ciclista.

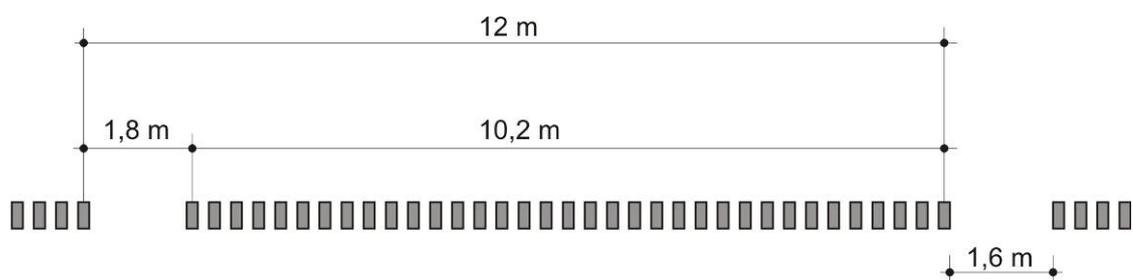


Figura 7.11 Esquema de claro para permitir el cruce de ciclistas

- Efectividad

Se registraron reducciones de accidentes por salida desde el camino del orden del 90 % en caminos de alta velocidad y volumen

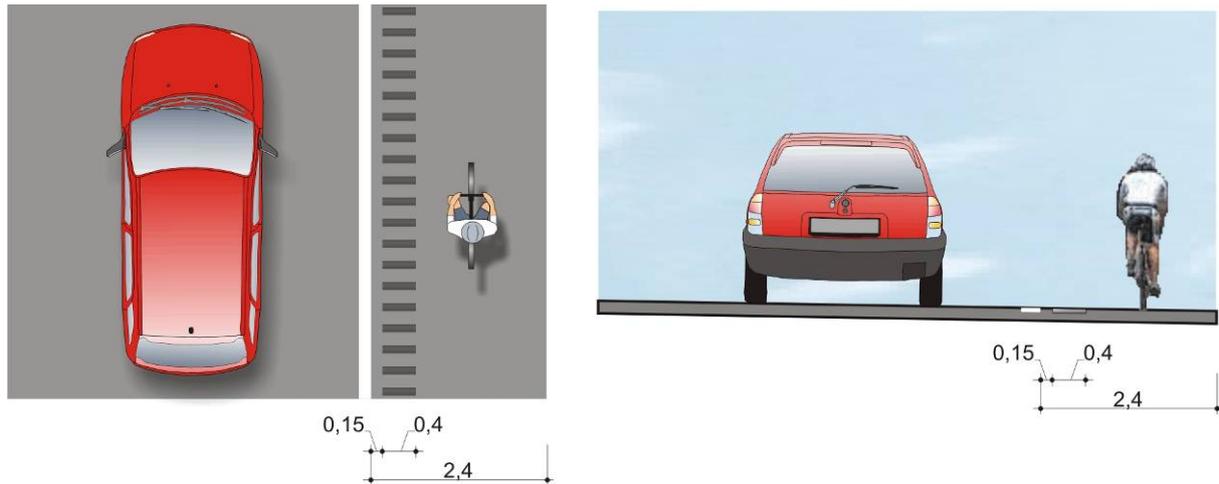


Figura 7.12 Diseño de Franja sonora de banquina amistosa para los ciclistas

Franjas sonoras fresadas en el eje

- Guía de aplicación

La aplicación sólo en curva no es una práctica actual, probablemente porque el costo de instalación no justificaría su uso en una sección relativamente corta. Se las usa en secciones considerables de camino:

- Donde haya historia de gran cantidad de choques frontales o refilones laterales.
- Límite de velocidad señalizada de 80 km/h o más.
- Umbral TMD por lo menos de 1500.
- Ancho de pavimento de por lo menos 6 m.
- Pavimento asfáltico en buena condición con espesor mínimo de 6 cm.

No se recomiendan en:

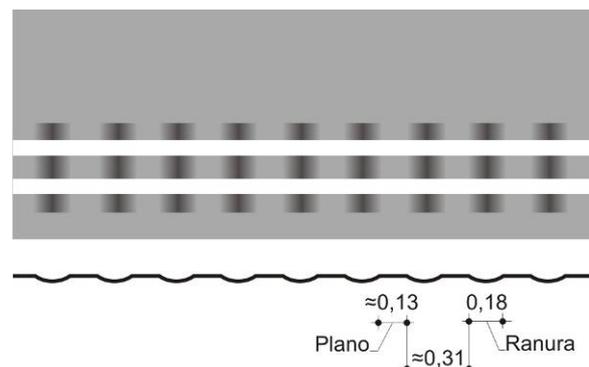
- Tableros de puente.
- Intersecciones con caminos públicos o cortas distancias entre puntos de acceso.
- Pavimentos de hormigón con recubrimiento menor que 6 cm.
- Calzadas donde las residencias están cerca, por quejas de ruidos

- Diseño

Las franjas más comunes son las fresadas de 30 a 40 cm de largo (perpendicular al eje de calzada), 20 cm de ancho (a lo largo del eje), 1 cm de profundidad.

- Efectividad

Sobre la base de la práctica internacional de franjas sonoras en la línea central, los efectos positivos superan por lejos los efectos potencialmente negativos. El efecto positivo más significativo es la reducción de cruces de eje, daños y/o choques.



Algunos organismos internacionales informan hasta un 90% de reducción de choques frontales después de instalar FS en el eje para caminos de dos carriles y dos sentidos con alto índice de choques. Además, los estudios muestran que los conductores tienden a posicionar sus vehículos más lejos de la línea central, y que la franja sonora ayuda a los conductores a identificar la línea central durante condiciones de tiempo adversas, como nevadas ventosas.

Los potenciales efectos negativos incluyen:

- Incomodidad para motociclistas y ciclistas.
- Ruido en zonas residenciales adyacentes.

7.2.7 Iluminación

Si bien la exposición diurna es mucho mayor que la nocturna, la tasa de mortalidad nocturna es aproximadamente dos a tres veces mayor que la de día. La iluminación contribuye a la seguridad vial en caminos y autopistas urbanas y en algunas circunstancias en zonas rurales (p. ej. en intersecciones aisladas) puede ser un beneficio de seguridad interesante. Resulta importante donde hay peatones o ciclistas. Sin embargo, se debe ser cuidadoso con su diseño, especialmente con la ubicación y tipo de postes, dado que pueden ser un importante peligro en sí mismos.



La iluminación debe procurar minimizar el número de postes, y debe asegurar que no se ubiquen en posiciones vulnerables. Cuando se usa en ubicaciones adecuadas, la iluminación del camino puede ser una contramedida de efectividad de costo para reducir los accidentes nocturnos. No obstante, un camino debe diseñarse para que su geometría sea interpretada fehacientemente por el conductor aun en el caso de corte de energía. Cuanto más compleja es la decisión requerida al conductor en cualquier lugar particular, más probable será el beneficio de la iluminación.

Los volúmenes de tránsito nocturno y la complejidad geométrica en lugares específicos influyen significativamente para que la iluminación sea una mejora de seguridad de efectividad de costo. Generalmente se iluminan las autopistas urbanas con distribuidores cercanamente espaciados y zonas adyacentes sustancialmente desarrolladas. Las complejidades geométricas y de tránsito son tales que los conductores necesitan detectar y reaccionar a las condiciones, 150 a 350 m delante de ellas. Además, los faros delanteros de los vehículos no son confiables de proveer la adecuada visibilidad lateral en coronamientos muy anchos.

7.3 SALIDA INVOLUNTARIA DESDE LA CALZADA

A pesar de la cuidadosa atención al diseño geométrico del camino, la buena condición del pavimento, y a la aplicación de características de seguridad, los vehículos continúan dejando la calzada por una cantidad de razones.

Al principio de la actividad vial se consideró que el diseño de los caminos y su adecuado mantenimiento eran suficientes para mantener a un conductor sobre la calzada y que las salidas hacia los costados se debían a fallas de conductores, sin la capacidad necesaria para conducir un vehículo.

En la década de 1960 se reconoció que aun los conductores más capacitados podían desplazarse fuera de la calzada. La razón primaria de estas salidas accidentales desde la calzada, invasiones, está dada por la falibilidad humana.

Por muchas razones o combinaciones de ellas, los conductores continuarán desplazándose fuera del camino, incluyendo el error del conductor en la forma de excesiva velocidad, sueño, imprudencia, inexperiencia, conducción desatenta, o conducción bajo la influencia del alcohol u drogas. Un conductor también puede dejar la calzada deliberadamente para evitar un choque con otro vehículo, con personas, con animales, o con objetos sobre la calzada. En algunos casos, un factor es la condición del camino. Pueden contribuir un alineamiento deficiente, la escasa visibilidad debida a las condiciones adversas climáticas y de entorno (lluvia, helada, nieve, niebla, humo), la baja fricción del pavimento, baches, ahuellamiento, drenaje inadecuado, o señalización, marcación o delineación inadecuada. Las fallas de los componentes del vehículo pueden causar a veces el desplazamiento del conductor fuera de la calzada. Son causas típicas relativas a los vehículos fallas en los sistemas de dirección y frenos, problema de neumáticos, inestabilidad de carga en camiones.

Una vez que un vehículo deja la calzada, la probabilidad de que ocurra un accidente depende de la velocidad y trayectoria del vehículo, y de lo que encuentre a su paso. Si ocurre un accidente su gravedad depende de varios factores, incluyendo el uso de sistemas de sujeción de los ocupantes del vehículo, el tipo de vehículo y de la naturaleza del entorno del costado de la calzada.

Segunda filosofía de diseño para reducir gran parte de los accidentes: si las invasiones accidentales son inevitables, los costados de la calzada debieran ser tan despejados e indulgentes como razonablemente fuere posible, para dar a los vehículos errantes oportunidad para recuperarse, detenerse con seguridad, o volver a la calzada, o reducir la gravedad de los perjuicios del choque resultante.

7.3.1 Peligros al CDC

El término peligros al CDC se refiere a objetos fijos o condiciones del CDC que, en virtud de su estructura y ubicación, resultan, o pueden resultar, en una mayor probabilidad de daños a vehículos, lesiones o la muerte de los ocupantes en el caso de un vehículo abandone la calzada.

Por la pobre capacidad de absorción de energía de muchos objetos del CDC, un impacto contra ellos podría resultar en serios daños para el vehículo o lesiones más graves para los ocupantes. El objetivo es identificar los objetos y condiciones al CDC que sean potencialmente más peligrosos, y las características (dimensiones, frecuencias, etc.), que los hacen peligrosos.

Los peligros al CDC pueden ser puntuales o continuos, naturales o artificiales.

Los objetos peligrosos fijos incluyen:

- Árboles y tocones de árboles
Los árboles son frecuentes en los CDC, especialmente en zonas rurales, y puede ser implacables durante un impacto, absorbiendo muy poco de la energía creada por el impacto. Aunque individualmente son peligros puntuales, también pueden ser peligros continuos, especialmente en los casos donde hay hileras de árboles a lo largo del camino.
- Postes
Incluyen postes de iluminación, de servicios públicos, de pórticos, todos los postes de señales viales, postes de semáforos, de pedido de ayuda, de aparatos de alarma ferroviaria, etcétera
- Pasos alto-nivel
Sobre camino, río, líneas de ferrocarril
- Columnas, pilas y estribos de puentes
Las columnas y pilas pueden estar ubicadas en la mediana o al CDC exterior. Un estribo en el final de un puente o de la pared de un túnel.
- Barreras laterales de diseño viejo o inadecuadamente instaladas
- Peligrosos extremos de barrera
Extremos de barrera pobremente diseñados o ubicados que no cumplen los requerimientos de la norma.
- Cabeceras de alcantarillas y alcantarillas transversales y laterales
- Rocas y cantos rodados
Grandes masas de roca dispuestas sobre la superficie del terreno o incrustadas en el suelo al CDC, normalmente aisladas de su lugar de origen

Condiciones peligrosas, principalmente:

- Taludes muy empinados
- Cunetas con sus contrataludes

No todos los taludes permiten a los vehículos errantes transitar su pendiente con seguridad en el caso de una SDC.

En función de la posibilidad de vuelco, los taludes se definen como:

- Recuperables: taludes 1:4 o más tendidos ($\text{talud} \leq 1:4$).
Son taludes traspasables en los que existe una alta probabilidad de que los conductores puedan detener sus vehículos o disminuir su velocidad para volver a la calzada con seguridad.
- No recuperables: taludes entre 1:3 y 1:4 ($1:4 < \text{talud} < 1:3$)
Son taludes traspasables pero sobre los cuales los conductores serán incapaces de detener sus vehículos o de volver fácilmente a la calzada. Puede esperarse que los vehículos sobre estos taludes alcancen el fondo.
- Críticos: taludes 1:3 o más empinados ($\text{talud} \geq 1:3$)
Son taludes sobre los cuales posiblemente los vehículos vuelquen.

Los taludes críticos y los no recuperables son una condición peligrosa; ya que en los críticos existe una alta probabilidad de vuelco y en los no recuperables el conductor no podrá detenerse.

Otras características peligrosas:

- Cortes rugosos
- Masas de agua
Lagos, reservorios, mar, ríos corriendo paralelamente al camino
- Caída de borde de pavimento

7.3.2 Zona despejada (ZD)

La ZD es un área, adyacente a la calzada, libre de objetos fijos o taludes peligrosos, que proporciona un espacio para que los conductores que sufrieron una salida involuntaria desde la calzada, puedan controlar o detener sus vehículos. La superficie de esta área debe ser relativamente plana, suave, firme, sin peligros, de tal modo que se eliminen las posibilidades de impacto contra objetos peligrosos o vuelcos debidos a las condiciones del terreno.



El ancho mínimo deseable depende de los volúmenes de tránsito, de la velocidad y de la geometría del camino.

La determinación del ancho deseable de ZD y se desarrolla en [Capítulo 3 DISEÑO GEOMÉTRICO]

7.3.3 Tratamiento de los peligros

El diseño de un CDC indulgente debe proveer una zona libre de peligros (ZD) en la probable trayectoria del vehículo. Los CDC indulgentes, respecto de los objetos fijos, son el resultado de proyectar en orden de preferencia los siguientes tratamientos:

- **Eliminarlos**
- **Reubicarlos** a un sitio en donde sea menos probable chocarlo
- **Reducir** la severidad del choque mediante el uso de un aparato frangible
- **Redirigir** el vehículo errante mediante una barrera longitudinal y/o amortiguadores de impacto, instalados en los casos en que el choque contra el obstáculo sea más peligroso que el choque contra la barrera y/o amortiguador
- **Delinear o Señalizar** el obstáculo si las alternativas anteriores no son apropiadas, o como medida transitoria para alertar al conductor de la existencia del peligro

Sobre las condiciones peligrosas de talud y drenaje, las medidas recomendadas para obtener CDC indulgentes son:

- **Tender** los taludes más de 1:4
- **Diseñar** cunetas de perfil traspasable y redondear aristas.

Las barreras no son una opción indudable de seguridad vial; en sí mismas son peligrosas y sólo se justifican si las consecuencias para un vehículo que las choque son menos graves que chocar el obstáculo detrás, o transitar por una condición peligrosa; p.ej., talud empinado. Su instalación debe siempre revisarse con espíritu crítico y realizarse adecuadamente.

Son costosas de instalar y mantener.

Deben hacerse todos los esfuerzos en las etapas de diseño y construcción para eliminar la necesidad de barrera y, al considerar las justificaciones, es imperativo recordar que su uso siempre debe ser atemperado por el juicio y la discreción.

En los países líderes en seguridad vial, en los últimos años se abandonó la masiva instalación de barreras y la percepción previa de que la barrera era la panacea para todos los males. Este enfoque que promueve una realista evaluación de los costos comunitarios y la investigación de tratamientos alternativos para eliminar las barreras donde fuere posible, es más saludable que el anterior.

Estudios realizados en los EUA determinaron que después de instalar una barrera longitudinal, aun justificada fehacientemente, la gravedad de los accidentes pueden disminuir, pero puede aumentar la frecuencia dado el menor espacio disponible para las maniobras para recuperar el control y volver al camino.



Alcantarilla

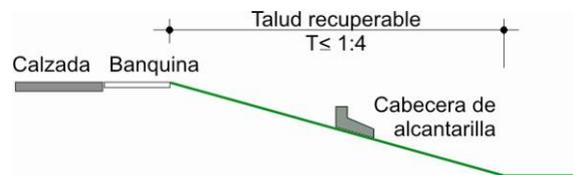
Son estructuras de drenaje transversal que conducen el agua por debajo del coronamiento. Sus extremos (entrada y salida) comprenden muros de cabeceras y alas de hormigón para las estructuras más grandes y secciones extremas rectas o biseladas para los conductos más pequeños.



Aunque estos tipos de diseños de extremos sean hidráulicamente eficientes y minimicen los problemas de erosión, pueden representar un peligro para el vehículo que circula fuera de la calzada. Los extremos generan:

- Una discontinuidad en el talud, resultando objetos fijos sobresalientes en un terraplén -de otra forma traspasable-, y
- Una abertura en la cual un vehículo podría caer, causando una abrupta detención.

Las alcantarillas más pequeñas pueden producir el enganche de una rueda y causar que el vehículo se des controle. En las alcantarillas más grandes pueden observarse choques directos contra los muros de ala, enganches o caídas.



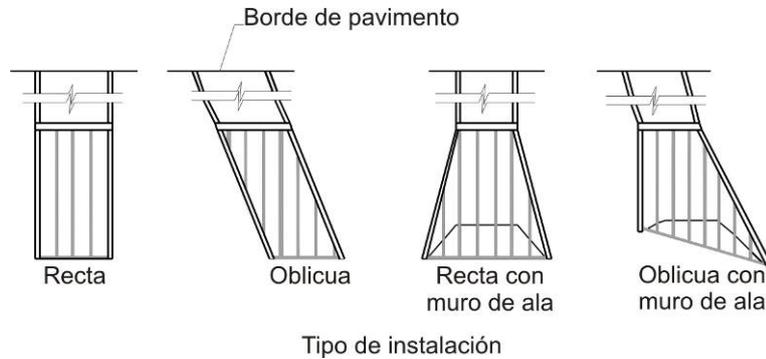
Para tratar los peligros que representan los extremos de alcantarillas, se recomienda, en orden de prioridad:

- Proyectar las alcantarillas con sus extremos mas allá de la ZD de modo que haya menos posibilidad de ser chocada
- Proyectar extremos traspasables para las alcantarillas.
- Proyectar barrera

Cuando en mediana o distribuidores existan alcantarillas separadas en ambas calzadas, se recomienda darles continuidad para eliminar la abertura intermedia. El escurrimiento superficial se captará con sumideros, los cuales pueden ser de reja horizontal o laterales de rejas inclinadas, o mixtas. En el caso de ingresos laterales deberán conformarse según el talud transversal para hacerlos traspasables.

Cuando no se pueda extender un extremo de alcantarilla fuera de la ZD, se recomienda dar continuidad a la pendiente del talud agregando una reja entre las alas. La reja debe dimensionarse como para soportar el paso de un vehículo desviado.

Se mantiene el talud normal en la zona de la alcantarilla para lo cual se debe biselar las alcantarillas tipo caño y los muros de ala de las alcantarillas tipo cajón deben seguir la pendiente del talud. La cabecera de la alcantarilla o cualquier otro elemento no debe superar los 10 cm por sobre el nivel del terreno.



Las rejas se ubican perpendiculares a la dirección del tránsito y la separación varía entre 0,50 m y 0,75 m. Las dimensiones de los caños varían según la luz libre entre apoyos. Cuando las luces son importantes, se pueden utilizar apoyos intermedios. La reja no llega a la platea, se deja 0,60 m de altura para permitir un escurrimiento de fondo sin restricciones.



Por condiciones de ZD u otro motivo, puede ser necesario solamente colocar rejas en la desembocadura de una alcantarilla, en estos casos se deberá también colocar rejas en la embocadura para evitar el taponamiento en el interior de la alcantarilla.



Proteger una alcantarilla con una barrera es la última opción cuando no se puede extender la alcantarilla mas allá de la ZD y no es factible proyectarlas traspasables con rejas. La barrera se diseña según Subsección 7.6.2. No se deben usar barreras de hormigón para proteger alcantarillas en la ZD.

Si la tapada es menor que 1,2 m, no se alcanza la longitud de empotramiento para el correcto funcionamiento de la barrera. Cuando la luz total de la alcantarilla es mayor que el módulo de la barrera, los postes se anclarán en la losa de la alcantarilla como se indica en el tema fundación de barreras metálicas [7ANEXO 7.6.2.7A].

Taludes transversales

Son los que conforman la obra básica en cruces de mediana, accesos frentistas, cruces con otros caminos. Son más peligrosos que los taludes o contrataludes laterales porque la trayectoria de choque de los vehículos es casi perpendicular al obstáculo.

La pendiente deseable del talud es 1:10, lo cual alarga la longitud de las alcantarillas dificultando las tareas de mantenimiento. Se recomiendan taludes más tendidos que 1:6 para caminos de alta velocidad, siendo aceptable taludes más verticales que 1:6 para caminos de baja velocidad o áreas urbanas.



Las pendientes deseables y recomendadas de los taludes deben proyectarse en la ZD, fuera de ella se puede empinar el talud a los valores usuales compatibles con la estabilidad de los terraplenes.

La Figura 7.13 muestra el diseño de los taludes y del extremo de alcantarilla en un acceso a propiedad.

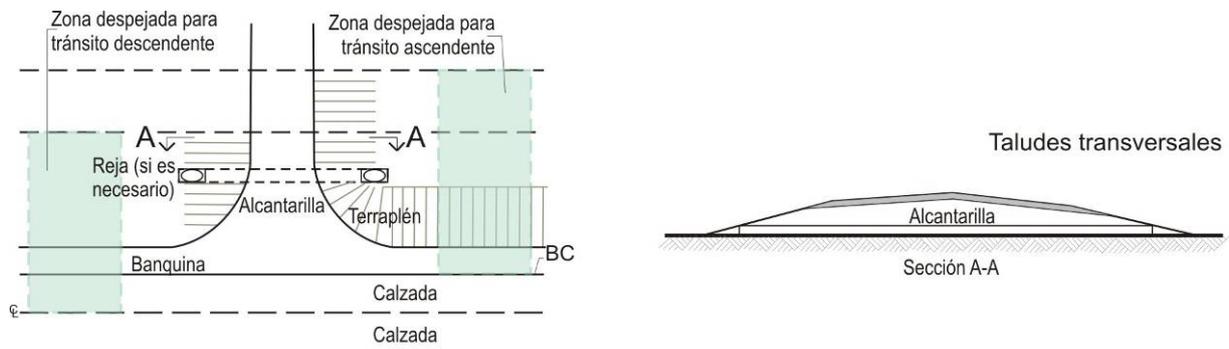


Figura 7.13 Diseño de talud transversal y alcantarillas en acceso a propiedades.

Árboles



Quizás el aspecto más difícil para administrar los peligros al CDC se refiera a los árboles. Mientras se evalúan como un bien comunitario por su belleza y beneficios ambientales, los árboles son los objetos más comúnmente involucrados en choques serios por SDC.

Los árboles y arbustos a lo largo de un camino incrementan su atractivo visual, y pueden ayudar a proteger contra el encandilamiento de las luces delanteras del tránsito opuesto, y proveer una barrera visual entre el camino y la propiedad lindera. En algunos casos, donde la tierra adyacente fuere desboscada para agricultura, los árboles en la zona de camino pueden ser ecológicamente importantes para la flora y fauna histórica del lugar. Además, los árboles pueden formar una importante delineación subliminal –aunque cuando está mal concebida pueda confundir.



Pero por otra parte, los árboles sustancialmente cerca de la calzada, en la ZD, constituyen un peligro.

Según datos de EUA, los árboles son los objetos más comunmente golpeados aproximadamente un 30%, y producen más muertos que cualquier otro objeto fijo, aproximadamente el 10 % de todas las muertes viales.

Los accidentes fatales con árboles son más frecuentes en caminos rurales locales. De todos los accidentes mortales con árboles, 90% ocurrieron en caminos de dos carriles y un 5% en cuatro carriles. El 56% de los choques mortales con árboles ocurre de noche y el 50 % en curva.

Los árboles detienen abruptamente un vehículo cuando su tronco no es flexible, cuando supera los 10 cm de diámetro, porque absorbe muy poca de la energía creada por el impacto, generando a los ocupantes del vehículo, fuerzas de desaceleración que superan lo tolerable.

Mientras más cerca de la calzada se ubiquen, mayor es el riesgo de un impacto y mayor el peligro que representan.

La industria forestal usa el diámetro del tronco del árbol como la medida más importante de un árbol de pie. El diámetro para uso forestal se mide en el tronco principal a 1,4 m sobre el terreno en el lado cerro arriba del árbol (es decir, el diámetro de la altura del pecho, o DAP).

Una medida a esta altura es demasiado alta para los propósitos de la seguridad vial, porque es raro que un vehículo golpee un árbol a esa altura. El diámetro del árbol a la altura del paragolpes es una medida mejor para los propósitos de la seguridad vial. Con amplia variación diseños del vehículo, es necesario estandarizar una altura razonable; se establece una altura de 60 cm sobre el terreno como representativa de la altura del paragolpes.

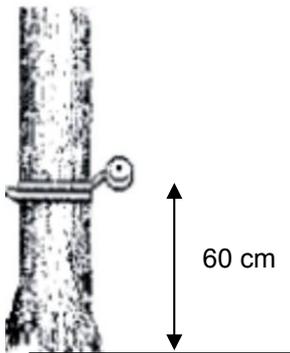


Figura 7.14 Altura recomendada para medición del diámetro de árboles para seguridad de tránsito

Los árboles que en su madurez alcancen diámetros mayores que 10 cm medidos a 60 cm sobre el terreno Para los vehículos errantes son peligrosos y deberían quitarse y transplantarse fuera de la ZD.



En la imagen se muestra un árbol maduro con cicatrices por choques, muy cerca de la calzada de un camino rural. Las banquetas son angostas y están ahuelladas cerca del árbol.

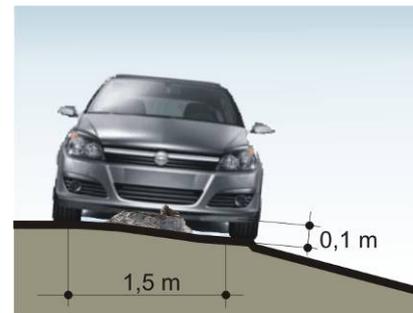
El alineamiento horizontal de una sección de camino puede influir en el nivel de riesgo de SDC y choques contra árboles.

La mayoría de los choques contra árboles comprenden salidas a la derecha en curvas a la izquierda, como se muestra en la imagen.



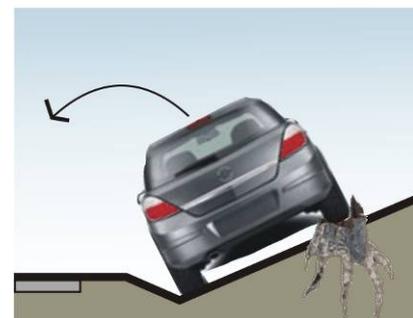
Para tratar el problema de los árboles peligrosos ubicados en lugares peligrosos, se pueden desarrollar diferentes estrategias:

- Impedir la plantación de árboles o arbustos que crecerán hasta un tamaño inseguro en la ZD
- Evitar el crecimiento natural de árboles en la ZD
- Evitar que los árboles se desarrollen y obstruyan la visual, o sean un peligro
- Seleccionar árboles frangibles (rompibles) para tramos de camino que fueran más propensos a accidentes por SDC
- Identificar y remover o relocalizar los árboles ubicados en lugares peligrosos, es decir árboles golpeados o que probablemente serán golpeados
- No dejar tocones al cortar los árboles para evitar los problemas de enganche y tambaleo



El enganche del vehículo ocurre cuando el fondo de la carrocería se engancha con un tocón u otro objeto. Generalmente cualquier tocón más alto que 10 cm sobre el terreno circundante puede causarlo.

El tambaleo del vehículo ocurre cuando la rueda o el fondo de la carrocería pasa sobre un tocón o talud. El corte de un tocón al ras, tan cerca del talud como sea posible, minimiza el peligro de balanceo.



- Proteger con barrera los lugares donde haya muchos árboles creciendo cerca de la calzada de un camino de altas velocidades y volumen, y donde el desbosque no fuere posible sobre bases ecológicas, ambientales o estéticas, un tratamiento posible es protegerse con una barrera de defensa.



Sin embargo, como siempre los beneficios de este enfoque necesitan considerarse a la luz del peligro asociado con la barrera y su tratamiento del extremo de aproximación, puede no ser posible donde haya frecuentes puntos de accesos. Enfrente de los árboles, la barrera puede disminuir la gravedad, pero aumenta la frecuencia de los choques (contra la barrera).

- Delinear los árboles en lugares peligrosos si no hay otra opción. Pueden usarse pintura o bandas de cinta reflectiva alrededor del tronco, y marcadores de objetos.



Postes

Los muertos y heridos relacionados con choques contra postes de servicios públicos, de iluminación y de señales viales constituyen una parte significativa del problema general de seguridad vial. Los grandes postes de acero, hormigón o madera ubicados en posiciones críticas no son coherentes con CDC indulgentes.



Los choques contra postes están entre los más frecuentes y graves que involucran objetos fijos.

En términos de seguridad vial, la solución de diseño más deseable es usar tan pocos postes como sea práctico y ubicarlos donde sea menor la probabilidad de ser golpeados por un vehículo desviado desde la calzada.



En general, el peligro crece con el flujo de tránsito, la densidad de postes (número de postes por longitud de camino), y de la separación desde el borde de calzada, y es mayor para postes en el lado exterior de las curvas horizontales, y en los lugares donde la fricción neumático-pavimento es reducida.

Los choques con postes están sobrerrepresentados cuando los postes se ubican en lado exterior de las curvas horizontales, hasta 15 m de una intersección o en caminos sin banquetas. La frecuencia de choques contra postes decrece al aumentar el ancho de banquina.

Las investigaciones hallaron que alrededor del 50% de los choques de postes ocurren a 1,2 m de la calzada. En zonas rurales, el promedio de separación del poste desde la calzada es de unos 3,6 m, mientras que la separación media en los lugares de choque contra postes es de sólo unos 2,6 m. Otra característica de estos lugares de choques es su densidad de postes más alta que el promedio. En zonas rurales, la densidad de postes en un lugar típico de choque contra poste de servicio público es de 35 postes por km, mientras que la densidad media general es de unos 14 postes por km.



Algunas prácticas recomendadas para la ubicación segura de los postes en la ZC:

- Eliminar los postes ubicados en la ZD.
- Los postes que corran paralelos a un camino deberían ubicarse fuera de la ZD, preferentemente en el borde de la zona-de-camino.
- Utilizar los postes en forma conjunta por parte de servicios públicos diferentes (p. ej., suministro de energía eléctrica, iluminación pública, teléfono).
- El estado decide si se permite servicios públicos en los caminos y autopistas y hasta qué extensión. En el caso de servicios públicos longitudinales entre líneas de control de acceso, el estado retiene el control sobre el derecho de vía en la franja de servicio público. El acceso hacia y desde la franja de servicio público debería estar controlado para evitar un efecto adverso sobre las operaciones de tránsito y la seguridad.
- Desde la autopista no debería permitirse el acceso a la línea de servicio público para mantenimiento de rutina. Por lo tanto, las líneas paralelas, como mínimo, se ubican fuera de la línea de control de acceso y a menudo fuera de la zona-de-camino de la autopista, de modo que el acceso a los postes sea más fácil y seguro. El acceso desde los carriles principales de la autopista puede ser peligroso para el personal de mantenimiento y el tránsito directo. Los pesados camiones de servicios públicos y el equipo que hacen lentos giros en una zona de mediana desde los carriles de alta velocidad pueden ser peligrosos.
- Una hecho más común es el cruce de la zona-de-camino por las líneas de servicios públicos. Las compañías de servicios públicos deberían usar largas luces para el cruce aéreo de las autopistas. Según el ancho de la zona-de-camino, una sola luz puede cruzar ambos coronamientos, o puede ubicarse un solo poste en la mediana. La ubicación de un poste o torre en la mediana de una autopista dividida no es deseable; sin embargo, bajo ciertas circunstancias extraordinarias los postes de los servicios públicos pueden acomodarse seguramente en la mediana.

Si un poste de servicios públicos se ubica en la mediana, debería mantenerse detrás de la zona de recuperación de los vehículos que viajen en cualquier dirección.

- Ubicar las líneas de servicios públicos bajo tierra.
- Incrementar el espaciamiento entre postes.
- Donde la ZD no se puede obtener deberían ubicarse por lo menos a 3 m desde el borde de la calzada, en los lugares alternativos más seguros (p. ej., postes de iluminación en el lado interior de una curva horizontal, más que en el lado exterior).
- Considerar la provisión de un pavimento de alta fricción donde el poste esté en curva.
- Utilizar postes intermedios para reemplazar un poste ubicado en un lugar particularmente peligroso.
- Los postes existentes pueden actuar como un control de la ubicación de un nuevo camino (p. ej. en duplicaciones de calzada). Sin embargo, a menudo esto puede resultar en que los postes estén muy cerca del borde de la nueva calzada. Considerar la reubicación de los postes en estos casos redundará en beneficios para la seguridad.
- Ubicar todos los postes a lo largo de un solo lado del camino.
- No ubicar postes en líneas de cunetas ya que suelen redirigir al vehículo errante, o en el lado exterior de las curvas horizontales, o en medianas centrales o dentro del radio de esquina en las intersecciones, porque allí pueden incrementar la frecuencia y gravedad de los choques contra postes.
- Ubicar los postes detrás de las barreras existentes respetando las distancias de deflexión, sobre estructuras, o en zonas no accesibles similares.
- Si no pueden ubicarse fuera de la ZD, o en los lugares mencionados, deberían utilizarse dispositivos rompibles.
- Los postes ubicados en la ZD deberían ser rompible; así se reduce la gravedad de los choques no su frecuencia.

Son más seguros porque impiden la rápida desaceleración del vehículo, que contribuye a la gravedad de los choques.

Postes rompibles o frangibles, es el término colectivo para los:

- Postes de base-deslizante que se rompan fuera de la base cuando se los impacta, Figura 7.15 A; tales postes incluyen conexiones eléctricas especiales para asegurar la seguridad eléctrica; no retardan el impacto del vehículo y pueden originar accidentes secundarios, especialmente en zonas de alta actividad peatonal, o en medianas angostas.

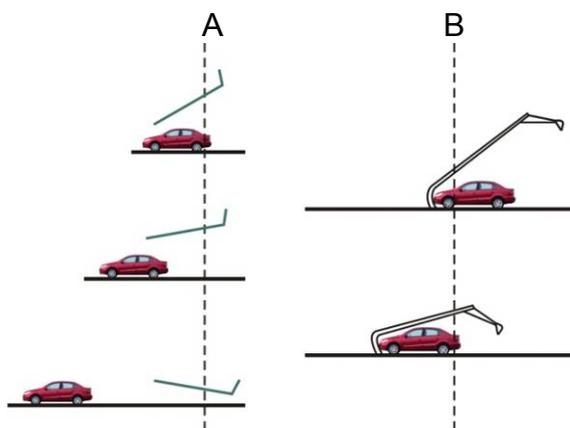


Figura 7.15 Postes rompibles A de base deslizante; B absorbedor de impacto

- Postes que absorban impactos, los cuales fallan progresivamente por flexión, entrapando al vehículo chocador Figura 7.15 B; éstos son particularmente adecuados en zonas donde haya un alto uso peatonal.

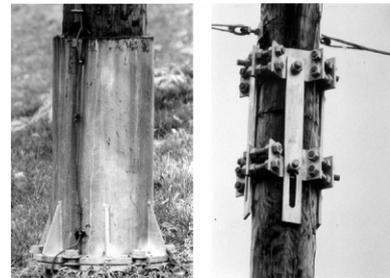
Como criterios para determinar si un poste es considerado rompible se adoptan los indicados en *Standard Specifications for Structural Supports for Highway Signs, Luminaries and Traffic Signals* de AASHTO y las Normas de Ensayo se indican el NCHRP 350.

- Aunque el poste sea de diseño rompible aprobado, debería ubicarse donde haya menor probabilidad de ser golpeado por un vehículo errante. Los diseños de gran base-deslizante no siempre pueden liberarse lo suficientemente rápido en impactos laterales, y los postes más pequeños de base susceptible de curvarse pueden contribuir a la inestabilidad vehicular a continuación de un choque.
- Ubicar los postes en terreno plano para asegurar su adecuado funcionamiento cuando son golpeados.
- Si pueden identificarse ubicaciones menos vulnerables, la ZD no debería atestarse con postes de cualquier tipo.
- Generalmente, los cercos de zona-de-camino se consideran rompibles o seguros cuando el sistema de postes es de materiales del mismo tamaño y peso que los de los soportes rompibles de señales.
- Proteger a los conductores de los postes mediante una barrera, solamente cuando no se puedan eliminar los postes de la ZD, cuando no se puedan reubicar fuera de la ZD, cuando no sea práctico el uso de postes frangibles y cuando los beneficios de su empleo superen el peligro asociado con la barrera y su tratamiento extremo.
- Los grandes postes para señales en voladizo y los pórticos de señales no se hacen para romperse y deberían protegerse con un sistema de barrera. Las ubicaciones de postes y de barrera deberían coordinarse para asegurar suficientes separaciones entre la barrera y el poste, e impedir así que al deflexionar durante un impacto, la barrera golpee contra el poste.
- Los postes de alumbrado ubicados arriba de barreras de hormigón de mediana o laterales (a menudo por limitaciones de espacio) deberían retranquearse suficientemente para impedir que el poste se desconecte y caiga en un carril de tránsito.
- Delinear los postes como último y menos satisfactorio recurso, adhiriendo delineadores reflectivos.



Algunas recomendaciones del uso de postes frangibles:

- Deben ser estructuralmente adecuados para soportar el aparato montado sobre ellos y resistir las cargas de hielo, viento y sismo.
- Los mecanismos del poste rompible se diseñan para funcionar adecuadamente cuando es solicitado al corte, tipo cizalla. La mayoría de los mecanismos se diseñan para ser chocados a la altura del paragolpes, aproximadamente del orden de los 0,50 m sobre el terreno. Si es chocado en un punto significativamente más alto, el momento flector en la base rompible o separable puede atascar el mecanismo.
Es crítico que los postes rompibles no se ubiquen cerca de las cunetas, sobre taludes empinados o en lugares similares donde un vehículo estará parcialmente en el aire durante el impacto.
- Las fundaciones deben diseñarse adecuadamente en función del suelo del lugar.
- Deben utilizarse cuando las velocidades son mayores que 40 km/h.
- No se recomienda su uso en zonas urbanas u otros lugares donde los peatones y ciclistas pueden ser golpeados por la caída de un poste y accesorios rompibles después de un choque.
- El vehículo no debe volcar durante y después del choque, mientras que el habitáculo no debe deformarse ni sufrir intrusiones de las partes del poste.
- Los postes ubicados sobre taludes laterales no deben permitir que los vehículos que los choquen se enganchen en la fundación o cualquier resto sustancial del poste.
- El talón empotrado al terreno debe tener una altura máxima de 0,10 m de altura para disminuir la posibilidad de enganchar el chasis de un vehículo después que poste se ha roto y separado de su base.
- El terreno circundante debería perfilarse para permitir que los vehículos pasen sobre cualquier parte no rompible de la instalación que permanezca en el terreno, o rígidamente unida a la fundación.



Otros postes que pueden estar usualmente colocados cerca de la calzada son: semáforos, postes de ayuda, señales ferroviarias:

- Semáforos: constituyen una situación especial donde puede ser indeseable postes rompibles. Como con los postes de iluminación, debe considerarse el peligro inmediato creado por un poste de señal caído como también el potencial peligro creado por una temporaria pérdida de toda la señalización en una intersección.
Cuando los semáforos se instalan en caminos de más de 80 km/h los soportes deberían ubicarse tan lejos del coronamiento como sea práctico. Debe considerarse la protección de los soportes si están en la ZD.
- Pedido de ayuda (SOS): se deben tratar como peligros laterales, por lo que se recomienda su ubicación por fuera de la ZD. También pueden ubicarse detrás de barreras justificadas por otras razones, con lo que además protege al conductor que la está utilizando. Cuando se lo ubica junto a la calzada se debe utilizar postes rompibles. Deben estar accesible para usuarios en silla de ruedas.

- Aparatos de alarma ferroviaria: los funcionarios viales y ferroviarios deben decidir cooperativamente sobre el tipo de aparato de alarma necesario en un cruce particular, cruces de San Andrés, señales de luces titilantes, o barreras. Las barreras longitudinales no suelen recomendarse porque raras veces hay suficiente espacio para el adecuado tratamiento de los extremos, al peligro más largo que se crea, y a que un vehículo que la choca cuando un tren ocupa el cruce puede ser redirigido hacia el tren.

Pilas y Estribos de Puentes

Los estribos y pilas de puente, barreras de puente y puentes con banquetas de anchos menores que el total pueden causar peligros a los conductores. El diseño de pasos superiores necesita considerar la seguridad sobre y debajo de las estructuras. De crítica importancia son las separaciones horizontal y vertical desde el borde de la banquina hasta la estructura del puente.



Por su naturaleza, las pilas y estribos de puente son fuertes objetos fijos. Cuando un vehículo errante los golpea usualmente el accidente resultante es muy grave. En las estructuras de paso superior, las pilas y estribos deberían mantenerse tan lejos del coronamiento como sea práctico. Se prefieren las estructuras de dos luces con postes en el centro del mediana y sin pilas cerca del borde de banquina de ninguno de los coronamientos. En autopistas con medianas angostas, se recomiendan las estructuras de una sola luz.

Los puentes de luces más largas sobre autopistas reducen la necesidad de pilas en el borde de banquina, o permiten que las pilas se ubiquen una suficiente distancia atrás desde los carriles de viaje, para reducir la probabilidad de un accidente. Generalmente, desde el punto de vista de la seguridad, es deseable ubicar las pilas fuera de la ZD. Esto es particularmente importante en lugares con una estructura ubicada en el punto de curvatura para una curva horizontal y con un alto volumen de camiones pesados. Las fuerzas centrífugas que actúan sobre un camión que se pone en contacto con una barrera curva pueden causar que el camión se incline o tropiece contra el sistema de barrera. En esta situación, es probable que el accidente sea grave, y que haya una alta probabilidad de incendio del camión o daño estructural de las pilas. Por lo tanto, las pilas sobre el lado exterior de las curvas deberían estar ubicadas detrás de los carriles de viaje o suficientemente protegidas. Con longitudes de luces de puente fijas, puede ser deseable cambiar la ubicación de una camino o nueva estructura para maximizar la separación de la pila del lado exterior de una curva y reducirla del lado interior.

Cuando no sea posible ubicar las pilas de mediana y costado fuera de la ZD, debería usarse un adecuado sistema de barrera.

A menudo, las características de la distancia de deflexión de varios diseños de barreras controlarán la elección del sistema de barrera a usar. La forma más común de reducir el peligro en esta ubicación es usar una sección de barrera de hormigón en las pilas para asegurar el mantenimiento de la máxima abertura, mientras se elimina cualquier posibilidad de deflexión de la barrera contra las pilas. Fuera de esta zona, donde la deflexión podría tolerarse, se puede emplear la barrera de defensa de viga-w de poste fuerte. También se emplea señalización reflectorizada en las pilas y terminales de barrera de defensa para marcar los peligros.



Cuando las pilas se ubican más de 1,7 m desde el borde de banquina, para protección puede usarse una barrera semirrígida, tal como una viga-W estándar con postes fuertes. Sin embargo, donde haya 1,7 m o menos, o donde existan condiciones o cambios geométricos tales como ensanchamiento de carriles o banquetas, que reduzcan esta distancia de separación, el sistema de barrera semirrígida estándar puede reforzarse para reducir la deflexión potencial. Esto se realiza mediante el uso de secciones vigas-tres; postes más cercanos, anchos o largos; secciones de doble viga; o combinación de estos elementos. Por supuesto, el sistema de barrera debe tener adecuado soporte del suelo para asegurar que la barrera pueda desarrollar su total resistencia. Cuando una cuneta esté ubicada directamente detrás de la barrera (como es común en el acceso a pasos inferiores), el soporte del suelo se reduce, y para compensar deberían usarse métodos de refuerzo adicional.

Cuando las pilas estén ubicadas más cerca de 1,1 m desde el borde de banquina, a menudo se usa un sistema rígido; comúnmente un perfil seguro de hormigón. De nuevo, es deseable ubicar el pie de la barrera de hormigón por lo menos 0,6 m desde el borde de banquina, de modo que el ancho de banquina sea totalmente utilizable.

Las protecciones de pilas existentes que están hasta 1,1 m desde el borde de banquina requieren evaluaciones que dependen de las condiciones del lugar, velocidad, volumen y composición del tránsito. La solución puede variar desde la reconstrucción del puente hasta usar una alta barrera para impedir que los camiones se balanceen en las pilas (puede ser deseable un muro de 1,3 m), hasta reducir el ancho de banquina mediante la instalación de la barrera más lejos de la pila. Las pilas de puente podrían ser enganchadas en un impacto, por cualquier carga sobresaliente de un camión.

Los estribos de puente también pueden ser peligrosos.



La instancia más común ocurre en autopistas cuando se usa un sistema de barrera para proteger las pilas, pero de insuficiente longitud para impedir que un vehículo errante viaje sobre los taludes del estribo y sea redirigido hacia la parte trasera de la barrera o frente o lado de las pilas, de seguir por dentro de una característica no traspasable, o de simplemente volcar en un empinado talud de estribo. Los taludes de estribo deberían ser traspasables o estar adecuadamente protegidos.

Pasos Alto Nivel



Si los puentes alto-nivel de autopistas y autovías, por debajo de los cuales cruzan otros caminos, líneas de ferrocarril, o cursos de agua, se proyectan con estructuras independientes para cada calzada, el hueco dejado entre las estructuras, el terraplén y muro de alas representan un peligro para los vehículos errantes.

Se recomienda que para medianas de hasta 10 m se proyecten los puentes de ambas calzadas con una única estructura. Cuando no sea posible hacer esto, deben preverse los dispositivos necesarios para evitar la caída de un vehículo en el hueco (barreras, amortiguadores de impacto).

Masas de agua

Las masas de agua deben evaluarse con respecto al grado potencial de peligro. Esto será una combinación de la cantidad de agua y su accesibilidad.

La profundidad se clasifica según si:

- Un vehículo puede sumergirse completamente, resultando los ocupantes lesionados, ya sea no nadadores, enfermos, ancianos, o niños
- El agua podría inundar completamente un auto hasta un punto donde un conductor o pasajero inconsciente o herido, podría ahogarse (típicamente puede suponerse una profundidad de 0,6 m)
- Un vuelco lateral con agua suficientemente profunda (más o menos 0,3 m) como para que una persona inconsciente se ahogue.

Las corrientes de agua deben considerarse más peligrosas que las masas de agua quietas. En general, los proyectistas deben considerar cuidadosamente el riesgo asociado con masas de agua de más de 0,6 m de profundidad, o cursos de agua con una profundidad normal de caudal de base superior a 0,6 m, que podrían causar que un ocupante aturdido, arapado, o herido se ahogue.

Otros factores para considerar incluyen:

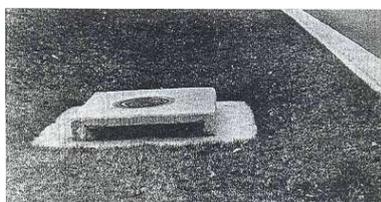
- Pendiente de la trayectoria del vehículo hasta el agua
- Distancia total disponible para detenerse
- Presencia persistente o intermitente de agua
- Obstrucciones que pudieran reducir la posibilidad de un vehículo de alcanzar el agua.



El proyectista debe visualizar la posibilidad que un vehículo errante alcance el agua; si es alta, deberá considerar proveer protección con barrera.

Sumideros

En una construcción nueva las embocaduras de sumideros de drenaje ubicados en la trayectoria de tránsito o en la potencial trayectoria de un vehículo errante deberían diseñarse para ser traspasables por los ciclistas como también por los automóviles.



Los sumideros existentes que sobresalen más de 10 cm del terreno, pueden enganchar el chasis de un vehículo o causar la inestabilidad y, en algunos casos, golpear ciclistas si las barras están instaladas inadecuadamente.

Las embocaduras que son problemas potenciales deberían reconstruirse para ser traspasables.

Los problemas potenciales de las embocaduras ubicadas fuera de la calzada que no pueden mejorarse deberían delimitarse con un dispositivo adecuado.

La marcación de una embocadura no reduce la gravedad de ningún choque que ocurra, pero puede ayudar a que el conductor evite chocarla.

Objetos fijos de más de 10 cm

Cualquier objeto fijo de más de 10 cm ubicado en la ZD, p. ej. rocas, se consideran potencialmente peligrosos y deben eliminarse. Si no fuera posible la eliminación, instalar barrera de protección siempre y cuando los beneficios de su empleo superen el peligro asociado a la barrera y su tratamiento extremo.



Caída de borde de pavimento (CBP)

Cuando un vehículo deja la calzada, un desnivel en la interfaz calzada / banquina puede contribuir a que el conductor pierda el control, sobrecorrija y dirija el vehículo hacia el carril de sentido opuesto donde puede hacer un trompo, o volcar, o chocar contra otro vehículo.

A menudo son difíciles de detectar por parte de los conductores, particularmente de noche cuando la profundidad es de unos pocos centímetros.



Aun si pudieran determinar las profundidades, los conductores no suelen reconocer el peligro real que una caída de 5, 8 ó 10 centímetros pueda tener. El *Transportation Research Board* las considera entre las causantes de los más peligrosos accidentes relacionados con el pavimento, y los choques relacionados con las CBP suelen resultar en significativos reclamos por daños y perjuicios.

Los bordes de pavimento y banquetas adecuadamente mantenidos ayudan a impedir tales choques. Las CBP en banquetas no pavimentadas son un problema recurrente, particularmente a lo largo de caminos angostos de dos carriles con tránsito de camiones pesados, los cuales desprenden material de banquina durante el tiempo seco y frecuentemente lo alteran al posar una rueda del tándem que sobresale del borde, en particular hacia el lado interior de las curvas horizontales. El material de banquina no estabilizada es altamente susceptible al surcamiento por los vehículos durante el tiempo húmedo.

Varios factores pueden causar o exacerbar la CBP:

- Zonas de trabajo en banquetas
- Repavimentación de calzada que excluye el mejoramiento de banquetas, el cual usualmente es terminado por el personal del organismo vial durante períodos de poca actividad, lo que alarga el tiempo en que los conductores están expuestos al peligro
- Erosión causada por el drenaje superficial, por el viento, o por las corrientes de viento creadas por los vehículos comerciales de movimiento rápido
- Asentamiento de la banquina no pavimentada o degradación del material granular
- Altos volúmenes de tránsito, particularmente de camiones pesados
- Sobrehuella de los vehículos anchos
- Asentamiento de banquetas pavimentadas

El deterioro más serio de la banquina ocurre en los primeros 50 cm desde el borde de pavimento. Algunos lugares a lo largo de los caminos con banquetas granulares o de tierra pueden ser especialmente propicios para el ahuellamiento del borde. Las pendientes fuertes, el lado bajo de las curvas peraltadas, y las intersecciones exhiben un ahuellamiento más grave del borde, que los lugares rectos y planos.



Los peligros potenciales asociados con las CBP dependen de varios factores, incluyendo la profundidad de la caída, forma del borde de pavimento, distancia desde la calzada, velocidad del vehículo, composición del tránsito, volumen, y otros factores. Ciertos vehículos tales como las motocicletas, automóviles subcompactos, y camiones semirremolque tienen mayor sensibilidad a las caídas de borde que los

vehículos más grandes. La investigación indica que las CBP de unos 5 cm pueden causar la pérdida de control del vehículo.

Las contramedidas que pueden adoptarse para tratar este peligro son:

- Banquinas:
 - En función de la categoría de camino, pavimentar las banquetas en un ancho mínimo de 50 cm.
 - A menos que la topografía promueva el ahuellamiento de borde, una banquina no pavimentada de buena calidad puede dar un excelente servicio. Los caminos de bajo volumen de tránsito debieran tolerarse las buenas banquetas de tierra, pasto o granulares.
- Repavimentaciones:
 - Adoptar la cuña de filete asfáltico como un elemento normal de las repavimentaciones; considerar el filete a 45° recomendado por la FHWA. El uso de un filete de asfalto a 45° provee una superficie que los vehículos podrían subir sin perder el control. Según varios estudios, la económica cuña a 45° provee suficiente continuidad entre la banquina y el pavimento como para que los conductores mantengan el total control de su vehículo cuando vuelve a la calzada después de un desvío. La cuña de asfalto puede instalarse adosando a la pavimentadora un dispositivo conocido como talón de moldeo, el cual forma la cuña y reduce la cantidad de mano de obra requerida para terminar el borde de pavimento.
 - En los recapados contratados, exigir los trabajos de alteo de banquina, que - para impedir la exposición de la caída de borde de más de 5 cm- debieran realizarse inmediatamente después de la repavimentación y antes de rehabilitar el tránsito, en particular el nocturno.
- Mantenimiento:
 - En función de la categoría de camino, reglamentar y realizar el mantenimiento preventivo para evitar CBP de más de 5 cm.
 - Instalar señales que adviertan a los conductores de la existencia de una condición de CBP (solución temporaria).
 - En las ubicaciones proclives a la erosión, considerar ensanchamientos del pavimento de bajo costo, de unos 50 cm de ancho.

Cordón-barrera

Se desaconseja usar barreras y cordones. Las pruebas de choque demuestran que a altas velocidades el vehículo que embista la combinación cordón-barrera salta el dispositivo por la trayectoria del vehículo y a la deformación dinámica de la barrera estándar. Incluso a velocidad moderada y ángulos de impacto pequeños, estas restricciones pueden inducir el vuelo del vehículo.



7.3.4 Prácticas inadecuadas



Pretilos peligrosos en ZD, discontinuidad geométrica y estructural con barrera metálica. Señal tipo 'ironía siniestra' según Palazzo.



Talud plano, buenas condiciones al CDC alteradas por peligrosos pretilos delineadores



Los postes de iluminación y barreras impiden aprovechar la ZD de mediana

7.4 ÍNDICES DE RIESGO

En caminos de dos carriles y dos sentidos, para caracterizar y calificar el riesgo de accidentes en los CDC Zegger desarrolló un algoritmo de predicción de choques. Los peligros del CDC se clasifican según una escala de siete puntos de 1 (mejor) a 7 (peor).

Índice = 1



Amplias zonas despejadas de 9 o más metros de ancho desde el borde del pavimento.
Talud más plano que 1:4.
Recuperable.

Índice = 2



Zona despejada entre 6 y 7,5 m de ancho desde el borde del pavimento.
Talud aproximadamente 1:4.
Recuperable.

Índice = 3



Zona despejada de aproximadamente de 3 m de ancho desde el borde del pavimento.
Talud entre 1:3 y 1:4
Superficie áspera del CDC
Marginalmente recuperable.

Índice = 4

Zona despejada entre 1,5 y 3 m de ancho desde el borde del pavimento.

Talud entre 1:3 y 1:4

Puede tener barrera (de 1,5 a 2 m desde el borde del pavimento)

Puede tener expuestos árboles, postes u otros objetos (aproximadamente 3 m desde el borde del pavimento)

Marginalmente indulgente, pero incrementada la probabilidad de colisión al CDC.

Índice = 5

Zona despejada entre 1,5 y 3 m de ancho desde el borde del pavimento.

Talud aproximadamente 1:3

Puede tener barrera (de 0 a 1,5 m desde el borde del pavimento)

Puede tener obstáculos rígidos o terraplén entre 2 y 3 m de altura desde el borde del pavimento)

Prácticamente no recuperable.

Índice = 6

Zona despejada de ancho menor o igual que 1,5 m

Talud aproximadamente 1:2

Sin barrera

Obstáculos rígidos expuestos entre 0 y 2 m de altura desde el borde del pavimento)

No recuperable.

Índice = 7

Zona despejada de ancho menor o igual que 1,5 m
Talud 1:2 o más empinado
Acantilado o corte vertical en roca
Sin barrera
Obstáculos rígidos expuestos entre 0 y 2 m de altura desde el borde del pavimento)
No recuperable con alta probabilidad de graves daños de un choque al CDC.

7.5 DISEÑO DEL CDC

Para reducir la frecuencia de los accidentes graves en los CDC se recomienda:

- Identificar los peligros en el CDC
- Evaluar las opciones de tratamiento (calidad y cantidad)
- Recomendar contramedidas

Un *costado indulgente* 'perdona' los errores de los conductores desviados de la calzada, al permitir la recuperación total o reducir la gravedad de los accidentes.

Los pasos para diseñar los CDC son:

- Identificar los peligros dentro o adyacentes a la ZD [7.3.1]
- Identificar los requisitos de ZD [7.3.2]
- Proponer los tratamientos apropiados para cada peligro [7.3.3]

Cuando el tratamiento sea proteger del peligro mediante la intercalación de un dispositivo de protección deben definirse:

- Sistema de protección [7.6.2]
- Dimensionamiento [7.6.2]
- Tratamiento de transiciones y extremos [7.9]

7.6 DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN

Los dispositivos de protección son:

- Barreras longitudinales
- Amortiguadores de impacto

Idealmente son dispositivos de protección para redirigir o contener a un vehículo errante salido de la calzada.

- Normalmente las barreras longitudinales se instalan al costado de la calzada (CDC) para evitar, mediante la redirección del vehículo desviado, chocar contra un objeto fijo o transitar por condiciones peligrosas.
- Los amortiguadores de impacto contienen, y algunos redirigen, a los vehículos antes de chocar frontalmente contra objetos fijos, transformando la energía cinética en trabajo de deformación del dispositivo. Se los llama también almohadones o cojines de choques.

Ambos deben:

- Prevenir o reducir la gravedad de un choque contra un objeto fijo
- Minimizar el ángulo de salida de un vehículo errante redirigido para reducir la probabilidad de un segundo choque contra vehículos adyacentes
- Cumplir su función sin lesiones para los ocupantes o daños al vehículo
- Proteger a los propietarios colindantes y a los usuarios de la intrusión del vehículo

Hasta ahora no existen dispositivos que cumplan totalmente las funciones listadas; todos son peligrosos y no deben instalarse a menos que reduzcan la gravedad de los accidentes.

No hay forma de análisis para determinar con precisión si se necesita barrera de protección en una situación dada. Se desarrollaron algunas guías y metodologías, pero deben complementarse con la buena práctica. En sí, la barrera de protección es un peligro y no debe instalarse a menos que reduzca la gravedad de los accidentes; deben instalarse en forma discriminada, y sólo cuando no sea posible eliminar o reubicar la situación peligrosa, y se determine que el riesgo de chocar contra el objeto es mayor que el de chocar la barrera.

En los países líderes en seguridad vial, las prácticas de seguridad de los nuevos diseños disminuyeron la necesidad de barrera de protección. Esto se logró mediante la aplicación de una política para establecer una ZD que permita la recuperación a lo largo de los CDC (taludes planos, eliminación de objetos fijos en la ZD, o sustitución por dispositivos de ruptura). En los proyectos de mejoramiento de caminos existentes debe hacerse un esfuerzo para disminuir los peligros, y reducir la necesidad de barrera. Aunque no siempre sea posible eliminar la barrera de protección a lo largo de caminos existentes, puede crearse una zona de recuperación mediante el aplanamiento de taludes. En el diseño de proyectos de mejoramiento de la seguridad debe prestarse más atención a esta técnica.

Otro método efectivo para eliminar las barreras de protección es alargar las alcantarillas para que sus extremos estén fuera de la ZD. En el análisis de los peligros, y antes de considerar la necesidad de una barrera de protección, el proyectista debe preguntarse:

- ¿Se puede quitar el peligro?
- ¿Se puede alejar fuera de la ZD?
- ¿Se puede modificar el objeto fijo o la condición peligrosa para hacerla frangible o traspasable?
- ¿Puede usarse un amortiguador de impacto en lugar de una barrera para protegerse del peligro?
- ¿Es la barrera un peligro mayor?

Si la respuesta es "no" a todas estas preguntas, entonces debe usarse barrera de protección. El problema es que las respuestas no son sencillas de obtener. Se basan en extrapolaciones de pruebas normalizadas para evaluar la validez al choque según condiciones de velocidad, peso y ángulo de impacto de un vehículo tipo contra dispositivos instalados según estrictas normas, que tratan de repetir las condiciones más frecuentes en la realidad, pero no todas.

Algunos peligros que pueden justificar la instalación de barreras de protección son:

- Características geométricas adversas, tales como curvas cerradas, altura de terraplenes y empinados taludes existentes solos o en combinación,
- Objetos fijos, como árboles, teléfonos de emergencia, estribos y pilas de puentes, cimientos, muros, muros de cabecera, postes
- Oros peligros del CDC, tales como cortes de roca, grandes rocas, masa de agua permanente sobre los 0,6 m de profundidad, desniveles e hileras de árboles a lo largo del CDC.

En general no se requieren barreras de protección cuando las velocidades son menores que unos 50 km/h.

No se aconseja la combinación barrera-cordón. A velocidades altas y moderadas el vehículo que embista la combinación salta la barrera por la trayectoria del vehículo modificada por el previo choque del cordón. Si la barrera de protección se instala en conjunto un cordón, debe colocarse paralela y con su cara en la vertical de la cara del cordón.

Normalmente, las barreras se ubican lo más cerca posible del peligro, manteniendo la distancia de deflexión necesaria.

7.6.1 Pruebas de validez al choque

En los EUA y Europa, la validez al choque de cualquier dispositivos de protección de determina mediante ensayos estrictamente normalizados. Las normas más difundidas son el *NCHRP Report 350 Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features* de EUA y la Norma Europea *EN 1317*, que adopta conceptos del *NCHRP Report 350* adecuados a sus propias características, e incorpora resultados de investigaciones de los países miembros.

En el 2002, la DNV publicó la Resolución 432/02 con recomendaciones para evaluar amortiguadores de impacto, y el procedimiento técnico-administrativo para aceptar su uso en la red nacional.

El MASH, *Manual for Assessing Safety Hardware*, de AASHTO reemplaza al NCHRP Report 350. Se desarrolló según el *NCHRP Project 22-14(02)*, “*Improvement of Procedures for the Safety-Performance Evaluation of Roadside Features*”.

Las recomendaciones establecen criterios para evaluar los resultados de los ensayos teniendo en cuenta:

- Riesgo del ocupante
- Integridad estructural de los dispositivos
- Comportamiento del vehículo después del choque

Las novedades principales del MASH son:

- Vehículos de ensayo adecuados a la evolución del parque automotor
- Cantidad y condiciones de choque de los ensayos
- Criterios de evaluación
- Condiciones de ensayo para dispositivos adicionales

El MASH no reemplaza los criterios de diseño y selección de dispositivos de protección de la *Roadside Design Guide* sobre los Niveles de Prueba (TL) adoptados en estas Norma y Recomendaciones de la Actualización DNV 2010.

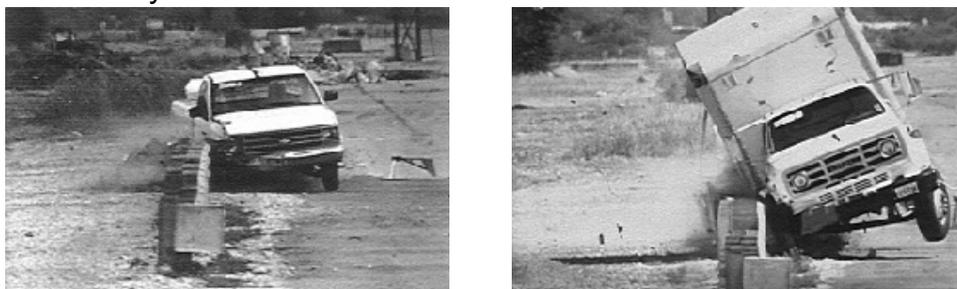


Tabla 7.3 Niveles de Prueba según MASH y NCHRP 350

TL	V km/h		Vehículo	
	M	350	MASH	Report 350
1	50		Auto 1100 kg	Auto 820 kg
2	70		Camioneta 2270 kg	Camioneta 2000 kg
3	100			
4	100		A 1100 - C 2270	A 820 - C 2000
	90	80	CS 10000	CS 8000
5	100		A 1100 - C 2270	A 820 - C 2000
	80		CSR 36000	
6	100		A 1100 - C 2270	A 820 - C 2000
	80		CT 36000	

CS: Camión Simple; CSR Camión Semirremolque; CT: Camión Tanque

Los ángulos de impacto varían entre 15 y 25°

Para autopistas y caminos de 80 km/h o más se utilizarán dispositivos que cumplan como mínimo el TL-3, para contener y redirigir a vehículos livianos.

Los TL-4, 5 y -6 son para dispositivos de alta capacidad de contención relacionadas con los vehículos de prueba del Report 350 CS 8000, CSR 36000 y CT 36000 a 80 km/h.

Tabla 7.4 Niveles de Contención Norma Europea

Nivel de prueba	Prueba de aceptación	Velocidad de impacto km/h	Ángulo de impacto °	Peso del vehículo kg	Tipo de vehículo
Contención de ángulo bajo					
T1	TB 21	80	8	1300	Auto
T2	TB 22	80	15	1300	Auto
T3	TB 41	70	8	10000	Camión Simple
	TB 21	80	8	1300	Auto
Contención normal					
N1	TB 31	80	20	1500	Auto
N2	TB 11	100	20	900	Auto
	TB 32	110	20	1500	Auto
Alta contención					
H1	TB 11	100	20	900	Auto
	TB 42	70	15	10000	Camión Simple
H2	TB 11	100	20	900	Auto
	TB 51	70	20	13000	Bus
H3	TB 11	100	20	900	Auto
	TB 61	80	20	16000	Camión Simple
Contención muy alta					
H4a	TB 11	100	20	900	Auto
	TB 71	65	20	30000	Camión Simple
H4b	TB 11	100	20	900	Auto
	TB 81	65	20	38000	Camión Articulado

Fuente: EN 1317

En la Tabla 7.5 se comparan los niveles de prueba del MASH, NCHRP Report 350 y la EN-1317.

Ver en 7 ANEXO el Memorando de la FHWA NCHRP Report 350 Barandas de Defensa y Barreras de Mediana de Uso Público del 14 de febrero de 2000, sobre:

- Niveles de prueba para distintos sistemas de protección
- Bloque separador de madera con guía acanalada para baranda de defensa de viga-W y poste fuerte de acero.

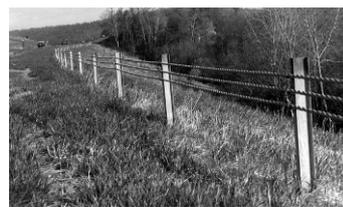
Tabla 7.5 Tabla comparativa de normas

EUA (MASH)	EUA (NCHRP 350)	Europa (EN 1317)	Velocidad de Impacto km/h	Angulo de Impacto °	Peso del Vehículo kg	Energía del Impacto kJ
	TL-2		70	25	2000	67
TL-2			70	25	2270	77
		N2	110	20	1500	82
		H1	70	15	10000	126
	TL-3		100	25	2000	138
TL-3			100	25	2270	156
	TL-4		80	15	8000	132
TL-4			90	15	10000	209
		H2	70	20	13000	287
		H3	80	20	16000	461
		H4a	65	20	30000	570
TL-5	TL-5		80	15	36000	595
TL-6	TL-6		80	15	36000	595
		H4b	65	20	38000	722

7.6.2 Barreras longitudinales

Terminología adoptada por DNV:

- **Barreras laterales:** Diseñadas para impacto en una cara.
Rígida (hormigón), Semirrígida (metálica), Flexible (metálica, cable)



- **Barreras de mediana:** Diseñadas para impacto en ambas caras.
Rígida (hormigón), Semirrígida (metálica doble faz), Flexible (cable)



Las barreras longitudinales se utilizan para proteger a los conductores de los peligros naturales o artificiales al costado del camino. Ocasionalmente se usan para separar al tránsito de peatones, ciclistas. El propósito primario de todas las barreras es impedir que un vehículo que deja el coronamiento golpee un objeto fijo o transite por características del terreno más peligrosas que la barrera misma.

Las barreras de puente son barreras longitudinales destinadas a evitar que un vehículo caiga del puente y para separar los flujos en el caso de tableros únicos. Forman parte integral de la estructura y usualmente son rígidas.



Las barreras longitudinales están compuestas por tres zonas:

- Sección normal [7.6.2]
- Transición [7.7]
- Extremos de barrera [7.9]

La longitud de necesidad es la suma de sección normal y transición.

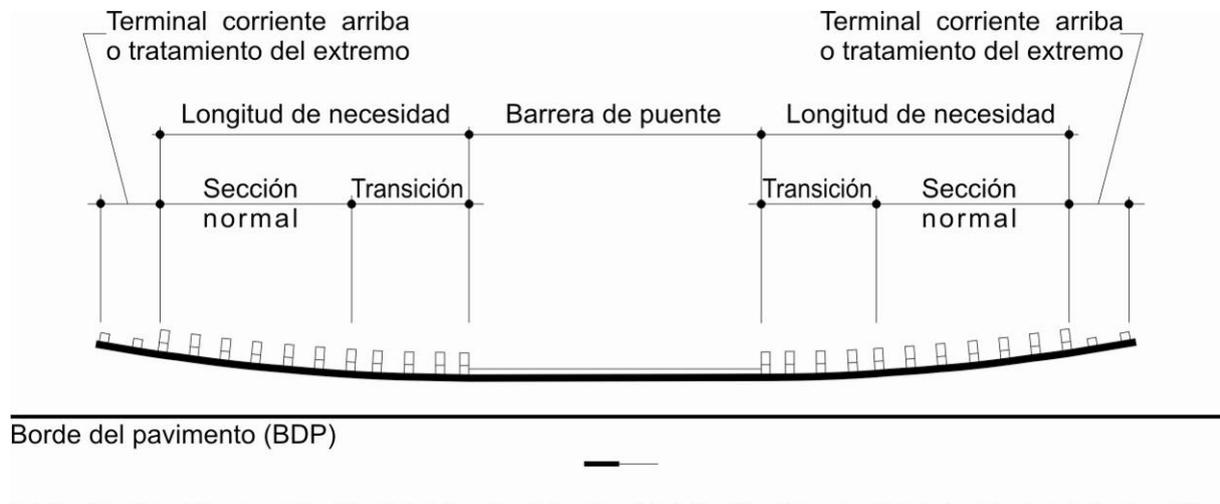


Figura 7.16 Partes de una barrera longitudinal

Tipos usuales barreras longitudinales

Según su capacidad de deformación durante un choque, los sistemas de barreras se clasifican en:

- Rígidos
- Semirrígidos
- Flexibles

- **Sistemas rígidos.** Incluyen cualquier estructura suficientemente rígida como para no deformarse sustancialmente frente al impacto de un vehículo de la clase para la cual fue diseñada.
En algunos casos se combinan un elemento inferior de hormigón y un elemento superior de acero y en otros se construyen totalmente de hormigón o de acero. Típicamente tienen una altura mínima de 0,8 m; puede aumentarse según las características de los eventuales vehículos que los impactaran, y de las condiciones del emplazamiento.
Dado que su deflexión es prácticamente nula, estos sistemas son la solución de preferencia para las medianas de sección reducida, puentes y muros de contención de suelos y túneles, donde sea esencial minimizar las deflexiones.

- **Sistemas semirrígidos.** Controlan y redireccionan a los vehículos que los impactan, disipando la energía mediante la deformación de los postes y viga. Consisten generalmente en barreras metálicas formadas por:
 - Perfil metálico doble o triple onda
 - Poste de acero o madera
 - Pueden (TL3) o no (TL2) contar con un bloque separador de madera o plásticoLos postes se empotran en el terreno y se espacian a distancias variables entre 0,9 m y 1,9 m, en función del grado de rigidez que se desee obtener.

- **Sistemas flexibles.** En general son los más deformables al ser chocados, y absorben así gran parte de la energía lateral.
Los sistemas más comunes se construyen de cables de acero o vigas metálicas de perfil W con postes débiles. Transforman la energía lateral del vehículo en trabajo de deformación de la viga o cables de acero. Los postes débiles tienen como única función mantener constante la altura del elemento longitudinal, y no colaboran en la contención. El sistema de sujeción del poste con la viga o cables, es colapsable, lo que permite el desenganche de los postes durante el choque.
El espaciamiento de los postes debe ser tal que permita mantener el elemento resistente a una altura constante. La instalación puede ser mediante hincado en terreno, o vainas prefabricadas. El anclaje del poste no es importante ya que colapsará sin oponer resistencia.
Para su correcto funcionamiento, las barreras flexibles requieren estar ancladas al inicio y fin. Para deflexionar, la barrera requiere detrás una zona lateral despejada de aproximadamente 3 m.

Crterios para justificar instalaciones de barreras laterales

El choque contra una barrera constituye un accidente sustituto del que tendría lugar en caso de no estar instalada, no exento de riesgos para los ocupantes del vehículo.

Sólo se recomienda instalar una barrera después de comparar los riesgos potenciales de chocar la barrera o el peligro y de descartar la eliminación, reubicación, rediseño del peligro (objeto fijo o condición peligrosa)

- **Taludes.** Los caminos deben proyectarse para minimizar la necesidad de las barreras. La altura de un talud y su pendiente son los factores básicos a considerar en el estudio para justificar la necesidad de proyectar barreras. Hay situaciones donde la necesidad de barrera por talud resulta evidente. Hay situaciones donde lo evidente es la no necesidad de barrera. Entre estos planteos extremos existe una infinita gama de posibilidades donde no es sencillo determinar la necesidad o no de barrera. A veces, aunque la necesidad de barrera resulte obvia, no se instalan barreras. Otras veces las barreras se instalan aun ante la obviedad de la no necesidad.



*En el precipicio, la necesidad es evidente.
En terreno plano la no-necesidad es evidente.*

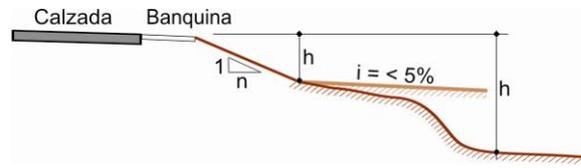
A veces, la necesidad o no-necesidad no resultan tan 'evidentes'



En la Figura 7.17 se justifican las barreras según estudios que comparan la peligrosidad relativa de:

- Transitar por un talud determinado
- Chocar contra la barrera lateral.

Los terraplenes con combinaciones de altura y pendiente del talud por debajo de la curva de la figura no justifican el empleo de barreras. La altura del terraplén se mide verticalmente desde el borde de banquina hasta el pie del terraplén cuando la pendiente transversal del terreno natural es menor que 5%; si fuera mayor se debe medir hasta el pie de la ladera, fondo de quebrada, curso de agua, etcétera.



Para mejorar el control de un vehículo sobre el talud de un terraplén y mantener las ruedas en contacto con el terreno, se recomienda redondear la arista banquina-talud y el pie del terraplén.

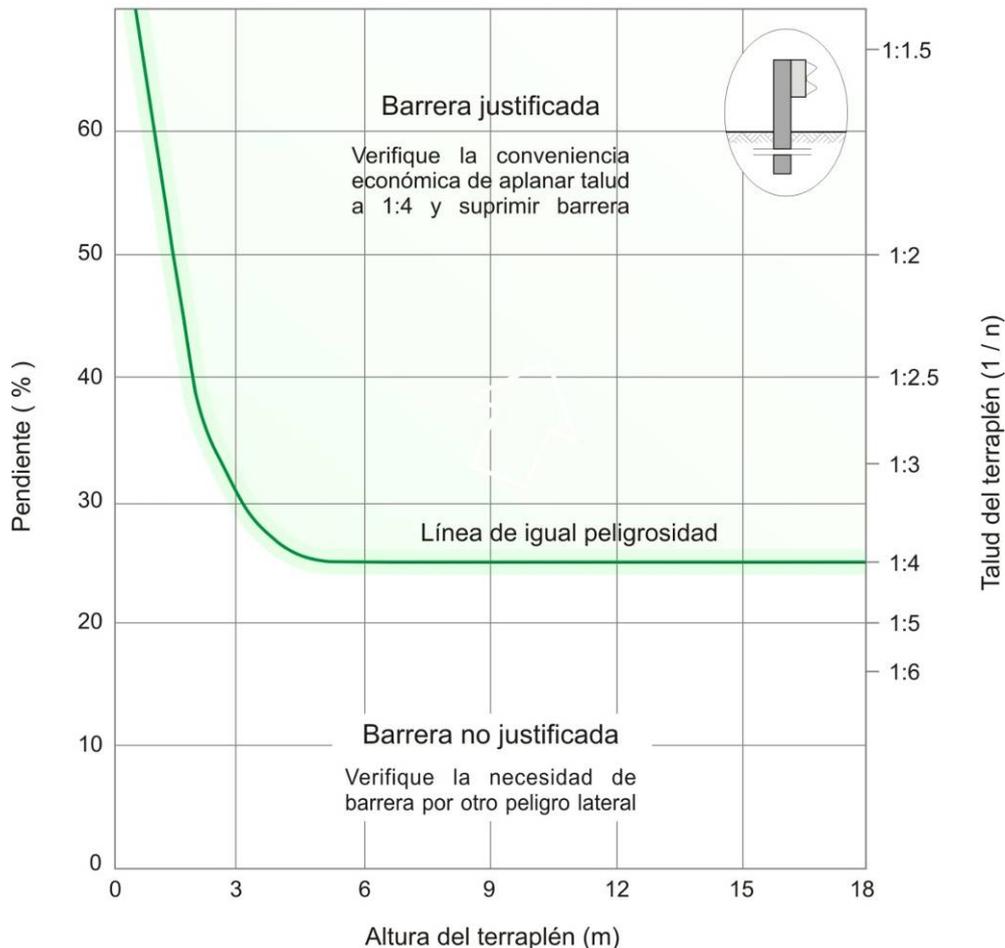


Figura 7.17 Justificación de barrera por configuración peligrosa del terraplén

Los taludes con pendientes de 1:4 o más tendidos no requieren barreras, los taludes más empinados que 1:3 requieren barreras. La incógnita a determinar es cuál es la altura de terraplén para la cual, a igualdad de peligro, se compensan los costos de mantener un talud 1:4 sin barreras y de cambiar el talud a 1:2 y colocar una barrera lateral.

En la Figura 7.18 se comparan los costos unitarios de movimiento de suelos para tender el talud a 1:4 (\$/m³) y los de instalar barrera (\$/m). La fórmula general de la altura de terraplén H (altura de cálculo o crítica según Leisch), en correspondencia con el punto de quiebre banquina-talud, que iguala los costos de aplanamiento del talud y los de barrera es:

$$H = \sqrt{\frac{2K}{\left(\frac{1}{S+g} - \frac{1}{S'+g}\right)}}$$

Donde:

H: altura crítica del terraplén, para la cual el costo de aplanamiento del talud es igual al de la barrera

T: costo unitario del terraplén (\$/m³)

B: costo unitario de la barrera (\$/m)

K: relación de costos unitarios (B/T), en m². Variable según tiempo y lugar; está representado por la superficie base del prisma de suelo de 1 m de longitud

S: pendiente del talud más tendido

S': pendiente del talud con barrera

g: pendiente transversal del terreno, positiva hacia arriba y negativa hacia abajo

Para S = 1:4 y S' = 1:2
$$H = \sqrt{K(8g^2 + 6g + 1)}$$

La altura crítica de terraplén, H, Figura 7.18, se mide verticalmente desde el borde exterior de la banquina hasta el punto sobre la línea de terreno directamente debajo. Otra medida de la altura del terraplén que afecta las justificaciones de barrera es la altura exterior del terraplén, h, representada por la diferencia en cota entre el borde exterior de la banquina y el pie del talud del terraplén.

La relación entre h y H es:
$$h = \frac{S \times H}{(S + g)}$$

Tomando K como variable independiente, cada valor fijo de pendiente transversal del terreno generará una curva H-K, obteniéndose una familia de curvas asociada cada una a un valor de g.

Para el costo del movimiento de suelos debe considerarse la superficie neta resultante delimitada entre el talud 1:4 tendido desde el borde la banquina, la prolongación del ancho de banquina para ubicar la defensa, el talud 1:2 tendido desde el borde de la prolongación y el terreno natural.

El costo de construcción de la defensa debe considerar como mínimo el costo de construcción de la barrera y de sus extremos. Se prevé que en el período de tiempo de comparación se recambia al menos una vez la barrera completamente para considerar el mantenimiento por choque. En los costos unitarios deben considerarse los costos de mantenimiento.

Ver ejemplo en [ATLAS]

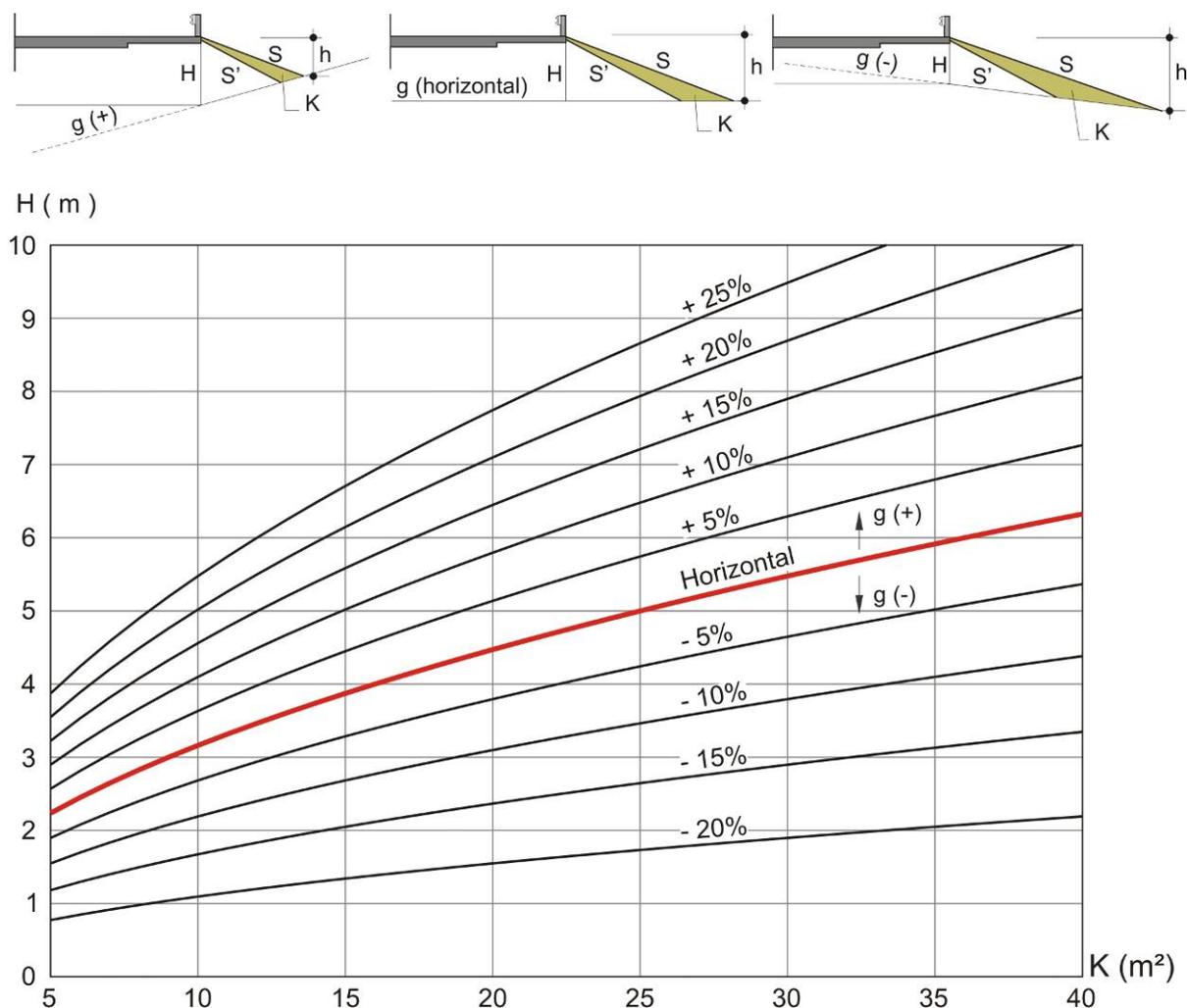


Figura 7.18 Altura crítica o de cálculo de terraplén 1:4 respecto de terraplén 1:2 y barrera

Para bajos volúmenes de tránsito, TMDA < 500 vehículos/día, según AASHTO puede determinarse la justificación de barrera en la Tabla 7.6

Tabla 7.6 Justificación de barrera en terraplén para caminos de bajo volumen de tránsito

Pendiente Talud	Máxima altura de terraplén sin defensa
V:H	m
1:1,5	3
1:2	5
1:2,5	7,5
1:3	9
1:4	14

- **Otros peligros.** La justificación de barrera por otros peligros al costado de la calzada depende del peligro, de la posibilidad de chocarlo y de que sea más grave chocarlo.

Los peligros y la justificación de protección se listan en la Tabla 7.7.

Tabla 7.7 Justificación de defensas por obstáculos al costado del camino

Peligro	Necesidad de Protección
Árboles con troncos mayores que 0,10 m de diámetro.	Decisión basada en las circunstancias específicas del lugar.
Alcantarillas, tubos, muros de cabeceras	Decisión basada en el tamaño, forma y ubicación del peligro
Contrataludes lisos	Generalmente no se requiere
Contrataludes rugosos	Decisión basada en la posibilidad de impacto
Cuerpos de agua	Los cursos de agua permanentes y lagunas con profundidad mayor que 0,6 m
Cunetas	En función de la traspasibilidad
Muros de sostenimiento	Decisión basada en la textura relativa del muro y en el ángulo máximo e impacto previsto.
Pilas, estribos y extremos de barreras de puentes	Generalmente se requiere
Piedras, bochones	Decisión basada en la naturaleza del peligro y posibilidad de impacto
Postes ¹ de iluminación/señales	Generalmente se requieren para postes no rompibles
Postes ² de Semáforos	En obras rurales de alta velocidad, las señales de tránsito en la zona despejada pueden requerirla.
Postes de servicios públicos	Puede justificarse la decisión sobre la base caso por caso.

Notas:

¹. Donde sea posible, todos los soportes de señales y luminarias debieran ser traspasables, independientemente de su distancia desde el coronamiento.

². En la práctica, se protegen relativamente pocos soportes de señales de tránsito, incluyendo señales luminosas titilantes y barreras usadas en los pasos a nivel ferroviarios. Sin embargo, si se estima necesaria una protección, se pueden usar amortiguadores de impacto en lugar de instalar una barrera longitudinal.

Los caminos deberían diseñarse para minimizar o eliminar los peligros, haciendo innecesaria la instalación de barreras.

La protección de una condición peligrosa no traspasable o un objeto fijo se justifica solo cuando el peligro está en la zona despejada, y práctica y económicamente no puede retirarse, reubicarse o hacerse rompible, y se ha determinado que una barrera es un peligro menor que la condición desprotegida.

Las situaciones intermedias sobre previsión u omisión de una barrera serán decididas por la experiencia en accidentes, ya sea en el lugar o en uno comparable.

- **Peatones, ciclistas y zonas de movimiento de personas.** Los peatones y ciclistas deben separarse del tránsito pasante, buscando ubicar los senderos y las ciclovías fuera de la zona despejada; cuando no sea posible se deberá proyectar una solución que separe los flujos de tránsito vulnerables.
Cuando el camino limite con zonas comerciales, escuelas o zonas residenciales donde exista movimiento de personas en la zona de camino se deberá analizar la conveniencia de proyectar barreras, aunque estos movimientos se realicen fuera de la ZD.

Criterios para justificar la instalación de barreras en la mediana

La barrera longitudinal en la mediana adecuadamente justificada reducirá significativamente los cruces de mediana y en general la gravedad de los choques relacionados con la mediana, aunque aumentará el número de choques contra la barrera al reducirse la zona de recuperación disponible, por lo cual debe justificarse adecuadamente su diseño.

El desarrollo de guías para la justificación de barreras lleva más de 40 años y los primeros análisis, sobre pocos casos de estudio, recomendaron que las medianas de más de 10 m de ancho no debieran llevar barreras porque el 80% de los vehículos se recuperaban sin alcanzar la calzada opuesta. En el año 2004 sobre un número significativo de casos se determinó que aproximadamente el 66% de cruces se produjeron con anchos de menos de 15 m.

Para justificar las barreras de mediana se recomienda la Figura 7.19 en función del tránsito (TMDA proyectado a unos 5 años) y el ancho de mediana. Cuando la mediana no sea traspasable, tenga desniveles, cunetas u objetos fijos, son válidos los criterios para justificar las barreras laterales.

Puede diseñarse la sección transversal para que a futuro, si el incremento del TMDA lo justifica, se adicionen carriles hacia el interior de la mediana.

La configuración final de un proyecto de calzadas separadas por etapas deberá contar con un ancho mínimo deseable de mediana de 9 m. Sin importar el ancho de la mediana, en caminos con calzadas separadas se justifican las barreras si se producen 0,3 choques por cruce de mediana por kilómetro por año con cualquier gravedad, o 0,08 choques mortales por km por año.



En un tramo de camino puede suceder que los cruces de mediana se den solamente en un determinado sector, por alguna característica particular. Se pueden justificar barreras en mediana por sectores según estadística de accidentes; p. ej. antes y después de distribuidores, donde diversos estudios indican un incremento de accidentes dentro de los 2000 m.

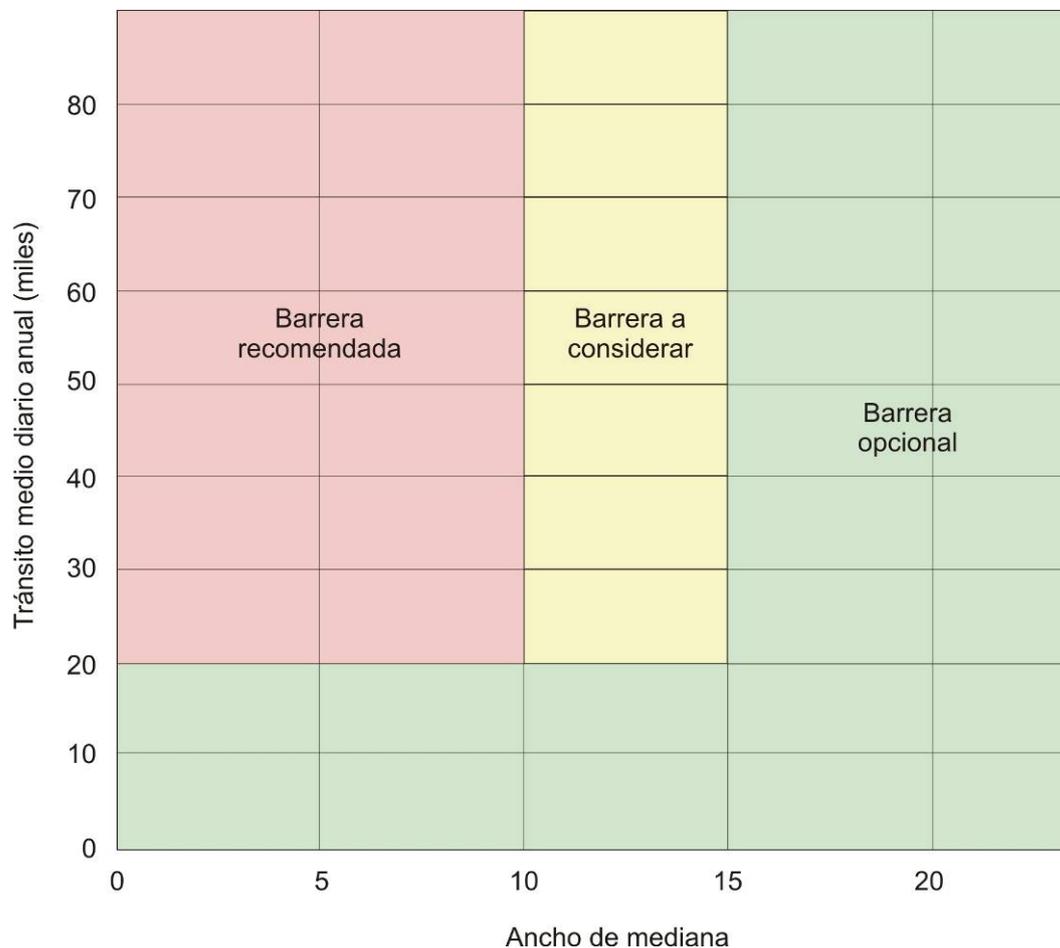


Figura 7.19 Justificación de barrera en mediana para caminos con control total de accesos
Fuente *Roadside Design Guide* 2006

Selección de barreras longitudinales

Justificada una barrera, se selecciona un sistema específico. Se buscará la solución que cumpla con:

- Nivel de prueba (TL)
- Deflexión
- Ubicación
- Compatibilidad de sistemas
- Costos
- Estética y ambiente

Nivel de prueba. La selección del nivel de prueba para un proyecto está asociada básicamente con la velocidad de diseño, composición del tránsito y las condiciones del entorno. La barrera longitudinal cumplirá como mínimo los niveles de prueba (TL) del *NCHRP Report 350* que se indican en la Tabla 7.8.

Tabla 7.8 Nivel de prueba (TL) requerido para barreras longitudinales

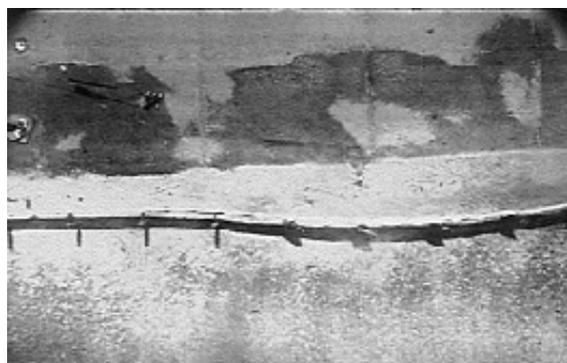
Velocidad de Diseño	Nivel de Prueba
km/h	TL-
≥ 80	3
< 80	2

Las barreras con TL-3 no están diseñadas para contener y/o redirigir vehículos pesados, tales como camiones simples, colectivos y semirremolques.

En [7 ANEXO] recomendaciones sobre uso de los niveles TL- 4/5/6.

- **Deflexión y ancho de trabajo.** La *distancia de deflexión* es la deformación de la barrera al ser chocada; se mide en las pruebas de choque a escala natural y en simulaciones de choque con programas de computación.

La distancia disponible para deflexión es la que queda entre la parte posterior de la barrera y el objeto fijo; debe ser mayor que la distancia de deflexión esperada para una determinada barrera.



Los vehículos con centro de gravedad alto se *inclinan* por sobre la barrera al chocarla, por lo que a la distancia de deflexión de la barrera se le suma una invasión adicional. Al ancho total se lo denomina *ancho de trabajo*.



Cuando el ancho de trabajo sea mayor que la distancia a un objeto fijo, como pilas de puente, postes, se deberá utilizar una barrera de mayor rigidez que minimice la invasión por inclinación y por deflexión (menor ancho de trabajo).

Ver [7 ANEXO] tabla resumen niveles de prueba y deflexión para diferentes sistemas de barreras longitudinales.

- **Ubicación.** La elección del sistema de barreras está condicionada por las características topográficas del lugar de instalación.
Si la pendiente de terreno es del orden 1:10 (10%) se recomienda usar sistemas flexibles o semirrígidos.
Ninguna barrera debe colocarse en terrenos con pendientes mayores que 1:6 (17%). En las zonas de anchos reducidos, como las banquetas, donde la distancia disponible para deflexión es baja se podrán rigidizar los sistemas aumentando la longitud de empotramiento de los postes, reduciendo la separación de los postes o agregando placas para aumentar el empotramiento en el sentido longitudinal.
- **Compatibilidad de sistemas.** Para proyectos nuevos y reconstrucciones se recomienda emplear los sistemas estándares de barreras de eficiencia comprobada.
Ventajas:
 - Personal familiarizado con la construcción y mantenimiento del sistema.
 - Sencillez del acopio e inventario de partes.
 - Estandarización de tratamientos de extremos y transiciones.
- **Costos.** Los costos durante la vida útil deben ser tenidos en cuenta al momento de justificar un sistema de barrera.
Los costos de construcción aumentan al aumentar la capacidad de contención, y las deflexiones son menores, pero al mismo tiempo disminuyen los costos de mantenimiento. Los sistemas con bajo costo de construcción requieren más reparaciones después de un choque.
Los costos de mantenimiento de rutina no tienen diferencias apreciables para los distintos sistemas. Los tratamientos de preservación de los sistemas de madera y metálicos prácticamente eliminaron la necesidad de su limpieza y pintado.
- **Estética y ambiente.** La estética de la barrera se tendrá en cuenta en ambientes sensibles, tales como áreas recreacionales, bosques, zonas protegidas o Parques Provinciales o Nacionales. Se buscarán soluciones con aspecto natural que se mimeticen con el paisaje. La barrera elegida no deberá interferir con la visión panorámica de los paisajes.
Las condiciones del entorno deben tenerse en cuenta para evitar:
 - Acumulación de nieve en zonas de nevadas frecuentes
 - Acumulación de arena o suelo en zonas de erosión eólica
 - Corrosión de las partes metálicas o armaduras en ambientes industriales
 - No limitar la distancia visual al ingreso desde intersecciones o accesos a propiedades



Recomendaciones de ubicación

Los factores a considerar en el diseño planimétrico de cada ubicación de un determinado sistema de barrera son:

- Distancia lateral
- Terreno
- Abocinamiento
- Longitud total de necesidad
- **Distancia lateral.** Como regla general la barrera deberá ubicarse tan lejos como sea posible del borde de calzada, siempre y cuando se mantengan las condiciones necesarias para el correcto funcionamiento y eficacia del sistema. Esto da mayores posibilidades a los conductores de retomar el control del vehículo antes de chocar con la barrera, y mejora la visibilidad en las zonas próximas a las intersecciones.

Se recomienda que haya una separación uniforme entre el tránsito y los objetos fijos al costado de la calzada tales como barreras de puente, barreras longitudinales y muros de contención; la seguridad mejora por la reducción de las reacciones e interés del conductor por esos objetos.

La distancia desde el borde de la calzada, más allá de la cual un objeto lateral no se percibe como peligroso y por lo tanto no induce a reducir la velocidad o cambiar la posición del vehículo en la calzada se llama *distancia de sobresalto*, la cual varía con la velocidad. Los valores promedio registrados se indican en la Tabla 7.9 (*Fuente Roadside Design Guide*).

Las barreras laterales deberían ubicarse más allá de la distancia de la línea de sobresalto, particularmente las barreras cortas y aisladas. Para largos y continuos trechos de barreras, esta distancia no es crítica, especialmente si la barrera es primeramente introducida más allá de la línea de sobresalto y gradualmente se acerca a la calzada.

Donde se necesite una barrera lateral para proteger de un peligro aislado, es más importante que la barrera sea ubicada tan lejos de la calzada como las condiciones lo permitan, considerando el ancho de trabajo del sistema a instalar.

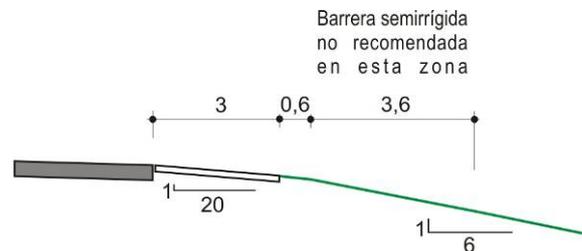
Deberían evitarse las brechas cortas (menos de unos 60 m) entre las instalaciones de barrera, particularmente cuando el costo de la barrera adicional sea casi el mismo que el de instalar dos extremos separados anclados, y no se requiera el acceso detrás de la barrera, para mantenimiento, acceso a predios privados u otros motivos.

Tabla 7.9 Distancias medias de sobresalto D_s

Velocidad	Distancia de Sobresalto (DS)
km/h	m
130	3,7
120	3,2
110	2,8
100	2,4
90	2,2
80	2
70	1,7
60	1,4
50	1,1
40	0,8
30	0,6

- **Terreno.** Sin importar el sistema de barrera adoptado la mejor respuesta se tiene cuando las condiciones del terreno entre el borde de la calzada y la barrera no generan movimientos verticales del vehículo que despeguen las ruedas del piso y compriman o extiendan las suspensiones.

Normalmente las barreras se prueban sobre superficies horizontales; en pendientes mayores que 10% la eficacia disminuye. Un vehículo que la embistiera podría pasar por arriba o por abajo según la velocidad y ángulo de impacto.



En los primeros 3,6 m del talud medidos desde el borde de banquina, con pendientes mayores que 10% no se recomienda instalar barreras.

Si el talud del terraplén en la zona de aproximación es más empinado que 1:10 se debería aplanar el talud como se indica en la Figura 7.20.

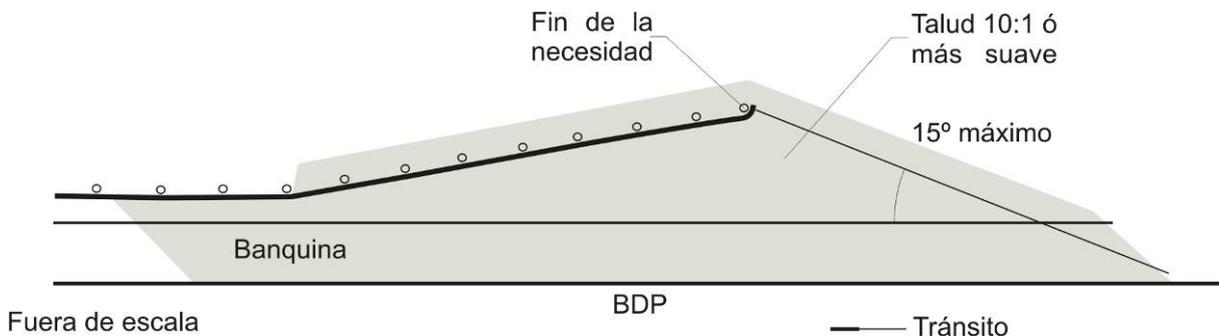


Figura 7.20 Pendiente del talud en la zona de aproximación

En las medianas se recomiendan taludes 1:10 o más tendidos. Si no hay objetos fijos y la barrera está justificada se la debe instalar en el centro de la mediana, ilustración 3 de la Figura 7.21. Cuando no se cumplen estas condiciones se recurre a las otras soluciones esquematizadas en la Figura 7.21:

- Sección I: se aplica a medianas deprimidas o con una cuneta
- Sección II: se aplica a medianas escalonadas o medianas entre calzadas de niveles significativamente separados
- Sección III: se aplica a medianas elevadas, o bermas-mediana.

- **Sección I.** Los taludes y sección de cuneta deben chequearse para verificar si ambos taludes requieren protección y/o si la cuneta no es traspasable (Ilustración 1), se recomienda ubicar una barrera lateral cerca de la banquina a cada lado de la mediana ("b" y "d").

Si sólo un talud requiere protección se recomienda ubicar una barrera de mediana en "b". En esta situación, se recomienda una barrera rígida o semirrígida, y de lado de la cuneta debe instalarse una barrera de fricción para impedir que los vehículos que hayan cruzado la cuneta se enganchen en un sistema de barrera tipo viga.

Si ningún talud requiere protección, pero uno o ambos son más empinados que 1:10 (Ilustración 2), se recomienda ubicar una barrera de mediana en el lado con el talud más empinado. Para esta situación se recomienda un sistema rígido o semirrígido.

Si ambos taludes son relativamente planos (Ilustración 3), se recomienda ubicar una barrera de mediana en o cerca del centro de la mediana (en "c") si no es probable el salto del vehículo. Puede aplicarse cualquier tipo de barrera de mediana que tenga un adecuado nivel de prueba para la aplicación, con tal que su deflexión dinámica no sea mayor que la mitad del ancho de mediana.

Aunque cualquier barrera es probable que se comporte mejor cuando se la ubica en terreno relativamente plano, las barreras cables mostraron comportarse efectivamente cuando se ubican en un talud lateral 1:4, cuando el vehículo baja por el talud antes del impacto.

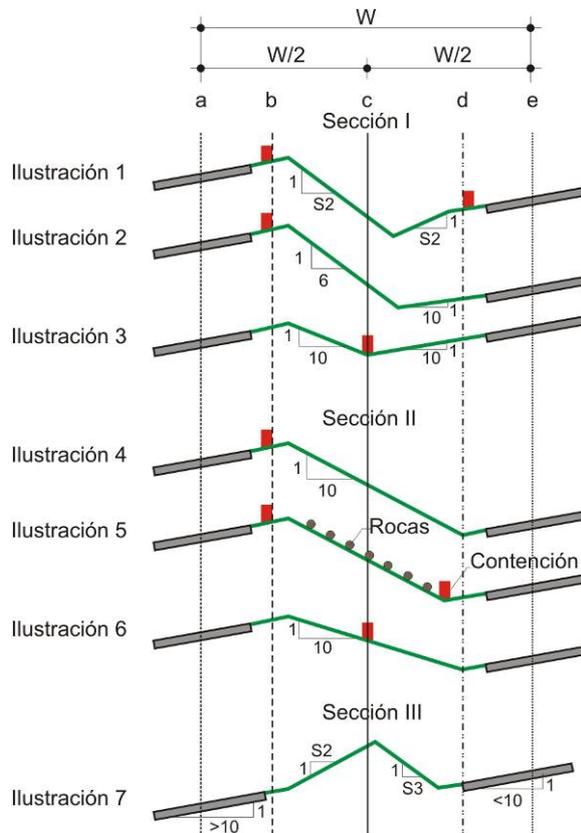
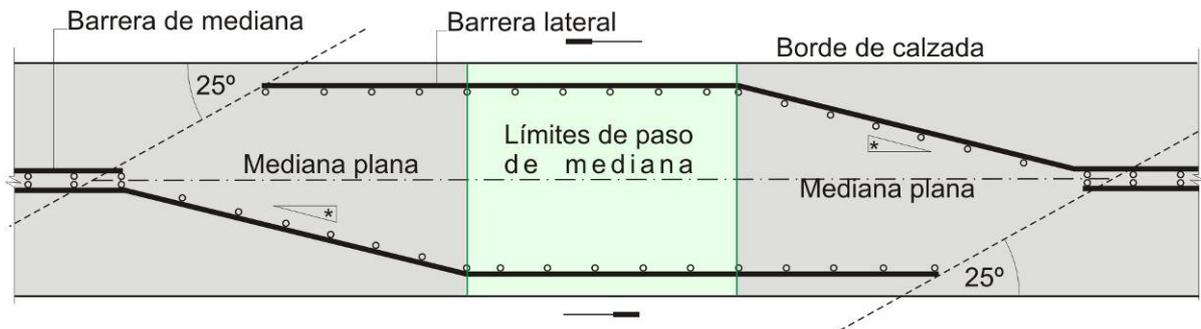


Figura 7.21 Ubicaciones recomendadas de barreras en medianas inclinadas

- **Sección II.** Si el talud del terraplén es más empinado que aproximadamente 1:10 (Ilustración 4), se recomienda ubicar una barrera de mediana en "b". Si el talud tiene obstáculos o está constituido por un corte rugoso en roca se recomienda ubicar barreras de mediana en "b" y "d", (Ilustración 5). Si la sección tipo prevé un muro de sostenimiento en "d", se recomienda que la base del muro esté contorneada por la forma exterior de una barrera de mediana de hormigón. Si la pendiente transversal es más tendida que aproximadamente 1:10, podría ubicarse una barrera en o cerca del centro de la mediana (Ilustración 6).
- **Sección III.** Los criterios de ubicación para las barreras de mediana en esta sección transversal (Ilustración 7) no están claramente definidos. La investigación mostró que una sección transversal con esta configuración, si es suficientemente alta y ancha puede redirigir vehículos que la impacten en ángulos relativamente pequeños. Sin embargo, no se recomienda construir este tipo de mediana para usarse como una barrera. Si los taludes no son traspasables (corte rugoso en roca, etc.), debe ubicarse barrera de mediana en "b" y "d". Si se usan muros de sostenimiento en "b" y "d", se recomienda que la base del muro esté contorneada por el perfil exterior de una barrera estándar de hormigón.

Los casos deben ser estudiados en detalle por el proyectista siendo estas guías orientadoras pero no excluyentes. Por ejemplo, la mediana en la Sección I de la Figura 6.18, donde las calzadas están en cotas significativamente diferentes, puede requerir una barrera en ambos lados de la mediana.

Si una barrera simple de mediana se instala corriente arriba y abajo de la sección, puede ser necesario abrir la barrera de mediana como ilustra la Figura 7.22.



* La tasa de abocinamiento no debería exceder los límites sugeridos en la tabla 7.9

Figura 7.22 Apertura de barrera de mediana

Si no se justifica barrera por ancho de mediana pero existe un objeto fijo que está en la zona despejada para un sentido de tránsito, la barrera debe tratarse como una barrera lateral.

Deben usarse las tasas de abocinamiento recomendadas del lado de aproximación del tránsito.

Si la distancia de deflexión para la barrera no puede proveerse, puede ser necesaria una transición para rigidizar la barrera delante del objeto.

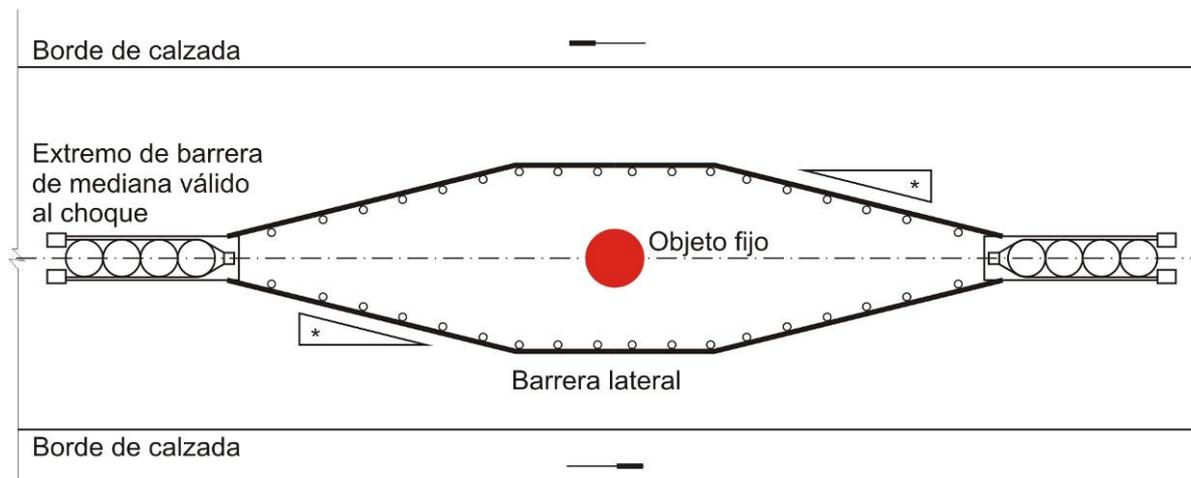
Cuando el objeto se encuentre en la zona despejada para ambos sentidos, será necesario proteger al objeto y al dorso de la barrera.

Usualmente los objetos fijos son pilas de puente y soportes de señales tipo pórtico. Si es necesaria la protección para ambos sentidos de viaje, y si la mediana es plana (taludes laterales menores que aproximadamente 1:10), se recomiendan dos medios de protección: evaluar el posible uso de un amortiguador de impacto para proteger al objeto, o emplear barreras rígidas o semirrígidas con amortiguadores de impacto o tratamientos para proteger los extremos de la barrera, según Figura 7.23

Si se usan sistemas semirrígidos, la distancia desde la barrera hasta la obstrucción debe ser mayor que la deflexión dinámica de la barrera. Si se usa una barrera de rígida, puede ubicarse apoyado o adosado al objeto peligroso a menos sea la pila de un puente en cuyo caso deberá respetarse el ancho de trabajo.

- **Abocinamiento.** Se recomienda el abocinamiento o retranqueo de los extremos de barrera para minimizar el sobresalto del conductor por la aparición de un obstáculo próximo a la calzada.

Tiene las ventajas de introducir gradualmente una defensa desde fuera de la línea de sobresalto hasta el borde de la banquina y de reducir la longitud necesaria de barrera, y las desventajas de aumentar el ángulo de choque aumentando la severidad del accidente y reduciendo la capacidad de redireccionamiento de la barrera. Para minimizar las desventajas, en la Tabla 7.10 se recomiendan las tasas máximas de abocinamiento.



* La tasa de abocinamiento no debería exceder los límites sugeridos en la tabla 7.9

Figura 7.23 Planimetría recomendada para cubrir un objeto en mediana

Se debe considerar el ancho de trabajo.

Tabla 7.10 Tasa de abocinamiento máximas

Velocidad	Tasa de Abocinamiento		
Directriz	En zona de sobresalto	Fuera zona sobresalto	
km/h		Barreras rígidas	Barreras semirrígidas
110	1:30	1:20	1:15
100	1:26	1:18	1:18
90	1:24	1:16	1:12
80	1:21	1:14	1:11
70	1:18	1:12	1:10
60	1:16	1:10	1:8
50	1:13	1:8	1:7
<40		1:7	1:6

- **Longitud total de necesidad.** Se define como longitud total de necesidad, LTN, al largo necesario de un sistema de barrera para proteger adecuadamente un obstáculo o condición peligrosa. Está compuesta por la suma de las longitudes del obstáculo, L_o , de necesidad aguas abajo y arriba del obstáculo, LNX, y las de los extremos, LExtremos.

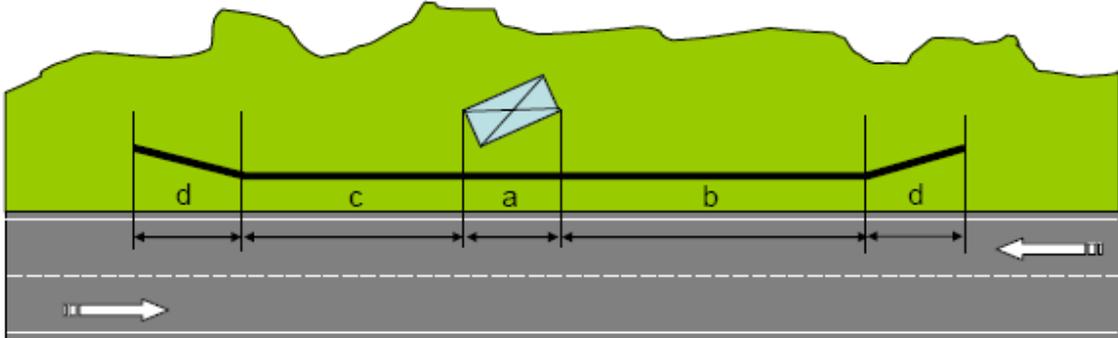


Figura 7.24 Longitud total de Necesidad

$$LTN = L_o + LNX1 + LNX2 + LExtremos$$

- Longitud de necesidad LNX

En el cálculo de la longitud necesaria de una barrera para cubrir un determinado obstáculo intervienen las variantes indicadas en la Figura 7.26:

- Do: Distancia lateral al borde más alejado del objeto medido perpendicularmente desde el borde del pavimento y del lado del sentido del tránsito en análisis. Do tiene como valor máximo el ancho de la zona despejada ZD para el caso en análisis cuando se tiene una condición peligrosa.
- DSAL: Distancia de Salida medida sobre el borde de la calzada desde el objeto hasta el punto donde el vehículo abandona la calzada. Es una distancia teórica para la cual un vehículo que abandona la calzada puede llegar a detenerse antes de alcanzar el objeto o condición peligrosa. Depende de la velocidad de diseño y del TMDA.
- D1: Longitud de barrera paralela del lado del sentido del tránsito en análisis. Si se proyectan barreras de diferentes rigideces la longitud recta deberá tener por lo menos la longitud de la transición.
- D2: Distancia de la barrera al borde de la calzada.
- D3: Distancia del objeto o inicio de la zona peligrosa al borde de la calzada.
- a:b: Relación de la tasa de abocinamiento a:b.

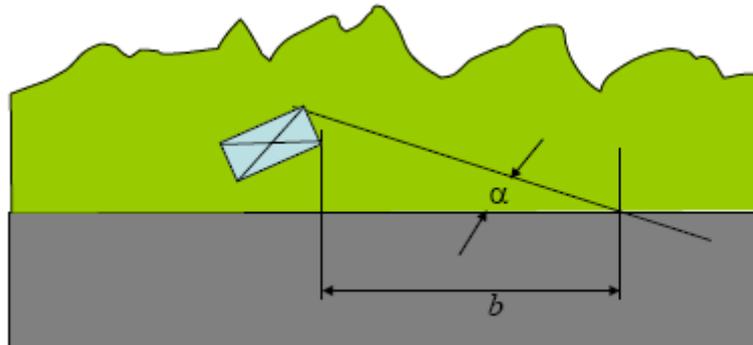


Figura 7.25 Longitud de necesidad aguas arriba

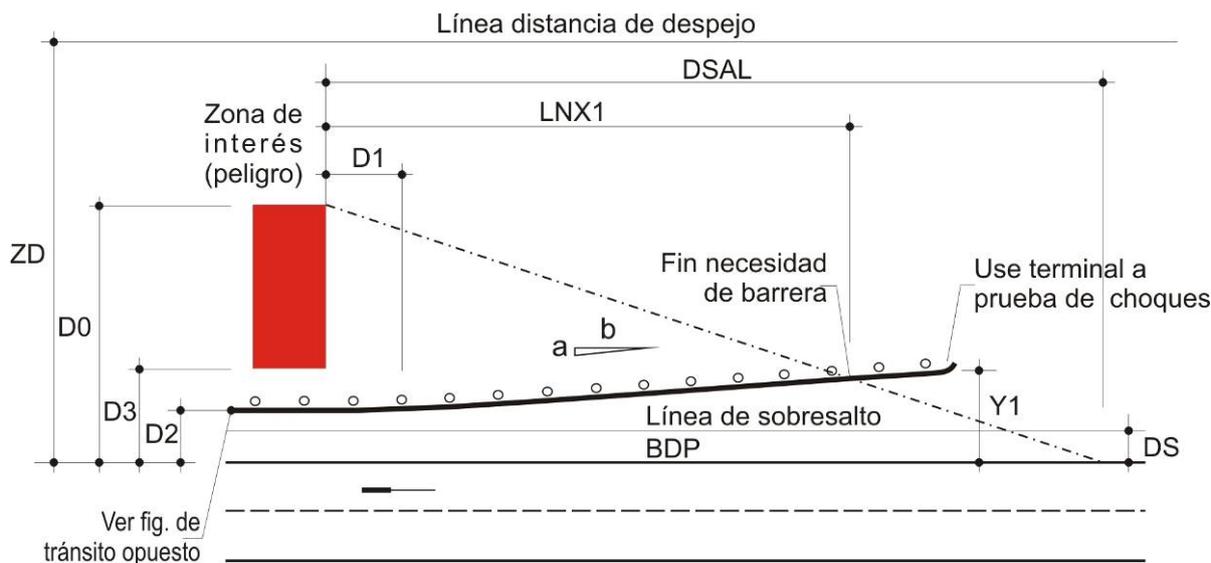


Figura 7.26 Variables del esquema de aproximación a una barrera

Tabla 7.11 Valores de distancia de salida

V	TMDA actual			
	>5000	1500 a 5000	500 a 1500	<500
110	145	135	120	110
100	130	120	105	100
90	110	105	95	85
80	100	90	80	75
70	80	75	65	60
60	70	60	55	50
50	50	50	45	40
40	40	35	30	30
30	30	30	25	20

X es la distancia medida paralelamente al camino desde el peligro al punto de fin de necesidad de la barrera; en particular X_{PAR} es la distancia necesaria cuando la instalación es sin abocinamiento.

$$X = \frac{D_0 + \frac{a}{b} \times D_1 - D_2}{\left(\frac{a}{b}\right) + \frac{D_0}{D_{SAL}}} \quad X_{PAR} = \frac{D_0 - D_2}{\frac{D_0}{D_{SAL}}}$$

Y, es el retranqueo lateral de de la instalación y en particular para la distancia X.

$$Y = D_0 - \frac{D_0}{D_{SAL}} \times X$$

Un vehículo que abandona la calzada fuera de la longitud de necesidad no tendría problemas ya que transitaría por la zona despejada, el que lo hace en la longitud de necesidad será contenido y redirigido, el que desvía y pasa por el extremo de la barrera sin chocarla cuenta con la distancia necesaria para detenerse sin alcanzar el peligro.

A la longitud X necesaria para proteger el peligro debe sumarse la longitud del tratamiento de extremo salvo que se utilicen sistemas comerciales que tengan capacidad de redireccionamiento en toda su longitud en cuyo caso se los incorpora en la longitud de necesidad.

Para el caso de barreras tipo viga w con bloque separador y postes cada 2 m se considera que se logra el anclaje a partir del cuarto o quinto poste.

La longitud total de la barrera proyectada será múltiplo de la unidad mínima del sistema en uso.

La Figura 7.27 muestra el esquema de cálculo de la longitud necesaria de barrera para el tránsito de sentido opuesto en un camino de dos carriles y dos sentidos. La longitud necesaria de la barrera se calcula de la misma manera pero las distancias laterales que se medían desde el borde del pavimento en este caso se miden desde la línea central de separación de tránsito.

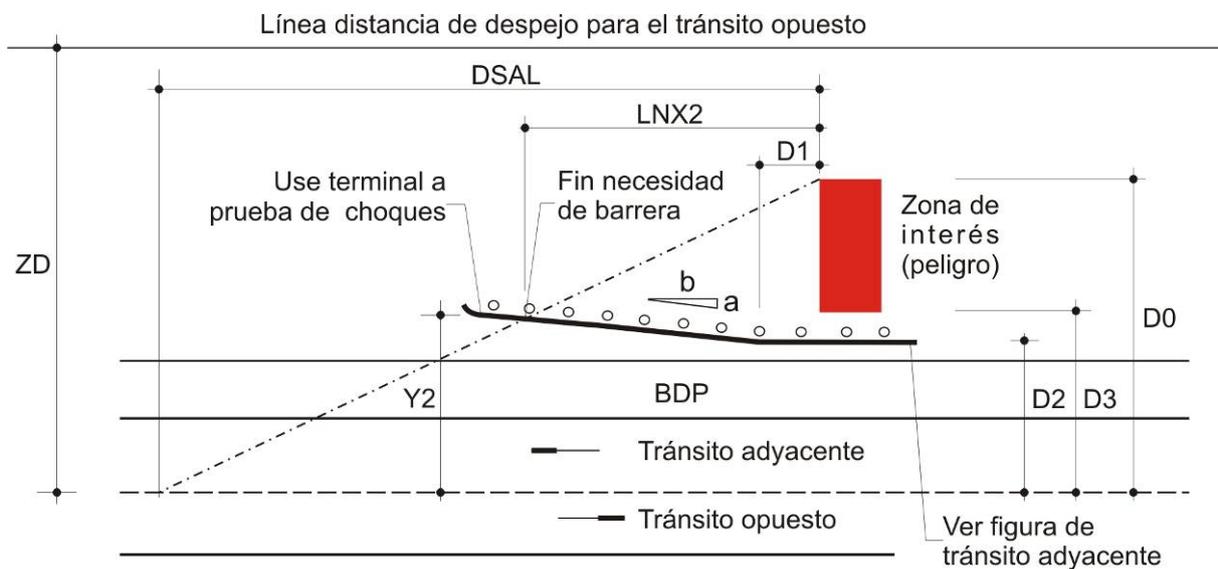


Figura 7.27 Trazado de una barrera de aproximación para el tránsito opuesto

La Figura 7.28 muestra el esquema de cálculo de la longitud necesaria de barrera para caminos de calzada separada. Se proyectará la barrera para el tránsito de sentido opuesto si el peligro está en la zona despejada medida desde el borde izquierdo de la calzada opuesta.

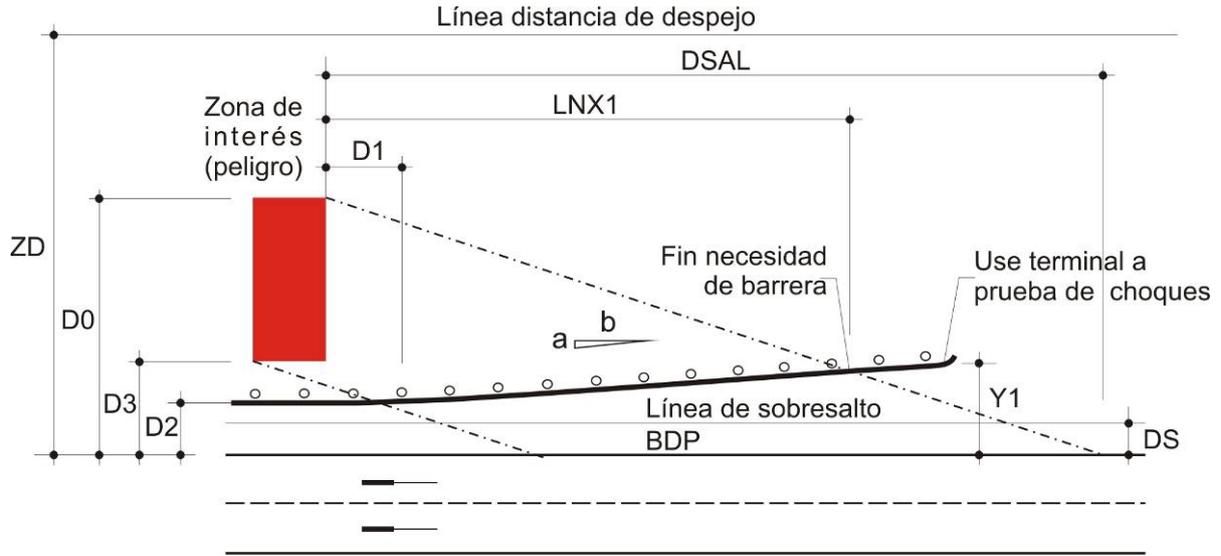


Figura 7.28 Variables del esquema de aproximación a una barrera - calzada de sentido único

Los gráficos Figura 7.29 a Figura 7.31 permiten determinar la longitud LNX de barrera paralela necesaria en función de la distancia D0 al filo exterior del objeto fijo. Se fija la velocidad y se toman para D2 los anchos de banquina establecidos en la planilla característica, obteniéndose una familia de curvas para cada caso. Las curvas están trazadas para TMDA mayor de 5000 vehículos/día, por los que se agregó un factor de reducción para tener en cuenta el TMDA.

En 7 ANEXO se ilustran dos ejemplos de cálculo de la Longitud total de necesidad, LTN.

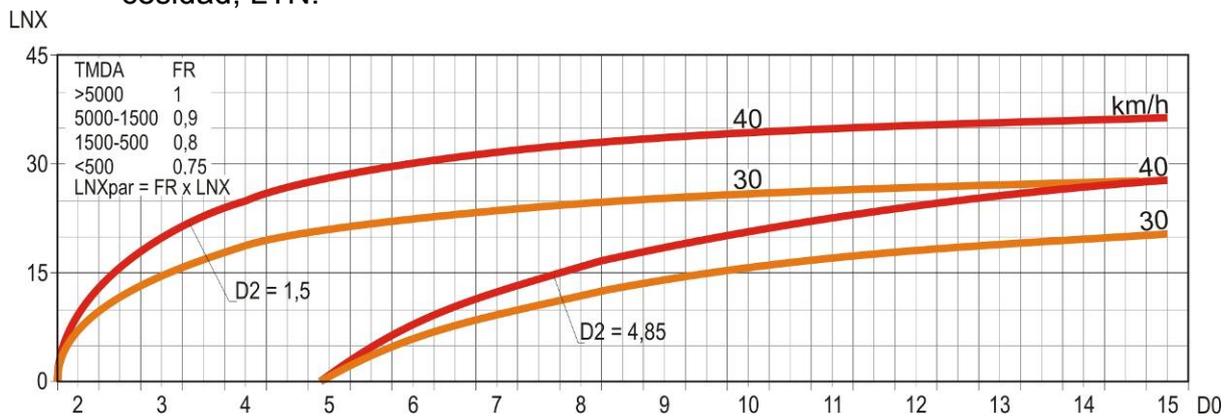


Figura 7.29 Determinación gráfica de LNX para V de 30 y 40 km/h

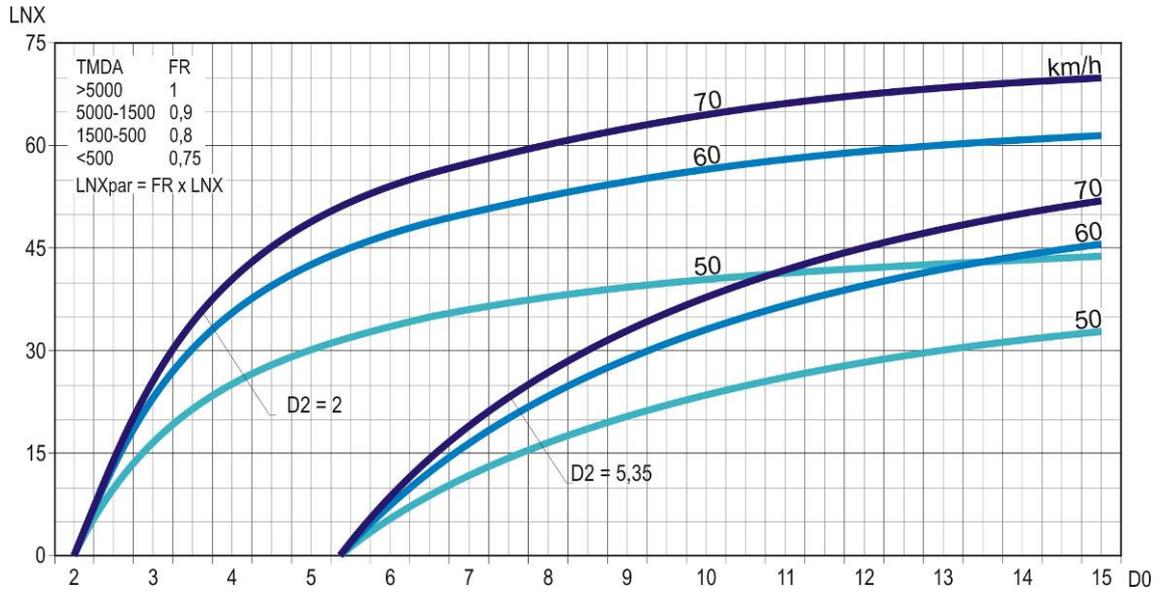


Figura 7.30 Determinación gráfica de LNX para V de 50, 60 y 70 km/h

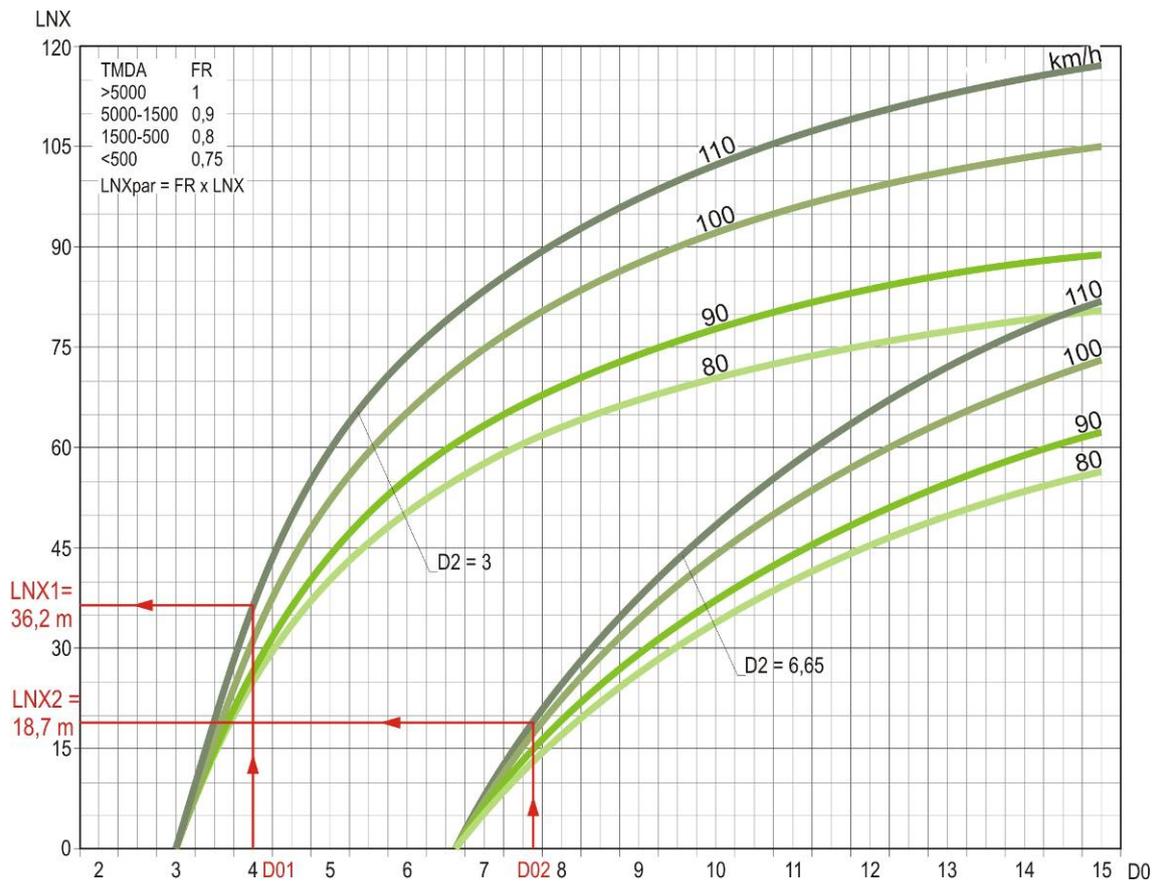


Figura 7.31 Determinación gráfica de LNX para V de 80, 90, 100 y 110 km/h

Actualización de sistemas
[7 ANEXO]

Barreras Rígidas

Las barreras rígidas son estructuras de hormigón que no se deforman al ser chocadas por un vehículo similar al de nivel de contención de prueba.

- Detalles constructivos de las barreras de hormigón [7 ANEXO]

Las barreras de hormigón más conocidas son las de perfil tipo New Jersey, tipo “F” y de Pendiente Única.



- Barreras de hormigón tipo New Jersey
La barrera de hormigón de forma segura, comúnmente conocida como New Jersey (NJ), es la barrera de hormigón más usada. Primariamente se emplea como barrera de mediana en caminos de dos calzadas y dos sentidos o como un componente de una barrera de puente.
La primera barrera de mediana de hormigón de forma segura usada en New Jersey se instaló en 1955, y era de sólo 46 cm de altura. Se observaron problemas operacionales por lo que se cambió la forma, y la altura se incrementó a 61 cm y a 81 cm en 1959; la forma comúnmente vista viene desde entonces. Esta primera generación de barreras de hormigón se desarrolló para:
 - Minimizar el número de camiones errantes que penetraban las barreras
 - Eliminar la necesidad de costosas y peligrosas tareas de mantenimiento de la barrera de mediana en lugares de altas tasas de accidentes con medianas angostas, interés que es válido hoy, como lo fue en los 60s.

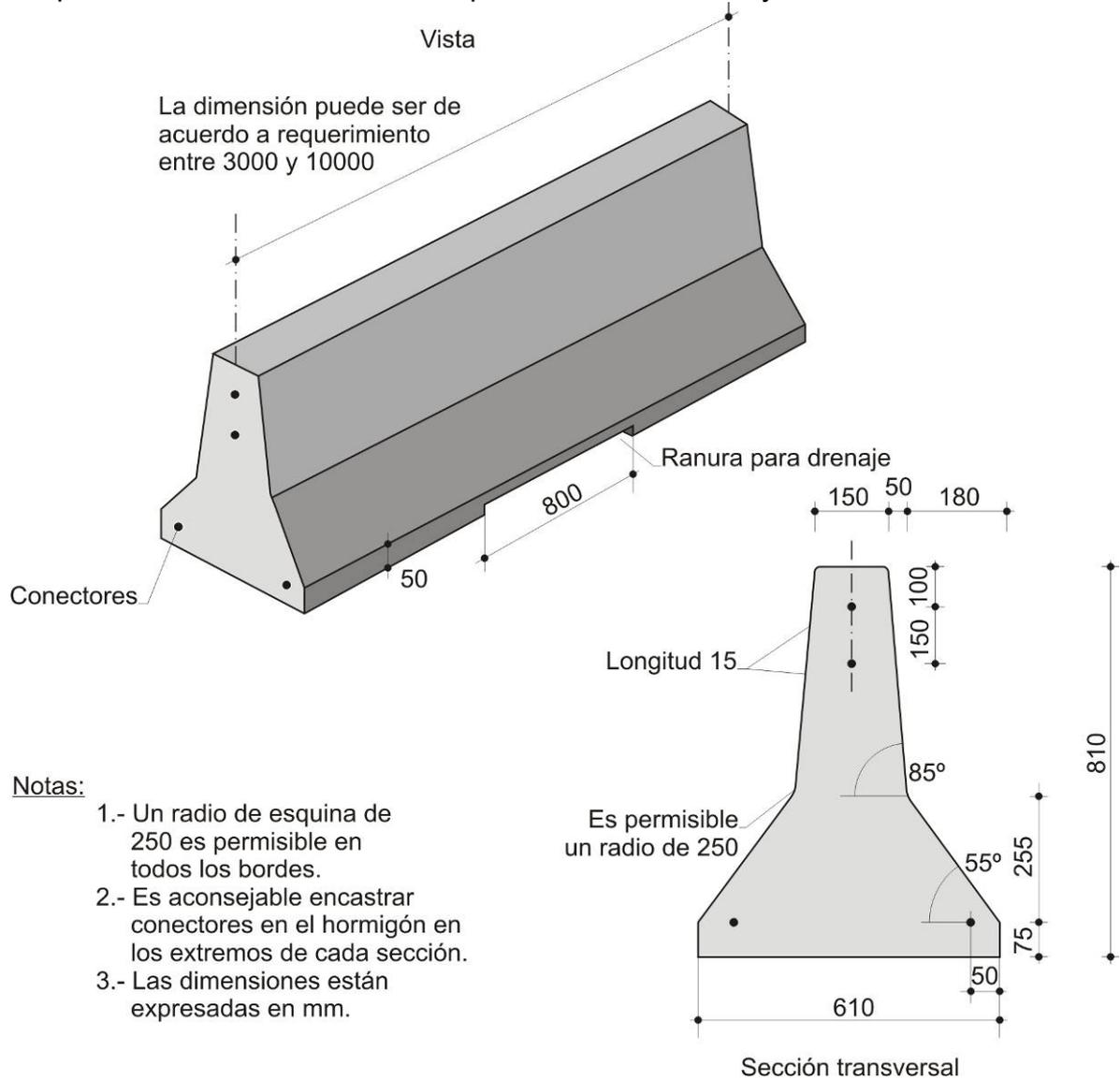
El perfil de la barrera se usa también en una variedad de otras aplicaciones:

- Protección contra cortes de roca y reducción del volumen de excavación en roca
- Soporte de postes de iluminación y señales
- Contención y conducción de cables de energía eléctrica y otros servicios públicos

La geometría del perfil NJ se muestra en la Figura 7.32; básicamente está compuesto por tres secciones:

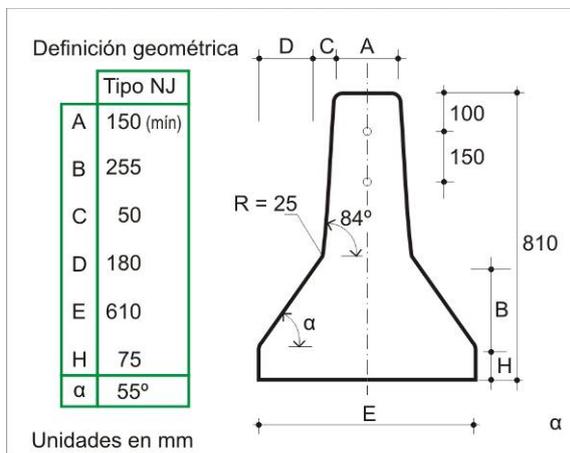
- Segmento inferior vertical
- Segmento intermedio inclinado 55°
- Segmento superior inclinado 84°

El mecanismo de funcionamiento de la barrera consiste en la absorción de energía de choque mediante el sistema de suspensión del vehículo, y la elevación de éste.

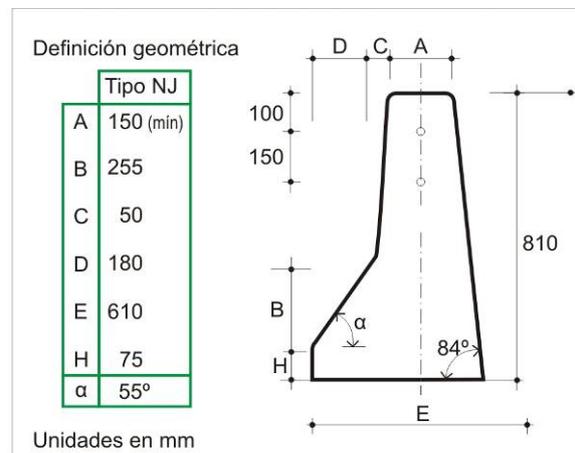


Notas:

- 1.- Un radio de esquina de 250 es permisible en todos los bordes.
- 2.- Es aconsejable encastrar conectores en el hormigón en los extremos de cada sección.
- 3.- Las dimensiones están expresadas en mm.



Sección barrera doble



Sección barrera simple

Figura 7.32 Sistema barrera de hormigón perfil tipo NJ

En las condiciones más habituales, de ángulos de impacto pequeños, la forma NJ minimiza los daños de las chapas de los vehículos, al permitir que las ruedas trepen por la cara inclinada más baja.

Para ángulos de impacto más grandes, la forma-NJ es en realidad una barrera de múltiples etapas. El paragolpes delantero choca la cara inclinada superior y se desliza hacia arriba. Esta interacción inicia el levantamiento del vehículo. Si el paragolpes es relativamente débil, el extremo frontal comienza a aplastarse antes de que ocurra cualquier levantamiento. Entonces, como el vehículo se vuelve casi paralelo a la barrera, la rueda se pone en contacto con la cara inclinada inferior; la mayor parte del levantamiento adicional del vehículo es provocado por la cara inclinada inferior que comprime la suspensión delantera.

Sin embargo, las fuerzas de fricción lateral de la rueda proveen algún levantamiento adicional, particularmente si la cara de la barrera es rugosa.

Por lo tanto, deberían evitarse los agregados expuestos y otras terminaciones superficiales rugosas. Los vehículos modernos tienen distancias relativamente cortas entre el paragolpes y la rueda; como resultado, el contacto del paragolpes es seguido casi inmediatamente por el contacto de la rueda.

Sólo es necesario levantar el vehículo lo suficiente para reducir la fricción entre los neumáticos y la superficie pavimentada. Esto ayuda a ladear y a redirigir el vehículo. Si el vehículo es levantado muy alto en el aire, puede despistarse, cabecear o volcar, lo cual puede causar que el vehículo dé una vuelta cuando las ruedas se ponen nuevamente en contacto con el pavimento.



Preferiblemente, las barreras rígidas de forma segura de hormigón (FSH) deberían estar contiguas a una superficie pavimentada, de modo que las ruedas no puedan enterrarse en el suelo y causar el vuelco del vehículo.

Hace años, fue práctica común redondear con una curva de 25,5 cm (10") de radio la intersección de las dos superficies inclinadas, para facilitar la construcción con encofrados deslizantes. Tal radio no se usa más; las modernas máquinas pueden conformar sin dificultades con encofrados deslizantes a las barreras de hormigón hasta de 1,32 m (52") de altura sin necesidad del redondeo.

El derrame o zócalo vertical de 7,5 cm (3") de altura en la base de la barrera sólo tiene la función de marcar una clara línea de referencia para los recapados asfálticos. Este zócalo vertical influye muy poco en la dinámica del vehículo porque tiene el mismo efecto que golpear contra un cordón de 7,5 cm de altura. Las aberturas para drenaje en la cara del zócalo no tienen un significativo efecto sobre un vehículo desviado. No deberían usarse aberturas altas porque las ruedas y los paragolpes pueden interactuar con ellas, engancharse y causar el despiste del vehículo.

Donde fuere posible, el drenaje debería recogerse a lo largo del pie de la barrera porque una depresión o canaleta frente a la forma segura de hormigón puede causar la inestabilidad del vehículo y hacerlo volcar.

La barrera actúa sobre el vehículo sin control por medio de sus tres planos:

- Zócalo: Cara vertical hasta de unos 7,5 cm; primer elemento para redirigir al vehículo.

Para combinaciones de bajas velocidades y ángulo de impacto es apenas suficiente para redirigir al vehículo. El rozamiento de la rueda también contribuye a desacelerar al vehículo. Para evitar vuelcos a grandes velocidades, la altura del zócalo debe limitarse.

- Primera superficie inclinada: Superficie a 55° y altura variable desde el pavimento entre 25 y 32,5 cm. Su función es absorber la energía cinética del vehículo por efecto de la deformación de su sistema de suspensión compuesto de elásticos y amortiguadores.

Parte de la energía cinética se transforma en energía potencial por la elevación de su centro de gravedad, y en energía cinética de rotación alrededor de su eje longitudinal. El vehículo comienza a inclinarse hacia la calzada, en dirección contraria a la tendencia al vuelco causada por el encuentro con el cordón. Un segundo e importante factor para la redirección del vehículo es que, al encontrar la superficie inclinada, la rueda delantera es forzada energicamente hacia el interior de la calzada.

- Segunda superficie inclinada: Superficie de 84°. Su función es actuar lateralmente sobre la rueda del vehículo.

Para ángulos superiores a los 10° el paragolpes y el guardabarros delanteros chocan contra la superficie redirigiendo al vehículo hacia la calzada.

En este punto se alcanza la inclinación máxima, contraria a la tendencia de vuelco debida a la acción de redirección del vehículo a la calzada. Esta inclinación evita o reduce los daños a la carrocería del vehículo, la cual sólo es afectada para altas velocidades o ángulos grandes.

Respecto del vehículo, en este punto radica la diferencia principal con las barreras flexibles cuya acción es lateral sobre los lados del vehículo, causándole daños aun en casos de pequeños componentes lateral del impacto.

Las ventajas de la barrera tipo NJ son:

- La base puede diseñarse para incorporar postes de iluminación
- La altura impide los cruces de carril; desalienta a los conductores a aminorar la velocidad para observar la actividad en el carril opuesto; corta el resplandor de los faros del sentido contrario.
- La superficie blanca o texturada permite amplia visibilidad.
- El hormigón es a prueba de daños; requiere poco mantenimiento.
- Contribuye a la estética general del ambiente vial.

La barrera *81-cm tall Safety-Shape (New Jersey) Median Barrier (SGM11a)* está incluida entre las que aprobaron el *Test Level 4 (TL-4) Roadside and Median Barriers*.

La altura estándar es 81 cm, aunque se usaron configuraciones de hasta 2,3 m para contener camiones grandes.

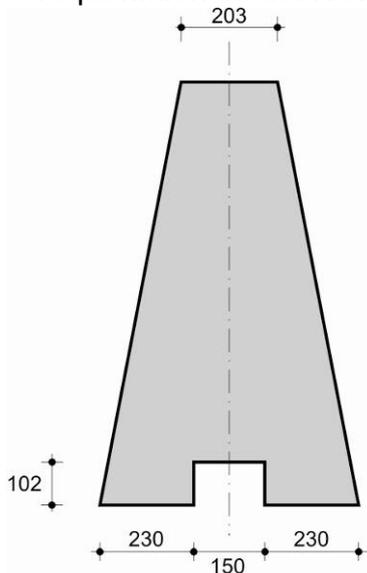
El perfil Tipo New Jersey (NJ) y el Tipo F tienen similar figura, con iguales pendientes pero diferente altura del punto de quiebre entre la cara a 55° y la cara a 84° . El funcionamiento teórico de ambas barreras es el mismo, pero las barreras tipo F, al tener menor altura de punto de quiebre, resulta en menor movimiento vertical reduciendo el riesgo de vuelco, especialmente en vehículos pequeños.



- **Barreras de hormigón de pendiente única**

Las barreras de pendiente única fueron desarrolladas como alternativas para mejorar el desempeño de las barreras de hormigón y resultó en que:

- Al no tener la pendiente inferior se reducen los balanceos de los vehículos, pero las fuerzas por el choque son más fuertes, pero siempre compatibles con los requerimientos del NCHRP Report 350.



a) Típica sección transversal de barrera mediana de hormigón de pendiente-única

Unidades en mm

Figura 7.33 Sistema de barrera de hormigón tipo pendiente única. Nivel de prueba pendiente única 1,07 m, TL-5

- Al no tener los quiebres presenta ventajas constructivas que cubren los mayores costos por mayor volumen de hormigón.
- Las barreras NJ y F admiten repavimentaciones hasta 7,5 cm, mientras que dependiendo la altura inicial este tipo de barrera puede admitir múltiples repavimentaciones.
- Aumentando la altura, se pueden cubrir secciones peraltadas o diferentes cotas de rasante en medianas sin necesidad de reconfigurar el perfil.
- Las pendientes laterales pueden ser de 9° u 11° y con una altura de 1,07 m.

- **Barreras de hormigón de otro tipo**

Son las de tipo estético como los muros verticales de hormigón con mampostería de piedra lisa con juntas tomadas. Dan un aspecto rústico y pueden utilizarse en caminos recreativos y ambientes sensibles. Figura 7.34

El comportamiento al choque es función de su diseño estructural, dimensiones, tipo de hormigón y acero, rugosidad superficial de las caras operativas, pudiendo ser capaces de contener y redirigir cualquier vehículo.

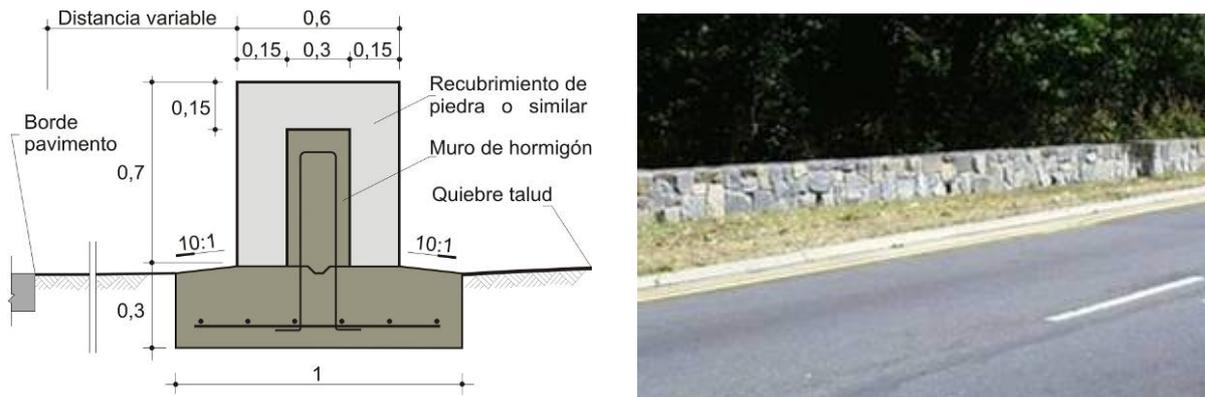


Figura 7.34 Barreras estéticas rígidas

- **Altura de barreras de hormigón**

Las barreras de hormigón nunca deberán tener una altura efectiva inferior a 0,74 m después de sucesivas repavimentaciones, lo que significa que para barreras de 0,81 m se repavimente hasta la altura del talón.

En el caso de las defensas tipo NJ, el incremento adicional de la altura para repavimentaciones o para aumentar el nivel de contención y/o disminuir el ancho de trabajo se realizará en la parte superior de la figura. Se debe mantener siempre como mínimo 0,2 m (0,3 m deseable) en la parte superior, por lo que si se mantiene la pendiente de 85° un aumento de altura requerirá un aumento de la base. Otra opción es mediante el agregado de una sección vertical por encima de los 1,07 m. Existen diseños especiales de barrera que han alcanzado los 2,31 m de alto para utilizarlos en rulos de distribuidores de tránsito de bajo radio y TMDA de camiones que justifican su construcción.

Dependiendo de la altura, las caras de trabajo y los condicionantes entre calzadas, se pueden utilizar distintas alternativas de barreras de hormigón, en general disponibles para los distintos tipos:

- Barrera Simple de Hormigón H = 0,81 m
- Barrera Doble de Hormigón H = 0,81 m
- Barrera Simple de Hormigón H = 1,07 m
- Barrera Doble de Hormigón H = 1,07 m
- Barrera Doble de Hormigón H1 y H2 variables

- Detalles de instalación barreras de hormigón [7 ANEXO]

Barreras Semirrígidas

Las barreras del tipo semirrígidas se deforman cuando son chocadas por un vehículo similar al de nivel de contención de ensayo.

Para el caso de las barreras semirrígidas metálicas, se analizarán en conjunto las barreras laterales y de mediana, para perfiles de viga de doble onda y triple onda, con sus respectivos terminales, entendiéndose genéricamente que se trata de barreras metálicas.

Las barreras metálicas se definen como un sistema de protección, compuesto básicamente por:

- Viga metálica doble o triple onda, con o sin riel inferior
- Postes metálicos o de madera
- Bloque separador de madera o de plástico



Estas defensas actúan separando la energía cinética del vehículo que la impacta en componentes en las tres direcciones:

- Vertical
- Paralela a la barrera
- Perpendicular a la barrera

Para redirigir efectivamente al vehículo, las componentes vertical y horizontal deben reducirse o disiparse. Esta disipación de energía se realiza mediante el curvado y aplastamiento de varias partes del vehículo y de la instalación de la barrera, incluyendo el suelo.

Para ser efectivas, estas barreras deben instalarse correctamente para permitir la disipación de energía, y en forma tal que el resultado final no sea más peligroso que un objeto fijo no protegido. Esto requiere atención al detalle del ensamble e instalación de todos los componentes de la barrera.

Adecuadamente instaladas pueden ser efectivas en reducir la gravedad de los accidentes. Si se instalan inadecuadamente, pueden ser inefectivas o contraproducentes, resultando un peligro mayor que el objeto a proteger.



- **Viga.** Es un perfil metálico y está dispuesta horizontalmente; es la encargada de contener y redireccionar un vehículo que ha perdido el control, debiendo absorber en forma controlada la mayor parte de la energía cinética del impacto del vehículo.

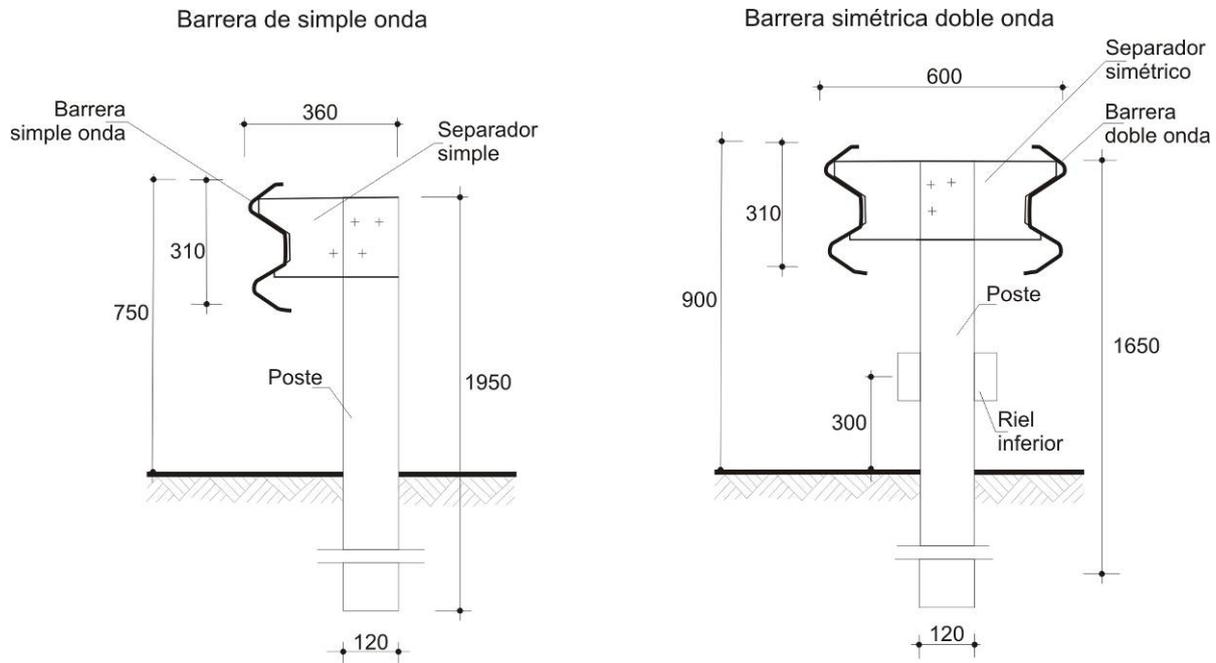


Figura 7.35 Barreras de metálicas con viga tipo perfil W

- **Postes.** Es un perfil metálico, que se inserta en el terreno, generalmente mediante hincado, cuya función principal está orientada a mantener a una altura determinada la viga de la barrera, disipando sólo una parte mínima de la energía de impacto, deformándose e inclinándose en el terreno para no transformarse en un obstáculo para el vehículo que ha chocado y permitir que la viga trabaje libremente.

Para mantener la altura correcta durante el choque, los postes deben tener la longitud requerida para el sistema para dar la altura requerida sobre el nivel de terreno y lograr un adecuado empotramiento en el suelo.

Durante un choque, los postes en la zona inmediata del punto de impacto son empujados en el extremo superior a la altura de la viga, lo que se traduce en una rotación alrededor de un punto en las proximidades del extremo enterrado del poste, con el punto de rotación más abajo según la gravedad del impacto, Figura 7.36 A.

Si el empotramiento del poste es insuficiente, poste más corto de lo recomendado, Figura 7.36 B, el radio de rotación se reduce, por lo que a medida que las deflexiones se incrementan, la altura de la barrera disminuye mucho más rápidamente pudiendo ocurrir el traspaso del vehículo por sobre la barrera o el vuelco.

La longitud mínima recomendada para las barreras metálicas es de 1,80 m. Las alturas de cada sistema y la longitud de los postes se indican en la descripción de cada sistema.

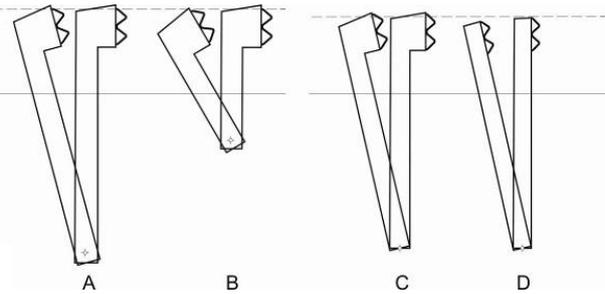


Figura 7.36 Rotación del poste con empotramiento deficiente y sin bloque separador

El correcto empotramiento de los postes y la calidad resistente del suelo son de suma importancia para el correcto funcionamiento de la barrera metálica y su eficiencia estará seriamente comprometida si la resistencia lateral del suelo no es alcanzada.

Para un mejor funcionamiento se recomienda el hincado de los postes en el terreno natural o terraplén. El suelo de fundación debe tener en toda la profundidad de hincado una compactación que alcance como mínimo el 95% del Ensayo Proctor Estándar y un CBR > 10%.

También es de importancia la distancia lateral entre la barrera y el objeto fijo o situación peligrosa. Para el caso de los objetos fijos deberán cumplirse con las distancias de deflexión y/o anchos de trabajo según corresponda y cumpliendo con los niveles de prueba requeridos según corresponda.

En general los sistemas semirrígidos pueden rigidizarse adicionalmente reduciendo la distancia entre postes, aumentando la longitud del poste, usando placas adosadas a los postes bajo el suelo, anclajes intermedios y/o agregando vigas o su inercia.

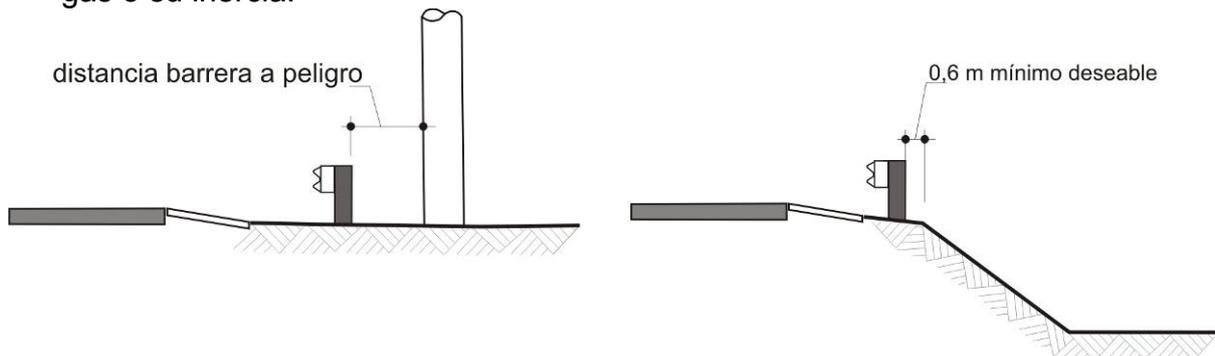


Figura 7.37 Distancia de la barrera al peligro

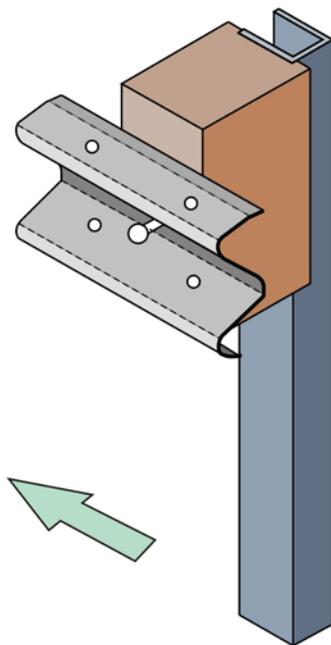
En el caso particular de los terraplenes, la distancia entre la parte posterior del poste y el quiebre banquina-talud debe ser tal que el empotramiento de los postes en el terraplén provea suficiente resistencia para que el sistema funcione adecuadamente; como mínimo debería ser de 0,6 m.

Dado que la contención del vehículo se realiza sobre el talud, se permite en estos casos que la distancia de deflexión sea mayor que el espacio disponible detrás de la barrera, sin embargo estos valores deben ser ajustados en función de la pendiente del talud y el tipo de suelo. Se recomienda que la distancia entre la banquina y la cara de la defensa sea de 0,3 m como mínimo. En esta situación el sobre-ancho de la banquina para instalar debería ser de 1 m más el ancho del sistema elegido.

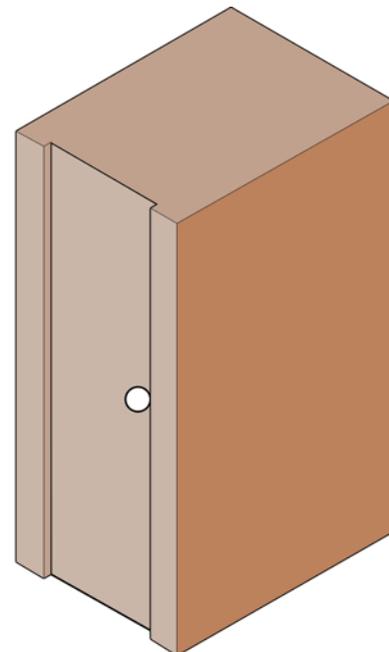
- Situaciones especiales del suelo de fundación [7 ANEXO]
- **Bloque separador.** El separador es un elemento intermedio entre la barrera y el poste, con la finalidad original de alejar los postes de la rueda del vehículo, evitando que puedan engancharse producto del choque, y de mantener la altura de la barrera prácticamente constante durante el choque, incluso cuando el poste se va inclinando.

Ver en [7 ANEXO] el Memorando de la FHWA NCHRP Report 350 Barandas de Protección y Barreras de Mediana de Uso Público, del 14 de febrero de 2000, sobre:

- Niveles de prueba para distintos sistemas de protección
- Bloque separador de madera con guía acanalada para barrera de protección de viga-W y poste fuerte de acero



Detalle de ensambladura de poste de acero



Bloque de madera para poste de acero

En los primeros sistemas las vigas se atornillaban directamente a los postes. En servicio y en los ensayos con vehículos livianos de centro de gravedad más alto se observó que las ruedas se enganchaban con los postes produciendo giros y cambios de dirección inesperados (*snagging*). La incorporación de los bloques en las pruebas de choque y el análisis del proceso del choque develaron otros beneficios significativos. En el ensayo el vehículo empuja al poste lateralmente en principio alejándolo de la rueda reduciendo la posibilidad de enganche. Al contar con el bloque separador, el poste se vuelca más rápidamente alcanzando antes la resistencia lateral del suelo mientras entra en carga axial, Figura 7.36 C. Simultáneamente la viga se mantiene vertical y aproximadamente a la altura inicial en coincidencia con el centro de gravedad del vehículo lo que reduce el balanceo. Durante la deflexión inicial la altura de la viga inclusive se eleva un poco, ayudando así a evitar que el vehículo pase o vuelque por arriba de la barrera.

Por contraste, la altura de la viga sin bloque separador disminuye rápidamente durante la rotación del poste, Figura 7.36 D, disminuyendo la efectividad de las fuerzas de contención de la barrera, lo cual puede resultar en que la viga actúe como una rampa antes que tenga oportunidad de comenzar a resistir axialmente.

Los bloques pueden estar fabricados en madera, plástico reciclado; son de bajo costo y su inclusión puede elevar un sistema desde TL-2 hasta TL-3.

- **Vigas de Fricción** Para aumentar la rigidez del sistema y/o para reducir el enganche de las ruedas de los vehículos pequeños con los postes de la barrera, otra opción es utilizar vigas de fricción. Se agrega un riel inferior tipo perfil metálico C, ubicado longitudinalmente, paralelo a la barrera y a 0,3 m del suelo.
- **Sistemas semirrígidos.** Las barreras metálicas podrán ser de uso libre o ser patentes certificadas de fabricante y la elección dependerá exclusivamente de los niveles de contención previstos, del ancho de trabajo disponible y, del riesgo esperado. No obstante, en el caso de adoptarse barreras metálicas certificadas, éstas deberán cumplir con lo indicado en la resolución 423/02 de la DNV que si bien trata el tema de aceptación de amortiguadores de impacto, puede ser extrapolable a la certificación de elementos de contención en general.
 - Sistema viga W con poste débil
[7 ANEXO]
 - Sistema de viga cajón
[7 ANEXO]
 - Sistema viga W con bloque separador y poste fuerte
Son sistemas semirrígidos con una deflexión lateral del orden de 0,90 m. La altura de instalación es de 0,70 m con una tolerancia en más y en menos de

0,08 m.

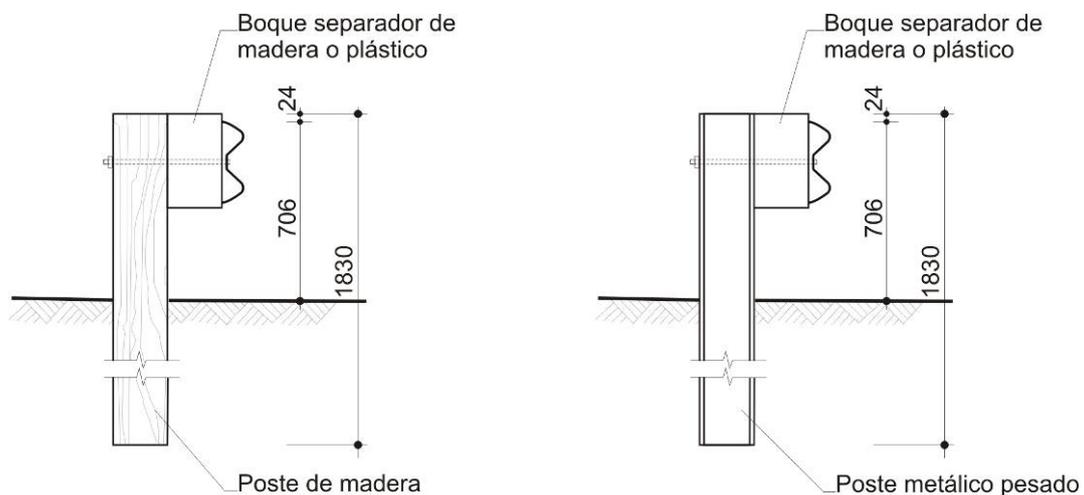
Incorpora un elemento, bloque separador, entre la viga y el poste para reducir la posibilidad de enganche de la rueda de los vehículos. Puede ser de plástico, madera o acero. En los dos primeros casos cumple con niveles de contención TL-3 y en el tercero TL-2.

Para el caso de medianas la rigidez por la viga adicional reduce la deflexión a valores entre 0,6-1,2 m y son utilizados en medianas de 3 m o más.



Figura 7.38 Sistema viga W con bloque separador de madera en mediana

Para mejorar la capacidad de contención de vehículos de mayor porte, aunque no han sido probadas, se pueden diseñar alturas de hasta 0,76 m que se encuentran bajo la tolerancia de 0,08 m aceptada para este tipo de barreras. Para minimizar el enganche de las ruedas por la mayor altura, se agrega una viga de fricción tipo perfil C.



Barrera viga W con bloque separador y poste pesado

Poste de madera dura: 150 mm x 200 mm

Poste metálico pesado

Espaciamiento entre postes: 1905 mm

Tipo de viga: Viga W, calibre 12

Máxima deflexión dinámica: aproximadamente 0.9m

Son aceptables postes de 1625 mm de longitud y de 200 x 200 mm de escuadría.

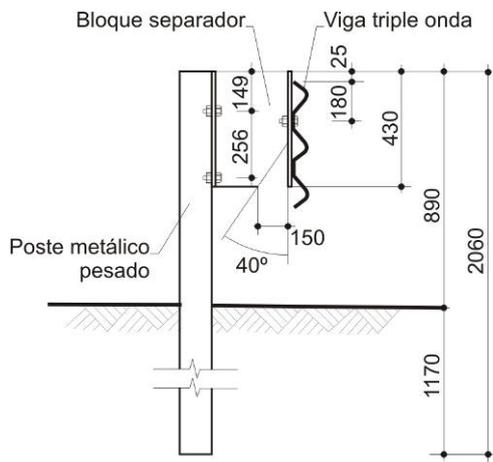
El espaciamiento entre postes de 2 m de la viga W tiene las perforaciones a esa separación.

- Sistema viga triple onda con bloque separador y poste fuerte
Es un sistema similar al sistema viga W, pero por su mayor sección y pliegue adicional es más resistente a la tensión longitudinal y a la flexión. La deflexión esperada es de 0,3-0,9 m y cumple con nivel de contención TL-3.

La mayor altura de la viga y de montaje, típicamente 0,81 m, permite redirigir vehículos de mayor porte sin agregar la viga de fricción. Se pueden instalar con altura de 0,9 m.

- Sistema de viga triple onda modificada
La modificación consiste en cambiar el bloque separador común por un perfil especial con un corte triangular en su parte inferior. Este corte permite que el perfil triple onda se doble durante una colisión, manteniendo una superficie de contacto vertical durante mayor tiempo cuando el poste y el bloque separador se inclinan hacia atrás en choques fuertes.

Cumplen con nivel de contención TL-4 y la deflexión esperada es de 0,96 m.



Barrera triple onda modificada

Tipo de poste: poste metálico pesado o de madera dura de 150 x 200 mm.
Separación entre postes: 1905 mm.
Tipo de viga: viga triple onda calibre 12.
Máxima deflexión dinámica: aproximadamente 0.9 m para 9000 kg colectivo escolar (90 km/hr, 15° de ángulo de impacto)

El espaciamiento entre postes de 2 m de la viga tiene las perforaciones a esa separación.

Para el caso de barreras de mediana, la deflexión esperada es de 0,3 m a 0,9 m y cumplen con un nivel de prueba TL-5.



Figura 7.39 Sistema viga triple onda para mediana con bloque separador modificado

- **Barreras mixtas.** Corresponden, en general, a un sistema de contención compuesto de vigas de acero recubiertas en madera y los postes pueden ser de madera o metálicos recubiertos de madera. La principal ventaja es el alto contenido estético y paisajístico.

Los elementos metálicos, en especial la viga longitudinal, son los encargados de resistir los esfuerzos de tracción al momento del impacto y de dar continuidad al sistema. Los esfuerzos de flexión son tomados en conjunto entre la viga de madera y el refuerzo metálico.

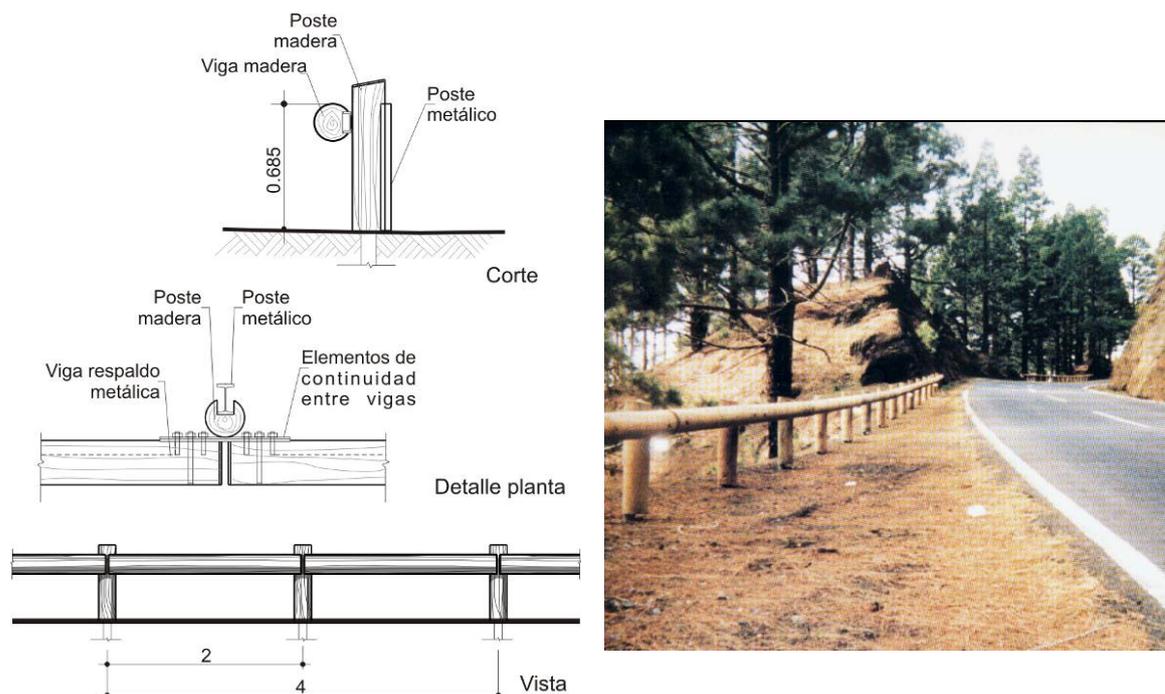


Figura 7.40 Sistema tronco de madera respaldada con perfiles metálicos

Para evitar desprendimientos de trozos de madera durante el choque se atornilla a la viga de madera a la viga de acero a intervalos regulares.

En general son de dos tipos, la viga rectangular de madera con un respaldo posterior de una chapa de acero de uso libre, y la de troncos de madera con respaldo de perfil metálico tipo C patentada. En ambos casos los postes son de madera.

El sistema viga rectangular cumple con nivel de contención TL3, mientras que los de troncos de madera de origen europeo cumplen con nivel de contención N2 o H2 según su conformación.



Figura 7.41 Sistema de viga rectangular con respaldo de placa metálica

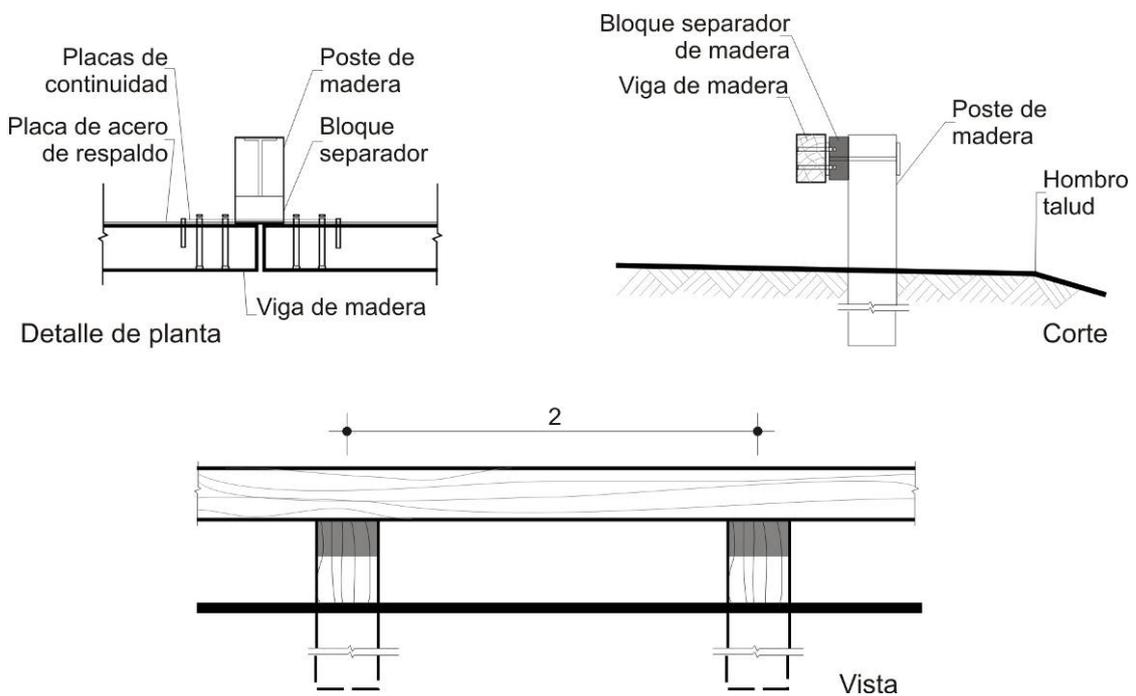


Figura 7.42 Sistema de viga rectangular con respaldo de placa metálica

Barreras flexibles

Consisten básicamente en cables de acero mantenidos en tensión (tracción) y montados en postes metálicos. La función principal de los cables es contener y redireccionar a los vehículos que los impactan, debiendo mantener los postes la elevación de éstos a una altura constante.



La energía producida por el impacto es disipada a través de la tensión que absorben los cables de acero. Como son barreras patentadas será responsabilidad del fabricante de este tipo de barreras determinar, en función de las pautas de diseño, los materiales más adecuados para este sistema de contención.

La función básica de los postes es mantener los cables a la altura prevista y no ofrecen resistencia ante el choque.

Las barreras de cables no tienen elementos de conexión con otro tipo de barreras por lo que deben ser instaladas en sectores donde su funcionamiento no interactúe con otros sistemas de contención.

En las barreras de cables los terminales resultan de suma relevancia para el buen funcionamiento del sistema de contención por lo que, deben ser diseñados y ubicados según las indicaciones del fabricante.

- Clasificación de las barreras flexibles de cable [7 ANEXO]

7.7 TRANSICIONES

Las transiciones son secciones de barreras de cambio de rigidez progresiva cuando se debe dar continuidad estructural y geométrica entre dos sistemas de barreras diferentes. Entre una barrera de aproximación semirrígida y una barrera de puente rígida debe interponerse una sección de transición. Las transiciones pueden no ser necesarias cuando se usan barreras de puente con igual flexibilidad a la barrera de aproximación.

El diseño consiste en un cambio de rigidez progresiva para evitar el embolsamiento, enganche o penetración vehicular en cualquier posición a lo largo de la transición que puede resultar en un choque frontal contra el sistema más rígido.

En general se las asocia con barreras de puente, pero los conceptos son aplicables a transiciones para cambios de rigidez localizados de las barreras para reducir las deflexiones ante objetos fijos próximos.

El uso de una barrera de aproximación de Viga-W sin una adecuada conexión a la barrera del puente ni una barrera de fricción es relativamente común. La experiencia y pruebas de choque han demostrado que esos diseños pueden producir catastróficos resultados al permitir que el vehículo se enganche sobre el extremo de una barrera de puente rígida.



Las consideraciones de importancia a tener en cuenta en las transiciones son:

- La conexión entre la barrera del puente y la transición debe estar correctamente diseñada para evitar que se suelte con el esfuerzo de tracción de la viga por un choque. Se recomienda usar un anclaje o una conexión con pernos pasantes. También debe diseñarse para minimizar la probabilidad de enganche del vehículo, especialmente uno desde el carril opuesto en un camino de dos calzadas indivisas.
- 
- Los sistemas de postes fuertes o los sistemas de combinación de poste normal y viga fuerte pueden usarse en transiciones a barreras de puente rígidas u otros peligros. Normalmente, estos sistemas deberían separarse con bloques a menos que el elemento de barrera sea de ancho suficiente para impedir o reducir el enganche a un nivel aceptable. Si los bloques de separación o los retranqueos de la barrera pueden no ser suficientes para impedir el potencial enganche en el extremo corriente arriba de una barrera de puente rígida. Es deseable introducir en el diseño vigas de fricción, pudiendo utilizarse vigas W o perfiles tipo C. También puede ser deseable el ahusamiento del extremo de la barrera de puente, detrás de los elementos de la transición en su punto de conexión. Las barreras de transición o el ahusamiento son especialmente necesarios cuando la aproximación de la transición se encastra en el extremo de hormigón de la barrera de puente u otra situación peligrosa.
 - La sección de transición debería ser suficientemente larga para que no ocurran cambios significativos de deflexión en una corta distancia. Se recomienda que la longitud de la transición debería ser de 10 a 12 veces la diferencia en la deflexión lateral de los dos sistemas en cuestión
 - La rigidez de la transición debería crecer suave y continuamente desde el sistema menos rígido hasta el más rígido
 - La construcción de estructuras de drenaje como cordones, sumideros, cunetas o canaletas, por delante de la barrera y especialmente en la zona de transición, pueden generar inestabilidad en el vehículo afectando adversamente la validez al choque del sistema de transición
 - La pendiente del terreno entre el borde de la calzada y la barrera no debería ser más empinada que 1:10

Cuando un camino secundario o acceso intercepta un camino principal cerca de un puente, a veces es difícil proteger adecuadamente el extremo de barrera de puente. La solución recomendada es cerrar y/o relocalizar el acceso del camino secundario e instalar una barrera de aproximación con una sección de transición estándar.

Si eso no puede hacerse, debería buscarse una solución para asegurar que los vehículos no irán por detrás, a través o sobre la barrera. En tales circunstancias, algún sacrificio en la validez al choque de la barrera puede ser inevitable, pero la instalación debería hacerse tan indulgente como sea posible.

La Figura 7.43 describe otra solución posible usando una barrera estándar tipo viga W que minimiza el riesgo del conductor al proteger la mayor parte de los peligros por medio del uso de una barrera de defensa.

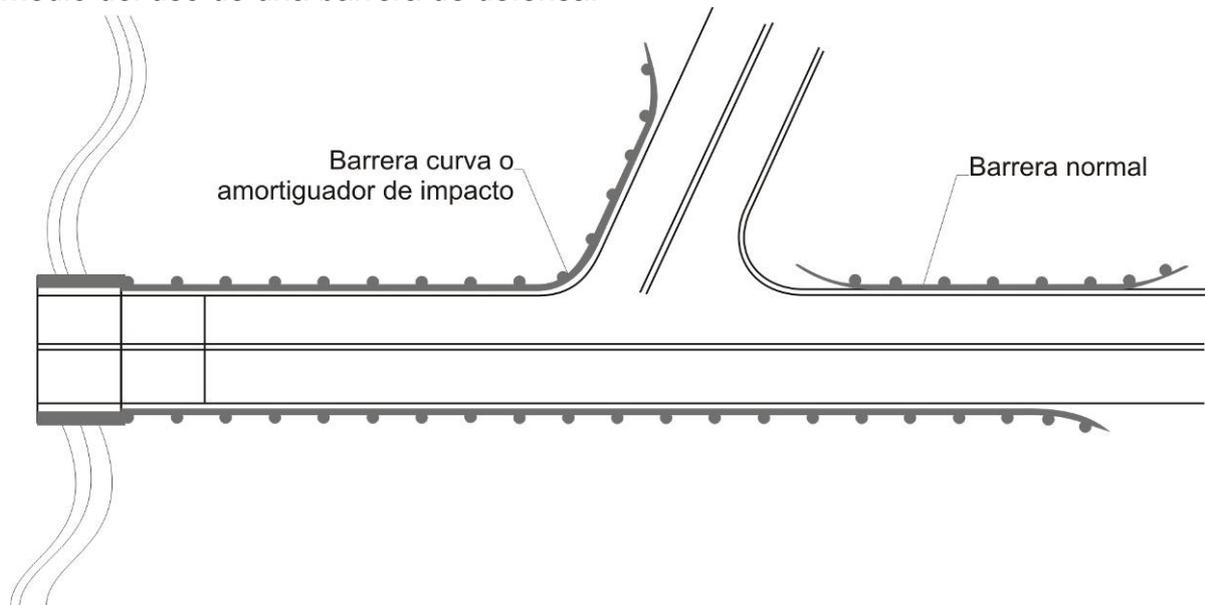


Figura 7.43

En general los diseños de transiciones consideran las siguientes acciones:

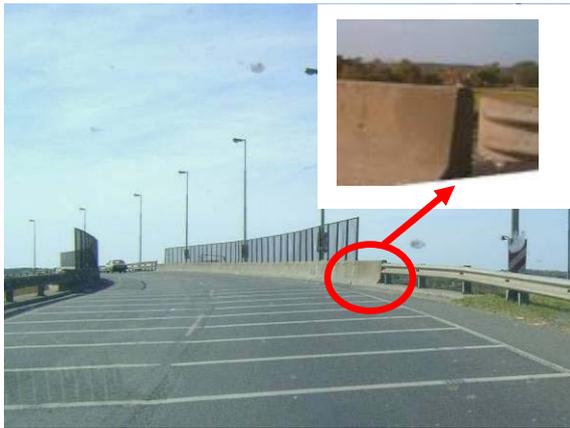
- Disminuir gradualmente el espaciamiento entre postes y/o aumentar la longitud del poste
- Fortalecer la viga de barrera, cambiando a viga de tres ondas o superponiendo perfiles W
- Agregar vigas de fricción inferiores, viga W o perfil Tipo C

El NCHRP Report 350 recomienda que las transiciones sean diseñadas y se prueben al choque con el nivel de prueba apropiado para cada aplicación.

7.7.1 Ejemplos de prácticas inadecuadas



Falta de continuidad geométrica y estructural entre la barrera de aproximación al puente y la barrera del puente



Falta de continuidad geométrica y estructural entre la barrera de aproximación al puente y la barrera del puente



Falta de continuidad geométrica y estructural entre la barrera de aproximación al puente y la barrera del puente; además embolsamiento



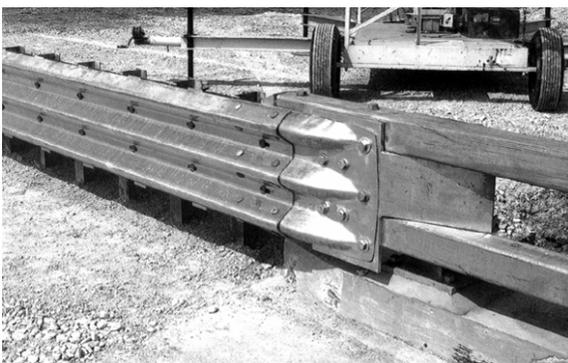
A la izquierda, falta de continuidad geométrica y estructural entre la barrera de aproximación al estribo y el estribo; a la derecha entre barreras de diferente rigidez

7.7.2 Ejemplos de prácticas adecuadas



Transición de una barrera de aproximación tipo viga W a una barrera de hormigón tipo New Jersey utilizando un complemento de viga de fricción.

Transición desde una barrera de aproximación tipo viga W a una barrera de hormigón tipo New Jersey utilizando una viga de tres ondas.



Viga de tres ondas de postes y vigas de acero en la transición de una barrera de puente.

7.8 BARRERAS DE PUENTES

El camino puede pasar por abajo de la estructura de un puente (paso bajo nivel), o por arriba como paso superior (paso alto nivel).

En primera instancia se vuelve crítico el cumplimiento de las distancias de zona despejada sobre las pilas y estribos de los puentes. Son y deben considerarse como objetos fijos. Las pilas y los estribos deberían mantenerse tan lejos del borde de calzada como sea posible, tratando de alcanzar el ancho de zona despejada. En el caso de autopistas se prefieren estructuras de dos luces con soporte en la mediana, sin pilas cerca del borde de banquina y con los estribos alejados adecuadamente. En casos de medianas angostas se recomiendan estructuras de una sola luz.

En el caso de pasos superiores debe considerarse la seguridad para los que circulan por la calzada y para los que circulan por debajo, por lo que deben diseñarse barreras y aproximaciones adecuadas.

Las barreras de puente son barreras longitudinales destinadas a impedir que los vehículos que se desvíen caigan desde un puente o alcantarilla.

La mayor diferencia con las barreras laterales, es que son una parte integral de la estructura y usualmente se proyectan para no tener deflexión al ser golpeadas por un vehículo.

7.8.1 Análisis de accidentes

En varios estudios se halló que los choques en puentes son una parte significativa del total de choques viales, especialmente en zonas rurales. En los EUA, Zegeer, 1986, relevó 40 estados y 17 organismos viales locales, y entre otras cosas preguntó detalles de específicos elementos viales peligrosos en sus respectivas jurisdicciones. Por lejos, los elementos más frecuentemente citados fueron “puentes angostos, estribos, pilas, y aproximaciones a puentes”. Ante la presencia de un puente, la reacción del conductor está indicada primariamente por el movimiento lateral del vehículo hacia la línea central.

7.8.2 Tratamientos de seguridad

Los puentes más seguros resultan de las combinaciones de buena ingeniería que reflejen los objetivos de:

- Advertencia temprana,
- Delineación de puente, y
- Barreras de estructuras válidas al choque.

Las estructuras de los puentes y viaductos deben tener las banquetas del mismo ancho que las banquetas disponibles en la sección normal más 0,6 m mínimo para permitir el uso total de la banquina y que los conductores entren y salgan en forma segura del vehículo.

7.8.3 Criterios para justificar la instalación

Todos los puentes y viaductos requieren algún tipo de barrera, sin embargo, sobre muchas estructuras de caminos de bajas velocidades y volúmenes de tránsito puede no ser necesario ni deseable diseñar una barrera según todos los estándares de AASHTO.

Una barrera rígida requiere una aproximación de barrera y una sección de transición. Este tratamiento completo puede no ser de efectividad de costo en alcantarillas, por lo que deberían considerarse tratamientos alternativos. Tales tratamientos podrían incluir el ensanchamiento de la estructura y dejar los bordes desprotegidos, o utilizar un tipo menos costoso de barrera semirrígida.

Cuando un puente sirva también a los peatones y/o ciclistas puede justificarse una barrera para protegerlos del tránsito vehicular. La necesidad de una barrera para peatones y/o ciclistas debería basarse en los volúmenes y velocidades del tránsito del camino, número de peatones y/o ciclistas que usan el puente, y en las condiciones de los extremos de la estructura.

El criterio de diseño para seleccionar barreras de puentes está relacionado con la capacidad de contención y redireccionamiento del vehículo de diseño según el *NCHRP Report 350*.

Es recomendable diseñar e instalar barreras que puedan contener y redirigir vehículos pesados, sobre todo cuando el traspaso de la barrera es potencialmente peligroso para sus ocupantes y para otras personas.

En el diseño de una barrera de alto comportamiento debe considerarse su altura efectiva. Una barrera puede tener resistencia adecuada para impedir la penetración física, pero a menos que también tenga adecuada altura, el vehículo o su carga pueden rodar sobre la barrera o pueden rodar afuera de la barrera durante el redireccionamiento.

El perfil de la barrera también tiene una significativa influencia sobre el comportamiento, sobre todo en la capacidad y forma de redireccionar al vehículo.

7.8.4 Guías para seleccionar barreras

Son cinco los factores que se deben considerar en la selección de una barrera para puente:

- Nivel de prueba
- Compatibilidad entre sistemas
- Costos
- Experiencia de campo
- Estética de la barrera

[7 ANEXO]

7.8.5 Ejemplos de barandas de puentes



PERFIL NJ – TL-4 32"



2 TUBOS UNIDOS A PARAPETO TL-4 33"



TUBOS A° SOBRE CORDÓN TL-4 32,5"



VIGA-3 ONDAS – TL-4 32"



5 TUBOS SOBRE CORDÓN TL-4 56"



4 TUBOS SOBRE CORDÓN TL-4 42"



TUBO A° SOBRE CORDÓN TL-4 32"



BLOQUE HORMIGÓN TL-4 34"



VIGA CAJÓN – TL-2 27”



TUBO SOBRE PARAPETO TL-2 27”



TUBOS MONTAJE LATERAL TL-2 42”



TUBOS MONTAJE LATERAL TL-2 54”



VIGA Y POSTE HORMIGÓN TL-2 29”



TUBO MONTAJE LATERAL TL-2 30”



TUBOS ALUM. SOBRE CORDÓN TL-2 33”



BARRERA HORMIGÓN ABIERTA TL-2 29”

7.8.6 Recomendaciones de ubicación

Los puentes nuevos se construirán previendo la continuidad de la banquina manteniendo la separación lateral al sistema de defensa de aproximación. Muchos puentes existentes son más angostos que la calzada y banquetas de aproximación.

Cuando la barrera de puente se ubica en la distancia de sobresalto la barrera de aproximación y la transición deben tener la tasa de abocinamiento recomendada en Tabla 7.14.



Ejemplos de prácticas inadecuadas

Se recomienda evitar las veredas delante de las barreras de puente. Sin embargo, en situaciones de baja velocidad, el cordón de la vereda puede proveer una protección a los peatones si no hay separación entre el tránsito y los peatones. En zonas urbanas, una barrera de puente entre el tránsito y la vereda proporciona protección máxima a los peatones, pero debe proyectarse una adecuada transición con la barrera de aproximación dejando siempre la vereda por detrás. Se debe proveer una barrera peatonal del lado externo de la vereda.

Los vacíos entre dos estructuras de puente en caminos de un sentido son zonas potenciales peligrosas ya que un vehículo podría caer en el. Cuando sea económicamente posible se recomienda unir los tableros cerrando el vacío. En los demás casos se deberá proyectar un sistema de barrera adecuada para contener y redirigir a los vehículos.

7.8.7 Corrección de sistemas existentes

[7 ANEXO]

7.9 TRATAMIENTO DE EXTREMOS DE BARRERAS

7.9.1 Introducción

El choque de un vehículo contra un extremo de barrera no tratado o un objeto fijo resultará en serias consecuencias para los ocupantes porque los vehículos se detienen abruptamente. Los impactos con barreras sin tratamiento adecuados son considerados muy graves, porque los extremos tienen una sección transversal pequeña y rígida, que fácilmente puede penetrar el habitáculo de un vehículo durante el choque o causar inestabilidad con probabilidades de vuelco.

Los tratamientos de extremo de barreras y amortiguadores de impacto son recomendados para prevenir este tipo de situaciones mediante la desaceleración gradual del vehículo hasta la detención o por redireccionamiento evitando el choque con el objeto fijo. Los tratamientos de extremos o terminales de barreras se recomiendan para los extremos de una barrera lateral donde el tránsito circula de un solo lado de la barrera y en la dirección que se analiza.

Ver [7 ANEXO] el Memorando de la *FHWA NCHRP Report 350* Guías para Seleccionar Terminales de Barrera de Viga-W, del 26 de octubre de 2004.

7.9.2 Requerimientos de comportamiento

La resolución DNV 432/02 de la Dirección Nacional de Vialidad contiene las recomendaciones antecedentes sobre amortiguadores de impacto y el procedimiento administrativo para que los dispositivos sean aceptados para su uso en la Red Nacional de Caminos bajo la competencia de la Dirección Nacional de Vialidad.

No se podrán instalar amortiguadores de impacto y terminales de barreras comerciales que no se encuentren homologados por Carta de Aceptación de la Dirección Nacional de Vialidad en un todo según lo indicado en la resolución DNV 423/02.

Los tratamientos de extremo y amortiguadores de impacto son sistemas de contención con patentes y certificados. Cualquiera que sea su tipo, deberán cumplir con los requerimientos del Reporte 350 de la NCHRP o la Normativa EN-1317 según se indica en la resolución DNV 432/02.

7.9.3 Tratamiento de extremos

Un tratamiento de extremo a prueba de choques es considerado esencial si una barrera termina en la zona despejada o es ubicada en una zona donde es posible que sea chocada.

Pueden ser clasificados como traspasables o no traspasables dependiendo de su comportamiento en caso de choque en la cara cercana al extremo. Un tratamiento de extremo traspasable permite que vehículo que choca la nariz o el costado de la unidad próximo a la nariz en ángulo pueda pasar a través del dispositivo.

Un tratamiento de extremo no traspasable redirecciona al vehículo que impacta la nariz o el costado de la unidad en todo desarrollo.

Los tratamientos de extremo a colocar en la longitud de necesidad de la barrera se requiere que tengan la misma capacidad de redireccionamiento que la barrera lateral estándar.

Los tratamientos de extremo traspasables se ubicarán fuera de la longitud de necesidad y se requiere una zona despejada por detrás de la barrera de al menos 25 m paralela a la barrera y 6 m perpendicular para detener el vehículo.

La pendiente entre la calzada y la terminal y la aproximación frente a cualquier terminal debe ser lo más plana posible, con pendientes no mayores que 1:10 para que los vehículos impacten con relativa estabilidad.

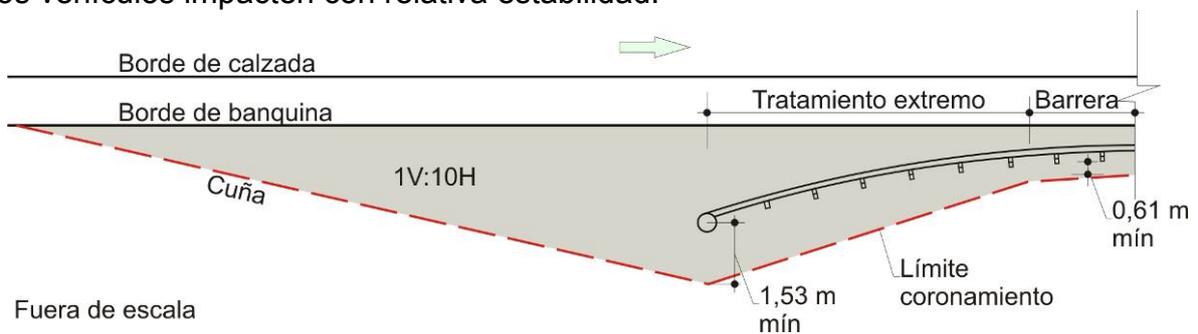
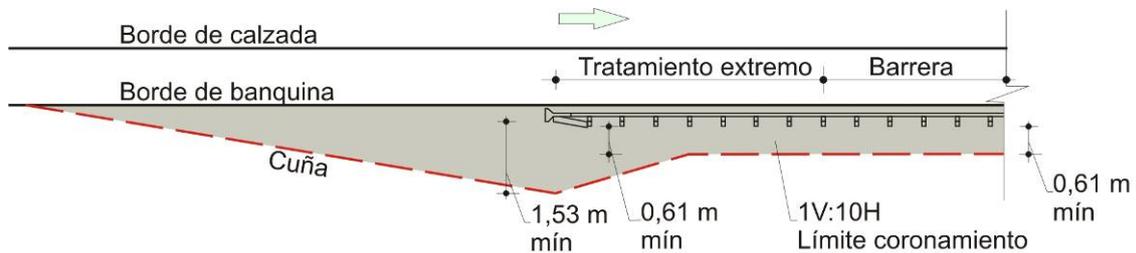
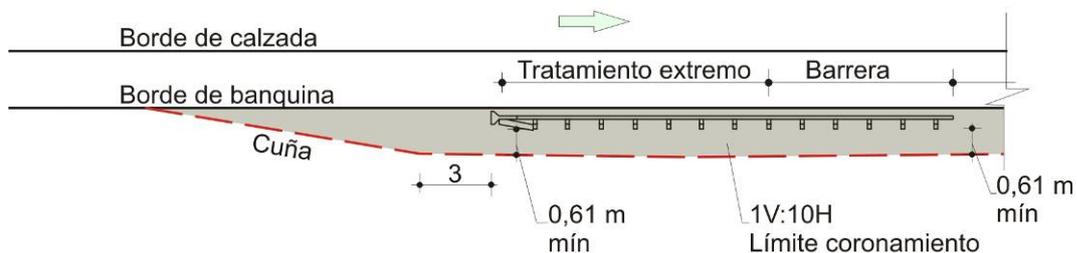


Figura 7.44



Sobrancho deseable



Sobrancho mínimo

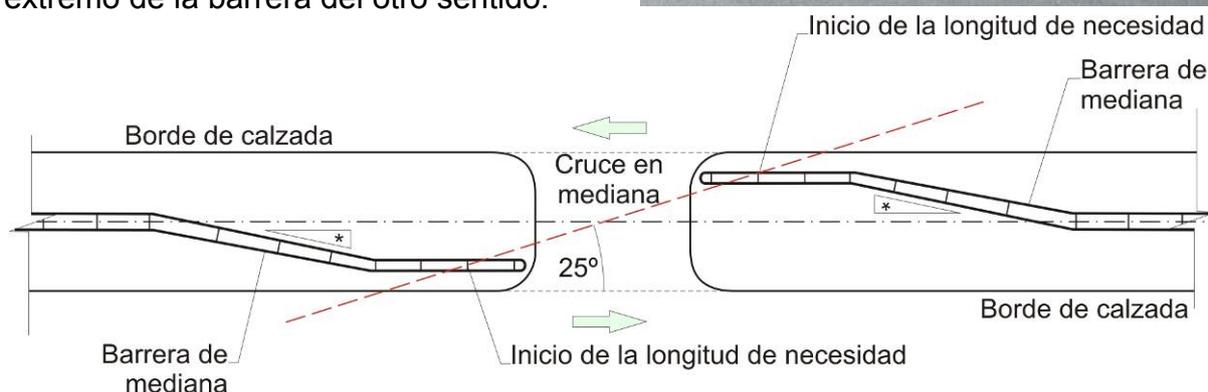
Fuera de escala

El sobrancho deseable debe usarse donde sea posible, donde existan limitaciones de espacio o donde cambie el extremo existente por uno a prueba de choques puede usarse el sobrancho mínimo.

Figura 7.45

La Figura 7.44 y la Figura 7.45 muestran planimetrías recomendadas para la pendiente tanto para la aproximación como para la zona entre la calzada y la terminal.

En las medianas puede ser necesario dejar pasos para casos de emergencia, en general la recomendación es acotar al mínimo estos pasos ya que los extremos de barreras en general serán amortiguadores de impacto de alto costo. En las medianas donde el ancho disponible lo permita se recomienda el abocinamiento y retranqueo de las barreras para proteger el extremo de la barrera del otro sentido.



* El abocinamiento no debe superar los valores límite sugeridos

Para el caso de medianas estrictas existen sistemas patentados para la apertura de pasos. Son estructuras metálicas que copian la forma del perfil y, que de ser necesario, se desplazan sobre guías para dejar la abertura en la mediana. Para las barreras semirrígidas se cuenta con una serie de diseños libres y patentados. La selección de un sistema en particular dependerá de las características de la zona de emplazamiento.

Terminales abocinados

En los costados del camino o en medianas con anchos importantes el extremo de la barrera puede ser retranqueado llevándolo fuera de la zona despejada y sin requerir elementos adicionales de seguridad. Las tasas de abocinamiento son las mismas que las indicadas para barreras laterales

La longitud mínima de las terminales abocinadas será del orden de los 16 m y la separación entre postes será igual al del tramo normal.

El abocinamiento puede ser recto siguiendo las tasas recomendadas en la Tabla 7.10, o puede ser parabólico siguiendo la función $y = x^2/200$, Figura 7.44

Terminales Abatidos (NO RECOMENDABLE)

Consiste en reducir paulatinamente la altura de la barrera hasta llegar al nivel del terreno y anclándola a postes con placa o a una masa de hormigón para lograr la resistencia a la tracción.

Existen diseños de abatimiento corto, largo, con conexiones débiles entre la viga abatida y sus postes, y con rotación de viga. Todos eliminan el riesgo de penetración de la viga dentro del compartimiento de pasajeros, pero el diseño abatido puede funcionar como rampa, ocasionando que el vehículo salte o vuelque, por lo cual no se recomienda su uso.

La bibliografía internacional limita su utilización a velocidades menores que 70 km/h como una solución de bajo costo.



Terminales Abocinados y Abatidos

Es una forma de alejar la terminal reduciendo la posibilidad de choque, y si este ocurriera se reduce el riesgo de penetración de la viga, pero siempre existe la posibilidad que funcione como rampa.

Terminales Abocinados y Empotrados

El diseño consiste en empotrar el extremo de la barrera en el talud natural o artificial que exista en el costado del camino o en la mediana, cuidando que éste quede firmemente anclado y a la misma altura normal que el resto de la barrera. Este tipo de terminal es el más seguro de los tratamientos de extremos de barreras, siempre y cuando el empotramiento se realice en forma adecuada.

Este tipo de solución es aconsejable para barreras semirrígidas y rígidas con las siguientes consideraciones de diseño:

- Mantener la altura normal de la barrera a lo largo del abocinamiento,
- Utilizar una adecuada tasa de abocinamiento
- Cuidar el diseño del terreno adyacente para reducir los movimientos verticales de los vehículos. Recomendado talud 1:10 y con las cunetas minimizadas o eliminadas
- Para las barreras semirrígidas se debe asegurar el correcto empotramiento en el talud

Se desaconseja el uso de los espaldones de tierra porque los ensayos demuestran que se producen vuelcos de los vehículos que los transitan a velocidades mayores que 50 km/h.

Terminales Comerciales

Los terminales comerciales en general tienen la apariencia de una barrera normal de viga W, anclada en el extremo para no ser traspasable conteniendo y redireccionando los choques laterales. Ante impactos frontales presentan una placa para impedir la penetración del extremo de la barrera en habitáculo, mientras que los postes y la viga W tienen un mecanismo de deformación controlado para detener el vehículo de forma segura.

En la Tabla 7.12 se listan algunos de los sistemas comerciales de uso internacional.

Un caso particular para empleo en tratamiento de extremos de hormigón es el sistema comercial ADIEM II que disipa la energía cinética durante el impacto, comprimiendo o aplastando módulos de hormigón liviano, los cuales son fabricados mediante la incorporación al hormigón de esferas de poliestireno expandido. Este



materiales es prefabricado y moldeado en módulos reforzados con malla de alambre y cubiertos con material adecuado para prevenir la penetración de agua, no se construye in situ. La mezcla para los terminales de esta barrera se diseña y se controla de tal manera que se puede asegurar la desaceleración controlada. Son recomendados para estaciones de peaje y en particular para las vías de telepeaje.

Tabla 7.12 Tratamiento de extremo a prueba de choque

Tratamiento de extremo	NCHRP R 350 TL	Ancho del sistema	Largo del sistema	Figura N°
Cable Terminal Tres Hilos	TL-3	1,2 m aboc.	N/A	Figura 7.46
Terminal de Viga Cajón Wyoming	TL-3	0,6 m	15,2 m	Figura 7.47
Barrera Anclada en Contratalud	TL-3	N/A	N/A	Figura 7.48 Figura 7.49
Eccentric Loader Terminal (ELT)	TL-3	0,5 m más 1,2 m aboc.	11,4 m	Figura 7.50
Terminal (SRT-350) Baranda Ranurada	TL-3	0,5 m más 1,2 m aboc. o 0,5 m más 0,9 m aboc.	11,4 m	Figura 7.51
Terminal (BEST) Viga de Acero	TL-3	0,5 m	11,4 m 15,2 m	Figura 7.52
Tratamiento Terminal Inclinado de Hormigón	N/A	0,6 m	6 m a 12 m	Figura 7.53

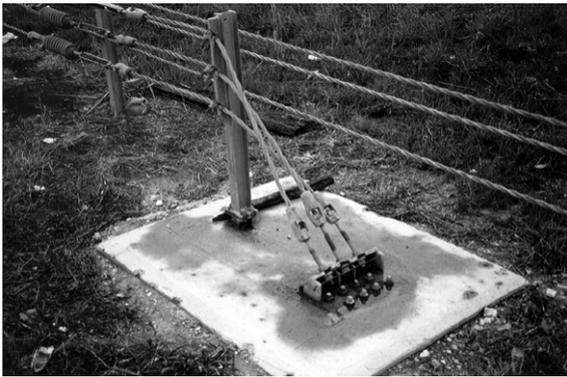


Figura 7.46

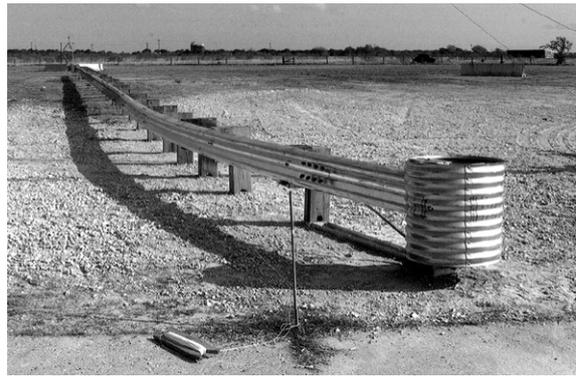


Figura 7.50



Figura 7.47



Figura 7.51



Figura 7.48



Figura 7.52



Figura 7.49



Figura 7.53

7.10 AMORTIGUADORES DE IMPACTO

Son recomendados para proteger los extremos de barreras u objetos fijos en las narices de ramas de salida donde el tránsito circula a ambos lados y en el mismo sentido o en la mediana con tránsitos de distinto sentido.

Los amortiguadores de impacto son diseñados para vehículos livianos, porque se requeriría de un espacio considerable para poder ubicar un equipo capaz de disipar la energía de vehículos pesados sin generar desaceleraciones no compatibles con vehículos pequeños.

La Resolución DNV 423/02 indica que para aceptar su uso en la Red Nacional de Caminos, un amortiguador de impacto debe cumplir con los ensayos indicados en el *NCHRP Report 350 TL-3* y/o EN 1317 Nivel 110 para instalaciones permanentes o el *NCHRP Report 350 TL-2* y/o EN 1317 Nivel 80 para instalaciones transitorias.

7.10.1 Clasificación

Se clasifican en tres grupos:

- sin capacidad de redireccionamiento (AB).
- con capacidad de redireccionamiento – Penetrables (AR-P).
- con capacidad de redireccionamiento – No Penetrables (AR-NP).
- Móviles (AM).

[7 ANEXO]

7.11 SEGURIDAD Y ECONOMÍA

Si bien los mejoramientos de la seguridad vial redundan en beneficios que no pueden expresarse acabadamente en términos de dinero, la conveniencia o rentabilidad económica debe proveer un conjunto de indicadores económicos y de eficiencia, y proveer al proyectista una herramienta que le permita determinar en forma *cuantitativa* cuál es el beneficio aproximado que obtendrá la sociedad con la incorporación de tales mejoramientos.

7.11.1 Evaluación de los beneficios económicos de medidas de seguridad

Como en las pólizas de seguro de vida, no se pretende establecer juicios taxativos sobre aspectos tan amplios y complejos como el valor de una vida humana, sino simplemente indicar los principales lineamientos que pueden seguirse para evaluar y llegar a justificar, desde el punto de vista económico, la conveniencia o no de incluir una determinada medida de seguridad en términos de indicadores tales como la relación Beneficio/Costo, Valor Actualizado Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR), ampliamente utilizados en la evaluación económica de proyectos. Así, se incorporan y adaptan conceptos extractados de diversos estudios que tratan sobre el tema a nivel internacional.

En términos generales, la eficiencia de una política de seguridad vial está directamente relacionada con la adopción de las medidas que permitan alcanzar los mejores resultados en función de los problemas de seguridad existentes, con el mínimo empleo de recursos requeridos para su construcción.

Es decir, que las mejores medidas de seguridad vial no son necesariamente las que generen los mayores beneficios o los menores costos, sino las que permitan obtener los mayores réditos por cada peso invertido.

Los principales métodos para evaluar la adopción de medidas de seguridad en caminos son el Análisis de Costo – Efectividad (ACE) y el Análisis de Costo-Beneficio (ACB). A través de estos procedimientos, es posible identificar las mejores medidas de seguridad vial, en función de sus beneficios netos y de su efectividad práctica en la reducción de accidentes, muertes, lesionados y daños materiales.

Análisis de Costo – Efectividad (ACE)

El ACE expresa los beneficios en términos de reducción en la cantidad o severidad de accidentes, independientemente del valor que puede asignarse monetariamente a dichos beneficios: De esa manera, diferentes medidas de seguridad vial pueden ser evaluadas y jerarquizadas relacionando sus respectivos costos de inversión con los beneficios esperables, los cuales no se expresan en términos monetarios, y es posible establecer un “ranking” o lista priorizada de posibles medidas de seguridad, ordenando de menor a mayor dichas medidas en función de su relación costo - efectividad.

Los costos totales de cada medida de mejoramiento de la seguridad deben incorporar la inversión inicial y los correspondientes costos de operación y mantenimiento, actualizándolos mediante el método del VAN para determinar el costo total actualizado al año base de la evaluación.

Posteriormente, se estiman los beneficios de adoptar dicha medida, en términos de un indicador de la efectividad alcanzada; p. ej. la reducción esperada en la cantidad de accidentes totales.

La razón efectividad-costo (REC) se calcula finalmente como:

$$REC = EF / CTA$$

Donde EF es la efectividad esperable, y CTA es el costo total actualizado de la adopción de la medida de seguridad. Es decir, REC indica las “unidades de efectividad” que se obtienen por unidad monetaria invertida. De esa forma, se pueden establecer grados de efectividad de diferentes medidas de seguridad y comparar cuáles presentan mayores valores de REC.

La principal ventaja de esta técnica es que evita tener que asociar valores monetarios a los beneficios esperables, lo cual en el caso de accidentes siempre es un tema muy complejo y delicado. Sin embargo, tiene la desventaja que requiere establecer una base común para cuantificar la efectividad, lo cual impide establecer una priorización que sea verdaderamente representativa de los beneficios reales de diferentes medidas de seguridad.

Por ejemplo, una determinada medida que sea superior a otra en términos de reducción de accidentes totales, puede no serlo sobre la reducción de accidentes fatales, o de accidentes con lesiones graves. De esa manera, la priorización en función del valor de REC queda necesariamente vinculada a la forma en la que se cuantifique la efectividad, y eso relativiza notoriamente la conveniencia comparativa entre distintas medidas de seguridad.

Análisis Costo – Beneficio (ACB)

Este procedimiento, por su parte, permite comparar directamente costos actualizados de inversión versus beneficios asociados a reducción de accidentes, en ambos casos expresados en términos monetarios. Existen diversos indicadores económicos de amplio uso en la evaluación de proyectos, tales como el Valor Actualizado Neto, VAN (también llamado Valor Presente Neto, VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), o la Relación Beneficio-Costo (RBC).

En todos los casos, dichos indicadores se calculan a partir de los flujos esperados de costos y beneficios a lo largo de la vida útil o período de evaluación de la medida en estudio, y su determinación puede hacerse directamente usando planillas electrónicas de cálculo, que ya incorporan las ecuaciones de cálculo correspondientes.

Otro indicador frecuentemente usado en la evaluación de mejoramientos de seguridad vial es la Tasa de Retorno del Primer Año (TRPA), que se calcula como sigue:

$$TRPA = RCAPA * 100 / CTA$$

Siendo RCAPA la reducción en el costo total de los accidentes en el primer año de adopción de la medida, es decir, la cuantificación de los beneficios asociados a su adopción, y CTA es costo total actualizado, tal como se definió para el análisis ACE.

Cuando la TRPA resulta menor que la tasa anual de descuento habitualmente utilizada (12%, en el caso de Argentina, cuando se trata de evaluación social de proyectos), entonces la medida no resulta económicamente conveniente. Si por el contrario TRPA es superior a la tasa de referencia, entonces es factible considerarla en la comparación con otras medidas alternativas que también cumplan dicha premisa, las cuales se ordenan en forma decreciente según el valor de TRPA en cada caso, siendo la mejor medida aquella que tenga la TRPA más elevada.

Este indicador no considera las corrientes de beneficios posteriores al primer año, y por lo tanto debe ser empleado sólo para un nivel preliminar del análisis, para una jerarquización de medidas alternativas a “grosso modo”.

La desventaja del análisis de beneficio-costo es la necesidad de asignar valores monetarios suficientemente válidos y confiables para los beneficios esperables. Se debe para ello valorizar los costos de los accidentes, en términos de muertes, lesionados graves y leves, y daños materiales, y tener en cuenta otros efectos adicionales que puedan generarse por la adopción de la medida de seguridad, tales como impactos medioambientales, cambios en los costos operacionales de vehículos y tiempos de viaje.

Existen diferentes metodologías para estimar todos estos tipos de costos, en particular los costos asociados a los accidentes, que introducen en la determinación de los mismos los costos médicos y hospitalarios, la pérdida de productividad futura, las pérdidas materiales, los costos policiales y de servicios de rescate (ambulancias, bomberos), los seguros, los costos legales.

Dependiendo de la organización que haga la estimación, pueden obtenerse múltiples valores de referencia para dichos costos, ya sea globales (costo medio de un accidente) o diferenciados (costo medio de accidente grave, costo medio de accidente fatal, valor estadístico de la vida humana).

A modo de ejemplo, se dispone de estudios a nivel internacional que han establecido ecuaciones de referencia para estimar el valor estadístico de la vida humana (VEV) en cada país, en función del Producto Interno Bruto per cápita (PIBc).

En [7 ANEXO] la expresión adoptada por el Programa Internacional de Evaluación de Carreteras (*International Road Assessment Program, iRAP*).

7.11.2 Factores de Modificación de Accidentes y de Reducción de Choques

Factores de Modificación de Accidentes (AMF) o Factores de Modificación de Choques (CMF)

La aplicación de metodologías de evaluación de la conveniencia de adoptar medidas de seguridad en un proyecto en la Argentina se enfrenta hasta ahora con el problema esencial de carecer de adecuadas estadísticas sobre los accidentes y el análisis de sus eventuales causas.

Por ello se deben adoptar procedimientos desarrollados en estudios internacionales, y tratar de adaptarlos a las condiciones propias, para ir elaborando procedimientos basados en estudios propios, en la medida en que se vaya disponiendo de información suficientemente confiable y en la cantidad necesaria.

Para cuantificar los beneficios que puedan esperarse de la adopción de determinadas medidas de seguridad vial, tanto en la etapa de verificación de la coherencia y coordinación planialtimétrica y de la sección transversal, como en la evaluación de un proyecto destinado a mejorar las condiciones de seguridad de un camino ya existente se propone adoptar el método de los factores de modificación de accidentes (*Accident Modification Factors, AMFs*).

Este método, basado en experiencias desarrolladas por estudios norteamericanos, permite estimar la reducción de accidentes que puede generarse a partir de la construcción de un determinado mejoramiento o conjunto de mejoramientos de seguridad vial en proyectos específicos, y está incorporado como metodología dentro del Modelo Interactivo para la Seguridad en el Diseño Vial (*Interactive Highway Safety Design Model, IHSDM*) desarrollado en los Estados Unidos como herramienta computacional para el análisis del impacto de la adopción de determinadas premisas de diseño sobre la seguridad en el proyecto vial.

Conceptualmente, los efectos de una determinada medida en la seguridad pueden expresarse en términos de la relación existente entre la cantidad de accidentes N_a estimada en la situación base (es decir, antes de construir la medida, o bien si no se construye), y la cantidad de accidentes luego de construir la medida (N_d). Los factores de modificación de accidentes AMF se definen como:

$$AMF = N_d / N_a$$

Este cociente está intrínsecamente ligado a las condiciones que se definan como “situación base”, ya que el efecto de distintas medidas alternativas debe compararse siempre sobre una misma situación base para mantener coherencia en los resultados. Por ejemplo, es sabido que la probabilidad de ocurrencia de accidentes en un camino de dos carriles y dos sentidos se va incrementando a medida que se adoptan menores anchos de carril, pero ¿cuál es el ancho que se considera como “situación base”? Convencionalmente, se ha adoptado el ancho estándar de carril (12 pies, o 3,65 m), como el valor correspondiente a la “situación base”.

Bajo ese criterio, menores anchos de calzada tendrán valores de AMF superiores a 1, dado que es esperable que se produzcan más accidentes a medida que el ancho de carril se vaya reduciendo. Asimismo, para un ancho de carril determinado, es esperable que aumente la probabilidad de ocurrencia de accidentes a medida que el tránsito (TMDA) se incrementa. Ello implica que los valores de AMF para cada ancho de carril también estarán en función del tránsito existente.

Todas estas consideraciones están recogidas en las pautas que se adoptan para el software IHSDM, dentro del cual se ha considerado un importante número de aspectos relacionados con el diseño vial y los efectos de adoptar diferentes alternativas (pendientes, radios de curvas horizontales, peraltes, anchos de carril, anchos de cancheros centrales o medianas, etc.) en términos de los factores AMF.

Los valores adoptados en el IHSDM para los factores AMF en función de diversos parámetros de diseño pueden adoptarse como una aproximación preliminar, para evaluar el efecto de alternativas de diseño sobre la seguridad en proyectos a realizarse en los caminos argentinos, teniendo siempre en cuenta que la confiabilidad en la aplicación de este criterio de análisis se irá mejorando paulatinamente a medida que se vaya contando con estudios a nivel nacional que permitan adaptar y ajustar a las condiciones locales los valores propuestos “por defecto” en el método original.

Factores de Reducción de Accidentes (CRF)

La bibliografía internacional también presenta otro factor a través del cual se pretende cuantificar el efecto de una medida de seguridad, pero que está íntimamente relacionado con el correspondiente factor AMF. Se trata del Coeficiente de Reducción de Accidentes (*Crash Reduction Factor*, CRF), que se define de la siguiente manera:

$$CRF = 1 - (N_d / N_a)$$

Es decir, que CRF cuantifica la proporción en que se reduce o incrementa la cantidad de accidentes al construir una determinada medida, también sobre una cierta situación base.

Relación entre AMF y CRF

Reemplazando valores:

$$AMF = CRF - 1$$

Ambos conceptos son entonces conceptualmente equivalentes, aunque semánticamente es más apropiado hablar de “modificación” en la cantidad de accidentes por la aplicación de una determinada medida, que de “reducción”, ya que no necesariamente se obtendrá siempre una reducción al adoptar una determinada medida. Por ello, las publicaciones internacionales recomiendan adoptar AMF en lugar de CRF, por ser un concepto más amplio.

7.11.3 Método para estimar el impacto de medidas de seguridad vial

La determinación del impacto de una determinada medida sobre la seguridad en el diseño, por lo tanto, en términos del cambio esperado en la cantidad de accidentes, se puede cuantificar de la siguiente manera:

$$N_d = AMF * N_a$$

Y si se cuenta con valores orientadores de AMF para adoptarlos en la evaluación de la medida, extractándolos por ejemplo de la metodología IHSDM, para obtener una estimación de la cantidad de accidentes luego del mejoramiento (N_d), se debe primero contar con una estimación de la cantidad de accidentes antes del mejoramiento.

La bibliografía internacional indica que no resulta estadísticamente correcto adoptar directamente como N_a la cantidad de accidentes históricamente registrada en el lugar, ya que está comprobado que estadísticamente esto resulta sesgado para estimar apropiadamente la cantidad de accidentes esperable en la situación base. Lord y Bonneson proponen un método para estimar N_a bajo dos escenarios, uno en el cual no se cuenta con información histórica de accidentes, y otro en el que sí se cuenta con dicha información.

En [7 ANEXO] la expresión para estimar el valor N_a cuando no se tienen datos históricos.

Una vez calculado N_a , se lo multiplica por el correspondiente factor AMF (inicialmente valores de otros países y después valores más apropiados y adaptados a condiciones locales que puedan determinarse para los caminos argentinos), y obtener la cantidad esperable de accidentes luego de aplicar una determinada mejora:

$$N_d = N_a \text{ AMF}$$

Cuando se analiza una combinación de varias medidas de seguridad que podrían adoptarse simultáneamente, para obtener el efecto combinado de todas ellas sobre la cantidad de accidentes esperable luego del mejoramiento se debe multiplicar a N_a por el producto de los factores AMF_i correspondientes a cada una de las “i” medidas a adoptar:

$$N_d = N_a \text{ AMF}_1 \text{ AMF}_2 \dots \text{AMF}_n$$

Para evaluar un período de varios años se deberán calcular los correspondientes valores de N_a para cada año (fundamentalmente variarán según el crecimiento del tránsito expresado como TMDA), y luego calcular los valores de N_d tal como se indica en las ecuaciones arriba indicadas, manteniendo constantes los valores de AMF a lo largo del período analizado.

7.11.4 Análisis económico de medidas de seguridad vial

Para realizar la evaluación económica, es necesario asignar valores monetarios a los costos de los accidentes, ya sea adoptando un valor representativo global, o bien discriminando según tipo de accidente (sólo daños materiales, con heridos leves, con heridos graves, o fatal), lo cual dependerá de la disponibilidad de información sobre las proporciones de cada tipo de accidente en relación al total, y de los costos medios unitarios por tipo de accidente.

En general, se puede disponer aunque sea en forma aproximada de porcentuales por tipo de accidente, a nivel nacional, regional o local, sobre la base de los registros policiales o a estudios realizados por organizaciones especializadas en el tema. El uso de información de este tipo es relativamente aceptable cuando se analicen proyectos futuros, pero al evaluar las condiciones de seguridad en tramos viales ya existentes, lo más apropiado es tratar de conseguir la información correspondiente al lugar analizado, ya que el uso de estadísticas globales puede arrojar resultados completamente alejados de la realidad. Sobre los costos unitarios por tipo de accidente, en cambio, es más razonable utilizar valores estadísticos medios, ya que salvo situaciones muy puntuales en general la probabilidad de sufrir un accidente abarca en forma homogénea a todos los sectores de la sociedad.

Contando con la información obtenida en los pasos anteriores, se determinan los costos asociados a las situaciones “sin proyecto” (sobre la base de los valores de N_a), y para la situación “con proyecto” (considerando el valor actualizado total CTA de la inversión en los mejoramientos, y usando los valores estimados de N_d), para todos los años del período de análisis.

De esta forma se construyen los flujos de costos para ambos escenarios, y se calculan los beneficios relativos de la situación “con proyecto” sobre la situación base, pudiéndose determinar posteriormente los indicadores económicos convencionales tales como VAN, TIR, RBC, TRPA, etcétera.

Las medidas individuales de mejoramientos de la seguridad, o combinaciones simultáneas que presenten los mejores indicadores económicos serán las que en definitiva tendrán mayor prioridad o jerarquía al momento de seleccionar la que efectivamente se incluirán en el proyecto final.

7.12 LISTA DE VERIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD DEL DISEÑO

Las Listas de Verificación de aspectos de seguridad vial del Diseño Vial procuran incitar la revisión de los aspectos de seguridad vial en las distintas etapas del proyecto; no sustituyen el conocimiento y experiencia del proyectista: son una ayuda para la aplicación del conocimiento y experiencia, y ayudan a no dejar pasar por alto algo importante.

La lista de verificación de la seguridad del Diseño Geométrico incluida en [7 ANEXO] se adaptó de la Lista 3, Etapa de Diseño Detallado de *Road Safety Audit* Segunda Edición 2002. Austroads, Australia.

7.13 BIBLIOGRAFÍA PARTICULAR DE CONSULTA

Sitios Web: Consultados durante la Actualización 2009-10

7.13.1 En español o traducciones al español desde el inglés

SEGURIDAD CALZADA Y COSTADOS

- 1.01 DNV – Argentina 2007
Manual de Diseño Vial Seguro
- 1.02 DNV – Argentina 2007
Manual de Prácticas Inadecuadas de Seguridad Vial - Propuesta de Mejoras
- 1.03 DNV – Argentina 2002
Resolución 423/02. Recomendaciones sobre Sistemas de Contención de Vehículos. Sección Amortiguadores de Impacto
- 1.04 ANI – Argentina 2001
Peligros en la Calzada y Costados del Camino
- 1.05 XIV CAVyT – Argentina 2005
La Temible Caída del Borde de Pavimento
- 1.06 XV CAVyT – COPAIPA Argentina 2009 - 2008
Ironías Siniestras en Nuestros Caminos y Temas Conexos Defectos Viales y Sus 7 Probables Consecuencias
- 1.07 PROVIAL – Argentina 2002
Las Franjas Sonoras (Rumble Strips) de Bajo Costo, Salvan Vidas!
- 1.08 EGIC (DNV – UBA) - Argentina 1999
Proyecto de Costados del Camino Seguros- Stonex 1960
- 1.09 DNV – Chile 2005
Manual de Carreteras – Volumen 6 Seguridad Vial
- 1.10 FHWA – EUA 1986
Roadside Improvements for Local Roads and Streets
<http://www.fhwa.dot.gov/tfhrc/safety/pub/00002/00002.pdf>
- 1.11 FHWA – EUA 1998
Improving Highway Safety at Bridges on Local Roads and Streets
<http://www.fhwa.dot.gov/tfhrc/safety/pub/98083/98083.pdf>
- 1.12 FHWA – EUA 2006
Low Cost Treatments for Horizontal Curve Safety
<http://safety.fhwa.dot.gov/index.cfm>
http://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/horcurves/fhwasa07002/index.cfm
- 1.13 FHWA Public Roads – EUA 2005
Low-Cost Safety Improvements for Horizontal Curves
<http://www.tfhrc.gov/pubrds/09mar/05.htm>
- 1.14 FHWA Safety COMPASS – EUA 2009
Highway Safety Solutions for Saving Lives
<http://safety.fhwa.dot.gov/newsletter/safetycompass/2009/fall09/>
- 1.15 TRB – D. O'Connell Universidad Cork - Irlanda 1995
The relationship between geometric design standards and safety
<http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/circulars/ec003/ch44.pdf>
- 1.16 TRB Circular E-C03 8 – EUA 2002
Standards for Testing, Evaluating, and Locating Roadside Safety Features
<http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/circulars/ec038/ec038.pdf>
- 1.17 TRB – EUA 2004
Utilities and Roadside Safety

- 1.18 NCHRP Report Synthesis 339 – EUA 2005
Centerline Rumble Strips
http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sar/sar_9.pdf
- 1.19 NCHRP Report 500 – EUA – 2003/09
Guidance for Implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan
http://144.171.11.107/Main/Blurbs/NCHRP_Report_500_Guidance_for_Implementatio_n_of_th_152868.aspx
- 1.20 NCHRP Report 641 Appendix D – EUA 2009
Guidance for the Design and Application of Shoulder and Centerline Rumble Strips
<http://144.171.11.40/cmsfeed/TRBNetProjectDisplay.asp?ProjectID=458>
- 1.21 NCHRP 15-27 TRB Paper – EUA 2008
Safety Impacts of Design Element Trade-Offs
https://ceprofs.civil.tamu.edu/dlord/Papers/Stamatiadis_et_al._NCHRP_15-27_TRB%20Paper.pdf
- 1.22 NEW BRUNSWICK University – EUA 2009
Relating Roadside Collisions to Highway Clear Zone Width
<http://www.unb.ca/transpo/documents/RelatingRoadsideCollisionstoHighwayClearZoneWidth.pdf>
- 1.23 RISER – Europa 1998/2002
Roadside Infrastructure for Safer European Roads
<http://www.irfnet.eu/images/riser/RISER%20D05-Summary%20of%20roadside%20design%20guidelines.pdf>
- 1.24 RIPCORD – ISEREST – Europa 2007
Reducción de Choques Frontales y por Salida desde la Calzada
http://ripcord.bast.de/pdf/RI-BASSt-WP3-R2-Measures_HO_and_ROR_Accidents.pdf
<http://ripcord.bast.de/pdf/III-1%20-%20SER%20-%20Stefan%20Matena%20-%20BASSt.pdf>
- 1.25 DIER – Tasmania
Road Hazard Management Guide
http://www.transport.tas.gov.au/road/road_hazard_management_guide
- 1.26 TIC WISCONSIN – EUA 1996
SAFER Manual – Safety Evaluation for Roadways
http://epdfiles.engr.wisc.edu/pdf_web_files/tic/other/SAFER_96.pdf
- 1.27 U of A – EUA 2004
Clear Zone
- 1.28 FLORIDA DOT – EUA 2003
Roadside Safety
- 1.29 IOWA State University CE 453 – EUA
Context Sensitive Design
<http://www.ctre.iastate.edu/educweb/ce550/Lectures/Context%20Sensitive%20Design.ppt#280>
- 1.30 IOWA DOT - 2002
Clear zones – Roadside Design
<ftp://165.206.203.34/design/dmanual/08b-01.pdf>
<ftp://165.206.203.34/design/dmanual/08b-02.pdf>
<ftp://165.206.203.34/design/dmanual/08b-03.pdf>
<ftp://165.206.203.34/design/dmanual/08b-04.pdf>
- 1.31 PIARC – Francia 1991
Safety Improvements on Interurban Roads
http://publications.piarc.org/ressources/publications_files/2/985_04-01-B.PDF
-

- 1.32 TRL CASE – 2001
Horizontal Curves
http://www.transport_links.org/transport_links/filearea/publications/1_810_CaSE_2.pdf
- 1.33 KTC University of Kentucky – EUA 2004/6
Evaluation of the Effectiveness of Pavement Rumble Strips
http://www.ktc.uky.edu/Reports/KTC_08_04_SPR_319_06_1F.pdf
- 1.34 PARSONS – EUA
Relation Between Lane Width and Speed – Review of Relevant Literature
http://www.arlingtonva.us/Departments/CPHD/forums/columbia/pdf/lane_width.pdf
- 1.35 TRS – Escocia
Rural Road Safety – A Literature Review
<http://www.scotland.gov.uk/Resource/Doc/55971/0015841.pdf>
- 1.36 CALIFORNIA DOT – EUA 2007
Traffic Manual – Chp7 Traffic Safety Systems
<http://www.dot.ca.gov/hq/traffops/signtech/signdel/chp7/chap7.htm>
- 1.37 VIRGINIA U – TRB
Safety Effects of Differential Speed Limits on Rural Interstate Highways
<https://commerce.metapress.com/content/d848042451264251/resource-secured/?target=fulltext.pdf&sid=uajlff2jrnfc0vxnxc42x&sh=trb.metapress.com>
- 1.38 MONASH U
Bridges and Culverts Hazards – Tips of Ogden
- 1.39 COLORADO DOT – EUA 2006
Safety and Traffic Engineering - Chp20 Safety And Traffic Engineering
<http://www.dot.state.co.us/designSupport/Design%20Guide%202005/DG05%20Ch%2020%20Safety%20and%20Traffic%20Engineering.pdf>
- 1.40 NCHRP – AASHTO – MISSOURI DOT – BERKELEY – CSS – TFHRC – MONTANA DOT – PUBLIC ROADS – GLENNON – USA – EUROPE – AUSTRALIA - MAPFRE - DUMBAUGH
Roadside Safety – Clear Zone
- BARRERAS
- 2.01 X CAVyT – EGIC Argentina 1985/86
Justificación y Proyecto de las Barreras de Seguridad
- 2.02 XV CAVyT – Argentina 2009
Actualización en el diseño de las Barandas en los Puentes Carreteros
- 2.03 DBVA – Argentina 2006
Las Barandas en los Puentes Carreteros- Estática y Estética
<http://www.vialidad.gba.gov.ar/datos/biblioteca/Las%20Barandas%20en%20los%20Puentes%20Carreteros.pdf>
- 2.04 EGIC (DNV – UBA) – Argentina 2000
Apuntes sobre la Barrera de Hormigón Tipo New Jersey
- 2.05 DNV – Chile 2001
Instructivo Sistemas de Contención Vial
http://www.vialidad.gov.cl/areasde_vialidad/seguridad_vial/normas/iscv/INSTRUCTIVO.htm
- 2.06 ANI – Argentina 2000
Punto de Vista de los Usuarios acerca de la Seguridad de los Puentes
- 2.07 NCHRP Report 350 – EUA 1993
Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features
- 2.08 NCHRP 638 – EUA 2009
Guidelines for Guardrail Implementation
http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_638.pdf
- 2.09 NCHRP Report 244 Synthesis TRB NRC – EUA 1997

- Guardrail and Median Barrier Crashworthiness**
<http://pubsindex.trb.org/view.aspx?id=576089>
- 2.10 ALBERTA – Infrastructure and Transportation - Canadá Noviembre 2009
Roadside Design Guide
<http://www.transportation.alberta.ca/3451.htm>
- 2.11 MARYLAND DOT – EUA 2006
Guidelines for Traffic Barriers
http://www.sha.maryland.gov/ohd/Guidelines_for_Traffic_Barrier.pdf
- 2.12 TRB – EUA 2006
Transition from Guardrail to Concrete Bridge Rail for Low-Speed Roadways
<http://trb.metapress.com/content/20320136xg36618j>
- 2.13 WISCONSIN DOT - EUA
Facilities Development Manual - Traffic Barriers and Crash Cushions
<http://roadwaystandards.dot.wi.gov/standards/fdm/11-45-001.pdf>
- 2.14 FHWA – EUA 2005
Barrier Guide for Low Volume and Low Speed Roads
http://www.cflhd.gov/techDevelopment/completed_projects/safety/barrier/index.cfm
- 2.15 FHWA – EUA 2001
Guardrail Transitions
<http://www.vti.se/epibrowser/publikationer/k18apart1.pdf>
- 2.16 FHWA Caltrans – EUA 2005
Bridge Rail Guide 2005
<http://www.fhwa.dot.gov/bridge/bridgerail/>
- 2.17 MONASH UNIVERSITY – Australia 1989
Crashes at Bridges and Culverts. Odgen, K W
- 2.18 TFHRC McDevitt – EUA 2000
Basics of Concrete Barriers
<http://tfhrc.gov/pubrds/marapr00/concrete.htm>
- 2.19 AUBURN University – EUA
Longitudinal Concrete Barrier Systems
- 2.20 JOHN GLENNON – EUA 2002
A New Concept for Determining Guardrail Length of Need
<http://www.crashforensics.com/papers.cfm?PaperID=5>
- 2.21 UNLP – Argentina 2001
Monografía: **Sistemas de Contención de Vehículos – Barreras de Seguridad**
- 2.22 MONASH U – Australia 2005
Roadside Hazard and Barrier Crashworthiness Issues Confronting Vehicle and Barrier Manufacturers and Government Regulators.
<http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv19/05-0149-O.pdf>
- 2.23 NEBRASKA U TRB – EUA
Approach Guardrail Transition for Concrete Safety Shape Barriers
<http://www.engineering.unl.edu/specialty-units/mwrsf/Publications.shtml>
- 2.24 MISSOURI DOT – EUA 2009
Guardrail
http://epg.modot.org/index.php?title=606.1_Guardrail
- 2.25 IDAHO ITD – EUA 2006
Design Manual – Section 500 Design Guidelines and Standards
http://itd.idaho.gov/manuals/Online_Manuals/Current_Manuals/Design%20Manual/500.pdf
-

- 2.26 Mn/DOT - Minnesota 2001
Road Design Manual – Chapter 10 Traffic Control Devices and Traffic Barriers
<http://www.dot.state.mn.us/design/rdm/english/10e.pdf>
<http://www.dot.state.mn.us/design/rdm/metric/10m.pdf>
- 2.27 WASHINGTON DOT – EUA 2005
Median Barrier Guidelines - Revision to Chapter 6 of the Roadside Design Guide
[http://www.transportation.org/sites/aashtotig/docs/Washing%20State%20-%20Median%20Barrier%20Guidelines%20\(Presentation%20to%20AASHTO%20SCOD%206-2006\).pdf](http://www.transportation.org/sites/aashtotig/docs/Washing%20State%20-%20Median%20Barrier%20Guidelines%20(Presentation%20to%20AASHTO%20SCOD%206-2006).pdf)
- 2.28 AASHTO – EUA 2006
Roadside Design Guide – C6 Median Barriers

SEGURIDAD Y ECONOMÍA

- 3.01 ISEV – Argentina 2008
Costos de la Accidentología Vial de la Argentina
- 3.02 ISEV – Argentina 2008
Quinto Reporte Mercosur y Tercer Latinoamericano de Siniestralidad Vial
- 3.03 MONASH University – 2004
Cost-effective Infrastructure Measures on Rural Roads
<http://www.monash.edu.au/muarc/reports/muarc217.html>
- 3.04 MONASH University – 1992
Cost-Effective Infrastructure Measures On Rural Roads
<http://www.monash.edu.au/muarc/reports/muarc217.pdf>
- 3.05 TRB NCHRP 633 – EUA 2009
Impact of Shoulder Width and Median Width on Safety
http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_633.pdf
- 3.06 WASHINGTON DOT&FHWA – EUA 2008
Cost Effective Safety Improvements On Two-lane Rural State Roads In Washington State
<http://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/695.1.pdf>
- 3.07 WASHINGTON University – EUA 2008
Cost Effective Safety Improvements for Two-Lane Rural Roads
http://www.transnow.org/publication/final-reports/documents/TNW2008-04_Wang.pdf
- 3.08 OREGON DOT - 2006
Update And Enhancement of Odot's Crash Reduction Factors
http://www.oregon.gov/ODOT/TD/TP_RES/docs/Reports/Crash_Reduction_Factors.pdf
- 3.09 ITRANS TAC - CANADA 2006
Managing Run-off-Road Collisions: Engineering Treatments with AMFs
<http://www.itransconsulting.com/Papers/Abstract/Safety/Managing%20Run-off-Road%20Collisions%20-%20Engineering%20Treatments%20with%20AMFs.pdf>

AUDITORÍAS DE SEGURIDAD VIAL

- 4.1 DNV – Argentina 2007
Normas de Auditoría 2da EDICIÓN
- 4.2 CARRETERAS AAC – Argentina 1999
Auditorías de Seguridad Vial en la Dirección Nacional de Vialidad
- 4.3 XII CAVyT – Argentina 1997
La Auditoría de la Seguridad Vial
- 4.4 AUSTROADS – Australia 2002
Road Safety Audit – Second Edition

- 4.5 FHWA – EUA 2006
Road Safety Audits
http://safety.fhwa.dot.gov/rsa/rsaguidelines/html/documents/FHWA_SA_06_06.pdf
- 4.6 NEW BRUNSWICK University – Canadá 1999
Road Audit Safety Guidelines
<http://www.unb.ca/transpo/rsa/RSAGuidelines.pdf>
- 4.7 FHWA ITE – EUA 2010
Road Safety Audits: Saving Lives Saving Money – ITE and Road Safety Audit: A Partnership for Traffic Safety – The Challenge
<http://www.roadwaysafetyaudits.org/>
- 4.8 ARGENTINA - AUSTRALIA – EUA
What Means Road Safety Audit? Ten Answers
(Goñi, Depaolo, Gómez, Rojas; FHWA, Rollhaus, Jiang, Morgan, Jordan, O'Brien, Donald, Main Roads, Bray, Navin, Zein, Nepomuceno, Ho, Díaz Pineda, Proctor)

7.13.2 En español – Archivos pdf en DVD Actualización 2010 C7 Bibliografía Particular de Consulta

SEGURIDAD CALZADA Y COSTADOS

1.01 DNV ManualDiseñoVialSeguro.pdf	1.21 NCHRP 15-27 D°G°&SV.pdf
1.02 DNV ManualPrácticasInadecuadas.pdf	1.22 UNB Choques&AnchoZD.pdf
1.03 DNV Resolución 423-02.pdf	1.23 RISER GuíasCaminomásSeguros.pdf
1.04 ANI PeligrosCalzadayCostados.pdf	1.24 RIPCORD-ISEREST CHFySDC.pdf
1.05 XICAVT TerribleCaídaBordePavimento.pdf	1.25 DIER ManejoPeligrosViales.pdf
1.06 XICAVT IroníasSiniestras&COPAIPA'08.pdf	1.26 WISCONSIN SAFER Manual .pdf
1.07 PROVIAL FranjasSonoras.pdf	1.27 U of A - ZonaDespejada'04.pdf
1.08 EICAM-EGIC SVD°G°&CDC-Stonex.pdf	1.28 FLORIDA DOT CDC Seguro.pdf
1.09 CHILE MC-C6SeguridadVial.pdf	1.29 IOWA SU DiseñoSensibleContexto.pdf
1.10 FHWA CDC Caminos&CallesLocales.pdf	1.30 IOWA DOT ZD&Lat&Med&Puente&Alc.pdf
1.11 FHWA MejorSV PuentesCaminos&CallesLocales.pdf	1.31 PIARC MejoramientosSV.pdf
1.12 FHWA SeguridadCurvaHorizontalResumen.pdf	1.32 TRL CASE SV CurvasHorizontales.pdf
1.13 FHWA PublicRoads MejorBajoCostoCurvasHor.pdf	1.33 KTC UK EfectividadFranjasSonoras.pdf
1.14 FHWA CaminosMásSeguros.pdf	1.34 PARSONS AnchoCarril&Velocidad.pdf
1.15 TRB RelaciónDiseño-Seguridad.pdf	1.35 TR5 Escocia Biblio SV.pdf
1.16 TRB NormasPruebaDispositivosCDC.pdf	1.36 CALIFORNIA DOT ManualSistemasSeguridad C7.pdf
1.17 TRB PostesSSPPResumen.pdf	1.37 VIRGINIA U LímiteV&SV.pdf
1.18 NCHRP339 FSCentrales.pdf	1.38 MONASH U PeligrosPuente&Alcantarilla.pdf
1.19 NCHRP500 RESUMEN PlanEstratégicoSV.pdf	1.39 COLORADO DOT SV&Ing. Trán.C20.pdf
1.20 NCHRP 641 APPENDIX D Rating-Riesgo.pdf	1.40 VARIOS CDC&ZD.pdf

BARRERAS

-  2.01 XCAVY T-EGIC Justificación & Proyecto Barreras.pdf
-  2.02 XCAVY T Barreras Puentes Carreteros.pdf
-  2.03 DVBA Barandas Puentes Carreteros.pdf
-  2.04 EGIC BRH NJ Apuntes.pdf
-  2.05 CHILE Instructivo Sistemas Contención Vial.pdf
-  2.06 ANI Seguridad Puentes.pdf
-  2.07 NCHRP 350 Vistazo.pdf
-  2.08 NCHRP 638 Instalación Barreras.pdf
-  2.09 NCHRP 244 Síntesis Validez Choque Barreras.pdf
-  2.10 ALBERTA RDG.pdf
-  2.11 MARYLAND Tratamiento Extremo Barrera.pdf
-  2.12 TRB Transición Barandas.pdf
-  2.13 WISCONSIN Barreras.pdf
-  2.14 FHWA Guía Barreras Caminos Bajo Vol & Vel.pdf

-  2.15 FHWA Transición Barrera.pdf
-  2.16 FHWA Caltrans Guía Baranda Puente '05.pdf
-  2.17 MONASH Choques Puentes Alcantarillas.pdf
-  2.18 TFHRC McDevitt BRH Principios Básicos.pdf
-  2.19 AUBURN University BRH .pdf
-  2.20 GLENNON LDN Baranda Defensa.pdf
-  2.21 UNLP Monografía Sistemas Barreras.pdf
-  2.22 MONASH U Tests Barreras & Barandas.pdf
-  2.23 NEBRASKA U Transición Baranda Barrera.pdf
-  2.24 MISSOURI DOT Guardrail.pdf
-  2.25 IDAHO Barreras & Barandas & ZD.pdf
-  2.26 MNDOT Barreras.pdf
-  2.27 WASH DOT Rev. C6 RDG Barrera Mediana.pdf
-  2.28 AASHTO RDG C6 Barreras Mediana.pdf

SEGURIDAD Y ECONOMÍA

-  3.01 ISEV Costos Accidentes 2008.pdf
-  3.02 ISEV Siniestralidad Mercosur.pdf
-  3.03 MONASH Efectividad Costo.pdf
-  3.04 NCHRP 633 Anchos Banq & Med SV.pdf
-  3.05 WASH DOT C-E Mejor SV.pdf
-  3.06 WASH Un C-E Mejor SV.pdf
-  3.07 OREGON DOT Crash Red Factors.pdf
-  3.08 ITRANS SDC & AMFs.pdf
-  3.09 MONASH B-C Banq Pav.pdf

AUDITORÍAS SEGURIDAD VIAL

-  4.1 DNV Normas Auditoría 2ª Ed. '07.pdf
-  4.2 CARRETERAS AAC '99 DNV ASV.pdf
-  4.3 XIICAVT Auditorías SV.pdf
-  4.4 AUSTRROADS Road Safety Audit 2nd Ed '02.pdf
-  4.5 FHWA Road Safety Audit.pdf
-  4.6 UNB Road Safety Audit Guidelines.pdf
-  4.7 FHWA - ITE Road Safety Audits.pdf
-  4.8 VARIOS Qué Son Las ASV.pdf

PÁGINA DEJADA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

7 ANEXO

7.6.1A Memorando de la FHWA NCHRP Report 350 Barandas de Defensa y Barreras de Mediana de Uso Público

http://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/policy_guide/road_hardware/barriers/pdf/b64.pdf

FHWA - Administración Federal de Vialidad EUA*MEMORANDO*

Asunto: **INFORMACIÓN: NCHRP Report 350 Barandas de Defensa y Barreras de Mediana de Uso Público**

Fecha: 14 de febrero 2000

De: Dwight A: Home

Director, Oficina de Infraestructura de Seguridad Vial

Para: Directores de Centros de Recursos

Administradores de División

Ingenieros de División Vial de Tierras Federales

Formalmente, en 1993 la FHWA adoptó las guías de evaluación de comportamiento de los dispositivos viales enunciados en el Informe NCHRP 350. Todas las nuevas y permanentes barreras laterales y de mediana instaladas en el Sistema Vial Nacional deben ahora cumplir estas guías. Dado que uno de los cambios más significativos en los procedimientos de prueba fue la sustitución por la camioneta de 2000 kg (4400 lb.) del automóvil tipo sedan de 4500 libras utilizado anteriormente en pruebas de choque, se repitió la prueba para volver a certificar los dispositivos existentes en las guías del Informe NCHRP 350.

Aunque los resultados de muchas de estas pruebas de re-certificación se informaron en el pasado y son generalmente conocidos por el personal de organismos de transporte Federales y Estatales, y otros de la comunidad de seguridad vial, los resultados no fueron formalmente aceptados por cartas de aceptación formal, como es costumbre con elementos patentados y probados por los Estados a solicitud de los fabricantes o los Estados. En consecuencia, la presente memorando resume y describe todas las barreras de uso público longitudinales al costado del coronamiento del camino y de mediana que cumplieron los requisitos del informe de 350 en uno o más niveles de prueba, o se consideran equivalentes a las barreras sometidas a prueba. Donde corresponda, entre paréntesis se indica el número de página de referencia para cada tipo de barrera incluida en la AASHTO 1995-AGC-ARTBA "Guía para Barreras Viales Normalizadas". Algunas de estas barreras se identificaron en anteriores cartas de aceptación, pero se incluyen en esta lista consolidada también. En tales casos, el número de aceptación original se señala entre paréntesis para fácil referencia.

Nivel de Prueba 2 (TL-2) Barreras Laterales y de Mediana

- Baranda de Defensa de Viga-W y Poste-débil (SGRO2 y SGM02)
- Baranda de Defensa de Viga-W y Poste-fuerte (Acero) c/bloque de acero (SGRO4a)

Nivel de Prueba 3 (TL-3) Barreras Laterales y de Mediana

- Baranda de Defensa de Cable (3-Hilos) y Poste-débil de Acero (SGRO1a-b)
 - Baranda de Defensa de Viga-cajón y Poste-débil, y Barrera de Mediana (SGRO3 y SGM03)
-

- *Baranda de Defensa de Viga-W y Poste-fuerte (Madera) y Barrera de Mediana con bloque de madera aserrada o plástico aprobado (SGRO9a y SGM09a sin bloques de acero).*
- *Baranda de Defensa de Viga-W y Poste-fuerte (Acero) y Barrera de Mediana, con bloques de madera o plástico aprobado, con guía acanalada.*
- *Baranda de Defensa de Viga-3ondas y Poste-fuerte (Madera) y Barrera de Mediana con bloque de madera o plástico aprobado (SGRO9c y SGM09c)*
- *Baranda de Defensa Viga-3ondas y Poste-fuerte (Acero) y Barrera de Mediana con bloques de madera o plástico aprobado, con guía acanalada.*
- *Baranda de Defensa Merritt Parkway (CT) de Troncos respaldados con Acero (Carta de Aceptación B-45)*

Nivel de Prueba 4 (TL-4) Barreras Laterales y de Mediana

Baranda de Defensa de Viga-3ondas y Poste-fuerte y Barrera de Mediana (SGRO9b y SGM9b). Nota: la longitud correcta del bloque separador modificado es de 43,2 cm, no de 55,4 cm mostrada en PWBO3.

Barrera de Mediana de 81 cm de altura y Perfil-Seguro (New Jersey) (SGM11a)

Barrera de Mediana de 81 cm de altura y Perfil-F (SGM10a)

*Barrera Vertical de Hormigón de 81 cm de altura **

Barrera de Pendiente Constante de 81 cm de altura (Diseño Texas y California – ver además Cartas de Aceptación B-17 y B-45).

Nivel de Prueba 5 (TL-5) Barreras Laterales y de Mediana

Barrera de Mediana de 107 cm de altura y Perfil-Seguro (New Jersey) (SGM11b)

Barrera de Mediana de 107 cm de altura y Perfil-F (SGM10b)

Barrera de Mediana de Muro Alto Ontario (SGM12 y Carta de Aceptación B-19)

*Barrera Vertical de Hormigón de 107 cm de altura **

*Barrera de Pendiente Constante de 81 cm de altura (Diseños Texas y California) ***

** Estos dos diseños se probaron como barandas de puente. Si se refuerzan con acero y los detalles de fundación son equivalentes a los de las pruebas de choque pueden usarse como barreras laterales o de mediana.*

*** Las Barreras de Pendiente Constante no se probaron al TL-4, pero si las dimensiones, armadura y detalles de fundación son equivalentes a los de las pruebas de choque pueden considerarse barreras TL-4 cuando se hormigonan en el lugar o con encofrados deslizantes.*

El Anexo 1 incluye dibujos esquemáticos de la mayoría de las barreras flexibles y semirrígidas listadas anteriormente.

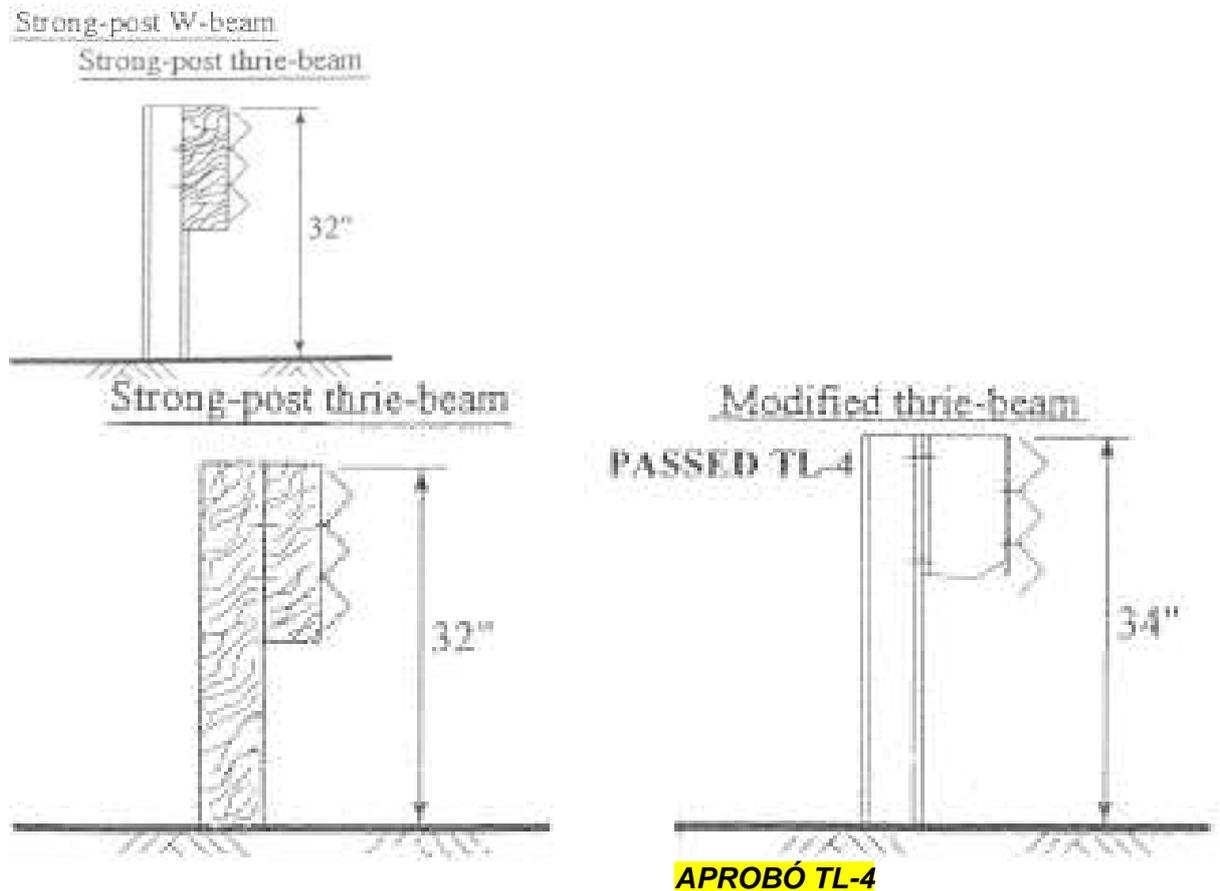
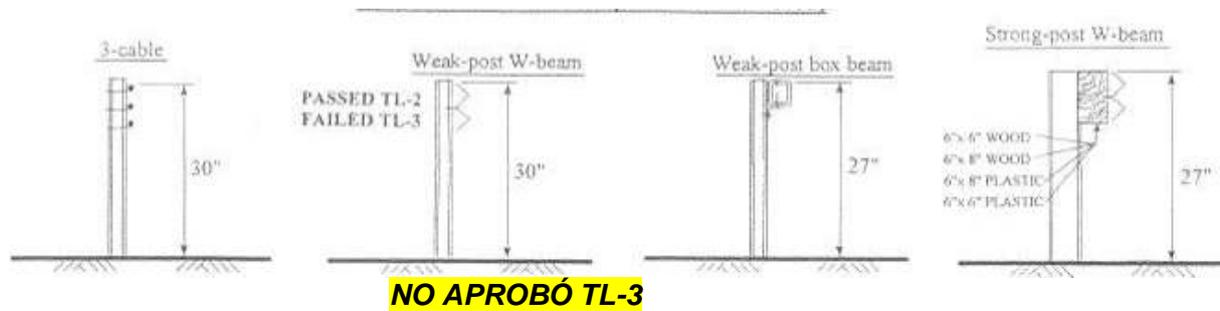
El Anexo 2 muestra las dimensiones del bloque separador de madera con guía acanalada utilizado con el sistema de Viga-W y Poste-fuerte de acero. Las dimensiones del bloque son las mismas que las del bloque con guía acanalada de la Viga-3ondas, salvo que su longitud es de 55,4 cm y tiene dos agujeros separados para fijarlo con pernos al ala del poste.

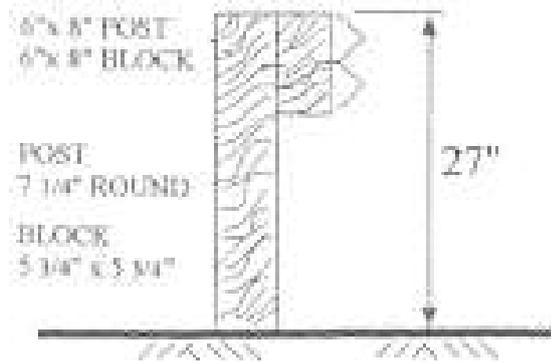
Mi memorando del 27 de enero de 1990 contiene información adicional sobre bloques separadores para usar con sistemas de barandas de defensa de Viga-W y Poste-fuerte (Carta de Aceptación B-44).

A medida que se pongan a prueba adicionales sistemas de barrera, su correspondiente carta de aceptación se comunicará consecuentemente. Todas las preguntas sobre este tema deben dirigirse al señor Richard Powers de mi equipo personal, al (202) 3664320.

2 Adjuntos.

APROBARON EL TL-3 DEL NCHRP 350 (a menos que se indique otra cosa)



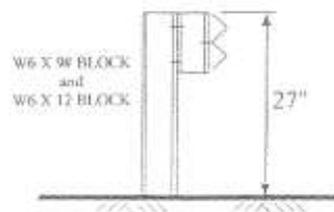


NO APROBARON EL TL-3

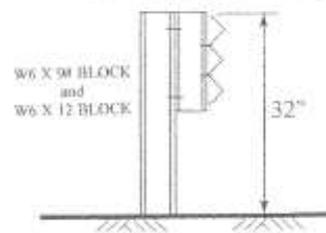
Strong-post W-beam

FAILED NCHRP 350 (TL-3)

Strong-post three-beam



BLOQUE DE ACERO

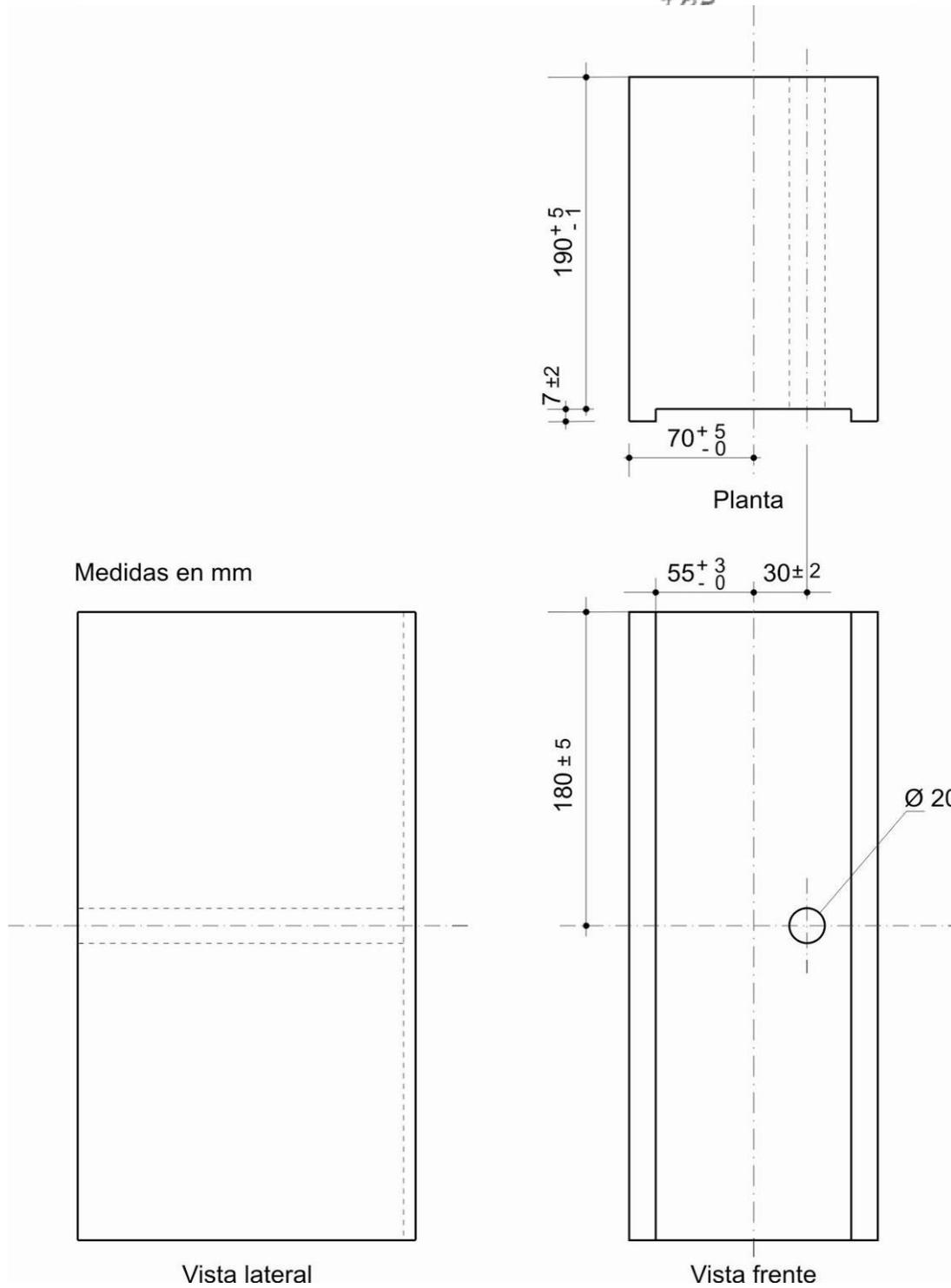


BLOQUE DE ACERO

JUNE 1999

**BLOQUE SEPARADOR DE MADERA CON GUÍA ACANALADA
PARA BARANDA DE DEFENSA DE VIGA-W Y POSTE FUERTE DE ACERO**

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION
 MADE BY: DATE: 2 Jan 97 Revised 7 Nov 97
 CHECKED BY: DATE: PROJECT: TAD
 CALCULATIONS FOR: *Wooden Blockout for Steel-Post w-Beam G.B. sheet no 1 of 1*



Copia fiel del original

7.6.2.1A Recomendaciones sobre uso de los niveles TL- 4/5/6

Donde la geometría planialtimétrica sea pobre y donde el traspaso de la barrera por un vehículo pesado tenga consecuencias graves para el conductor y/o para el resto de la población. Se recomienda una barrera T-L4 como mínimo en:

- Sectores donde personas desarrollan actividades aledañas al camino, sean laborales, educacionales o habitacionales, con riesgo de ser alcanzadas por un vehículo errante. En cada caso, la distancia considerada de riesgo para el desarrollo de las diferentes actividades, será determinada en terreno
- Accesos a puentes o pasos superiores
- Sectores con edificaciones ubicadas al pie de terraplenes
- Curvas horizontales con radios menores que 400 metros en caminos para zonas de topografía accidentada, tales como; acantilados, bordes de quebradas o cualquier otra singularidad geográfica que involucre un alto riesgo de conducción
- Tramos con pendientes mayores que 6%
- Columnas de pasos superiores, pasarelas peatonales u otras estructuras
- Sectores con aguas profundas, mayores que 1,0 metro, en la zona despejada o con riesgo de ser invadidas por vehículos
- Sectores con antecedentes de accidentes, de cualquier envergadura, donde los vehículos han perdido el control, saliendo de la calzada e invadiendo zonas no despejadas
- Zonas de alto valor ecológico que no deben, bajo ninguna circunstancia, ser invadidas por vehículos a motor

En los casos que los camiones de más de dos ejes alcancen o superen los valores indicados en la tabla se deberá diseñar con TL-5/6 como mínimo en los sectores indicados en el listado anterior.

Tabla 7.13 Relación TMDA Porcentaje de camiones

TMDA	Porcentaje de camiones de más de dos ejes (%)			
	Sin carga peligrosa		Con carga peligrosa	
	Calzada dos sentidos	Calzada un sentido	Calzada dos sentidos	Calzada un sentido
≤ 1000	30	30	20	25
1000 - 3000	20	25	15	20
3000 - 7000	15	20	10	15
≥ 7000	10	15	5	10

Fuente: Manual de Carreteras de Chile – Volumen 6 – Seguridad Vial

Si el porcentaje de vehículos pesados totales más colectivos alcanza o supera los valores indicados en la Tabla 7.13 se deberá diseñar con TL-5/6 como mínimo en los sectores indicados en el listado anterior.

Si el porcentaje de vehículos pesados y colectivos es menor que los valores indicados en la tabla y no se encuentre dentro del listado anterior se utilizará los TL-2/3 indicados en la Tabla 7.13. Si se encuentran dentro del listado se utilizará TL-4.

7.6.2.2A Niveles de prueba y deflexiones para distintos sistemas de barreras

La indica los niveles de prueba TL y deflexiones alcanzados para diferentes sistemas de barreras longitudinales en sus configuraciones básicas.

Las deflexiones máximas fueron medidas durante los ensayos de choque a escala real; los valores indican un rango seguro de aplicación y no un valor exacto como guía para la ubicación de objetos fijos detrás de una barrera.

Sistemas de barreras longitudinales	Nivel de Prueba	Deflexión Máxima
Sistemas Rígidos		
Perfil Tipo New Jersey - Tipo F - Pendiente Única		
Altura 81 cm	TL-4	0 m
Altura 107 cm	TL-5	0 m
Sistemas Semirrígidos		
Viga W poste fuerte con bloques separadores		
Poste de acero/madera con bloque separador de madera o de plástico	TL-3	0,9 m (1)
Poste de acero con bloque separador de acero	TL-2	0,9 m (1)
Viga de tres ondas con bloque separador		
Poste de acero/madera con bloque separador de madera o de plástico	TL-3	0,6 m (2)
Viga de tres ondas modificada poste fuerte	TL-3	0,9 m (2)
Sistemas Flexibles		
Cable de tres hilos poste débil	TL-3	3,5 m
Viga W poste débil	TL-2	2 m

Notas:

(1) La deflexión de para barreras de mediana es 0,60 m

(2) La deflexión de para barreras de mediana es 0,50 m

Cuando se usen sistemas con doble viga w superpuestas, como se recomienda para alcantarillas o transiciones, las deflexiones estimadas son:

Sistema de barrera con poste de acero/madera con bloque separador de madera o de plástico	Distancia entre postes	Deflexión
Viga W simple	1,90 m	0,9 m
	0,95 m	0,7 m
Viga W superpuesta	1,90 m	0,8 m
	0,95 m	0,6 m

7.6.2.3A Ejemplo de cálculo de longitud total de una barrera paralela

- Ejemplo 1: Caminos de dos sentidos - Figura 7.54.

Datos:

TMDA: 3500 vpd

V: 110 km/h

Ancho de Carriles: 3,65 m

Ancho de Banquina: 3 m

Objeto Fijo: Columna

Distancia al filo más alejado del objeto fijo: 4 m

Ancho de Zona Despejada: 10 m

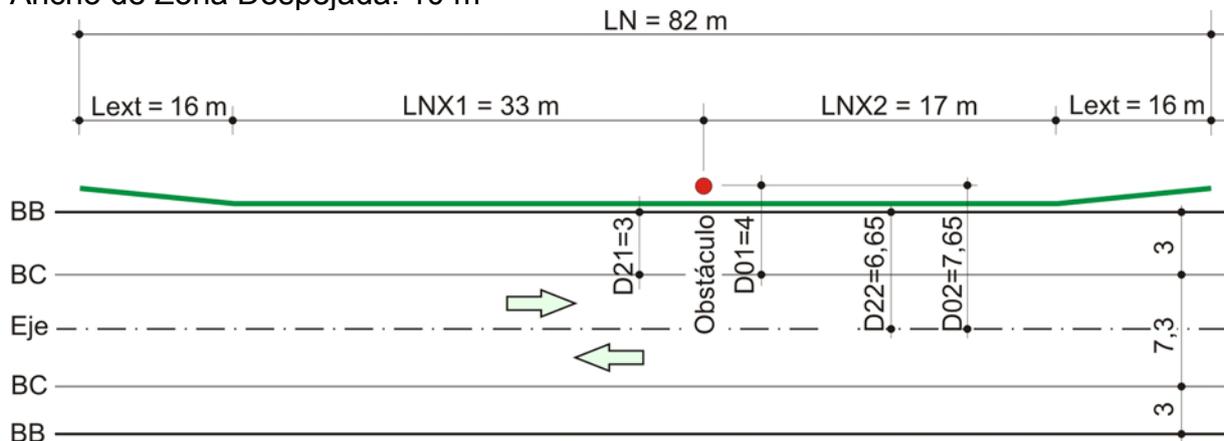


Figura 7.54 Ejemplo caminos de dos sentidos

Solución:

Para ingresar en el gráfico de longitud de necesidad se deben conocer la distancia desde el borde de calzada a la barrera $D2$ y desde el borde de calzada al objeto fijo en su punto más alejado del lado del tránsito en estudio DO .

Para el sentido del tránsito $D21 = 3$ m y $DO1 = 4$ m

Para el tránsito de sentido contrario, se mide $D2$ y DO desde el eje de calzada:
 $D22 = 6,65$ m - $DO2 = 7,65$ m.

Como la distancia DO es menor que la distancia de zona despejada para ambos sentidos, la longitud de necesidad se calcula con $DO1 = 4$ m y $DO2 = 7,65$.

En la Figura 7.31, gráfico 1, con $D21 = 3$ m, $DO1 = 4$ m y $V = 110$ km/h se obtiene $LNX1 \approx 36,2$ m

En la Figura 7.31, gráfico 2, con $D22 = 6,65$ m, $DO2 = 7,65$ m y $V = 110$ km/h se obtiene $LNX2 \approx 18,77$ m

Los gráficos de longitud de necesidad, Figura 7.29, Figura 7.30 y Figura 7.31, están calculados para TMDA 5000 vpd, por lo que las longitudes resultantes deben multiplicarse por el factor de reducción FR .

Para TMDA = 3500 vpd $\rightarrow FR = 0,9$

- $LN_{X1} \approx 36,2 \text{ m} \times 0,9 = 32,6 \text{ m}$
 → $LN_{X2} \approx 18,7 \text{ m} \times 0,9 = 16,8 \text{ m}$

Desde el objeto hacia el sentido del tránsito se requiere una longitud de necesidad de 32,6 m y del sentido contrario 16,8 m. Como la longitud del obstáculo es despreciable, la longitud de necesidad total LN_{X} es $\approx 50 \text{ m}$.

La longitud total de la barrera LTN incluye la longitud de los extremos de barrera que aseguren el anclaje. La longitud mínima de un terminal abocinado es 16 m, por lo que la longitud total de la barrera será 82 m. La longitud total se divide por la longitud del módulo de la barrera a emplear, y se instalará la cantidad de módulos enteros redondeado hacia arriba.

Al ser $D_{21} = 3 \text{ m}$, la barrera se encuentra fuera de la línea de sobresalto, que según Tabla 7.9 para $V = 110 \text{ km/h}$ es 2,8 m. Por lo que la tasa de abocinamiento del terminal será, según Tabla 7.10, 1:15. En el extremo de la barrera el retranqueo será 1,1 m desde la línea de la barrera y 4,1 m ($1,1 + 3 \text{ m}$) desde el borde de calzada.

- Ejemplo 2: Caminos de un sentido - Figura 7.55

Datos:

Calzadas separadas. Los mismos datos que el Ejemplo 1.

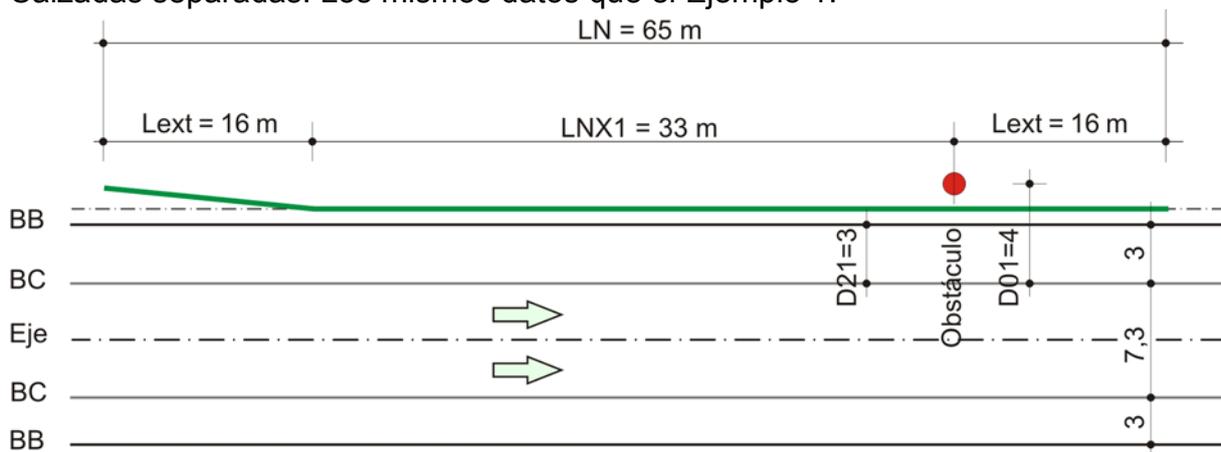


Figura 7.55 Ejemplo caminos de dos sentidos

Solución:

Para el sentido de tránsito aguas abajo del obstáculo el cálculo no varía; la longitud de necesidad es 32,6 m. Para el sentido aguas arriba, y donde el obstáculo queda fuera de la zona despejada para el tránsito opuesto, no se proyecta barrera. Aguas arriba del objeto se colocará un extremo de barrera para anclar adecuadamente la longitud de necesidad. La longitud total de la barrera LTN será $= 55 \text{ m} = (33 + 2 \times 16) \text{ m}$.

La tasa de abocinamiento y retranqueo es igual que en el ejemplo anterior, pero sólo se abocina el extremo en el sentido del tránsito.

7.6.2.4A Actualización de sistemas

La actualización de los sistemas de contención instalados con los conceptos previos no es posible en el corto plazo, tanto práctica como económicamente.

Siguiendo la experiencia internacional se recomiendan pautas para una estrategia de actualización, en tal sentido se deben construir con los criterios actuales:

- Todas las instalaciones entre los límites de un proyecto de construcción nuevo, y en proyectos de reconstrucción importantes.
- Las instalaciones ubicadas en zonas de alta accidentalidad, donde no hayan funcionado adecuadamente los dispositivos existentes.
- Las instalaciones de barreras metálicas que han sufrido daños en más del 50% de su largo total.
- Los sectores dañados de longitud superior o igual a 40 m, que estén insertos en cualquier tramo de barrera metálica que ha sufrido daños de menos del 50% de su largo total. En estos casos se deben considerar las conexiones y transiciones que correspondan.
- Para cualquier terminal de barrera metálica chocada, se debe conectar el tramo con el inmediatamente anterior si estos están a menos de 40 m y si tal conexión no causara algún inconveniente, como p. ej. accesos a predios, y aún así se verá la posibilidad de reubicar el acceso mediante colectoras. De no ser posible esta primera opción, se debe modernizar el terminal con el siguiente criterio:
 - De existir un talud de corte apropiado, enterrar el terminal en dicho talud.
 - Instalar un terminal aprobado (comercial).

Para la inspección de las instalaciones existentes y nuevas se listan las consideraciones a tener en cuenta para verificar la capacidad estructural y la capacidad funcional:

I Capacidad Estructural	A. Sección longitudinal
	1. Diseño de la barrera
	2. Un correcto espacio entre postes
	3. Separadores en sistemas con postes semirrigidos
	4. Empalmes adecuados
	B. Terminales
	1. Diseño del terminal
	2. Anclaje adecuado
	C. Transiciones
	1. Diseño de la transición
2. Anclaje adecuado	
3. Un apropiado aumento de la rigidez en el paso de un sistema de menor rigidez a otro de mayor rigidez	
4. Correcta instalación de separadores y riel (evita el enganamiento del vehículo)	

II Capacidad Funcional	A. Sección longitudinal
	1. Longitud adecuada para la protección de los usuarios de la vía de algún obstáculo fijo
	2. Altura apropiada de la barrera
	3. Esviaje apropiado
	4. Verificar que la distancia del obstáculo fijo a la barrera no exceda la distancia de deflexión máxima del sistema usado.
	5. Verificar emplazamientos de barreras detrás de soleras
	6. Verificar emplazamientos de barreras en pendientes
	B. Terminales
	1. Verificar que exista una zona despejada detrás del terminal
	2. Verificar la correcta instalación y condición actual de los terminales, p. ej. que éstos no se coloquen en sistemas con secciones terminales abocinadas.

FUENTE: RDG de la AASHTO

7.6.2.5A Detalles constructivos de las barreras de hormigón

Las barreras de hormigón no absorben la energía del impacto por deformación, sino por su geometría o forma, logrando que el vehículo se levante moderadamente por la cara expuesta de la barrera, transformando parte de la energía cinética del móvil en energía potencial.

Se debe respetar rigurosamente la geometría especificada para las barreras de hormigón para que cumplan adecuadamente su función.

La altura de la barrera interviene fuertemente en la capacidad de redirigir vehículos, y a mayor altura se pueden redirigir vehículos de mayor porte y disminuir la invasión por sobre la barrera.

La capacidad estructural de la barrera rígida determina la aptitud para contener los vehículos que la chocan, determinando la masa propia gran parte de su comportamiento. Las barreras de hormigón se pueden construir in situ, con moldes fijos o deslizantes trabajando como un continuo o prefabricadas, en cuyo caso las conexiones entre elementos individuales es un elemento crítico para lograr continuidad.

Las barreras de hormigón fabricadas in situ son muy rígidas con respecto a la carga del choque que las solicita; no se deforman y no se desplazan lateralmente, lo que las hace adecuadas como barreras de seguridad en puentes y sectores donde no se cuente con anchos-de-trabajo disponibles.

Se recomienda la construcción in situ en medianas con desniveles, producto de la diferencia de cotas entre ambas calzadas.

Las barreras prefabricadas como elementos individuales necesitan una conexión fuerte entre módulos, ya que durante un impacto serán sometidos a esfuerzos de tracción y volcamiento importantes. Funcionan por gravedad, estabilizadas por su propio peso y vinculadas para el traspaso de carga durante el impacto.

Existen diferentes soluciones de unión entre módulos ensayados según el NCHRP Report 350, pero no alcanzan los niveles de contención de las barreras in situ. Las barreras de hormigón prefabricadas pueden tener deflexiones de hasta un metro dependiendo de la vinculación entre módulos y la fundación. No se recomienda utilizar bajo ninguna circunstancia empalmes del tipo machihembrado.

La fundación necesaria para funcionar adecuadamente varía con el tipo de construcción y con el nivel de contención requerido. Una barrera TL-4 construida in situ no requiere empotramiento y con un tope mínimo 2,5 cm en el pavimento es suficiente para contener vehículos de hasta 18 t.

Las barreras *in-situ* pueden hormigonarse directamente sobre concreto asfáltico, hormigón o bases granulares bien compactadas. Una barrera de elementos premoldados adecuadamente vinculados puede alcanzar una deflexión de más de 1 m o más, si no se prevé fundaciones con pasadores, clavijas o soportes laterales.

En la parte superior de las barreras se recomiendan armaduras para controlar el tamaño de los escombros tras un choque importante. Las fisuras de contracción no afectan la resistencia operacional.

Para la fundación en estructuras, se deberá analizar la suficiencia estructural para la situación de cargas que dará la barrera. En puentes nuevos se preverá en el proyecto el solape de armaduras para que tenga un comportamiento conjunto.

En puentes existentes se recomienda demoler parcialmente la losa para poder solapar las armaduras de la barrera y puente.

7.6.2.6A Detalles de instalación barreras de hormigón

Dado que las barreras se diseñan y ensayan para condiciones controladas, es importante que las barreras sean chocadas sin un salto inicial inducido por las características de la sección transversal, por lo que se debe tratar de instalar las barreras en las siguientes condiciones:

- Al costado del camino en banquetas y taludes con pendiente 1:10 o mas tendidos
- En curvas, la barrera instalada del lado alto de la curva se recomienda perpendicular a la calzada y del lado bajo con el eje vertical. En medianas es aceptable instalar la barrera con el eje vertical, Figura 7.56

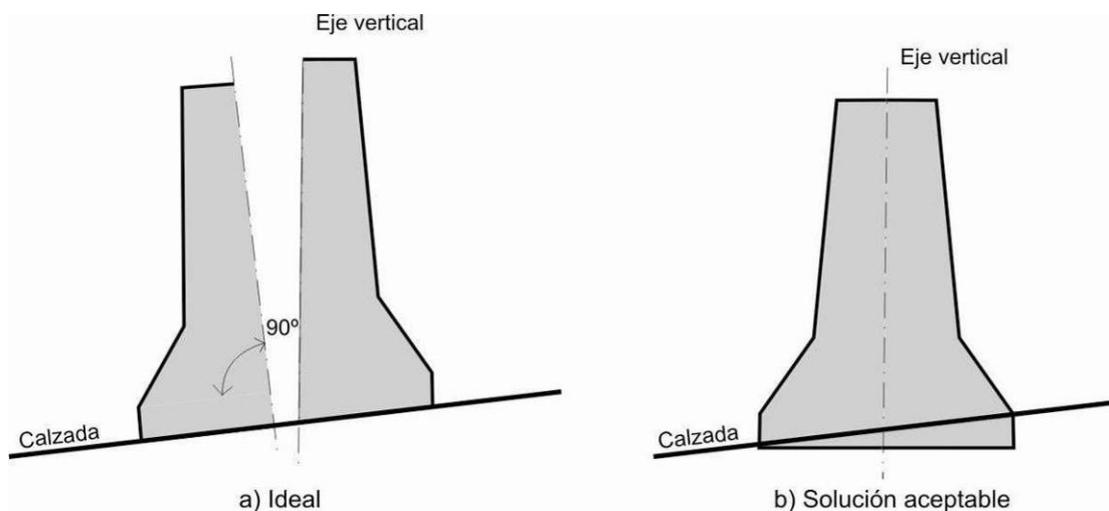


Figura 7.56 disposición vertical de sistemas de barreras de hormigón

- Los cordones pueden provocar un salto inicial por lo que no deben usarse delante de las barreras. Se debe retirar siempre los cordones existentes antes de instalar una barrera
- Las barreras tipo F y tipo NJ colocadas en medianas angostas, en donde coinciden con curvas horizontales requiere del ajuste del perfil para acomodar las diferencias de cota de pavimento por peralte, Figura 7.57. En las barreras de pendiente única, con el aumento de la altura se salva esta complicación constructiva

- Las distintas configuraciones pueden ensancharse para acomodar en su interior objetos fijos como pilas de puente, estructuras de señales aéreas y postes de iluminación. El ensanche se realiza con tasas de abocinamiento suaves.
- Las barreras rígidas están diseñadas para ángulos bajos de choque, al aumentar el ángulo aumenta la gravedad del accidente. Se recomienda utilizar barreras rígidas cuando se instalan cerca de la calzada, porque al aumentar la distancia aumentan los ángulos de choque



Vista lateral

Notas:

- 1- Los encuentros angulares entre caras serán redondeados con un radio de 25 (excepto los mencionados específicamente)
- 2- En su final o en las interrupciones de la barrera será fijada con una de dos opciones: o barra de conexión interna, o un pie monolítico a 255 de profundidad.
- 3- Las dimensiones se hallan expresadas en mm.

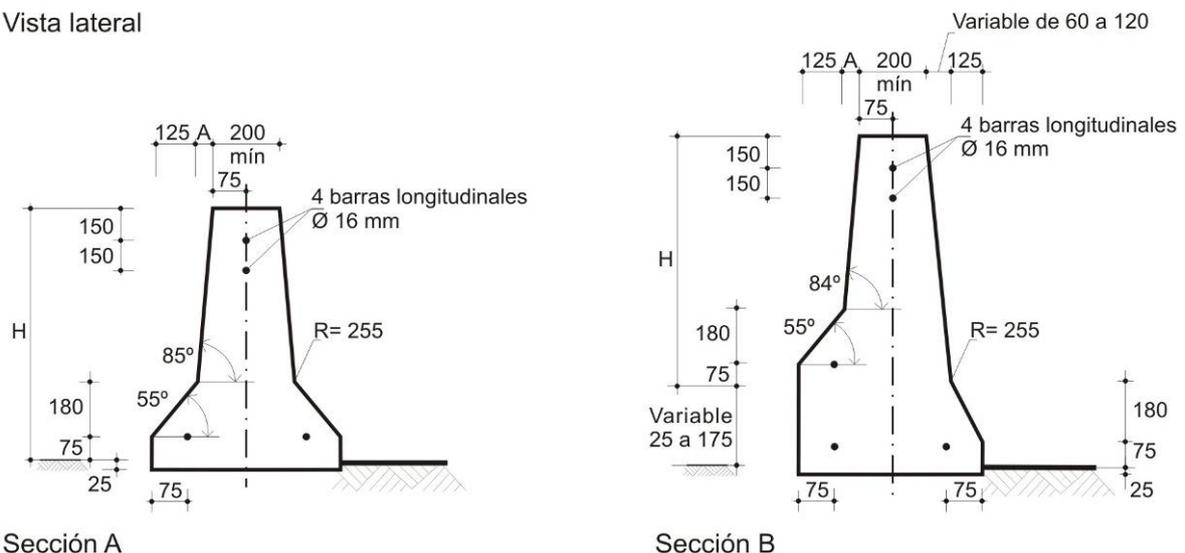


Figura 7.57 Ajuste de altura de barreras por diferencia de cotas de calzada

Las barreras pueden retener agua, nieve y suelo en zonas de erosión eólica. Por lo que se debe prestar especial atención al diseño para eliminar o reducir la acumulación. Se debe proveer a las barras de ranuras para permitir el escurrimiento del agua fuera de la calzada, evitando la formación de hielo en climas fríos. Si bien favorecen la acumulación de nieve y suelo, soportan las actividades de limpieza sin daño.

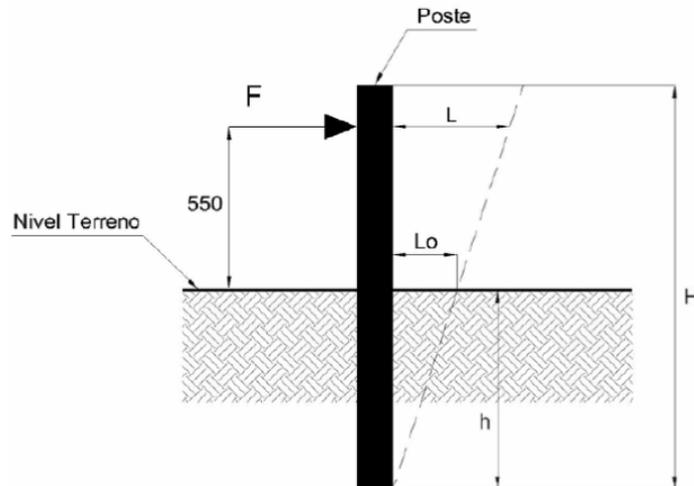
Las ventajas que presentan estas barreras frente a las de tipo semirrígido, son las siguientes:

- Ancho de trabajo reducido, lo que las hace recomendables en zonas en las que no se dispone de espacio.
- Conservación rápida y económica en relación a las barreras metálicas.
- En el caso de barreras prefabricadas, pueden ser desmontadas temporalmente y montadas nuevamente, es decir, pueden ser reutilizables.

7.6.2.7A Situaciones especiales del suelo de fundación

Cuando no se disponga del sobrecanto de compactación mínimo indicado, el proyectista deberá evaluar una alternativa que satisfaga una resistencia adecuada del suelo de respaldo, y asegurar la concordancia entre espacio disponible y deflexión de la barrera. Una opción puede ser aumentar la profundidad de hinca y disminuir el espaciamiento entre postes.

Para comprobar que el suelo de fundación, a pesar de no cumplir con las características de un terraplén, presenta las condiciones mínimas para el hincado de postes de barreras metálicas, se deberá realizar el siguiente ensayo in situ cada 250 m o tramo de barrera si es menor, Figura 7.58



Longitud de hincado h: > 800mm. Para H = 1500mm.
 ≥ 1300mm. Para H = 2000mm.

- Sobre un poste hincado aislado, se aplica una fuerza paralela al terreno y perpendicular a la dirección de la circulación del tránsito adyacente, dirigida hacia el exterior de la vía.
- El punto de aplicación de la fuerza estará a 55 cm de altura con respecto al nivel del terreno y se medirá el desplazamiento lateral de dicho punto y de la sección del poste a nivel de terreno. Esta fuerza se irá incrementando hasta que el desplazamiento del punto de aplicación alcance los 45 cm.
- Se considerará que la resistencia del terreno es adecuada si se cumplen simultáneamente las siguientes condiciones:
 - La fuerza que produce un desplazamiento "L" de su punto de aplicación igual a 25 cm es superior a 8 kN.
 - Para un desplazamiento "L" del punto de aplicación de la fuerza igual a 45 cm, el del poste "Lo" es inferior a 15 cm.

Si el suelo no cumple con lo indicado en el ensayo anterior, se verifica que no cuenta con la capacidad para fundar de un poste de barrera metálica. En el caso de suelos de baja resistencia, la primera opción será el hincado de postes, reduciendo el espaciamiento (separación) de los postes a la mitad del diseño original y aumentando en 50% la longitud de éstos. Si durante la construcción se observa que no se alcanza el empotramiento adecuado se utilizará como segunda opción una viga de encadenado.

Para reforzar el suelo de fundación mediante la utilización de una viga de encadenado, se deberá seguir el siguiente procedimiento, Figura 7.59:

- Excavar una zanja de 50 cm de ancho por 15 cm de profundidad a lo largo de la línea de cimentación de los postes

- Colocar en la zanja una armadura longitudinal 4 barras de acero de diámetro 12 mm y con estribos de diámetro 8 mm separados 50 cm. Acero ADN-420
- Colocar encofrados tipo caja de 20 cm de lado, en el eje de la excavación, y separados en una distancia igual a la separación entre postes, los que posteriormente se hincarán en este lugar
- Se hormigona con H-21 la zanja con excepción del interior de las cajas, dejando juntas de hormigonado cada 12 m
- Se hincan los postes y se rellena con arena los huecos entre la caja y los postes

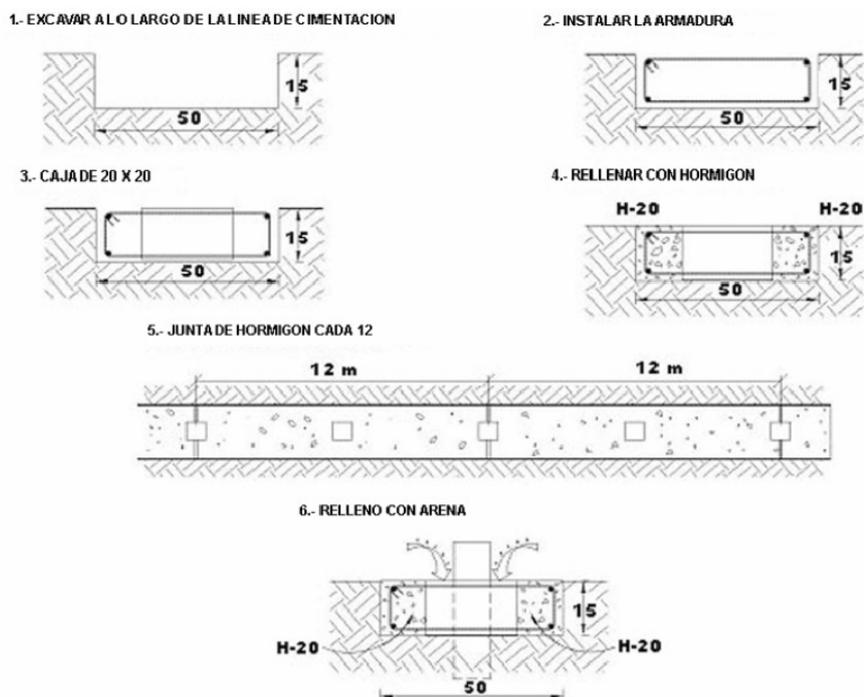


Figura 7.59 Fundación en terrenos de baja resistencia

Para el caso de emplazamiento en estructuras se deberá primero analizar la suficiencia estructural y después diseñar en consecuencia el sistema adecuado para la sujeción de los postes.

Para obras nuevas, se recomienda dejar pernos o barras de anclaje, soldados a la armadura o con patas, para sujetar una platina. La forma más común de unir la platina con el poste es por soldadura, pero puede dañar la unión platina-estructura. Se recomienda el empleo de sistemas que tengan algún mecanismo fusible en el que no se dañe la estructura ni el mecanismo de anclaje.

En estructuras existentes, si la losa tiene un espesor mayor que 0,25 m, se recomienda el anclaje químico a la losa. Si la losa tiene un espesor menor que 0,25 m, se recomienda efectuar perforaciones pasantes y colocar pernos ajustados a una platina en la parte inferior de la losa.

7.6.2.8A Sistema viga W con poste débil

El sistema es muy sensible a la altura de montaje, por lo que no debe usarse donde el terreno sea irregular, son recomendables para terrenos planos, sin cordones o cunetas que puedan modificar la trayectoria del vehículo. La altura de montaje hasta el tope de la viga es de 0,85 m (tolerancia 0,05 m), y la deflexión de diseño varía desde 1,5 m a 2,1 m.



Nivel de prueba TL-2

7.6.2.9A Sistema de viga cajón

Este tipo de barreras es semirrígida y su distancia de deflexión lateral es de 1,7 m aproximadamente.

Son válidas las recomendaciones hechas para el sistema W con poste débil.



Nivel de prueba: TL-2,

TL-3

Viga cajón 27" TL-2

7.6.2.10A Clasificación de las barreras flexibles de cable

Para este tipo de barreras se tienen las siguientes clasificaciones:

- Barrera de Triple Cable de Acero.
- Barrera de Cuádruplo Cable de Acero.

Las barreras de triple cable de acero son utilizadas básicamente en EUA, donde se han efectuado numerosos ensayos con la finalidad de determinar la altura óptima de los cables y la separación de postes más apropiada.

Estas barreras permiten pendientes transversales máximas de 1:2 en la zona considerada como ancho de trabajo.

Sobre la ubicación de estas barreras en zonas de curvas, se distinguen dos situaciones, la primera se refiere al caso de la curva a la derecha con la barrera ubicada al costado izquierdo, donde sólo bastará con disponer de un ancho de trabajo mayor que el considerado en una zona recta. En cambio, una situación más difícil de resolver se produce cuando la curva es a la derecha con la barrera ubicada al lado derecho. En este caso, a pesar de ser considerado menos probable la salida, la barrera de cable no se recomienda. Esto tiene especial relevancia cuando se trata de zona de curvas sucesivas o riesgos adyacentes importantes, para los cuales tampoco se recomienda su instalación.

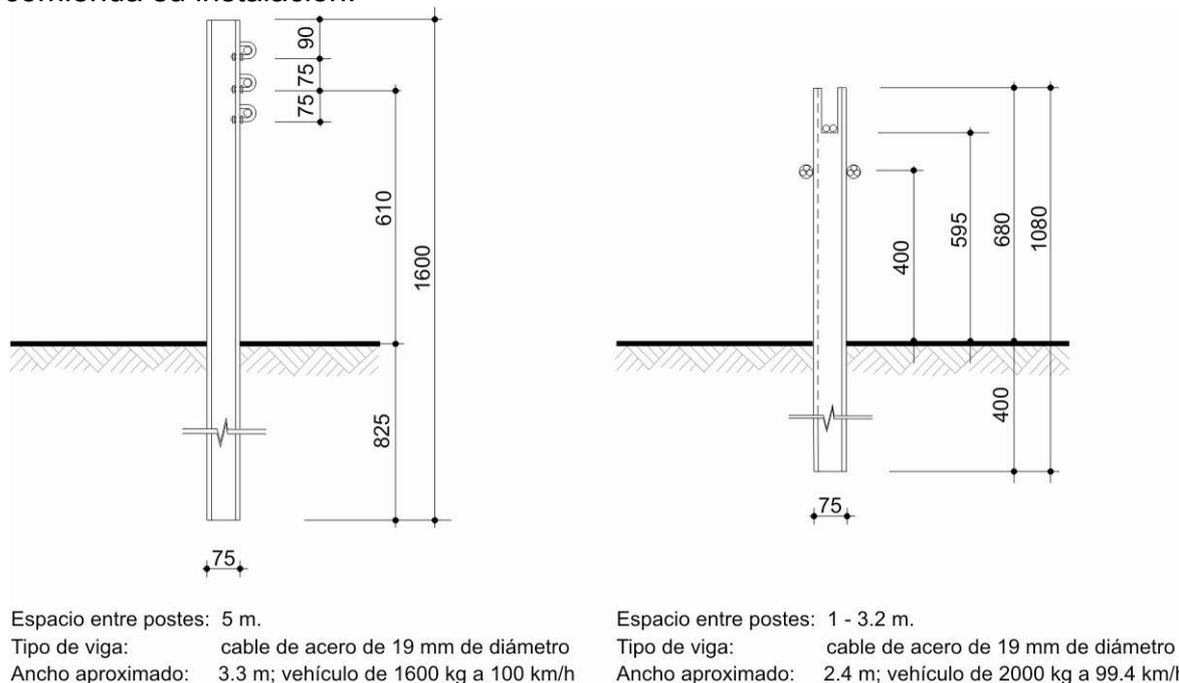


Figura 7.60 Sistema de cables de acero

Las barreras de cuádruplo cable de acero son de uso en caminos australianos y algunas autopistas de Inglaterra. Es un caso similar a la de tres cables norteamericana, pero cuenta con una disposición simétrica de los cables que permite su empleo tanto, como una barrera lateral o una barrera central para medianas, previa verificación del espacio, en relación al ancho de trabajo.

Las ventajas que presentan las barreras de cables de acero son las siguientes:

- Conservación y/o reparación, rápida y económica en relación a otras barreras de contención
- Pueden ser desmontadas temporalmente y montadas nuevamente, es decir, pueden ser reutilizables
- Bajo costo inicial
- Eficaz contención y redireccionamiento para vehículos livianos. Las fuerzas de desaceleración en los ocupantes del vehículo son bajas
- Son apropiadas para zonas con nieve o arena, porque su perfil, casi transparente, facilita los trabajos de mantenimiento y despejo de la vía
- Facilidad de transporte y almacenamiento en espacios reducidos, además de su rápida instalación

Las desventajas del uso de barreras de cable son las siguientes:

- Necesidad de reparación inmediata luego de un choque, ya que el tramo colapsará completamente
- El área despejada que se necesita detrás de la barrera para su ancho de trabajo, en general, requiere de gran espacio
- Efectividad reducida en las curvas, especialmente cuando éstas son de radios pequeños
- Alta probabilidad de ser robada o sufrir actos vandálicos, ya que su material principal, cable de acero, es útil en muchas otras aplicaciones

Sistema Cable de tres hilos

La altura de los cables es crítica para un correcto funcionamiento. Los cables se ubican respectivamente a 0,53/0,65/0,77 m, con 0,05 m de tolerancia del conjunto. En el caso de mediana, el cable medio se instala de un lado del poste y el inferior y superior del otro.

El espaciamiento entre postes varía si se ubica en laterales o en mediana, en general 5 m. Para la separación estándar el ancho de trabajo es de aproximadamente 3,5 m.



Figura 7.61 Sistema de cable de tres hilos en mediana

Sistema Cable de alta tensión

Son sistemas patentados donde al cable se instala con una tensión significativamente mayor que el sistema genérico. En función del sistema, tensión y espaciado entre postes, las deflexiones se pueden reducir hasta el orden de los 2 m. En estos sistemas el cable puede permanecer en la altura adecuada, operativa, aunque un choque haya dañado varios postes. Por lo que no se requiere una inmediata acción de los equipos de mantenimiento.

Los sistemas patentados cumplen con niveles de prueba TL-3, y con algunas modificaciones han superado TL-4.

7.8.4A Guías para seleccionar barreras de puentes y alcantarillas

Son cinco los factores que se deben considerar en la selección de una barrera para puente:

- Nivel de prueba
- Compatibilidad entre sistemas
- Costos
- Experiencia de campo
- Estética de la barrera.

La importancia relativa de estos factores no debe comprometer nunca la capacidad de la barrera de contener y redirigir el vehículo de diseño.

Selección del nivel de prueba de la barrera

La selección del nivel de prueba de barrera está basada en los riesgos esperados por el traspaso de la barrera. Es utilizada a nivel internacional por muchos países y está siendo puesta en práctica para nuevos puentes y reemplazo en puentes existentes por la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires.

Los niveles de contención de barreras recomendados para cada caso son:

- **TL- 6:** Para lugares específicos donde la DNV indique que hay una alta probabilidad de pérdida de vidas o lesiones serias si un vehículo traspasa la barrera. Se recomiendan las barreras TL-6 cuando:
 - El volumen de vehículos pesados es mayor o igual a:
 - 2000 vehículos pesados por día en caminos rurales con velocidad mayor que 60 km/h.
 - 4000 vehículos pesados por día en caminos urbanos con velocidad mayor que 60 km/h
 - Cuando sea aplicable alguna de las siguientes condiciones de ubicación de la estructura:
 - Puentes sobre caminos con un TMDA de 10000 vehículos por carril por día o sobre caminos con TMDA de 40000 vehículos o más por día
 - Puentes sobre vías de ferrocarril electrificadas o sobre líneas de transmisión de sustancias peligrosas o inflamables
 - Puentes sobre zonas de uso intensivo del suelo en áreas urbanas. Casas, fábricas, áreas recreativas, escuelas.

- Cuando alguna de las siguientes condiciones sea justificable con un análisis de relación costo-beneficio:
 - Puentes de más de 10 m de altura
 - Puentes sobre cursos de agua de más de 3 m de profundidad
 - Puentes en curva horizontal con un radio de 600 m o menor
- **TL-5:** Para lugares específicos en autopistas, autovías, caminos principales y caminos urbanos con un tránsito entre medio y elevado de vehículos pesados donde la DNV indique que se deben contener ómnibus y vehículos de mediano porte. También en sitios con situaciones de riesgo específicas.
- **TL-4:** Para contención de vehículos livianos, utilitarios pesados y camiones livianos o de mediano porte en caminos principales, autovías, autopistas con una combinación normal de camiones y vehículos pesados.
- **TL-3:** Para la contención de vehículos livianos, generalmente para puentes en caminos rurales con bajo volumen de tránsito, en caminos de baja velocidad o de baja altura o sobre cursos de agua poco profundos.
- **Sin Barreras:** Para determinados puentes y obras de arte menores puede suceder que la colocación de barreras sea más riesgosa que no instalar ninguna. Las barreras no deberían ser colocadas cuando se cumplen todas las condiciones siguientes:
 - La calzada del puente o alcantarilla está a una altura menor o igual que 1,50 m respecto al terreno natural,
 - El volumen de tránsito es menor que 150 vehículos por día,
 - El radio de un puente en curva es mayor que 1500 m y los accesos tienen una distancia visual mayor que la distancia de frenado,
 - El camino es rural y sin tránsito peatonal,
 - Las condiciones cercanas y bajo el puente no incrementan el riesgo para los ocupantes del vehículo que cae del puente,
 - El agua debajo del puente no tiene más de 1 m de profundidad y
 - La obra de arte tiene menos de 5 m de longitud y el ancho del tablero prevé una banquina igual o mayor que 1,20 m.

Cuando se no se cumplan las condiciones para adoptar una barrera TL-6, se utilizará el Método del Tránsito Medio Diario Anual Ajustado para la justificación del nivel de contención, entre TL-3 y TL-5, de la barrera vehicular en un puente.

El método utiliza cuatro factores que consideran un aumento en la posibilidad de la ocurrencia de un accidente y el grado de peligrosidad para los que van en el vehículo y para el entorno. Los factores son: tipo de camino, pendiente del puente, curva horizontal sobre el puente y factor de utilización del terreno. La expresión del TMDA ajustado es:

$$\text{TMDA}_{\text{AJUSTADO}} = \text{TC} \times \text{PE} \times \text{CU} \times \text{UT} \times \text{TMDA}_{\text{ACTUAL}}$$

Donde:

TC: Ajuste por Tipo de Camino y se obtiene de la Figura 7.62.

- Tipo A: calzadas separadas o calzadas indivisas con 5 o más carriles.
- Tipo B: calzadas indivisas de 4 carriles o menos.
- Tipo C: Tránsito de un solo sentido, se incluyen los puentes angostos que están habilitados para circular en ambos sentidos

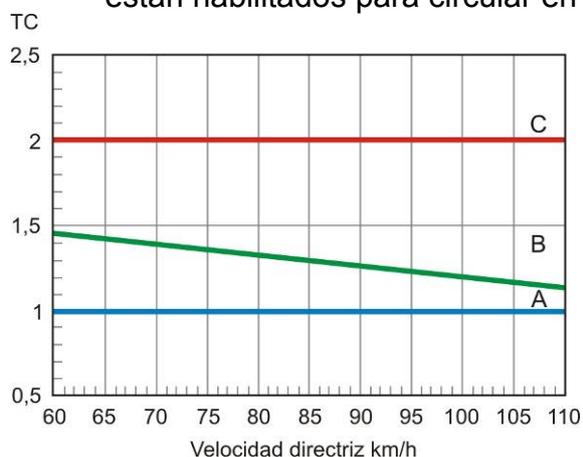


Figura 7.62 Factor de riesgo TC por tipo de camino

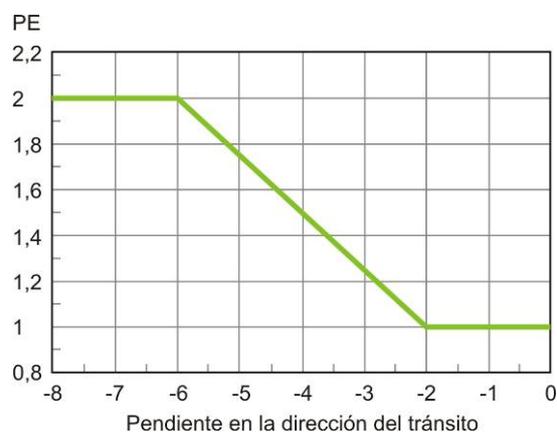


Figura 7.63 Factor de riesgo PE por pendiente del puente

PE: Ajuste por la pendiente del camino en la aproximación al puente en el sentido del tránsito. Se obtiene de la Figura 7.63.

CU: Factor de ajuste por el mínimo radio de curva en puentes en curva o en accesos en curva. Se obtiene a partir de la Figura 7.64. En curvas de menos de 600 m de radio analizará la posibilidad e utilizar barreras TL-6.

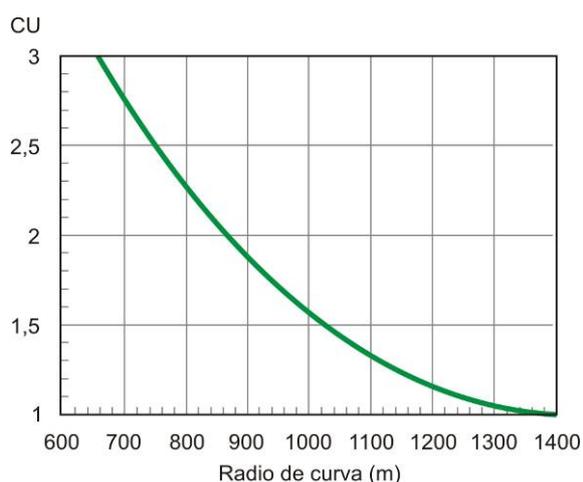


Figura 7.64 Factor de riesgo CU o puente en curva horizontal

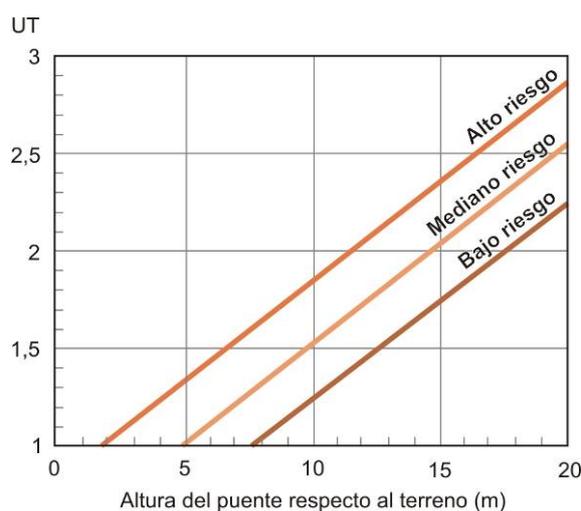


Figura 7.65 Factor de riesgo UT según el uso del terreno bajo el puente

UT: Factor de ajuste por severidad del accidente al caer del puente. Considera la severidad del accidente para los ocupantes del vehículo por la altura de caída y la severidad del accidente por el uso del suelo adyacente. Se obtiene de la Figura 7.65.

Para determinar la severidad del accidente por uso del suelo se considera:

- Alto Riesgo: cuando existe un riesgo significativo para personas o propiedades bajo el puente como p. ej. cruces sobre caminos principales, ferrocarriles, casas, fábricas.
- Mediano Riesgo: cuando existe un riesgo ocasional a personas o propiedades bajo el puente como caminos secundarios, áreas con ocupación eventual, ferrocarriles con servicios esporádicos.
- Bajo Riesgo: el riesgo es mínimo o insignificante para personas o propiedades debajo del puente, como p. ej. en caminos rurales, cursos de agua rurales, etcétera.

En función de la velocidad directriz se selecciona de las Figura 7.66, Figura 7.67, Figura 7.68, Figura 7.69, la adecuada. Las figuras tienen tres zonas separadas por líneas que consideran la distancia del borde de calzada a la barrera. Cada zona indica el nivel de contención recomendado para el valor del TMDA ajustado y el porcentaje de vehículos pesados. Para el cálculo del porcentaje de vehículos pesados se deben considerar todos los vehículos a partir del camión simple.

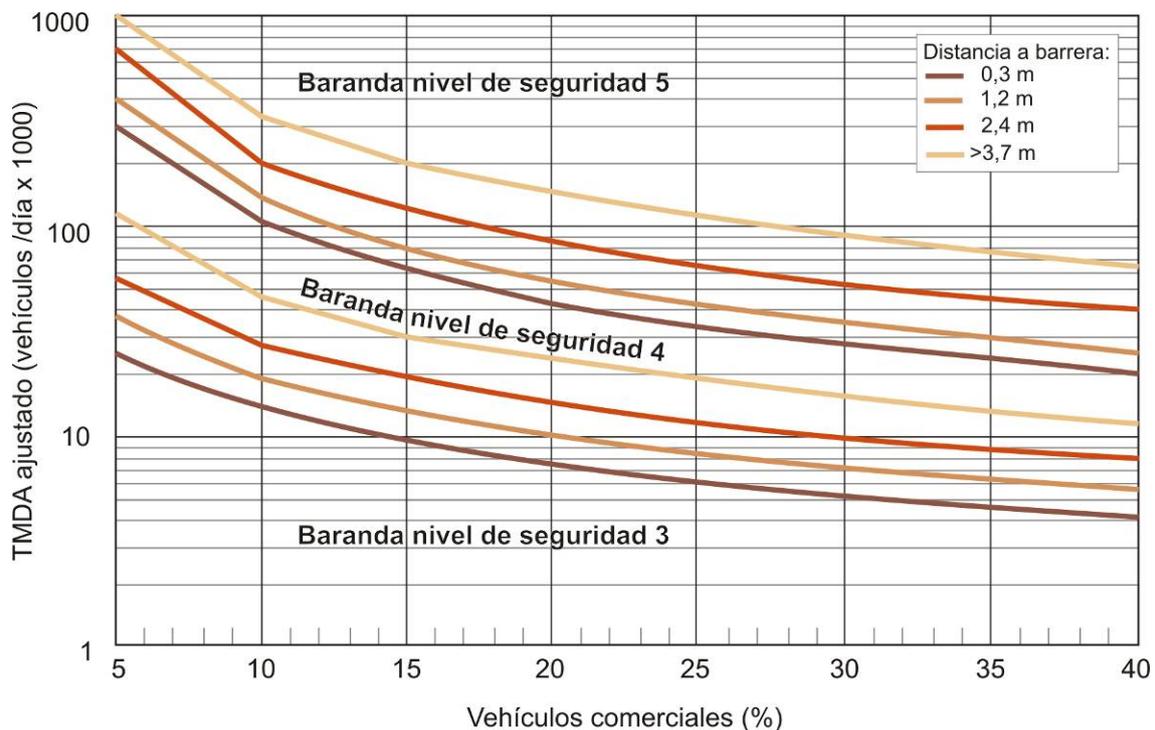


Figura 7.66 Velocidad máxima 60 km/h

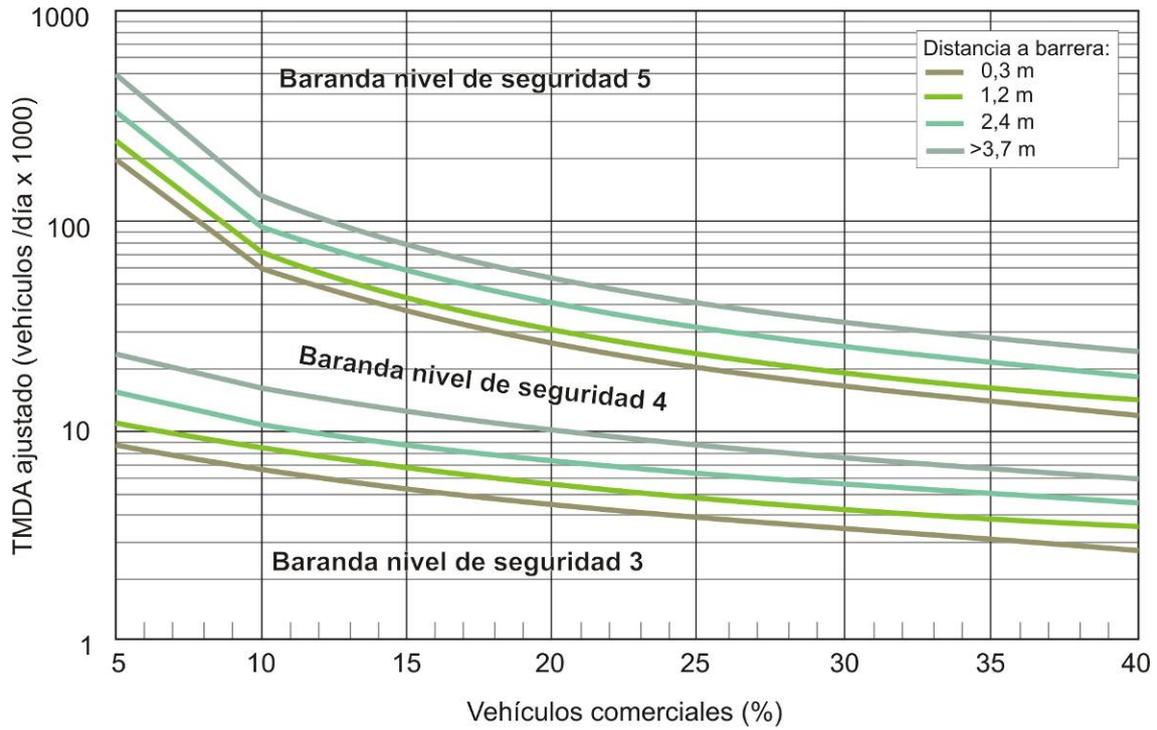


Figura 7.67 Velocidad máxima 80 km/h

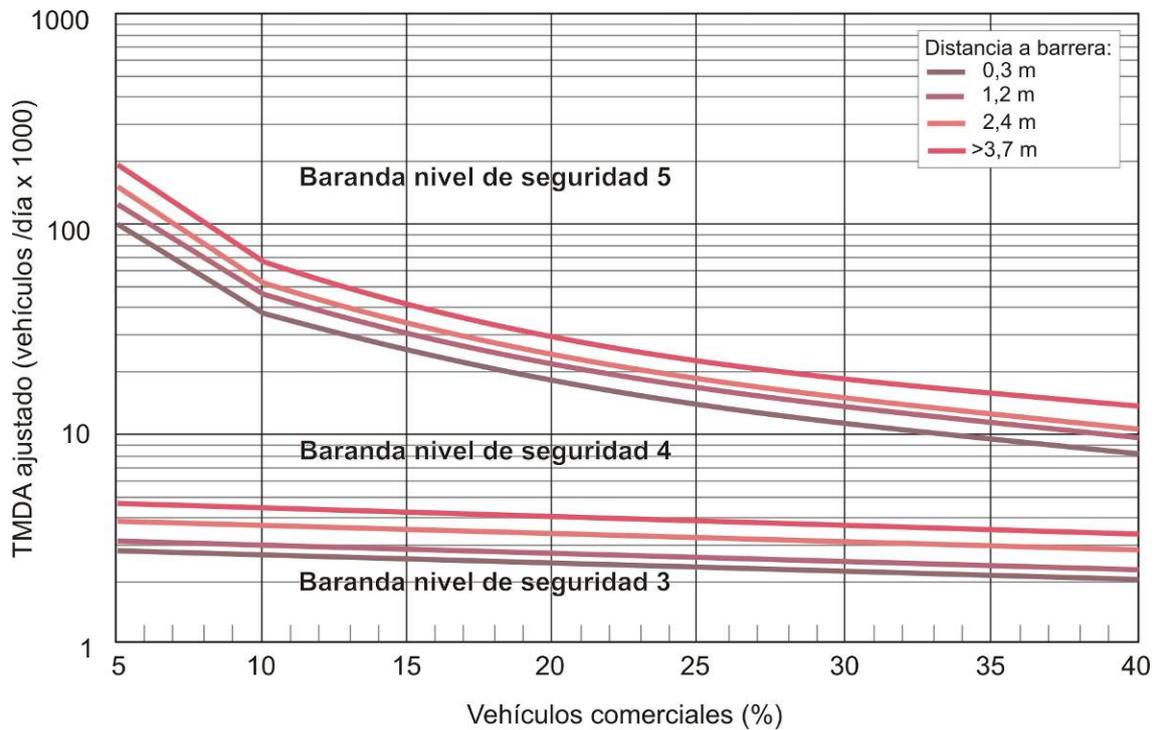


Figura 7.68 Velocidad máxima 100 km/h

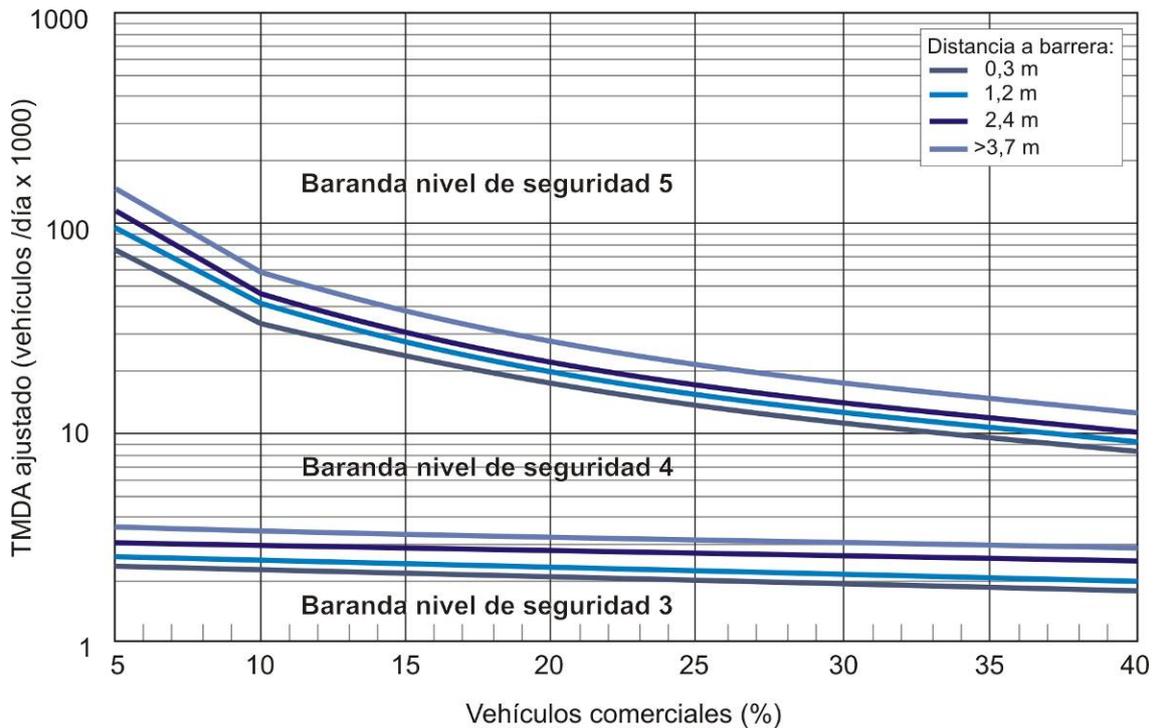


Figura 7.69 Velocidad máxima 110 km/h

Compatibilidad entre sistemas

Los sistemas de barreras de aproximación pueden diferir en rigidez, altura y características de deflexión de los sistemas de barrera en el puente por lo que es necesario intercalar una transición entre sistemas. La barrera del puente es parte de un sistema de barrera total y no un elemento único.

Las características de las transiciones están indicadas en 7.7.

Costos

Los costos de las barreras de puente se dividen en tres categorías: costos iniciales de construcción, costos de mantenimiento de largo plazo y costos de reparación de la barrera por choque.

El costo inicial de un sistema es mayor en cuando su resistencia aumenta, pero raras veces se vuelve una parte significativa del costo de construcción total, excepto en los puentes extremadamente largos o cuando se usa una barrera de alto nivel de comportamiento que aumenta los requerimientos de anclaje en el tablero y que agrega considerable peso muerto al puente.

Los costos de mantenimiento disminuyen significativamente al crecer la resistencia de la barrera. Algunas barreras de alto comportamiento pueden no requerir mantenimiento, a menos que sean chocadas por los vehículos más pesados para los cuales fueron diseñadas.

Los diseños de barreras susceptibles de dañarse por los impactos deberían estandarizarse de modo que la disponibilidad de partes de reemplazo no se vuelve un problema. Las barreras que eliminan o minimizan los daños al tablero son deseables desde un punto de vista de mantenimiento.

Experiencia de campo

El proyectista deberá recabar la información disponible de accidentes de tránsito contra las barreras de los puentes para evaluar el comportamiento en servicio, los daños y costos de reparación.

Con estos datos se pueden introducir cambios al sistema mejorando comportamiento en servicio, reduciendo los daños y los costos de mantenimiento.

Estética

La barrera de puente puede ser particularmente importante en caminos escénicos, en caminos en parque nacionales, en cruces en alto nivel o en caminos urbanos, sin embargo el comportamiento seguro de una barrera no debe sacrificarse. Particularmente, las defensas de hormigón armado carecen frecuentemente de un aspecto estético por ser una barrera visual de importancia, pudiendo una barrera metálica de caños o perfiles y postes encuadrar mejor en un marco arquitectónico que así lo requiera.

Se han desarrollado algunas barreras aparentemente rústicas y que ensayadas al choque demostraron eficiencia además de buen aspecto. Cualquier barrera de puente no estándar diseñada por apariencia debería ser ensayada al choque antes de ser usada extensivamente.

En general las barreras estéticas suelen ser más caras que las barreras de igual tipo normales pero se puede justificar su utilización en el impacto visual.

La altura de la barrera de hormigón es un aspecto estético a tener en cuenta. Una barrera excesivamente alta en lugares donde no sea estrictamente necesario, podría dar una sensación de encierro importante al conductor con una tendencia a alejarse de la pared visual que le impone la barrera, con la consecuente disminución de la calzada efectivamente útil para el tránsito. El nivel de visibilidad debería ser el máximo posible según el nivel de seguridad requerido para las barreras del puente.

En contrapartida, defensas muy bajas pueden dar la impresión de escasa contención especialmente en puentes en curva vertical y/o horizontal. La tendencia del conductor también será alejarse de la barrera en este caso por sentirse inseguro por una posible caída.

La utilización de relieves o facetamientos en la cara externa de las defensas ciegas de hormigón, logran realzar en cierta medida la estética para un observador externo, al cortar la monotonía de un paramento uniforme y lograr diferenciar el sistema de contención del verdadero espesor del puente.

Un paramento vertical uniforme le quita visualmente esbeltez al puente, pareciendo una estructura demasiado pesada para cubrir una luz dada. En cierta medida, los ángulos y relieves diferencian los elementos y destacan esta división logrando realzar visualmente al puente

7.8.7A Corrección de sistemas existentes

La corrección de los sistemas de contención en puentes, alcantarillas y sus aproximaciones requiere identificar los que potencialmente se observen deficientes. Se debe verificar los detalles críticos de diseño tales como las conexiones con la placa base, anclaje de pernos, detalles de soldadura, etcétera. Se debe estudiar la posibilidad de enganche y la existencia de veredas o guardarruedas que puedan provocar el salto del vehículo. En las transiciones se debe analizar la conexión geométrica y estructural para evitar embolsamiento.

Ante la imposibilidad de corregir las barreras de todas las estructuras se recomienda sobre la base de la documentación internacional la siguiente estrategia de mejoramiento, en la cual no se ha considerado el TMDA.

- Corregir las barreras de cualquier puente o alcantarillas con historial de accidentes. Se recomienda intervenir donde hubiese tres o más accidentes en un período de 24 meses.
- Corregir las barreras de cualquier puente o alcantarilla donde las barreras existentes estén en mala condición de mantenimiento.
- Reconstruir las barreras que estén sustancialmente dañada por un accidente.
- Reemplazar o reforzar las barreras con postes de hormigón y barreras de enrejado de acero.
- Intervenir prioritariamente en estructuras de menos de 30 m de longitud.
- Alcantarillas cuando exista historial de accidentes.
- Alcantarillas de autopistas y autovías, cuando se hagan tareas de repavimentación y reconstrucción se dará prioridad para el tratamiento a las que tengan tamaño mayor que 0,90 m.
- Alcantarillas de caminos, cuando se hagan tareas de repavimentación y reconstrucción se dará prioridad para el tratamiento a las que tengan tamaño mayor que 1,8 m.

Los diseños deberían buscar incrementar la rigidez, dar continuidad estructural longitudinal al sistema y a las barreras de aproximación, reducir o eliminar los efectos no deseables de guardarruedas o veredas peatonales y/o eliminar el potencial de enganchamiento vehicular.

Refuerzo con barreras de hormigón, perfil F, pendiente única o muro liso vertical

Las barreras de hormigón se recomiendan para las reconstrucciones cuando la estructura sea capaz de soportar la carga fija adicional. Un refuerzo de hormigón de cara vertical puede causar fuerzas de desaceleración relativamente altas en impactos a ángulos agudos, pero su colocación en coincidencia con una vereda peatonal a desnivel, puede resultar en una barrera de contención efectiva.

Barreras viga W y triple onda

Para las barreras de puentes y alcantarillas de baja capacidad estructural, una solución adecuada es continuar la barrera de aproximación a través de la estructura. Aunque éste tratamiento podría no dejar estos puentes con barreras que cumplan con las exigencias de diseño de la AASHTO, puede mejorar significativamente la capacidad de las barreras existentes con bajo estándar. Este procedimiento es conveniente, particularmente en vías de bajo tránsito, con estructuras que tienen barreras de madera o de metal, con poca capacidad de contención.

Vigas y perfiles metálicos

Las barreras con postes y vigas metálicas podrían ser utilizadas en estructuras existentes que cuente con una vereda peatonal, separando el tránsito vehicular del peatonal. La barrera existente del puente puede mantenerse como una barrera peatonal.

En todas las estructuras que cuenten con veredas peatonales se deberá analizar el tránsito peatonal. En los casos que no se justifique mantener la vereda se recomienda transformarla en banquina.

7.9.1A Memorando de la FHWA NCHRP Report 350 Guías para Seleccionar Terminales de Barrera de Viga-W

Memorando

Administración Federal de Vialidad - FHWA

http://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/policy_guide/road_hardware/policy_memo/memo1004/

Asunto: **INFORMACIÓN: Guías para Seleccionar Terminales de Barrera de Viga-W**

Fecha: 26 de octubre 2004

De: John R. Baxter, P.E.
Director, Oficina de Diseño de Seguridad

A: Directores de Centro de Recursos
Ingenieros de División Caminos Federales.

Desde finales de 1998 se requiere que los terminales de Viga-W instalados en el Sistema Vial Nacional, NHS (National Highway System), sean válidos al choque. En 1993 se adoptó el Informe NCHRP 350 como norma por la cual se juzga la "validez a los choques" de los dispositivos laterales de defensa, y tal adopción resultó en muchos diseños nuevos o rediseños de terminales para la baranda de defensa de Viga-W. Sin embargo, los terminales válidos al choque no tienen todas las mismas características de comportamiento, y entonces no deben usarse indistintamente sin tener en cuenta las condiciones específicas del lugar. El propósito de esta nota es proveer las características específicas de la mayoría de los terminales de barandas para barrera de Viga-W aceptados para usar en el NHS evaluados con los criterios del Informe NCHRP 350, y proveer guías para su selección. Además, proporciona información específica sobre el diseño y uso apropiado de los diseños genéricos enterrados en el contratalud, un tema planteado por la NTSB, sobre su reciente informe sobre un accidente con múltiples muertos.

Los proyectistas deben asegurarse de que todos los terminales de Viga-W, especialmente los que no disipan significativa energía durante el choque, provean una adecuada zona de recuperación detrás del terminal. El adecuado perfilado del terreno antes, adyacente y en la distancia de salida es crítico para conseguir un comportamiento óptimo al choque de todos los diseños de terminales de Viga-W. Para un terminal enterrado en el contratallud se debe prestar atención en asegurar el diseño de una longitud de necesidad adecuada, y proveer una adecuada zona de recuperación detrás y mas allá de la barrera, si el contratallud es más tendido que aproximadamente 1:1. Además, la altura de la barrera para un diseño de terminal enterrado en el contratallud debe medirse desde el borde de la calzada, y no desde el terreno directamente abajo de la baranda para los caminos de alta velocidad del NHS.

Las guías adjuntas proveen información general sobre una serie de extremos de barreras de Viga-W como también una extensa discusión y los criterios de diseño señalados anteriormente. Puede obtenerse información detallada sobre terminales específicas en:

<http://safety.fhwa.dot.gov/report350hardware>

http://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/policy_guide/road_hardware/

http://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/policy_guide/road_hardware/policy_memo/memo072597/memo072597.pdf

http://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/policy_guide/road_hardware/policy_memo/memo1105a/

http://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/policy_guide/road_hardware/listing.cfm

Si tiene más preguntas, por favor, comuníquese con el Sr. Richard Powers en el (202) 366-1320 o richard.powers@fhwa.dot.gov

Adjuntos

GUÍAS PARA SELECCIONAR TERMINALES DE BARRERAS DE VIGA-W

1. Introducción

Estas guías son para uso del personal involucrado con la selección, diseño, instalación o reparación de los terminales utilizados con barreras laterales de Viga-W. No tratan los terminales de ningún tipo de barrera de la mediana o para cualquier barrera lateral distinta que la Viga W de poste fuerte o Viga de tres ondas con transición a Viga-W.

Como se afirma a menudo, la barrera en sí es un peligro y su uso sólo se justifica cuando los impactos con una barrera pueden ser menos graves que las consecuencias de un vehículo que continúa fuera de la calzada en el mismo lugar. Para ser eficaz, la barrera debe ser lo suficientemente larga y alta como para interceptar a un vehículo antes de alcanzar un objeto protegido o terreno no traspasable. El propósito principal del terminal de Viga-W es dar anclaje para permitir el desarrollo de la resistencia a la tracción total del elemento de baranda de Viga-W para todos los impactos dentro de la longitud de necesidad (LDN) de la barrera, mientras minimiza el daño a los ocupantes del vehículo en el caso de un accidente cerca o en el terminal. Los terminales válidos al choque se requieren en todas las instalaciones de barreras del NHS, y se recomiendan usarlos en todos los caminos públicos.

Los terminales se someten a una serie de pruebas en las que el tipo de vehículo, tamaño, orientación, velocidad y ángulo de choque, y el punto de referencia se encuentran especificados. Se supone que un terminal es válido al choque si cumplió todos los criterios de evaluación indicados en Informe NCHRP 350, para cada una de las pruebas de choque requeridas. Hasta siete pruebas son generalmente requeridas y hasta la fecha, prácticamente todas las pruebas sobre terminales se realizaron sobre terreno plano en la aproximación a la barrera y que se extiende por detrás y más allá de las instalaciones de prueba.

Un hecho importante que se señala en el Informe NCHRP 350 es que un determinado elemento que haya cumplido los criterios de evaluación para un determinado nivel de prueba, a menudo puede tener diferentes rendimientos característicos. Un segundo hecho a destacar es que los accidentes reales casi siempre difieren de las condiciones de ensayo especificadas, tipos de vehículos, posición del vehículo en el impacto, ángulos de impacto, velocidades de impacto, puntos de contacto inicial, condiciones del sitio y las reacciones del conductor, teniendo todos un significativo efecto en los resultados finales de un choque real. El rendimiento óptimo de la terminal es más probable que ocurra cuando las condiciones del accidente y las condiciones del sitio reproducen estrechamente las condiciones de prueba.

2. Características del Terminal

Aunque los términos *traspasable (gating)* y *no traspasable (non gating)* se usaron tradicionalmente para clasificar los diseños de terminales, estas definiciones son engañosas cuando se aplican a los terminales de viga-W. **Todos los terminales de Viga-W tratados a continuación, a excepción de algunos tratamientos de enterrados en el contratalud, son terminales traspasables.** Esto significa simplemente que todos ellos, al ser golpeado en la nariz o cerca de ella en un ángulo de 15° o más, cederán fácilmente, permitiendo que un vehículo que los golpee continúe su marcha hacia el área inmediatamente detrás y más allá del terminal. Así, para golpes con un ángulo de 15° o más y a la altura del primer poste, todos los terminales de Viga-W se comportan más o menos igual, y la mayoría de los vehículos que impactan viajarán por detrás y más allá del terminal.

Los terminales de baranda de defensa de Viga-W también se clasifican como diseños tangentes (instalados paralelos al borde el camino) o diseños abocinados (abocinados hacia fuera desde el camino). Sin embargo, la experiencia demostró que incluso los terminales tangentes, tales como el ET-2000 y el SKT-350, se instalan mejor desplazados entre 0,3 ó 0,6 m de la línea de la barrera (en toda la longitud del terminal) para reducir al mínimo el daño por los choques. Las típicas terminales abocinadas como el ELT y la SRT generalmente requieren 1,2 m de desplazamiento lateral desde la barrera, aunque algunos modelos se probaron con éxito con menos compensaciones. El desplazamiento lateral real de un terminal puede tener un efecto significativo en los requisitos del ensanchamiento de coronamiento en el sitio de instalación como se discute con mayor detalle más adelante. Sin embargo, la diferencia más significativa en el rendimiento de la terminal es si es capaz o no de frenar sensiblemente el impacto de un vehículo en choques cercanos a los extremos.

Los terminales tangentes se diseñaron y desarrollaron para disipar cantidades significativas de la energía cinética en un choque frontal y se consideran diseños que absorben energía. En alta velocidad, los impactos frontales en la nariz terminal, los terminales con capacidad de absorber energía demostraron su capacidad para detener a los vehículos que impactan de forma segura y en distancias relativamente cortas (normalmente de 15 m o menos dependiendo del tipo de terminal). La mayoría de las terminales abocinadas se clasifican como diseños que no absorben energía, y permitirán a un vehículo sin frenos recorrer por detrás de la barrera y en forma paralela más de 45 metros o sobre ella cuando se la golpea frontalmente a alta velocidad.

La decisión de utilizar un terminal que absorbe energía frente a otro que no, debería basarse en la probabilidad de un impacto en la proximidad del extremo y en las características de la zona de recuperación inmediatamente detrás y más allá de la terminal. Si la longitud de necesidad de la barrera se determinó de forma adecuada, es poco probable que un vehículo alcance al objeto protegido después de un choque en el extremo, independientemente del tipo de terminal seleccionado.

Sin embargo, si el terreno más allá de la terminal e inmediatamente detrás de la barrera no es traspasable con seguridad, es recomendable un terminal con capacidad de absorción de energía.

3. Requisitos del ensanchamiento de coronamiento en la zona de emplazamiento

El ensanchamiento del coronamiento en la zona de emplazamiento extremo de barrera es un factor importante, independientemente del tipo específico de terminal utilizado. Los terminales se prueban para su validez al choque sobre terrenos planos y sin obstáculos, característica que rara vez se encuentra en aplicaciones reales. El ensanchamiento del coronamiento debe considerarse en tres zonas:

Ensanchamiento de aproximación, ensanchamiento en zona adyacente y ensanchamiento en zona de salida. Un adecuado ensanchamiento en la zona de aproximación al terminal es necesario para asegurar que el vehículo se encontrará estable en el punto de contacto inicial. Un adecuado ensanchamiento en la zona adyacente es necesario para asegurar que el vehículo ha permanecido estable durante el contacto físico con el terminal. Por último, un adecuado ensanchamiento de la zona inmediatamente aguas abajo y detrás del terminal es necesario para asegurarse de que el vehículo permanezca estable después de que traspasa el terminal y hasta que se detiene. Esta distancia de salida no debe confundirse con la longitud de salida necesaria para calcular la longitud de necesidad de la barrera, y es especialmente importante para choques próximos a las narices de terminales sin capacidad de absorber energía.

El ensanchamiento en la zona de aproximación debe aplicarse al terreno sobre el cual un vehículo puede desplazarse antes de ponerse en contacto con el terminal de barrera. Para terminales de barrera viga-W, esta área no debe ser más pronunciada que 1:10 para asegurarse que un vehículo se mantiene estable en el momento del impacto y que su suspensión no está extendida ni comprimida. Algunos diseños estándares requieren la construcción de una zona de aproximación adecuada o ampliación de la sección transversal en el talud lateral para ubicar la instalación del terminal. En algunos casos, esta ampliación crea discontinuidades en el talud antes del terminal que pueden causar que los conductores pierdan el control de sus vehículos y, posiblemente vuelquen antes de llegar al terminal. Algunos ensanchamientos conforman taludes muy parados inmediatamente detrás del terminal. Cuando se construyen los ensanchamientos del coronamiento, deben tener suaves transiciones hacia los taludes existentes, de modo que el costado del camino en la aproximación a la barrera permanezca traspasable, así como en el área inmediatamente detrás de ella. En muchos casos, tendrá mejor efectividad-de-costo extender la barrera si su terminal puede instalarse sin necesidad de movimiento de suelo adicional o utilizar un terminal que requiera menor abocinamiento.

El ensanchamiento en la zona adyacente se refiere a la superficie en la que el extremo de barrera está instalado y el área inmediatamente detrás de él. Idealmente, esta área debe ser esencialmente plana y el terreno en sí mismo no debe aumentar bamboleo del vehículo, la inclinación o el derrape al momento del impacto con el extremo de barrera. Para los impactos en el costado de un extremo donde se espera redireccionamiento (desde el tercer poste para las actuales terminales de barrera de viga W), los postes del terminal deberían tener al menos 0,6 m de soporte del suelo detrás de ellos. Para los impactos próximos a la nariz, un área relativamente plana debe extenderse 1,5 m por detrás de la nariz del terminal en la dirección opuesta desde la calzada por lo que un automovilista que golpea el terminal con la parte frontal izquierda de su vehículo no tendrá un alto ángulo de bamboleo antes del impacto. Estas dimensiones recomendadas se muestran en la Figura 8.2 del AASHTO Roadside Design Guide del 2002. Si se construyó el ensanchamiento, el borde debe unirse en forma gradual (por lo general) con los taludes mas parados detrás de la barrera.

Desde un punto de vista práctico, un talud recuperable de 1:4 detrás de la terminal puede ser un compromiso práctico y, en algunos casos, taludes traspasables tan parados como 1:3 pueden ser aceptables. Como guía general, si un automovilista en un vehículo de pasajeros puede conducir alrededor de un terminal y estacionar directamente detrás de él, podría ser razonable suponer que el ensanchamiento adyacente es por lo menos adecuado. Si el talud es demasiado empinado o demasiado rugoso para permitir esto, incluso a una velocidad lenta, es una buena suposición que un choque a alta velocidad en el terminal tendría resultados inciertos. Mientras que el ensanchamiento del coronamiento debería ser posible en las autopistas y muchos otros caminos arteriales de alta velocidad, puede que no sea rentable en los caminos con ancho de zona de camino limitada y zonas despejadas reducidas. En estos lugares, el área inmediatamente detrás de la terminal debería ser al menos de naturaleza similar a la vera del camino justo a la entrada de la terminal.

El ensanchamiento en la zona de salida se refiere a la zona que puede recorrer un vehículo que impacta después de romper una terminal traspasable. La extensión física de la superficie necesaria puede variar dependiendo del tamaño del vehículo y la velocidad de impacto, el ángulo de impacto, reacción del conductor, la condición del terreno, y el tipo de terminal. Para impactos en un ángulo de 15 grados en la nariz de todos los terminales de barrera de viga W, los vehículos de prueba han recorrido más de 30 m lateralmente, alejándose del camino. Es evidente que no es práctico dar distancias desviación lateral (o zonas despejadas) tan anchas. Sin embargo, la distancia de desviación lateral, justo detrás de un terminal, idealmente sería al menos tan ancha como la distancia de recuperación del costado del camino justo a la entrada de la terminal. No es probable que sea rentable, ni es recomendable, dar mayor zona despejada detrás de un terminal que el que existe en otros lugares a lo largo del camino.

La distancia longitudinal de salida, detrás de la viga y paralela a ella es más difícil de acotar. En el informe de NCHRP 350 el ensayo de certificación 3-31, un choque en el extremo a una velocidad nominal de 100 km/h con una camioneta, la camioneta esencialmente se detuvo en posición vertical unos 15 m más allá del punto de impacto inicial en todas las pruebas con Terminales con capacidad de absorción de energía como el ET-serie y el SKT. En las mismas pruebas contra Terminales sin capacidad de absorción de energía como el TL-2 MELT, la Eccentric Loader Terminal (ELT), el REGENT-C, y la SRT, la camioneta se montó sobre la baranda y se deslizó por encima aproximadamente 45 m o recorrió más de 45 m por detrás de la barrera paralelamente. Bajo las condiciones de prueba, el área detrás de la barrera era plana, sin obstáculos y todos los vehículos de prueba se mantuvieron en posición vertical cuando llegaron a la detención. Si la longitud de necesidad de la barrera ha sido correctamente calculada, un vehículo que recorre 50 m por detrás de ella, no es probable que alcance al elemento a proteger para el cual ha sido diseñada la barrera. Sin embargo, en la mayoría de los casos, esa zona no será fácilmente transitable, ya sea por su topografía o por la presencia de otras características que podrían causar la inestabilidad del vehículo.

Si bien es deseable contar con un área de recuperación a largo disponible inmediatamente detrás de la barrera, las consideraciones prácticas a menudo dictan un área mucho más pequeña. Como se recomienda en la Sección 8.2 de la AASHTO 2002 Roadside Design Guide, la mínima área de recuperación por detrás y más allá de todos los terminales de barrera viga W debe ser un área de aproximadamente 22,5 m de largo y 6 m de ancho. Este tamaño del área se basa en la posición final de detención de los vehículos pequeños en un impacto a 100 km/h contra una terminal sin capacidad de absorción de energía. Una menor área de recuperación puede ser adecuada para terminales con capacidad de absorción de energía (o para cualquier tipo de terminal a bajas velocidades de choque) y un área más grande es deseable para utilizar diseños sin capacidad de absorber energía para choques en los extremos del terminal.

Tenga en cuenta que si la carretera antes del terminal no cuenta con 6 m de ancho de zona de recuperación, no es la intención que proporcione zona despejada detrás de la terminal, pero la zona de recuperación debería al menos ser coherente con la disponible en otros lugares a lo largo del camino. Como se indicó anteriormente, si un conductor podría conducir a 22,5 m por detrás de la barrera y paralelo a la instalación, la distancia mínima longitud de salida probablemente exista. Si eso no es posible, incluso a baja velocidad, las consecuencias de chocar el extremo del terminal a 100 km/h es probable que sean graves. Sin embargo, en muchos casos, particularmente en caminos de dos carriles fuera de la NHS, puede incluso no ser rentable dar una mínima área de salida debido a las limitaciones físicas, tales como zonas de camino restringidas, los cuidados ambientales, o la insuficiencia de recursos.

4. Terminales enterrados en contrataludes

Una barrera de viga *W* puede ser terminada en un contratalud, es un tratamiento de extremo preferido, ya que elimina cualquier posibilidad de choque contra el extremo. Sin embargo, una instalación efectiva debe satisfacer varios criterios de diseño. Primero y principal de ellas debe ser la inclinación del contratalud en el que es anclada la viga *W*. La pendiente ideal es la próxima a la vertical, en cuyo caso el contratalud en efecto se convierte en una extensión de la barrera y un conductor no puede físicamente traspasar detrás del terminal. En tal caso, la barrera puede ser llevada dentro del contratalud, tan rápido como sea posible utilizando la máxima relación apropiada de abocinamiento para la velocidad de diseño del camino. Si el contratalud es mucho más tendido que 1H: 1V el diseño de anclaje en contratalud se comporta esencialmente como una terminal abatida y pueden ser montados. En estos casos, la longitud de necesidad total de la barrera debe ser colocada y debe haber una distancia mínima detrás de la viga, que es de 22,5 m de largo y 6 m de ancho que a la vez debe estar libre de objetos fijos y razonablemente transitable, al igual que con todas las otras terminales de viga *W*. **Para el diseño de terminales enterradas en el contratalud, la longitud de la necesidad comienza en el punto donde la viga *W* alcanza su altura de trabajo en relación con el borde de la banquina, generalmente el punto está donde la barrera cruza la línea de la zanja. Si el contratalud continua por debajo y en frente a la viga *W* abocinada, la altura de la viga es reducida efectivamente y el talud forma una rampa que podría permitir a un vehículo montarse sobre la viga en lugar de ser redirigida.**

Los diseños enterrados en contrataludes se han probado con éxito sobre taludes 1:10, 1:6, y 1:4. En cada caso, la altura de la viga *W* se mantiene constante en relación con la elevación del borde de banquina hasta que la viga cruzó la parte inferior zanja. Cuando la distancia desde el suelo hasta la parte inferior de la viga *W* excede aproximadamente las 0,5 m, debe agregarse una viga *W* de fricción para reducir al mínimo enganches rueda en los postes de apoyo. Las primeras pruebas con un vehículo sedan de 4500 libras contra una terminal abocinada en un talud 1:10 pero con una altura constante sobre el suelo, fallo para un ángulo de choque de 25°, pero no contiene ni redirige el vehículo en un ángulo reducido de 15°. Debido a que la camioneta del NCHRP 350 tiene un centro de gravedad más alto que el vehículo de prueba del NCHRP 230, la altura de la viga *W*, incluso a través de taludes 1:10, debe coincidir con la categoría del camino en los caminos de alta velocidad del NHS.

5. Otros modelos no patentados / no comerciales

A mediados de 2004 solamente tres terminales no comerciales para barreras de viga *W* han sido probadas completamente bajo las directivas del reporte NCHRP 350. El terminal Vermont Gd-1 y el Modified Eccentric Loader Terminal (MELT) fueron ensayados a 70 km/h y aceptados como terminales con nivel de prueba dos TL-2.

El Eccentric Loader Terminal (ELT) fue aceptado como diseño con nivel de prueba tres, TL-3. Ninguno de estos terminales tiene capacidad de absorber energía, y todos ellos fueron instalados donde existía por detrás de ellos una razonable distancia de salida.

6. Terminales patentadas / comerciales

Las tres terminales comerciales sin capacidad de absorción de energía en uso en 2004 son el Slotted Rail Terminal (SRT), el REGENT (no usado a menudo), y el REGENT-C. Estos diseños son los mejores para utilizarlos en lugares donde un vehículo puede recorrer al menos 22,5 m por detrás y paralela de la barrera sin chocar el objeto protegido o cualquier obstáculo o cualquier condición del terreno que pudiera causar desaceleración violenta o bamboleo. Note que bajo condiciones de ensayo a alta velocidad y un choque a 0° los vehículos de ensayo sin freno recorrieron más de 45 m por de detrás y paralelo a la barrera. Para bajas velocidades de choque y donde es posible frenar estas distancias como es natural se reducen.

El terminal con capacidad de absorción de energía en uso en 2004 es el ET-2000 series, el BEST (no usado a menudo), el Sequential Kinking Terminal (SKT) y el Flared Energy Absorbing Terminal. Estos diseños son recomendados para su instalación en lugares donde se disponga el área mínima recomendada de 22,5 m x 6 m inmediatamente detrás y paralela a la barrera.

7. Necesidad de continuar ensayando

Muchos informes fatales han resultado de choques laterales contra terminales aprobadas, cuando las condiciones del lugar no están consideradas dentro de la matriz de prueba de choque. A partir de esto dos hechos se volvieron evidentes. Primero, un choque contra un terminal puede resultar en serias lesiones entonces la mejor selección al diseñar puede ser eliminar la necesidad de una barrera. Segundo, cada terminal debe ser seleccionada e instalada de manera de que un conductor que choca en cualquier ángulo y a cualquier velocidad tenga las mejores probabilidades de sobrevivir. Todas las terminales probadas al choque no son automáticamente adecuadas para usar en cualquier lugar. Entonces, la selección de un terminal debe surgir de una decisión de diseño basada en las condiciones del lugar y del conocimiento del comportamiento característico de todas las terminales posibles de utilizar. La instalación de una barrera puede también ser alargada una distancia moderada para proveer una mejor ubicación para el terminal.

Cuando una barrera o terminal es chocada, deben ser hechos todos los esfuerzos para determinar si se ha comportado como se esperaba, p. ej.. Si el vehículo permaneció en posición vertical y si los ocupantes del vehículo han tenido lesiones serias. Una revisión en servicio coordinada de todos los lugares de choque, aunque informal, provee invaluable información del comportamiento del sistema y ayuda a identificar problemas comunes que pueden entonces ser abordados sistemáticamente.

8. Referencias

Información específica de los terminales indicados pueden ser encontrados en la edición 2002 del AASHTO Roadside Design Guide o en la FHWA's Safety Hardware Website en <http://safety.fhwa.dot.gov/report350hardware>

7.10.1A Clasificación de los amortiguadores de impacto

Amortiguador de Impacto sin capacidad de redireccionamiento (AB)

Se denominan de esta manera a aquellos amortiguadores de impacto en los que el vehículo puede ser detenido de manera controlada durante un choque frontal, pero que ante un choque lateral con un determinado ángulo, el vehículo puede atravesar el dispositivo manteniendo su trayectoria original.

Los tambores de plástico llenos de arena corresponden a esta categoría y son sistemas inerciales que se diseñan siguiendo la teoría de la conservación del momento.

El mecanismo de funcionamiento considera que al chocar los tambores, el vehículo los rompe y desplaza la arena contenida en ellos y transmitiéndose la energía del vehículo a la arena desacelerando el vehículo.

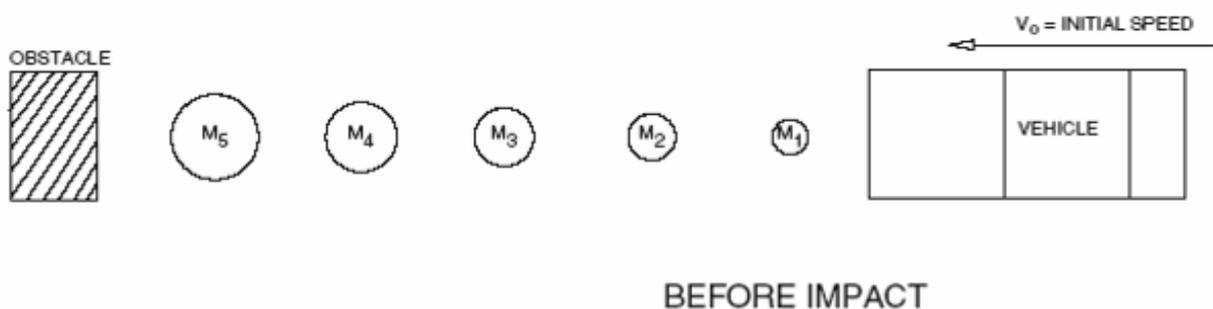
Los tambores se ubican en orden creciente de masa en dirección al obstáculo, para que el dispositivo aumente su resistencia gradualmente para que ante el impacto de un vehículo liviano las desaceleraciones sean compatibles con la capacidad de los ocupantes de absorber las desaceleraciones.

A medida que los vehículos van creciendo en su masa van involucrando a más tambores para reducir la velocidad.

Para el diseño se debe considerar el principio de conservación del momento lineal, en el cual el momento lineal es igual al producto de la masa por la velocidad.

$$\text{Momento} = m \times v$$

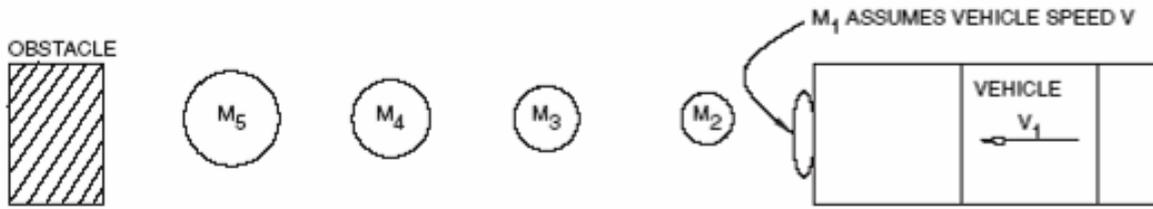
La teoría considera que la conservación del momento por el aumento de la masa del sistema por la incorporación de una masa inerte en la trayectoria del vehículo será a expensas de la reducción de la velocidad del conjunto.



$$\text{Momento del vehículo previo al impacto } M_v = m_v \times v_0$$

m_v masa del vehículo
 v_0 velocidad del vehículo

Si consideramos una serie de tambores de arena de masas variables, al impactar al primer tambor el momento del conjunto vehículo más primer tambor será:



AFTER IMPACT

$$M_{V+T1} = (m_V + m_{T1}) \times v_1$$

m_{T1} masa tambor 1
m_V masa del vehículo
v₁ velocidad del conjunto

por la teoría de conservación del momento

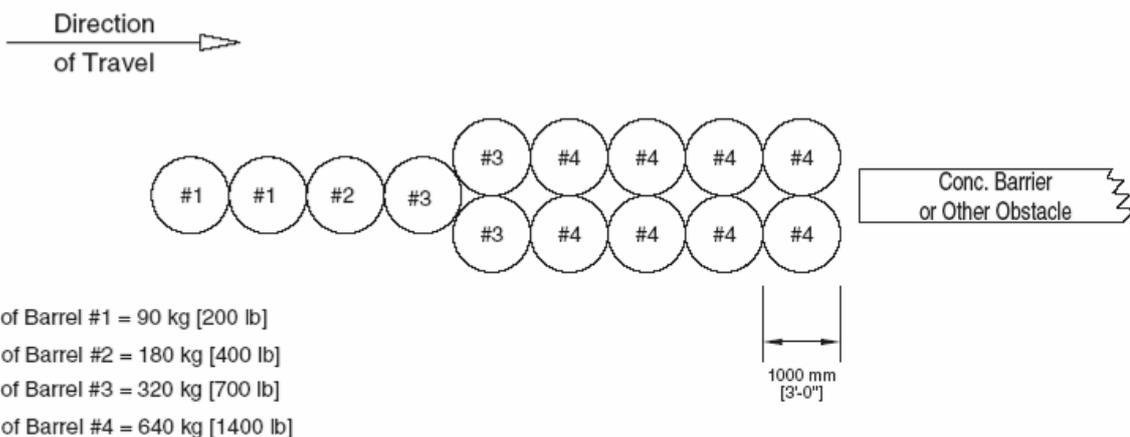
$$M_V = M_{V+T1} \Rightarrow m_V \times v_0 = (m_V + m_{T1}) \times v_1 \Rightarrow v_1 = \frac{m_V \times v_0}{(m_V + m_{T1})}$$

De la aplicación teórica pura del principio de conservación, el vehículo nunca se detendría totalmente. En la práctica se recomienda diseñar el sistema para que después de chocado el último módulo la velocidad sea menor que 15 km /h. Para seguridad adicional se puede agregar un módulo más al sistema calculado.

Se debe verificar la desaceleración media en cada impacto para verificar que no se superen los valores máximos admitidos de 12 g longitudinal y 5 g lateral, siendo deseables 9 g y 3 g respectivamente.

Los amortiguadores de impacto que operan bajo el principio de la conservación del momento no requieren una estructura de reacción.

A continuación se agrega un ejemplo de cálculo de un sistema de tambores de arena.



$$v_n = \frac{m_v \times v_{n-1}}{(m_v + m_n)} \quad a = \frac{v_n^2 - v_{n+1}^2}{2D} \quad G = \frac{a}{g} \quad t = \frac{v_n - v_{n+1}}{a}$$

D = distancia de desaceleración
a = desaceleración media
g = aceleración de la gravedad

G = grado de desaceleración
t = tiempo medio de choque

Velocidad inicial	100	km/h	G	t
Vehículo (kg)	2000	Kg		
M ₁	v ₀	v ₁		
kg	km/h	km/h		s
90	100	95,7	3,31	0,037
90	95,7	91,6	3,03	0,038
180	91,6	84	5,22	0,041
320	84	72,4	7,13	0,046
640	72,4	54,9	8,79	0,057
1280	54,9	33,5	7,44	0,082
1280	33,5	20,4	2,77	0,134
1280	20,4	12,4	1,03	0,219

El cálculo de la cantidad de tambores necesarios es sencillo para un choque frontal, sin embargo es difícil diseñar la distribución adecuada para prever los choques laterales. Se recomienda el uso de tablas y gráficos provistos por los fabricantes que, además, están estudiados y ensayados para cada tipo de objeto fijo a defender.

Para los cálculos se considera que la arena se encuentra limpia y con un contenido de humedad menor que el tres por ciento, siendo la densidad del orden de 1600 kg/m³. Como variante para estos sistemas se puede utilizar agua con 1000 kg/m³ en lugar de arena o también arcilla expandida.

Con altos contenidos de humedad en la arena y con temperatura ambiente bajo cero grados por varios días podría producirse el congelamiento de la arena con aumento de rigidez reduciendo el comportamiento seguro del sistema. Para esta solución o para cuando se utiliza agua se puede agregar sustancias anticongelantes. La arcilla expandida drena mejor y es menos susceptible al congelamiento.

Amortiguadores de impacto con capacidad de redireccionamiento (AR-P) y (AR-NP)

Se denominan de esta manera a aquellos amortiguadores de impacto que además de tener la capacidad de reducir controladamente la velocidad ante un choque frontal, pueden direccionar al vehículo ante un choque lateral sin embolsamiento ni penetración lateral del dispositivo.

La diferencia entre los AR-P y los AR-NP se da para los choques en la proximidad de la nariz del dispositivo.

Los AR-P permiten una penetración controlada en un choque frontal o frontal excéntrico paralelo redirigiendo el vehículo. Cuando el choque es frontal en ángulo el sistema deja pasar al vehículo a través del dispositivo. Los AR-NP están diseñados para desacelerar con seguridad un vehículo durante un impacto frontal centrado o excéntrico y ante choques frontales angulares se comporta de igual manera que en un choque lateral redirigiendo el vehículo sin penetración o embolsamiento.

La reducción de la velocidad en un choque frontal es mediante la transformación de la energía cinética del vehículo en trabajo de deformación, temporaria o permanente, de los elementos del amortiguador.

Ante impactos laterales, los amortiguadores cuentan con un sistema de similar comportamiento a las barreras laterales semirrígidas capaces de redirigir al vehículo, pero que para los impactos frontales funcionan telescópicamente sin oponer prácticamente resistencia.

El principio de transformación de la energía cinética en trabajo considera que la energía cinética que lleva el vehículo, previo al impacto, se disipa durante el choque, en trabajo de deformación del amortiguador.

La energía cinética (E_c) se define de la siguiente forma:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \times v^2$$

Donde:

m : masa del vehículo.

v : velocidad del vehículo previo al impacto.

La energía se conserva, no es creada ni destruida en el proceso. El trabajo realizado en la deformación del amortiguador de impacto (y del vehículo), T, será igual a la energía cinética inicial del vehículo:

$$E_c = T$$

Muchos amortiguadores de impacto que operan actualmente, fueron diseñados utilizando este principio básico de la conservación de la energía. Esta clase de amortiguadores requiere algún tipo de estructura de reacción, que tenga la capacidad de resistir la fuerza del impacto al producirse el colapso del amortiguador.

Amortiguadores de impacto móviles

Se instalan como dispositivo complementario de seguridad en la parte posterior de vehículos o en una plataforma que pueda desplazarse con el amortiguador.

Estos amortiguadores de impacto, se montan en aquellos vehículos que desarrollan trabajos de conservación y que constituyen un serio obstáculo, sobre todo cuando deben transitar a bajas velocidades o permanecer detenidos en la calzada o en la banquina. Ante un eventual impacto, estos dispositivos, cuya tecnología es similar a los sistemas fijos, protegen al camión y sus operadores, y a los ocupantes del vehículo que choca.

Este sistema de contención se recomienda sea utilizado en los caminos donde la velocidad de diseño u operación sea igual o superior a 100 km/h.

Disposición

El espacio disponible y la disposición o ubicación donde deben ser instalados los amortiguadores de impacto tiene directa relación con la elección del tipo de dispositivo. En espacios amplios, es posible que convenga elegir un amortiguador conformado por tambores plásticos rellenos con arena, en cambio, si la disponibilidad de espacio es reducida, la alternativa más probable será la de disponer de un amortiguador esbelto, del tipo "telescópico".

Siempre se debe tener presente, al igual que lo indicado en el caso de barreras, que el choque contra un amortiguador de impacto es un choque sustituto del que sucedería si no se hubiera previsto su instalación, siendo sus consecuencias más predecibles y menos graves pero no exentas de riesgo para los ocupantes del vehículo. Su instalación debe estar adecuadamente justificada, recomendándose cuando:

- Nariz de salida de ramas en caminos con velocidad directriz de 100 km/h o más y especialmente si hay desniveles.
 - con vacío por detrás de la Nariz
 - con estructura portante por detrás de la Nariz
- Nariz de Bifurcaciones, especialmente si hay desniveles
 - con vacío por detrás de la Nariz
 - con estructura portante por detrás de la Nariz
- Terminales de Barreras en mediana o en los costados del camino
- Parte frontal de cabinas de peaje
- Pilas de estructuras
- Lugares peligrosos en zona de obras
- Vehículos destinados a zona de obras o mantenimiento
- Vehículos destinados a la gestión de incidentes, especialmente en zonas de niebla

Criterios de selección

Una vez que se determine la necesidad de usar un amortiguador de impacto, el proyectista deberá considerar, como mínimo, los siguientes factores para seleccionar el sistema más apropiado:

Características del Lugar

Luego de identificar la necesidad de un amortiguador de impacto, se debe analizar el espacio disponible. Esto asegura que el sistema seleccionado pueda funcionar correctamente y sea posible efectuar su mantenimiento después de un impacto.

Para el caso de los amortiguadores tipo AB, usualmente tambores de plástico con arena, existen varias configuraciones en función del fabricante, la velocidad de diseño y de la forma del objeto fijo. Por este motivo el espacio necesario puede variar considerablemente.

Con los amortiguadores de impacto de tambores de plástico es importante posicionar cuidadosamente los tambores posteriores porque si no ha sido diseñado apropiadamente pueden permitir el enganche en la esquina del obstáculo rígido. Por esto, se recomienda que los módulos exteriores, en las últimas tres líneas posteriores, traslapen en su ancho al objeto fijo del cual se quiere defender, para de esta forma evitar impactos laterales. El solape deberá ser mayor que 0,80 m.



Se deberán tener en cuenta además las siguientes recomendaciones de instalación:

- Pendiente máxima de la calzada del 5 %.
- No se permite su instalación cuando existan veredas con cordones de altura mayor que 0,10 m.
- Se puede instalar sobre pavimentos asfálticos u hormigón.

En general, el uso de tambores de plástico será excepcional y en condiciones altamente eficientes, desde el punto de vista de la seguridad vial, sobre los requerimientos del proyecto y las recomendaciones del fabricante. Están asociados a instalaciones temporarias o zonas amplias de caminos de bajo tránsito donde la frecuencia de impactos sea baja. Los amortiguadores del tipo AB generan daños aceptables a los vehículos, pero tienen un nivel de contención incierto ante impactos no frontales y después de un choque se pueden dispersar fácilmente sus elementos (arena y tapas de tambores) que pueden afectar la operación de otros vehículos.

Las dimensiones necesarias para la instalación de los amortiguadores de impacto tipo AR están indicadas en la Figura 7.70 y cuantificadas en la Tabla 7.14. Las dimensiones recomendadas por los fabricantes deben ser consideradas como deseables, porque aseguran un correcto funcionamiento del dispositivo y cuenta con suficiente espacio para tareas de mantenimiento. Las dimensiones mínimas para un funcionamiento adecuado de un amortiguador de impacto son las indicadas como no restrictivas, siendo las mínimas absolutas las indicadas como restrictivas, y en esa situación no podría cumplir con todas las condiciones de desaceleración y redireccionamiento adecuadamente.

En la consideración que los sitios de emplazamiento deberán diseñarse en función del dispositivo adoptado, solo en aquellos casos donde se demuestre que hay un significativo aumento de los costos por pasar de las dimensiones restrictivas a las no restrictivas se permitirán usar las consideradas mínimas absolutas.

Deberá considerarse también las características operativas dado que el uso de las medidas indicadas en la condición restrictiva requiere del cierre de los carriles adyacentes durante las tareas de mantenimiento.

Tabla 7.14 Emplazamiento de amortiguadores con capacidad de redireccionamiento

Velocidad Directriz Km/h	Dimensiones del Amortiguador de Impacto (m)								
	Mínimo						Recomendado		
	Condición Restrictiva			Condición NO Restrictiva			N	L	F
	N	L	F	N	L	F	N	L	F
50	2	2,5	2,5	2,5	3,5	1	3,5	5	1,5
80	2	5	0,5	2,5	7,5	1	3,5	10	1,5
110	2	8,5	8,5	2,5	13,5	1	3,5	17	1,5
130	2	11	0,5	2,5	17	1	3,5	21	1,5

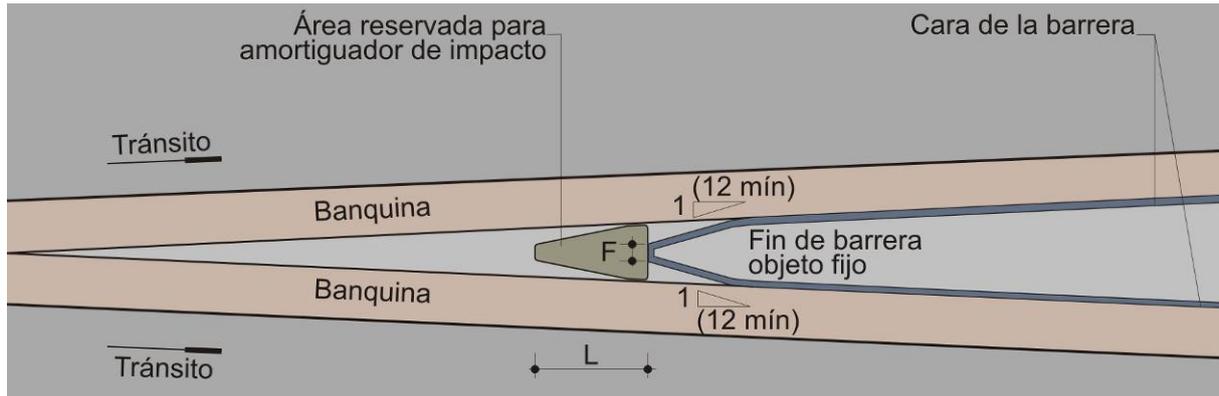


Figura 7.70 Ubicación de amortiguadores con capacidad de redireccionamiento

La información de la Tabla 7.14 es genérica por lo cual deberán utilizarse para el diseño los valores que figuren en el catálogo entregado por los fabricantes durante el proceso de homologación de sistemas, según Resolución 423/02.

Los amortiguadores tipo AR-P y AR-NP pueden instalarse sobre pavimentos de asfalto u hormigón o superficies no pavimentadas, siempre que estén niveladas y compactadas. Cuando existan cordones la diferencia de alturas no podrá ser mayor que 10 cm.



Costos iniciales y de mantenimiento

En los análisis de costos se deberá considerar las probabilidades de ser impactado que tiene el dispositivo en la ubicación planteada por la capacidad de reutilización de las partes.

Ante la posibilidad baja de ocurrencia de choques se podrían usar los del tipo AB que no son reutilizables, para una frecuencia media deberían utilizarse del tipo AR-P que tienen una baja posibilidad de reutilización y en el caso de alta frecuencia los del tipo AR-NP que son altamente reutilizables.

La frecuencia media de accidentes está asociada a extremos de barreras laterales o de puentes, mientras que las altas frecuencias están asociadas a obstáculos en medianas, narices de ramas de salida de autopistas, autovías o vías rápidas, en bifurcaciones y en la parte frontal de las cabinas de peaje y en los casos de frecuencia media para altos valores de TMDA.

También deben considerarse los costos de mantenimiento rutinario y de mano de obra. Se considera que el mantenimiento de rutina es aquel que no es efectuado por causas de un impacto. Como parte de estos trabajos de mantenimiento rutinario están, entre otros, los siguientes:

- Inspecciones visuales periódicas
- Limpieza de acumulaciones de escombros y arena, y despejo de maleza
- Reposición de piezas por vandalismo o robo
- Ajustes de tensión de cables guías

Los sistemas tipo AB requieren más mantenimiento de rutina que los sistemas AR. Los del tipo AB son de bajo costo inicial, bajo mantenimiento rutinario y baja calificación de la mano de obra pero ante un choque deben cambiarse totalmente. Los dispositivos del tipo AR tienen costos iniciales crecientes, pero pueden ser fácilmente restaurados en el sitio después de un impacto, permitiendo incluso ser utilizado otra vez sin necesidad de reemplazar sus componentes disipadores de energía. Estos amortiguadores de impacto pueden ser una buena opción en instalaciones que se espera sean impactadas frecuentemente.

Muchas veces, un sistema con un bajo costo inicial, probablemente no permita ser reparado en el sitio tan rápidamente y es recomendable que se utilicen en lugares donde las probabilidades de impacto frecuente sean bajas. Después de un impacto, los dispositivos necesitan una inspección y análisis detenido, para definir las piezas que requieren reemplazo y los elementos que necesitan un reposicionamiento o ajuste. Los sistemas AR son puestos más rápidamente en servicio para lo cual se debe contar con repuestos y ese costo también debe ser considerado.

7.11.1A Expresión adoptada por el iRAP

A modo de ejemplo, se dispone de estudios a nivel internacional que han establecido ecuaciones de referencia para estimar el valor estadístico de la vida humana (VEV) en cada país, en función del Producto Interno Bruto per cápita (PIBc), tal como la expresión adoptada por el Programa Internacional de Evaluación de Carreteras (*International Road Assessment Program, iRAP*):

$$\text{Log (VEV)} = 2,519 + 1,125 \log (\text{PIBc}) + 0,496 \text{ MET}$$

Siendo MET una variable “dummy” o binaria, igual a 1 si se utiliza el método de la “disposición a pagar”, e igual a 0 si se usa el método del “capital humano”, en ambos casos para valorar la vida humana. Dicha ecuación fue obtenida a partir de información provista por múltiples países. Asimismo, en el mismo estudio se propone adoptar un 25% de VEV como costo representativo de los perjuicios ocasionados por las lesiones resultantes de un accidente.

Pese a la complejidad para determinar confiables costos de los accidentes, existen diversas metodologías para asignar valores medios representativos, por lo cual resulta apropiado proponer el método del análisis de beneficio – costo para comparar diferentes medidas de seguridad vial.

Para utilizar en la evaluación económica de la adopción de medidas de seguridad vial, la DNV propondrá costos de referencia, o establecerá como fuente alguna organización capacitada para estudiar tales estimaciones.

Si no se dispone de datos confiables sobre los costos de los accidentes para algún estudio en particular, es válida la metodología del análisis de costo-efectividad, ACE, para determinar en forma comparativa cuáles son las mejores medidas de seguridad que puedan adoptarse en el proyecto.

7.11.3A Estimación de N_a cuando no se tienen datos históricos

Si no se dispone de datos históricos, se puede estimar el valor de N_a para una determinada situación, calculando primero el valor de N_a que resultaría para condiciones “medias” (N_{medio}) mediante la siguiente ecuación:

$$N_{\text{medio}} = a \times \text{TMD} \times A^b \times L \times e^{(c + d * \text{otros factores})}$$

Donde TMDA es el Tránsito Medio Diario Anual del lugar bajo estudio, L la longitud del tramo analizado, y a, b, c y d son factores de ajuste que deberán ser calibrados a las condiciones locales. Si bien este modelo, propuesto por Harwood y otros, corresponde a tramos de caminos, también puede utilizarse un modelo similar para el análisis de intersecciones.

En la medida que no se disponga de estudios estadísticos que permitan estimar los valores de a , b , etc., se recomienda usar los valores indicados en el Manual de Seguridad de Carreteras (*Highway Safety Manual*, HSM) considerando como situación base un tramo recto de dos carriles y dos sentidos de ancho estándar y banquina de ancho 1,80 m:

$$a = 0,0002244; b = 1; c = d = 0$$

Es decir: $N_{\text{medio}} = 0,0002244 \times \text{TMDA} \times L$

Posteriormente, se ajusta N_{medio} utilizando los correspondientes valores de AMF que incorporan las diferencias existentes entre lo que se adoptó como “situación media” y la situación que realmente se considera en el diseño, o la que se presenta en la realidad cuando se analiza un camino ya existente, con lo cual se obtiene el valor de N_a que se debería utilizar para el análisis del impacto de medidas alternativas de seguridad:

$$N_a = N_{\text{medio}} \times \text{AMF}_{\text{cr}}$$

Siendo AMF_{cr} la combinación multiplicativa de valores de AMF que permiten reflejar los cambios entre la situación “media” y la situación real.

Por ejemplo, si la situación media en un proyecto se asume como un tramo recto de dos carriles y dos sentidos de ancho estándar con banquina sin pavimentar de 1 m de ancho, y lo que se quiere evaluar en realidad es un tramo curvo con carriles de 3,3 m que tiene banquetas pavimentadas de 2 m de ancho, se calcula primero el valor de N_{medio} para el tramo “base” o “medio”, y posteriormente se lo ajusta con los correspondientes coeficientes AMF que van incorporando los efectos sobre la seguridad al ir modificando las premisas de diseño (ancho de carril, curvatura del tramo, tipo de banquina y ancho de la misma) hasta obtener el valor de N_a que correspondería a la situación real.

Cuando además se disponga de datos históricos de tránsito, el método propone ajustar el valor de N_a siguiendo conceptos de estadística empírica bayesiana, mediante las siguientes ecuaciones que incorporan los registros de accidentes:

$$N_{a/x} = N_a w + (X / Y) (1 - w)$$

Donde:

$$w = \left(1 + \frac{K \times N_a \times Y}{L} \right)^{-1}$$

Siendo

$N_{a/x}$: Cantidad de accidentes estimada dado que se dispone de datos históricos

N_a : Cantidad de accidentes obtenida considerando que no hay datos

X: Cantidad de accidentes registrados en el sitio bajo estudio

Y: Período durante el cual se registraron dichos accidentes (años)

L: Longitud del tramo analizado (km)

w: Coeficiente de ponderación de N_a

K: Parámetro de dispersión inversa

Esta última estimación de N_a es, como sería de esperar, más confiable que cuando no se tienen datos históricos.

7.12A LISTAS DE VERIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD DEL DISEÑO

La lista de verificación de la seguridad del Diseño Geométrico incluida aquí se adaptó de la Lista 3, Etapa de Diseño Detallado de Road Safety Audit Segunda Edición 2002. Austroads, Australia.

7.12.1 Tópicos generales

Cambios desde la revisión anterior

La condición para la cual se diseñó originalmente el esquema, ¿todavía perdura? (es decir, sin cambios significativos en la red circundante o zona a servir, o mezcla de tránsito.

Si hubo alguna auditoría anterior, el diseño del proyecto, ¿permaneció sin cambios?

Drenaje

El camino nuevo, ¿drenará adecuadamente?

Las pendientes longitudinales y transversales del camino, ¿son adecuadas para un drenaje satisfactorio?

Los puntos planos, ¿se evitaron o se trataron adecuadamente al comienzo o final del desarrollo del peralte?

La inundación superficial, incluyendo el sobreflujo desde los alrededores o drenes que se cruzan o cursos de agua, ¿se tratan adecuadamente?

El espaciamiento de las obras de drenaje para limitar la inundación, ¿es adecuado?

El diseño de las rejillas de los sumideros, ¿es seguro para los ciclistas (es decir, claros no paralelos a las trayectorias de las ruedas)?

Las sendas peatonales, ¿drenarán adecuadamente?

Condiciones climáticas

El diseño, ¿toma en cuenta los registros climáticos o experiencia local que pueda indicar un problema particular (p. ej., nieve, hielo, viento, niebla)?

Paisajismo

Debido al paisajismo, los conductores, ¿serán capaces de ver a los peatones (y viceversa)?

Debido al paisajismo, ¿se mantendrán las líneas visuales de intersección?

La seguridad, ¿será adecuada con el crecimiento estacional de la vegetación (p. ej., sin obstrucción de señales, sombras o efectos luminosos, superficie resbaladiza, etcétera.)?

La seguridad a los costados del camino cuando los árboles o plantaciones maduren, ¿será adecuada (sin peligros laterales)?

En zonas de probables salidas desde la calzada, ¿se usó vegetación 'frangible'?

Servicios

El diseño, ¿trata adecuadamente los servicios públicos enterrados y aéreos (especialmente con respecto de la separación de vertical aérea, etcétera)?

La ubicación de los objetos fijos o equipamiento asociado con servicios públicos, ¿se verificó (incluyendo cualquier pérdida de visibilidad, posición de postes, y separación hasta cables aéreos)?

Acceso a propiedades y desarrollos

Todos los accesos, ¿pueden usarse con seguridad?

El diseño, ¿está libre de cualquier efecto de accesos corriente abajo o arriba, particularmente cerca de las intersecciones?

Las áreas de descanso y de estacionamiento de camiones, ¿tienen adecuada distancia visual en los puntos de acceso?

Acceso de vehículos de emergencia, auxilio, y servicios de urgencia

A los vehículos de emergencia, ¿se les facilita el acceso y movimientos?

El diseño y posición de las medianas y barreras, ¿permiten a los vehículos de emergencia detenerse y girar sin innecesaria interrupción del tránsito?

Los vehículos descompuestos o detenciones de los vehículos de emergencia, ¿se consideraron adecuadamente?

¿Es satisfactoria de provisión de teléfonos de emergencia?

Las aberturas de mediana en calzadas divididas, ¿se ubicaron con seguridad (es decir, frecuencia, visibilidad)?

Ensanchamientos o realineamientos futuros

Si el esquema es sólo una etapa hacia una carretera más ancha o de doble calzada, el diseño, ¿es adecuado para impartir este mensaje a los conductores? (La confianza en las señales, ¿es mínima/adecuada, más que excesiva?)

La transición entre calzada simple y doble (cualquier sentido), ¿se trata con seguridad?

Construcción por etapas del esquema

Si el esquema se construirá por etapas:

los planos y programa de construcción, ¿están dispuestos como para asegurar la máxima seguridad?

Los planos y programa de construcción, ¿incluyen medidas específicas de seguridad, señalización; adecuada geometría de transición, etc. para cualesquiera disposiciones temporarias?

Planeamiento por etapas de las obras

Si la construcción se dividirá en varios subproyectos, el orden, ¿es seguro? (Es decir, las etapas no se construyen en un orden que crea condiciones inseguras.)

Desarrollos adyacentes

El diseño, ¿maneja con seguridad los accesos hacia adyacentes generadores importantes de tránsito y desarrollos?

La percepción de los conductores del camino adelante, ¿está libre de efectos engañosos de cualquier iluminación o semáforos en el camino adyacente?

La necesidad de pantallas contra el resplandor de la iluminación de la propiedad adyacente, ¿se consideró adecuadamente?

Estabilidad de cortes y terraplenes

La estabilidad de los taludes, ¿es satisfactoria (p. ej., sin pérdida potencial de material suelto que afecte a los usuarios del camino)?

Resistencia al deslizamiento

La necesidad de superficies antideslizantes donde el frenado o la buena adhesión del pavimento es más esencial (p. ej., en pendientes, curvas, aproximaciones a intersecciones y semáforos), ¿se consideró?

7.12.2 Temas de diseño (general)

Geometría de los alineamientos horizontal y vertical

Los alineamientos horizontal y vertical, ¿están correctamente coordinados?

El alineamiento horizontal total, ¿es coherente y adecuado?

El alineamiento vertical total, ¿es coherente y adecuado?

El alineamiento, ¿es coherente con la función del camino?

El diseño, ¿está libre de claves visuales engañosas (p. ej., ilusiones ópticas, delineación subliminal como las líneas de postes)?

Secciones transversales típicas

Los anchos de carriles, banquetas, medianas y otras características de la sección transversal, ¿son adecuados para la función del camino?

Los anchos de carriles y calzada, son adecuados en relación con:

- ¿alineamiento?
- ¿volumen de tránsito?
- ¿dimensiones del vehículo?
- ¿ambiente de velocidad?
- ¿combinaciones de velocidad y volumen de tránsito?

Los anchos de banquina, ¿son adecuados para vehículos inmóviles o errantes?

Los anchos de mediana, ¿son adecuados para el equipamiento vial?

El peralte, ¿es coherente con el ambiente vial?

Las pendientes transversales de banquina, ¿son seguras para ser atravesadas por los vehículos?

Los taludes, ¿son traspasables por automóviles y camiones?

Los taludes debajo de las estructuras, ¿son adecuados?

¿Se proveyeron adecuadas obras para peatones y ciclistas?

Efecto de la variación de la sección transversal

El diseño, ¿está libre de variaciones indeseables de la sección transversal?

Las pendientes transversales, ¿son seguras? (particularmente donde se usan secciones de la carretera existente, donde puede haber compromisos para acomodar los accesos, en angostamientos de puentes, etcétera.)

Las pendientes transversales adversas, ¿están dentro de adecuados límites?

¿Se provee suficiente peralte en todos los lugares requerido?

Trazado del coronamiento

Todas las características de administración del tránsito diseñadas, ¿evitan crear condiciones inseguras?

El trazado de las marcas y materiales reflectivos, ¿es capaz de tratar satisfactoriamente los cambios en el alineamiento? (particularmente donde el alineamiento puede ser subestándar.)

¿Hay adecuada distancia visual para adelantamiento?

Los carriles de adelantamiento, ¿se proveyeron según requerimientos y se comenzaron y terminaron con seguridad?

Los requerimientos de adelantamiento, ¿son satisfactorios?

El diseño, ¿está libre de problemas por salida y puesta del sol?

Los requerimientos del transporte público, ¿se satisfacen adecuadamente?

Tratamiento de banquetas y bordes

Los siguientes aspectos de seguridad de provisión de banquetas, ¿son satisfactorios?

- provisión de banquetas revestidas o no;
- ancho y tratamiento de terraplenes;
- pendiente transversal de las banquetas.

Las banquetas, ¿probablemente serán seguras si las usan vehículos lentos o ciclistas?

Efecto de desviaciones desde las normas o guías

Cualesquiera aprobadas desviaciones de las normas o guías, ¿se realizan con seguridad?

Cualesquiera desviaciones de las desconocidas hasta ahora, ¿se realizan con seguridad?

Visibilidad y distancia visual

Los alineamientos horizontal y vertical, ¿son coherentes con los requerimientos de visibilidad?

Según los requerimientos de visibilidad, ¿se seleccionó una adecuada velocidad de diseño?

Tratamientos ambientales

En la ubicación de características ambientales (p. ej., barreras antirruido), ¿se consideró la seguridad?

7.12.3 Detalles de los alineamientos**Visibilidad; distancia visual**

Los alineamientos horizontal y vertical, ¿son coherentes con los requerimientos de visibilidad?

El diseño, ¿está libre de obstrucciones a la línea visual debidas a vallas o barreras de seguridad?

- ¿vallas límites?
- ¿equipamiento callejero?
- ¿obras de estacionamiento?
- ¿señales?

¿paisajismo?

¿estribos de puente?

¿vehículos estacionados en estacionamientos o en el cordón?

¿filas de tránsito?

Los cruces ferroviarios, puentes y otros peligros ¿son todos conspicuos?

El diseño, ¿está libre de cualesquiera otras características locales que afecten a la visibilidad?

El diseño, ¿está libre de obstrucciones aéreas (p. ej., pasos a distinto nivel viales o ferroviarios, señales, árboles sobresalientes) que puedan limitar la distancia visual en curvas cóncavas?

Donde fue necesario, ¿se proveyeron desvíos para vehículos muy altos?

La visibilidad, ¿es adecuada en:

- cualesquiera cruces peatonales, ciclista o de ganado?
- caminos de acceso, accesos a propiedad, ramas de entrada y de salida, etcétera.?

El mínimo triángulo visual, ¿se ha provisto en:

- ramas de entrada y de salida?
- zonas de nesga (gore)?
- Intersecciones?
- rotondas?
- otros puntos de conflicto?

Interfaz caminos nuevo/existente

En la interfaz considerada, ¿hay implicaciones de seguridad?

La transición desde el viejo camino al nuevo esquema, ¿es satisfactoria?

Si el camino existente es de estándar más bajo que el nuevo esquema, ¿hay clara advertencia de la reducción en la norma?

Donde se requieren repentinos cambios de velocidad, ¿se tomaron precauciones sobre la seguridad?

La fricción lateral, ¿se trata con seguridad?

La interfaz, ¿ocurre alejada de cualquier peligro? (p. ej., una cresta, curva, peligro lateral o donde puedan ocurrir pobre visibilidad/distracciones.)

Si las normas de las carreteras difieren, ¿se efectúa el cambio con seguridad?

La transición donde el entorno del camino cambia (p. ej., urbana a rural, restringida a irrestricta, iluminada a no iluminada), ¿se hizo con seguridad?

La necesidad de advertencia anticipada, ¿se consideró?

'Legibilidad' del alineamiento, para los conductores

El trazado general, función y características generales, ¿serán reconocidos por los conductores en tiempo adecuado?

Las velocidades de aproximación, ¿son adecuadas? Los conductores, ¿transitarán correctamente por el esquema?

Diseño geométrico de detalle

Las normas de diseño, ¿son adecuadas para todos los requerimientos del esquema?

La coherencia de las normas y guías generales, tales como anchos y pendientes transversales de los carriles, ¿se mantienen?

Tratamiento en puentes y alcantarillas

La transición geométrica entre las secciones transversales de los accesos y el puente, ¿es manejada con seguridad?

7.12.4 Intersecciones

Visibilidad hacia y en las intersecciones

Los alineamientos horizontal y vertical en la intersección o accesos, ¿son coherentes con los requerimientos de visibilidad?

La norma adoptada para la visibilidad a la velocidad del tránsito y para cualquier mezcla de tránsito, ¿es adecuada?

El diseño, ¿estará libre de obstrucciones a la línea visual debidas a vallas o barreras?

- vallas límites?
- equipamiento callejero?
- obras de estacionamiento?
- señales?
- paisajismo?
- estribos de puente?
- vehículos estacionados en estacionamientos y en cordón?
- filas de tránsito?

Los cruces ferroviarios, puentes y otros peligros, ¿son todos conspicuos?

El diseño, ¿está libre de cualesquiera otras características que puedan afectar la seguridad?

Trazado

Las intersecciones y accesos, ¿son adecuadas para todos los movimientos vehiculares?

Los vehículos de diseño y de prueba, ¿se usaron para dimensionar los giros?

Las áreas barridas, ¿acomodan todos los probables tipos de vehículos? ¿se usó el adecuado tipo de vehículo?

Las intersecciones, ¿están libres de cualesquiera inusuales características que pudieran afectar la seguridad vial?

Las vallas peatonales, ¿se proveyeron según necesidad? (p. ej., para guiar a los peatones o desalentar el estacionamiento?)

Donde fue necesario, ¿se proveyó pavimento antideslizante?

Donde fueron requeridos, ¿se proveyeron isletas y señales?

Los vehículos que puedan estacionar en o cerca de una intersección, ¿pueden hacerlo con seguridad, o es necesario reubicar esta actividad?

Los peligros debidos a vehículos estacionados, ¿se evitaron?

Legibilidad de los conductores

La existencia de las intersecciones y su trazado general, función y características generales, ¿serán percibidos correctamente en cualquier tiempo adecuado?

Las velocidades de aproximación y las posiciones probables de los vehículos, ¿son las requeridas para seguridad de la intersección?

El diseño, ¿está libre de elementos engañosos?

El diseño, ¿está libre de problemas de salida y puesta del sol que puedan crear problemas a los motoristas?

Diseño geométrico detallado

El trazado, ¿puede soportar con seguridad inusuales mezclas o circunstancias del tránsito?

En cualquier mediana o isleta de seguridad, ¿se tuvieron en cuenta:

- alineamientos y trayectorias de los vehículos?
- semáforos futuros?
- espacio y superficie para almacenamiento de peatones?
- separación de la trayectoria de giro?
- distancia visual de detención hasta la nariz?
- contabilidad por los vehículos errantes?

La provista separación vertical a estructuras, ¿es adecuada? (p. ej., líneas de energía eléctrica, avisos comerciales.)

Semáforos

La fase/secuencia de los semáforos, ¿es segura?

El tiempo provisto para los movimientos de tránsito y peatonales, ¿es adecuado?

Los faros de los semáforos, ¿son visibles? (p. ej., no obstruidos por árboles, postes, señales o vehículos grandes)

Los faros para otras direcciones de aproximación, ¿están adecuadamente protegidos de su visión?

Semáforos de alta intensidad o tableros protectores, ¿se proveyeron si es probable que sean afectados por la salida y puesta del sol?

El alineamiento vertical, ¿provee distancia visual de detención satisfactoria hasta la intersección o fin de la fila de vehículos?

Las obras peatonales, ¿se proveyeron según los requerimientos?

Los conductores que se aproximan, ¿son capaces de ver a los peatones?

Las fases de giro parcial o totalmente controlado, ¿se requieren y proveen?

Los postes de los semáforos, ¿se ubican donde no son un peligro indebido?

Las marcas viales para el giro del tránsito, ¿son satisfactorias?

¿Se proveyeron fases adecuadas para los peatones?

Rotondas

La deflexión para reducir las velocidades de aproximación, ¿es adecuada?

Si se necesitan isletas partidoras, ¿son ellas adecuadas para distancia visual, longitud, almacenamiento de peatones, etcétera.?

La isleta central, ¿es prominente?

Los adecuados vehículos de diseño y prueba, ¿pueden acomodarse?

Los detalles de la isleta central (delineación, contabilidad, conspicuidad), ¿son satisfactorios?

Los peatones, ¿pueden ser vistos por los conductores con suficiente anticipación?

Los peatones, ¿pueden determinar si los vehículos están girando (sin obstrucciones a las líneas visuales)?

Las marcas de dirección, ¿se requieren en los carriles de aproximación?

¿Es adecuada la iluminación?

Otras intersecciones

La necesidad de isletas con cordones o pintadas, y refugios, ¿se consideró?

Las intersecciones, ¿tienen adecuada longitud/almacenamiento de filas de movimientos de giro (incluyendo el centro de una intersección escalonada)?

7.12.5 Usuarios viales especiales

Tierra adyacente

Todos los accesos hacia y desde la tierra/propiedad adyacente, ¿son seguros?

Las necesidades especiales de los movimientos relacionados con la agricultura y ganadería, ¿se consideraron?

Peatones

Los peatones, ¿pueden cruzar con seguridad en: intersecciones?

- *cruces semaforizados y peatonales?*
- *refugios?*
- *extensiones de cordón?*
- *puentes y alcantarillas?*
- *otras ubicaciones?*

Cada punto de intersección, ¿es satisfactorio para: visibilidad, en cada sentido?

- *uso de discapacitados?*
- *uso de ancianos?*
- *uso de niños/escolares?*

Las vallas requeridas en reservas y medianas, ¿se proveen en cada cruce?

Las vallas en autopistas, ¿son adecuadas?

A los peatones, ¿se les impide cruzar caminos en ubicaciones inseguras?

Las señales peatonales, ¿son adecuadas?

Los anchos y pendientes de las sendas peatonales, cruces, etc., ¿son satisfactorios?

El revestimiento de sendas peatonales, cruces, etc., ¿es satisfactorio?

En cada cruce, ¿se proveyeron rebajes de cordones?

En cada cruce, ¿se evitaron los sumideros?

La iluminación en los cruces, ¿es satisfactoria?

Los cruces, ¿están ubicados como para alentar su máximo uso?

¿Es improbable evitar un cruce por medio de una opción más directa, pero menos segura?

Ciclistas

- *¿Se consideraron las necesidades de los ciclistas?*
 - *¿en las intersecciones (particularmente rotondas)?*
 - *¿en caminos de alta velocidad, especialmente?*
 - *¿en rutas y cruces ciclistas?*
 - *¿en ramas de entrada y salida de autopistas?*
-

Las sendas compartidas ciclistas y peatonales (incluyendo túneles y puentes), ¿son seguras y están adecuadamente señalizadas?

Motociclistas

La ubicación en la superficie de la calzada de dispositivos u objetos que pudieran desestabilizar a los motociclistas, ¿se evitó?

La zona al costado del camino en curva, donde los motociclistas pueden inclinarse, ¿está libre de obstrucciones?

Las advertencias o delineación, ¿son adecuadas?

Los cordones, ¿se evitaron en zonas de alta velocidad?

En las zonas más propicias para que los motociclistas se desvíen de la calzada, ¿es el costado del camino indulgente o está protegido con seguridad?

Todos los postes y dispositivos, ¿son necesarios? (Si así es, ¿la protección es una opción?)

Los sumideros y extremos de alcantarillas, ¿son traspasables por las motocicletas?

Jinetes y ganado

Las necesidades de los jinetes, incluyendo el uso de bordes o banquetas y reglas respecto de las carreteras, ¿se consideraron?

Las obras bajo nivel, ¿pueden ser usadas por jinetes y ganado?

Carga

Las necesidades de los camioneros, incluyendo radios de giro y anchos de carriles, ¿se consideraron?

Las necesidades del transporte de carga, ¿se consideraron? ¿están adecuadamente señalizadas y provistas?

Transporte Público

Las necesidades del transporte público, ¿se consideraron?, ¿se señalaron y dieron adecuadamente?

Las necesidades de los usuarios del transporte público, ¿se consideraron?

Las necesidades de maniobras del transporte público, ¿se consideraron?

Las paradas de ómnibus, ¿están seguramente ubicadas?

Vehículos de mantenimiento vial

Las necesidades de los vehículos de mantenimiento vial, ¿se consideraron? ¿se señalaron y dieron adecuadamente?

Los vehículos de mantenimiento vial, ¿pueden ubicarse con seguridad?

7.12.6 Iluminación, señales y delineación

Iluminación

Si se requirió iluminación, ¿se proveyó adecuadamente?

El diseño, ¿está libre de características que interrumpen la iluminación (p. ej., árboles o pasos superiores)?

Cualesquiera postes de iluminación, ¿presentan un obstáculo lateral fijo?

¿Se proveyeron postes frangibles o de base deslizante?

Iluminación ambiental: se crea necesidades especiales de iluminación, ¿se han satisfecho?

El esquema de iluminación, ¿está libre de efectos confusos o engañosos en semáforos o señales?

¿Se iluminan adecuadamente cruces, trayectorias próximas, refugios, etcétera.?

Todas las zonas de nesgas, ¿están adecuadamente iluminadas?

Todas las zonas de convergencia, ¿están adecuadamente iluminadas?

El esquema, ¿está libre de parches negros de iluminación?

¿Hay ubicaciones con problemas de accidentes -que se conoce son susceptibles al tratamiento con la iluminación mejorada- corregidos mediante la iluminación?

Señales

¿Hay señales adecuadas para su ubicación?

Las señales, ¿están ubicadas donde pueden verse y leerse en tiempo adecuado?

Las señales, ¿se entenderán fácilmente?

Las señales, ¿se adecuan a las necesidades del conductor (p. ej., señales de dirección, señales de velocidad aconsejada, etcétera.)?

Las señales, ¿se ubican para que se mantenga la distancia visual?

Las señales, ¿se ubican para mantener la visibilidad:

¿hacia y desde accesos y caminos que se cruzan?

a y desde peatones e importantes características en el camino?

Las consecuencias de los vehículos que golpean postes de señales, ¿se consideraron?

¿Están los soportes de señales fuera de la zona de despejo?

Si no, son ellos:

- *frangibles?*
- *protegidos por barreras (p. ej., barandas de defensa, amortiguadores de impacto)?*

¿Se evitó una sobreconfianza en las señales? (En lugar de adecuado diseño geométrico)

Las señales del esquema nuevo, ¿son coherentes con las de la sección adyacente del camino (o es necesario mejorar las señales anteriores)?

Marcas y delineación

Las marcas (líneas, flechas, etc.), ¿son coherentes con las marcas estándares?

Las ubicaciones donde las marcas estándares que pudieran ser confusas o malinterpretadas, ¿se identificaron y trataron en forma que considera las probables respuestas de los usuarios?

Las líneas-barrera (no adelantar), ¿se proveyeron según los requerimientos?

Donde fue necesario, ¿se proveyeron marcadores de pavimento retroreflectivos sobreelevados?

Las señales de advertencia de curvas, velocidad aconsejada o chebrones, ¿se proveyeron según requerimientos?

Las marcas del esquema nuevo, ¿son coherentes con las secciones adyacentes del camino (o es necesario mejorar las marcas anteriores)?

Las marcas diagonales y chebrones, ¿pintaron según los requerimientos?

Las marcas y la delineación, ¿serán visibles de noche?

Las marcas y la delineación, ¿serán visibles con lluvia?

La necesidad de marcas audibles, ¿se consideró?

Los postes guías, ¿son frangibles?

7.12.7 Objetos físicos

Barreras de mediana

Las barreras de mediana, ¿se consideraron adecuadamente?

Todas las características de diseño que requieren especial atención (p. ej., tratamientos extremos), ¿se consideraron?

Postes y otras obstrucciones

Todos los postes, ¿están bien alejados del tránsito directo?

Los postes frangibles o rompibles, ¿se consideraron donde eran requeridos?

Los anchos de mediana, ¿son adecuados para acomodar postes de iluminación o árboles?

La posición de controladores de semáforos y otros aparatos de servicio, ¿es satisfactoria?

El costado del camino, ¿está libre de cualesquiera obstrucciones que puedan crear un peligro para la seguridad?

Todas las medidas necesarias para remover, reubicar o proteger obstáculos, ¿se tomaron?

Los drenes y canales al costado del camino, ¿pueden ser atravesados por cualquier vehículo que se desvíe fuera del camino?

Barreras

Cualesquiera barreras de choque provistas, ¿fueron necesarias y adecuadamente detalladas (p. ej., en terraplenes, estructuras, árboles, postes, canales de drenaje, pilas de puente, zonas de nesga)?

La barrera de choque, ¿es segura? (es decir, improbable de crear un peligro para los usuarios viales incluyendo peatones, ciclistas, motociclistas, etcétera.)

Las condiciones de los extremos de las barreras de choque, ¿son seguras y satisfactorias? El diseño de la valla de defensa, ¿responde a las normas para: tratamientos extremos?

- anclajes?
- espaciamiento de postes?
- bloques de separación?
- profundidad de los postes?
- traslape de baranda?
- rigidización en obstáculos fijos?

Todas las vallas de defensa, ¿son necesarias? (es decir, protegen de un peligro mayor que el de la propia defensa?)

Donde los peatones y ciclistas viajan detrás de la valla de defensa, la parte de atrás es segura para ellos?

Puentes, alcantarillas y cunetas

Las barreras de puente y extremos de alcantarillas y muros, son seguros con respecto a:

- visibilidad?
- facilidad de reconocimiento?
- proximidad al tránsito?
- posibilidad de causar heridas o daño?
- extremos colapsibles o frangibles?
- señales y marcas?
- conexión a las barreras de choque?
- protección contra peligros a los costados del camino?

Las alturas y resistencias de las barandas de puente, ¿son correctas y suficientemente fuertes?

El ancho de banquina en puente, ¿es el mismo que en las adyacentes longitudes de camino?

El tránsito no vehicular sobre las estructuras, ¿es seguro? (p. ej., peatones, ciclistas, jinetes, ganado, etcétera.).

Todos los muros extremos de alcantarillas (incluyendo alcantarillas de acceso), ¿están fuera de la zona de despejo?

Las cunetas, espaldones, etc., ¿tienen la señalización correcta y distancia visual adecuada?

7.12.8 Asuntos adicionales

Alineamiento horizontal

La visibilidad en los accesos propuestos ¿es adecuada para conductores y peatones?

El espacio de giro provisto para el volumen y velocidad del tránsito, ¿es adecuado?

Los radios de curva y visibilidad hacia delante, son satisfactorios?

Las distancias visuales y de detención, ¿son adecuadas?

Alineamiento vertical

Las pendientes, ¿son satisfactorias?

Las distancias visuales y de detención, ¿son adecuadas?

Provisión de estacionamiento

El estacionamiento en lugares especiales, ¿es adecuado para evitar el estacionamiento en la calle y riesgos asociados?

Las áreas de estacionamiento, ¿están convenientemente ubicadas?

El espacio provisto en las zonas de estacionamiento, ¿es adecuado para la circulación y distancia visual de intersección?

Instalaciones de servicio

Las áreas de carga/descarga fuera de la calle, ¿son adecuadas?

Las vías de giro para vehículos grandes, ¿se proveyeron en ubicaciones seguras?

El acceso de los vehículos de emergencia, ¿es adecuado?

Señales y marcas

Como parte de un desarrollo, ¿se proveyeron las adecuadas señales y marcas?

La prioridad, ¿está claramente definida en todos los puntos de intersección en estacionamiento y caminos de acceso?

Las señales y marcas, ¿serán claras en todas las condiciones, incluyendo día/noche, lluvia, niebla, etcétera.?

Paisajismo

El estacionamiento, mantiene la visibilidad en las intersecciones, curvas, accesos y facilidades peatonales?

La plantación de árboles, ¿se evitó donde haya probabilidad de que los vehículos se desvíen fuera de la calzada?

Administración del tránsito

¿Se trataron cualesquiera efectos adversos?

El diseño, ¿mantendrá las velocidades de viaje en un nivel seguro?

El número y ubicación de accesos, ¿son adecuados?

Las instalaciones para los servicios del transporte público, ¿están seguramente ubicadas?

Sobre los movimientos vehiculares, cualesquiera obras para ciclistas, ¿están seguramente ubicadas?

Las obras peatonales, ¿son seguras y están seguramente ubicadas?

Otros

¿Se proveyó una adecuada iluminación de calles?

Todos los peligros al costado del camino, ¿se tratan adecuadamente?

El acceso seguro de peatones al desarrollo, ¿se proveyó?

7.12.9 Cualquier otro asunto

Aspectos de seguridad todavía no cubiertos

¿Habrá sucesos especiales? Cualesquiera consecuentes inusuales o peligrosas condiciones, ¿se consideraron?

El camino, ¿es capaz de manejar con seguridad los vehículos de sobretamaño, o grandes vehículos como camiones, ómnibus, vehículos de emergencia, vehículos de mantenimiento vial?

Si se requiere, ¿el camino puede cerrarse para acontecimientos especiales en una forma segura?

Si es aplicable, los requerimientos especiales escénicos o caminos turísticos, ¿se satisfacen?