



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGÓN**

**“ESTUDIO Y PROYECTO DE SISTEMAS DE
CONTENCIÓN PARA AUTOPISTAS, CARRETERAS Y
VÍAS RÁPIDAS”**

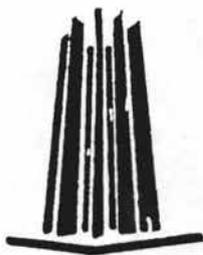
T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A N :
SANTIAGO MORALES MEJIA
RAMON CASTRO TINOCO

ASESOR:

ING. ADOLFO T. ALMAZAN JARAMILLO

MEXICO

2004





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN
SECRETARÍA ACADÉMICA

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Ing. MARTÍN ORTIZ LEÓN
Jefe de la Carrera de Ingeniería Civil,
Presente.

En atención a la solicitud de fecha 7 de noviembre del año en curso, por la que se comunica que los alumnos SANTIAGO MORALES MEJIA y RAMON CASTRO TINOCO, de la carrera de Ingeniero Civil, han concluido su trabajo de investigación intitulado "ESTUDIO Y PROYECTO DE SISTEMAS DE CONTENCIÓN PARA AUTOPISTAS, CARRETERAS Y VÍAS RÁPIDAS", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted, se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular, reitero a usted la seguridad de mi atenta consideración.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 11 de noviembre del 2003
EL SECRETARIO

Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS

C p Asesor de Tesis.
C p Interesado.

AIR/



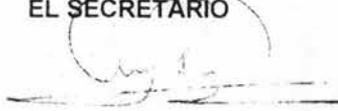
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN
SECRETARÍA ACADÉMICA

Ing. MARTÍN ORTIZ LEÓN
Jefe de la Carrera de Ingeniería Civil,
Presente.

En atención a la solicitud de fecha 7 de noviembre del año en curso, por la que se comunica que los alumnos RAMON CASTRO TINOCO y SANTIAGO MORALES MEJIA, de la carrera de Ingeniero Civil, han concluido su trabajo de investigación intitulado "ESTUDIO Y PROYECTO DE SISTEMAS DE CONTENCIÓN PARA AUTÓPISTAS, CARRETERAS Y VÍAS RÁPIDAS", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted, se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular, reitero a usted la seguridad de mi atenta consideración.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 11 de noviembre del 2003
EL SECRETARIO


Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS

C p Asesor de Tesis.
C p Interesado.

AIR/

AGRADECIMIENTO

Especialmente

A Catalina por su amor

A Sergio Jair, Ramón Omar y Eduardo por su paciencia

A Maurilio y Teresa por su apoyo incondicional

A Manuel, Salvador, Mauricio, Ana Bertha, Guadalupe y Rasa María por su interés.

En general

A mis profesores

A mis amigos

A todos quienes me han apoyado,

A los que no nombro para no cometer errores por omisión.

Ramón Castro Tinoco

Agradezco profundamente:

A mi madre **Ana Mejía Gil**, y a mi abuela **Felipa Gil Marín**, quienes dedicaron su trabajo y esfuerzo en mi instrucción, y por mucho tiempo se impusieron un sacrificio personal que fue el apoyo del cual saque fuerzas siempre, y sin el cual no hubiera sido posible mi formación académica

Gracias por todo.

Santiago Morales Mejía.

ÍNDICE

Capitulo	contenido	página
1	INTRODUCCIÓN	1
2	ANTECEDENTES Y SITUACIÓN ACTUAL	4
3	ANÁLISIS Y DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	24
4	PRUEBAS DE IMPACTO REAL	41
5	BARRERAS LATERALES	62
6	BARRERAS CENTRALES	91
7	BARRERAS DE PUENTES, VIADUCTOS Y TRANSICIONES	105
8	ELEMENTOS TERMINALES Y AMORTIGUADORES DE IMPACTO	116
9	ELEMENTOS DE CONTENCIÓN EN ZONAS DE TRABAJO	138
10	RAMPAS DE ESCAPE	150
11	CONCLUSIONES	160

INTRODUCCIÓN
(CAPITULO I)

1.- INTRODUCCIÓN

El problema de la seguridad vial es uno de los aspectos más difíciles de abordar en la evaluación de proyectos de transporte carretero, esta dificultad estriba en la integración del sistema de evaluación de costos beneficios, por estar sujeto a muchas variables de tipo subjetivo, que normalmente no permiten reflejar la verdadera dimensión del problema.

Los beneficios que se pueden obtener después de implementar las mejoras en la seguridad vial, son generalmente imperceptibles como efectos inmediatos y muchas veces se requiere implementar acciones complementarias en otras áreas, por lo que resulta evidente que la única forma de evaluar una acción implementada en seguridad vial, es el reflejo en las estadísticas más favorables a largo plazo, como la tendencia a la disminución del número de muertes o de la gravedad de los accidentes.

La implementación de medidas de seguridad vial abarca también campos de acción muy diferentes a los propios de esta materia, como pueden ser las modificaciones a la legislación vigente, educación de la población, fiscalización, servicios de urgencia e infraestructura vial, las cuales deben ser adecuadas y complementarse entre sí, para maximizar los resultados.

Los países desarrollados han implementado durante más tiempo medidas que ha la fecha les permiten cuantificar los beneficios a largo plazo de la inversión sostenida en medidas de seguridad vial, con lo cual es posible inferir que en México tendría un resultado parecido.

En el presente documento abordamos varios aspectos importantes de la seguridad vial, acerca del tratamiento de elementos de contención, específicamente el diseño de barrera, terminales, amortiguadores de impacto y rampas de escape.

El objetivo principal es presentar antecedentes detallados de lo que existe y se aplica hoy el mundo desarrollado, específicamente de los sistemas de mejor rendimiento y mayor adaptabilidad, complementariamente proponer procedimientos que faciliten la toma de decisiones, y elegir los elementos de contención más adecuados para cada caso, logrando con ello implementar mejores diseños, que ayuden a disminuir la severidad de los accidentes y con ello el número de víctimas mortales y daños materiales.

Se mencionan y analizan conceptos básicos de los sistemas de contención y otros temas asociados como justificaciones económicas, beneficios en reducción de accidentes, diseño geométrico, legislación y condiciones de operación, todos necesarios de considerar al momento de evaluar la inversión en programas de seguridad vial.

Para la correcta aplicación de los conceptos que se exponen, es muy importante familiarizarse con los temas tratados, ya que muchas de las decisiones dependerán del buen juicio y fundamentalmente del conocimiento que se tenga del funcionamiento y rendimiento de los sistemas propuestos, por ende es necesario tener presente que los dispositivos desarrollados y aplicados exitosamente en otros países, no se pueden implementar parcialmente o con modificaciones, por más leves que parezcan, ya que estas podrían cambiar sustancialmente el comportamiento del elemento.

La tendencia mundial apunta directamente a la construcción de vías más seguras, por lo que los conceptos de seguridad deben estar ligados primero al adecuado diseño de la infraestructura vial, en este aspecto, el objetivo buscado en las últimas décadas ha sido que los diseños estén orientados a evitar la ocurrencia de accidentes, concepto que cuando es correctamente aplicado demuestra ser un elemento clave en la reducción del número de ellos y la gravedad de los mismos.

Sin embargo, no siempre existe la posibilidad razonable, técnica y/o económica, de resolver las situaciones de riesgo a través de una intervención en el diseño, en estos casos el criterio utilizado en los países avanzados, ha sido proyectar, mediante directrices y recomendaciones específicas, todos los elementos de seguridad que se requieren, entre ellos los sistemas de contención, para lograr el objetivo de prevenir y proteger a los usuarios de las zonas o puntos peligrosos de las vías.

Los elementos descritos en el presente documento corresponden a los patrones usados y aceptados principalmente en EE.UU. y Europa, respaldados por una constante investigación y por la experiencia de las aplicaciones prácticas que se han desarrollado, además, tanto los elementos utilizados como las técnicas de selección y prueba son bastante coincidentes.

De acuerdo a lo anterior, los aspectos técnicos de los sistemas tratados en este documento, no se ajustarán exactamente a las disponibilidades y materiales existentes en México, no obstante no se han modificado las características ni dimensiones de los elementos y disposiciones analizadas, con la intención de contar con un respaldo teórico sólido y libre de interpretaciones.

Cada uno de los diseños incluidos es representativo de una tipología o familia de los principales sistemas de contención utilizados en el mundo, sin embargo, dado el amplio universo de sistemas disponibles, el formato de pautas de selección presentado permite evaluar la incorporación de otros elementos y materiales no tratados específicamente en este documento.

ANTECEDENTES Y SITUACIÓN ACTUAL
(CAPITULO 2)

2.- ANTECEDENTES Y SITUACIÓN ACTUAL

2.1 ASPECTOS GENERALES

2.1.1 Antecedentes

Se ha estimado que en los países de América Latina y el Caribe, anualmente mueren por accidentes de tránsito 100,000 personas y resultan lesionadas 1,200,000 a lo que hay que sumar las pérdidas económicas de la región que suman más de 30 mil M.M.D. por año, muchos de los países presentan actualmente un incremento sustancial en el número de automotores y en consecuencia la posibilidad de que el número de personas muertas o lesionadas crezca aún más si no se intensifican las acciones preventivas.

Los Gobiernos de la región tienen la posibilidad de interrumpir la tendencia de crecimiento del número de accidentes fatales, tomando la experiencia de los E.E.U.U. y los países de la Organización Europea para Cooperación y Desarrollo (OCDE), donde se ha demostrado, que en dos décadas es posible reducir a la mitad en número de personas muertas y lesionadas de gravedad, a pesar del crecimiento en el tránsito.

Si se toman las acciones apropiadas, se pueden salvar en los próximos 20 años más de 500.000 vidas en América Latina y el Caribe y obtener ahorros en el presupuesto de los gobiernos del orden de 10 billones de dólares anuales.

Los organismos internacionales recomiendan enfocar los trabajos de seguridad vial en cuatro áreas, donde se ha probado el impacto a corto y mediano plazo, puesto que contribuyen en la reducción de muertos y heridos.

1. Implementar límites de seguridad asociados directamente con el diseño de las carreteras, complementado con un programa de información y educación a los conductores y un intenso control policial en las carreteras.
2. Implementar un programa permanente para la detección de conductores ebrios y/o drogados.
3. Implementar un programa local, regional y nacional de mejoramiento continuo de la red vial, incluyendo la eliminación de puntos críticos.
4. Implementar un programa de seguridad vial, especialmente dirigido a reducir el número de muertos y heridos en los usuarios vulnerables de las vías.

El caso particular de las barreras y elementos de contención representa solo una parte de la solución del problema, por lo tanto, se recomienda ejecutar tareas complementarias en las otras áreas de la seguridad vial, mismas que se encuentran fuera del alcance del presente trabajo.

2.1.2 Análisis de costos y beneficios.

2.1.2.1 Costos

El número de muertos por accidentes de tránsito, ha alcanzado niveles tan altos que la Cruz Roja Internacional ha empezado a incorporar las muertes relacionadas con el tránsito en sus

estadísticas, para compararlas con otras causas de mortalidad como las enfermedades cardíacas y el cáncer.

El financiamiento de los programas de seguridad vial, es un problema de casi todos los países del mundo, toda vez que resulta difícil poder valorar las pérdidas de la sociedad como consecuencia directa de los accidentes y demostrar los beneficios de las inversiones, por lo que se resuelve que con esos fondos se podrían financiar acciones más eficientes y de mayor impacto.

Para calcular el costo de los accidentes, las instituciones e investigadores trabajan con tres campos:

1. Costos directos
2. Costos indirectos
3. Pérdidas morales

La mayor dificultad en la estimación del costo de los accidentes de tránsito, se encuentra en la gran variedad de aspectos involucrados y en la falta de criterios para valorarlos de manera precisa, a lo cual se agregan otros costos producidos por los accidentes de tránsito, que no se incluyen dentro de los anteriores como son:

- Congestión de la red vial
- Contaminación ambiental
- Accidentes secundarios
- Daños ecológicos
- Otros

A.- Costos directos

Los costos directos asociados con los accidentes de tránsito incluyen:

- Costos de policía y servicios de rescate
- Costo de los daños materiales
- Limpieza del área después del accidente
- Gastos médicos
- Gastos legales
- Gastos de rehabilitación física
- Reposición de la infraestructura

Estos costos por lo general se pueden cuantificar relativamente bien, toda vez que requieren de un pago, el cual es efectuado por alguna de las partes involucradas en el accidente, o bien por las compañías de seguros y el estado.

B.- Costos indirectos

Las pérdidas de producción por accidentes se refieren a lo que las personas dejan de producir por encontrarse incapacitadas de manera temporal o permanente, como consecuencia de las lesiones producidas en el accidente o directamente por su muerte, su monto es muy difícil de estimar aunque resulta fácil comprender que tiene un impacto significativo en el PIB de cada país.

C.- Pérdidas morales

Son los costos intangibles del accidente, tales como el dolor y el sufrimiento y sus efectos físicos y psicológicos en los familiares de las personas accidentadas, su cuantificación es imposible y generalmente su evaluación resulta sumamente conflictiva.

2.1.2.2 Beneficios

Los presupuestos de los organismos responsables de los programas de seguridad vial, tienen que competir en el mundo político con la inversión en otros sectores, por ello es fundamental conocer y exponer todos los costos sociales asociados con los siniestros, para ponderar la relación costo beneficio de la inversión en el sector y relacionarla con los gastos de otras áreas del sector público.

Con las consideraciones hechas, no cabe duda que los costos relacionados con los accidentes de tránsito son una pérdida económica importante para el país, adicionalmente existe la obligación del estado de asumir los costos sociales que generan los accidentes de tránsito, destinando recursos que serían muy útiles en cualquier área productiva.

Las pérdidas por accidentes de tránsito en Dinamarca durante el año 1997, fueron de 2,260 MDD, equivalentes al 1.5 % del Producto Interno Bruto (PIB), los daños materiales fueron el mayor costo tangible, pero las pérdidas de producción y del sector salud representarían una carga considerable para la economía nacional.

En países como México la incidencia de accidentes y el estado de las carreteras hace suponer que la estimación de 600 MDD aproximadamente, equivalente al 1.3 % del PIB, es conservadora.

2.1.3 Financiamiento

Es necesario tener presente que inversiones en medidas de prevención de accidentes, siempre son viables económicamente, cálculos de los costos de accidentes refuerzan el entendimiento de los trabajos de seguridad vial como una inversión para la sociedad, en vez de un gasto, pero un mejor parámetro para ampliar este entendimiento entre políticos y tomadores de decisión, es el hecho que los costos de accidentes no retornan al presupuesto de las instituciones responsables por las inversiones de seguridad vial, conciencia política es entonces un tema importante en el campo de la seguridad vial y una condición necesaria para continuar con esas actividades.

El problema de seguridad vial no puede ser totalmente atacado con las iniciativas a nivel del gobierno federal, el esfuerzo del estado necesitará recursos e iniciativas locales de los gobiernos estatales y municipales, del apoyo de las universidades y las empresas privadas.

Es importante enfatizar que las políticas de seguridad vial deberían ser de naturaleza continua y las actividades deben ser institucionalizadas, para el desarrollo de proyectos debe considerarse, el establecimiento de organizaciones sostenibles y el financiamiento para la continuación de los trabajos de seguridad vial.

2.1.4 Situación Actual

INDICADORES DE SINIESTRALIDAD EN CARRETERAS FEDERALES, 1990-2000

Período	Accidentes	Lesionados	Muertos	Daños materiales (miles de pesos)	Actas convenio	Infracciones	Kilómetros patrullados	Ayudas al público
1990	65 001	36 160	5 469	444 870	35 752	369 964	81 179 351	210 236
1991	68 113	36 642	5 734	554 771	42 417	360 875	68 536 198	103 180
1992	66 728	37 416	5 481	627 326	37 097	400 963	65 089 462	309 892
1993	63 804	35 461	5 252	636 785	35 707	377 935	71 792 681	330 805
1994	65 155	36 268	5 115	669 884	36 791	335 073	75 453 638	358 450
1995	58 270	33 860	4 678	671 513	33 072	203 392	75 621 843	371 235
1996	58 156	33 325	4 810	762 121	33 335	256 921	75 097 675	376 924
1997	61 147	34 952	4 975	998 950	35 749	279 420	88 599 603	448 999
1998	60 951	35 086	5 064	1 236 104	35 800	197 988	98 495 881	632 622
1999	60 507	36 528	5 106	1 513 827	ND	167 866	ND	ND
2000	61 146	38 434	5 224	1 835 571	ND	366 954	ND	ND

ND No disponible.
FUENTE: SG. PFP.

En el año 2000 fallecieron 5,224 personas y resultaron heridas 38,434 en 61,148 accidentes de tránsito, lo que representa 8.54 muertos y 32.85 heridos por cada 100 accidentes.

En la tabla se muestra la estadística de accidentes del año 1990 al 2000, y solo se refiere a los accidentes en carreteras federales, por lo que la situación se incrementa sustancialmente al considerar los accidentes urbanos y rurales los que no fueron incluidos por no disponer de estadísticas confiables, esos accidentes fueron algunas veces sumamente más graves teniendo en cuenta el gran número de muertos en los accidente.

La experiencia nacional, en los diferentes grupos de usuarios de las vías, dice que las consecuencias de los accidentes son diferentes, los peatones tienen mayor probabilidad de morir, mientras que los pasajeros de los vehículos tienen mayor probabilidad de resultar lesionados.

De acuerdo a los antecedentes proporcionados por la P.F.P., es posible apreciar que la distribución de accidentes se modifica levemente en los últimos años.

La tendencia ha sido de estabilización y eventuales reducciones en la tasa de accidentes y mortalidad, estas tendencias son relativas dado el aumento del parque vehicular, sin embargo, esta situación podría revertirse de manera dramática en los próximos años producto de la puesta en servicio de nuevas carreteras federales y concesionadas, que derivará en un aumento en el nivel de tránsito y su velocidad.

De acuerdo a estos datos, el costo total de los accidentes en el país se puede estimar en 9,945 millones de pesos, cálculo que incluye únicamente los accidentes reportados y sus costos directos.

2.1.5 Medidas de protección

Las cifras involucradas en los accidentes de tránsito resultan impresionantes, sin embargo, es necesario hacer algunas precisiones acerca de los alcances que puede tener la inversión en seguridad vial.

- Peatones

Debemos mencionar nuevamente que el mayor número de muertos se produce entre los peatones y por lo tanto resultará de un gran beneficio social cualquier medida destinada a la protección de ellos, tanto en zonas urbanas como en zonas interurbanas, en este sentido, los elementos de contención y específicamente las barreras de seguridad contribuyen de manera muy favorable a establecer zonas de tránsito segregado, esta situación es particularmente relevante en el caso de la segregación peatonal o en situaciones donde se pretende impedir que los peatones crucen las vías de circulación, para estos escenarios las barreras se transforman en un sustituto de las vallas peatonales, cercos, pasarelas y otros elementos similares.

- Autobuses

De acuerdo a un informe preparado por el Banco Interamericano de Desarrollo, analizando la situación de América Latina, podemos observar que un gran porcentaje de los heridos son consecuencia de los accidentes en que se ven involucrados los autobuses de pasajeros en zonas interurbanas, de acuerdo con esto, sería importante y seguramente rentable socialmente instalar sistemas de contención de autobuses en carreteras con alto tránsito de este tipo de vehículos.

- Obstáculos

Los obstáculos laterales y objetos fijos cercanos a la calzada, son identificados como contribuyentes importantes a la gravedad de los accidentes, ya que si un vehículo por alguna razón abandona la calzada y existe un obstáculo lateral o una posibilidad de caída, entonces las consecuencias del accidente serán notablemente más graves que si esta situación no existiese o se encuentre protegido de manera apropiada, de acuerdo a esto, una recomendación básica es la eliminación del riesgo, los costos asociados a la instalación de medidas de protección o elementos de seguridad especial a la instalación de medidas de protección o elementos de seguridad especiales para reducir las consecuencias de un impacto con dichos obstáculos.

La evaluación del beneficio resulta difícil de hacer, ya que en la mayoría de los casos el accidente no se producirá a bien será de menor gravedad, por ello la evaluación de los costos asociados a esto resulta imposible.

Las situaciones más comunes se relacionan con la instalación de elementos de infraestructura como estribos y cepas de puentes, pasarelas, casos inferiores, marcos de señales, luminarias, etc. este tipo de elementos ubicados en las inmediaciones de la calzada se constituyen en elementos de riesgo que son en la mayoría de los casos evitables, con una buena planificación de diseño, incluyendo conceptos de seguridad vial, se pueden evitar situaciones de riesgo que pueden ser muy difíciles de solucionar luego de ejecutadas las obras.

Entre las técnicas de diseño más eficaces en la solución de los problemas de obstáculos laterales debemos mencionar los conceptos de "zonas laterales despejadas".

- Geometría

La geometría de la vía es un importante elemento de la seguridad vial, radios de curvatura, distancias de visibilidad, perfiles transversales, ancho de la mediana y disposición de obras complementarias como drenajes y desniveles, son elementos que afectan a la seguridad vial.

Existen conceptos de diseño que no requieren de grandes inversiones y que pueden solucionar problemas de seguridad vial de manera definitiva, los elementos de contención causarán daños al ser impactados y no están diseñados para evitar accidentes, el objetivo de los elementos de contención será minimizar las consecuencias.

- Medidas complementarias

Resulta muy difícil de evaluar por separado, el efecto que tendría la implementación de una medida de seguridad vial en particular, como sería la modernización de los sistemas de contención, ya que no se trata solo de agregar una serie de elementos de contención al proyecto, al contrario, se debe realizar un profundo análisis de la situación general del camino, estudiando modificaciones, como puede ser al diseño geométrico, evitando los elementos de contención; como por ejemplo se puede modificar un talud, evitando así la instalación de barreras.

La sistematización del diseño de sistemas de contención siempre tendrá un efecto positivo en la seguridad de las vías.

2.2 BARRERAS DE SEGURIDAD

2.2.1 Propósito general

La seguridad que presenta una carretera frente a una situación de pérdida de control de los vehículos, tiene relación directa con las posibilidades que tiene el conductor de recobrarlo, por un lado, una carretera ideal deberá tener una zona lateral despejada suficientemente amplia como para permitir tomar nuevamente el control en condiciones seguras, por otro lado, una carretera insegura, desde este punto de vista, será aquella que presenta numerosos obstáculos en las inmediaciones de las pistas de circulación o puntos duros, que pueden provocar una detención inmediata o caída del vehículo, en un punto intermedio se encuentra la mayoría de carreteras.

La prioridad de todas las barreras de seguridad es contener y redireccionar un vehículo que, por cualquier razón, abandone su calzada de circulación, de esta manera se evitará que golpee un objeto fijo, caiga por un borde de terraplén o colisione frontalmente con un vehículo en sentido contrario, disminuyendo con ello la gravedad del accidente, en otras palabras, no se instala una barrera para evitar un accidente sino para disminuir sus consecuencias, se debe tener presente que la barrera en sí constituye un elemento de riesgo.

No existe un sistema de barreras ideal, capaz de contener y redireccionar a toda clase de vehículos a cualquier velocidad y bajo cualquier condición de instalación.

2.2.2 Aspectos generales

Los sistemas de barreras de contención se pueden agrupar en tres categorías de acuerdo a su comportamiento: flexibles, semiflexibles o semirígidos y rígidos, los sistemas flexibles son aquellos que logran la contención y redirección de los vehículos principalmente por la acción de una viga o cable, que cuenta con sistemas de anclaje en ambos extremos.

Los sistemas rígidos son aquellos que logran contener y redireccionar mediante una reacción directa al vehículo.

Los rangos esperados de deformación de los sistemas luego de un impacto, son los siguientes:

Tabla 2.2.2 Deflexiones esperadas

TIPO DE SISTEMA	DEFLEXION ESPERADA (m)
Flexible	De 1.5 a 3.5
Semirígido	De 0.5 a 1.5
Rígido	De 0.0 a 0.7

Equivalentemente, se pueden utilizar las medidas de ancho de trabajo expresadas en la Norma Europea EN 1317-2, donde se definen los rangos de deformación (W) y criterios de aceptación para todos los sistemas de contención.

En términos muy generales, la rigidez del sistema de contención afecta de dos maneras distintas a los vehículos que la impactan, mientras más rígida es la barrera, se esperan mayores daños en el vehículo y menor será la deflexión del sistema, un sistema flexible tendrá una deflexión mayor y los daños al vehículo serán menores, en consecuencia, el ancho de trabajo es una de las variables más importantes para los proyectistas.

2.2.3 Sistemas flexibles

Al ser impactados, estos sistemas presentan una alta deflexión, lo que se traduce en un suave redireccionamiento del vehículo, minimizando el riesgo a sus ocupantes y los daños al vehículo.

Los sistemas más comunes son los construidos a partir de cales de acero o vigas metálicas de perfil "W" con postes débiles, en ambos, el principio de funcionamiento consiste en traspasar la energía lateral del vehículo a la tensión longitudinal de la viga o cable de acero, los postes débiles deben solo mantener constante la altura del elemento de contención, no colaborando en la contención, en todos los casos, el sistema de sujeción del poste con la viga o cable, es un sistema colapsable, que permite el desenganchamiento de los postes durante la colisión.

El espaciamiento de los postes debe ser tal que permita mantener el elemento resistente a una altura constante.

La instalación de los postes puede hacerse mediante hincado en el terreno o apoyos de hormigón prefabricados, para este tipo de sistemas, el procedimiento de anclaje del poste no reviste mayor importancia, ya que frente a un impacto, el poste deberá colapsarse sin mayor resistencia, lo esencial es que cada tramo de barrera flexible cuente con elementos de anclaje al inicio y al final.

- Cables de acero, poste débil

Los sistemas de cables de acero son bastante utilizados en algunos países de Europa y EE.UU. destacando entre sus ventajas su rápida instalación y bajo costo de reposición, ya que los cables son recuperados luego de un impacto, el reemplazo consiste en la instalación de postes nuevos en la zona afectada por el impacto y luego el montaje y tensando de los cables.

La tensión de los cables, varía de acuerdo a los cambios de temperatura ambiente, lo que produce variaciones temporales en la longitud de estos y por consecuencia requiere de sistemas de corrección, por esta misma razón la longitud de cada tramo es limitada (máximo 2 a 3 Km).

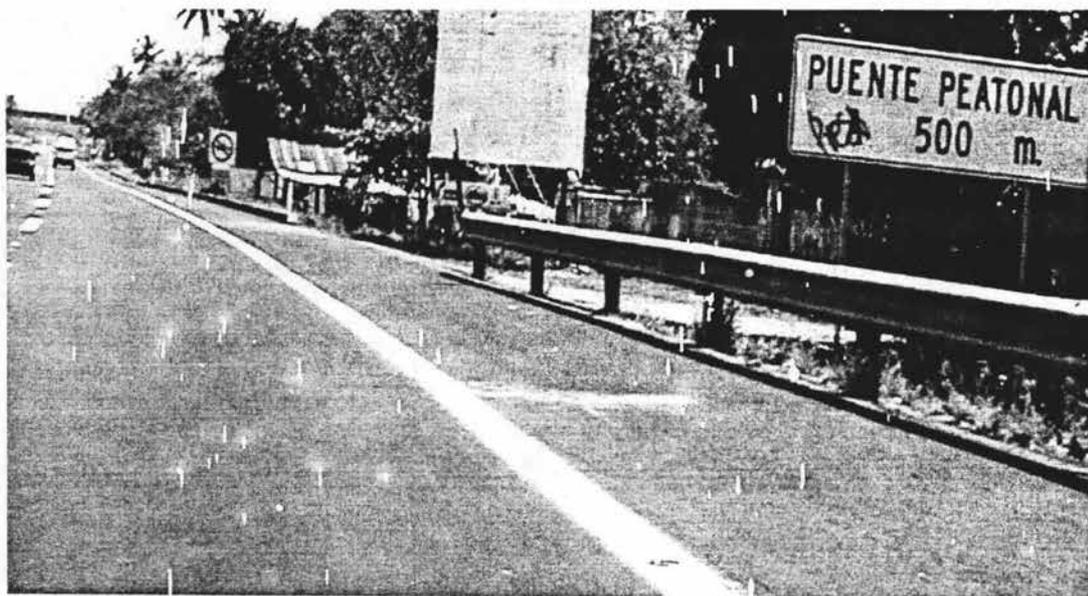
La altura de los cables de acero varía entre 40 y 80 cm, medidos desde la superficie del terreno, considerando que las instalaciones más comunes tienen tres cables a diferentes alturas, entre los rangos señalados

- Vigas "W" poste débil.

Las barreras metálicas con viga tipo "W", son consideradas sistemas flexibles, la viga funciona con los mismos principios de las barreras con cable de acero, la altura total de la barrera es de aproximadamente 70 a 75 cm sobre el terreno.

Una característica fundamental de este sistema, es que cuenta con un dispositivo de sujeción que facilita el desenganche del poste durante su deformación, permitiendo que la viga metálica se comporte como una cinta, descargando los esfuerzos a lo largo de esta, sin colaboración de los postes.

Figura 2.2.3.b sistema flexible, barrera con perfil "W"



2.2.4 Sistemas semirígidos

Estos sistemas son capaces de controlar y redireccionar los vehículos que los impactan, disipando la energía a través de la deformación de los postes y la viga.

Por su simplicidad se han transformado en uno de los sistemas más utilizados en el mundo, en general consisten en barreras metálicas formadas a partir de perfiles dobles o triple onda, soportados por postes de acero, hormigón o madera, los cuales se empotran en el terreno a una distancia variable.

La separación entre los postes varía generalmente entre 0.80 m y 2.00 m y es función del grado de rigidez que se desea obtener.

Para estas barreras también existen algunos elementos complementarios o dispositivos especiales que permiten modificar su comportamiento, orientados especialmente a requerimientos de más resistencia o disminución del ancho de trabajo, entre los más relevantes se cuentan la posibilidad de ubicar postes a menor distancia, vigas diagonales entre postes y perfiles o rieles inferiores.

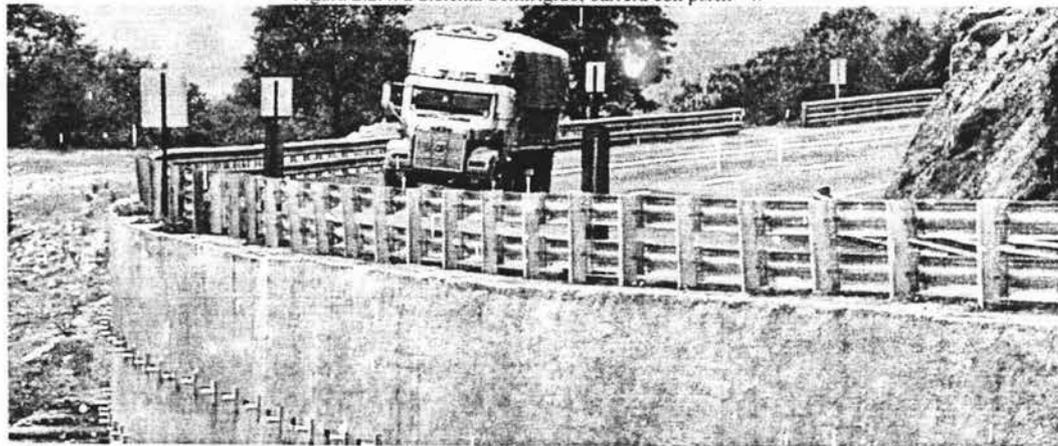
• Vigas "W" poste fuerte

El sistema Semirígido de viga "W" con poste fuerte, es uno de los más ampliamente difundidos en el mundo, el perfil tipo "W" presenta ventajas estructurales, facilidades de fabricación y montaje.

Los países europeos cuentan con mucha experiencia práctica en la utilización de este sistema, sin embargo no se conocen muchos antecedentes recientes de su comportamiento en pruebas de impacto real, las pruebas disponibles son anteriores al año 1977 y por lo tanto no recogen las exigencias actuales de las nuevas normas vigentes.

La altura de la viga es de aproximadamente 68 a 74 cm, sobre el terreno y el anclaje de los postes está materializado mediante el sistema de hincado en terreno natural o alternativamente en empotramientos con hormigón o bien vainas desmontables.

Figura 2.2.4. a Sistema Semirígido, barrera con perfil "W"



Es característica de estos sistemas, la incorporación de un bloque separador entre la viga y el poste, el cual tiene por función impedir que elementos del vehículo se enganchen al poste, el material utilizado en el bloque separador generalmente es acero, madera o plástico reciclado

- Viga triple onda, poste fuerte.

La viga de perfil triple onda es de la misma familia que la viga de perfil "W", pero es más resistente a la flexión y tensión longitudinal, esto se debe a su mayor sección y al pliegue adicional.

Este tipo de barrera es más rígido y generalmente más resistente que otras barreras metálicas y su mayor rigidez se traduce en un ancho de trabajo menor.

La configuración normal de esta barrera es la viga triple onda montada en postes de acero o madera, separados entre ellos por longitudes variables, la altura de la viga fluctúa entre 0.80 y 1.20 m, medida desde el terreno de emplazamiento.

Este sistema otorga un mayor nivel de contención que los mencionados en los puntos anteriores, característica que lo hace adecuado especialmente para vehículos de tamaño medio a velocidades moderadas, sin embargo, esta misma característica resulta en un aumento de la severidad del impacto en el caso de vehículos livianos.

Se han probado un gran número de tipologías de este tipo de barreras y tanto en EE.UU. como en Europa, las clasificaciones obtenidas abarcan casi todas las posibilidades de acuerdo al Reporte 350 de la NCHRP y a la norma EN 1371, este tipo de barreras probablemente es una de las más estudiadas tanto en pruebas de simulación en laboratorio como de impacto real

- Vigas de acero revestidas en madera.

Se han desarrollado últimamente sistemas híbridos entre madera y metal, especialmente con fines estéticos, básicamente estos sistemas consisten en una viga metálica reforzada y recubierta con una viga de madera, el sistema es soportado por postes de madera o metálicos también recubiertos con madera.

La resistencia estructural de estos sistemas está repartida en los esfuerzos de tracción tomados por la viga metálica, de la cual depende también la continuidad y la flexión, que es compartida por la viga de madera. Ambas vigas se encuentran unidas mediante pernos, en toda su longitud, para evitar la fragmentación de la madera durante un impacto.

La altura de la viga es de aproximadamente 70 cm desde el terreno de emplazamiento y la separación entre postes es normalmente de 2 m.

Las barreras de acero con madera son especialmente recomendadas para zonas de preservación ecológica como parques nacionales, reservas naturales y caminos turísticos en general. Todos los diseños que actualmente se utilizan incluyen refuerzos metálicos de manera discreta.

No existen diseños realizados solamente en madera que estén ensayados y aprobados.

2.2.5 Sistemas Rígidos.

Esta clasificación incluye cualquier estructura suficiente rígida como para no deformarse substancialmente frente al impacto de un vehículo de la clase para la cual fue diseñada. Incluidos en esta clasificación se encuentra: el perfil New Jersey y el perfil "F", el muro liso vertical, la forma pendiente constante y perfiles de puentes de varias configuraciones, en algunos casos acero y en otros se construye totalmente de hormigón o de acero.

Típicamente tiene una elevación de por lo menos 80 cm, dependiendo de las características de los eventuales vehículos que las impactarán y también de las condiciones del lugar de emplazamiento.

Esta clasificación abarca sistemas capaces de contener y redireccionar desde un vehículo más liviano hasta un camión con remolque de 36.5 ton a 85 km/h y a 15°, 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 es esencial minimizar las deflexiones.

- Las formas "F" y New Jersey

Estas barreras trabajan principalmente basadas en su peso propio, como parte solidaria del pavimento o incorporadas con la losa de un puente, cuando se usa como pretil, se pueden construir en sitio mediante moldes deslizantes o pueden ser prefabricadas como elementos modulares, los cuales requieren una conexión fuerte entre ellos.

Se han mostrado capaces de contener y redireccionar vehículos livianos y autobuses.

Amplas formas usan una altura mínima de 80 cm, pudiendo extender su elevación sin límite, es importante mencionar que estos sistemas absorben energía lateral levantando parcialmente el vehículo, por lo que se espera que mientras más severa sea la colisión, más alta será la altura que alcanzará el vehículo, para luego caer.

Las modificaciones incorporadas en el perfil "F" respecto del Perfil New Jersey, están orientadas principalmente a mejorar la trayectoria de vehículos pequeños en impactos severos.

Los diseños disponibles para este tipo de barrera son muy variados en cuanto a su estructura interna, presencia de armaduras, sistemas de unión y otros elementos accesorios.

- Muro vertical de hormigón

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

- Muro vertical de hormigón con mampostería de piedra.

Este sistema es esencialmente igual al sistema descrito en el párrafo anterior, con la diferencia de que se forra con mampostería de piedra lisa con juntas de mortero, entregando una apariencia rústica, la cual tiene gran aceptación en vías turísticas.

Cualquier muro vertical con estructura resistente y con altura mayor o igual a 80 cm podrá ser considerado como uno de estos tipos de barrera.

2.2.6 Sistemas Móviles y Removibles.

Las barreras móviles y removibles se han desarrollado para prestaciones en situaciones de tránsito variable o en caso de emergencias, debe en todo lo posible cumplir con los requerimientos de una barrera permanente.

- Barreras móviles de hormigón

Para algunas situaciones de flujo de tránsito variable conviene contar con una barrera capaz de ser trasladada de manera sencilla y rápida, una aplicación de gran utilidad es cuando se quiere maximizar el uso de pistas en una vía que tenga un tránsito con alta incidencia direccional, por ejemplo, una vía de 5 carriles con un flujo predominante en la mañana en una dirección y por la tarde en sentido inverso, podría modificarse todos los días permitiendo 3 o 4 carriles en la dirección de alto tránsito y 1 o 2 en la dirección contraria, la barrera móvil sería trasladada dos veces por día.

El traslado se logra utilizando un sistema rígido de hormigón que se compone de una cadena de segmentos de barrera de forma "F", con un elemento superior en forma de "T", el cual facilita el movimiento y desplazamiento, la barrera se corre utilizando un vehículo diseñado para tales fines, logrando un desplazamiento lateral de 1.20 hasta 5.50 m, las velocidades de transferencia son de 8 a 16 Km/h, el sistema se ha ensayado con un vehículo de 2,300 kg a 100 Km/h a 25°.

- Barreras móviles de módulos de plástico

Existen en el mercado internacional varios diseños de barreras de plástico, pero la experiencia indica que la gran mayoría de estas no pueden considerarse como una barrera de contención, aun cuando estén debidamente lastradas con agua, arena u hormigón, por esto, antes de usar estos sistemas como contención, es necesario saber con que criterio fueron ensayados, en general estos sistemas son usados como delineadores continuos y en este rubro funciona muy bien.

Un sistema comercialmente disponible, que ha sido ensayado exitosamente, utiliza segmentos de plástico reforzados con acero y lastrados con agua, los elementos son conectados con un cable de acero, el cual provee la capacidad de tensión del sistema.

- Barreras removibles de vigas de perfil "W"

Se encontrará desarrolladas algunas variaciones en los sistemas de instalación de barreras metálicas, que permiten considerarla dentro de los sistemas removibles, están basadas en vigas "W" con una adaptación de sus elementos de unión y fijación de postes, la utilización de estos sistemas está especialmente indicada en la materialización de paradas de emergencia en instalaciones continuas de barreras metálicas.

Son diversos los tipos de modificaciones realizadas en los elementos de unión y conexión, siendo las más habituales la utilización de tuercas mariposa o pernos con pasador, estos diseños de unión no han sido sometidos a pruebas de impacto, por lo cual se recomienda su instalación en sectores de bajo riesgo.

Incluido en este grupo están los portones de metal, disponibles comercialmente, los cuales son capaces de desplazarse longitudinalmente abriendo la barrera, permitiendo el paso de vehículos de emergencia, algunos de estos sistemas han sido ensayados exitosamente.

2.2.7 Sistemas de pretil de tierra.

Un pretil de tierra puede ser usado exitosamente como una barrera de contención, estos elementos no tienen dimensiones fijas y en general corresponden a un montículo o camellón continuo de tierra, cubierto normalmente por vegetación baja, no se recomienda una altura mayor a 3.0 m ni taludes laterales mayores de 1:3, aunque se puede exceder esta última cifra, si se cuenta con taludes muy uniformes y con un pie de pretil adecuadamente redondeado.

El inicio del pretil de tierra deberá ser lo más gradual posible, no recomendándose su uso en las afueras de curvas horizontales o en lugares donde el traspaso del pretil representaría consecuencias severas.

Una muy buena aplicación de este tipo de sistemas es en medianas con una alta presencia de cepas o muros centrales de sostenimiento de estructuras.

2.2.8 Sistemas en zonas de trabajo

Los sistemas de contención provisionales, utilizados en zonas de trabajo, deben tener tres funciones: proveer seguridad para los usuarios del camino, proveer seguridad para los trabajadores y el equipamiento de trabajo y proteger los elementos de la obra, como por ejemplo moldes, armaduras, etc. un sistema de contención provisoral ayudará además a controlar la entrada a la obra de personas y vehículos que no estén autorizados.

En algunos casos en trabajos de reducida duración o en vías de baja velocidad, en general, no conviene proveer un sistema de contención, en otros casos, en faenas de conservación de corta duración, peor en vías de alto tránsito y altas velocidades, bastará con utilizar un Amortiguador Montado en Camión (AMC).

En trabajos de mayor duración, contrabajos cercanos a pistas de tránsito o de tener excavaciones laterales de más de 50 cm de profundidad en la cercanía de pistas de alta velocidad, conviene considerar el uso de barreras modulares e interconectada de hormigón, ya que estas dan un buen nivel de seguridad y son fáciles de instalar y remover.

Los elementos iniciales de estas barreras de hormigón no deben presentar un peligro al tránsito, pudiendo para este fin, utilizar un amortiguador de impacto, proveer una transición para alejar la punta del tránsito o utilizar un terminal de hormigón abatido, si la velocidad de circulación es menor o igual que 70 KM/h.

Por su naturaleza, las zonas de construcción atraen el interés del público, éste puede entorpecer la obra y representar un grave peligro, en estos casos, se recomienda instalar vallas peatonales de control de acceso.

- Barreras de hormigón

Las barreras de hormigón son adecuadas para trasladarse de un lugar a otro, factor que puede ser muy importante durante una obra en construcción, es más, se puede fabricar la barrera, colocar en un lugar temporal para proteger al usuario, los obreros y la obra, y luego colocarla en su posición final, formando parte de los elementos definitivos del camino, en algunos casos, la barrera de hormigón se puede usar en varios lugares durante la vida de la obra antes de ponerla en su lugar final.

La barrera de cadena de segmentos de perfil "F" con un elemento superior con forma de "T", tiene también aplicación en vías de construcción, la barrera puede proteger la obra durante el día, permitiendo el uso de pistas adyacentes para altos flujos y luego ser corrida cierta distancia durante periodos de menor demanda vehicular, facilitando la construcción de la vía.

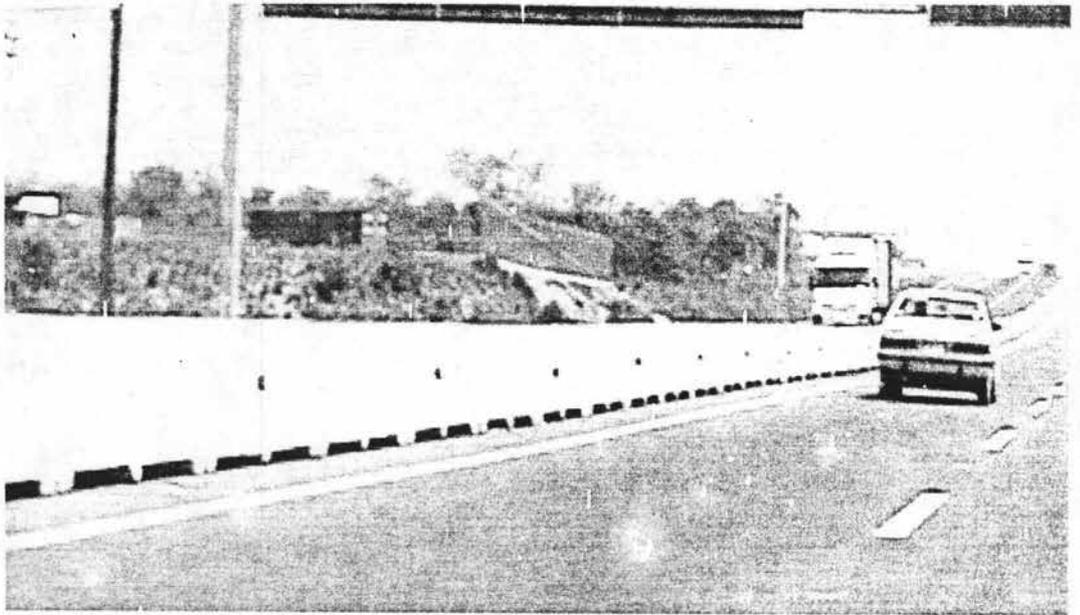


Figura 2.2.8 Barrera provisional de hormigón

2.3 AMORTIGUADORES DE IMPACTO Y ELEMENTOS TERMINALES

Los amortiguadores de impacto tienen como función parar un vehículo de una manera controlada o redireccionarlo, evitando que impacte con un objeto fijo, o que entre en un lugar peligroso, estos dispositivos se pueden clasificar en dos grandes grupos: amortiguadores de impacto sin capacidad de redireccionamiento y amortiguadores de impacto con capacidad de redireccionamiento.

La mayoría de los sistemas atenuadores y amortiguadores de impacto están diseñados para las sollicitaciones impuestas por vehículos livianos, debido a que generalmente no están disponibles en los caminos los espacios requeridos para ubicar los elementos necesarios que disipen la energía de vehículos pesados.

Aún con esta limitación, un amortiguador de impacto, diseñado para vehículos livianos, tendrá efectos positivos de ser impactado por un vehículo mayor, especialmente si este impacto es a baja velocidad.

Los objetivos principales de un elemento terminal de barrera son evitar que se produzca una detención violenta del móvil en un choque frontal y que algún elemento de la barrera penetre al compartimento de pasajeros del vehículo y además servir como anclaje del sistema en un impacto lateral.

Las consecuencias de accidentes con barreras sin terminales adecuados, son por lo general, muy graves, ya que los extremos de barreras tienen una sección transversal muy pequeña, que fácilmente puede penetrar el habitáculo en el caso de barreras metálicas o bien provocar deformaciones muy severas en la carrocería del vehículo en el caso de barreras rígidas.

Los elementos utilizados en los extremos de las barreras se conocen como tratamientos terminales y corresponden, en general, a una prolongación de la barrera, en una tipología compatible con la misma y con características apropiadas para ser impactados desde todos los ángulos.

2.3.1 Amortiguadores de impacto sin capacidad de redireccionamiento

Los amortiguadores más conocidos en esta categoría corresponden a los tambores de plástico con arena interior, los cuales se diseñan según el espacio disponible, el ancho del elemento peligroso y la energía que se requiere disipar, esa energía es función de la velocidad y la masa del vehículo.

Al impactar los tambores, el vehículo los rompe y con esto se comienza a desplazar la arena contenida en ellos, traspasándose la energía del móvil hacia la arena, causando la desaceleración y posterior detención de éste.

La disposición de los tambores se realiza en orden creciente de masa en dirección hacia el obstáculo, de esta manera, se logra un dispositivo que va aumentando su resistencia, permitiendo que ante el impacto de un vehículo muy liviano, no resulte un cambio de velocidad muy brusco, es decir, el vehículo pequeño solicita sólo los tambores de menor masa localizados al frente del dispositivo, un vehículo de mayor masa solicita tanto los tambores de menor masa como los siguientes que contienen mayor cantidad de arena.

Antecedentes proporcionados por los fabricantes indican que pueden detener hasta un vehículo de 2.0 toneladas, impactando a una velocidad de 113 Km/h, sin causar daños a sus ocupantes, en algunos casos, después de un accidente, el conductor del vehículo simplemente engancha su transmisión en reversa para salir del área cubierta de arena y sigue su viaje.

Por su naturaleza estos dispositivos son de menor costo y en general después de un impacto no son reutilizables, dado que los tambores y arena no tienen capacidad de redireccionamiento,

estos dispositivos tienen que ser alineados para responder al ángulo de impacto esperado, resultando agrupaciones de tambores de distinto ancho y longitud.

2.3.2 Amortiguadores de impacto con capacidad de redireccionamiento

El mercado ofrece una gran variedad de estos amortiguadores, cuyo funcionamiento se basa en distintas formas de lograr la disipación de energía al sufrir un impacto en su nariz y el redireccionamiento del vehículo en caso de un choque lateral.

La disipación de la energía se logra mediante una deformación, permanente o temporal, de los elementos que constituyen el amortiguador, los cuales normalmente son cartuchos comprimibles o cilindros deformables de caucho o plástico, para el buen funcionamiento del sistema se requiere un muro de reacción, el redireccionamiento se consigue mediante la coraza o revestimiento que envuelve los elementos disipadores.

2.3.3 Amortiguadores de impacto móviles

Los sistemas de impacto móviles, corresponden a aquellos que son instalados como accesorios, en la parte trasera de vehículos o en una plataforma que puede desplazarse con el amortiguador.

Los amortiguadores de impacto de camión, se montan en aquellos vehículos, generalmente de servicio o conservación de vías, que constituyen un serio obstáculo, sobre todo cuando deben transitar a bajas velocidades e incluso permanecer detenidos en la calzada, en 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 colisionante.

2.3.4 Terminales atenuadores de impacto

Desde hace muchos años se ha visto el peligro que representa el inicio de una barrera, documentándose que de ser impactados de frente, tienden a penetrar los vehículos o a causar reacciones no predecibles, para evitar estos problemas, se han estudiado diversas modificaciones de la geometría del extremo de la barrera, entre las más difundidas se encuentran los tratamientos terminales abatidos, esviados y combinaciones de ambos.

La efectividad de estos diseños es muy limitada, ya que en general, solo funcionan a bajas velocidades y por lo tanto no son adecuados a vías rápidas, para la utilización de terminales abatidos, debe asumirse la posibilidad de que los vehículos que los impacten frontalmente, monten la barrera, salten sobre ella o vuelquen, por su parte, si el terminal es esviado, se aumenta considerablemente el ángulo de impacto y con ello la severidad.

En todos estos casos, las consecuencias del accidente no sólo son graves sino que además impredecibles.

Se ha desarrollado una familia de dispositivos para remediar estas situaciones, los cuales funcionan con los mismos principios de disipación de energía que los amortiguadores de impacto.

Estos terminales tienen además una segunda función, que es la de anclar la barrera, asegurando así que ésta puede desarrollar su capacidad de tensión.

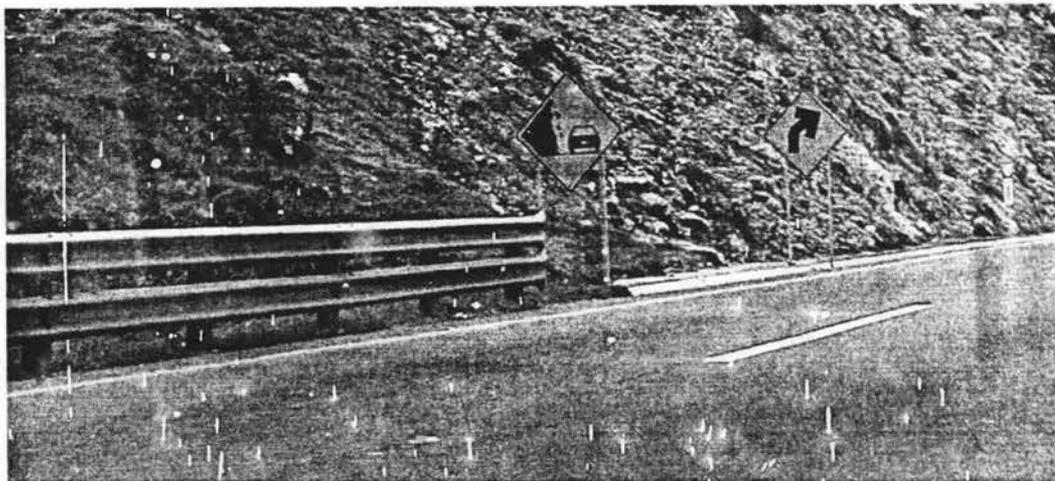


Figura 2.3.4.b Terminal de barrera

2.4 RAMPAS DE ESCAPE

2.4.1 Generalidades

Las rampas de escape son pistas especiales ubicadas en el entorno inmediato de los caminos, para permitir que vehículos fuera de control puedan ingresar a éstas y reducir violentamente su velocidad en forma segura.

Generalmente las rampas son diseñadas en aquellos lugares donde la topografía impone condiciones de pendiente fuertes, generando situaciones inseguras para la circulación de los vehículos pesados, debido a que se ven expuestos a constantes cambios de velocidad, utilización permanente de frenos y la acción retardante de los motores al llevarlos enganchados constantemente.

La primera instalación diseñada para ayudar a los camiones fuera de control se construyó en California EE.UU. en el año 1956, a partir de entonces y a medida que crecía el interés por la aplicación de rampas de escape, también aumentó la necesidad de saber como diseñar estas instalaciones para que su uso fuera eficaz, ¿En que lugares eran necesarias?, ¿Qué características físicas, como longitud e inclinación y qué materiales eran los que mejor funcionaban?, ¿Qué procedimientos de mantenimiento eran necesarios?, etc. En algunos estados de EE.UU. en Australia y el Reino Unido comenzaron proyectos de investigación para responder a estas dudas.

Las fuerzas que actúan en cada vehículo y que afectan la velocidad de éstos incluye al motor, frenos, y la sumatoria de fuerzas que actúan directamente sobre el vehículo, la fuerza del motor y de los frenos pueden ser ignorados en el diseño de la rampa, puesto que éstas deberán ser diseñadas considerando el caso más desfavorable, cual es el que los vehículos estén fuera de control.

Ahora bien, la sumatoria de fuerzas que actúan sobre el vehículo son: la inercia, el aire, la resistencia al rodado y la pendiente.

2.4.2 Tipos de rampas

Existen tres categorías para identificar los tipos de estos dispositivos más utilizados, estos son: gravitacionales, montículos de arena y lechos de frenado.

Dentro de estas categorías existen cuatro tipologías predominantes para el diseño de las rampas, estos diseños son los montículos de arena y tres tipos de lechos de frenado, clasificados por la pendiente: pendiente descendente, pendiente horizontal y pendiente ascendente.

Las rampas gravitacionales tienen un pavimento o un material de rodado granular compactado densamente en la superficie, confiando fundamentalmente en la fuerza de gravedad para disminuir y detener la carrera de los vehículos, este tipo de rampa por lo general de una gran longitud, debe tener una gran gradiente y requiere de un control topográfico continuo y estricto.

Las rampas de montículos de arena están compuestas de arena suelta y seca y su longitud normalmente no sobrepasa los 120 m, la influencia de la gravedad depende de la pendiente de la superficie.

Los lechos de frenado son construidos normalmente paralelos y adyacentes a las rutas, este tipo de rampas utiliza material granular suelto, el cual aumenta fuertemente la resistencia al rodado, forzando de esta manera la detención del vehículo.

El más común de los lechos de frenado es el de pendiente ascendente, ya que tiene la gran ventaja de utilizar la inclinación del terreno como complemento de los materiales granulares sueltos que otorgan la resistencia al rodado, reduciendo así su longitud.



Figura 2.4.2. Rampa de montículos de arena

2.4.3 Criterio de diseño

Existen algunos fundamentos básicos en el diseño de las rampas de escape, en general relacionados con las características físicas de ellas, pero también existe otro fundamental y es el relacionado con la seguridad.

Las condiciones mínimas que se deben cumplir en el diseño de una rampa de escape son: contar con un acceso amplio, tener una buena visibilidad de toda la rampa la mayor cantidad de tiempo posible (si el conductor percibe discontinuidades, aunque éstas no existan, no entrará en ésta), tener una longitud suficiente, colocar los materiales adecuados y contar con una pista auxiliar para remover vehículos y permitir su mantenimiento.

Otro elemento que favorece la seguridad de las rampas de escape es la iluminación nocturna.

ANÁLISIS Y DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL
(CAPITULO 3)

3.1 ANTECEDENTES

Como marco de referencia se ha tomado la experiencia de E.E.U.U. y Europa, en estos países las soluciones de sistemas de contención implementadas están respaldadas por una constante investigación y la experiencia de las aplicaciones prácticas que se han desarrollado.

El traspaso de tecnología entre E.E.U.U. y Europa ha sido relativamente transparente, y generalmente se observa que tanto los elementos utilizados como las técnicas de selección y prueba son coincidentes.

Como punto de partida, esos países apuntan a diseñar y construir vías más seguras, como parte de ello, los conceptos de seguridad se encuentran ligados directamente con otros aspectos del diseño, los cuales han sido integrados de manera armónica, estos factores están relacionados con la idea de evitar los accidentes antes de que estos se produzcan.

Estos criterios han demostrado ser elementos claves en la reducción del número de accidentes y la gravedad de los mismos, cuando no existe la posibilidad razonable de resolver las situaciones de riesgo que ameritan la instalación de elementos de contención como barreras de seguridad, amortiguadores de impacto o lechos de frenado, se recomienda la instalación de elementos de contención seguros y ensayados.

3.1.1. Zona despejada.

En los años 60 se hacía evidente que los elementos viales laterales contribuían a aumentar la gravedad de los accidentes, y de aquí nace el concepto de zona despejada, durante los años 80 se documentó en E.E.U.U. y otros países que aproximadamente un 25% de los accidentes fatales involucraban objetos fijos, un estudio australiano desarrollado en 1990 documentó que los objetos fijos fueron determinantes en un 27 % de los accidentes graves investigados en ese país.

Ensayos de la General Motors en los años 50 y 60 mostraron la conveniencia de proveer, en vías de alta velocidad, un área lateral de recuperación para vehículos fuera de control, se reconoce que esta pérdida de control puede ser por patinaje, conductores momentáneamente dormidos y distraídos, condiciones del tránsito, vehículos con averías o por otras razones, varios estudios recopilaron información en cuanto a la frecuencia y la distancia de estos abandonos descontrolados y se concluyó que entre el 80 y el 85 % de los casos en que el conductor pierde el control de un vehículo a altas velocidades, también podría recuperarlo cuando existiera un área relativamente plana de un ancho aproximado a 9.0 m. medido desde el borde de la pista de circulación, en conjunto de evidencias fue resumido en una publicación denominada "Un análisis de seguridad en el diseño y operación vial" (A Review of Safety Design and Operational Practices). En este documento se expresó la necesidad de proveer en las vías de alta velocidad, una zona lateral de aproximadamente 9.0 m de ancho y libre de obstáculos agresivos, el documento fue adoptado como guía para todos los estados de la Unión Americana por la American Association of State Highway Officials, ahora conocido como AASHTO.

La "Zona Despejada" se define como el área adyacente a las pistas de circulación, la cual se mantiene libre de peligros laterales como postes, árboles y arbustos con troncos mayores a 10 cm, muros de obras de viales, pendientes fuertes (mayores de 4:1) y otros objetos fijos o

condiciones peligrosas, el ancho de esta zona debe ser consistente con el diseño geométrico, velocidad de operación, composición y nivel de tránsito.

Las condiciones consideradas para definir el concepto inicial de la Zona Despejada eran una vía recta con taludes relativamente planos, en los años 70 se reconoció que la zona despejada de 9.0 m era mucho en algunos casos y poco en otros. En el "Guide for Selecting, Locating and Designing Traffic Barriers" (1997), se modifica el concepto de 9.0 m para considerar diferentes velocidades y también los efectos de la curvatura y talud.

En la tabla 3.1. Se indican las distancias recomendadas para la zona despejada, es importante reconocer que las distancias indicadas en la tabla representan un extremo del concepto de la zona despejada, aunque indiscutiblemente es un elemento importante en la seguridad de una vía, este extremo representa también una inversión muy alta, la cual en la mayoría de los países no es posible realizar.

TABLA 3.1. DISTANCIAS RECOMENDADAS PARA LA ZONA DESPEJADA

Velocidad de diseño	TMDA de Diseño	Talud en terraplén		Talud en corte		
		1:6 o más plano	De 1:5 a 1:4	1:3	De 1:5 a 1:4	1:6 o más plano
60mk/h o menos	Baja 750	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0
	750-1500	3.0-3.5	3.5-4.5	3.0-3.5	3.0-3.5	3.0-3.5
	1500-6000	3.5-4.5	4.5-5.0	3.5-4.5	3.5-4.5	3.5-4.5
	Sobre 6000	4.5-5.0	5.0-5.5	4.5-5.0	4.5-5.0	4.5-5.0
70-80 km./h	Baja 750	3.0-3.5	3.5-4.5	2.5-3.0	2.5-3.0	3.0-3.5
	750-1500	4.5-5.0	5.0-6.0	3.0-3.5	3.5-4.5	4.5-5.0
	1500-6000	5.0-5.5	6.0-8.0	3.5-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5
	Sobre 6000	6.0-6.5	7.5-8.5	4.5-5.0	5.5-6.0	6.0-6.5
90 km/h	Bajo 750	3.5-4.5	4.5-5.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.0-3.5
	750-1500	5.0-5.5	6.0-7.5	3.0-3.5	4.5-5.0	5.0-5.5
	1500-6000	6.0-6.5	7.5-9.0	4.5-5.0	5.0-5.5	6.0-6.5
	Sobre 6000	6.5-7.5	8.0-10.0*	5.0-5.5	6.0-6.5	6.5-7.5
100 km/h	Bajo 750	5.0-5.5	6.0-7.5	3.0-3.5	3.5-4.5	4.5-5.0
	750-1500	6.0-7.5	8.0-10.0*	3.5-4.5	5.0-5.5	6.0-6.5
	1500-6000	8.0-9.0	10.0-12.0*	4.5-5.5	5.5-6.5	7.5-8.0
	Sobre 6000	9.0-10.0*	11.0-13.5*	6.0-6.5	7.5-8.0	8.0-8.5
110 km/h	Bajo 750	5.5-6.0	6.0-8.0	3.0-3.5	4.5-5.0	4.5-4.9
	750-1500	7.5-8.0	8.5-11.0*	3.5-5.0	5.5-6.0	6.0-6.5
	1500-6000	8.5-10.0*	10.5-13.0*	5.0-6.0	6.5-7.5	8.0-8.5
	Sobre 6000	9.0-10.5*	11.5-14.0*	6.5-7.5	8.0-9.0	8.5-9.0

FUENTE: RDG de la AASTHO

NOTA: * EN ALGUNOS PAISES LA ZONA DESPEJADA ES LIMITADA A 9 M POR RAZONES PRACTICAS

Un importante número de países, entre ellos Australia y Suecia, han adoptado una política de proveer un ancho mínimo de 9.0 m para la zona despejada para las vías de alta velocidad, esta política de usar una distancia "única" es más fácil de aplicar y parece ser una decisión razonable, tanto del punto de vista de seguridad como del económico, el ancho total de la zona despejada incluye el ancho de las bermas.

Según un estudio norteamericano, se estableció una correlación entre un aumento específico en la zona despejada y una reducción en el número de accidentes por este concepto, situación que pone de manifiesto la tabla 3.1.1

TABLA 3.1.1 REDUCCION DE ACCIDENTES

Aumento en el ancho de la Zona Despejada (m)	Reducción de accidentes relacionados con la zona despejada	
	Alineación recta (%)	Curvas (%)
1.5	13	9
2.4	21	14
3.0	25	17
3.6	29	19
5.0	35	23
6.0	44	29

Fuente: Safer Roads A Guide to Road Safety Engineering.

3.1.2 Taludes laterales

De lo anterior se puede ver que la sección transversal de una vía es un elemento de la zona despejada, entonces es obvio que una zona despejada de 9.0 m de ancho con un talud de 1:1 en nada aumenta la seguridad vial, según estudios a escala real, confirmada por proyecciones computarizadas, concluyen en términos generales:

- Taludes superiores a 3:1 no son traspasables por un vehículo, en otras palabras, el vehículo que comienza a bajar por estos taludes volcará.
- Taludes entre 3:1 y 4:1 son traspasables si son uniformes, es decir, si no cuentan con irregularidades importantes, un vehículo que comienza a bajar por estos taludes seguirá bajando hasta donde éste termine.
- Taludes de 4:1 o menores son traspasables y recuperables, es decir, un vehículo que comienza a bajar por estos, podrá en muchos casos recuperar el control y detenerse o salir de nuevo a la calzada.

De esta manera se puede ver que una zona despejada de 9.00 m de ancho con taludes de 4:1 o menos, proveerá un nivel de seguridad aceptable en la mayoría de los casos, de contar con taludes entre 3:1 y 4:1 y de no poder remover todos los objetos fijos y situaciones peligrosas en la zona despejada, será necesario considerar el uso de un elemento de contención, la gráfica 5.3.1, incluido en el Capítulo 5, relaciona la altura de un terraplén con el nivel de inclinación del talud y la conveniencia de proveer una barrera o no.

En muchos casos, durante el diseño de una obra, el proyectista se encuentra con cantidades importantes de excavación, las cuales se tienen que llevar a un botadero, frecuentemente estos materiales pueden ser utilizados para modificar taludes, convirtiendo así taludes 3:2 en taludes 4:1. De esta manera se puede mejorar la seguridad y ahorrar el dinero del transporte del material sobrante.

3.1.3. Objetos Fijos.

Los objetos fijos de una carretera pueden ser varios, pero los de interés para el tratamiento del tema se pueden describir de la siguiente manera, un objeto fijo es un elemento que por su masa, forma, estructura, conformación u otra característica, representa un peligro para los ocupantes de un vehículo que choque.

Entre los objetos más comunes se cuentan, los postes de alumbrado o de servicios públicos, rocas, árboles, postes de señalización vertical (tanto público como privado), muros cabezales, cunetas, taludes perpendiculares, adornos de la vía, etc.

El orden por prioridad para el tratamiento seguro de los objetos fijos usada normalmente en países desarrollados es:

1. Eliminar los objetos fijos, ya sea removiéndolos o reubicándolos, de no ser posible remover o alejar de la vía todos los objetos fijos, conviene establecer prioridades para remover los que sean más propensos a ser impactados.
2. Modificar el diseño de objetos fijos indispensable, para disminuir o eliminar el peligro, los postes de señales de iluminación se pueden convertir en postes rompibles que al ser impactados presentan menor riesgo para los ocupantes de los vehículos.
3. Promover las instalaciones subterráneas de cables para señalizaciones y de esta manera eliminar el peligro que representan los postes, en todo caso, estos postes se deben alejar lo más posible de la calzada.
4. De no eliminar, alejar o hacer menos peligroso el objeto fijo, se puede instalar una barrera para defender a los usuarios de la vía del peligro que representa el objeto fijo.
5. En el caso de no poder realizar ninguna de las actividades mencionadas arriba conviene siempre, al menos, delinear bien el objeto.

3.1.4. Modificaciones de diseño y geometría.

La experiencia y estadística de accidentes en nuestro país, contrariamente a lo que se podría pensar, indica que aquellos caminos con geometría montañosa, muy sinuosos y con gradientes de gran magnitud, no son precisamente los que presentan mayor número de accidentes, esto ocurre porque los usuarios conocen o perciben rápidamente las características y riesgos del camino y, en consecuencia, asumen una conducción más cuidadosa, la excepción a esta conducta la constituyen algunos conductores habituales, que cada vez que utilizan repetidamente un camino incrementan su velocidad de circulación y por ende su riesgo.

La geometría del camino se convierte en un factor negativo, altamente determinante en la seguridad de conductores y peatones, por lo cual se presentan las siguientes condiciones que el diseñador de carreteras debe evitar:

- Geometría irregular en un solo trayecto, con curvas horizontales aisladas que restringen repentinamente la velocidad de operación.

- Falta del tercer carril o pistas lentas en zonas de trazado sinuoso, para permitir el rebase de vehículos pesados.
- Inadecuada localización del término de las pistas lentas, este debe ubicarse de tal forma que los vehículos pesados puedan desarrollar ahí velocidades similares a la del flujo principal y su incorporación no implique riesgo para el resto de los usuarios.
- Adaptación de peraltes menores ya sea en el diseño o en la construcción.
- Inadecuado diseño o emplazamiento de intersecciones, principalmente falta de pistas de viraje a la izquierda e intersecciones ubicadas en curvas con escasa visibilidad.
- Definición de curvas horizontales (retorno) con radio insuficiente para el cruce simultáneo con un vehículo de carga.
- Curvas verticales conexas que permiten una velocidad de parada insuficiente para la velocidad máxima permitida.
- Existencia de curvas verticales sucesivas con largas restricciones de velocidad.
- Presencia de pendientes fuertes prolongadas sin contar con pistas de emergencia para detener vehículos fuera de control.
- Falta de correspondencia entre la geometría del camino y la superficie de rodado, los caminos de estándar no deben privilegiar el mejoramiento del pavimento olvidando resolver las restricciones de geometría, el aumento en la velocidad de circulación podría ocasionar serios accidentes.
- Ancho insuficiente de la superficie de rodamiento para la intensidad de tráfico, especialmente cuando la componente de vehículos pesados es importante.
- Caminos con bermas granulares en desnivel respecto a la superficie de rodamiento constituyen un serio riesgo, más aún si existe flujo peatonal y de ciclistas, la existencia de bermas pavimentadas con ancho suficiente para servir como franja de seguridad es indispensable para mejorar la seguridad vial.
- Perfiles tipo en zonas urbanas consolidadas con actividad adyacente, que no contemplan áreas de estacionamiento ni adecuada canalización de los flujos, conllevan peligro tanto para los conductores como para los peatones, más aún si no existen aceras.

Estas situaciones deben ser convenientemente evaluadas y resueltas por el proyectista, incorporando en sus criterios de decisión la seguridad vial que les corresponde tanto a los conductores como a los peatones.

3.1.5. Elementos de drenaje.

La disposición y el dimensionamiento de los elementos de drenaje tienen una gran importancia en la seguridad que ofrece el camino a los usuarios, actualmente este es uno de los factores que más impactan a las vías rápidas en la ciudad y las carreteras.

Se ha detectado que la disposición de cunetas junto a la superficie de rodamiento compromete seriamente la seguridad de un conductor frente al más leve despiste situación similar ocurre con las fosas excavadas en zonas planas cerca de la plataforma, más aún cuando de noche estos lugares pueden servir equivocadamente de estacionamiento.

La experiencia internacional indica que las situaciones indicadas deben evitarse en la etapa de proyecto, ya sea mediante el alejamiento de estos elementos respecto a la superficie de rodamiento o bien, cubriéndolos, en el caso de las cunetas, si estos elementos ya están dispuestos en el camino, se podrá recurrir a demarcaciones con resaltes, barreras de contención, losetas de protección o reflejantes, a fin de mitigar el efecto negativo que ejercen sobre la seguridad de la vía.

En otros casos, la inadecuada disposición de los muros de puentes y señalamiento vial, ocasionen un estrechamiento en la plataforma, por lo que significan un obstáculo adyacente que aumenta el riesgo de colisión ante una pérdida de control de los vehículos, estas situaciones pueden evitarse dándole la debida longitud a las alcantarillas y señalizando las existentes.

Contar con un adecuado dimensionamiento del sistema de saneamiento y drenaje sin duda tendrá un positivo efecto sobre la seguridad vial, se evitará el escurrimiento no controlado de aguas hacia y por el camino, que no sólo atenta contra su estabilidad sino muchas veces puede arrastrar materiales hacia la calzada, afectando el control de los vehículos, también el adecuado rediseño evitará la creación de erosiones en los márgenes y en la superficie de rodamiento, que si no son advertidas o señalizadas oportunamente, pueden causar graves consecuencias.

Por tal motivo es necesario revisar y adecuar el Proyecto Hidráulico para que tome en cuenta lo anteriormente expuesto a fin de contar con un sistema de saneamiento y drenaje que contribuya a mejorar la seguridad.

3.1.6. Sistemas de contención utilizados.

Los sistemas utilizados varían significativamente los fundamentos técnicos que justifican su utilización no siempre existen, la gran cantidad de diseños diferentes que se utilizan hacen imposible realizar una clasificación totalmente representativa de la variedad existente.

En este sentido existen casos extremos, donde cada Estado puede disponer de elementos de contención diferentes, un problema similar ocurre en todo el mundo, donde no existe consenso acerca de que tipos de sistemas deben utilizar, los procedimientos de aceptación de elementos de seguridad, con las normativas vigentes, permiten la incorporación de cualquier elemento fabricado dentro del país y no hay restricciones para los materiales utilizados.

La consecuencia directa de lo anterior, es que desde hace unos 30 años se han desarrollado todas las combinaciones de elementos factibles para ser utilizados como elementos de contención, algunos de éstos han sido probados mediante cálculos teóricos, pruebas de laboratorio y pruebas de impacto real.

Los diseños y materiales que actualmente se utilizan corresponden, en general, a los que han demostrado un comportamiento satisfactorio ya sea en las pruebas de ensayo o en la experiencia práctica de otros países.

En este punto es necesario recordar que la gran mayoría de los elementos de contención son fabricados por empresas privadas, en todos los países, las cuales tienen entre sus objetivos principales el obtener mayores ganancias, esto las lleva a desarrollar sistemas que pueden no ser tan eficientes técnicamente, pero presentan ventajas desde el punto de vista comercial, costos más bajos, diseños atractivos e incluso responder a expectativas políticas en términos de beneficiar a ciertos sectores de la industria.

Un caso particular de esta situación se presenta en la CEE, donde claramente se ha impulsado el desarrollo de la industria del acero a través de la masificación de los elementos de contención en este material, por su parte, las tendencias norteamericanas han desarrollado

más fuertemente los diseños basados en hormigón, beneficiando de manera importante el desarrollo tecnológico y comercial de este sector, una consecuencia directa de esto se aprecia en el importante desarrollo tecnológico que muestran los elementos disipadores de energía fabricados en EE.UU. especialmente diseñados para sistemas rígidos.

La coexistencia de elementos de comportamiento similar y naturaleza distinta se justifica única y exclusivamente por la tradición, en particular, resulta difícil determinar el origen de uno u otro sistema y obliga a los administradores de la infraestructura vial a mantener piezas de recambio y un número mayor de elementos de transición, lo cual no es eficiente.

Los diseños mundiales, salvo excepciones como las mencionadas en el párrafo anterior, ha disminuido de manera importante el número de piezas especiales que lo constituyen y en general los sistemas más utilizados se componen de una cantidad reducida de elementos modulares, que pueden ser utilizados en diferentes disposiciones, obteniendo así una variedad de barras suficientes para satisfacer todas las necesidades de seguridad en cada caso.

Estos conceptos son extensivos a todos los elementos de contención, particularmente en el caso de las barreras metálicas, se puede mencionar los sistemas de:

- Cables de acero
- Vigas tipo "W" o doble onda.
- Vigas tipo triple onda.
- Muros de hormigón.

Todos estos constituyen familias de elementos de contención, para los cuales se dispone de sus correspondientes accesorios y elementos complementarios como postes, pernos, perfiles y terminales, en algunos casos, los elementos pueden ser usados, de manera indistinta por más de una familia de elementos.

Una situación similar se observa en los elementos disipadores de energía, donde se utilizan de manera predominante algunas tecnologías que han demostrado ser eficientes.

Los conceptos económicos, relacionados con la industria de los elementos de contención, se ubican entre los factores de decisión más importantes al momento de elaborar el diseño de un elemento de contención o evaluar la factibilidad de la instalación, los países desarrollados han protegido a sus industrias locales, estableciendo normas muy favorables al desarrollo e investigación de nuevos elementos o evaluaciones detalladas de los elementos existentes.

La experiencia internacional demuestra que la fórmula de cooperación mutua entre empresa privada y los administradores de carreteras u organismos públicos, se basa en la seriedad de los involucrados y por lo tanto, cada uno de ellos asume la responsabilidad que le corresponde, de acuerdo a esto, la mayor preocupación de los organismos estatales es establecer procedimientos de aceptación y requisitos para los nuevos elementos, por su parte la empresa privada se preocupa principalmente del desarrollo de mecanismos y materiales más eficientes a menor costo.

3.2. SISTEMAS UTILIZADOS EN EL PAÍS.

Los elementos utilizados corresponden casi exclusivamente a barreras de seguridad, no existen sistemas amortiguadores de impacto y la implementación de dispositivos de frenado o rampas de escape se ha hecho de manera muy artesanal en épocas recientes.

3.2.1. Barreras de seguridad.

Las barreras de seguridad utilizadas corresponden principalmente a las especificaciones emitidas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, dado que estas son especificaciones válidas para todo el país, no se observan diferencias importantes entre las distintas regiones, tampoco existen diferencias con respecto a los elementos utilizados en diferentes zonas climáticas, como zonas costeras o caminos en las montañas.

Hasta antes de 1996, la situación de las instalaciones de barreras de seguridad a lo largo del país, presentaba una variada gama de elementos, diversos tipos, calidades y configuraciones, que abarcan todas las posibilidades de combinaciones posibles entre lo permitido por las diversas especificaciones nacionales y las posibilidades de suministros que disponían los fabricantes e importadores nacionales.

Los elementos más utilizados hasta esa fecha consistían en barreras fabricadas con distintos materiales como el acero A52-34 ES y el A37-24 ES, pinturas o recubrimientos de galvanizado diverso para protección de la corrosión, espesores de los elementos que abarcan todo el rango posible entre las tolerancias permitidas.

Por su parte, las configuraciones y disposiciones de elementos se caracterizaba por el tradicional poste de sección "Z" ($e = 4,3$ mm) con viga "W" ($e = 2,3$ mm).

Algunos de estos elementos, como el poste tipo "Z", encuentran su origen en especificaciones del Reino Unido, mientras que los pernos y viga "W" están claramente influenciados por la norma AASHTO, las combinaciones y modificaciones que han sufrido en el país estos dispositivos dieron origen a la mayoría de las instalaciones que hoy vemos en los caminos.

Es importante destacar que, aunque nuestros dispositivos se encuentran claramente influenciados por uno de los utilizados en Estados Unidos, la diferencias en las dimensiones de los componentes especialmente el espesor de las placas de acero, la falta de elementos de anclaje lateral y la ausencia de tensores longitudinales, asen que el comportamiento del sistema utilizado en el país no sea comparable con aquel que le dio origen.

Recientemente se han realizado diferentes esfuerzos, liderados por la S.C.T. tendientes a mejorar la situación de los elementos de contención, en las carreteras concesionadas, las manifestaciones más claras de este interés se han traducido en un mejoramiento continuo de la norma, manuales de especificaciones técnica y recomendaciones de instalación que se han elaborado, este esfuerzo ha sido apoyado por el sector privado, el cual ha participado activamente en las labores de difusión, apoyo técnico y ejecución de nuevas obras.

Entre los avances importantes que han ocurrido en los últimos años no se pueden dejar de mencionar los siguientes dos puntos.

- Se ha establecido que la protección anticorrosiva para elementos metálicos debe ser a través de galvanizado en caliente.
- Se ha realizado instalaciones tipo con barreras de alta seguridad, en hormigón tipo New Jersey y barreras metálicas con perfiles de doble y triple onda.
- Se establecieron requerimientos de capacidades resistentes y certificación para elementos de contención en autopistas concesionadas.
- Esta en vigencia la normatividad con las especificaciones de los elementos que constituyen la barrera metálica de perfil "W".
- El método de instalación de postes mediante hincado en terreno con maquina es ampliamente utilizado.
- Las barreras metálicas incluyen el elemento separador entre el poste y la viga.

En resumen, producto del desarrollo que se ha producido a través de los años, hoy se puede observar en las instalaciones Nacionales una variada gama de elementos, además de algunas variaciones de métodos de instalación, desde las tradicionales bollas de hormigón hasta anclajes de pernos especiales, pasando por el difundido método de instalación de postes hincados con maquina en el terreno natural ó terraplén.

3.2.2. Amortiguadores de impacto y productos terminales.

La utilización en México de este tipo de elementos es prácticamente nula, a pesar de que existen algunos representantes oficiales de empresas fabricantes establecidos en el país, esta situación es contradictoria, ya que la necesidad de este tipo de dispositivos es una de las más evidentes como complemento de las barreras de seguridad, las consecuencias ocasionadas por la ausencia de elementos amortiguadores de impacto o elementos terminales son una de las más graves que se pueden observar en los accidentes de tránsito con impactos frontales a objetos fijos en extremos de barreras.

Los elementos terminales utilizados en el país, para las barreras metálicas, son generalmente los llamados cola de pez, que es un elemento que no cumple con ninguna función estructural ni de protección y solo se utiliza para dar una apariencia de terminación en los extremos de la barrera, en esta ubicación no solo se necesita una pieza de terminación, sino que en general, la materialización de los extremos terminales requiere de la implementación de soluciones geométricas adecuadas, las que deben ser complementadas con piezas especiales de anclaje y tensado.

Este es un problema no resuelto en nuestro país y la situación es más grave aún, si consideramos la gran cantidad de tramos de corta longitud que se observan en las instalaciones existentes, este dispositivo se constituye en una herramienta de diseño que justifica la ampliación de la longitud y la conexión de tramos de barrera contiguos, solo por el hecho de evitar su colocación, una evaluación económica simple se puede hacer para determinar hasta que longitud es razonable extender el largo de los tramos, comparándola con el costo de la materialización del extremo terminal, incluyendo su diseño geométrico y las piezas necesarias, el resultado de esta evaluación dependerá naturalmente del tipo de barrera a considerar.

En algunos casos, se puede evitar la implementación de soluciones geométricas en los extremos, colocando un dissipador de energía adecuado al tipo de barrera y posición de la instalación, un caso de particular importancia son los extremos de barrera instalados en la

mediana, donde resulta prácticamente imposible implementar soluciones geométricas adecuadas, la forma más usual de materializar los inicios de tramos en la mediana consiste en abatir sus extremos hasta el nivel del suelo, sin embargo esta solución resulta riesgosa, ya que los vehículos montan el extremo de la barrera y generalmente vuelcan.

La implementación de extremos abatidos es una solución que se está utilizando, tanto para barreras de hormigón como para barreras metálicas, se puede considerar que ésta práctica, a pesar de no ser la solución más adecuada, contribuye a disminuir el riesgo de penetración de los elementos metálicos al interior del vehículo.

3.2.3. Instalaciones especiales sobre muros de contención, puentes y viaductos.

Una situación especial representa la instalación de elementos de contención en lugares donde existe el peligro de caída de vehículos desde alturas considerables, este es el caso de los puentes, viaductos y muros de contención.

Hasta ahora, normalmente este tipo de estructuras no cuentan con diseños tipo que aseguren una contención adecuada, por este motivo es frecuente conocer de accidente con caída de vehículos desde grandes alturas.

En los últimos años, se han incorporado en los proyectos de puentes barreras de hormigón, emplazadas sobre un tablero amplio, al menos del mismo ancho de la plataforma del camino, con pasillos peatonales exteriores, completamente protegidos.

3.2.4 Rampas de escape.

Las rampas de escape existentes son instalaciones relativamente recientes que contribuyen a reducir las consecuencias de un accidente causado por un vehículo que presenta fallas mecánicas en zonas de descenso prolongado, su instalación se justifica principalmente donde existe alta probabilidad de falla en el sistema de frenos, cuando estos son sometidos a un uso prolongado, deben estar especialmente diseñadas para los vehículos pesados.

Las fallas se producen por calentamiento o altas exigencias de las piezas mecánicas que constituyen el sistema de frenos del vehículo, por lo que no necesariamente pueden ser atribuidas a una falla mecánica propiamente dicho, ya que se producirá por una combinación de factores, entre los que se encuentran los hábitos de manejo del conductor, la carga, las condiciones geométricas de la vía, y especialmente la pendiente y longitud de los tramos.

En México, la utilización de estos dispositivos está localizada solo a zonas muy puntuales, donde el tránsito de camiones pesados es muy alto, los ejemplos más relevantes los encontramos en la carretera México-Puebla, México-Acapulco, siendo necesaria su implementación en muchos otros lugares.

Estas instalaciones corresponden, por lo general, a diseños en contra pendiente, con carpetas granulares de profundidad variable y en algunos casos con disposiciones irregulares de material granular, la ubicación en general es adecuada aunque el número de ellas es insuficiente.

Otro aspecto relevante es el hecho de que una rampa de escape debe disponer de señalización adecuada y visualizarse como una zona segura, estas condiciones son posiblemente las más

críticas de las rampas existentes, pero también se observa que las longitudes de las rampas son insuficientes, lo que es percibido por los conductores como una condición insegura ya que además en algún caso el acceso se encuentre obstruido por acumulaciones de material, estacionamiento de vehículos u otros elementos, lo que reduce su eficiencia.

3.3. SITUACIÓN DE LA RED VIAL.

La situación actual de los distintos caminos del país, respecto al tema de los elementos de contención, puede ser analizado desde el punto de vista de la red vial, agrupando las carreteras en tres categorías, la primera que corresponde a la Red de carreteras concesionadas, que es donde se encuentran instalados los elementos más modernos que actualmente se utilizan, y representan un ejemplo de los importantes avances en esta materia, la segunda categoría corresponde a la Red Primaria o rutas bidireccionales pavimentadas, que constituyen la situación más característica de las carreteras del país, por último se encuentra la Red Secundaria que se caracteriza por carpetas de rodado de tierra o granulares y tránsito bidireccional, en las que por lo general se carece de todos los elementos de protección.

3.3.1. Elementos de contención en la red vial concesionada o de doble vía.

Estas carreteras se caracterizan por incorporar estos elementos de manera masiva, por tratarse de construcciones o remodelaciones relativamente nuevas, los dispositivos son de una calidad más uniforme, observándose en general elementos metálicos con tratamiento de galvanizado, presencia de piezas separadora entre viga y poste, y algunas aplicaciones de barreras de hormigón.

Con respecto a las tipologías utilizadas, se observa un poste de sección canal o canal atiesado de 4.0 m, con separador tipo canal o europeo y viga de perfil "W".

El método de instalación preferentemente usado corresponde al hincado en el terreno con maquina, sin embargo, en situaciones especiales, caracterizadas por la dureza del terreno y/o la imposibilidad de hincar los postes, se observan instalaciones con apoyo de hormigón con placas base apernadas, esto último especialmente sobre estructuras.

Una condición característica de las carreteras de dos vías es la incorporación de barreras medianeras, cuyo objetivo principal es impedir los virajes en "U" en zonas no autorizadas, el tipo de elemento de contención utilizado no necesariamente corresponde al adecuado en cuanto a sus características estructurales, diversos accidentes ocurridos, han demostrado que las barreras son fácilmente sobrepasadas, incluso por vehículos livianos.

Otra situación característica es la presencia de obstáculos laterales, que representan un riesgo inminente para la seguridad, ya que se encuentran próximos a la calzada y no cuentan con medidas de protección adecuadas para los usuarios.

Algunos casos particulares de esta situación lo representan las cepas de puentes, pasarelas y los marcos de señales aéreas, alcantarillas, postes de alumbrado, etc.

Es necesario destacar que se han realizado algunos esfuerzos tendientes a la reparación de estas situaciones mediante la colocación de elementos de contención de alta seguridad, en una longitud mínima de 60 m a cada lado del obstáculo central, previniendo de esta manera el impacto de un vehículo directamente con el punto llamado "duro".

Un ejemplo de esta situación lo constituye la Autopista del sol, la México-Toluca, México-Veracruz y otras donde se han cubierto la mayoría de los obstáculos centrales, faltando aún la implementación de obras de protección a obstáculos laterales.

La colocación generalizada de defensas en la mediana ha traído consigo la necesidad de materializar pasadas o pasos de emergencia o provisionales, que en el más desfavorable de los casos presentan distanciamientos entre sí de 10 Km, siendo frecuente encontrarlos a mucha menor distancia.

Estas pasadas representan uno de los puntos más conflictivos en el diseño y ubicación de las barreras de seguridad en la mediana, ya que no ha existido consenso en como deben materializarse.

Se han implementado los más variados tipos de cierres provisionales en estos pasos, siendo el más difundido el que presenta una interrupción de la barrera metálica medianera, la que es continuada de manera diagonal con uno o dos segmentos de barreras de hormigón por cada lado, para finalmente cerrar el paso con una cadena o cable de acero.

La instalación de barreras en la mediana de manera masiva también ha dejado sin resolver algunos aspectos relevantes para los usuarios del sector, como es el caso de los pasos peatonales, esta situación es generalizada y se presentan diversas soluciones del tipo transitorio, que se transforman en permanentes al no encontrar una solución definitiva, los casos más frecuentes son las sustracciones de algunos elementos de barrera, con lo que se produce una discontinuidad brusca o interrupción en la instalación, incluyendo piezas terminales, una situación alternativa se materializa mediante la instalación de elementos como son las escaleras o peldaños.

3.3.2. Elementos de contención en la red primaria y caminos pavimentados de tránsito bidireccional.

La red vial primaria, dentro de la cual se pueden incluir las vías rápidas urbanas, presentan un grado de desarrollo limitado en cuanto a las implementación de elementos de seguridad adecuados, es así como se observan escasas instalaciones de barreras de contención de última tecnología, salvo casos aislados, en los que se han habilitado pequeños tramos de prueba como demostración de las ventajas de incorporar estos elementos de seguridad.

En general, existe el concepto de proteger los obstáculos de los usuarios y no de proteger a los usuarios de los obstáculos que se ubican cercanos a las vías de circulación, ejemplos claros de lo anterior lo representan las barreras instaladas frente a los postes de alumbrado público, señales y otros similares, que en muchos casos no superan los 4.0 m de longitud.

Las tipologías utilizadas corresponden a las más simples, siendo características las instalaciones de barreras metálicas pintadas, compuestas por la viga tipo "V" sostenida mediante postes tipo "Z" cada 4.0 m, ancladas con apoyo de hormigón.

Se han introducido de manera puntual algunos elementos diferentes, que representan sin duda un aporte al mejoramiento de la seguridad, algunos casos especiales se han implementado en los siguientes puntos:

- Circuito interior
- Periférico
- Tlalpan

En todos ellos se han instalado elementos de mejor tecnología, que han significado un importante apoyo a la seguridad, sin embargo, luego de algunos años de operación y producto de los reiterados impactos sufridos, se encuentran, en su mayoría, operando de manera parcial y en algunos casos próximos a colapsar por falta de mantenimiento.

3.3.3. Elementos de contención de la red vial secundaria y caminos sin pavimentar de tránsito bidireccional.

La instalación de elementos de contención en la red vial secundaria resulta extremadamente escasa, los elementos característicos en este tipo de caminos corresponden casi exclusivamente a barreras metálicas pintadas, compuestas por la viga tipo "W" sostenida mediante postes tipo "Z" cada cuatro metros, anclados con apoyo de hormigón.

La principal característica observada es la instalación de barreras casi exclusivamente en zonas de curvas peligrosas y en accesos a puentes, presentando normalmente una longitud insuficiente.

Es necesario destacar además, que la instalación en muchos casos se realiza con el objetivo principal de cumplir labores de demarcación y/o delineación, ya que la precaria sustentación con que se instalan algunos postes, no permite un adecuado comportamiento ante una colisión.

3.4. UBICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS

Es importante mencionar algunos aspectos relevantes en cuanto a la disposición y ubicación de los elementos de contención, particularmente en el caso de las barreras de seguridad, existen deficiencias muy comunes de observar y que no son responsabilidad de los elementos de contención propiamente.

Estas situaciones son muy comunes en los caminos y se pueden considerar como serias deficiencias de los sistemas de contención en las carreteras del país.

3.4.1. Perfil transversal

La principal recomendación para la ubicación de la barrera en el perfil transversal es en relación con la necesidad de que no existan elementos u obstáculos intermedios entre la calzada y la barrera, sin embargo, es frecuente encontrar obras de drenaje como soleras y cunetas, señales, postes de alumbrado y otros elementos.

Otra consideración importante son las continuas variaciones de ancho de plataforma que se pueden generar por deficiencias en las instalaciones, esta condición es un elemento de riesgo importante, ya que introduce distorsiones en la apreciación del perfil transversal de la carretera, traduciéndose en modificaciones de la capacidad de la vía y con ello las velocidades de circulación son afectadas, el caso más representativo lo constituyen los estrechamientos

bruscos de las barreras, cuando existen obstáculos muy próximos en las zonas laterales o bien en accesos a puentes angostos.

Por último, la situación más común que se observa en los caminos, es el inadecuado espacio disponible tras las barreras, lo que implica que estas disponen de un reducido ancho de trabajo, característica que no cumplen la mayoría de las configuraciones actualmente en operación.

3.4.2. Longitud del tramo.

La longitud de los tramos de elementos de contención instalados en el país es generalmente insuficiente, ya que no alcanzan a cubrir la zona de peligro para la cual fueron instalados y normalmente tampoco tienen la longitud necesaria para la continuidad estructural del sistema.

Este último aspecto es muy importante, ya que principalmente en barreras flexibles, se requieren longitudes sobre 40.0 m para funcionar adecuadamente.

Una situación similar se observa en el caso de las barreras de hormigón, en que es frecuente observar tramos muy cortos, con módulos desconectados estructuralmente entre sí y muchas veces con espacios intermedios entre ellos.

3.4.3. Altura

La altura del elemento de contención es un aspecto básico en el diseño e instalación, ya que está relacionado con la estabilidad de los vehículos durante el impacto, idealmente, la altura del elemento de contención debe estar por sobre la altura del centro de gravedad del vehículo que impacta, sin embargo, es muy difícil cubrir todo el espectro deseado.

Las barreras instaladas generalmente se encuentran a una altura promedio de 70 cm desde la rasante, esta condición es adecuada para vehículos livianos estándar, pero no cubre las necesidades de los vehículos más pesados y de altura mayor, un caso especial de estos vehículos son las camionetas y vehículos de carga livianos, ya que por la distribución de su peso, sistemas de amortiguación, altura y tamaño, escapan a las características de los vehículos estándar y por lo tanto, los elementos de contención tradicionales no otorgan un grado de protección adecuado para ellos.

Otro aspecto relevante con relación a la altura de la barrera, es cuando esta queda ubicada detrás de las cunetas, sumideros, canalizaciones superficiales y desniveles de las bermas, esta situación modifica la altura a la cual será impactada la barrera, resta efectividad al funcionamiento de la misma y en muchos casos hace que la propia barrera se transforme en un elemento de riesgo adicional.

3.5. EVALUACION PRACTICA

La ausencia de control para la aplicación de las normas para definir la ubicación e instalación de sistemas de contención no ha permitido evaluar de manera efectiva el desempeño de los dispositivos utilizados, en efecto, los elementos instalados corresponden casi exclusivamente a barreras, las cuales han sido dispuestas normalmente solo en base a criterios de proyectistas sin mayor experiencia en el área e instaladas de acuerdo a las especificaciones, estas especificaciones no distinguen entre diferentes situaciones, como puede ser la geometría del

camino, perfil transversal, tipo de vehículos, volumen del tránsito y situaciones de riesgo especial.

En todos estos casos los elementos de contención utilizados son básicamente los mismos y como consecuencia natural de este hecho, el desempeño que han mostrado ha sido muy dependiente de la disposición del elemento y la naturaleza del accidente, resultando deficiente en muchos de los casos.

Esta situación queda al descubierto cuando las barreras son solicitadas por el impacto de un vehículo liviano a una velocidad media alta, el desempeño de las barreras tradicionales es inadecuado y generalmente ocurre que el vehículo no es contenido de manera satisfactoria o bien produce daños de extrema gravedad a sus ocupantes.

En este punto se debe reconocer que las causas que originan tan graves consecuencias no se encuentran directamente en la deficiencia de la barrera de contención, sino por el contrario, en la falta de elementos terminales, incorrecta ubicación o simplemente al uso de elementos no apropiados.

Situaciones igualmente graves se producen en zonas donde debe ponerse especial atención como son los puentes y pasos peatonales, en estos casos, los elementos de contención resultan claramente insuficientes, especialmente en lo que se refiere a su resistencia estructural, solo en los últimos años se han modificado los diseños tradicionales y con esto se ha mejorado la seguridad de las nuevas estructuras, la situación se complica cuando se analizan las estructuras antiguas, existiendo dos factores de especial atención, el primero de éstos corresponde a la resistencia estructural de los elementos de contención, la cual es generalmente insuficiente, y el segundo es en relación con la discontinuidad estructural entre las barreras de puentes y viaductos y sus accesos, es frecuente observar la ausencia de elementos de contención en las zonas próximas a los puentes, y cuando existen, generalmente no garantizan la continuidad estructural y tampoco guardan relación con las capacidades resistentes de los elementos instalados sobre el puente.

Las situaciones descritas son características de la realidad nacional, sin embargo, en los últimos años se aprecian avances importantes, los cuales han sido producto de intervenciones puntuales en diferentes aspectos de la seguridad, en la mayoría de los casos complementarios entre sí y que representan logros significativos en la actualización de las tecnologías utilizadas en la normatividad vigente.

Estos avances se han incorporado rápidamente a la infraestructura de nuestras vías y las nuevas normas están vigentes o en proceso de aplicación, lo anterior permite esperar que la seguridad de nuestras carreteras mejore sustancialmente en los próximos años.

Un ejemplo de lo anterior es la utilización de elementos de contención en las medianas de carreteras de doble carril, lo que ha permitido controlar de manera efectiva los virajes en "U" y también han cumplido funciones de delimitación, estas funciones, a pesar de no ser el objeto principal de las barreras, permiten apreciar un mejoramiento de las condiciones de seguridad de la vía.

3.6. NORMATIVIDAD NACIONAL

En nuestro país las normas sobre el tema de las barreras de seguridad, son emitidas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Las especificaciones técnicas contenidas en estas normas corresponden al documento de mayor alcance y difusión del tema, sin embargo, se limita a mostrar solo algunas definiciones de materiales, dimensiones y procedimientos constructivos, sin indicar de manera precisa los requerimientos de ubicación y características resistentes del elemento de contención especificado, en general se observa que las carreteras del país incumplen con las especificaciones.

Con respecto a la Norma, el alcance está limitado a elementos metálicos con viga de doble onda y solo se indican las especificaciones técnicas de los materiales y dimensiones de algunos de los elementos que se utilizan en diferentes configuraciones de barreras, en este documento no se indican las capacidades resistentes de las barreras y mucho menos se hace referencia acerca de las recomendaciones de ubicación.

PRUEBAS DE IMPACTO REAL
(CAPITULO 4)

4.- DESCRIPCIÓN

4.1. ANTECEDENTES

Las pruebas de impacto real son una de las herramientas utilizadas para verificar la efectividad de los dispositivos de seguridad colocados en la carretera, específicamente los elementos de contención, sin embargo es necesario tener en cuenta que, resulta prácticamente imposible en estas pruebas abarcar todas las variaciones del impacto de un vehículo con un elemento de contención, por tal motivo, se utilizan modelos computarizados que complementan y ayudan a extrapolar los resultados de las pruebas.

Es importante destacar que este tipo de pruebas no son el único camino para verificar el comportamiento de un elemento de contención, probablemente la forma más utilizada para verificar el buen comportamiento de un elemento son los antecedentes históricos y la experiencia recopilada de los accidentes ocurridos, estos datos pueden ser más confiables que las pruebas de impacto, ya que incorporan las condiciones de operación y todas las variables propias del lugar, pero para que este mecanismo de verificación del comportamiento de un elemento de contención sea válido, se requiere que la instalación sea controlada y permanentemente evaluada durante su servicio.

La validez que tienen las pruebas de impacto real está directamente relacionada con la necesidad de comparar los resultados de los eventos utilizando un método estandarizado para probar el comportamiento de los elementos de contención en condiciones similares.

Tanto en Europa como en EE.UU. los métodos de incorporación y aceptación de nuevos elementos de seguridad están regulados por procedimientos muy rigurosos, que definen de manera precisa los requerimientos y los comportamientos aceptables de los productos.

Para verificar este comportamiento existen documentos de carácter oficial y obligatorio, donde se establecen las condiciones de prueba, los parámetros a medir, instrumentación y todos los aspectos que pueden ser relevantes en el resultado de las pruebas, en este procedimiento no se definen las características técnicas y mecánicas de los elementos, por lo tanto se acepta que cualquier dispositivo sea sometido a ellas, las principales ventajas del procedimiento es que permite hacer una evaluación comparativa entre elementos de naturaleza distinta, obtener resultados objetivos.

La diferencia fundamental entre el mercado norteamericano y el europeo es que, en el primero, la administración federal de carreteras ha aceptado, una serie de dispositivos de seguridad sobre los cuales no existe propiedad intelectual en el diseño o en los materiales, a partir de esto se obtiene un conjunto altamente eficiente, con soluciones masivas de elementos de seguridad, que cualquier organismo puede utilizar y sobre los cuales existe toda la información técnica necesaria para fabricarlos, comprender su funcionamiento y realizar una correcta instalación, además existe en EE.UU. la posibilidad de que una empresa privada desarrolle sus propios elementos, de acuerdo a los procedimientos tecnológicos que estime conveniente, sin embargo para su posterior comercialización en la administración estatal se necesita, entre otros requisitos, que el dispositivo sea probado mediante los procedimientos establecidos, dependiendo su clasificación final, del comportamiento mostrado y los valores obtenidos en las pruebas de impacto real, las cuales deben ser financiadas por las propias empresas.

El procedimiento utilizado en Europa es similar a la opción de la empresa privada en EE.UU. es decir, las empresas deben certificar sus desarrollos tecnológicos y nuevos productos, de acuerdo a las normas vigentes, las pruebas de aceptación se realizan en laboratorios calificados y el costo de la misma es asumido, de manera íntegra por el fabricante, los alcances prácticos que tiene esta forma de desarrollar nuevos productos, son que en ello se protege la propiedad intelectual de los fabricantes y los diseños de los elementos no son del dominio público, de acuerdo a esto, los diseños incorporan detalles únicos en los productos, que no dejan alternativa de elección al proveedor durante la etapa de construcción.

4.2 ASPECTOS GENERALES

El estudio de la dinámica de un choque o la caída de un vehículo es muy compleja, los medios más eficaces de evaluar el comportamiento de un sistema de contención han sido las pruebas de impacto real o "crash test", estas pruebas entregan valiosa información acerca de las condiciones y el comportamiento de los elementos involucrados, sin embargo, resulta imposible abarcar todas las posibilidades de choques en número finito de pruebas, por este motivo, los especialistas trabajan en la estandarización de pruebas, con el objeto de contar con herramientas confiables de "comparación" entre diversos sistemas probados en condiciones similares, así se consigue evaluar objetivamente las prestaciones de una barrera de seguridad.

En el marco de lo anterior, las recomendaciones de las normas norteamericanas, reporte 350 de la NCHRP (National Cooperative Highway Research Program), establecen seis niveles de prueba aplicables a tres o cuatro vehículos tipo, dependiendo del nivel, las velocidades de prueba pueden ser de 50, 70, 80, 100 y 110 km/hr y los ángulos de impacto de 8°, 15° y 20°, la clasificación final se establece formando combinaciones entre los distintos niveles de prueba, los cuales deben ser aprobados de manera independiente.

Estas pruebas tienen un doble objetivo, primero, confirmar la resistencia estructural de la barrera en las condiciones del ensayo y segundo, conocer la reacción del vehículo e indirectamente las posibles consecuencias para los ocupantes, con estos parámetros es posible comparar objetivamente el funcionamiento o modificaciones de diferentes sistemas de barreras, sometidas a condiciones severas pero representativas de accidentes teóricamente posibles y reales.

Las condiciones bajo las cuales se realizan las pruebas se consideran extremas, los ángulos más frecuentes de impacto con una barrera se observan entre los 8° y 20°, ya que en general es muy difícil impactar una barrera en ángulos mayores de 20°, por las características propias de una carretera y por la dinámica de un vehículo en movimiento, los ángulos de impacto mayores a 25° se consideran impactos frontales y no se espera poder lograr en esas circunstancias el direccionamiento de un vehículo, adicionalmente con ángulos mayores a 25° y grandes velocidades, las desaceleraciones de los ocupantes es tal que los resultados generalmente son fatales.

El por qué no se evalúan barreras a velocidades superiores a 110 km/hr es por razones prácticas, resulta técnica y económicamente eficiente limitar el análisis por lo siguiente:

- Las velocidades mayores pueden introducir factores aerodinámicos que dependen exclusivamente de la forma del vehículo y condiciones climáticas, que cobran relevancia en los resultados del ensayo, generando distorsiones y negando la

posibilidad de comparar objetivamente los resultados para el sistema de barreras analizado.

- Habría que fijar un límite máximo para los ensayos que estaría por sobre los 110 km/hr y este límite podría en algún momento ser superado en el mundo real, por ejemplo en países como Alemania o EE.UU. donde existen carreteras sin límite superior de velocidad.

4.3 NORMAS APLICABLES

Las pruebas de impacto real se han realizado desde la década de los años 30, principalmente en EE.UU. donde el gobierno implementó planes de desarrollo e investigación tendientes a encontrar diseños lo más seguros posibles, para los elementos de contención de las autopistas del país.

Algunos de los diseños de esa época se utilizan hasta ahora, las características principales se han mantenido y en algunos de éstos se han hecho modificaciones respaldadas por los continuos planes de investigación, que han permitido adaptarlas a las características de tráfico vehicular actual y a las nuevas autopistas.

Los actuales procedimientos de prueba se encuentran descritos en el reporte 350 de la NCHRP, publicado en 1982 y se encuentran definidos todos los parámetros relevantes de la prueba, tanto los relativos al vehículo como de la instalación y las características del choque, también están definidos en este reporte todos los requisitos que debe cumplir un elemento de contención antes de ser recomendado para su instalación.

En Europa existe un procedimiento similar, elaborado por el Comité de Normas Europeas (CEN), conocido como la Norma EN 1317, que establece los parámetros y condiciones de evaluación para las pruebas de impacto real, el procedimiento es similar al establecido en el Reporte 350 de NCHRP y solo difieren en algunos criterios de aceptación y clasificación.

Estos procedimientos marcan las tendencias mundiales más difundidas y estandarizadas para las pruebas de impacto real.

A manera de introducción y como referencia, se presenta la información contenida en el Reporte 230 de la NCHRP, que fue la normativa usada en Norteamérica antes del Reporte 350.

El Reporte 230 de la NCHRP es un documento relativamente sencillo, donde se explican todos los elementos importantes relacionados con las pruebas de impacto real y los requisitos de aprobación, este documento carece de un sistema de clasificación general, por lo que la evaluación de los elementos se realizaba directamente con la aprobación de los criterios establecidos para cada prueba, esto es una diferencia importante con el sistema de clasificación definido en el reporte 350 de la NCHRP, como veremos más adelante, el sistema de clasificación es común a la normatividad europea y norteamericana y, aunque los niveles de clasificación no tienen correspondencia exacta, constituyen un elemento de juicio integral para comparar el funcionamiento de los diferentes dispositivos.

4.3.1 Reporte 230 de la NCHRP

4.3.1.1 Aspectos Generales

La evaluación en condiciones de servicio real es el paso final del desarrollo de una instalación nueva o substancialmente modificada, y tiene el propósito de estudiar su funcionamiento durante un amplio espectro de colisiones, su comportamiento ante las inclemencias atmosféricas y las situaciones operacionales y de mantenimiento para lugares y condiciones de tráfico reales.

El reporte 230 de la NCHRP es una actualización de un extenso trabajo técnico que comenzó a desarrollarse en el año 1973, entre los documentos anteriores, que constituyen la base de éste desarrollo, se pueden mencionar la Circular de Investigación de Transporte 191 (Recommended Procedures for Vehicle Cries Testing of Highway Appurtenances 191), el informe 153 de la NCHRP y la Circular HRB 482.

El propósito de esta normatividad es implantar los procedimientos para promover la uniformidad en las pruebas y evaluaciones en servicio de las instalaciones de la carretera, de modo que los ingenieros de caminos pueden comparar con confianza el funcionamiento adecuado de dos o más diseños que sean probados y evaluados por diferentes entidades, las instalaciones cubiertas por esta normatividad son:

1. Barreras longitudinales (barreras de puentes, barreras laterales, barreras de mediana), transición y terminales.
2. Atenuadores de impacto.
3. Soportes de ruptura para señales y luces.

Estos procedimientos son guías que describen como se debe probar y evaluar una instalación y como se debe efectuar la selección de instalaciones nuevas, ya existentes o modificadas, para su prueba y evaluación, el establecimiento del nivel de servicio que una instalación debe proporcionar dependerá de cada caso, los procedimientos que se describen en el reporte 230 están dirigidos al funcionamiento dinámico de una instalación, otros requisitos de tipo económico o estético no se considerados.

El Reporte 230 ha sido preparada para someter a las instalaciones de la carretera a condiciones de impacto duras, más allá de las situaciones típicas predominantes, se ha intentado normalizar las condiciones de prueba, de esta forma se prueban barreras longitudinales aunque se sabe que existen instalaciones curvas; se recomienda un suelo sin inclinación, aunque a veces las instalaciones están situadas en elevaciones o depresiones; se sugieren suelos idealizados aunque las instalaciones están situadas, a menudo, en suelos pobres o helados, estas condiciones normalizadas tienen un efecto significativo en una instalación, pero adquieren una importancia secundaria cuando se evalúan los resultados de dos o más sistemas en términos exclusivamente comparativos.

Para las pruebas de choque de vehículos se presentan condiciones de impacto específicas para el peso del vehículo, ángulo de aproximación, y punto de choque con la instalación, los tipos de vehículos considerados son automóviles de pasajeros de tamaño estándar mini compactos y subcompactos, autobuses tipo utilitario y camiones de carga tipo tractor-trailer, la velocidad de impacto varía entre 32 y 97 Km/hr y los ángulos de aproximación entre 0° y 25°.

en la evaluación del funcionamiento de pruebas de choque se presentan tres factores: suficiencia estructural, riesgo del ocupante y trayectoria del vehículo tras la colisión.

Dependiendo de la suficiencia estructural de la instalación, ésta podrá contener, dirigir o permitir la penetración de una forma predecible y controlada del vehículo que se impacte, el riesgo del ocupante se refiere al grado de peligro a que están sujetos los ocupantes del vehículo y se mide en función de la velocidad a la que un pasajero sin cinturón de seguridad choca contra el parabrisas o la puerta y de la subsiguiente aceleración de frenado, la trayectoria del vehículo tras la colisión se refiere a la posibilidad de involucrar al resto del tráfico a causa del recorrido o la posición final del auto que impacta.

El objetivo de una instalación de carretera es minimizar las consecuencias de un incidente que ocurra en la misma, la meta de seguridad se alcanza cuando la instalación redirige los vehículos, o bien los detiene con seguridad, sin someter a los ocupantes a fuerzas que puedan producirles daños.

4.3.1.2 Evaluación

Uno de los aspectos más relevantes para la evaluación del resultado de las pruebas de impacto real es la guía para la evaluación, en ésta se encuentran contenidos los criterios técnicos que serán evaluados de manera independiente para determinar el resultado de la prueba, este elemento es común a todas las normativas relacionadas y será utilizado en este trabajo para realizar una evaluación comparativa del nivel de exigencia y criterio de aceptación de los documentos normativos disponibles.

Tabla 4.1 Pautas para la evaluación

Factor de evaluación	Criterio de evaluación
Suficiencia estructural	A. El sistema debe redirigir suavemente al vehículo, el cual no puede incrustarse o saltar sobre la instalación, aunque se permite una deflexión lateral controlada.
	B. El sistema debe activarse rápidamente, rompiéndose o desprendiéndose de forma predecible.
	C. El sistema puede funcionar adecuadamente a través de la redirección, penetración controlada o detención controlada del vehículo.
	D. Ningún elemento suelto del sistema, fragmento u otro tipo de residuo debe penetrar o mostrar potencial de penetrar en el compartimiento de pasajeros o presentar peligro indebido al resto del tráfico.
Riesgo del ocupante	E. El vehículo debe permanecer derecho durante y <input type="checkbox"/> deforma de la colisión, aunque se admite un movimiento moderado, debe mantenerse la deformación del compartimiento de pasajeros, sin que sufra deformación o penetración.
	F. La velocidad de impacto de un pasajero hipotético, sentado en el asiento del conductor, contra el interior del vehículo, calculada a partir de las aceleraciones del vehículo y un espacio de 0.61 m de desplazamiento frontal y de 0.30 m de desplazamiento lateral, debe ser inferior a 12/F1 en dirección longitudinal y a 9/F2 en dirección lateral (medida en m/seg.), en cuanto a las aceleraciones medias de 10 m/sg ² , subsiguientes al momento del impacto de un pasajero hipotético, deben ser inferiores a 6/F3 en dirección longitudinal y 6/F4 en dirección lateral, F1, F2, F3 y F4 son factores de aceleración adecuados.

	G. Suplementario, las respuestas del muñeco antropométrico deben ser inferiores a las especificadas en FMVSS 208, por ejemplo, aceleración resultante en el pecho 60G, criterio de daños en la cabeza de 1000 y fuerza en el fémur de 10Kn y por PMVSS 214, por ejemplo aceleración resultante en el pecho 60G, criterio de daños en la cabeza de 1000 y velocidad de impacto lateral del ocupante 9.1 m/s.
Trayectoria del vehículo	H. Tras la colisión, la posición final de parada del vehículo debe invadir una distancia mínima o ninguna, los demás carriles de tráfico.
	I. En las pruebas de redirección o detención en las zonas de tráfico, el cambio de velocidad del vehículo durante la colisión debe ser inferior a 24 km/hr y el ángulo de salida inferior al 60% del ángulo de impacto, ambos medidos desde el momento que el vehículo deja de estar en contacto con la instalación.
	J. Se acepta la trayectoria del vehículo por detrás de las instalaciones.

Fuente; Reporte 230 de la NCHRP.

Los criterios de aceptación indicados en la tabla anterior son aplicables de manera selectiva, dependiendo del tipo de prueba a realizar y del dispositivo.

4.3.1.3 Vehículos de prueba.

Otro aspecto importante son los requerimientos mínimos que debe aprobar un determinado vehículo de prueba, por este motivo mencionaremos a continuación las características más relevante de estos vehículos.

Tabla 4.3.1.3 Propiedades estáticas y dinámicas de los vehículos de prueba

DESIGNACION	1800S	2250S	4500S	20000P	32000P	40000P	80000 a	8000F
TIPO	Sedan minicomacto	Sedan subcompacto	Sedan grande	Autobús utilitario	Autobús carretera pequeño	Autobús carretera grande	Camión tractor-trailer	Camión estanque
Peso (kg)	840+/- 22	1025+/-45	2041 +/-90	62 0+/-225	9400+/-337	13230+/-45		
Prueba inercia	74	74+/-74	74+/-74	2790+/-221	2700+/-450			
Muñeco	0	0	0	0	2700+/-450			
Carga suelta	877+/-22	1125+/-45	204+/-135	9400+/-337	15040+/-137			
Masa estática total								
Momentos de la masa inercial (lb-ps-s)								
lzz- derrape	667		4167	48000		125000		
lly- inclinación	496		4625	5160		156500		
lxxdesplazamiento	150			55600		23000		
Centro de Masa								
g-altura	50	55	43	104		142		
h-altura desde el eje frontal	82	103	125	404		549		
c-base de la rueda	221	246	307	645		660		
Referencia DOT-FH	11-9287 11-9486	11-9462	11-8130	11-9432		11-9462		

Fuente: Reporte 230 de la NCHRP

Notas; Muchas de las propiedades de los vehículos son nuevas en este documento, por lo tanto, no se han medido datos exactos.

4.3.1.4 Condiciones de impacto

Las condiciones bajo las cuales se sucede el impacto del dispositivo determinan en gran medida las limitaciones de este, de acuerdo a sus características físicas como son materiales de construcción y dimensiones, el reporte 230 de la NCHRP establece una serie de pruebas, cada una de éstas conjuga diferentes condiciones de impacto para evaluar a los distintos dispositivos, estableciendo parámetros mínimos, los cuales se muestran a continuación en la tabla 4.3.1.4.

TABLA 4.3.1.4 Condiciones de impacto para las pruebas de choque con la matriz mínima.

Instalación	Prueba	Vehículo	Impacto		Fza. Imp.	Pto. De impacto	Criterio de evaluación
			Vel. (km/h)	Angulo	(pies-Kips)		
Barrera longitudinal						Para sistemas de poste y viga:	
Zona longitudinal	10	4500S	96	25	97 ^{-9, +17}	Hacia la mitad	ADEHI
	11	2250S	96	15	18 ^{-2, +3}	Tocando la viga	ADEF:FGH ¹
	12	1800S	96	15	14 ^{-2, +2}	Tocando la viga	ADEFGHI
Transición	30	4500S	96	25	97 ^{-9, +17}	4.5 m de 2° sistema	ADEHI
	40	4500S	96	25	97 ^{-9, +17}	Principio zona long.	ADEHI
Terminal	41	4500S	96	0	541 ^{-9, +17}	Nariz central del sistema	CDEFGHJ
	42	2250S	96	15	18 ^{-2, +3}	Entre nariz y zona long.	CDEFGHIJ
	43	2250S	96	0	270 ^{-26, +47}	0.38 m de la nariz	CDEFGHJ
	44	1800S	96	15	14 ^{-2, +2}	Entre nariz y zona long.	CDEFGHIJ
	45	1800S	96	0	216 ^{-21, +37}	0.38 de la nariz	CDEFGHJ
Atenuador de impactos	50	4500S	96	0	541	Nariz central	CDEFGHJ
	51	2250S	96	0	270	Nariz central	CDEFGHJ
	52	1800S	96	0	216	Entre nariz y la zona long	CDEFGHJ
	53	4500S	96	20	63	Hacia la mitad lateral	CDEHIJ
	54	4500S	96	10-15	541	0-0.9 m del centro	CDEFGHJ

Fuente: Reporte 230 de la NCHRP

Los antecedentes que se han descrito en ese punto acerca del Reporte 230 de la NCHRP son un resumen del contenido del documento, la descripción realizada nos permitirá efectuar un análisis comparativo entre los diferentes documentos que sirven de base para este trabajo.

4.3.2. Reporte 350 de la NCHRP

4.3.2.1. Aspectos generales

El propósito de este conjunto de normas es establecer los procedimientos que promuevan la uniformidad en las pruebas y evaluaciones en servicio de las instalaciones de carreteras, de modo que los ingenieros de caminos puedan comparar con confianza el funcionamiento adecuado de dos o más diseños que sean probados y evaluados por diferentes entidades, las instalaciones cubiertas por esta normatividad son:

- Barreras longitudinales (barreras de puentes, barreras laterales, barreras de mediana)
- Atenuadores de impactos.

- Soportes de ruptura para señales y luces.
- Soportes de ruptura para otros accesorios.
- Atenuadores de impacto montados sobre camión.
- Elementos de control de tráfico en zonas de trabajo.

Al igual que en el Reporte 230, el procedimiento del Reporte 250 es una guía que describe como se debe probar y evaluar una instalación y como se debe efectuar la selección de instalaciones nuevas ya existentes o modificadas, para su prueba y evaluación, el establecimiento del nivel de servicio que una instalación debe proporcionar variará en cada caso, estos procedimientos están dirigidos al funcionamiento dinámico de una instalación, otros requerimientos de tipo económico o estético no se consideran aquí.

Estas normas también han sido preparadas para someter a las instalaciones de carreteras a condiciones de impacto duras, más allá de las situaciones típicas o más predominantes, se ha intentado normalizar las condiciones de prueba.

4.3.2.3 Evaluación

La evaluación del sistema se realiza basándose en una tabla, que contiene los requisitos de aprobación, separados en tres categorías, Suficiencia estructural, Riesgo del ocupante y Trayectoria del vehículo.

Las modificaciones más importantes que se incorporan tienen relación con los riesgos del ocupante, aunque en general se observa que los requisitos se mantienen, se definen de manera más precisa o por separado.

Tabla 4.3.2.3 Pautas para la evaluación

Factores de evaluación	Criterios de evaluación
Suficiencia estructural	A. El sistema debe contener y redirigir suavemente al vehículo, el vehículo no puede incrustarse o saltar sobre la instalación, aunque se permite una deflexión lateral controlada.
	B. La barrera debe funcionar en la forma prevista, rompiéndose, quebrándose o deformándose de acuerdo con las especificaciones que lo definen.
	C. La barrera debe tener un comportamiento aceptable en cuanto al redireccionamiento, no debe tener elementos que penetren al vehículo o provocar una detención violenta.
Riesgo del ocupante	D. El habitáculo del vehículo no debe sufrir deformaciones importantes y no debe ser afectado por elementos que puedan penetrarlo o presentar un riesgo excesivo a sus ocupantes o a los otros usuarios de la vía. El vehículo debe permanecer derecho durante y después de la colisión, aunque se admite un movimiento moderado.
	E. Elementos desprendibles, fragmentos u otras partes móviles del artículo de prueba o del vehículo, no deben bloquear la visión del conductor o causar pérdidas de control de otro tipo.
	F. El vehículo debe mantenerse en pie durante y después de la colisión, son aceptados movimientos laterales, giros verticales y horizontales moderados.
	G. Es recomendable que el vehículo no vuelque durante o después de la colisión, aunque no es esencial.

Riesgo del ocupante	H. La velocidad de impacto de un pasajero hipotético, sentado en el asiento del conductor, contra el interior del vehículo, debe ser máximo de 12 m/s en longitudinal y 5 m/s en lateral, aunque se recomienda que no sean superiores a 9 y 3 m/s respectivamente.
	I. Las aceleraciones negativas a la que se exponen los ocupantes no deben ser mayores a 20 Gs, aunque se recomienda no sea mayores a 15 Gs.
	J. Prueba opcional Las lesiones sufridas por los muñecos de prueba (Dummy Hybrid III) deben estar de acuerdo a lo especificado por su tipo.
Trayectoria del vehículo	K. Después de la colisión, es preferible que la trayectoria del vehículo no interfiera en el tráfico de las pistas adyacentes.
	L. La velocidad de impacto de los ocupantes en el sentido longitudinal, no debe exceder los 12m/s y la aceleración negativa longitudinal no debe exceder los 20 Gs.
	M. El ángulo de salida debe ser, de manera preferencial, no debe exceder los m/s y la aceleración negativa longitudinal no debe de estar en contacto con la instalación.
	N. Se acepta la trayectoria del vehículo por detrás de los dispositivos.

Fuente: Reporte 350 de la NCHRP

Notas: Los criterios de aceptación indicados son aplicables de manera selectiva, dependiendo del tipo de prueba a realizar y del dispositivo.

4.3.2.4 Vehículos de prueba

En la tabla siguiente aparecen las características más relevantes de los vehículos de prueba, pero es importante notar una reducción en el número de vehículos y el remplazo de los autobuses.

Tabla 4.3.2.4 Propiedades de los vehículos de prueba

Designación	700C	820C	2000P	8000S	36000V	36000T
Tipo	Sedan minicompacto	Sedan subcompacto	Camioneta pickup	Camión	Camión, Tractor Trailer	Camión Tractor Trailer
Peso(kg)	-	-	-	-	-	-
Prueba inercial	700+- 25	820+-25	2000+-45	-	-	-
Muñeco	75	75	NA	-	-	-
Carga suelta	70	80	200	Necesaria	Necesaria	Necesaria
Masa estática total	775+-25	895+-25	2000+-45	8000+*200	36000+-500	36000+-500
Centro de masa g- altura						
H- altura desde el eje frontal	55+-5 80+-15	55+-5 80+-15	70+-5 140+-15	Depende de la carga	Depende de la carga	Depende de la carga
Ubicación del motor	Frontal	Frontal	Frontal	Frontal	Tracto frontal	Tracto frontal
Eje tractor	Delantero	Delantero	Trasero	Trasero	Tractor trasero único	Tractor trasero único

Fuente: Reporte 350 de la NCHR

4.3.2.5 Pruebas de impacto

Las pruebas de impacto incluidas en el reporte 350 de NCHRP incorporan los requerimientos de barreras longitudinales, especificando por separado las pruebas a efectuar en un tramo continuo de longitud mínima y a zona de transición.

La longitud mínima en la zona de prueba esta definida por la tipología de la barrera, sin embargo, en el caso de barreras que funcionan con esfuerzos longitudinales a través de la viga, es un requisito de la prueba proveer los anclajes necesarios en los extremos del tramo, para efectos de simular un tramo continuo.

El punto de impacto esta definido en la zona de más alto riesgo, que corresponde al tramo de barrera inmediatamente siguiente a la ubicación de un poste, la definición del punto de impacto pretende cubrir la zona de mayor riesgo en cuanto a la posibilidad de enganchamiento o traba del vehículo, por lo que coincide con la parte de la barrera donde la deflexión será mayor, la misma consideración es valida para el caso de las transiciones, donde el punto de impacto se define, por lo general, en la zona inmediatamente anterior al elemento más rígido.

Las pruebas no son aplicables a todas las tipologías, tampoco deben realizarse con todos los vehículos descritos y se asume como opcional la utilización del 700C, pudiendo reemplazarse en algunos casos por las pruebas definidas para el vehículo 800C.

Los criterios de evaluación indicados entre paréntesis no son obligatorios para las pruebas descritas.

Tabla 4.3.2.5.a Matriz de prueba para barreras longitudinales

Nivel de prueba (T ₋)	Sección de la barrera	Designación	Condiciones de impacto			Criterio de evaluación
			Vehículo	Vel. Nominal (km/h)	Angulo	
1	Longitud	1/10	820C	50	20	ADEHI(J)KM
		SI-10	700C	50	20	ADFHI(J)KM ADFLM
		1/11	2000P	50	20	ADFLM
	Transición	1-20*	820C	50	20	ADFHI(J)KM
		SI-20**	700C	50	20	AJFHI(J)KM
		1-21	2000P	50	25	ADFLM
2	Longitud	2-10	820C	70	20	ADFHI(J)KM
		S2-10**	700C	70	20	ADFHI(J)KM
		2-11	2000P	70	25	ADFLM
	Transición	2-20*	820C	70	20	ADFHI(J)KM
		S2-20**	700C	70	20	ADFHI(J)KM
		2-21	2000P	70	25	ADFLM
3 Nivel básico	Longitud	3-10	820C	100	20	ADFHI(J)KM
		S3-10**	700C	100	20	ADFHI(J)KM
		3-11	2000P	100	25	ADFLM
	Transición	3-20*	820C	100	20	ADFHI(J)KM
		S3-20**	700C	100	20	ADFHI(J)KM
		3-21	2000P	100	25	ADFLM
4	Longitud	4-10	820C	100	20	ADFHI(J)KM
		S4-20**	700C	100	20	ADFHI(J)KM
		4-21*	2000P	100	25	ADFKLM
		4-22	8000S	80	15	ADGKM
		4-20*	820C	100	20	ADFHI(J)KM
	Transición	S4-20**	700C	100	20	ADFHI(J)KM
		4-21*	2000P	100	25	ADFKLM
		4-22	8000S	800	15	ADGKM

5	Longitud	5-10	820C	100	20	ADFHI(J)KM	
		S5-10**	700C	100	20	ADFHI(J)KM	
		5-11*	2000P	100	25	ADFKLM	
		5-12	3600V	80	15	ADGKM	
5	Transición	5-20*	820C	100	20	ADFHI(J)KM	
		S5-10**	700C	100	20	ADFHI(J)KM	
		5-21*	2000P	100	25	ADFKLM	
		5-22	3600V	80	15	ADGKM	
6	Longitud	6-10	820C	100	20	ADFHI(J)KM	
		S6-10**	700C	100	20	ADFHI(J)KM	
		6-11*	2000P	100	25	ADFKLM	
		6-12	3600T	80	15	ADGKM	
	6	Transición	6-20*	820C	100	20	ADFHI(J)KM
			S6-20**	700C	100	20	ADFHI(J)KM
		6-21*	2000P	100	25	ADFKLM	
		6-22	3600T	80	15	ADGKM	

Fuente: Reporte 350 de la NCHRP

Notas: (*) Indica que la prueba puede ser opcional.

(**) Indica que la prueba es opcional.

Los niveles de prueba TL1 y TL2 son considerados adecuados sólo para barreras temporales, zona urbanas y vías locales, las consideraciones de composición del tránsito y de vehículos pesados no son consideradas para estas pruebas.

El nivel TL3 es considerado el nivel de seguridad mínimo para autopistas y vías de alta velocidad, a pesar de no considerar pruebas con vehículos comerciales, por lo que su utilización se recomienda en condiciones de riesgo reducido o donde no tenga relevancia la componente de vehículos comerciales en el tránsito local.

Los dispositivos de tipo Gating (G) corresponden a elementos, que dependiendo del punto y ángulo de impacto, permitirán el paso del vehículo, llamándoseles "transpasables", por su parte los dispositivos de tipo No- Gating (NG) corresponden a aquellos que, dependiendo del punto y ángulo de impacto, no serán transpasados.

Tabla 4.3.2.5.b Matriz de prueba para amortiguadores de impacto y terminales

Nivel de prueba (TL)	Dispositivo	Tipo de Dispositivo	Designación	Condiciones de impacto			Criterio de evaluación
				Vehículo	Velocidad Nominal (km/h)	Angulo Nominal (°)	
1	Terminales y Amortiguadores de impacto redireccionables	G/NG	1-30	820C	50	0	CDGHI(J)KN
		G/NG	S1-30	700C	50	0	CDGHI(J)KN
		G/NG	1-31	2000P	50	0	CDGHI(J)KN
		G/NG	1-32	820C	50	15	CDGHI(J)KN
		G/NG	S1-32	700C	50	15	CDGHI(J)KN
		G/NG	1-33	2000P	50	15	CDGHI(J)KN
		G	1-34	820C	50	15	CDGHI(J)KN
		G	S1-34	700C	50	15	CDGHI(J)KN
		G	1-35	2000P	50	20	ADGKLM
		NG	1-36	820C	50	15	CDGHI(J)KN
		NG	S1-36	700C	50	15	CDGHI(J)KN
		NG	1-37	2000P	50	20	ADGKLM
		NG	1-38	2000P	50	20	ADGKLM
		G/NG	1-39	2000P	50	20	CDGKLMN

	Amortiguadores de impacto no redireccionables	G	1-40	820C	50	0	CDGHI(J)K
		G	S1-40	700C	50	0	CDGI(J)K
		G	1-41	2000P	50	0	CDGI(J)K
		G	1-42	820C	50	15	CDGHI(J)KN
		G	S1-42	700C	50	15	CDGHI(J)KN
		G	1-43	2000P	50	15	CDGHI(J)KN
		G	1-44	2000P	50	20	CDGKN

Fuente: Reporte 350 de la NCHRP

Tabla 4.3.2.5.c Matriz de prueba para amortiguadores de impacto y terminales

Nivel de prueba (TL)	Dispositivo	Tipo de Dispositivo	Designación	Condiciones de impacto			Criterio de evaluación
				Vehículo	Velocidad Nominal (km/h)	Angulo Nominal (°)	
2	Terminales y Amortiguadores de impacto redireccionables	G/NG	2-30	820C	70	0	CDGHI(J)KN
		G/NG	S2-30	700C	70	0	CDGHI(J)KN
		G/NG	2-31	2000P	70	0	CDGHI(J)KN
		G/NG	2-32	820C	70	15	CDGHI(J)KN
		G/NG	S2-32	700C	70	15	CDGHI(J)KN
		G/NG	2-33	2000P	70	15	CDGHI(J)KN
		G	2-34	820C	70	15	CDGHI(J)KN
		G	S2-34	700C	70	15	CDGHI(J)KN
		G	2-35	2000P	70	20	ADGKLM
		NG	2-36	820C	70	15	CDGHI(J)KN
		NG	S2-36	700C	70	15	CDGHI(J)KN
		NG	2-37	2000P	70	20	ADGKLM
	NG	2-38	2000P	70	20	ADGKLM	
	G/NG	2-39	2000P	70	20	CDGKLMN	
	Amortiguadores de impacto no redireccionables	G	2-40	820C	70	0	CDGHI(J)K
		G	S2-40	700C	70	0	CDGI(J)K
		G	2-41	2000P	70	0	CDGI(J)K
		G	2-42	820C	70	15	CDGHI(J)KN
		G	S2-42	700C	70	15	CDGHI(J)KN
		G	2-43	2000P	70	15	CDGHI(J)KN
G		2-44	2000P	70	20	CDGKN	

Fuente: Reporte 350 de la NCHRP

Tabla 4.3.2.5.d Matriz de prueba para amortiguadores de impacto y terminales

Nivel de prueba (TL)	Dispositivo	Tipo de Dispositivo	Designación	Condiciones de impacto			Criterio de evaluación
				Vehículo	Velocidad Nominal (km/h)	Angulo Nominal (°)	
3 Nivel Básico	Terminales y Amortiguadores de impacto redireccionables	G/NG	3-30	820C	100	0	CDGHI(J)KN
		G/NG	S3-30	700C	100	0	CDGHI(J)KN
		G/NG	3-31	2000P	100	0	CDGHI(J)KN
		G/NG	3-32	820C	100	15	CDGHI(J)KN
		G/NG	S3-32	700C	100	15	CDGHI(J)KN
		G/NG	3-33	2000P	100	15	CDGHI(J)KN
		G	3-34	820C	100	15	CDGHI(J)KN
		G	S3-34	700C	100	15	CDGHI(J)KN
		G	3-35	2000P	100	20	ADGKLM
		NG	3-36	820C	100	15	CDGHI(J)KN
		NG	S3-36	700C	100	15	CDGHI(J)KN
		NG	3-37	2000P	100	20	ADGKLM
		NG	3-38	2000P	100	20	ADGKLM

Amortiguadores de impacto no redireccionables	G/NG	3-39	2000P	100	20	CDGKLMN
	G	3-40	820C	100	0	CDGHI(J)K
	G	S3-40	700C	100	0	CDGI(J)K
	G	3-41	2000P	100	0	CDGI(J)K
	G	3-42	820C	100	15	CDGHI(J)KN
	G	S3-42	700C	100	15	CDGHI(J)KN
	G	3-43	2000P	100	15	CDGHI(J)KN
	G	3-44	2000P	100	20	CDGKN

Fuente: Reporte 350 de la NCHRP

En general se puede apreciar que el reporte 350, corresponde a un mejoramiento y actualización del reporte 230, por lo tanto sus alcances y requerimientos básicos son los mismos, el contenido de este reporte establece con más precisión los métodos de medición y mecanismos de control durante la ejecución de las pruebas de impacto y paralelamente se realiza una actualización de los contenidos en relación a los nuevos estándares de los vehículos y carreteras.

A continuación se presentan algunos comentarios y análisis de los aspectos más importantes que han sido modificados en el Reporte 230 y la descripción en el Reporte 350 de la NCHRP.

4.3.2.2 Modificaciones del reporte 230, incluidas en el reporte 350 de la NCHRP.

Un cambio significativo incorporado en el reporte 350 es la adopción del Sistema Internacional de unidades (SI), fue utilizado un riguroso procedimiento de conversión con el cual las unidades inglesas fueron convertidas a su equivalente en el sistema internacional y después redondeadas, de esta forma, aumentaron los requerimientos de algunas pruebas y disminuyeron los de otras, pero en la mayoría de los casos los cambios no fueron significativos, para ejemplificar esta situación se puede mencionar que en las pruebas con velocidad de 60 mph, se convierten a 96.6 Km/h, se tomó la decisión de redondear este a 100 Km/h, el cual equivale a 62.1 mph.

Otros cambios son que se incluyen pruebas de vehículos con características más específicas, se modificarán los volúmenes y números de las matrices de prueba, cambia el criterio de evaluación y pautas en la selección del punto de impacto en pruebas de redireccionamiento, adicionalmente, el reporte 350 contiene pautas que permiten realizar pruebas y evaluaciones de los dispositivos en condiciones de impacto poco frecuentes.

Se mantienen algunos vehículos de prueba, incluyendo automóviles como el 820C, que es un automóvil pequeño con una masa de 820 Kg. que esencialmente es el mismo automóvil de prueba utilizados en el reporte 230, un cambio importante fue la inclusión del 2000P, que es una pickup de $\frac{3}{4}$ toneladas, con un peso de aproximadamente 2000 Kg o 4400 lb, la razón principal para seleccionar el vehículo 2000P es que se considera razonablemente representativo de la población de camiones ligeros y vehículos utilitarios de tamaño medio, dentro de las cuales se incluyen pickups, vans y vehículos tipo todo terreno, que son una porción significativa del mercado total en los Estados Unidos, las tendencias mundiales reflejan un crecimiento importante de este tipo de vehículos en los últimos años y se espera que las ventas y el uso de camiones ligeros continuará en crecimiento en el futuro, también fue seleccionado por su similitud con el vehículo 4500 lb, tan ampliamente utilizado en el pasado.

Incluyen al vehículo de prueba 700C, el cual es un automóvil muy pequeño, con una masa de aproximadamente 700 Kg, la utilización de este vehículo es opcional, si el fabricante de un

dispositivo de seguridad estima que se pueden cumplir los requerimientos de prueba usando el vehículo 700C, entonces la opción es factible, pruebas con vehículos 820C no son necesarias si las pruebas con el 700C son aceptables, el productor puede tener una ventaja sobre la competencia si su dispositivo es el único que satisface la prueba con el vehículo 700C.

El vehículo 8000S es un camión simple con un peso de 8000 Kg. (cerca de 17,600 lb), este vehículo ha sido utilizado en los últimos años para evaluar las barreras de puentes, en concordancia con la guía de especificaciones publicada por la AASHTO en 1989, allí se tienen dos vehículos muy pesados y el 36000V, trailer cisterna, para el transporte de carga líquida, el cual tiene una masa de 36,000 Kg estos vehículos son utilizados en el desarrollo de barreras de alto nivel de funcionamiento o con gran capacidad de contención.

Existen 6 niveles de prueba en el Reporte 350 que son también conocidos como TL1 al TL6 (test level), dependiendo del dispositivo que este siendo evaluado, todos los niveles se aplican a las barreras longitudinales.

Se asume que los dispositivos que aprueba el nivel LT1 serán utilizados para condiciones de nivel de servicio bajos, como en las zonas de trabajo o en las áreas urbanas donde las velocidades son de 50 Km/h o menos, el nivel de prueba TL3 es el nivel mínimo para carreteras de alta velocidad, los niveles TL4, TL5 y TL6, son especiales para los requerimientos de alto nivel de servicio de barreras longitudinales.

Dentro de los dispositivos para los cuales el Reporte 350 definió pruebas y criterios de evaluación se incluyen las barreras longitudinales (barreras laterales, barreras centrales y de puentes), existen tres distintas zonas de las barreras longitudinales donde se debe tener especial cuidado; la barrera propiamente dicha, la zona de transición en la cual la barrera pudiera estar conectada a la barrera longitudinal con diferente grado de tensión lateral y el extremo terminal de la barrera, las primeras dos están incluidas dentro de las series de pruebas para barreras longitudinales y la última está incluida dentro de las series de pruebas para los terminales y amortiguadores de impacto.

La siguiente categoría, donde el Reporte 350 definió pruebas, incluye los extremos terminales de barreras longitudinales y amortiguadores de impacto, los primeros tres niveles de prueba aplican dentro de esta categoría, la cual además se subdivide en;

1. Terminales y amortiguadores de impacto con redireccionamiento
2. Amortiguadores de impacto sin redireccionamiento

Existió un debate considerable entre consultores en referencia a las condiciones de prueba requeridas para los amortiguadores de impacto y terminales, algunos opinan que las pruebas deben ser diseñadas para requerir que todos los amortiguadores de impacto tengan capacidad de redireccionamiento, sin embargo, el consenso fue que los procedimientos de prueba actualizados para amortiguadores de impacto, no pueden dejar fuera el uso de sistemas no redireccionables, por ejemplo el uso de tambores llenos de arena ha probado ser un sistema confiable y con una buena relación costo-beneficio.

El Reporte 350 también está orientado a pruebas y procedimientos de evaluación para apoyos de estructuras, elementos de control de tráfico en zonas de trabajo y postes rompibles, incluidos bajo la categoría de soportes de estructuras están las señales y apoyos de luminarias, cajas de teléfonos de emergencia y apoyos de buzones de correo.

Incluidos bajo la categoría de dispositivos de control en zonas de trabajo están los tambores de plástico, barricadas, conos, delineadores y luces, que podrían estar colocados en tambores o elementos de canalización de tránsito, estos elementos pueden estar diseñados y evaluados en los niveles de prueba TL2 y TL3, se concluyó que no se tendría una buena relación costo-efectividad desarrollando uno de estos dispositivos para el nivel TL1, en otras palabras se considera que un dispositivo desarrollado para los niveles TL2 y TL3 será también eficiente para el nivel TL1.

Pautas específicas de evaluación para atenuadores de impacto de camiones pueden ser desarrolladas en los niveles TL2 y TL3, sin embargo, la mayoría de los diseños actuales fueron desarrollados para las condiciones del nivel TL2, y por lo tanto, corresponden a vehículos livianos.

Hay cambios importantes en los criterios para evaluar una prueba determinada, pero no hay grandes cambios en los requerimientos de suficiencia estructural del Reporte 230, con relación al criterio de riesgo del conductor, se disidió permanecer con el modelo de este reporte, donde el conductor está representado por una masa compacta, que tiene capacidad de moverse dentro de un espacio específico hasta que impacte una superficie, tanto el contacto inicial como la velocidad de impacto con la superficie es computada y referida a la velocidad de impacto del conductor (OIV, Occupant Impact Velocity), seguido al impacto se asume que la masa seguirá en contacto con la superficie y experimentará una desaceleración con el vehículo (RA, Ridedown Acceleration).

Los límites recomendados para la OIV y RA están dados en dos categorías, recomendado y máximo, para todos los dispositivos, excepto los apoyos de estructuras y dispositivos de control de tráfico en zonas de trabajo, el recomendado y máximo OIV es 9 m/s y 12 m/s, respectivamente, para todos los dispositivos es recomendado y máximo RA es 15 Gs y 20 Gs, respectivamente.

Se realizaron algunos cambios con relación al criterio de la trayectoria post-impacto, el límite de cambio de velocidad vehicular de 24.2 Km/h se incrementó a 43.2 Km/h.

Finalmente, el Reporte 350 contiene pautas para identificar el punto de impacto crítico para un dispositivo redireccionador, este es el punto a lo largo de la estructura que se juzga tiene el gran potencial de causar enganamiento o retención del vehículo en la barrera o de causar fallas estructurales en el dispositivo.

El objetivo primordial del Reporte 350 es generar pruebas uniformes y procedimientos de evaluación para dispositivos de seguridad de carreteras a lo largo de Estados Unidos y otros países, más importante aun, es que se espera que el uso del documento traiga como resultado el diseño y la implementación de mejores dispositivos de seguridad, reduciéndose así la severidad de los accidentes.

Se puede observar que el número de pruebas ha aumentado considerablemente en el Reporte 350 y con ello, se han definido condiciones de prueba más estrictas y precisas, que permiten una clasificación más detallada, sin embargo, el resultado práctico de esta ampliación del número de pruebas, trae consigo una necesaria reclasificación de los dispositivos existentes y por consecuencia muchos de los que se consideraban adecuados conforme al Reporte 230 y que se encuentran instalados, ya no lo son.

Este hecho sin duda, demanda un gran esfuerzo económico por parte del sector público y privado para actualizar los dispositivos existentes y el reemplazo de los que ahora se consideran obsoletos.

4.3.3 Normatividad Europea.

4.3.3.1 Aspectos Generales.

Las normas Europeas son más recientes que los procedimientos desarrollados en Estados Unidos, por lo que han incorporado la gran mayoría de conceptos definidos en las normas norteamericanas, esta normatividad ha sido complementada con investigación propia realizada en algunos de los países líderes en esta materia como son el Reino Unido, Francia, Italia y Alemania, los resultados de estas investigaciones han estado dirigidos por organismos relacionados con la administración de la Comunidad Económica Europea (CEE) como el Comité de Normas Europeas (CEN), ellos han coordinado los avances en esta materia y la definición de estándares de seguridad y requerimientos para los elementos de contención que serán utilizados en todos los países de la CEE.

La estandarización de los productos y los acuerdos tomados en cuanto a su utilización de manera regular en todos los países, son probablemente una de las dificultades más importantes que debe enfrentar el CEN, ya que cualquier decisión que este comité adopte, traerá consecuencias económicas importantes para los países participantes, afectando a unos más que a otros, en la medida que proceda el reemplazo de los elementos que tengas instalados actualmente.

4.3.3.3 Descripción de las normas

La Normatividad Europea utiliza conceptos definidos y aceptados como estándares de medición aceptados también en Estados Unidos.

Los parámetros más relevantes involucrados en un choque y posibles de cuantificar son:

- A) Índice de severidad de impacto (Is)
- B) Ancho de trabajo o deflexión posterior (W)
- C) Nivel de severidad en el impacto, índices de aceleración
- D) Estabilidad y daños a los vehículos que puedan impedir maniobras posteriores a la colisión
- E) Ángulo de salida posterior a la colisión
- F) Deformación del habitáculo
- G) Velocidades de impacto entre el ocupante y el interior del vehículo
- H) Otros

Todos estos parámetros son utilizados para evaluar las pruebas de impacto real, por lo que es necesario tener en cuenta que muchos de ellos dependerán de manera muy particular de las características del vehículo de prueba, sin embargo, no se debe olvidar que el objetivo de una prueba de impacto real es la evaluación funcional y comparativa de una barrera de seguridad u otro dispositivo similar, por lo que la prueba debe ser independiente de las características del vehículo que se utilice.

La razón fundamental por la que se utilizan vehículos de tipo estándar, es obtener independencia de las características del vehículo, de esta manera los resultados de diferentes pruebas son comparables entre sí.

a.- Índice de severidad del impacto.

Se define el índice de severidad del impacto (Is) como la energía cinética del móvil que impacta con un elemento fijo. en el caso de las barreras está referido a la componente ortogonal de la velocidad de desplazamiento con respecto al eje de la barrera de seguridad, expresado como;

$$I_s = \frac{1}{2} * W/g*(v*\text{sen } w)^2.$$

Donde:

W	peso del vehículo (KN)
g	aceleración de la gravedad (m/s ²)
v	velocidad de desplazamiento antes del impacto (m/s)
w	ángulo de impacto (°)

Este valor se encuentra directamente relacionado con el nivel de contención, el cual se verifica con la Aceptación del "crash test" o pruebas de impacto real, estandarizados de acuerdo a la norma EN1317-2 y el Reporte 350 de la NCHRP.

b.- Ancho de trabajo

El ancho de trabajo corresponde a la proyección del vehículo en la vertical más alejada durante el impacto, por lo tanto es una medida dinámica que determina el espacio libre necesario, por detrás de la barrera, para que el vehículo no impacte con un objeto distinto del dispositivo de contención, este concepto esta relacionado con la deflexión dinámica de la barrera, pero la diferencia fundamental es que el ancho de trabajo contempla la posibilidad de que un vehículo alto vuelque parcialmente sobre el dispositivo y luego recobre la posición vertical, por lo tanto, en general el ancho de trabajo es mayor que la deflexión dinámica.

c.- Nivel de severidad de impacto

El nivel de severidad corresponde a las lesiones que puede producir el impacto en los ocupantes del vehículo, el valor propiamente es una ponderación de la desaceleración que se produce en diferentes partes del cuerpo de los ocupantes y en diferentes ubicaciones al interior del vehículo.

Los valores de aceptación se encuentran tabulados en las normas europeas (EN1317-2) y deben ser verificadas tres condiciones simultáneas para la determinación de la categoría o nivel.

d.- Daños a los vehículos

El daño provocado al vehículo por el impacto con la barrera de seguridad es determinante para las condiciones de maniobrabilidad que tendrá el vehículo luego del impacto, la maniobrabilidad se verá imposibilitada si el vehículo pierde estabilidad, se vuelca, gira o se dañan partes como los neumáticos, sistema de frenos y dirección.

e.- Angulo de salida

Este parámetro corresponde a la dirección que tomará el vehículo luego de impactar con la barrera, el control del ángulo de salida esta directamente relacionado con la capacidad elástica del elemento de contención, su capacidad de deformación progresiva o la posibilidad de redireccionamiento del vehículo, con el control de este parámetro se intenta evitar que penetre en la pistas de circulación adyacentes provocando un nuevo accidente con otros vehículos.

f.- Deformación del habitáculo

La deformación del habitáculo es una medida de comparación del nivel de daños que presenta el vehículo, dado que el vehículo es del tipo estándar, el registro de estos parámetros permite evaluar comparativamente las condiciones de agresividad para el vehículo y los ocupantes, que presenta un choque contra la barrera y con ello una aproximación de los esfuerzos a que estarán sometidos los ocupantes.

El registro de las deformaciones se materializa mediante la comparación, antes y después del choque, de algunas medidas representativas de la deformación total.

g.- Velocidad de impacto entre el ocupante y el interior del vehículo

Las condiciones de prueba pretenden simular situaciones representativas de los accidentes y por lo tanto son reproducidas algunas de las condiciones más desfavorables, una de ellas es que el vehículo no cuenta con mecanismos especiales de seguridad, como bolsas de aire u otros similares, por el mismo motivo no son aplicados los frenos luego de la colisión tampoco se traba la dirección.

h.- Otros

Existe una serie de registros adicionales acerca de las condiciones de prueba, como por ejemplo, aceleraciones y deformaciones en todos los elementos involucrados, fragmentación de alguno de ellos y estado remanente del elemento, los cuales también se utilizan como medios de comparación entre diferentes pruebas de barreras, todos ellos pueden caracterizar el comportamiento del elemento de contención.

Existen otros elementos que forman parte de las características estructurales, operativas y funcionales que pueden ser determinantes en la decisión de utilizar un sistema u otro, como las facilidades de mantenimiento, almacenaje, transporte, reutilización y estética, entre otros.

Los criterios de aprobación, la definición de las pruebas y los tipos de vehículos se muestran de manera referencial en las tablas siguientes.

Es importante notar que la clasificación final requiere de dos pruebas simultáneas para los niveles de contención superiores a H1, la prueba TB11 y otra adicional, este requerimiento impone condiciones muy estrictas para la seguridad de vehículos livianos, como por ejemplo, la medición de las lesiones del ocupante basándose en los índices de aceleración e impacto medidos en el muñeco de prueba.

Tabla 4.3.3.3.a. Criterios de prueba para impacto de vehículos

Prueba	Velocidad de impacto (Km/h)	Angulo de impacto (°)	Peso total del vehículo (Kg)	Tipo de vehículo
TB11	100	20	900	Auto
TB21	80	8	1300	Auto
TB22	80	15	1300	Auto
TB31	80	20	1500	Auto
TB32	110	20	1500	Auto
TB41	70	8	10000	Camión simple
TB42	70	15	10000	Camión simple
TB51	70	20	13000	Autobús
TB61	80	20	16000	Camión simple
TB71	65	20	30000	Camión simple
TB81	65	20	38000	Camión articulado

Fuente: EN1317

Tabla 4.3.3.3.b. Niveles de contención

Nivel de contención	Prueba de aceptación
Contención de ángulo bajo T.1 T.2 T.3	TB21 TB22 TB41 Y TB21
Contención normal N 1 N 2	TB31 TB32 Y TB11
Alta contención H 1 H 2 H 3	TB42 Y TB11 TB51 Y TB11 TB61 Y TB11
Contención muy alta H4a H4b	TB71 Y TB11 TB81 Y TB11

Fuente: En 1317

Tabla 4.3.3.3.c. Niveles de seguridad de impacto

Nivel de seguridad de impacto	Indice de valores	
A	ASI < 1.00	THIV < 33 Km/h PHD < 20 G
B	ASI < 1.40	

Fuente: EN 1317

4.4 TIPOLOGIAS PROBADAS

Como ya se ha mencionado, existe un número muy elevado de pruebas realizadas con diferentes elementos y bajo las condiciones más diversas, no es relevante, conocer todas las tipologías probadas, especialmente cuando se tiene la certeza de que los elementos que hoy se utilizan corresponden a los diseños más avanzados.

Para la definición de lo que podría llamarse tipologías actuales, especialmente aquellas que cuenten con algún tipo de certificación, se considera que son dispositivos donde se han realizado todas las mejoras y adelantos que los hacen ser los elementos más convenientes desde el punto de vista técnico y económico.

La justificación de los diseños actualmente en uso se encuentra probablemente en pruebas realizadas con anterioridad a 1977, en la "Guide for Selecting, Locating and Design Traffic Barriers" (AASHTO 1977) se presentan los diseños documentados que corresponden a los que se utilizan actualmente.

BARRERAS LATERALES
(CAPITULO 5)

5.- BARRERAS LATERALES

Una barrera lateral es un dispositivo longitudinal ubicado a la orilla del camino, con el objetivo de proteger a los automovilistas de impactos con obstáculos naturales o artificiales, localizados en las zonas laterales de la vía, puede, en algunos casos, instalarse como un elemento de protección para los peatones y ciclistas.

A continuación se exponen los requisitos y recomendaciones generales para su instalación y algunas pautas, para seleccionar y diseñar un sistema de contención, en función de las características de la vía y condiciones de tránsito, se describe la estructura y las características de seguridad de las barreras laterales además de algunas consideraciones respecto a los elementos de transición, también se incluyen pautas y metodologías comúnmente usadas para verificar la correcta colocación y diseño de los dispositivos.

5.1 REQUISITOS GENERALES

El propósito fundamental de todas las barreras laterales de contención es impedir que un vehículo abandone la calzada de circulación de manera imprevista y golpee un objeto que lo detenga violentamente, caiga por un borde de terraplén con lo que las consecuencias previsibles del accidente sean mayores que las provocadas por el impacto con la barrera.

El estudio de la dinámica de un choque o una caída es muy complejo, los medios más eficaces de evaluar el comportamiento de un sistema de contención han sido las pruebas de impacto real (Capítulo 4), las cuales entregan valiosa información acerca de las condiciones y el comportamiento de los elementos involucrados.

5.1.1 Criterios de clasificación de barreras.

El reporte 350 de la NCHRP describe las etapas de verificación para las características de las barreras de seguridad en las fases experimental y operacional, una barrera que ha pasado la prueba de impacto de manera aceptable, pasa a la fase de evaluación operacional o de servicio, estas barreras son aprobadas y se recomienda su instalación con un monitoreo permanente y continuo.

Adicionalmente una barra puede ser considerada aceptable si se ha usado por un periodo extenso de tiempo y demuestra que su comportamiento real es satisfactorio en lo que se refiere a construcción, mantenimiento y la experiencia de los accidentes ocurridos.

Todas las barreras citadas en este capítulo han demostrado un comportamiento aceptable en las pruebas de impacto real y se consideran en su fase operacional, esto no evitará que un determinado organismo pueda considerar cualquiera de las barreras como experimental para los propósitos de determinar si ellas satisfacen sus necesidades particulares.

La omisión de un sistema de contención en ese documento, no necesariamente implica que no es aceptable su utilización, hay numerosas barreras en uso hoy que no han sido probadas mediante estos procedimientos, pero han demostrado un comportamiento satisfactorio en el tiempo.

5.2 JUSTIFICACIONES PARA LA INSTALACIÓN

La recomendación de instalar una barrera se basa en la premisa de que sólo debe instalarse si reduce la severidad de accidentes potenciales, las recomendaciones de instalación de una barrera están basadas en un análisis subjetivo de ciertos elementos y condiciones del borde del camino, si se cree que las consecuencias de chocar un objetivo fijo o de salirse del camino son más serias que los daños que sufrirá producto del impacto con la barra, entonces se recomienda su instalación.

Las recomendaciones también se pueden elaborar basándose en un análisis cuantitativo de las características del camino como la velocidad de diseño, el nivel y composición del tráfico y una evaluación económica de los costos involucrados asociados a la instalación de elementos de contención, mantenimiento y los costos derivados de los accidentes, mismos que pueden ser comparados en situaciones hipotéticas, en cuyo caso se decide o no instala la barrera,

También se puede hacer una evaluación completa de varios tipos de instalación, y compararlos con la opción de no colocar barreras, este procedimiento se usa para evaluar típicamente tres opciones:

- Quitar o reducir el riesgo de tal manera que el elemento de contención ya no sea requerido.
- Instalar una barrera apropiada o un elemento de contención seguro.
- Dejar el área descubierta o con medidas de protección menores, como demarcación.

La tercera opción normalmente sólo sería recomendable bajo volumen de tránsito o zonas de velocidades reducida, donde se puede verificar, además que la probabilidad de ocurrencia de accidentes sea baja.

Pueden diferenciarse claramente tres situaciones típicas donde se recomienda la instalación de elementos de contención en el borde del camino, estas son: bordes de terraplenes, obstáculos laterales próximos y la presencia frecuente de peatones, ciclistas, escuelas, etc.

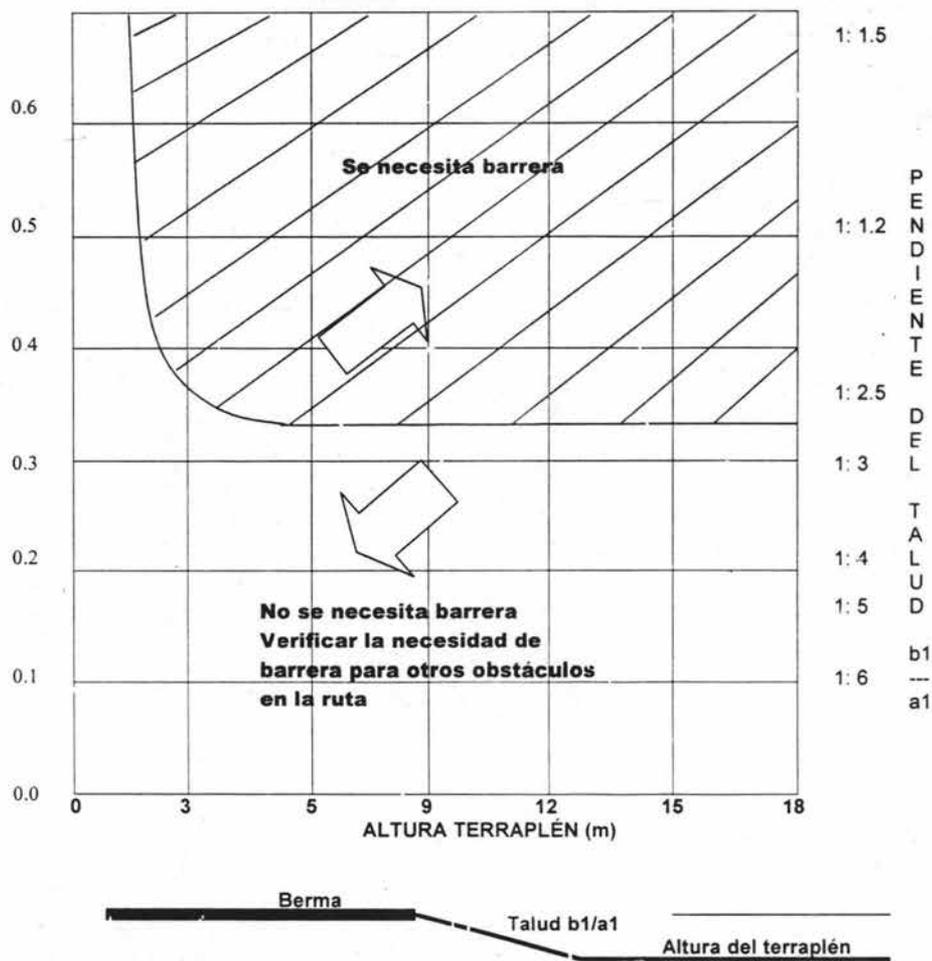
A continua se analizan por separado cada uno de los tres casos enunciados anteriormente.

5.2.1 Terraplenes.

Los factores básicos a considerar de un terraplén son su altura y pendiente lateral, con lo que es factible elaborar estudios de la severidad de los daños relacionados con el abandono de la calzada en una zona de pendiente lateral y ver sus consecuencias en impactos probables con la barrera, en particular cuando se encuentran emplazados en una zona de curvas.

A continuación se muestra un gráfico extraído del Road Design Guide (RDG) de la AASHTO; que recomienda la instalación de barreras de seguridad en función de la pendiente lateral y altura de terraplén, esto solamente es una recomendación y por lo tanto, no asegura por si sola un diseño adecuado, debiéndose tener en cuenta siempre las condiciones generales del entorno y la visión experta de un especialista.

Gráfica 5.3.1 Recomendación para la instalación de barreras en terraplenes.



Del gráfico se desprende que la AASHTO considera que para taludes 1.3 (V: H) o más extendidos no es necesario el uso de barreras, independiente de la altura del terraplén, para taludes con inclinación superior a 1:3 la colocación o no de barreras dependerá de la combinación entre la pendiente del talud y la altura del terraplén.

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

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

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

5.2.2. Obstáculos Laterales

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

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

5.2.3. Peatones y Ciclistas.

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

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

Consideraciones similares pueden hacerse en el caso de una zona comercial, pasarelas peatonales, obras de construcción paraderos y acceso a instalaciones de

publico masivo u otras similares, en este sentido, particular atención debe prestarse a situaciones en que por alguna razón del entorno u operacional, se conozca la ocurrencia de accidentes, como pueden ser combinaciones de curvas y pendientes, salidas de autopistas u otras similares.

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

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

5.2.4 Tabla de Recomendaciones

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

Tabla 5.3.4 Recomendación de instalación para zonas no transpirables y obstáculos laterales

Ubicación	Recomendación
Cepas de puente, estribos y extremos peligrosos	Generalmente se requiere protección
Construcciones	La decisión debe basarse en la probabilidad de impacto y la naturaleza del obstáculo
Tuberías y muros frontales	La decisión debe basarse en el tamaño, forma y ubicación del obstáculo.
Cunetas bajas	Generalmente se requiere protección
Cunetas altas	La decisión debe basarse en la probabilidad de impacto
Drenajes longitudinales	Aplicables criterios de zona lateral despejada
Drenajes Transversales	Se recomienda instalación de protecciones, especialmente si la probabilidad de impacto es alta.
Terraplenes	La decisión depende de la altura y pendiente transversal
Muros de contención	Depende de la forma del muro y el ángulo máximo de impacto probable
Marcos de señalización	Cuando están ubicados en zona aisladas y pistas de alta velocidad, siempre se recomienda su protección
Artículos	Se recomienda el análisis particular de la situación
Zonas de servicio	Se recomienda protección de acuerdo a las características del lugar
Cursos de agua permanente	La decisión debe tomarse basándose en la profundidad, ubicación y la probabilidad de caída

NOTAS: 1. Se recomienda la instalación de barreras para proteger al usuario de la vía de un elemento no transpasable o de un obstáculo a la orilla del camino, solo cuando esta dentro de la "zona despejada" y no se puede quitar o reubicar, además se debe determinar que la barra se Proporcione una mejora de seguridad bajo las condiciones antes mencionadas.

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

FUENTE: RDG de la AASHTO

5.3 CRITERIOS GENERALES DE SELECCIÓN.

Hasta hace algunos años, las barreras laterales fueron desarrolladas e instaladas con la intención de contener y redireccionar a vehículos con masas superiores a 2 toneladas, sin embargo, la experiencia señaló que en general, no eran capaces de contenerlos o redireccionarlos cuando chocaban a altas velocidades y en ángulos de impacto importantes, estos sistemas han demostrado, que son convenientes en impactos producidos por vehículos livianos a velocidades razonables (menores a 100 km./h) y ángulos relativamente tangenciales (menores a 25°).

En general, no existen recomendaciones objetivas para la instalación de elementos de alta tensión adecuados a vehículos pesados, por lo que normalmente se considera factores subjetivos para ello, tanto en el caso de rectificaciones de vías existente, dentro de los cuales los más relevantes son.

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

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

5.4 CARACTERÍSTICAS OPERACIONALES Y ESTRUCTURALES DE DISEÑOS TIPO.

La clasificación se refiere a secciones normales de barreras laterales y algunas secciones de transmisión, la información estructural y las características de seguridad de cada uno de los sistemas son mencionadas en el texto, al final, la descripción se complementa con una lámina tipo que resume las características más relevantes.

Como guía general, los elementos necesarios para una adecuada definición de un sistema de contención son:

- Fotografías o esquemas de la barrera
- Una descripción breve que muestra, los elementos principales, materiales, dimensiones, características estructurales y los parámetros geométricos relevantes como la separación entre postes, altura total, anclajes, uniones, etc. En cualquier ocasión, antes de la selección de un dispositivo específico, el especialista debe obtener detalles completos del sistema, incluyendo planos normalizados y definiciones precisas.

- Una descripción breve de su comportamiento en las pruebas de impacto, esto permitirá definir el rango de vehículos para los cuales el sistema ha sido probado con éxito, se recomienda usar las pruebas normalizadas para realizar una comparación cuantitativa.
- Los datos de su comportamiento en servicio, son antecedentes adicionales valiosos para el diseñador, ya que permiten conocer instalaciones modelo y su comportamiento frente a situaciones no cubiertas por las pruebas de impacto.

5.4.1 Secciones Continuas de Barreras

Las barreras laterales se pueden clasificar en tres grandes grupos o sistemas de acuerdo a su ancho de trabajo:

TABLA 5.5.1 Clasificación General

SISTEMA	TOPOLOGÍAS PRINCIPALES
Flexible	Cable de acero triple, poste débil Perfil "W" o doble onda simple, poste débil Perfil triple onda simple, poste débil
Semi rígido	Perfil "W" o doble onda simple, poste rígido con separador Perfil triple onda simple, poste rígido con separador Perfil triple onda simple, poste rígido con separador modificado Perfil triple onda simple, poste rígido con separador europeo Perfil de acero revestido en madera
Rígido	Perfil de hormigón tipo "F" o perfil New Jersey Muro vertical recto

5.4.1.1. Barrera flexible de cable de acero triple.

Consiste en tres cables de acero montados en postes débiles, la función principal de los cables es contener y redireccionar a los vehículos que los impactan y la función de los postes es mantener la elevación de los cables a una altura constante, la altura del cable superior se ensayado para rangos entre 69 y 76 cm, los postes pueden estar separados hasta 5 metros.

Análisis recientes desarrollados por el gobierno del estado de Nueva York en EE.UU. indican que se obtiene un mejor comportamiento del sistema con el cable superior ubicado a 70 cm. esta consideración es porque un alto número de vehículos que componen el flujo total poseen un perfil delantero bajo.

Estos sistemas han sido ensayados exitosamente con vehículos de 820 a 2,000 kg, incluye vehículos de perfil bajo y camionetas de pasajeros tipo Van (1,800 kg).

La barrera de cable continuo redirecciona los vehículos que la impactan después que se desarrolla tensión suficiente en el cable, los postes en el área de impacto ofrecen una resistencia marginal, sin embargo, para algunos tipos de postes, se ha demostrado que el espacio entre ellos está relacionado con la deflexión del sistema, en pruebas realizadas para un vehículo de 1,600 kg a 100 km/h se observaron deflexiones de 2.1 a 3.3 m, para espacios entre postes en el rango de 1.2 a 4.9 m.

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

Otras consideraciones especiales se refieren al caso de ubicar la barrera en zonas de curvas, en particular se distinguirán dos situaciones, la primera se refiere al caso de la curva a la derecha con la barrera ubicada al costado izquierdo, en esta situación sólo debe disponerse de un ancho de trabajo mayor al considerado en una zona recta, una situación más difícil de resolver y donde no se recomienda este tipo de barrera, se produce cuando la curva es a la izquierda con la barrera de cable a la derecha, además tiene especial relevancia cuando se trata de zona de curvas sucesivas o riesgos adyacentes importantes, para los cuales tampoco se recomienda su instalación.

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

Las principales ventajas que se consideran tienen estos sistemas son el bajo costo inicial y una eficaz contención y redireccionamiento de una amplia gama de vehículos, las fuerzas de deceleración en los ocupantes del vehículos son bajas, son apropiada para zonas con nieve o arena, porque su perfil, casi transparente, facilita los trabajos de mantenimiento y despeje de la carretera.

Un aspecto práctico, que puede ser relevante, es su facilidad de transporte y almacenaje en espacios reducidos, además de su facilidad de instalación.

Las mayores desventajas del uso de barreras de cable se relacionan con la inconveniencia de instalarlas en tramos largos; la necesidad de reparación inmediata luego de un impacto, ya que el tramo colapsará completamente; el área despejada que se necesita detrás de la barrera para su ancho de trabajo y su efectividad reducida en las curvas, especialmente cuando estas son de radios pequeños.

Un aspecto práctico que puede limitar su instalación se refiere al hecho de que esta barrera es muy susceptible de ser robada o sufrir actos vandálicos, ya que su material principal, cable de acero, es útil en muchas otras aplicaciones.

5.4.1.2 Barrera flexible de perfil "W" o doble onda simple, poste débil.

El sistema de barrera flexible de doble onda y poste débil se comporta muy similar a la barrera de cable, es decir, los postes sirven para sostener la viga, manteniéndola en una elevación apropiada y la viga es el elemento que contiene y redirecciona el vehículo, en este caso se debe contar con un mecanismo de desenganche, que no permita a la viga ser arrastrada al suelo con el poste cuando el sistema es impactado, el tamaño del poste, en general, es similar al sistema de cable y estos se instalan a distancias de 2, 4 y 8 m, coincidente con el largo de las vigas del perfil de 4 y 8 m, se recomienda una altura de viga entre 70 y 76 cm.

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

En las pruebas de impacto este sistema ha contenido y redireccionado con éxito a vehículos con pesos entre 800 y 1,800 kg de acuerdo al seguimiento realizado en EE.UU. a dos años de su instalación, no ha presentado problemas para contener vehículos de peso hasta 2,000 kg, aunque no ha sido probada en laboratorio con vehículos de esta masa, el ancho de trabajo en una prueba de impacto con un vehículo de 1,800 kg de peso a 28° y 95 km/h fue de 2.2 m, en estas pruebas de impacto el espaciamiento entre postes fue de 3,81 m.

5.4.1.3. Barrera flexible de perfil triple onda simple, poste débil.

El sistema de barrera flexible de triple onda y poste débil, sólo se diferencia del descrito en el punto anterior por el uso de una viga de triple onda, el ancho adicional proporciona a la viga capacidad de contener una gran variedad de vehículos de diferentes tamaños, aunque la experiencia con este sistema es muy limitada, es considerado operacional, ya que básicamente es una mejora del sistema flexible con perfil "W" se recomienda una altura de viga igual a 84 cm.

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

En las pruebas de impacto este sistema ha contenido y redireccionado con éxito a vehículos con peso entre 800 y 2,000 kg en pruebas realizadas con vehículos hasta de 2,000 kg se llegó a un ancho de trabajo de 1.9 m todas las pruebas fueron realizadas con elementos de espesor nominal de 3.5 mm y una distancia entre postes de 3.81 m.

5.4.1.4. Barrera semirígida de perfil "W" o doble onda simple, poste rígido con separador

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

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

Varios tipos de postes son utilizados, los más comunes en EE.UU. son los de madera, fabricados de piezas con resistencias estructural y con dimensiones de 20 x 15 cm.

alternativamente se utilizan postes metálicos con sección IP o canal, en Europa la regla general es usar postes de acero con sección canal de dimensiones 12 x 8 x 6 mm.

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

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

El bloque separador no es necesariamente del mismo material que del poste y para estos elementos existe un gran número de diseños alternativos incluyendo acero, madera y plástico reciclado.

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

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

Según pruebas de impacto real, el comportamiento ante impactos de vehículos con peso entre 800 y 2,000 kg ha sido aceptable, el límite superior está establecido con un vehículo de 2,100 kg a una velocidad de 95 km/h, impactando en un ángulo de 21° en este caso la deflexión dinámica fue de 60 a 90 cm, también fue probado con éxito en camionetas de 1,900 kg sin embargo, fallo en pruebas con camiones escolares con peso de 9,100 kg, siendo sobrepasada y en algunos casos provocando volcamiento del vehículo.

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

5.4.1.5 Barrera semirígida de perfil triple onda simple, poste rígido con separador.

Este sistema es más resistente que la barrera semirígida de doble onda, el pliegue adicional en el perfil le permite tener mayor rigidez, con lo cual además, es menos propensa a dañarse durante los impactos moderados, producto de su mayor altura, este sistema logra la contención de vehículos más altos y grandes que los automóviles estándar, aunque esta barrera ha sido

probada con éxito con una altura de 81 cm las investigaciones recientes sugieren la instalación de su parte superior a 90 cm.

En las pruebas de impacto, este sistema ha contenido vehículos con un peso de 820 a 1,990 kg y un ángulo de 25°, con un espacio entre postes de 1,905 m, la prueba con un vehículo de 2,000 kg no se ha realizado, sin embargo se asume que la barrera es adecuada para este requerimiento, por cuanto corresponde a una mejora en el diseño de la barrera de doble onda con poste rígido.

El ancho de trabajo en impactos de automóviles y camionetas con un peso de 1,800 kg fue de 0.5 y 1.0 m respectivamente, en una prueba para establecer su límite superior de contención, esta barrera montada en un perfil a 81 cm contuvo y redireccionó a un camión escolar de 9,100 kg, sin embargo falló en evitar la volcadura durante la prueba.

5.4.1.6 Barrera semirígida de perfil triple onda simple, poste rígido con separador modificado.

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

Los costos de reparación de este sistema suelen ser muy reducidos debido a que las vigas de perfil triple onda sufren, daños menores cuando se producen impactos de mediana intensidad, por lo que las labores de reposición y mantenimiento se simplifican, pudiendo programarse con anticipación.

El comportamiento del sistema de contención ha sido exitoso en pruebas de impacto con vehículos de 820 kg y un autobús escolar con un peso de 9,100 kg a 90 km/h a 15°, con un espacio entre postes de 1,905 m, el ancho de trabajo en esta prueba fue de 96 cm, también fue contenido con éxito un autobús interurbano con un peso de 14,500 kg a 90 km/h y un ángulo de 14°.

5.4.1.7 Barrera semirígida de perfil triple onda simple, poste rígido con separador europeo.

Este sistema consiste en una viga de perfil triple onda, con un separador de 45 cm de ancho efectivo y postes rígidos, la viga utilizada en este sistema corresponde exactamente a la usada en los sistemas anteriores, la modificación, en este caso, corresponde al bloque separador, el que ha sido desarrollado en Europa.

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

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

Una configuración especial de este tipo de sistemas es la incorporación de un perfil canal inferior, sin bloque separador, ubicado a 30 cm de altura, el perfil inferior es utilizado para evitar el enganchamiento, de vehículos de perfil bajo, entre los postes, en este caso, la parte superior del perfil triple onda va aproximadamente a una altura de 1.00 m.

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

Este sistema se encuentra certificado de acuerdo a la norma EN 1317 como clase H2, lo que significa que aprobó satisfactoriamente un ensayo de impacto para un vehículo liviano de 900 kg a 100 km/h y a 20°, el mismo sistema fue probado exitosamente con el impacto de un camión interurbano de 13,000 kg a 70 km/h y a 20°, obteniéndose un ancho de trabajo inferior a un metro.

5.4.1.8 Barrera semirígida de perfil de acero revestido en madera

La barrera de acero recubierta o reforzada con madera de desarrolló como una alternativa estética a los sistemas tradicionales, este consiste en una viga de acero reforzada con una viga de madera y apoyada en postes de acero recubiertos de madera, o bien, solo de madera, la placa de acero proporciona la continuidad estructural que necesita el sistema y evita el desprendimiento de trozos de la barrera durante el impacto, los elementos de madera proporcionan una apariencia más rustica que el acero y el hormigón, por lo que normalmente esta barrera se especifica para el uso a lo largo de los caminos bajo la administración de parques nacionales y zonas turísticas.

En Francia se han desarrollado algunas modificaciones prácticas al sistema utilizado en EE.UU. que consisten básicamente en la utilización de troncos de madera en lugar de perfil cuadrado o rectangular.

Esta barrera ha sido probada con éxito en lo EE.UU. para un vehículo de 820 kg a 81 km/h y un ángulo de impacto de 20° y con un vehículo de 2,000 kg a 81 km/h a un ángulo de impacto de 25°, por su parte, en Francia las pruebas entregaron resultados similares y el ancho de trabajo observado fue de 1.70 m.

5.4.1.9 Barreras rígidas de perfil de hormigón.

Esta clasificación incluye cualquier estructura suficientemente rígida como para no deformarse sustancialmente frente al impacto de un vehículo de la clase para la cual fue diseñada, en esta clasificación se incluyen: los perfiles New Jersey y "F", el muro liso vertical, el sistema de reacción en tracción Quickchange y pretilas de puentes de varias configuraciones, 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.

Algunas de estas barreras se pueden construir en sitios mediante moldes continuos o moldes deslizantes, con o sin acero de refuerzo, dependiendo del diseño, también pueden ser prefabricados como elementos modulares, los cuales requieren de una conexión fuerte entre ellos, ya que durante un impacto serán sometidos a esfuerzos importantes.

Esta clasificación abarca sistemas capaces de contener y redireccionar desde el vehículo más liviano hasta autobuses de 18,000 kg y camiones con remolque de 36,300 kg a 15° y a 84 km/h, dado que su deflexión es prácticamente nula, estos sistemas son la solución de preferencia para las situaciones con medianas de sección reducida, puentes y muros de contención de suelos y túneles, donde es esencial minimizar el ancho de trabajo.

Estas barreras pueden funcionar basadas en su peso propio o ancladas al pavimento o berma, como elemento de contención en un puente deberían ser incorporadas con la losa, de hecho así es utilizado normalmente en EE.UU.

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

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

Al ser chocadas por vehículos pesados a ángulos muy abiertos, es decir, mayores de 20°, es posible que los elementos estructurales de estos vehículos impacten directamente en el hormigón, provocando desprendimientos locales los cuales son fácilmente reparados en el lugar.

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

a) Las formas "F" y New Jersey.

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

Para entender mejor como funcionan todos los sistemas rígidos, se puede pensar que conceptualmente existen dos extremos, el muro liso vertical y un muro inclinado a poco ángulo con el horizonte, digamos por el momento de 20°, teóricamente un vehículo errante chocaría de lado con el primero, comprimiendo y deformando la carrocería y de esa manera absorbiendo su energía lateral, por el otro extremo, teóricamente, un vehículo errante empezaría a subir por los 20° del muro inclinado, consumiendo su energía lateral por tener que superar las fuerzas gravitacionales, en teoría llegaría a una elevación donde el vehículo empezaría a bajar del muro debido a la fuerza de gravedad, obviamente, para este segundo caso hipotético, se tendría que contar con un muro de grandes proporciones, se podría además argumentar, que a un ángulo mayor con la horizontal, se necesitaría menos muro, pero que al seguir aumentando el ángulo,

la inclinación llegaría a ser tal, que tendería a volcar los vehículos, por ejemplo si el ángulo fuera de 75° , también debería ser obvio que a cierto ángulo, los vehículos no subirían el muro inclinado, más bien, chocarían con él, comportándose igual que el muro liso vertical.

Al ser impactados los perfiles New Jersey y "F" funcionan primero como un muro inclinado a 55° y después funcionan como un muro liso vertical, en el caso de la forma New Jersey, el muro inclinado sube verticalmente hasta un máximo de 33 cm, medidos de la superficie de rodamiento y a esa elevación, se convierte en un muro liso, casi vertical, a un ángulo de 84° , en el caso de la forma "F", la transición de muro inclinado a muro vertical ocurre a una elevación de 25.5 cm.

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

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

La altura donde se intersectan los dos planos, uno a 55° y el segundo a 84° , es crítica para el buen funcionamiento de estos perfiles, la diferencia de 7.5 cm de elevación entre el perfil New Jersey y el perfil "F" es importante, ya que en los años 70 y 80 se notó un incremento significativo del parque de vehículos pequeños, los cuales tendían a volcarse al impactar con el perfil New Jersey, un estudio basado en ensayos a escala real definió la elevación ideal para la intersección de los dos planos, se encontró que bajándolo de 33 a 25.5 cm, se limitaba el fenómeno del volcamiento de vehículos pequeños.

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

- Segmento inferior vertical

La sección inferior, de 7.5 cm de altura, está diseñada con un corte vertical por un requerimiento práctico del diseño general de estructuras de hormigón, en efecto, el ángulo de 55° podría iniciarse desde el pavimento mismo, pero esto generaría una zona débil en la estructura de hormigón, lo cual es subsanado por el plano vertical de 7.5 cm, la altura de 7.5 cm se determinó en base a numerosas pruebas, obteniéndose que éste era el valor máximo que evitaba un efecto negativo ante un impacto de un vehículo pequeño con neumáticos con muro lateral menor a 8 mm.

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

Al impactarse con el plano vertical de 7.5 cm el neumático se deforma, absorbiendo un componente de la energía lateral del vehículo.

- Segmento intermedio, inclinado a 55°

La función de este segmento es dividir la trayectoria del vehículo verticalmente, lo que se consigue con el impulso inferior a la rueda que impacta, de esta manera se logra absorber otro componente de energía lateral, convirtiéndola en energía horizontal, para la mayoría de los casos, este segmento provoca que el primer impacto del vehículo contra la barrera sea en las ruedas y no directamente en la carrocería, para impactos a un ángulo menor el vehículo podrá retomar su pista de circulación con daños menores o en muchos casos sin daños.

- Segmento superior, inclinado a 84°

Por último el segmento superior tiene la función de evitar que el vehículo sobrepase la barrera y es el último elemento responsable del redireccionamiento horizontal del vehículo, la mayor parte de la energía disipa por el roce entre el vehículo y la barrera que se produce en este tramo.

En relación a las dimensiones de esta barrera, es necesario tener presente lo siguiente:

1. La altura entre la superficie del pavimento adyacente a la barrera y el quiebre entre los planos de 84° y 55° nunca debe superar los 33 cm, (perfil New Jersey) y es aconsejable que no fuera menor de 18 cm.
2. La altura máxima del segmento inferior nunca debe superar los 7.5 cm, no hay límite inferior.
3. La altura mínima de la barrera se recomienda en 81 cm, sin límite superior.

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

Las pruebas se han realizado con todo tipo de vehículos, demostrando un comportamiento adecuado en el rango de 820 a 2,000 kg, ha demostrado también un comportamiento adecuado en la contención de autobuses, con un peso aproximado de 8,000 kg y en impactos moderados con un perfil de 81 cm.

Un perfil "F" con un altura de 1.07 m ha contenido de manera razonable un camión con remolque con un peso de 36,300 kg impactado a 15° y una velocidad de 84 km/h.

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

Por último, se debe mencionar que estos sistemas son usados más comúnmente como barrera central, sin embargo, también es adecuado en ubicaciones laterales, en este caso, se puede omitir la construcción del perfil simétrico en la parte superior, pero no debe asegurarse la

estabilidad estructural de la barrera o proveer los anclajes adecuados entre elementos y/o el suelo.

b) Muros verticales.

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

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

b.1) Muro vertical de hormigón

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

b.2) Muro vertical de mampostería de piedra

Este sistema es esencialmente similar al muro vertical de hormigón, con la diferencia que se recubre con mampostería de piedras planas con juntas de mortero, lo que presenta una apariencia rústica, lo cual tiene gran aceptación en vías panorámicas, de atractivo turístico o reservas naturales, cualquiera que sea el elemento de terminación exterior del muro, se deben evitar los diseños que contengan protuberancias o elementos irregulares que puedan enganchar o penetrar el vehículo, muchas veces su diseño complementa otros elementos de infraestructura como muros de contención de la plataforma del camino o bien como elemento de protección a la caída de rocas o materiales similares.

El muro vertical ha sido probado con un automóvil de 820 kg que impacta a 97 km/h y a 15°, y también con una camioneta de 1,950 kg a 97 km/h a un ángulo de 25°, en ambos casos el muro utilizado corresponde a superficie lisa de 69 cm de altura, este sistema, en general, no presenta problemas de resistencia en la contención de los vehículos, sin embargo, los daños que pueden sufrir los ocupantes de ellos pueden ser de consideración.

5.4.2 Transiciones

Las secciones de transición son necesarias para proporcionar la continuidad estructural y geométrica en la unión de dos sistemas de barrera distintos, un caso de especial atención para este tipo de uniones lo constituye la conexión de barreras flexibles y semirígidas con barreras de puentes, sistemas rígidos o cualquier otro elemento de mayor rigidez como un muro o un

pilar, en estos casos debe cuidarse de manera especial el proveer una transición gradual desde el punto de vista estructural.

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

El largo de una transición debe ser entre 8 y 12 veces la diferencia entre las deflexiones previstas para los elementos involucrados, por ejemplo, si un sistema flexible que tiene una deflexión prevista de 1.50 m debe unirse con un sistema semirígido con una deflexión prevista de 30 cm, entonces la longitud de la transición debe ser como mínimo de 10.0 m, con una rigidización gradual del sistema flexible.

5.5 GUIA DE SELECCIÓN

Una vez que se establece la necesidad de colocar una barrera lateral hay que seleccionar la más apropiada, de acuerdo a las características descritas en el punto 5.5.1, este proceso de selección es complicado y no existe en el mundo un criterio objetivo aplicable, no obstante, hay algunas pautas generales que pueden ayudar en el proceso de selección.

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

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

En la siguiente tabla se resumen los criterios que se deben tener en cuenta para la selección de una barrera:

Criterios	comentarios
Capacidad de la barrera	La barrera debe ser capaz de contener y redirigir los vehículos para los cuales fue diseñada
Deflexión de la barrera	La deflexión esperada no debe exceder el espacio disponible del terreno
Condición del lugar	La pendiente próxima al de emplazamiento de la barrera y la distancia desde la calzada, son factores que descartan la utilización de algunos tipos de barrera
Compatibilidad	La barrera debe ser compatible con los terminales seleccionados y tiene que ser capaz de lograr una transición adecuada con otros sistemas de barreras (como las barreras de puentes)
Costo	Los sistemas de barrera más comúnmente ocupados son consistentes con su costo, no así aquellos más complejos, donde el

	costo es significativamente mayor.
Mantenimiento Rutinario	Son pocos los sistemas que requieren un mantenimiento permanente significativo
Choque	Generalmente los sistemas flexibles y semi-rígidos requieren de mayor mantenimiento después de un choque, con relación a los sistemas rígidos
Almacenamiento de materiales	Mientras menor es el número de sistema distintos de barrearas, menor es el inventario de piezas de repuesto y también menor el espacio para almacenarlas
Simplicidad	Los sistemas simples ,además de su bajo costo, por lo general presentan menores errores de instalación y reparación
Condiciones estéticas	Ocasionalmente, la estética de la barrera es una consideración importante en su elección
Experiencia en terreno	El comportamiento y los requerimientos de mantenimiento de sistemas existentes deben ser monitoreados, para identificar los problemas que podrían ser minimizados o eliminados al seleccionar un sistema diferente

FUENTE: RDG de la AASHTO

5.5.1 Capacidad de la barrera

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

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

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

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

Se utilizara además una barrera rígida cuando se trate de una obra de paso o puente, donde las consecuencias de traspasar la barrera serian muy graves.

En cambio, se podrá utilizar una barrera flexible donde además de lograr la contención del vehículo solicitante, se consiga su adecuado redireccionamiento y además se cuente con el espacio suficiente para la deflexión de la barrera.

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

5.5.2 Deflexión de la barrera

Cada barrera tiene una deflexión esperada, la cual es una distancia que se define en pruebas de laboratorio, con ajustes posteriores luego de la evaluación en terreno.

La deflexión esperada para un determinado tipo de barreras nunca debiera superar el espacio disponible para esta acción.

Una vez definida la capacidad que requiere tener la barrera, será necesario examinar las características del sitio donde será instalada, si el terreno es amplio y proporciona el espacio suficiente para permitir una gran deflexión, ocasionando por consiguiente menores reacciones en el vehículo y en sus ocupantes, será entonces una barrera flexible la más conveniente.

Sin embargo, si el obstáculo del cual se requiere defender quedara muy cercano a la barrera, se requerirá un sistema de mayor rigidez, que evite la colisión del vehículo con éste cuando la barrera se deflece con el impacto, la mayoría de los sistemas semirígidos pueden rigidizarse en la zona de interés disminuyendo la distancia entre sus postes, con lo cual se reduce la deflexión de la barrera.

5.5.3 Condiciones del lugar

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

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

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

5.5.4 Compatibilidad

En general los organismos encargados del diseño, instalación y mantenimiento, prefieren tener en uso una limitada variedad de barreras de contención, por cuanto significa mejora: la

especialización en la mano de obra, tener un menor número de piezas diferentes tanto para los terminales como para los empalmes o transiciones con otro sistema.

Por consiguiente, se debe tratar de promover la uniformidad y versatilidad de las barreras seleccionadas al menos para un mismo camino, provincia, región o concesión.

En lo posible, se debe evitar el uso de dos sistemas diferentes en una misma instalación, cuando esto no sea posible, la recomendación general es que los elementos de unión, aparte de ser compatibles con los sistemas que unen, proporcionen un aumento gradual de resistencia o una disminución del ancho de trabajo, para pasar de la barrera menos resistente a la más resistente.

Existen diferentes tipos de dispositivos de empalme entre las más variadas tipologías de barreras, estos elementos son provistos por los fabricantes pero el proyectista debe cuidar de manera especial la compatibilidad estructural de los elementos y la factibilidad de instalación del mismo.

5.5.5 Costos y ciclo de vida.

En el tema de las barreras de contención, generalmente ocurre que el costo de adquisición aumenta medida que se incrementa su capacidad de contención, incrementándose con mayor velocidad en aquellos sistemas de alto rendimiento, no obstante, en estos casos los costos de mantenimiento suelen ser decrecientes.

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

5.5.6 Mantenimiento.

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

- Mantenimiento rutinario

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

En este punto es necesario distinguir el mantenimiento rutinario propio del elemento de contención y los efectos que la barrera puede producir en el entorno de su instalación, algunas tipologías de barrera favorecen la acumulación de basura, arena u otros materiales en el lugar donde se encuentran instaladas o bien favorecen el crecimiento de vegetación, con lo que obstruyen las obras de drenaje y visibilidad de los elementos, el mantenimiento asociado al

despeje y limpieza de las zonas donde están instaladas las barreras no se considera como mantenimiento de la barrera.

- Colisiones

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

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

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

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

- Almacenamiento y disponibilidad

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

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

- Simplicidad en el diseño

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

5.5.7 Consideraciones estéticas y ambientales

5.5.7.1 Aspectos estéticos

Normalmente los aspectos estéticos de una barrera no son decisivos en la selección de un sistema, sin embargo, en lugares de preocupación ambiental, áreas de recreo, bosques o parques conviene utilizar un sistema más compatible con ese entorno, en estos casos, es propicio seleccionar un sistema con una apariencia natural, armónica con el entorno, pero capaz de cumplir con su propósito de seguridad.

5.5.7.2 Aspectos medioambientales

En el caso de los ambientes salinos húmedos y zonas costeras en particular, el galvanizado funciona de manera adecuada, ya que en su descomposición se producen compuestos de óxido de zinc, los cuales no son solubles en agua, con estos se genera una capa protectora sobre la superficie, de esta manera, los ambientes salinos no se constituyen en los más agresivos para los elementos metálicos galvanizados.

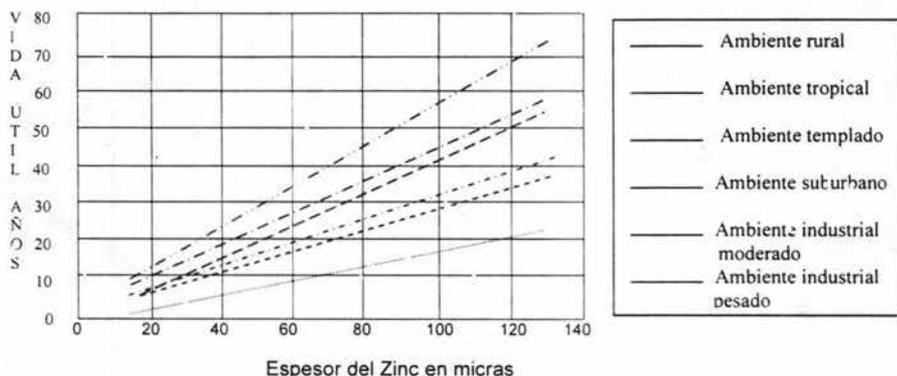
En presencia de ambientes industriales o corrosivos, ciertos tipos de barreras pueden ser rápidamente deterioradas.

Para barreras o elementos metálicos, galvanizados o no, ésta situación es muy sensible, particularmente, en ambientes industriales pesados, donde existen emanaciones de gases sulfurados o los elementos se encuentran en contacto con sales alcalinas o ácidos, se recomienda la instalación sólo de barreras metálicas recubiertas por resinas epóxicas, ya que el galvanizado se destruye fácilmente con la presencia de estos agentes.

En la siguiente gráfica se presentan las velocidades de corrosión en elementos metálicos galvanizados expuestos a diferentes ambientes, con estas velocidades de corrosión y el espesor del recubrimiento de zinc inicial, se puede estimar la vida útil de los elementos al estar expuestos a diferentes ambientes.

Corrosión de elementos metálicos galvanizados

Pérdida del recubrimiento del Zinc



FUENTE: B. Bosh, división galvanizado

5.5.8 Experiencia del terreno

La prueba final de un sistema es su comportamiento documentado de terreno, si un sistema funciona bien y no requiere un mantenimiento extraordinario no se justifica modificarlo

Es esencial contar con una retroalimentación hacia los proyectistas, basada en la experiencia de terreno, de forma de conocer los problemas o dificultades identificados tanto durante el proceso de construcción como durante el proceso de mantenimiento.

Si en una instalación se visualiza la necesidad de implementar una solución modificando cualquier elemento del diseño de un sistema, conviene consultar a especialistas con experiencia en esas modificaciones.

5.6 RECOMENDACIONES DE UBICACIÓN.

Las recomendaciones que aquí se señalan, se complementan con la información contenida en los esquemas tipo de instalación incluidos al final de este capítulo y con lo indicado en el punto 5.3 (Justificación para la instalación).

5.6.1 Emplazamiento lateral

La zona lateral despejada, tal como se describe en detalle en el capítulo 3, es un área transitable y libre de obstáculos, ubicada entre el borde de la calzada y los elementos laterales como barandales de puentes, muro de contención, árboles, cercos, barreras y cualquier otro obstáculo, es un requisito de diseño en las carreteras de EE. UU. y sus dimensiones mínimas son establecidas en los manuales de diseño, las variables que se consideran para definir el ancho de la zona despejada son, principalmente las características operacionales y geométricas de la vía.

Este criterio ofrece al conductor que ha perdido el control sobre su vehículo, más espacio lateral transitable para redireccionarse o detenerse sin tener que impactar la barrera u otro objeto fijo.

En el caso de que no se pueda materializar la zona despejada, por la presencia de obstáculos que no se pueden remover, se deben proveer las condiciones de seguridad adecuadas mediante la instalación de barreras y/o elementos térmicos.

Un concepto complementario a la zona despejada, pero de naturaleza diferente, es la recomendación de la distancia más próxima a la que pueda utilizarse un objeto, ya sea este peligroso o no, un alejamiento de los elementos laterales refuerza la seguridad de la carretera, ya que reduce la preocupación del conductor por la proximidad de éstos y no reduce la capacidad de la vía, la distancia entre el borde de la calzada, más allá de la cual un objeto no es percibido como un obstáculo y no ocasiona que el conductor reduzca la velocidad o cambie la posición del vehículo en la vía, se conoce como "distancia de preocupación", esta distancia varía según la velocidad de diseño de la carretera, tal como se ilustra en la tabla 5.6.1.a los valores deben ser tomados sólo como referencias, ya que están basados en las reacciones de los conductores estadounidenses, siendo esperable que para la realidad mexicana estos sean menores considerando que las velocidades del tránsito son menores.

Tabla 5.6.1.a Valores sugeridos para la "distancia de preocupación"

Velocidad de diseño (Km/h)	Distancia de preocupación L (m)
130	3.70
120	3.20
110	2.80
100	2.40
90	2.20
80	2.00
70	1.70
60	1.40
50	1.10

Fuente: RDG de la AASHTO

Para evitar reacciones impredecibles por parte del conductor, una barrera lateral debiera ser emplazada más allá de la distancia ilustrada en la tabla 5.6.1.a sobretodo para situaciones aisladas o barreras de corta longitud, para casos de barreras de mayor largo, las mencionadas distancias de desplazamiento lateral no son críticas, especialmente si la barrera comienza más allá de las distancias indicadas en la tabla y se acercan gradualmente a la vía.

Un factor crítico, tanto en la elección de un sistema de barreras como en su emplazamiento, es la distancia que este necesita par su deflexión durante un impacto, la lamina 5.6.1.b ilustra dos situaciones básicas donde la distancia necesaria para la deflexión debe ser considerada, si se trata de un obstáculo rígido, el ancho de trabajo "W" característico de la barrera, debe ser tal que, si eventualmente la barrera es impactada por un vehículo, este no choque con él, si la barrera es impactada por un vehículo con un centro de gravedad relativamente alto, este puede rodar e impactar al objeto aun cuando la distancia de deflexión dinámica "D" sea la adecuada, este factor debe ser considerado especialmente si por el lugar donde se emplaza el elemento de contención, circulan una cantidad considerable de vehículos de mayor tamaño que los móviles livianos, tales como camionetas tipo Van o camiones, (se recomienda ver las definiciones de ancho de trabajo "W" y deflexión dinámica "D" definidas en el capítulo 4)

En algunos casos, el espacio disponible entre la barrera y el obstáculo no es el adecuado, por lo cual se debe aumentar la rigidez de al barrera a medida que se acerca al objeto, los métodos comúnmente usados para disminuir la deflexión en sistemas flexibles o semirígidos son reducir el espacio entre postes, incrementar la sección de los postes mediante la incorporación de placas, anclajes intermedios o aumentar la rigidez de la viga, los efectos de la reducción del espacio entre postes en la reducción de la deflexión del sistema de barreras se muestra en la tabla 5.7.1.b para la interpretación de estos resultados debe tenerse en cuenta que se trata de una modelación teórica, en la cual no se ha especificado el tipo de poste a utilizar y tampoco la utilización del bloque separador, por lo tanto, los valores de la tabla son referenciales y solo se pueden utilizar como una relación comparativa entre diferentes situaciones.

Tabla 5.6.1.b Deflexiones máximas

Prueba No	Espacio entre postes (mm)	Tipo de viga	Angulo de impacto	Deflexión máxima
1	1905	Perfil W simple	15	589
2	1905	Perfil W simple	25	907
3	952	Perfil W simple	15	389
4	952	Perfil W simple	25	541
5	952	Perfil W simple	15	358
6	952	Perfil W simple	25	437
7	476	Perfil W simple	15	***
8	476	Perfil W simple	25	320
9	1905	Perfil triple onda simple	15	488
10	1905	Perfil triple onda simple	25	716
11	952	Perfil triple onda simple	15	386
12	952	Perfil triple onda simple	25	480
13	952	Perfil triple onda simple	15	333
14	952	Perfil triple onda simple	25	414
15	952	Perfil triple onda simple	15	***
16	476	Perfil triple onda simple	25	353
17	476	Perfil triple onda simple	15	***
18	476	Perfil triple onda simple	25	307

FUENTE: RDG de la AASHTO. Los resultados corresponden a una simulación computanzada, realizada con un vehículo tipo sedán de 2.000 kg a 97 Km/h.

Si se necesita emplazar una barrera en el borde de un terraplén, se debe asegurar una distancia suficiente para proveer al sistema de apropiadas características operacionales, sin embargo, resultados de pruebas realizadas indican que la distancia al borde del terraplén a la que se debe ubicar la barrera, no es crítica como en el caso de los obstáculos laterales, una distancia de 60 cm como se muestra en la lamina 5.7.1.b es la necesaria para un adecuado soporte de los postes, pero dicha distancia está muy relacionada con la pendiente del terraplén, su recubrimiento, el tipo de suelo, las condiciones esperadas de impacto y la sección transversal de los postes, por lo tanto debe ser estudiada para cada caso en particular.

5.6.2 Efectos del terreno

El buen comportamiento del sistema de barreras se producirá si al ser impactado, el sistema de suspensión del vehículo causante del choque no experimenta variaciones significativas, es decir, no se comprime ni eleva y sus neumáticos no se despegan del suelo, esto sin importar el tipo de barrera usada o el modelo o tamaño del móvil, las condiciones del terreno, entre la calzada y la barrera, pueden tener efectos significativos en el comportamiento del vehículo inmediatamente antes del impacto y esto afectará el comportamiento de la barrera.

5.6.2.1 Soleras y cunetas

Cuando un vehículo pasa por sobre una cuneta o solera, la trayectoria que toma éste va a depender de muchas variables: tamaño y masa del móvil, las características de su sistema de suspensión, la velocidad y el ángulo a los cuales se produce el impacto y la geometría de la cuneta o solera (ancho, profundidad y alto).

La experiencia en ensayos de choques muestra que debe evitarse las combinaciones de alta velocidad, un elevado ángulo de impacto y una barrera sobre una solera, cuando no exista alternativa, ha resultado satisfactorio el uso de soleras con una profundidad de hasta 1.00 m. Otra posibilidad es de rigidizar la barrera para reducir su deflexión, fijar una placa, pretina o viga por detrás de los postes, otro método consiste en agregar un perfil o viga inferior sin bloque separador, a una altura aproximada de 30 cm en vías de baja velocidad, aun existe el riesgo que el vehículo sobrepase la barrera, sin embargo, este es mucho menor y no amerita un cambio en el diseño, ya que podría no ser rentable desde el punto de vista económico, lo recomendado es el análisis de cada caso por parte de un especialista y prever las consecuencias que podría tener un impacto.

5.6.2.2 Pendientes

La mayor parte de los sistemas de barreras se someten a pruebas en terrenos planos, cuando una barrera es colocada sobre pendientes más espinadas que 1:10 los estudios han mostrado que para ciertos ángulos y velocidades de salida de la vía, un vehículo puede sobrepasar la barrera o impactarla muy abajo.

Cuando un vehículo deja la calzada, cruza la berma y comienza a bajar por el bordo del terraplén la trayectoria que sigue es irregular, debido al sistema de amortiguación (esto es, sube y baja) por lo tanto la distancia de emplazamiento, de una barrera debe ser tal que permita al móvil estabilizarse e impactarla con sus cuatro neumáticos tocando el suelo y con el sistema de suspensión en condición normal, con lo que se está evitando un probable volcamiento.

5.6.3 Efectos del esviaje

Una barrera es considerada esviada cuando no es paralela al borde de la calzada, este esviaje es usado normalmente para que el terminal quede lo más alejado posible de la vía, además de minimizar la percepción de angostamiento del conductor frente a un obstáculo cercano a la vía, como pueden ser las barreras de puentes.

Una desventaja de esta aplicación es que un gran esviaje incrementa el ángulo al cual se podría producir un eventual impacto, al crecer el ángulo de impacto, la severidad de éste también aumenta, particularmente en sistemas rígidos y semirígidos, una segunda desventaja radica en que si el vehículo impacta la barrera, al ser redireccionado incrementa la posibilidad que éste cruce toda la calzada, factor preponderante en el caso de vías bidireccionales, ya que puede ocurrir una colisión con el móvil que se mueve en sentido contrario.

No obstante lo anterior, el concepto del esviaje para iniciar una barrera presenta dos virtudes importantes, primero, minimiza el peligro que representa el terminal de una barrera y segundo puede ser más económico que el terminal paralelo lateral a la vía, en la tabla 5.7.3 se señalan los esviajes máximos en función a la velocidad de la vía y el tipo de barrera a usarse, en términos generales, esviajes de menor ángulo resultan ser de menor peligro, pero siendo más largos son más costosos.

Tabla 5.7.3 Esviajes recomendados

Velocidad de diseño	Esviaje barrera rígida	Esviaje barrera semirígida
110	20:1	15:1
100	18:1	14:1
90	16:1	12:1
80	14:1	11:1
70	12:1	10:1
60	10:1	8:1
50	8:1	7:1

Fuente: RDG de al AASHTO

5.6.4 Longitud requerida

La longitud requerida (L) está definida como el largo necesario de barrera para proteger al usuario de la vía de algún obstáculo adyacente, esta queda determinada por la longitud del obstáculo más la longitud de aproximación de entrada (L1) y de salida (L2), las cuales aseguran la suficiencia estructural del sistema de contención, se debe agregar además la longitud de los terminales de inicio y término.

La longitud de aproximación queda definida como la distancia mínima requerida para que un vehículo que salga de la vía inmediatamente antes del inicio de la barrera y siga su recorrido tras ella, no colisione el obstáculo.

En relación a la longitud requerida para una barrera ante la presencia de un terraplén, evidentemente esta será al menos equivalente a la totalidad del tramo que se requiere proteger, más los términos correspondientes, cuando el tramo está flanqueado por cortes, es recomendable siempre extender la barrera hasta éstos y empotrar el terminal en su talud.

5.7 ACTUALIZACIÓN DE SISTEMAS

No será posible ni sería prudente reemplazar todos los sistemas de contención instalados en el país bajo conceptos inadecuados de diseño, no obstante, conviene contar con algunas guías para lograr una mejoría estratégica de los sistemas existentes.

Basado en situaciones similares en otros países se recomienda aplicar las siguientes políticas:

- Modernizar cualquier instalación ubicada dentro de los límites de un proyecto de construcción.
- Modernizar cualquier instalación ubicada en zonas de alto índice de accidentes, donde no hayan funcionado adecuadamente los dispositivos existentes.
- Modernizar cualquier tramo de barrera metálica que ha sufrido daños en más del 50% de su largo total.
- Modernizar los sectores dañados de longitud superior o igual a 40.0 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 impactada, se deben conectar el tramo con el inmediatamente anterior si estos están a menos de 40.0 m y si tal conexión no causara algún inconveniente, por ejemplo, entradas a predios, de no ser posible esta primera opción, se debe modernizar el terminal con el siguiente criterio:
 1. De existir un talud de corte apropiado, enterrar el terminal en dicho talud.
 2. Instalar un terminal apropiado (comercial).
 3. En vías de 70 Km/h o menos abatir el terminal.

Hay que inspeccionar las instalaciones modernas tanto del punto de vista estructural como del punto de vista funcional, a continuación se listan algunas de las consideraciones de dicha inspección:

Tabla 5.8 Listado para la inspección de barreras laterales

I CAPACIDAD ESTRUCTURAL	a.- Sección longitudinal <ol style="list-style-type: none"> 1.- Diseño de la barrera 2.- Un correcto espacio entre postes 3.- Separadores en sistemas con postes semirígidos 4.- Empalmes adecuados
	b.- Terminales <ol style="list-style-type: none"> 1.- Diseño del terminal 2.- Anclaje adecuado
	c.- Transiciones <ol style="list-style-type: none"> 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
II CAPACIDAD FUNCIONAL	a.- sección longitudinal <ol style="list-style-type: none"> 1.- Longitud adecuada para la protección de los usuarios de la vía de algún obstáculo fijo 2.- Altura apropiada de la barrera

	<p>3.- Esviaje apropiado</p> <p>4.- Verificar que la distancia del obstáculo fijo a la barrera no exceda la distancia de deflexión máxima del sistema usado.</p> <p>5.- Verificar emplazamientos de barreras detrás de soleras</p> <p>6.- Verificar emplazamientos de barreras en pendientes</p>
	<p>b.- Terminales</p> <p>1.- Verificar que exista una zona despejada detrás del terminal</p> <p>2.- Verificar la correcta instalación y condición actual de los terminales, por ejemplo que éstos no se coloquen en sistemas con sección terminales esviadas</p>

Fuente: RDG de la AASHTO

BARRERAS CENTRALES
(CAPITULO 6)

6.- BARRERAS CENTRALES

6.1 ASPETOS GENERALES

Las barreras centrales, son aquellos elementos ubicados en la mediana de una carretera y su función es separar pistas de tránsito en sentido contrario, un caso particular de las barreras centrales son aquellas que dividen pistas en el mismo sentido de tránsito y por lo tanto son utilizadas como elementos canalizadores.

En ambos casos, la información considera las barreras cuya disposición permita que sean impactadas por ambos lados de su eje central, de acuerdo a este caso y salvo consideraciones especiales para el diseño de la mediana, todas las barreras ubicadas en el mediana que estén materializadas con disposición de barreras laterales, deben ser tratadas como tal, de acuerdo a lo indicado en el Capítulo 5.

Las medianas se colocan en las carreteras que por su condición presentan una situación de riesgo natural ya que en ellas se presentan dos condiciones de riesgo permanente, la primera esta relacionada con la alta probabilidad de que un vehículo que abandona su pista de circulación, por su costado izquierdo, impacte frontalmente a otro que circula en sentido contrario, de este tipo de accidentes se esperan normalmente consecuencias muy graves y un alto número de vehículos involucrados, la otra situación de riesgo en las carreteras que es relacionada con la instalación de las medianas, es evitar el giro de los vehículos en U, utilizando el carril izquierdo como zona de estacionamiento o como zona de parada intermedia en el viraje.

Las barreras centrales se constituyen en un elemento de apoyo al diseño, que permite definir de manera precisa las características de operación de la vía e impedir que sobre la mediana se realicen maniobras de riesgo.

6.2 REQUISITOS GENERALES.

Los requisitos para una barrera de mediana son similares a los indicados para las barreras laterales, por consiguiente, la primera condición que justifica su instalación responde a la mayor gravedad que tendría un accidente en su ausencia.

Para las medianas con anchos mayores a 10.0 m no se recomienda la instalación de barreras centrales, salvo que estas sean justificadas por motivos operacionales o por la estadística de accidentes.

Es característico de las medianas las limitaciones de espacio y, por ello, se debe poner especial atención en el ancho de trabajo de las barreras a utilizar, también es necesario destacar que las barreras centrales, generalmente, tienen disposiciones dobles o simétricas, por lo tanto, su ancho de trabajo es, normalmente, menor al de las barreras laterales en el misma tipología.

Los requisitos de funcionamiento para las barreras centrales son idénticos a los indicados para barreras laterales, como esta establecido en el Capítulo 5.

6.3 JUSTIFICACIONES PARA LA INSTALACION.

Como todos los tipos de barreras de contención, una barrera central debe ser instalada sólo si el impacto con la barrera podría traer consecuencias menos severas a las que se ocasionarían si la barrera no hubiese sido colocada.

El principal problema que se presenta en nuestra red vial respecto al tema de las medianas, es la conducta irresponsable que tienen algunos usuarios al no respetar la señalización que prohíbe los cruces y los virajes en "U", ante esta situación se recomienda instalar barreras en todos los casos, a excepción que exista algún otro obstáculo que impida estos movimientos.

Las barreras centrales son instaladas en algunas ocasiones cuando se tienen volúmenes de tráfico altos y no existe control de acceso, en estos casos es frecuente contar con intersecciones interrumpiendo la continuidad de la barrera, situación que siempre debe ameritar la instalación de elementos terminales, de cualquier forma, es necesario tener presente que tanto los terminales como las barreras pueden limitar la visibilidad, lo que puede ser un problema significativo en estas intersecciones.

Se debe tener especial consideración con los requerimientos de barreras para las fajas centrales que separan carreteras que se encuentran a desnivel, la posibilidad de que un conductor con su automóvil fuera de control, que ha abandonado la vía del nivel superior regrese al camino o se detenga disminuye a medida que la diferencia de elevación se incrementa, así, el potencial de accidentes por atravesar la faja separadora central aumenta, en dichas secciones, para establecer la necesidad de la barrera, el criterio de zona despejada dado lo anterior debe ser utilizado como guía.

6.4 CRITERIOS GENERALES DE SELECCIÓN.

Así como en el caso de las barreras laterales, la mayoría de las barreras centrales han sido desarrolladas, probadas e instaladas con la intención de contener y redireccionar vehículos livianos, no obstante lo anterior, existen situaciones donde es necesario contener vehículos pesados, por lo que también se han diseñado e instalado barreras centrales de alto nivel de contención, que tienen ventajas significativas respecto a los diseños comúnmente usados, los factores más frecuentemente considerados para llegar a la decisión de utilizar tales barreras incluyen:

- Número importante de vehículos pesados.
- Geometría adversa (curvatura horizontal).
- Consecuencias severas si un vehículo o su carga ingresan a las pistas contrarias.

6.5 CARACTERISTICAS OPERACIONALES Y ESTRUCTURALES DE DISEÑOS TIPO.

Es importante identificar los sistemas de barreras centrales más utilizadas y las características operacionales y estructurales de las mismas, a continuación se presentan estos sistemas, que se han subdividido en secciones continuas, terminales y transiciones.

6.5.1 Secciones continuas.

Al igual que las barreras laterales, las barreras centrales se pueden clasificar como flexibles, semirígidas o rígidas.

6.5.1.1 Barrera flexible central de cable de acero triple.

Esta barrera flexible es, la misma descrita en la sección 5.5.1.1 del capítulo de barreras laterales, excepto que cuando se utilizan en una faja separadora central, uno de los tres cables debe ser instalado en el lado opuesto respecto de los otros dos cables, al ser impactadas por un vehículo, los cables tienden a generar ranuras en la carrocería de éste, las que sirven de guía, limitando la posibilidad de que el vehículo pase por encima o debajo del sistema.

Una barrera hecha de cables debe ser utilizada solamente si existe la disponibilidad de ancho tras ella para permitir 3.0 m de ancho de trabajo, es por eso que el ancho de la faja central debe ser por lo menos de 6.0 m, si la barrera está en el centro y su emplazamiento se realiza en una pendiente transversal moderada (menor que 15%).

Para un comportamiento adecuado de este sistema, se debe tener especial cuidado en su instalación y mantenimiento, debiendo asegurar que el dispositivo esté siempre lo más cercano posible a los parámetros de diseño.

El sitio de emplazamiento de la barrera debe ser en lo posible plano, sin ninguna cuneta o zanja, se debe tener mucho cuidado con los anclajes en los extremos, los cuales deben instalarse siguiendo fielmente las especificaciones del fabricante, la experiencia dice que este tipo de barrera ha sido generalmente efectiva, tanto para los vehículos grandes como para los pequeños, cuando se han dispuesto con las siguientes alturas de los cables: el cable inferior a 54 cm, el cable superior a 84 cm y el cable central a 69 cm sobre el nivel del suelo.

La barrera de cable es de costo relativamente bajo, pero debe ser reparada inmediatamente después de cada choque para mantener su efectividad, no es recomendable su utilización en áreas donde es probable que sea impactada frecuentemente, tampoco es recomendable su colocación en curvas cerradas o sucesivas y en zonas con alto volumen de tráfico de camiones.

6.5.1.2 Barrera flexible de perfil doble onda simétrica, poste débil.

Este sistema, es similar al de la barrera flexible lateral, descrita en la sección 5.5.1.2, excepto que se usan dos vigas colocadas en simetría respecto al poste, las cuales se disponen normalmente a mayor altura, máximo a 84 cm.

Este dispositivo es más sensible a las variaciones de altura que la barrera de cable y no debe ser utilizada como barrera central en terrenos con topografía irregular, debido a que la barrera de doble onda no logra generar las ranuras o guías en la carrocería del vehículo, si no se emplaza a la misma altura que el parachoques, la probabilidad de ser sobrepasada o pasar por debajo de la barrera se incrementa, especialmente si el impacto es más alto o bajo que el rango normal, por esto, es recomendable utilizar este sistema en fajas separadoras centrales planas, sin cuneta o zanjas que pudieran afectar la trayectoria del vehículo, no debe utilizarse en zonas donde la erosión de la berma sea tal que altere la altura de montaje de la barrera, también son de suma importancia los anclajes al inicio y fin del sistema.

6.5.1.3 Barrera semirígida de perfil doble onda simétrica, poste rígido con separador.

La barrera de doble onda con separador, montada en postes de acero o madera, ha sido muy usada para prevenir accidentes ocasionados por el cruce de vehículos en fajas centrales relativamente angostas, dado que estos sistemas semirígidos tienen anchos de deflexión entre 0.6 y 1.2 m, han sido utilizados en fajas centrales de aproximadamente 3.0 m de ancho o más.

Reconociendo el peligro inherente de accidentes debido al cruce de vehículos por la faja central, los diseñadores especifican alturas de montaje de 76 cm, más altas que las utilizadas para las barreras laterales, con el fin de minimizar los problemas de enganchamiento en los postes en los montajes altos, en ocasiones se agrega un elemento adicional, que consiste en un perfil canal instalado a 35 cm de altura, las barreras centrales "W" de poste rígido, generalmente ocasionan una reacción al impacto más fuerte para los vehículos y sus ocupantes que los sistemas flexibles, pero usualmente no requieren reparación inmediata para continuar funcionando.

6.5.1.4 Barrera semirígida de perfil triple onda simétrica, poste rígido con separador.

Este sistema es similar en muchos aspectos al de la barrera central doble onda con separador, sin embargo cubre un mayor rango de tamaños de vehículos debido a que se incrementa la altura de la viga, la deflexión de estas barreras está en el rango de 30 a 90 cm y su altura de montaje típica es de 81 cm.

El funcionamiento de las barreras centrales de triple onda puede ser mejorado significativamente utilizando bloques separadores modificados (ver punto 5.5.1.6) en una prueba de impacto real, esta barrera se mostró capaz de contener y redireccionar a un camión de 18,000 kg, a 80 km/h y un ángulo de impacto de aproximadamente 15°, pero la barrera se fracturó y el camión volcó sobre ésta.

6.5.1.5 Barrera semirígida de perfil triple onda simétrica, poste rígido con separador europeo.

La viga utilizada en este sistema corresponde exactamente a la usada en el sistema de barreras laterales, descrito en la sección 5.5.1.7.

Existen varias configuraciones de este tipo de barreras, destacándose una de alto poder de contención cuya altura de montaje es de 1.18 m, con postes cada 1.333 m y dos rieles inferiores (perfil canal), el primero a 35 cm de altura y el segundo a 60 cm de altura, el separador es doble con 1.00 m de ancho total y 50 cm de alto aproximadamente.

En pruebas de impacto, este sistema de barreras tuvo un comportamiento satisfactorio al contener y redireccionar un camión con acoplado de 38,000 kg, que se impactó con un ángulo de 20° a 65 km/h, la clasificación de este sistema de acuerdo al Reporte 350 de la NCHRP es TL5.

6.5.1.6 Barreras rígidas de perfil de hormigón.

Un perfil de hormigón, como barrera central, es el sistema de contención rígido más común actualmente, su popularidad se debe a su bajo costo, efectivo funcionamiento y que prácticamente no necesita mantenimiento, la experiencia ha señalado que se obtiene un

redireccionamiento exitoso para distintas combinaciones de camiones en impactos a ángulos menores que 10 grados.

Las investigaciones han demostrado que las variaciones en el perfil de la barrera de hormigón pueden ser un efecto significativo en su funcionamiento, tal como se analiza detalladamente en el punto 5.5.1.9 la variable crítica es la altura desde la superficie de rodamiento al quiebre entre la pendiente superior y la inferior, si esta altura es mayor a 33 cm se incrementan las probabilidades de que el vehículo sufra un vuelco, particularmente para automóviles livianos y medianos, los tipos básicos de barrera son New Jersey y perfil "F", ambos tienen una altura normal de 81 cm, esto incluye una provisión de 7.5 cm, por futuros aumentos del espesor del pavimento, reduciéndose la altura a 7.35 cm como valor mínimo admisible.

Las investigaciones del Departamento de Transportes de California, en EE.UU., han demostrado que una cimentación de hormigón no es necesaria, éste puede ser colado directamente sobre concreto asfáltico, sobre hormigón solidario al pavimento o sobre un agregado de base bien compactado, esta investigación reveló, así mismo, que no se registraron resultados adversos en el funcionamiento de la barrera cuando las grietas de contracción o juntas espontáneas en el hormigón, ligeramente armado, se formaron a intervalos irregulares y en distintas direcciones, el refuerzo longitudinal, en la porción superior de la base de la barrera, sirve para controlar el tamaño y el esparcimiento de los fragmentos de hormigón que pudieran resultar después de un impacto severo a la barrera.

Varios estados norteamericanos utilizan barreras de hormigón no reforzado, la presencia de grietas menores a 2 mm no ha afectado la resistencia operacional de las barreras de concreto, como tampoco se han suscitado fracturas cuando el espesor del coronamiento de la barrera es de por lo menos 30 cm.

Las barreras centrales de hormigón pueden ser fabricadas con moldes deslizantes, prefabricadas o fabricadas en sitio con moldes fijos, las barreras fabricadas con moldes deslizantes tienen mayores beneficios en costo y efectividad, ya que pueden ser colocadas en largos tramos, sin interrupciones, es importante mencionar que existe equipamiento disponible para colocar las barreras fabricadas con moldes deslizantes en zonas con elevación variable, como es el caso de islas centrales con sección transversal escalonada, siempre y cuando la diferencia de elevación entre carreteras adyacentes no sea mayor a 90 cm.

Las barreras prefabricadas son ocasionalmente utilizadas como alternativa de las barreras fabricadas con moldes deslizantes y son, generalmente, instaladas donde se requiere que las barreras centrales sirvan para proteger objetos tales como pilares de puentes o soportes de señales elevadas, las barreras fabricadas en sitio es el método más versátil, debido a que su forma puede ser moldeada para ajustarla a situaciones que no sean muy típicas.

La barrera de hormigón de pared vertical puede ser una alternativa efectiva a las barreras de hormigón más anchas, ya que se puede maximizar el ancho disponible de berma en las medianas estrechas, como por ejemplo frente a pilares de puentes, el daño a los vehículos debido al impacto con paredes verticales es mucho más grande que con las barreras de perfiles inclinados, sin embargo, los heridos que causan son comparables y el aumento del ancho de la berma es un beneficio en cuanto a seguridad.

Un caso especial de las barreras centrales de hormigón se refiere a las barreras móviles, que son trasladadas lateralmente por medios mecánicos o semi automáticos, uno de estos diseños es el sistema conocido como Barrera Movable "Quick Change", la cual se compone de una cadena de segmentos de barrera de hormigón con un perfil "F" modificado, los segmentos de hormigón armado, de 94 cm de largo, con bisagras especiales, son fácilmente desplazados lateralmente, la parte superior de cada segmento incluye un elemento en "T" que permite a un vehículo especial levantarla y desplazarla lateralmente entre 1.2 y 1.5 m.

El sistema ha sido exitosamente ensayado con un vehículo de 2,300 kg a 90 km/h y a un ángulo de 25° el ensayo resultó en una deflexión de 1.5 m.

El comportamiento estructural de esta barrera es similar a los perfiles tradicionales de hormigón tipo New Jersey o tipo "F" las características funcionales del sistema requieren que el diseño de la vía donde se utilice, contemple una configuración adecuada de pistas, que permita la implementación de reversibilidad en el tránsito.

Este producto se ha mostrado como una herramienta muy útil para optimizar vías urbanas de tránsito de alta direccionalidad, encontrándose en uso en varios países asiáticos. Australia, Brasil, E.E.UU. y en Europa.

6.5.1.7 Pretilos de tierra

Los pretilos de tierra se utilizan en lugar de una barrera lateral o central para proteger fundamentalmente cepas de puentes, estos son formaciones de tierra con forma de tronco piramidal o montículo, capaces de contener a vehículos que lo impactan, la lámina 6.5.1.7 muestra un dibujo esquemático de este diseño, los promedios de altura y pendiente indicados en la lámina no son fijos, pudiendo ser más suaves cuando el espacio así lo permita, no son recomendables alturas superiores a 3.00 m y los valores para la pendiente de sus taludes no deben sobrepasar la proporción 1:3 (V:H).

Es muy importante que el pretil de tierra vaya adquiriendo su forma gradualmente, de manera que no se convierta en un obstáculo para un vehículo fuera de control. Así mismo, el diseñador debe reconocer que las capacidades de redireccionamiento de los pretilos de tierra son bajas a lo largo de la mayoría de su longitud y, no deben ser utilizados donde exista una alta probabilidad de impactos a ángulos grandes (como en la parte exterior de curvas horizontales) o, donde el paso del vehículo más allá del pretil de tierra pudiera tener consecuencias más severas que si este no estuviera.

Junto al pretil se requerirá un sistema de drenaje para la berma, el cual podrá ser una cuneta de sección suave y redondeada, de manera de evitar un salto brusco del vehículo cuando este impacte el talud, en general, será conveniente proteger el contorno del pretil con pasto o vegetación muy baja, con el objeto de evitar la formación de erosiones y dar una apariencia estética adecuada.

6.5.2 Terminales

El impacto con el extremo de una barrera de acero podría resultar en la penetración del perfil al comportamiento de pasajeros de un vehículo o que éste frene abruptamente, el impacto con el extremo de una barrera central de hormigón, que no ha sido correctamente diseñada, podría dar como resultado fuerzas de reacción al impacto intolerables, el diseño eficiente contra

impactos del extremo de una barrera central es esencial si éste se sitúa en zonas donde es vulnerable a choques frontales de alta velocidad.

Para que un terminal cumpla su función, no deberá atravesar, enganchar o catapultar el vehículo y la desaceleración de éste no deberá sobrepasar los límites recomendados, para impactos cercanos al extremo de una barrera central, el elemento terminal debería contar con las mismas características de redireccionamiento del resto de su largo y, debería estar debidamente fijado y con capacidad de desarrollar en su totalidad la fuerza de tensión del sistema, independientemente de su configuración como terminal, esto es fundamental en sistemas flexibles o semirígidos.

Al usar barreras centrales en vías de doble calzada que no cuenten con un control de acceso, se generan extremos de barreras en los cruces de la mediana, los cuales representan un peligro, por esta razón se debe siempre intentar minimizar el número de éstos y en los que permanezcan se debe efectuar un tratamiento del terminal.

Cuando deban proveerse pasos de emergencia o de servicio éstos deben estar dispuestos idealmente sobre tramos rectos, estos pasos deben tener una longitud mínima de 20.00 m y deben ser controlados mediante barreras de contención desmontables, portones corredizos de acero u otro elemento de fácil remoción y que no signifique riesgos a los usuarios.

Las barreras desmontables deben proyectarse de tal manera que su remoción y recolocación sea rápida y simple, se recomienda un diseño que considere dos etapas de operación, la primera que permita un desmontaje inmediato de un tramo para el paso de un vehículo de emergencia (basaría con 4.00 m de longitud en esa condición) y la segunda, la remoción del resto de la barrera en un tiempo prudente, a manera de dejar habilitado el paso completo.

A continuación se describen algunos de los elementos terminales que se pueden utilizar en barreras centrales.

6.5.2.1 Terminales esviados.

En medianas con anchos importantes algunas veces el extremo de la barrera puede ser colocado alejado del tráfico, bajando con esto el riesgo para el usuario, sin requerir elementos adicionales de seguridad.

Para iniciar una barrera el concepto del esviaje presenta dos virtudes importantes, primero, minimiza el peligro que representa el terminal de una barrera y segundo, puede ser más económico que un terminal paralelo lateral a la vía.

En la tabla 6.5.2.1 se señalan los esviajes máximos recomendados por la AASHTO en función a la velocidad de la vía y el tipo de barrera a usarse, en términos generales, esviajes de menor ángulo resultan ser de menor peligro, pero requerirán ser más largos y por ende más costosos.

Tabla 6.5.2.1 Esviajes de extremos terminales.

Velocidad de diseño	Esviaje barrera rígida	Esviaje barrera semi-rígida
110	20:1	15:1
100	18:1	14:1
90	16:1	12:1

80	14:1	11:1
70	12:1	10:1
60	10:1	8:1
50	8:1	7:1

FUENTE: RDG de la AASHTO

6.5.2.2 Terminales abatidos.

Este tipo de diseño intenta primordialmente eliminar los accidentes debido a la penetración de la viga dentro del comportamiento de pasajeros, sin embargo, un diseño abatido puede funcionar como rampa, ocasionando que el vehículo salte o se vuelque, por lo cual, su utilización deberá ser restringida a situaciones de baja velocidad o en lugares donde sean poco probables los impactos en los terminales.

6.5.2.3 Terminales esviados y abatidos.

Combinando los dos diseños anteriores, el terminal de una barrera central puede ser ubicado donde sea poco probable que sea impactado, lo que representa una importante ventaja respecto a algún otro tratamiento de este punto.

6.5.2.4 Terminales con pretil de tierra.

Utilizar un pretil de tierra para dar inicio o término a una barrera central es esencialmente lo mismo que abatir el extremo de la sección, el diseñador debe tener claro que al colocar un pretil de inicio gradual, éste tendrá baja capacidad de redireccionamiento y la probabilidad que un vehículo fuera de control atravesase hacia la calzada de sentido contrario de tráfico sería bastante alta, esta no es una solución recomendable para tratamientos de terminales en barreras centrales ubicadas sobre medianas de ancho reducido.

6.5.2.5. Terminales empotrados.

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

6.5.2.6. Extremos con amortiguadores de impacto.

Las discontinuidades en las barreras de la mediana son punto de alto riesgo, estas discontinuidades se producen por la necesidad de materializar paradas de emergencia, cambios de pistas o eventualmente virajes.

En general, se recomienda que para todas las carreteras con velocidades de diseño mayores a 70 km/h, las discontinuidades en la barrera o los inicios de un tramo de barrera central sean tratados con un elemento amortiguador de impacto o un tratamiento terminal adecuado, como lo describe el Capítulo 8.

En zonas urbanas y vías con velocidades de operación menores a 70 km/h se recomienda utilizar los tratamientos terminales descritos en el Capítulo 8, sin la utilización de amortiguadores de impacto.

6.5.3 Transiciones.

Los segmentos de transición son necesarios para unir barreras que tienen una significativa diferencia, o en su forma de perfil, o en sus características de deflexión, como por ejemplo entre una barrera semirígida y una rígida (barreras de puentes) o cuando una barrera medianera debe aumentar su rigidez para proteger a los usuarios de la vía de obstáculos fijos (postes de señales, postes de alumbrado).

Los requisitos de capacidad y comportamiento de las transiciones son esencialmente los mismos que los de las barreras laterales, sin embargo, se debe colocar especial énfasis en desechar aquellos diseños de transiciones que podrían causar enganchamiento del vehículo o que podrían experimentar una deflexión excesiva en el segmento transicional.

A continuación se describen los detalles estructurales que requieren de especial cuidado:

- Todos los empalmes entre dos sistemas deben tener la capacidad de desarrollar, por completo, las características de tensión y esfuerzo de flexión admisibles de la barrera o sistema más débil.
- Para lograr las transiciones hacia barreras de hormigón, pretiles de puentes y otros elementos rígidos, se debe usar una barrera semirígida con bloques separadores, para evitar el enganchamiento con el elemento rígido, en estos casos, el lugar de deflexión se vuelve muy vulnerable y conviene agregar una viga inferior, la conexión debería ser capaz de resistir en tracción la fuerza máxima de resistencia de la viga metálica.
- La sección de transición debe tener una longitud tal que los cambios en las propiedades de deflexión no ocurran dentro de una corta distancia, generalmente, la longitud de transición debe ser de 8 a 12 veces la distancia en la deflexión lateral de los sistemas de barreras involucrados, en la mayoría de los casos, se acepta como mínimo una longitud de transición de 8.00 m.
- La rigidez de la transición se debe ir incrementando en forma suave y continua desde el sistema más débil al más rígido, esto se logra usualmente disminuyendo el espacio entre postes, utilizando postes de mayor sección o resistencia y por último, usando vigas dobles.

6.6 GUÍA DE SELECCIÓN.

Una vez que se ha determinado que la barrera central es recomendable debe ser seleccionado su tipo, en general, el sistema más deseable es aquel que satisface los requerimientos de operación al menor costo posible, la tabla 5.6 resume los factores más importantes que deben ser considerados antes de hacer la selección final, cada uno de estos son descritos resumidamente a continuación.

6.6.1 Capacidad de la barrera.

La primera decisión a tomar cuando se desea seleccionar una barrera central se refiere al nivel de contención requerido, en la mayoría de los casos, una barrera estándar capaz de redireccionar automóviles, camionetas y camiones livianos, será adecuada, sin embargo, lugares con trazado geométrico restrictivo, gran volumen de tráfico, alta velocidad y un

porcentaje significativo de camiones pesados podrían requerir barreras centrales de alta capacidad.

6.6.2 Deflexión de la barrera.

Una vez que ha sido determinado el nivel de contención deseado, las características del sitio de colocación, frecuentemente, dictamina el tipo de barrera central a instalar, en medianas relativamente planas y anchas funcionan adecuadamente los sistemas flexibles o semirígidos, debiéndose prever que la distancia de deflexión de diseño sea menor que la mitad del ancho de la mediana, por otra parte, medianas estrechas dentro de carreteras con tráfico pesado, generalmente requerirán una barrera rígida, que tenga poca o ninguna deflexión cuando sea impactada.

6.6.3 Compatibilidad.

El tipo de barrera central también dependerá en cierta magnitud de su compatibilidad con otros elementos existentes en la mediana, como luminarias, soportes de señales elevadas y cepas de puentes, si es utilizada una barrera flexible o semirígida, tiene que contar con elementos para aumentar localmente su rigidez si el objeto fijo se encuentra dentro del ancho de trabajo, además de buenos diseños de transiciones, se debe evaluar también la necesidad de un amortiguador o un atenuador de impacto si la barrera termina o inicia en un lugar donde es probable que sea chocada por un vehículo fuera de control.

6.6.4 Costo y ciclo de vida.

Deben ser evaluados cuidadosamente los costos iniciales y de mantenimiento futuro para cada sistema, como regla general, los costos de provisión e instalación de cada sistema se incrementan a medida que es mayor la capacidad de contención y rigidez, sin embargo, disminuyen los costos de mantenimiento.

Si la barrera se puede emplazar en el centro de una mediana, donde es menos probable que sea impactada y, las reparaciones ante un eventual impacto no requerirán cerrar una pista de tráfico, las barreras flexibles o semirígidas podrían ser la opción más adecuada, por otra parte, si una barrera debe ser instalada adyacente al borde de la calzada, con volúmenes de tráfico altos, será recomendable utilizar una barrera rígida, la cual además no tendrá un costo significativo de mantenimiento.

También debe considerarse el costo que debe incurrir el automovilista como resultado de la colisión con la barrera, este costo incluye el ocasionado por posibles heridas del conductor del vehículo y sus ocupantes, así como el de los daños al vehículo impactado.

6.6.5 Mantenimiento.

Para las barreras centrales se deben aplicar las mismas consideraciones generales de mantenimiento señaladas para la selección de una barrera lateral, sin embargo, en este caso, el mantenimiento por colisión es un factor muy importante que se debe tomar en cuenta.

En la mayoría de los casos, las barreras centrales son instaladas cerca de las pistas de tránsito, por lo que luego de una colisión una o más pistas deben ser cerradas temporalmente para reparar las barreras dañadas, esto crea una situación de peligro potencial para el equipo de

mantenimiento y para los usuarios de la vía, basándose en lo anterior, un sistema rígido (generalmente hormigón) es la barrera elegida en muchos sitios, principalmente en vías urbanas de alto volumen de tráfico y en vías rápidas.

6.6.6 Consideraciones estéticas y ambientales.

Como sucede en la elección de barreras laterales, las consideraciones estéticas raramente son una preocupación de peso en la selección de una barrera central apropiada, en aquellas instancias donde se requiere una barrera de esta naturaleza, se debe tener cuidado de asegurar que los requerimientos estructurales se cumplan.

Las recomendaciones que se deben considerar para los factores ambientales son similares a las resumidas en el capítulo anterior para barreras laterales.

6.6.7 Experiencia de terreno.

Para tomar decisiones efectivas respecto al tipo de barrera a instalar en una nueva construcción, cada agencia de carreteras debe contar con un proceso de monitoreo y evaluación del funcionamiento y características de mantenimiento de sus instalaciones existentes.

Si un tipo específico de barrera funciona satisfactoriamente cuando es impactada y no requiere mantenimiento excesivo, no hay necesidad de utilizar un nuevo sistema de barreras.

En cada accidente, es esencial que el personal de mantenimiento comunique cualquier preocupación a los ingenieros de diseño, para que se seleccione el sistema con menor costo y mayor efectividad.

6.7 RECOMENDACIONES DE UBICACIÓN.

Todas las barreras incluidas en la sección 6.5.1 son capaces de contener y redireccionar a los tipos de vehículos para los cuales fueron diseñadas, si éstas son instaladas correctamente.

Sin excepción, todas las barreras de tráfico funcionan mejor cuando el vehículo tiene todos sus neumáticos en el suelo al momento del impacto y su sistema de suspensión no se comprime ni se extiende, por lo anterior, un factor importante a considerar en la colocación de una barrera central son los efectos del terreno en la trayectoria del vehículo, otros dos factores significativos que afectan el funcionamiento de la barrera son el esvía, específicamente en las zonas de transición y, la presencia de objetos fijos en la mediana, a continuación se describen cada uno de estos tres factores.

6.7.1 Efectos del terreno.

Las características del terreno entre la línea de tránsito y la barrera pueden tener una repercusión significativa en el funcionamiento de la barrera bajo condiciones de impacto, soleras y medianas inclinadas (incluyendo secciones con desnivel) son dos condiciones muy importantes que merecen atención, un vehículo fuera de control que atraviesa una de estas condiciones antes de impactar, puede desviarse sobre o bajo la barrera o engancharse en los postes.

6.7.1.1 Solera y cunetas.

La presencia de soleras y cunetas en la trayectoria de un vehículo descontrolado no ofrece beneficios de seguridad en carreteras de alta velocidad, desde el punto de vista del incierto comportamiento que tendrá antes o después del impacto, por esto, se sugiere que la solera no se utilice con el propósito de encauzar los flujos vehiculares, es recomendable que en vías de alta velocidad sean utilizados otros elementos para cumplir las funciones de drenaje y delineador del flujo vehicular.

Si por condiciones especiales se requiere la utilización de una solera o cuneta junto a una barrera central pueden pasar dos fenómenos, primero el impacto con la solera puede causar que el vehículo se eleve y no colocarse la viga a 68.5 cm por encima de la línea de elevación de la solera, el vehículo podrá pasar por encima del sistema, segundo, puede ser que las condiciones sean tales que el vehículo no se eleve, y al colocarse la viga a 68.5 cm por sobre la solera, éste podrá meterse bajo la viga o engancharse en los postes.

Para enfrentar ambas situaciones se recomienda que la viga se disponga a 69 cm inmediatamente sobre la línea de la solera, con una viga inferior, que puede ser un perfil canal, ubicado a una altura no mayor que 25 cm, de esta manera, los vehículos impactantes no tendrán espacio para elevarse, es decir, el golpe al pasar por encima de la solera aún estará absorbido por el sistema de suspensión del vehículo, pudiendo esperarse en consecuencia que este impactará la barrera a una elevación normal.

6.7.1.2 Medianas en pendiente.

Es recomendable que la barrera sea emplazada en el centro de la mediana cuando esta sea relativamente plana (pendientes de 1:10 o menos) y libre de obstáculos, cuando no se tengan estas condiciones, se deben considerar las diferencias que a continuación se presentan.

• Sección I

Las pendientes y las secciones de zanja primero deben ser revisadas con los criterios establecidos en el capítulo 5, para determinar la necesidad de una barrera lateral, si se requieren barreras (figura 1), éstas deberán ser colocadas en el borde de la bermá, a cada lado de la mediana (puntos "b" y "d"). Si sólo una pendiente requiere ser protegida, la barrera central deberá ser colocada en "c" en esta situación, se sugiere una barrera rígida o semirígida, además deberá ser instalada una barrera de protección en el lado donde se encuentra el límite de la zanja, para prevenir a los vehículos que crucen o que se enganchen.

Si ninguna de las pendientes requiere elementos de contención pero las dos tienen un talud mayor que 1:10 (figura 2), deberá ser colocada una barrera en el lado de la pendiente más inclinada, por ejemplo si:

$$S_2 = 1:6 \text{ y } S_3 = 1:10$$

La barrera deberá colocarse en el punto "b" en esta situación se recomienda un sistema rígido o semi-rígido, si las dos pendientes son relativamente planas y no existe la probabilidad que un vehículo fuera de control la sobrepase (figura 3), la barrera deberá ser colocada al centro de la

mediana (punto "c"), en esta situación se puede ocupar cualquier tipo de barrera, previniendo que su deflexión dinámica no sea mayor que la mitad del ancho de la mediana.

• Sección II

Si el terraplén tiene un talud más empinado que 1:10 (figura 4), la barrera central deberá ser colocada en el punto "b" si la pendiente no es susceptible de ser atravesada (corte de piedra áspera, etc.) la barrera lateral deberá ser colocada tanto en el punto "b" como en el punto "d" (figura 5) es usual en estas secciones proyectar un muro de contención de suelo y roca en el punto "d" si la pendiente transversal es más plana que 1:10, la barrera podrá ser colocada al centro de la mediana (figura 6).

• Sección III

En esta sección (figura 7), el criterio de instalación de barreras centrales no está claramente definido, las investigaciones han demostrado que este tipo de sección, con una altura y longitud suficiente, puede redireccionar por sí misma vehículos que impacten a ángulos relativamente pequeños.

Como regla general, si esta sección transversal es inadecuada para redireccionar un vehículo fuera de control, esto es, las pendientes son relativamente planas, se debe instalar una barrera central semirígida en la cúspide de la sección transversal.

Si la mediana no se puede traspasar (constituida por roca muy rugosa), se deben emplazar barreras en los puntos "b" y "d".

Cuando se debe instalar un sistema de barreras, se espera que el mismo tipo de barrera sea utilizado en toda la longitud necesaria y que ésta se emplace en la mitad de una mediana plana, sin embargo, en algunos sectores no es posible seguir la mencionada recomendación, por ejemplo, la mediana de la sección I podría requerir de barreras a ambos lados en algún sector de ésta con diferentes características de pendiente transversal.

6.7.2 Esviaje de barreras centrales.

En algunos casos será necesario esviar una barrera central, como por ejemplo cuando existe un objeto fijo en la mediana, los esviajes definidos en la tabla 5.7.3 del capítulo 5, se podrán aplicar para las barreras centrales.

Una situación típica sucede cuando la mediana tiene un ancho que no requiere la instalación de una barrera central pero contiene algún objeto fijo que sí requiere una barrera, por ejemplo cepas de un puente.

6.8 ACTUALIZACION DE SISTEMAS.

Las consideraciones relativas a la actualización de sistemas indicadas en el punto 5.8 del capítulo 5, también son aplicables a barreras centrales.

BARRERAS DE PUENTES, VIADUCTOS Y TRANSICIONES
(CAPITULO 7)

7.- BARRERAS DE PUENTES, VIADUCTOS Y TRANSICIONES

7.1 ASPECTOS GENERALES.

La barrera o pretil de puente es una barrera longitudinal cuyo objetivo es impedir la eventual caída del vehículo desde los bordes del puente o una alcantarilla, estas barreras normalmente están constituidas por postes de hormigón o metal, un pretil de seguridad de hormigón o una combinación de ambos.

La mayoría de las barreras de puentes difieren del resto de las barreras laterales ya que generalmente son parte integral de la estructura, (están físicamente conectadas) y usualmente son diseñadas para no tener una deflexión importante cuando son impactadas por un vehículo fuera de control.

7.2 REQUISITOS.

En 1988, la AASHTO aprobó la "Guía de Especificaciones para Barreras de Puentes", esta guía obliga a que se realicen pruebas de impacto para todas las barreras utilizadas en las nuevas construcciones, además introduce formalmente el concepto de múltiples niveles de funcionamiento y provee criterios razonables para la selección apropiada de la barrera del puente, considerando velocidades de diseño, volúmenes de tráfico y el porcentaje de vehículos pesados, por lo que se considera que es el documento que complementa lo establecido años antes en las "Especificaciones Estándar para Puentes de Carreteras".

La guía de 1988 permite utilizar las barreras que han sido probadas exitosamente en pruebas de impacto, aunque no cumplan con las demás especificaciones de geometría y resistencia a cargas estáticas exigidas en las "Especificaciones Estándar para Puentes de Carreteras", la cual contiene los requerimientos que deben cumplir las barreras de puentes en cuanto a su geometría y resistencia a cargas estáticas, sin exceder los límites de tensión admisible de sus componentes, es decir, estas especificaciones no exigen la realización de pruebas de impacto a las barreras,

El tema siempre requiere de un análisis exhaustivo, ya que el traspaso de cualquier tipo de barrera por un vehículo representa un peligro potencial para sus ocupantes, pero los lugares donde esta situación puede presentarse deben recibir una cuidadosa evaluación antes de decidir el tipo de barrera a instalar, por ejemplo, en algunos puentes sólo circulan bajos volúmenes de tráfico a velocidades muy reducidas, por lo que podrían no requerir ser diseñados con los mismos estándares que las barreras utilizadas para situaciones de velocidades y volúmenes de tráfico altos.

Es importante mencionar que los aspectos estructurales de un puente no interfieren con la definición de las medidas de seguridad vial que serán incorporadas en su diseño, salvo que exista una relación entre las sollicitaciones estáticas o dinámicas y el comportamiento previsto de la estructura, este aspecto es particularmente relevante en la actualización de sistemas antiguos, ya que en algunos casos no es posible utilizar barreras rígidas por falta de resistencia estructural del puente a sollicitaciones estáticas.

7.3 JUSTIFICACIONES PARA LA INSTALACION.

Casi todos los puentes y viaductos requieren algún tipo de barrera, sin embargo en algunas estructuras menores, en carreteras de baja velocidad y bajos volúmenes de tráfico, podría no ser necesaria una barrera diseñada con estándares altos, como los contenidos en las normas de AASHTO.

Por ejemplo, una barrera rígida en un puente requiere una barrera de aproximación así como secciones de transición entre ambas, este tratamiento completo podría tener una relación costo-efectividad no muy favorable en puentes alcantarilla y es recomendable evaluar soluciones alternativas, las cuales pueden incluir ensanchar la estructura, dejando los bordes sin protección o utilizando un tipo de barrera semirígida de menor costo.

Cuando un puente también es utilizado por peatones y/o ciclistas es recomendable la instalación de una barrera para protegerlos del tráfico vehicular, la necesidad de una barrera en estos casos deberá depender de los volúmenes y velocidades de tráfico de la carretera, el número de peatones y/o ciclistas que transitan por el puente y las condiciones existentes en cualquiera de los extremos de la estructura.

7.4 PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN.

La aplicación de la "Guía de Especificaciones para Barreras de Puentes" de la AASHTO da como resultado barreras diseñadas para contener y redireccionar automóviles, camionetas y camiones livianos, sin embargo, en algunos casos es apropiado diseñar sistemas de barreras que resistan los vehículos pesados, el punto 5.4 del capítulo 5, incluye una lista de algunos de los factores subjetivos considerados con más frecuencia para tomar esta determinación.

El análisis de diversas pruebas de impacto ha demostrado que las barreras longitudinales, incluyendo barreras de puentes, pueden ser diseñadas y construidas para contener vehículos pesados como autobuses y camiones, para redireccionar vehículos grandes una barrera debe tener la resistencia adecuada para reducir las fuerzas de impacto, que podrían ser tan altas como 900 KN para un camión con acoplado de 36,000 kg que golpee la barrera a 80 km/h a un ángulo de 15°.

Otro parámetro de suma importancia en el diseño de una barrera de alta resistencia es su altura, una barrera podrá resistir la penetración de un camión pesado, pero si no es de suficiente altura el vehículo impactante o su carga pasará por encima de la barrera o se volcará luego de redireccionarse.

Por otro lado, el perfil de la barrera también tiene un efecto significativo en su funcionamiento, por ejemplo, un perfil de hormigón del tipo New Jersey puede ocasionar que un vehículo grande se gire hasta 24° antes de hacer contacto con el borde superior de la barrera, por lo que es posible sea más recomendable un muro liso, para evitar el eventual volcamiento del vehículo, debe tomarse en cuenta que las características de deflexión de la barrera tiene gran importancia en el funcionamiento del sistema de contención, en general una barrera que posee cierta deflexión da como resultado un redireccionamiento más suave de los vehículos impactantes y produce un menor ángulo de giro respecto de una barrera rígida.

Existen cinco factores que deben ser considerados en la selección de una barrera de puente, siempre debe tenerse presente que nunca debe verse comprometida la capacidad de una barrera para contener y redirigir a los vehículos para los cuales fue diseñada.

7.4.1 Desempeño de las barreras de un puente.

Una barrera de un puente tiene que cumplir tres funciones: resistir las fuerzas de penetración, contener y redirigir el vehículo y ser capaz de conectarse adecuadamente con las barreras de aproximación al puente.

Algunas de las barreras de puente diseñadas para vías Mexicanas cumplen con las especificaciones de AASHTO, en cuanto a su resistencia a cargas estáticas y también tendrían una resistencia adecuada para evitar la penetración de vehículos livianos, sin embargo los diseños y perfiles utilizados, en términos generales, no han sido ensayados, por lo que no se sabe a ciencia cierta su comportamiento ante distintas situaciones de impacto, como son tipo de vehículo, velocidad y ángulo.

7.4.2 Compatibilidad.

Cuando la barrera lateral de aproximación al puente difiere significativamente en rigidez, altura y/o en las características de deflexión con respecto a la barrera del puente, usualmente se requiere una sección de transición, como las definidas en el punto 7.6.4 incluido más adelante.

En casos de carreteras de bajas velocidades y con veredas entre la calzada y la barrera del puente, no se requieren transiciones de alto rendimiento, sin embargo es importante contar con un diseño adecuado y seguro para los peatones y vehículos, los diseños más recomendados para estas situaciones consisten en la ubicación de una barrera entre el pasillo peatonal y la calzada, pero conocidas las restricciones de espacio esta solución no es siempre factible y en ese caso se utiliza solo una barrera lateral, que pueda cumplir el objetivo de proteger sólo de una caída a los peatones.

7.4.3 Costos.

Normalmente, los costos de una barrera de puente se pueden agrupar en una de las siguientes categorías: costos iniciales de construcción, costos de mantenimiento a largo plazo y costos de reparación por choques, como regla general, el costo inicial del sistema de barreras se incrementa a medida que aumenta su capacidad de contención y rigidez, pero rara vez se convierte en un elemento importante del costo total por la construcción del puente, excepto en puentes extremadamente largos o cuando se debe utilizar una barrera de alta capacidad, las cuales por su peso, inciden significativamente en el diseño de la estructura, construyéndose en conjunto con la losa del puente.

Los costos de mantenimiento disminuyen significativamente a medida que se incrementa la rigidez de la barrera, algunas barreras de alta capacidad no tienen costos de mantenimiento, a menos que sean impactadas por vehículos de alto tonelaje, para los cuales no fueron diseñadas.

Los diseños de barreras que son susceptibles de daño por impacto deben ser estandarizados lo más extensamente posible, para que el abastecimiento de sus piezas de repuesto no se convierta en un problema.

Las barreras deben contar con elementos de unión o anclaje a la estructura del puente, pero se debe tener cuidado en el diseño de éstos de manera que se eviten las reparaciones mayores al momento de tener que reemplazarla luego de un impacto, en este caso se recomienda que cuenten con sistemas de unión colapsables y reemplazables de manera fácil, esta situación pierde relevancia si las barreras son un elemento rígido y de alta contención, que no sufre daños luego de impactos severos.

Aspectos como los mencionados son importantes en la evaluación de costos y son determinantes en la elección del tipo de barrera.

Con relación al costo de los accidentes, deben incluirse tanto los ocasionados por el daño al vehículo como los de las posibles víctimas, generalmente mientras menos sea la deflexión de una barrera mayor serán los daños causados al vehículo y sus ocupantes, sin embargo la primera prioridad de una barrera para puente será contener los vehículos, por lo tanto, en este caso se justifica dar prioridad a esta condición aunque esto signifique descuidar aspectos como la severidad del impacto.

7.4.4 Experiencia de terreno.

Es importante que el funcionamiento en servicio de cualquier barrera de puente sea evaluado para confirmar su comportamiento, un análisis, por parte del personal de mantenimiento, de los accidentes que involucran barreras de puentes, mediante la documentación de los daños y costos de operación, puede determinar rápidamente si un diseño específico está funcionando a toda su capacidad o si pueden hacerse cambios para mejorar su comportamiento o para disminuir sus costos de reparación.

7.4.5. Aspectos estéticos.

Aunque no existe duda que la estética en una barrera de puente es particularmente importante, nunca se debe sacrificarse la seguridad ni el funcionamiento de la misma, cualquier diseño de barrera que no cumpla con los estándares establecidos y que su diseño este motivado primordialmente por parámetros estéticos, debe ser ensayado antes de ponerse en funcionamiento.

Es frecuente encontrar diseños especiales de barreras de puentes realizados especialmente con fines estéticos o artísticos, estos diseños deben cumplir de manera satisfactoria los requerimientos de seguridad además del diseño de arquitectura armónico.

No se debe olvidar que los puentes, especialmente aquellos de grandes dimensiones, se constituyen en obras de interés público por su funcionalidad y por su diseño, muchos de éstos son considerados verdaderas obras de arte o representativos de las ciudades.

7.5 RECOMENDACIONES DE UBICACIÓN.

La berma de una vía es un importante elemento de seguridad para el usuario, ya que provee un lugar para atender emergencias y un espacio de maniobra para evitar colisiones, por esta razón es deseable que todos los puentes proporcionen la continuidad de este elemento, es decir si la vía es de dos pistas de 3.5 m con bermas de 2.00 m, se recomienda proveer un puente con 11.00 m entre sus barreras, lamentablemente desde el punto de vista de seguridad vial, la gran

mayoría de los puentes viales mexicanos presentar una sección reducida en comparación con la sección normal de la vía, generando una situación de alta peligrosidad.

Otro aspecto importante es tratar de evitar la colocación de un pasillo peatonal a desnivel entre la barrera y la superficie de rodamiento, ya que esto puede causar que un vehículo impacte este elemento y salte por encima de la barrera, con consecuencias desastrosas, además se debe reconocer que un pasillo peatonal a desnivel no aumenta la seguridad de los peatones en vías de mediana o alta velocidad, al contrario los deja con una impresión de seguridad falsa, este elemento de diseño provoca además que los carros de mano, bicicletas y otros similares utilicen la superficie de rodamiento por la incomodidad que significa subir al pasillo peatonal, en condiciones de baja velocidad, un pasillo peatonal a desnivel podría proveer una protección limitada a los peatones, en vías de media o alta velocidad ubicadas en áreas urbanas o zonas con tránsito peatonal, es recomendable proveer una franja de paso peatonal segregado respecto al flujo vehicular, en estos casos se debe agregar un pasillo peatonal y/o ciclo vía tras la barrera de contención, proporcionando de esta forma la seguridad necesaria para estos usuarios. en el caso de puentes ubicados en zonas afectas a un tránsito peatonal moderado o muy eventual, no es estrictamente necesario la implementación de este pasillo protegido, salvo que la estructura tenga un ancho de perma reducido y su longitud produzca un efecto de inseguridad en el tránsito peatonal.

7.6 MEJORAMIENTO DE SISTEMAS EXISTENTES.

Esta sección provee las pautas generales para identificar y corregir barreras de puentes potencialmente deficientes.

7.6.1 Identificación de sistemas potencialmente deficientes.

Como se mencionó el propósito primordial de una barrera de puente es prevenir la caída de un vehículo y también debe ser lo suficientemente fuerte para redireccionarlo, si la experiencia en el terreno muestra que existen dudas de la capacidad de contención de la barrera, se deberá realizar una evaluación para verificar detalles críticos del diseño, (como las conexiones con la placa base, el anclaje de los pernos, la fragilidad de los materiales, detalles de soldadura, el desarrollo del refuerzo, etc.) de forma que se pueda asegurar que este cumple con los propósitos de contención y redireccionamiento.

El daño que podrían sufrir los ocupantes del vehículo ante un eventual impacto es también un punto de gran importancia, particularmente en las barreras de hormigón o acero irregular, incluyendo el diseño "Anti-impacto" comúnmente utilizado, puesto que pueden producir enganchamientos, los cuales ocasionan grandes desaceleraciones, usualmente este tipo de deficiencia puede detectarse mediante pruebas y en el caso de una barrera ya existente mediante el análisis de los reportes de accidentes.

Otra deficiencia de la mayoría de los sistemas de barreras antiguos, es la presencia de una solera o pasillo peatonal a desnivel entre el flujo vehicular y la barrera de puente, esta situación podría causar que el vehículo que impacta, pase por sobre la barrera o, a lo menos la golpee en una posición inestable y se vuelva.

7.6.2 Mejoramientos.

Es fundamental tener en cuenta los conceptos para llevar a cabo ajustes, cambios, modificaciones y/o adiciones a barreras existentes, que permitan elevar su nivel de funcionamiento, incluso hasta alcanzar en algunos casos los estándares actuales de contención y redirección.

Sería imposible corregir las barreras de todos los puentes en el corto o mediano plazo, por lo que conviene considerar la siguiente estrategia de mejoramiento, la cual no contempla el tránsito promedio diario:

- Mejorar las barreras de cualquier puente donde hubiese tres o más accidentes en un periodo de 24 meses.
- Mejorar las barreras de cualquier puente donde las barreras existentes estén en mala condición de mantenimiento.
- Mejorar cualquier barrera que esté sustancialmente dañada por un accidente.

En general, deben ser reemplazadas o reforzadas barreras con postes de hormigón, barreras "Anti-impacto" y barreras de enrejado de acero, los diseños de mejoramiento deberían buscar incrementar la rigidez, proporcionar continuidad estructural longitudinal al sistema y a las barreras de aproximación, reducir o eliminar los efectos no deseables de soleras o pasillos peatonales y eliminar el potencial de enganchamiento vehicular, un diseño de ajuste debe permitir, una transición aceptable entre las barreras de aproximación y la barrera del puente.

La decisión de mejorar una barrera deficiente está intensamente ligada a la presencia o no de bermas adecuadas y la presencia o no de pasillos peatonales, la tabla 7.6.2 presenta una secuencia jerarquizada de soluciones según las condiciones de puentes.

Tabla 7.6.2. Actualización de Sistemas.

Sección	Solución preferida	Solución secundaria	Solución mínima
Sin berma	Ensanche con berma y barrera de hormigón, perfil "F" o muro liso vertical	Construir barrera de hormigón perfil "F" o muro liso vertical	Construir barrera continua, similar a la barrera de aproximación
Con berma y sin pasillo peatonal	Construir barrera de hormigón perfil "F" o muro liso vertical		Construir barrera continua
Sin berma y con pasillo peatonal	Convertir pasillo peatonal a berma y construir barrera de hormigón perfil "F" o muro liso vertical	Convertir pasillo peatonal a berma y construir barrera continua	Construir barrera de hormigón perfil "F" o muro liso horizontal en el extremo del pasillo peatonal

NOTA: En puentes con flujo peatonal se recomienda, además, como solución preferida, la construcción de un pasillo protegido del tránsito vehicular.

Algunos diseños de ajuste nunca podrán brindar a una barrera deficiente todos los elementos para cumplir con los estándares de la AASHTO, aún así se pueden realizar mejoras importantes, una de las mejoras más comunes consiste en reconstruir la barrera de aproximación en base a los estándares actuales, implementar una sección de transición, para luego continuarla a través del puente con un perfil más rígido.

Si el puente existente cuenta con un pasillo peatonal, la ubicación de la barrera sobre el puente debe coincidir con el borde interior del pasillo, aunque no necesariamente utilice su misma estructura, con esto se logra minimizar la posibilidad que un vehículo salte sobre la barrera del puente o la traspase.

Para vías de alta velocidad y volúmenes de tráfico importantes convendría que los diseños de ajuste fuesen comprobados por ensayos antes de ser utilizados, los siguientes puntos incluidos en el presente capítulo proveen información de diseños ya probados y usados ampliamente, en los EE.UU., los cuales se podrían implementar en México sin mayor estudios, considerando la buena experiencia que ha arrojado su comportamiento.

En todo caso, antes de tomar la determinación de reforzar o ajustar una barrera deficiente, se recomienda verificar que esta acción represente una mejor relación costo – efectividad que si se hubiese optado por construir una nueva barrera.

Como parte de la actualización de sistemas, es razonable considerar como prioridad la posibilidad de mejorar el diseño de puentes de corta longitud, es frecuente encontrar puentes con longitudes no superiores a 30.00 m que cuentan con un sistema de barreras inadecuado y, además no conectado estructuralmente con las barreras de aproximación o simplemente éstas no existen.

Para esta situación, se recomienda implementar sobre el puente y en sus aproximaciones un sistema de barrera lateral normal, de tal manera que el usuario no perciba la discontinuidad que representa la estructura, esta solución es especialmente adecuada en el caso de los puentes que mantienen el perfil transversal de la plataforma del camino antes y después de éste.

7.6.2.1 Refuerzo de hormigón, perfil "F" o muro liso vertical.

El perfil "F" que es utilizado comúnmente en las nuevas construcciones, puede ser el reemplazo adecuado a barreras de puentes deficientes, siempre que la estructura sea capaz de soportar la carga fija adicional y si el pasillo existente y/o el emplazamiento de la barrera permite un anclaje adecuado, este modelo tiene una relación costo – efectividad mayor cuando la barrera existente puede mantenerse en el lugar y no se requieren grandes modificaciones.

Un refuerzo de hormigón de cara vertical puede causar fuerzas de desaceleración relativamente altas en impactos a ángulos agudos, sin embargo su colocación encima de un pasillo peatonal a desnivel, puede resultar en una barrera de contención muy efectiva.

7.6.2.2 Barreras "W", doble onda y triple onda.

Una solución de bajo costo para las barreras de puentes de baja capacidad estructural, es continuar la barrera de aproximación (doble o triple onda) 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 tráfico, con estructuras que tienen barreras de madera o de metal con poca capacidad de contención.

7.6.2.3 Vigas y perfiles metálicos.

Una barrera con postes y vigas de metal, podría ser de uso apropiado en una estructura existente que cuente con un pasillo peatonal ancho, este diseño funciona bien como una barrera de tráfico que separa a los vehículos motorizados de los peatones, dejando protegido el pasillo peatonal a lo largo del puente, en algunos casos la barrera existente del puente puede ser usada como una barrera peatonal.

Al efectuar el esfuerzo de barreras de puente, la unión del poste al pasillo o a la losa del puente debe ser calculada para resistir las cargas de diseño descritas en las "Especificaciones Estándar para Puentes en Carreteras" de la AASHTO, es recomendable que el sistema de anclaje entre la barrera y la estructura del puente sea reutilizable, es decir que frente a un impacto, por severo que este sea, se pueda volver a utilizar el mismo sistema, sin tener que efectuar grandes reparaciones en la estructura del puente, el anclaje también puede ser diseñado con un diseño plástico para minimizar los daños que se podrían ocasionar a la losa del puente ante un impacto severo.

7.6.3 Elementos de Transición.

Siempre se requiere una sección de transición cuando es necesario unir una barrera semirígida a una barrera rígida, esta situación es particularmente frecuente en el caso de los puentes y probablemente es uno de los aspectos más críticos en el diseño de estas barreras.

El diseño de la transición debe ser tal que produzca un aumento gradual de la rigidez del sistema en la zona de aproximación, de manera que se pueda reducir el enganchamiento o penetración del vehículo en cualquier punto a lo largo de ésta.

Las transiciones no son necesarias cuando son utilizadas barreras de puentes con cierto grado de flexibilidad.

Las consideraciones presentadas en el capítulo 5, en relación al diseño de transiciones de barreras laterales, se deben hacer extensivas al diseño y funcionamiento de barreras de puentes.

A continuación se señalan algunos aspectos de especial importancia para el diseño de transiciones:

- El empalme o conexión entre la barrera de aproximación y la barrera del puente debe ser tan fuerte como la barrera de aproximación, de manera que en condiciones de impacto la conexión no colapse, generalmente es recomendable realizar el anclaje mediante la conexión con pernos pasados, cuyo número y características deberán estar en correspondencia con la necesidad de asegurar el funcionamiento del sistema.
- La unión estructural entre barreras debe ser diseñada para minimizar la probabilidad de enganchamiento de un vehículo fuera de control, incluyendo los que se dirijan en sentido contrario del tráfico, en una vía bidireccional.

- Un sistema semirígido o una combinación normal de postes y vigas fuertes puede utilizarse en transiciones a barreras de puentes rígidas u otros obstáculos que pudieran resultar riesgosos, estos sistemas generalmente deben contar con bloques separadores, a menos que la viga tenga el ancho suficiente para prevenir o reducir el enganchamiento a un nivel aceptable.
- Los separadores o la viga podrían ser insuficientes para prevenir el potencial enganchamiento del extremo superior de la barrera de un puente, en algunos diseños es recomendable utilizar un riel inferior, que puede ser una viga de sección "W", para dar rigidez al sistema e impedir la penetración del vehículo entre los postes, la viga inferior, producto de su baja altura, no requerirá de bloques separadores.
- La sección de transición deberá tener la longitud necesaria para que no ocurran deflexiones significativas dentro de una distancia corta, generalmente la longitud de transición debe ser de 8 a 12 veces la diferencia entre la deflexión dinámica de los dos elementos a unir, este es un criterio general, cuya aplicación dependerá de las barreras utilizadas y del método de materialización de la transición.
- La rigidez de la transición deberá incrementarse de manera gradual y continua, de sistema menos rígido al de mayor rigidez, generalmente, esto se logra disminuyendo el espacio entre los poste y/o incrementando su sección y reforzando la viga de la barrera.
- Cuando son construidos elementos de drenaje como soleras, fosos, cunetas o desagües enfrente de las barreras, éstos alteran la estabilidad del vehículo y, adicionalmente, provocan fallas en los sistemas de dirección o neumáticos; lo que seguramente afectará adversamente el tratamiento contra impacto en las transiciones.
- La pendiente entre el borde de la calzada y la barrera no deberá tener un talud mayor que 1:10.
- Cuando un camino secundario o una entrada de vehículos intercepta una carretera principal cerca de un puente, en muchas ocasiones es complejo dar un adecuado tratamiento al extremo terminal de la barrera de aproximación, preferentemente, la solución será cerrar o reubicar la intersección e instalar una barrera de aproximación con una sección de transición común, si esta solución no puede llevarse a cabo, se debe hacer un refuerzo para asegurar que un vehículo fuera de control no se desvie detrás, a través o sobre la barrera, en tales circunstancias, sería inevitable sacrificar parte de la eficiencia de la barrera contra impactos.
- La utilización de amortiguadores de impacto u otros dispositivos disponibles en el comercio podrían solucionar el problema de los extremos terminales frente a la imposibilidad de materializar una transición adecuada.
- Una posible solución sería la utilización de una barrera basándose en un perfil "W" común, la cual minimiza el riesgo al conductor, protegiéndolo en la mayor parte de la zona conflictiva a través del uso de sistemas de barreras adecuados en distintas ubicaciones.

Las características claves del diseño de transiciones incluyen:

- Colocación de postes adicionales
- Secciones dobles, un perfil "W" colocado dentro del otro o contrapuesto.
- Rieles o vigas inferiores.

La transición realizada con vigas triple onda podría ofrecer mayores ventajas sobre el sistema con vigas "W", usualmente la profundidad del perfil de triple onda encaja mejor con la geometría de una barrera de puente y es significativamente más fuerte que un perfil "W", su uso también elimina la necesidad de utilizar un riel inferior, por lo que requiere menos componentes diferentes que la viga "W", otra ventaja de este sistema es que requiere menor mantenimiento después de los impactos.

ELEMENTOS TERMINALES Y AMORTIGUADORES DE IMPACTO
(CAPITULO 8)

8.- ELEMENTOS TERMINALES Y AMORTIGUADORES DE IMPACTO

8.1 ASPECTOS GENERALES

Como se a mencionado reiteradamente cualquier impacto con un objeto fijo o con el extremo de una barrera de seguridad que no cuente con una terminal adecuada, tendrá una alta probabilidad de que produzca consecuencias graves, debido a que los vehículos usualmente serán detenidos violentamente, además un impacto con el extremo de una barrera longitudinal puede traer como consecuencia que los elementos de ésta penetren al compartimento de pasajeros, las terminales de barreras y amortiguadores de impactos son utilizados para prevenir consecuencias de este tipo, desacelerando gradualmente el vehículo impactante hasta detenerlo o conseguir su redireccionamiento.

8.2 REQUERIMIENTOS DE IMPACTO

El criterio de evaluación por medio del cual es juzgado el éxito de cada ensayo, requiere que un vehículo, al impactar el amortiguador de impacto o el elemento terminal, sea detenido gradualmente o redireccionado, esto quiere decir que, además de responder a impactos frontales, las terminales de barreras y amortiguadores de impacto deben ser capaces de redireccionar de una manera segura al vehículo que los impacta lateralmente.

Generalmente se requiere que el vehículo se mantenga en posición vertical durante y después de la colisión y no debe ser redireccionado a las vías de tráfico adyacente, además los restos y fragmentos del dispositivo no deben transformarse en un elemento de riesgo para los pasajeros del vehículo que impacta, ni para los otros ocupantes de la vía.

Finalmente, la velocidad con la cual un pasajero, sin elementos restrictivos como el cinturón de seguridad, golpee el interior del vehículo no debe exceder a 12.00 m/s, y la consecuente desaceleración no debe exceder a 20 g's (medido en 10 milisegundos, promedio mayor), los valores recomendados son de 9.00 m/s y 15 g's.

El criterio de prueba específica pautas para el descenso de la aceleración y no es directamente comparable con la aceleración promedio del impacto completo, la cual es frecuentemente asociada con los diseños de amortiguadores de impacto, sin embargo los niveles de operación aceptables son aproximadamente los mismos y pueden ser utilizados los distintos esquemas de diseños preparados por los proveedores de amortiguadores de impacto y terminales para seleccionar el dispositivo apropiado.

8.3 NORMAS REGULADORAS

Los requerimientos para ensayos de impacto real contenidos en la norma europea EN 1317 son recientes, por lo que la experiencia europea acumulada en este tipo de dispositivos es bastante limitada.

Las pautas de comprobación y evaluación norteamericanas se regulan por lo dispuesto en el Reporte 350 de la NCHRP, la matriz de ensayo de impacto dirigida al desarrollo de nuevos amortiguadores de impacto es significativamente comprensible.

Los criterios de aceptación e indicaciones contenidas en el Reporte 350 de la NCHRP serán utilizados para la descripción de los elementos de este capítulo.

8.4 CONCEPTOS BASICOS

Para poder aplicar bien las tecnologías de amortiguadores de impacto y terminales de barreras es importante entender los conceptos en que se basa su funcionamiento.

A continuación se describen los conceptos básicos de funcionamiento y como se ensayan.

8.4.1 Energía cinética

Los amortiguadores pueden ser impactados por vehículos errantes tanto en la zona frontal (nariz) como en la zona lateral, cuando un vehículo impacta la zona frontal se provoca una desaceleración en el vehículo hasta que llega a detenerse, es decir la energía cinética que lleva el vehículo previo al impacto se disipa durante el choque, deformando el amortiguador, la energía cinética (E_c) se define de la siguiente forma:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

Donde;

Por el principio de conservación de la energía, se deduce que el trabajo (T) realizado en la deformación del amortiguador de impacto (y del vehículo), 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 energía, esta clase de amortiguadores requiere algún tipo de estructura de reacción, que tenga capacidad de resistir la fuerza del impacto al producirse el colapso del amortiguador.

8.4.2 Conservación de momentum

Otra clase de amortiguadores de impacto han sido diseñados utilizando otro principio básico de la física, el principio de la conservación del momento lineal, el momento lineal que se genera en un vehículo en movimiento es igual al producto de la masa por la velocidad del mismo:

$$\text{Momento} = m v$$

Una parte o la totalidad de este momento puede ser transferido a una masa inerte de material puesto en la trayectoria del vehículo, por ejemplo, una serie de contenedores con cantidades variadas de arena pueden ser impactados por el vehículo fuera de control, dado que el momento total del sistema compuesto por los contenedores de arena más el del vehículo debe conservarse, el momento del vehículo es reducido por la suma de momentos de las partículas individuales de arena, el resultado neto es que la velocidad del vehículo es reducida de una forma controlada durante el impacto, los amortiguadores de impacto que operan bajo el principio de la conservación del momento no requieren la estructura de reacción.

8.5 CONDICIONES DE ENSAYO

El reporte 230 de la NCHRP especifica los procedimientos de ensayo y los criterios de evaluación a seguir en la medición de la efectividad de los sistemas de seguridad para carreteras, el funcionamiento del dispositivo es juzgado sobre la base de tres factores:

- La suficiencia estructural
- El riesgo de los ocupantes del vehículo
- La trayectoria del vehículo después de la colisión

La eficiencia estructural del amortiguador de impacto es evaluada por su capacidad de contener o redireccionar en forma predecible y aceptable las condiciones de impacto especificadas, los ensayos deben ser satisfactorios en un rango seleccionado de distintos tamaños de vehículos, la unidad deberá conservarse intacta durante el impacto o bien sus restos no deben representar un riesgo para el tráfico.

La evaluación del riesgo de los ocupantes esta basada en la respuesta calculada de un vehículo hipotético durante el impacto contra el amortiguador, la cinemática del vehículo se usa para estimar la velocidad de impacto y las desaceleraciones del ocupante durante el colapso del dispositivo, recomendándose valores límite.

Otro requerimiento esencial de un ensayo de impacto es que el vehículo se mantenga en posición vertical durante y después de la colisión y que se mantenga la integridad del compartimento de pasajeros.

La trayectoria del vehículo después de la colisión, es una preocupación por el potencial riesgo que implica para el resto de los usuarios de la vía, una trayectoria aceptable del vehículo después del impacto está caracterizada por un mínimo de intrusión en la pista adyacente del tráfico, el Reporte 350 contiene un listado sobre las pautas para la evaluación de la seguridad que se aplica para los amortiguadores de impacto y la matriz de ensayo, ambas tablas son presentas en el capítulo 4 de este trabajo.

En el Reporte 350, sobre procedimientos de obtención de datos para evaluar el riesgo del ocupante, se involucra la integración numérica de la relación tiempo-aceleración, una preocupación primordial son las magnitudes, tanto del impacto del ocupante hipotético con el interior del vehículo, como la de los 10 m/s de desaceleración máxima promedio del ocupante después del impacto.

Para los ensayos, se asume que antes del impacto los ocupantes tendrán la misma velocidad que el vehículo y luego, al producirse la colisión, con la desaceleración del móvil éstos tendrán una velocidad mayor hasta que impacten algún elemento al interior del vehículo, asumiendo una desaceleración lineal, desde ese instante en adelante el vehículo y los ocupante sufrirán las mismas desaceleraciones, esta desaceleración es conocida como "Ride Down".

El valor de la velocidad de impacto inicial del ocupante claramente depende de la distancia libre recorrida (Flail Distance) antes de que este impacto ocurra, el Reporte 230 de la NCHRP define que estas distancias deben ser 61 cm en sentido longitudinal y 30.5 cm en sentido lateral, dándose estas condiciones, el Reporte 230 asume que el conductor es un cuerpo rígido libre, cuya aceleración es cero (relativo al vehículo) antes que ocurra el impacto con el interior del vehículo, debido a que esté último va disminuyendo su velocidad, así mismo, el Reporte 230

asume también que una vez ocurrido el impacto del conductor, éste permanece en contacto con el interior del vehículo y en consecuencia experimenta las mismas fuerzas dinámicas que éste.

Las pautas de evaluación de seguridad y matriz de prueba para amortiguadores de impacto del Reporte 350 se muestran en el capítulo 4 (pautas de evaluación tabla 4.2.2.3; matriz de prueba tablas 4.2.2.5.b, 4.2.2.5.c, 4.2.2.5.d), estas contienen tres niveles de ensayo y subdivide los amortiguadores de impacto en dos categorías, redireccionables y no redireccionables, la autoridad competente que los utilice será responsable de decidir cuál de los niveles de seguridad es más apropiado para cada caso en particular, es necesario recordar que esta será una decisión política y administrativa en la cual los antecedentes técnicos serán uno de los varios factores a considerar.

El ensayo del nivel TL 3, que especifica una velocidad de impacto de 100 Km/h. es comparable con los requerimientos de velocidad del Reporte 230, la matriz de ensayo requiere un total de seis a ocho diferentes ensayos de impacto para amortiguadores redireccionables, así mismo los amortiguadores redireccionables deben actuar aceptablemente en cinco diferentes escenarios de impacto.

Un amortiguador de impacto redireccionable es aquel capaz de encauzar al vehículo fuera de control a su calzada original, cuando el impacto ocurra en uno de los costados, un amortiguador de impacto no redireccionable obviamente no pasee estas características.

Es claro que las nuevas pautas para ensayos con amortiguadores de impacto redireccionables son considerablemente más rigurosas que aquellas efectuadas para los amortiguadores de impacto no redireccionables, de hecho, los alcances de los amortiguadores de impacto no redireccionables son significativamente menores que los redireccionables y los lugares donde su uso se garantiza están limitados.

Es interesante hacer notar que los requerimientos de los ensayos de impacto del Reporte 350 no hacen distinciones entre los amortiguadores de impacto redireccionables y los terminales, siendo éste último un dispositivo diseñado para proteger a los usuarios de la vía del extremo de una barrera longitudinal.

El reporte 230, especifica diferentes ensayos para los amortiguadores de impacto y los terminales, el reporte 350 especifica una matriz de ensayo para los terminales y amortiguadores de impacto redireccionables y una segunda, menos demandante para amortiguadores de impacto no redireccionables, sin embargo en el futuro probablemente se utilizará únicamente una matriz de ensayo de impacto y un criterio de evaluación para todos los amortiguadores de impacto y terminales.

8.6 TERMINALES DE BARRERAS

El inicio de una barrera es un elemento peligroso para los ocupantes de cualquier vehículo que transita por una vía, de hecho, el inicio típico de la mayoría de las barreras es capaz de penetrar un vehículo, con consecuencias severas para los ocupantes del mismo, este problema evidente en los informes de accidentes de cualquier país, ha engendrado un sinnúmero de soluciones, de las cuales muy pocas han sido ensayadas exitosamente, en este segmento del documento se presentan algunos de los terminales de barreras que han sido ensayados satisfactoriamente o que han probado su capacidad de minimizar el riesgo que representa el

inicio de una barrera no protegida, dependiendo del caso, se incluyen anotaciones en cuanto a limitaciones o características especiales o únicas de éstos.

8.6.1 Terminales en general

Siempre se requerirá un elemento terminal donde se inicia una barrera o donde exista el potencial de un impacto frontal, para cumplir con su función, un terminal debería ser tal, que de ser impactado frontalmente, no penetre el compartimento de los pasajeros, además, para impactos en ángulo, no debe causar que el vehículo salte ni rote excesivamente y de impactar lateralmente, debería conseguir la contención y redirección del vehículo, el terminal debería asegurar también, que toda la barrera a la cual esté conectado pueda contener y redireccionar el vehículo para la cual fue diseñada, lo que implica que el terminal debe tener un sistema de anclaje adecuado, capaz de desarrollar la fuerza de tracción total de la barrera.

A continuación se presentan los sistemas de barreras que se estima tienen las mayores ventajas para su aplicación en el país, se reconoce que existen otras terminales comercialmente disponibles, pero por razones de costo o complejidad de instalación o mantenimiento, no han sido incorporadas en este documento, lo anterior no implica que se pudiera, en cualquier momento, incorporar una terminal nueva, que tenga las características que satisfagan las necesidades de las carreteras del país.

8.6.2 Terminales abatidas

a) Terminales abatidas para barreras de acero o acero forrado con madera

Uno de los primeros esfuerzos para eliminar el problema de la penetración de la barrera al vehículo fue utilizar terminales abatidas, en este tipo de tratamiento se reduce paulatinamente la altura de la barrera hasta llegar al nivel del terreno, anclándola a través de postes con placa o a una masa de hormigón, para lograr la resistencia a la tracción, los primeros diseños materializaban esta transición en una distancia corta y si bien se eliminó el problema de penetración, se generó otro, como es el lanzamiento o volcamiento de los vehículos al pasar por encima del terminal a altas velocidades.

Para minimizar el efecto de rampa se intentó con transiciones más largas de 8.00 a 23.00 m, con conexiones débiles entre la viga abatida y sus postes, pensando que el terminal abatido de esta manera colapsaría con el impacto de un vehículo, permitiendo a éste pasar sobre la barrera, sin perder estabilidad ni ser aerotransportados, sin embargo, ensayos y la experiencia en terreno revelaron una tendencia de estos diseños de enganchar a los vehículos o de producir un volcamiento.

Se experimentó también con otro número de diseños combinando factores de largo del abatimiento, abatimiento con esviado y abatimiento con rotación de la viga entre otros, en general estas modificaciones no han resultado totalmente satisfactorias.

Actualmente, a pesar de ser una solución de bajo costo, estos diseños no son recomendados para una velocidad superior a 70 Km/h, sin embargo tienen aplicación en vías con velocidades menores.



Figura 8.6.2.a. Terminal de barrera abatido y esviado

b) Terminales abatidos para barreras rígidas

Se ha experimentado con la posibilidad de iniciar una barrera rígida abatiendo su extremo, pero el resultado ha sido similar al obtenido en los terminales abatidos en barreras de acero, es decir no son recomendables para ser aplicados en vías de alta velocidad.

El diseño que se muestra en la figura 8.6.2.b. se recomienda sólo para ser utilizado en lugares donde las velocidades de circulación son bajas, 70 Km/h o menos, la longitud mínima de abatimiento en estos casos es de 6.00 m, pero serían deseables 10.00 a 13.00 m.

La mejor aplicación si no se tiene un dispositivo terminal adecuado, es disponer de barrera esviada sin abatimiento, prolongándola hasta más allá de la zona despejada o donde no es posible que ocurran impactos.

Figura 8.6.2.b. barrera rígida con terminal abatido



8.6.3 Terminal esviado y anclado o enterrado en el talud de corte

En áreas de carreteras que se encuentran en secciones de corte o donde el camino se encuentra en una transición de corte en terraplén, es posible esviar la barrera y enterrar la sección terminal en el talud de corte, como se muestra en la figura 8.6.3. este tratamiento elimina el peligro que representan los extremos de barrera no tratados y reduce efectivamente la posibilidad de penetración de éstos al interior de los vehículos.

Prácticamente todas las barreras instaladas de esta manera pueden redireccionar a los vehículos que se impactan entre el extremo enterrado y el punto donde la barrera alcanza su altura total, es decir, a menos de contar con un talud vertical siempre habrá un segmento de la barrera que no quede a la altura correcta, esta es un área de funcionamiento incierto y debe ser minimizada en el diseño.

Este tratamiento es más apropiado para barreras regidas o semirigidas y no es tan aconsejable para las barreras flexibles, las consideraciones de diseño que son comunes para ambas barreras son:

- Altura de la barrera, tratar de guardar la altura típica.
- Grado de esviaje.
- Terreno circundante.

La altura de la barrera debe ser mantenida en la zona de esviaje para proporcionar un correcto redireccionamiento y evitar que el vehículo penetre por debajo de la barrera, más allá de la zona despejada la posibilidad de impactos es menor y el grado de esviaje se vuelve menos crítico, el terreno circundante debe ser esencialmente plano (el talud no debe exceder 1:10) con las depresiones minimizadas o eliminadas en su totalidad, si la barrera no puede terminar en el talud sin violar uno o más de estos principios, será apropiado utilizar otro tipo de tratamiento para el extremo de la barrera.

Una cuarta consideración de diseño, aplicable solo a barreras semirigidas, es el desarrollo de una adecuada resistencia a la tracción en el elemento terminal de la barrera a través de un eficiente sistema de anclaje, el diseño debe ser capaz de soportar por lo menos 220 kN, para prevenir que la barrera se separe del talud y permita la penetración de un vehículo liviano.



Figura 8.6.3 Barrera con terminal enterrado en el talud de corte

8.6.4 Pretil de tierra

Un pretil de tierra también puede ser utilizado para proteger el extremo de una barrera sin tratamiento, en la figura 8.6.4 se muestra un esquema típico, en el cual se ilustra el uso de un pretil para cubrir la zona de riesgo.

El pretil de tierra se puede usar como tratamiento de extremos de barreras rígidas y semirígidas, tanto par las barreras laterales como para las barreras centrales, cuando es utilizado para barreras semirígidas, es necesario contar con un sistema de anclaje igual que el indicado para el anclaje a un talud de corte existente.

El diseñador debe estar al tanto de dos importante diferencias entre el pretil de tierra y la técnica de la barrera anclada en el talud existente:

1. Debido a que el pretil se construye en el sitio, debe ser diseñado con las pendientes apropiadas par que él, por sí solo, no represente una situación de peligro.
2. Como consecuencia de un diseño eficiente, el pretil será transitable en la mayor parte e su longitud y por consiguiente, debe ser construido más allá de la longitud que sería necesaria para cualquier instalación de barrera.

Un pretil de tierra debe ser tratado para prevenir la erosión.

Este tipo de tratamiento terminal no ha sido ensayado para impactos, ya que no hay un consenso en cuanto a los criterios de ensayo que deben aplicarse, por ejemplo si este tratamiento fuera sometido a un impacto en su zona de inicio, es probable que un vehículo de cualquier tamaño podría montarse encima d la barrera enterada en un talud, con resultados impredecibles.

8.6.5 Terminal atenuador del tipo extrusor

Un terminal extrusor es un sistema atenuador de impacto que funciona de dos maneras:

Primero, cualquier impacto lateral es resistido por los postes y por la resistencia a la tracción de la viga, la resistencia a la tracción de la viga es generada por un cable conectado entre el pie del primer poste y la intersección de la viga con el segundo poste.

Segundo, cualquier impacto frontal rompe el primer poste, liberando el cable y permitiendo que el cabezal corra a lo largo de la viga deformando y extruyendo la misma, absorbiendo la energía del vehículo que impacta.

Son varios los modelos y configuraciones de terminales extrusores, algunos requieren un esviaje de aproximadamente 1.10 m y otros están diseñados para aplicarse sin esviaje, una ventaja de este diseño de terminal es que el cabezal y algunos otros elementos del terminal son reutilizables y pueden ser reinstalados, luego de un impacto.

El cabezal tiene dos secciones, una en la cual se plancha la viga doble onda y la segunda en la cual se dobla la viga planchada, cuando este elemento es impactado de frente la energía del vehículo se disipa cuando el cabezal es empujado a lo largo de la barrera, al pasar por la viga

doble onda el cabezal lo extrude, transformándola en un lamina plana, luego por la acción de un elemento con un radio pequeño expulsarla hacia fuera de la plataforma del camino.

Estos sistemas incluyen un número de componentes especiales para su reparación, por lo que es fundamental la especialización del personal de mantenimiento, de manera que éste realice una evaluación detallada luego de un impacto, con el objeto de seleccionar los componentes reutilizables.

Por lo general en las carreteras no existe un espacio lateral par un esviaje, conviene utilizar las terminales extrusoras de diseño tangente, por ejemplo los dispositivos ET2000 y SKT350, desarrollados en EE.UU. son sistemas terminales de barrera metálica que no requieren esviaje.

Se han realizado diversos ensayos de impacto a este tipo de dispositivos para verificar el cumplimiento de los criterios establecidos en el Reporte 230, estos han incluido ensayos de impactos frontales y laterales, con vehículos de 800 y 2,000 Kg realizados en general a 100 Km/h.

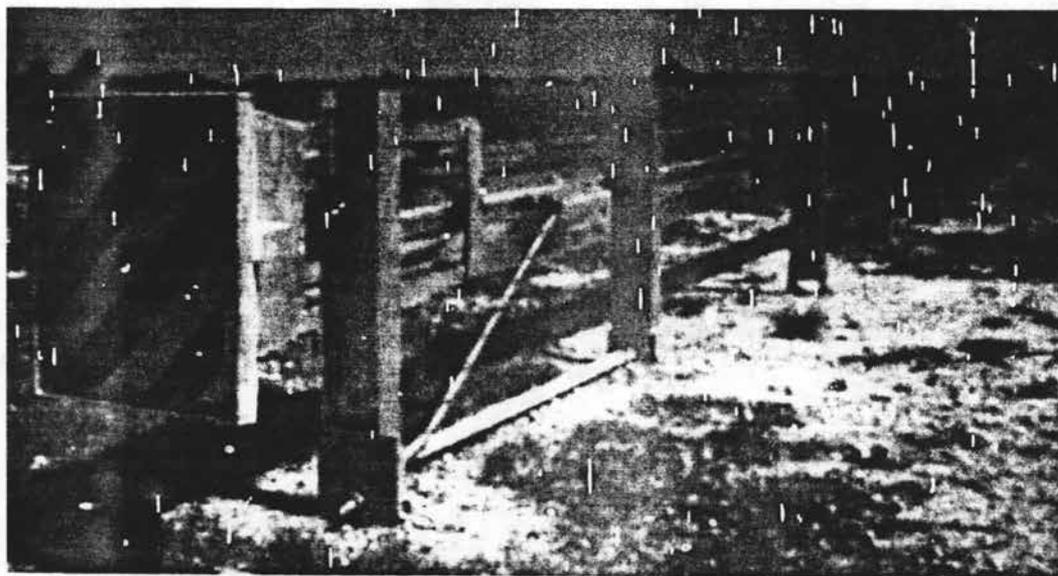


Figura 8.6.5 Terminal atenuador del tipo extrusor

8.6.6 Terminal europea ABC

Este terminal, inventado en Europa, es por el momento el único terminal ensayado de acuerdo a la norma europea EN 1317 propuesta para terminales, las que consideran pruebas de velocidades de 80, 100 y 110 Km/h.

Se trata de un sistema de postes de acero cada 1,333 m donde los primeros 9 postes están compuestos por dos piezas o partes, una mayor que se hinca en el suelo y una de menor sección inserta en la primera, afirmada con un pasador, al ser el cabezal impactado frontalmente, la fuerza del impacto se traspa a los postes cortando secuencialmente los

pasadores y la viga doble onda, la cual posee dos líneas de ranuras, que van colapsando cuando los segmentos de viga se desplazan, generando de esta forma la disipación de energía.

Cualquier impacto lateral es resistido por los postes y por la tracción de la viga, la resistencia a la tracción de la viga es generada por un cable, conectado entre el pie del primer poste y la intersección de la viga con el segundo poste, este cable se suelta con un impacto frontal cuando el primer poste quiebra el pasador, debido a su reciente diseño no hay información en cuanto a su comportamiento en terreno.

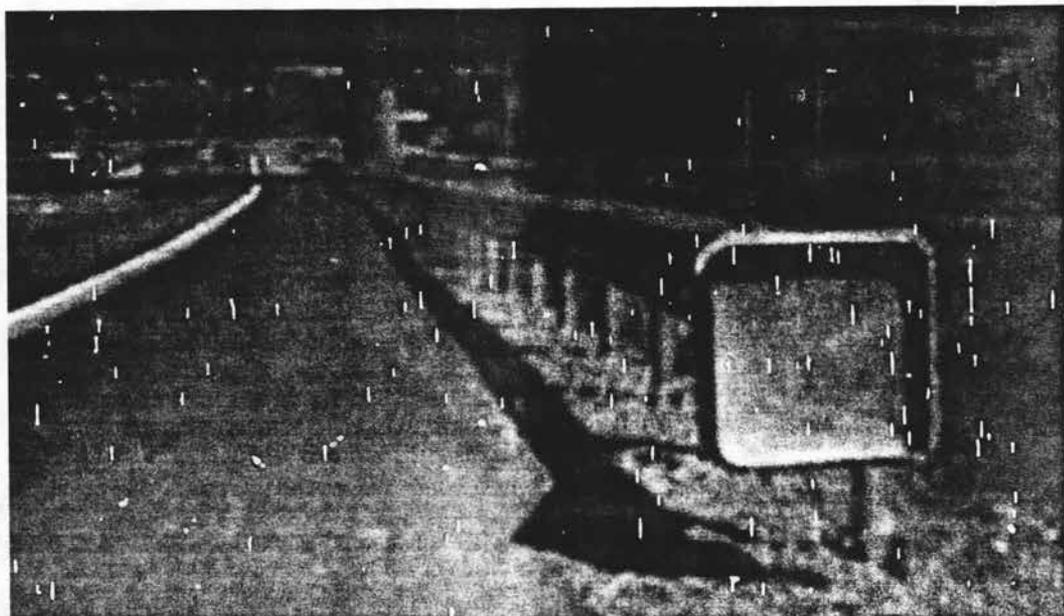


Figura 8.6.6 Terminal ABC

8.6.7 Terminal de módulo de extensión de impacto dinámico

El Módulo de Extensión de Impacto Dinámico Avanzado (conocido por sus siglas en inglés, ADIEM II, Advanced Dynamic Impact Extension Module) es una terminal de marca registrada, relativamente barata, cuya aplicación está orientada a extremos de barreras de hormigón, la figura 8.6.7 muestra el detalle de este dispositivo.

Este sistema 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 material es moldeado en módulos reforzados con malla de alambre y cubiertos con material adecuado para prevenir la penetración del agua.

La instalación se realiza insertando diez de estos módulos en una base de hormigón anclado, con pendiente hacia arriba desde el frente hasta la cara posterior, la mezcla para los terminales de esta barrera se diseña y se controla de tal manera que se puede asegurar la deceleración controlada de un vehículo impactante, es importante destacar que son módulos prefabricados y no es posible construirlos en el sitio.

Estos dispositivos son muy utilizados en las estaciones de cobro de peaje, ya que son esbeltos y dan un excelente nivel de protección y tiene una apariencia de hormigón, lo cual genera el respeto del usuario, también son extremadamente funcionales flanqueando la pistas de entrada exclusiva.

El sistema ha sido ensayado con resultados satisfactorios para vehículos de 820 y 2,000 Kg

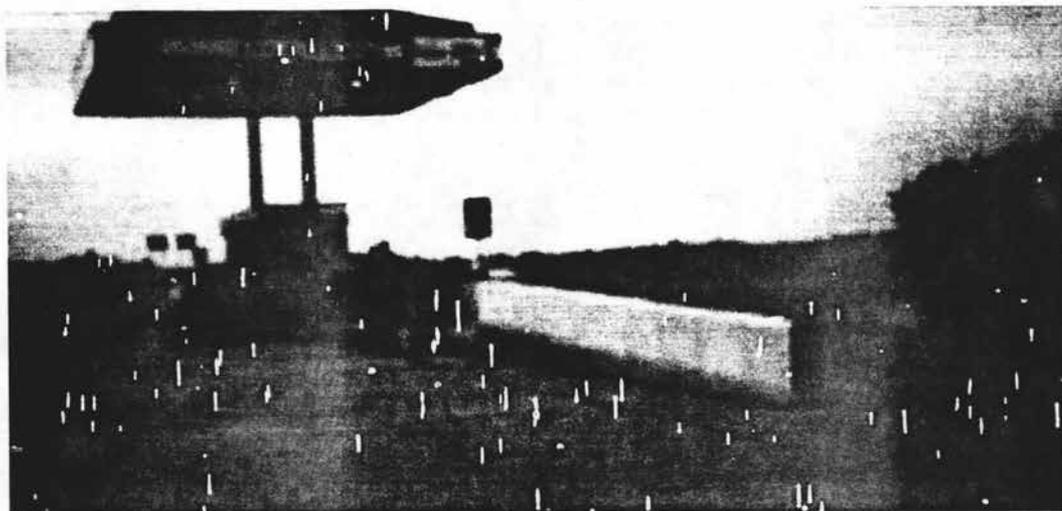


Figura 8.6.7 Terminal de módulo de extensión de impacto dinámico

8.6.3 selección de terminales

El proceso de selección de un terminal debe considerar al menos los siguientes aspectos:

- Si el diseño es para 70 Km/h o menos se puede considerar el abatimiento de la barrera metálica o de hormigón
- Si es para velocidades mayores a 70 km/h se deben considerar, en el siguiente orden, estas opciones.
 - Terminal esviada y anclada en talud de corte o en un pretil de tierra.
 - Terminal comercial, SKT 350, ET 2000, ABC o ADIEM II.
 - Amortiguador de impacto.

8.6 AMORTIGUADORES DE IMPACTO

Los amortiguadores de impacto son dispositivos de seguridad vial que permiten detener paulatinamente a un vehículo que se dirige a impactar un objeto fijo, éstos pueden ser redireccionables o no redireccionables.

Las normas para pruebas de impacto de estos dispositivos tienen su historia, cuyo hito más importante es cuando el Reporte 350 de la NCHRP modifica algunos de los elementos de ensayos incluidos en el Reporte 230 de la NCHRP, uno de estos cambios, tal ves el más

significativo para los amortiguadores de impacto, tiene que ver con el vehículo de ensayo de 2,000 kg, el Reporte 350 especifica que este vehículo sea del tipo camioneta, con un centro de gravedad más alto que el automóvil de 2,000 kg, usado para el ensayo del reporte 230, situación que derivó en que muchos dispositivos que aprobaban este último reporte no cumplieran con los requerimientos del Reporte 350, esta modificación se realizó debido al cambio del parque automotor.

Los primeros amortiguadores de impacto comercialmente disponible y de uso masivo en los EE.UU. fueron el GREAT (por sus siglas en ingles Guardrail Energy Absorbing Terminal) y los tambores de plástico con arena, el GREAT fue ensayado con el nuevo requerimiento y no logró pasar totalmente el ensayo, aún así los dispositivos GREAT ya instalados pueden mantenerse en servicio.

A continuación, se describen los sistemas amortiguadores de impacto más utilizados en el mundo, distinguiendo entre redireccionables y no redireccionables.

8.7.1 Amortiguadores de impacto redireccionables

- **Sistema GREAT**

Este amortiguador de impacto, conocido como GREAT, es útil para proteger de riesgos a los usuarios de vías que contengan elementos cercanos a las pistas de tránsito, como pueden ser los terminales de barreras centrales, cepas de puentes y otros objetos fijos que son susceptibles de ser impactados frontalmente, el sistema GREAT es fabricado en anchos de 61, 76, 91 y 106.7 cm y en distancias longitudinales variables, dependiendo de la velocidad de diseño del lugar bajo consideración, la figura 8.7.1.a muestra una instalación típica de este dispositivo.

El principio de funcionamiento de este sistema es que la energía del vehículo impactante se disipa comprimiendo un set de cartuchos, los cuales se mantiene en posición vertical y horizontal mediante una estructura metálica especial, al ser impactado frontalmente, su nariz se moldea conforme el vehículo impactante y la estructura metálica se contrae, acción que comprime los cartuchos, absorbiendo la energía del vehículo.

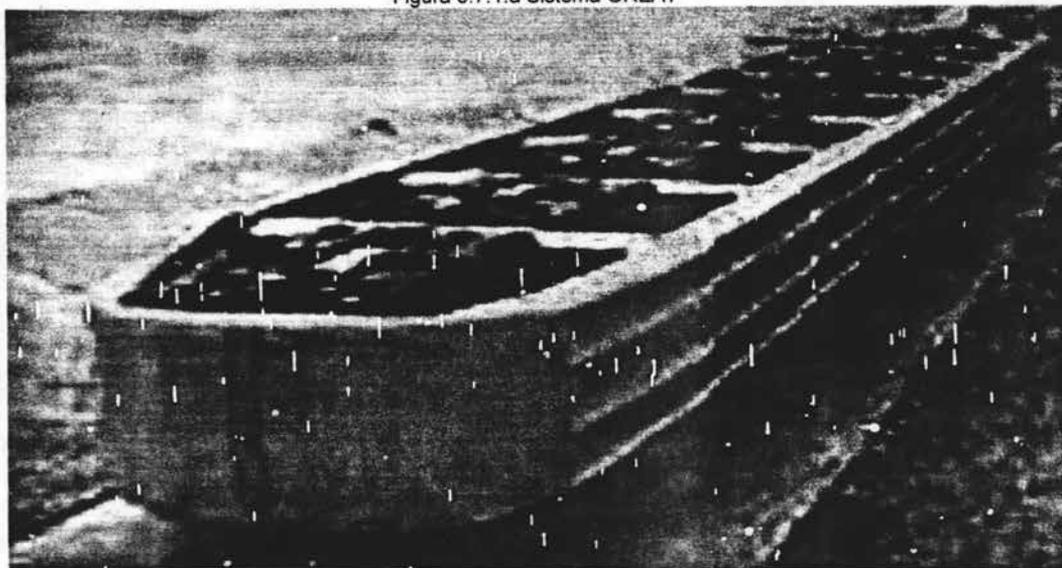
Durante el proceso de deformación se incrementa continuamente la fuerza de compresión, hasta que se llega a la compresión total, debido al efecto de deformación del dispositivo es virtualmente eliminado el rebote del sistema después del impacto.

Si el dispositivo es impactado lateralmente, los vehículos son redireccionados por medio de la resistencia lateral proporcionada por paneles exteriores de viga triple, más la acción del sistema de anclaje y los cables guía.

La reparación del sistema después de un impacto frontal, consiste en tirar con una camioneta la estructura comprimida restaurando su largo original se insertan nuevos cartuchos, se coloca una nariz nueva, se reconecta el sistema de anclajes y cables guía con lo cual el sistema se encuentre nuevamente en servicio, equipos experimentados logran este trabajo en menos de 1.00 hora, en el caso de un impacto lateral, se debe hacer una inspección del sistema para confirmar que no sufrió daños estructurales, de ser así se requiere cambiar o ajustar los elementos que sea necesario, la principal desventaja del sistema es que los cartuchos y la nariz casi siempre tienen que ser reemplazados, lo que representa un costo importante.

Este sistema ha funcionado de acuerdo a su diseño en numerosas oportunidades, conteniendo vehículos de hasta 2,000 kg, se ensayó exitosamente de acuerdo a los procedimientos del Reporte 230, pero no se logró ensayar satisfactoriamente con los procedimientos del Reporte 350, la política de varios estados de la Unión es de mantener estos dispositivos en uso, sin embargo otros han decidido cambiarlos por modelos que han sido ensayados exitosamente con el Reporte 350 de la NCHRP.

Figura 8.7.1.a Sistema GREAT



- **Sistema Quadguard**

El sistema Quadguard también consiste en cartuchos compresibles y una armadura de metal, su resistencia a un impacto lateral se basa en esa armadura y en paneles laterales de cuatro ondas y en forma importante en su base monoviga, puede defender de obstáculos de 61 a 230 cm de ancho y su largo es de 1.70 a 11.80 m.

El principio de funcionamiento de este dispositivo, su comportamiento y mantenimiento es similar al del sistema GREAT.

El sistema, mostrado en la figura 8.7.1.b, ha sido ensayado exitosamente con vehículos de 2,000 kg, con velocidades desde 40 km/h hasta 120 km/h, cumpliendo con los requisitos del Reporte 350.



Figura 8.7.1.b, Sistema Quadguard.

- **Atenuador de Bajo Mantenimiento (LMA)**

El LMA (por sus siglas en inglés Low Maintenance Attenuator) es un dispositivo de marca registrada desarrollado para defender de obstáculos angostos que son susceptibles de ser impactados con frecuencia, la disposición y características se muestran en la figura 8.7.1.c.

El LMA es conformado por doce segmentos modulares, cada uno incluye cilindros elastoméricos contenidos en una armadura de diafragmas de acero de triple corrugación y una barrera lateral viga triple onda, cada cilindro tiene un diámetro exterior de 71.12 cm pero las longitudes y espesores de la pared del cilindro aumentan a lo largo del dispositivo, cada diafragma del LMA sirve como un punto de unión de los cilindros y como un armazón de soporte para los paneles de la defensa.

Con un impacto frontal, las vigas de barrera se traslapan y el dispositivo se contrae como en el caso de un telescopio, los cilindros se deforman absorbiendo la energía cinética del vehículo, aplastándose totalmente con un impacto mayor, la virtud de este sistema es que los cilindros recuperan su forma original poco después del impacto, siendo totalmente reutilizables un gran número de veces.

Cuando el sistema es impactado lateralmente el diafragma y la viga triple onda contienen y causan el redireccionamiento del vehículo, en los primeros dos módulos de triple onda, el sistema tiene incorporado un cable de contención para controlar movimientos laterales durante los impactos orientados a la nariz.

Comparado con otros amortiguadores de impacto el costo inicial de este dispositivo es mayor, sin embargo tiene un bajo costo de mantenimiento cuando es impactado frontalmente, siendo reutilizables prácticamente el 100% de sus cilindros elastoméricos, incluyendo su nariz, puede ser rápidamente puesto en servicio después de un impacto.

El LMA ha sido ensayado satisfactoriamente para vehículos de 820 a 2,000 Kg, con velocidades de hasta 100 km/h, impactos laterales pueden ocasionar caños importantes el dispositivo.

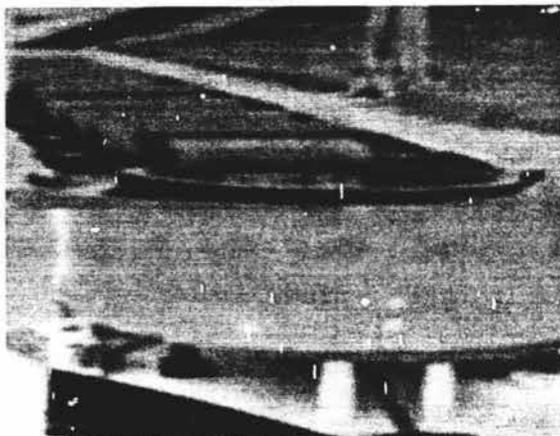


Figura 8.7.1.c Atenuador de bajo mantenimiento (LMA)

- Sistema REACT 350

El REACT 350 consta de cilindros de plástico de polietileno de alta densidad, con gran peso molecular, estos sistemas se pueden diseñar para velocidades de 72 Km/h hasta 113 Km/h, con anchos de hasta 3.10 m y han sido ensayados exitosamente según el Reporte 350.

Después de un impacto los cilindros recuperan por si solos un 90% de su forma original, para volver a colocarlos en servicio, un equipo de mantenimiento debe halar los cilindros sobreentendiéndolos por un rato, luego de soltarlos éstos vuelven a su conformación original.

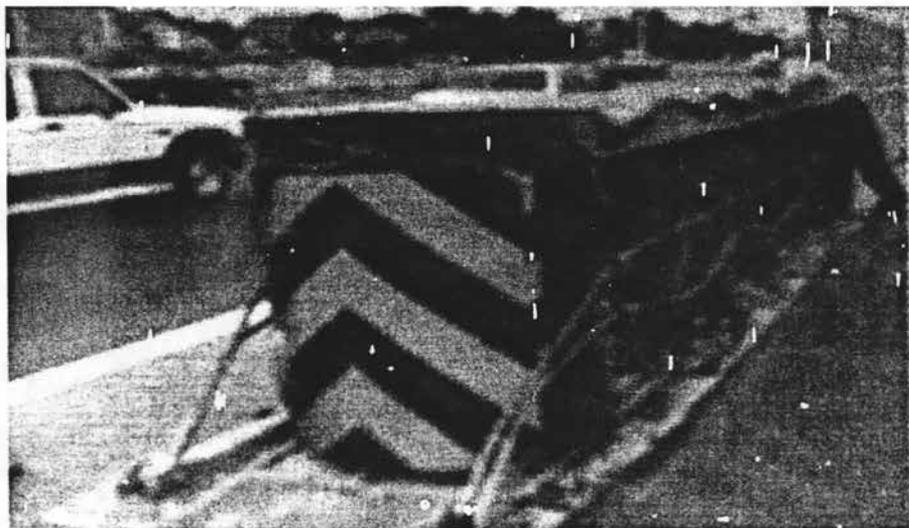


Figura 8.7.1.d. Sistema REACT 350

- **Sistema TRACC**

El amortiguador de impacto TRACC es un sistema redireccionable que ha sido ensayado exitosamente en el nivel TL3 del Reporte 350.

Al contrario de otros sistemas, el TRACC se encuentra totalmente armado y listo para ser instalados sobre una carpeta de asfalto, hormigón o material granular compactado, se pueden instalar en lugares permanentes o transitorios como zonas de trabajo.

En un impacto frontal, la energía cinética del vehículo impactante es absorbida al cortarse secuencialmente una serie de planchas de metal diseñadas para este fin, comprimiendo el sistema en forma de telescopio, en un impacto lateral el vehículo es redireccionado por vigas laterales de cuatro ondas.

El diseño del dispositivo es tal que después de un impacto, se remueve y traslada la unidad en su conjunto, para efectuar las reparaciones en un taller, al remover el dispositivo impactado, se instala otro en su lugar para no dejar desprotegido el lugar.

Todos los componentes del sistema TRACC son de acero galvanizado, el sistema es de 61 cm de ancho, 81.5 de alto y 6.40 m de longitud.

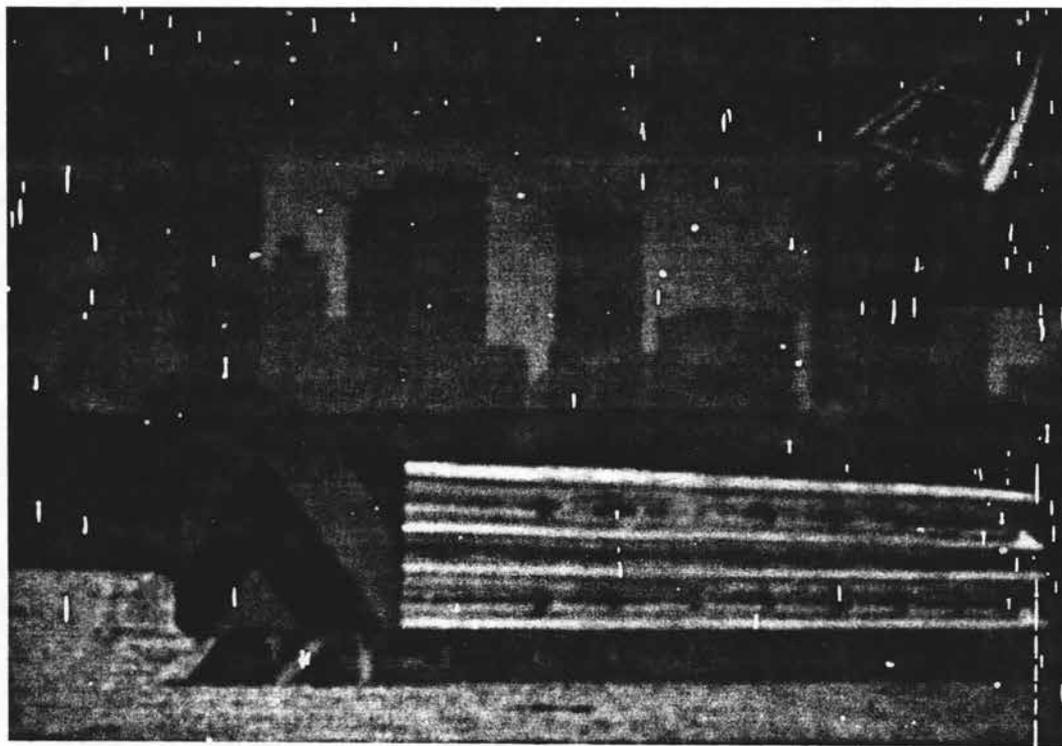


Figura 8.7.1.e. Sistema TRACC

8.7.2 Amortiguadores de impacto no redireccionables

- Tambores de plástico con arena

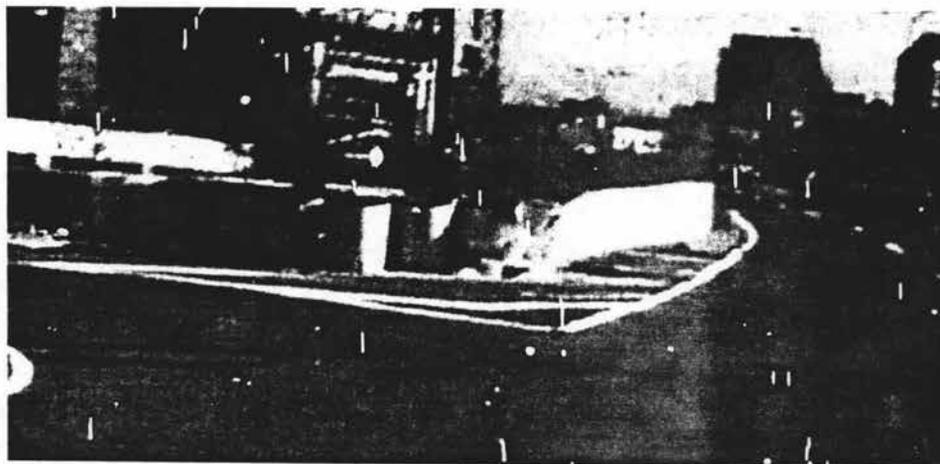
Los amortiguadores de impacto de tambores de plástico con arena, conocidos también como amortiguadores inerciales, son dispositivos patentados que disipan la energía cinética del vehículo impactado por medio de una transferencia de momento lineal desde el vehículo a las partículas de arena, la cantidad de arena en cualquier tambor es función de la velocidad de diseño, la ubicación del tambor con relación a los demás tambores del dispositivo, la forma, tamaño y naturaleza del objeto fijo o peligro del cual hay que defender.

Algunos tipos de amortiguadores con arena se muestran en la figura 8.7.2.a, se observa que cada módulo se sostiene a si mismo y no requiere de una estructura de reacción, los tambores son de 91 cm de ancho y alto, contienen distintas cantidades de arena, pudiendo cada módulo llegar a tener un masa de 90, 180, 320, 640 y hasta 960 Kg, cada tambor puede disponer de un piso falso para ubicar el lastre de arena a diferentes alturas dependiendo de su ubicación en el dispositivo total.

Figura 8.7.2.a. Amortiguadores de tambores con arena



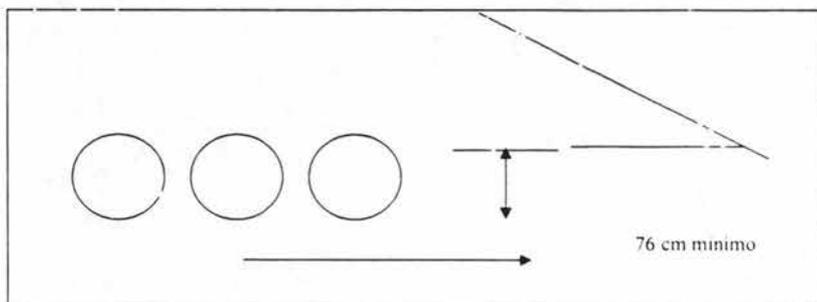
Figura 8.7.2.b. Amortiguadores de tambores con arena



Pueden haber un gran número de configuraciones de estos sistemas, las distintas opciones incluyen el número de tambores, la configuración del grupo, el peso de la arena en cada línea de la serie y el tamaño del tambor, cada sistema requiere un diseño apropiado para las condiciones específicas del sitio, los proveedores han desarrollado series estandarizadas, cumpliendo con los requerimientos del sistema, como son peso de vehículo, velocidad de impacto, máxima desaceleración del vehículo, además de forma y tamaño del obstáculo, en la lámina 8.7.2.a. y 8.7.2.b, se muestran algunas configuraciones típicas del dispositivo.

Los amortiguadores de impacto de tambores de plástico con arena son dispositivos sin capacidad de redireccionamiento, por esta razón es importante posicionar cuidadosamente los tambores posteriores, si el sistema no ha sido diseñado apropiadamente, los impactos en los tambores posteriores de estos dispositivos pueden ocasionar el enganchamiento en la esquina del obstáculo rígido, por esto se recomienda que los módulos exteriores, las últimas tres líneas posteriores, traslapen en su ancho al objeto fijo del cual se requiere defender, por lo menos en 76 cm, de esta manera se reduce la severidad de los impactos en estas esquinas (ver la figura 8.7.2.c.), de contar con espacio suficiente, se puede agregar una línea longitudinal adicional de módulos más livianos para mejorar el diseño.

Figura 8.7.2.c Emplazamiento de las últimas tres líneas posteriores con arena



Es importante que la arena utilizada en este tipo de amortiguadores de impacto este depurada y tenga un contenido de humedad menor o igual al 3%, un alto contenido de humedad puede traer como consecuencia el congelamiento de la arena, produciendo grandes bloques de material, lo que puede afectar adversamente el funcionamiento del amortiguador de impacto y crear una condición de riesgo para los usuarios de la vía, es recomendable agregar un poco de sal con la arena para prevenir el congelamiento si existiese humedad en el material.

Estos dispositivos han funcionado adecuadamente en cientos de accidentes, son preferidos por muchas entidades viales por su bajo costo inicial, sin embargo los tambores impactados deben ser reemplazados, lo que redundará en un costo de mantenimiento importante.

Otro factor negativo de estos dispositivos es que un golpe tangencial puede romper la pared de uno o más tambores, lo que puede ocasionar el escape de arena y generar un comportamiento defectuoso del sistema.

Después de un impacto es importante despejar la arena, para no dejar una condición resbaladiza en el pavimento.

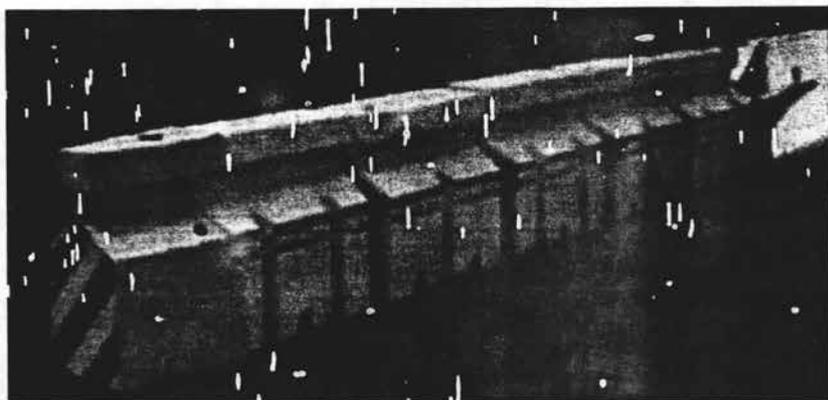
- **Sistema ABSORB 350**

El amortiguador de impacto ABSORB 350 es un sistema no redireccionable que ha sido ensayado exitosamente a nivel TL2 y TL3 del Reporte 350, este sistema se puede conectar al termino de cualquier sistema de barrera de hormigón portátil o fijo, no requiere un sistema de anclaje ya que la misma barrera de hormigón actúa como muro de retención.

El sistema dependiendo del nivel de protección requerido puede ser de 5 a 9 módulos, su ancho es de 60 cm y el largo del sistema de cinco módulos es de 5.70 m y el de 9 módulos es de 9.70 m su altura es de 80 cm, son fabricados de un plástico polietileno de baja densidad con un refuerzo de acero ASTM A-36 galvanizado.

Cada módulo pesa 50 Kg vacío y 325 Kg cuando esta lleno de liquido, el sistema es fácil de instalar y restaurar luego de un impacto.

Figura 8.7.2.d. Sistema ABSORB



- **8.7.3 Guía de selección de amortiguadores de impacto**

El número y complejidad de los factores que hay que considerar para seleccionar un amortiguador de impacto impide el desarrollo de un procedimiento de selección sencillo, en algunos casos habrá un sistema que por sus características físicas y operacionales dará mejores resultados, en la mayoría de los casos habrá dos o más dispositivos que reúnan las características necesarias para responder a la situación a resolver.

Sin embargo y a manera de referencia una vez que se determine la necesidad de utilizar un amortiguador de impacto, el proyectista deberá considerar los siguientes factores para seleccionar el sistema más apropiado.

- **8.7.3.1 Características del lugar**

Hay que considerar el espacio disponible en cada lugar, esto asegura que el sistema seleccionado pueda contar con el espacio suficiente para ser instalado correctamente, para realizar su eventual mantenimiento después de un impacto y para lograr sus objetivos como elemento de seguridad vial.

De no contar con el espacio de reserva suficiente se debe hacer lo posible para modificar el diseño del proyecto para obtener el espacio requerido.

Se recomienda que el diseñador elija entre varias opciones de amortiguadores de impacto disponibles, además de conocer los requerimientos de espacio necesario requerido por el proveedor, el diseñador debe tener claro que las condiciones del lugar de emplazamiento a veces puede ser preponderante al momento de elegir el dispositivo.

- **8.7.3.2 Características estructurales y operativas de sistemas disponibles**

De estar considerando más de un sistema el proyectista debe evaluar los elementos estructurales y parámetros de seguridad de cada sistema, entre ellos la desaceleración, capacidad de redireccionamiento, requerimientos de anclaje o de muro de reacción y posibles escombros generados por impactos.

Todos los sistemas descritos con anterioridad tienen la capacidad de disipar la energía cinética de un vehículo liviano (hasta 1,500 kg) cuando son impactados de frente a 100 km/h, llevando controladamente al vehículo a una condición retenida o redireccionándolo a un ángulo aceptable, la mayoría de estos sistemas pueden diseñarse para velocidades menores.

- **8.7.3.3 Costos**

Es importante considerar siempre las probabilidades que tiene un dispositivo de ser impactado, de ser altas y sucesivas las probabilidades de colisiones en un plazo corto, conviene optar por uno de los sistemas altamente reutilizables, aunque su costo inicial sea mucho mayor.

Todos los dispositivos amortiguadores de impacto mencionados en el presente documento tienen una óptima relación costo-efectividad, sin embargo hay variaciones en el costo de mantenimiento y reparación de estos, algunos sistemas normalmente deben reemplazarse después de un impacto mayor, pero los costos iniciales de este tipo de dispositivos son bajos, los tambores de plástico con arena es un ejemplo que cae en esta categoría.

Otros dispositivos amortiguadores de impacto tienen altos costos iniciales, pero pueden ser fácilmente restaurados en el sitio después de un impacto, el LMA por ejemplo tiene un alto costo inicial, pero puede ser utilizado una y 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 impactados frecuentemente, sistemas con un bajo costo inicial probablemente no se presten para ser reparados en el sitio tan rápidamente y es recomendable que se utilicen en lugares donde las probabilidades de impacto frecuente sean bajas.

- **8.7.3.4 Mantenimiento**

- **Mantenimiento rutinario**

Se considera que el mantenimiento de rutina es aquel que no es por causa de un impacto, dentro de estos trabajos de mantenimiento rutinario están:

1. - Inspección visual periódica.
2. - Limpieza de escombros, arena y retiro de maleza.
3. - Reposición de piezas faltantes o dañadas por vandalismo y robo.
4. - Ajustes de tensión de cables guías.
5. - Revisión de anclajes y pintura.

- **Mantenimiento por accidente**

Después de un impacto los dispositivos necesitan una inspección y análisis detenido, para definir las piezas que requieren reemplazo y los elementos que requieren un reposicionamiento o ajuste.

Basado en la experiencia, conviene contar con una reserva de piezas, especialmente las más dañadas durante los impactos, nunca conviene demorarse en restaurar estos dispositivos a su condición original ya que un impacto con un sistema parcialmente dañado se convierte en un accidente muy severo, con daños de gran costo para la reactivación del dispositivo.

ELEMENTOS DE CONTENCIÓN EN ZONAS DE TRABAJO
(CAPÍTULO 9)

9.- ELEMENTOS DE CONTENCIÓN EN ZONAS DE TRABAJO

9.1 GENERALIDADES

En este rubro se consideran los elementos que por sus características estructurales y funcionales son frecuentemente utilizados en zonas de trabajo o instalaciones temporales.

Las zonas de trabajo pueden presentar un alto nivel de riesgo para los usuarios, debido a la conjunción de varios factores, entre los que se destacan:

- Los conductores se enfrentan con situaciones desconocidas, muchas de éstas de riesgo.
- Cambian las condiciones normales de tránsito.
- Las faenas distraen la atención de los conductores.
- Existe una exposición de los trabajadores al flujo de tránsito.

Según estudios realizados por la AASHTO, basándose en el análisis de accidentes en zonas de trabajos en los EE.UU. se concluyó lo siguiente:

1. Los accidentes que ocurren en zonas de trabajo tienden a ser de mayor gravedad y tienen mayor probabilidad de contar con heridos y/o muertos.
2. Los impactos con objetos fijos en las zonas de trabajo urbanas y rurales, en general resultan con un mayor número de heridos y muertos que los accidentes entre vehículos.
3. Aproximadamente la mitad de los accidentes en zonas de trabajo ocurren en periodos de reducida visibilidad.

El diseño y selección de elementos de contención para zonas de trabajo se debe basar en las velocidades reales de operación y no en las velocidades indicadas como restricción, también se debe considerar la proximidad del tránsito al área de trabajo, a los trabajadores o a los pasos peatonales y de ciclistas.

9.2 Barreras

Las barreras para zonas de trabajo tienen que cumplir con los mismos requerimientos que las barreras permanentes laterales o centrales descritas en los capítulos anteriores, pero además, debido a las necesidades operativas de estas zonas, deben proveer las facilidades para movilizarlas y cambiarlas de ubicación a medida que las obras avanzan.

Dependiendo del lugar las funciones principales pueden ser:

- a. Evitar que el tránsito vehicular ingrese a la zona de trabajo, especialmente en zonas de excavaciones profundas, sitios de almacenamiento de materiales o equipamiento.
- b. Proveer un área de protección efectiva a los trabajadores.
- c. Separar el tránsito bidireccional.
- d. Separar el tránsito vehicular y el tránsito peatonal.
- e. Proteger las construcciones, incluyendo estructuras transitorias o encofrados para puentes y otros objetos expuestos.
- f. Delinear la pista a seguir.

En mayoría de los casos estas barreras y algunos amortiguadores de impacto, se pueden usar en una instalación permanente después de concluir su función como barrera móvil durante el proceso constructivo de la obra.

Los sistemas que se utilizan con mayor frecuencia y que se describen a continuación no requieren elementos estabilizadores para evitar el volcamiento, pero en caso de tener que minimizar su deflexión se pueden agregar pernos o pasadores en cualquiera de los sistemas, los cuales deben penetrar al pavimento, suelo o losa de puente debajo del dispositivo.

Los esviajes para las barreras móviles deben ser seleccionados para brindar una relación costo-beneficio efectiva, un esviaje bajo por ejemplo 14:1 (longitudinal : frontal), incrementará el largo necesario y aumentará la seguridad por tener un ángulo de aproximación menor, en cambio un esviaje alto con razón 2:1, tendrá un largo menor pero aumentará la severidad de un accidente por tener un ángulo de aproximación mayor, el análisis costo-beneficio de las barreras móviles de hormigón indica que se ve minimizado el costo total del accidentes para esviajes que están en el rango de 4:1 a 8:1, en zonas urbanas con alto tráfico y bajas velocidades de circulación se recomienda un rango de 5:1 ó 6:1.

El emplazamiento lateral de las barreras móviles debe ser como mínimo a 60 cm desde el borde de la pista de circulación, de lo contrario los conductores tenderán a posicionar sus vehículos muy cerca del otro costado de la pista, generando reducciones de capacidad y problemas operacionales.

9.2.1 Barrera móvil de acero

Existen varios modelos de barrera móvil de acero que han sido ensayados exitosamente en Europa, en términos generales y comparadas con barreras de hormigón, tienen un costo alto y presentan deflexiones mayores ante un impacto, sin embargo su bajo peso y alta portabilidad le otorgan ventajas en algunas situaciones, otro factor favorable de estas barreras es que algunos de los modelos incluyen la posibilidad de lograr una conexión simple con las barreras de metal permanentes como la doble onda.

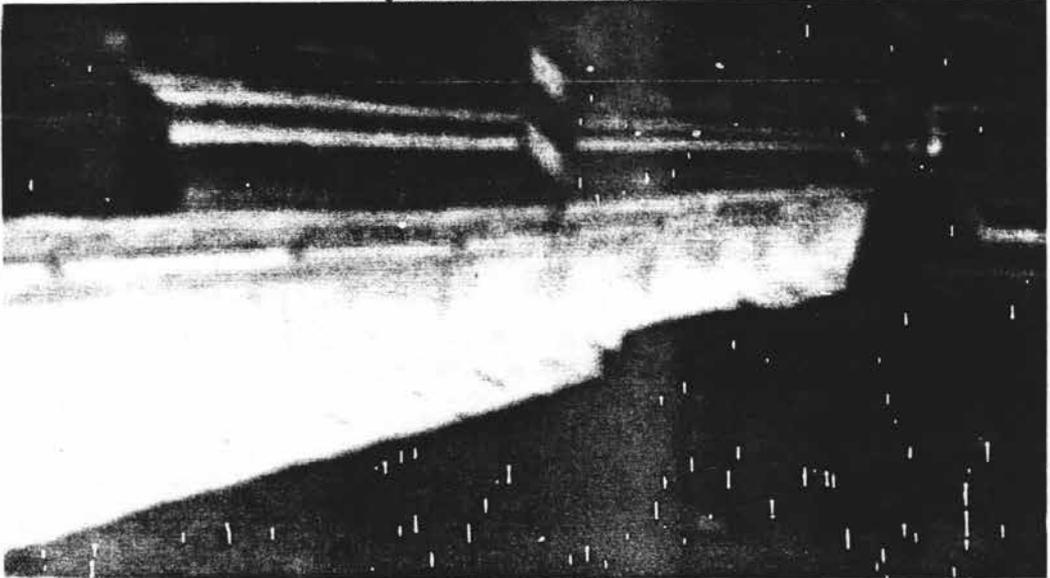
La forma más común de estas barreras es la que facilita al vehículo impactante montar encima de la parte inferior que es casi plana, permitiendo de esta manera que el mismo peso de éste colabore en minimizar la deflexión y volcamiento de la barrera.

• SISTEMA MINIGUARD

Este sistema de acero y de construcción modular, de origen alemán, ha sido ensayado exitosamente, clasificando en la categoría T2, de acuerdo a la norma EN 1317, el ensayo fue realizado con un vehículo de 1,300 Kg a 80 Km/h y a un ángulo de 15°, obteniéndose un ancho de trabajo de 2.1 m

La sección del dispositivo es de 50.5 cm de alto por 50.0 cm de base, cada módulo es de 1.50 m de largo y cuenta con un sistema motorizado que facilita su desplazamiento lateral, en la figura 9.2.1.a se muestra el dispositivo.

Figura 9.2.1.a Sistema Miniguard



• SISTEMA VARIOGUARD

Este sistema de origen alemán, de acero y de construcción modular, ha sido ensayado exitosamente clasificando en la categoría H 2, de acuerdo a la norma EN 1317, el ensayo fue realizado con un vehículo de 900 Kg a 100 Km/h y a un ángulo de 20° y un autobús de 13,000 Kg a 70 Km/h y a 20°, demostrando un ancho de trabajo de 3.50 m, su sección es de 90.0 cm de alto por 70.0 cm de ancho y cada módulo es de 4.00 m de largo, en la figura 9.2.1.b se muestra el emplazamiento del dispositivo.



Figura 9.2.1.b Sistema de barreras para zonas de trabajo VarioGuard

9.2.2 Barrera móvil de hormigón

La barrera móvil prefabricada de hormigón es un dispositivo modular que puede tener longitudes variables entre 1.00 y 9.00 m y posee mecanismos que permiten su fácil conexión y desconexión en obra, el peso de la barreras varía entre 600 y 750 Kg/m dependiendo de la sección transversal y del armado, por lo que la masa de los módulos puede variar entre 600 y 6,700 kg, lo anterior hace que se requiera maquinaria pesada para su instalación, reubicación y remoción.

El funcionamiento bajo impacto de la barrera móvil de hormigón depende, entre otros factores, de la longitud y masa de los módulos así como de la forma en que éstos fueron conectados entre si, la colocación adecuada del refuerzo longitudinal y las conexiones resistentes al corte, tensión y torsión, que permitan que éstos funcionen como una unidad continua.

Cuando las condiciones de espacio disponible no permiten el desplazamiento lateral de la barrera, es necesario anclar el sistema al pavimento o a la losa del puente, uno de los métodos recomendados son el uso de pasadores o pernos, los cuales no deben sobresalir sobre el frente del sistema, otro método para prevenir al deslizamiento es proporcionar una fijación mecánica entre la barrera y la superficie del pavimento, la cual puede realizarse colocando la barrera sobre una lechada de cemento.

El diseño debe permitir un adecuado drenaje del dispositivo, para evitar la acumulación de agua frente de la barrera, y no alterar el buen funcionamiento de ésta, las descargas de agua no deben ser mayores que 7.50 cm de alto y se debe tener cuidado de nunca elevar la barrera en su totalidad, colocándola en pedestales, ya que esto subiría toda la geometría del sistema lo que provocaría deficiencias en su funcionamiento.

Cuando la barrera es impactada, su masa y el roce con la superficie de apoyo y la fijación entre los módulos, tienden a limitar el movimiento lateral y el volcamiento, cada sección debe ser interconectada apropiadamente a la sección adyacente para proporcionar una continuidad al sistema, evitando un desplazamiento o volcamiento independiente, lo cual generaría un posible ensanchamiento y/o inestabilidad del vehículo impactante.

El punto menos resistente a los impactos es donde se unen los módulos, por lo que existen varias formas ensayadas exitosamente para efectuar diferente conexiones en relación con las condiciones, vehículos, velocidades y ángulos, los diseños de las uniones entre módulos son generalmente ensayadas y patentadas por empresas que poseen la propiedad intelectual, algunos ejemplos de estos sistemas son los siguiente:

- **Conexión con perfil canal.**

Esta conexión requiere que el módulo de hormigón tenga dos orificios atravesando la base de la barrera en cada extremo para pernos, los perfiles canal tipo exclusas son apertados por cada lado de cada uno de los módulos adyacentes.

Existen algunos factores importantes que deben ser considerados para la elección de las partes que conforman este tipo de conexión, como el tipo de canal y su longitud, número y diámetro de los pernos, diámetro del orificio del perno, el espaciado entre los orificios de los pernos y la longitud de los módulos.

El diseño de esta conexión puede generar altos esfuerzos de tracción, momento y corte, ya que es bastante rígida, no permitiendo movimientos angulares importantes entre módulos.

El diseño consta de numerosas partes y tolerancias limitadas, esto hace que se requiera un alineamiento relativamente preciso durante su instalación y que exista una limitada flexibilidad para adaptarse a curvas o esvajes.

Este sistema de barreras ha sido ensayado exitosamente con automóviles de 2,000 Kg a 100 Km/h, a 25 grados.

- **Conexión con perfil viga "I" vertical**

Esta conexión consiste en un tubo de acero con un corte longitudinal, el cual se emotra en cada extremo de los módulos de la barrera, los módulos se unen insertando un perfil de acero I, haciendo coincidir el ala del perfil con el respectivo tubo de acero, esta conexión puede lograr una alta resistencia a la tensión, momento, esfuerzo de corte y fuerzas de torsión y ha sido ensayada exitosamente con un automóvil sedan de 1,980 Kg de peso, a 97 Km/h, en un ángulo de 25 grados.

La desventaja de esta conexión es que permite un movimiento significativo de la barrera antes de desarrollar el momento reactivo, por lo tanto, para obtener un funcionamiento óptimo del sistema, se deben tomar medidas para reducir su magnitud, esto se puede lograr instalando los segmentos al instalarlos, a manera de generar una tensión en cada conexión o utilizando módulos más largos.

- **Junta de gancho "J"**

Esta conexión se fabrica con dos placas de acero de 25.4 cm, encorvados en el extremo en forma de gancho "J", que encajan entre sí por la parte superior.

Las zonas de trabajo con restricciones geométricas requieren de un análisis detenido para determinar el tipo y ubicación de barreras de contención, algunos sitios con estas características podrían requerir barreras donde los ángulos de impactos esperados sobrepasen sustancialmente los 25 grados, como por ejemplo en una obra donde existen intersecciones con otras vías, las cuales deben conservarse abiertas al tránsito, en este caso las barreras de la zona de trabajo podría quedar perpendicular a la vía que cruza, lo cual puede originar un impacto frontal.

Otra condición es cuando se trabaja dentro de una intersección que podría requerir una barrera para proteger a los trabajadores de los vehículos fuera de control o para proteger al público de peligros, como las excavaciones profundas, si se debe mantener el tráfico alrededor de la zona de trabajo y el espacio es insuficiente para colocar un diseño que incluya tratamientos de los extremos, pueden justificarse esvajes de mayor ángulo.

Deberán considerarse las siguientes recomendaciones, cuando se requiera instalar una barrera móvil de hormigón en estas zonas restringidas:

- Se debe utilizar solamente en velocidades bajas (70 Km/h o menos)
- Todos los módulos deben ser conectados adecuadamente

- Los extremos del sistema se recomienda anclarlos para prevenir volcamientos o desplazamientos excesivos.
- Se debe proporcionar un área despejada entre la barrera y la zona de trabajo para permitir la deflexión de la barrera ante el impacto, si no se cuenta con ello la barrera debe ser anclada o debe determinarse al ancho de trabajo en base al peso propio de ella y al coeficiente de roce del suelo.

9.2.3 Sistema de tracción reactivo (Quickchange)

Este sistema es un caso particular de las barreras modulares de hormigón portátil y está compuesto por una cadena de barreras de hormigón tipo "F" modificada, con muro vertical forrado con acero de 1.00 m de longitud, las cuales pueden ser removidas lateralmente de forma muy simple, ha sido ensayado con una camioneta de 2,000 Kg a 100 Km/h y 25°, dado que los elementos son de menor masa se tienden a desplazar generando tracción a los elementos siguientes, lo cual aumenta la resistencia del sistema, de esta manera se puede contener y redireccionar un vehículo con energías de 135 Kjoule, ángulo de salida de 7 grados con una deflexión de 0.70 m.

Los módulos se conectan mediante un sistema de barras de acero que atraviesan por toda la longitud de éstos, terminando en cada extremo con bisagras especialmente diseñadas las cuales se unen mediante pasadores, la parte más alta de esta barrera termina en un perfil "T" que permite sea tomada y desplazada por un vehículo especial.

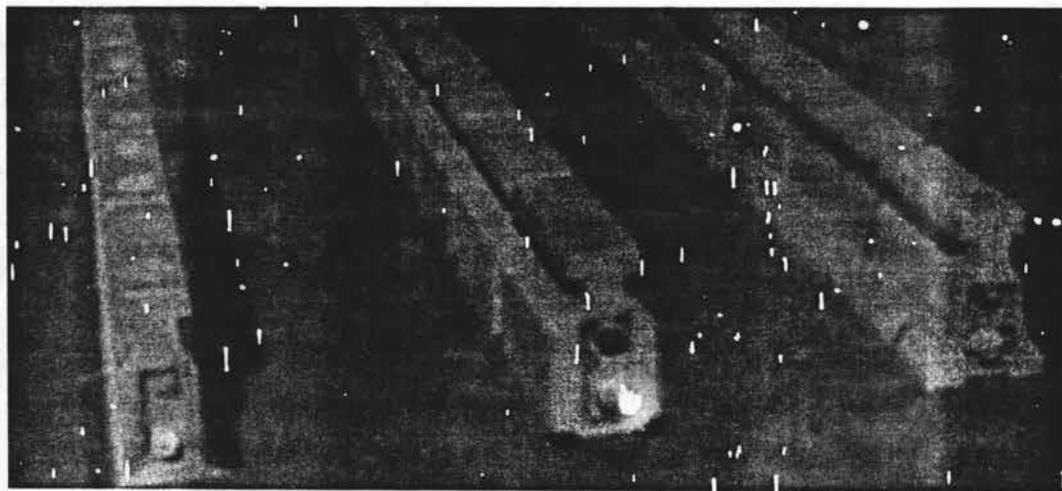


Figura 9 2.3 Sistema de tracción reactivo quickchange.

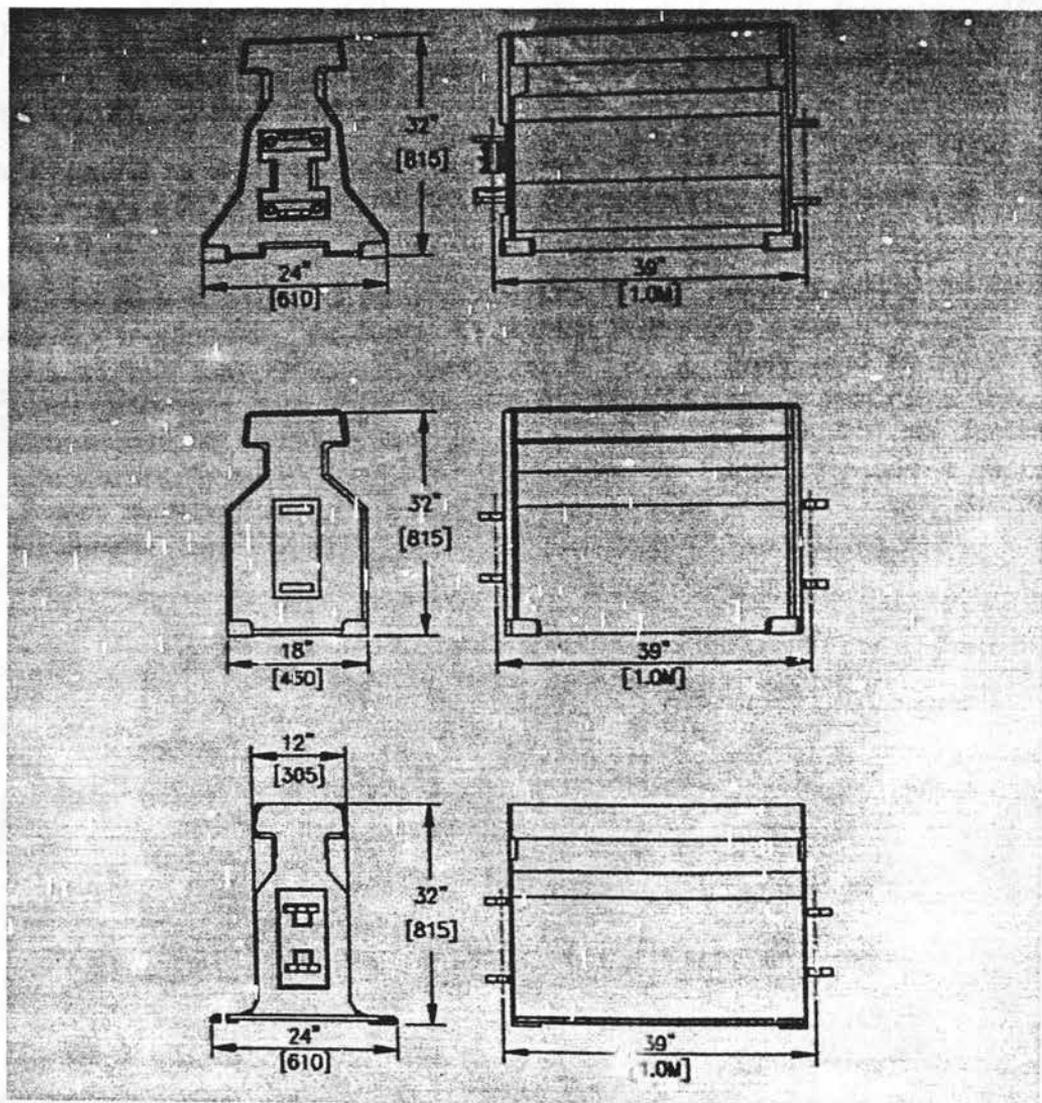


Figura 9.2.3.b Sistema de tracción reactivo Quickchange.

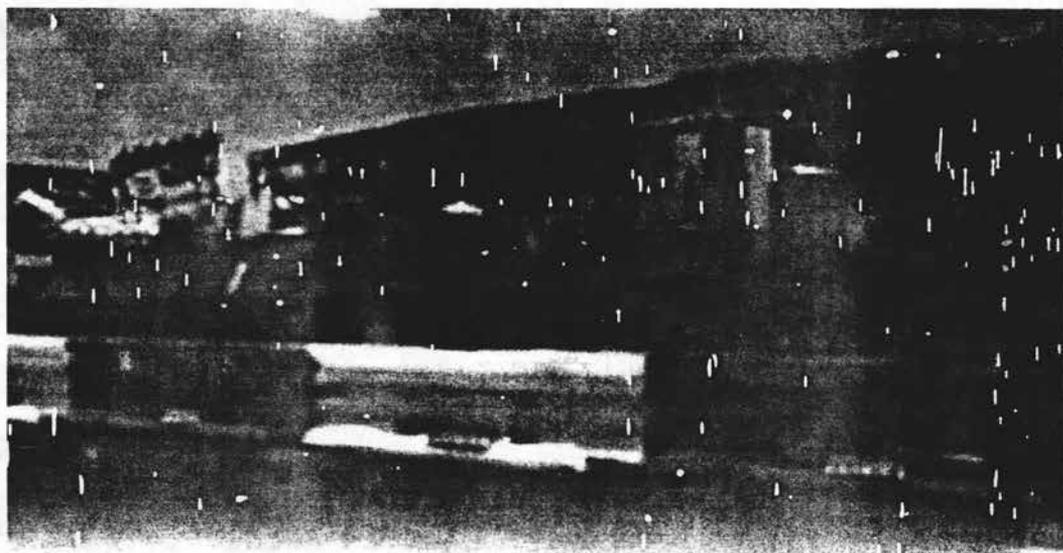
9.2.4 Barrera de módulos plásticos reforzada con cable de acero

Esta barrera es marca registrada de TRITON y esta compuesta por módulos de 1.981 m de largo, 81.3 cm de alto y 53.3 cm de ancho, de plástico polietileno con lastre de agua en su interior, la barrera de plástico es reforzada con un armazón interno de acero que proporciona rigidez adicional para ayudar a resistir los esfuerzos de impacto y disminuir el movimiento lateral, adicionalmente cuenta con un cable a lo largo del límite superior, que permite conectar las uniones entre los módulos y proporcionar capacidad de tensión durante los impactos.

El sistema se ha ensayado exitosamente con una camioneta de 2,000 Kg a 70 Km/h y a 25° y un auto de 820 Kg a 70 Km/h a 20°, con un ancho de trabajo de 3.80 m.

No se debe confundir el sistema TRITON con varios sistemas de plástico usados comúnmente, los cuales se pueden lastrar con hormigón o agua, pero que no han sido ensayados exitosamente, estos dispositivos funcionan bien como delineadores, pero dado que sus conexiones son de plástico y que sus dimensiones no cumplen con la forma New Jersey o "F", no funcionan adecuadamente como barreras de contención, de hecho si módulos de estos diseños se llenan de agua o de hormigón, se pueden convertir en elementos sumamente peligrosos, al no estar convenientemente conectados entre si.

Figura 9.2.4 Sistema Tritón



9.3 TERMINALES PARA BARRERA

Los terminales de barrera de zonas de trabajo son los mismos descritos en el capítulo 8 del presente documento.

El primer paso a seguir deberá ser estudiar la necesidad de colocación de una terminal, para lo cual será prioritario analizar la alternativa de conectar la barrera temporal con alguna barrera permanente cercana, si esto es posible se deberá asegurar que las conexiones sean lo suficientemente fuertes para resistir todas las cargas de un impacto y sean aplicables las consideraciones indicadas en el Capítulo 5 para barreras laterales.

Si no es posible realizar las conexiones con barreras permanentes, se deberá seleccionar la terminal más adecuada a la situación (Capítulo 8), algunas soluciones prácticas se han utilizado con éxito en la implementación de terminales para barreras de módulos plásticos, un módulo vacío al comienzo del sistema ha dado buenos resultados en las pruebas de impacto.

Tal como para las barreras permanentes, se debe cuidar de hacer transiciones adecuadas entre las barreras que difieren en flexibilidad o entre una baranda de puente y una barrera lateral temporal.

9.4 AMORTIGUADORES DE IMPACTO

Los principios de funcionamiento de amortiguadores de impacto son similares a los descritos en el capítulo 8 y sólo deben hacerse algunas consideraciones de tipo práctico para su instalación y ubicación en zonas de trabajo.

Existen dos grupos de amortiguadores de impacto que son utilizados en estas zonas, los estacionarios y los móviles montados en camión.

9.4.1 Amortiguadores de impacto estacionarios

Un amortiguador de impacto para zonas de trabajo puede ser utilizado de la misma forma que para las instalaciones permanentes, ya que su objetivo es similar, es decir proteger a los usuarios de los extremos de las barreras, objetos fijos y otros obstáculos, para descripciones detalladas requerimientos de instalación y limitaciones, consultar las referencias indicadas en el capítulo 8.

- **Tambores de plástico con arena**

Si se dispone de espacio suficiente, es recomendable usar configuraciones de tambores de plástico con arena igual a las indicadas para instalaciones permanentes, algunas zonas de trabajo tienen áreas restringidas donde no existe espacio para esta opción, sin embargo, a falta de otra alternativa se puede aumentar la seguridad mediante el uso de tambores en configuraciones menores, que no cumplan con las recomendaciones para instalaciones permanentes.

Debido a que un sistema de tambores de plástico con arena no tiene capacidad de redireccionamiento, sus configuraciones deben ser por lo menos 75 cm más anchas que el obstáculo fijo o condición peligrosa, a manera de evitar el impacto o enganchamiento con el borde del obstáculo del cual se quiere proteger.

Para mover o trasladar un sistema con mayor facilidad, éstos pueden ser puestos sobre plataformas tipo paletas, de 10 cm de altura o menos.

Los tambores deben ser inspeccionados con regularidad, ya que proporcionan poca o ninguna reserva de seguridad después de ser impactados.

- **Sistema ABSORB**

Este dispositivo es el mismo utilizado para instalaciones permanentes, según se describe en el capítulo 8 de este documento.

- **Sistema GREAT CZ**

Este amortiguador de impacto es marca registrada y es parecido al descrito en el capítulo 8, tiene capacidad de redireccionamiento y cuenta con una plataforma integrada, una estructura de respaldo y un sistema de anclaje, lo que permite sea trasladado de lugar en lugar, conservándose intacto, debe estar colocado sobre una superficie relativamente plana para que pueda ser anclado con pernos o pasadores.

9.4.2 Amortiguadores de impacto montados sobre camión

En términos simples, en zonas de trabajo y especialmente si éstas son de corta duración, se pueden usar los camiones de la faena como una barrera de seguridad para proteger a los trabajadores, el sistema es adaptable a casi cualquier tipo de camión, aunque se prefieren los de tamaño mayor.

Los camiones grandes pueden ser efectivos para prevenir el ingreso de los vehículos al área de trabajo, sin embargo al ser impactados pueden causar serios daños para los ocupantes del vehículo impactante, si es que el camión no cuenta con un amortiguador de impacto.

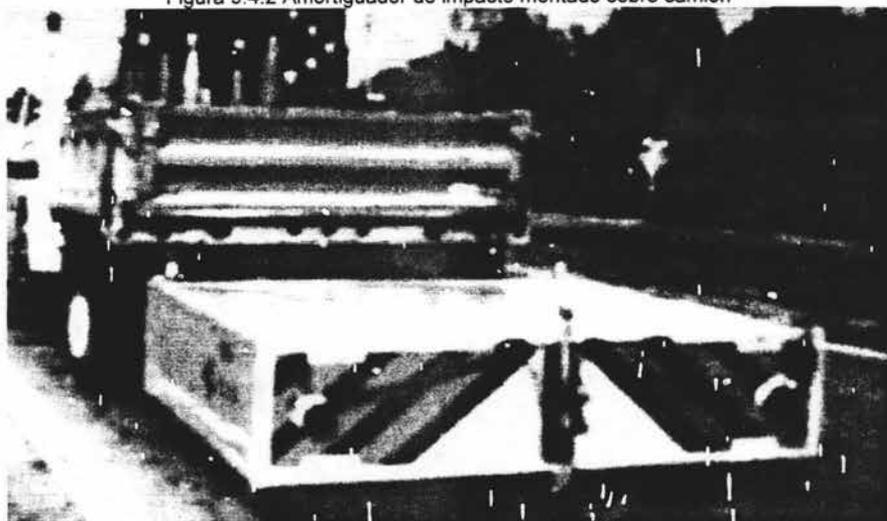
En otros casos, el mismo vehículo de trabajo debe también requerir seguridad, por ejemplo una máquina pintarrajas, o regador de agua, o máquina barredora, los amortiguadores de impacto llamados Amortiguadores Montados sobre Camión (A.M.C.) son instalados en la parte posterior de estos vehículos para reducir la severidad de cualquier impacto.

Los amortiguadores de impacto móviles generalmente no son apropiados para vehículos especializados como son los camiones niveladores, cortadoras y camiones remolque, sin embargo existen interfaces probadas contra impacto para utilizarse entre los amortiguadores móviles y algunos tipos de camiones regadores de anticongelante y arena o camiones barredoras de calles.

Cuando se ensayó con un automóvil de pasajeros de 2,000 Kg a 70 Km/h, el camión con amortiguador de impacto se desplazó, por lo cual se recomienda una distancia mínima de 9.00 m entre el camión y el área de trabajo, si las velocidades de aproximación son mayores que 70 Km/h, se recomienda utilizar una distancia mayor, basándose en las sugerencias del proveedor, el camión debe tener colocado el freno de mano, debe estar con velocidad y con los neumáticos girados en sentido opuesto al área de trabajo, estas recomendaciones son para camiones de 4,500 Kg de peso o más.

El amortiguador de impacto hecho de espuma, mostrado en la figura 9.4.2, es un cartucho absorbedor de energía montado en un marco y encajado dentro de una celda de fibra de vidrio, los cartuchos absorbedores de energía hechos de espuma están conformados por celdas de papel, de forma hexagonal, rellenos con espuma de poliuretano, estos dispositivos han logrado alcanzar un funcionamiento aceptable en pruebas de impacto con vehículos de 2,450 Kg de peso a velocidades de 80 Km/h, nuevos modelos son capaces de funcionar con vehículos de 2,000 Kg hasta a 100 Km/h.

Figura 9.4.2 Amortiguador de impacto montado sobre camión



RAMPAS DE ESCAPE
(CAPITULO 10)

10.- RAMPAS DE ESCAPE

10.1 GENERALIDADES.

La combinación de vehículos de grandes dimensiones, como camiones y autobuses con pendientes fuertes, desde hace mucho tiempo representa un riesgo letal para los usuarios de las rutas y para quienes habitan en propiedades colindantes con estas.

Estas características topográficas, muy frecuentes en una extensión importante de nuestros caminos, generan en los vehículos condiciones inseguras para su circulación, debido a que se ven expuestos a constantes cambios de velocidad, uso permanente de los frenos y aplicación del retardador de los motores al llevarlos enclochados constantemente, medidas que nos son siempre suficientes para mantener a los vehículos bajo control, traduciéndose a menudo en accidentes y consecuentemente en costos para el estado.

Las rampas de escape tienen su origen en una observación de la reacción permanente de los conductores expuestos a sucesos en la ruta. obviamente los operadores de camiones que experimentaban este problema sintieron que era preferible realizar una maniobra controlada de escaparse del camino, a perder totalmente el control, es por ello que antes de diseñarse y desarrollarse las rampas de escape, los vehículos fuera de control se estrellaban contra montículos de arena o grava que se encontraban ubicados en las orillas de los caminos en mantenimiento, en algunas ocasiones los operadores de los vehículos fuera de control se salían del camino en dirección a las lomas ascendentes o hacia caminos laterales para reducir la velocidad del vehículo.

La primera instalación diseñada para ayudar a los camiones fuera de control se construyó en California EE.UU. en el año de 1956, a partir de entonces y a medida que crecía el interés por la aplicación de las rampas de escape, también aumentó la necesidad de saber cómo diseñarlas para que su uso fuera eficaz. ¿En que lugar deben ubicarse?, ¿Qué características como longitud e inclinación se requieren y que materiales son los que mejor funcionaban?, ¿Qué procedimientos de construcción y mantenimiento son necesarios? etc. en algunos estados de los EE.UU. Australia y el Reino Unido comenzaron proyectos de investigación para responder a estas dudas.

Algunas investigaciones aportaban datos sobre el uso, las características y la velocidad de los camiones que ingresaban a una rampa y la velocidad a la que viajaban antes de ser detenidos, a partir de esa información se dedujeron fórmulas para determinar la longitud de las rampas en función de la velocidad de ingreso de los vehículos, la inclinación de éstas y la resistencia de rodado de su superficie.

Las fuerzas que actúan en cada vehículo y que afectan su velocidad son la potencia del motor, los frenos, pero es de mayor importancia la sumatoria de fuerzas externas que actúan directamente sobre el móvil, la fuerza del motor y de los frenos pueden ser ignorados en el diseño de la rampa, puesto que esta deberá ser diseñada considerando el caso más desfavorable, que es cuando los vehículos estén completamente fuera de control y que los frenos estén descompuestos.

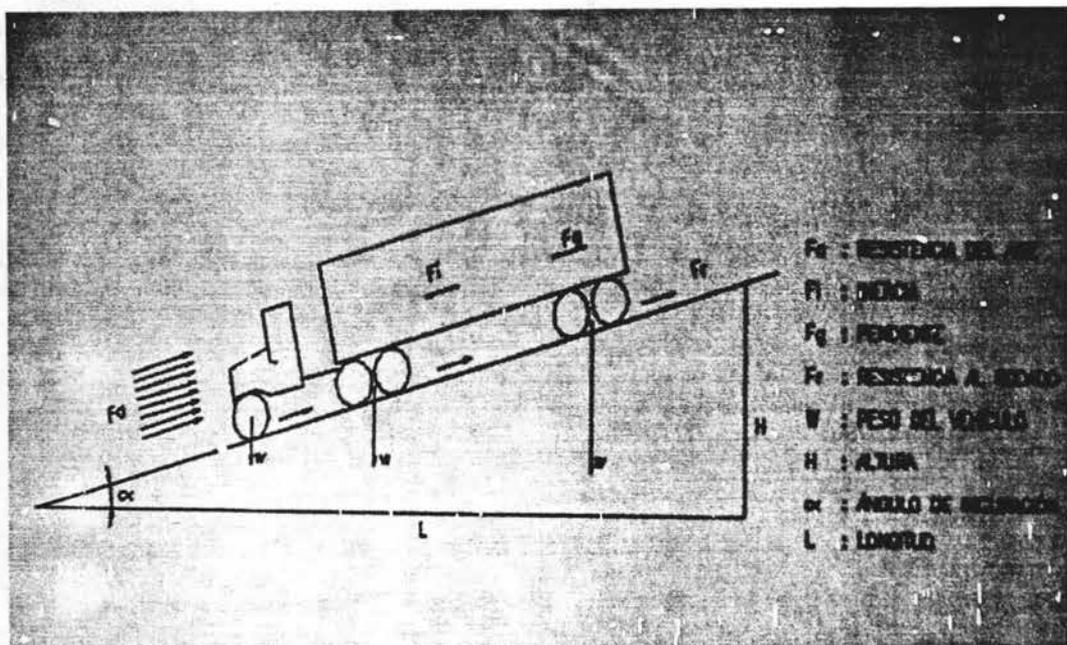


Figura 10.1 Fuerzas que actúan sobre un vehículo

La sumatoria de fuerzas que actúa sobre el vehículo es: la inercia, el aire, la resistencia al rodado y la pendiente.

La inercia puede ser definida como una fuerza que se resiste al movimiento del vehículo o lo mantiene, a menos que sobre el vehículo actúe una fuerza externa, la inercia podría ser superada por un incremento o una disminución de la velocidad del vehículo, la resistencia al rodado y la pendiente pueden romper la inercia de un vehículo.

La resistencia al rodado es la resistencia al movimiento generado por el área de contacto entre los neumáticos de los vehículos y a la superficie de la carpeta de rodado y es aplicable solamente cuando el vehículo está en movimiento, su influencia depende principalmente del tipo de superficie en la que el móvil se desplace.

La pendiente se debe al efecto de la gravedad, pudiendo ser ésta positiva (gradiente) o negativa (pendiente) y se expresa como la fuerza requerida para mover un vehículo a través de una distancia vertical.

La última fuerza es la resistencia del aire, que es una fuerza negativa y que retarda el movimiento al estar ésta en contacto con muchas superficies del vehículo, el aire causa una significativa resistencia para velocidades por encima de los 80 Km/h y es despreciable bajo los 30 Km/h, generalmente, el efecto de la resistencia del aire ha sido despreciable en la determinación de las longitudes de las rampas de escape, debido a que introduce un pequeño factor de seguridad en su diseño.

10.2 TIPOS DE RAMPAS

Existen tres categorías para identificar los tipos de rampas más utilizadas, éstas son: gravitacionales, montículos de arena y lechos de frenado.

Dentro de estas categorías, existen cuatro diseños predominantes, los montículos de arena de tres tipos de lechos de frenado clasificados por la pendiente: pendiente descendente, pendiente horizontal y pendiente ascendente.

Las rampas gravitacionales tienen un pavimento o material granular compactado densamente en la superficie, confiando fundamentalmente en las fuerzas de gravedad para disminuir y detener la carrera de los vehículos, este tipo de rampa por lo general es de una gran longitud, debe tener una importante pendiente y requiere de un control topográfico continuo y estricto, otro de los inconvenientes que presentan este tipo de rampa, es que una vez que se ha logrado la detención del móvil, podría comenzar el descenso de éste, debido a que no cuenta con un sistema de frenos, generando una situación de riesgo para el conductor y para el resto de los vehículos que circulan por la ruta, es por ello que este tipo de rampa es la de menor uso en los países desarrollados y la menos recomendada.

Las rampas de montículos de arena están compuestas de arena suelta y seca, y su longitud normalmente no sobrepasa los 120 mts, la influencia de la gravedad depende de la pendiente de la superficie, el incremento de la resistencia al rodado es suministrada por la arena suelta, las desaceleraciones en los montículos de arena usualmente son muy severas y la arena puede ser afectada por el clima, por sus características desaceieradoras este tipo de rampa puede no ser tan práctico como los lechos de frenado, sin embargo, para ciertos lugares, donde no existe una longitud adecuada, las rampas de montículos de arena pueden ser apropiadas.

Los lechos de frenado son construidos normalmente paralelos y adyacentes a las rutas, este tipo de rampa utiliza material granular suelto, de manera tal que aumente la resistencia al rodado para la detención de los vehículos.

Donde la topografía es adecuada, el lecho de frenado horizontal es otra de las opciones, construido en una pendiente horizontal, este tipo de lecho de frenado incrementa la resistencia al rodado a partir del agregado suelto, teniendo como resultado la disminución y detención del vehículo fuera de control, este tipo de rampa requiere de una longitud mucho mayor que los lechos de frenado de pendiente ascendente.

El más común de los lechos de frenado es el de pendiente ascendente, ya que tiene la gran ventaja de utilizar la inclinación del terreno como complemento de los materiales granulares utilizados en la construcción de él, reduciendo así su longitud.

Cada una de las rampas descritas deben ser aplicables para ciertas situaciones particulares, que en general se relacionan con su compatibilidad con la topografía y la ubicación del lugar de emplazamiento, los procedimientos usados para el análisis de las rampas de escape son esencialmente los mismos para cada una de las categorías o tipos identificados, lo que marca la diferencia en los diferentes procedimientos es el tipo de material utilizado, ya que éste influirá directamente en el factor de la resistencia al rodado requerido para disminuir y detener en forma segura a los vehículos.

10.3 CRITERIOS DE DISEÑO

Existen algunos fundamentos básicos en el diseño de las rampas de escape, algunos relacionados con las características físicas de ellas, pero también existe otro fundamental y es el relacionado con la seguridad.

Nunca debe olvidarse que el diseño de las rampas está orientado a salvar vidas y que la persona que conduce el vehículo, que está completamente fuera de control, no se encuentra en condiciones de tomar decisiones o realizar acciones complejas.

Es por esto que al diseñar la rampa de escape, incluyendo su señalización, debe generar las condiciones necesarias para que el conductor de un vehículo con averías conozca de la existencia de la rampa, entienda las maniobras que debe realizar y sienta la confianza suficiente de ingresar a ésta en forma segura y no continuar por la ruta principal.

Las condiciones mínimas que se deben cumplir en el diseño de una rampa de escape son: contar con un acceso amplio, tener una buena visibilidad de toda la rampa la mayor cantidad de tiempo posible (s. el conductor percibe discontinuidades, aunque éstas no existan, no entrará en ésta) y contar con una longitud suficiente, además de colocar los materiales adecuados y contar con una pista auxiliar para remover vehículos y permitir el mantenimiento.

Otro elemento fundamental e indispensable, que favorece la seguridad de las rampas de escape, es la iluminación, para garantizar la operación nocturna.

10.3.1 Ubicación

Determinar donde es necesaria una rampa de escape involucra una serie de consideraciones, de acuerdo a los textos analizados, no existe aún una normatividad clara de qué factores o combinación de éstos, son los relevantes y decisivos al momento de la tomar la decisión.

Dentro de los factores más comúnmente considerados a la hora de proyectar una rampa de escape y que deben ser evaluados por los proyectistas son: las tasas de accidentes, ya que está generando preocupación en el ámbito local y requieren de acciones; el concepto de frenos humeantes, que tiene relación con la condición que presenta el sistema de frenos de un vehículo al ser constantemente utilizado y conlleva un análisis visual en la ruta; el volumen total de tráfico y su relación con el volumen de camiones, el número de carriles en la ruta y si en el camino existen curvas como para que la mayoría de los camiones fuera de control se salgan antes de llegar a una rampa de escape, etc.

La literatura más reciente no señala un procedimiento uniforme, ampliamente aceptado, que determine cuándo instalar una rampa de escape, la experiencia de los accidentes y los conocimientos de ingeniería son los enfoques mayoritariamente utilizados, el peligro que implica para las actividades adyacentes a las rutas y para las comunidades cercanas son, en algunos casos, razones suficientes para su instalación.

En lo que si existe consenso es que los datos de accidentes en el proceso de diseño han resultado ser una excelente herramienta para definir su ubicación, lo que debe ser acompañado con el estudio de las características topográficas del sector, el análisis de una revisión de los

estudios realizados en algunos estados de la Unión Americana nos llevo a las siguientes conclusiones, que pueden servir de guía para proyectar las rampas de escape:

- La rampa deberá ser ubicada en un punto de la pendiente que permita interceptar la mayor cantidad de camiones fuera de control.
- Los accidentes que se producen cerca de la cumbre tienden a ser menos graves.
- Las rampas debieran ser construidas antes de las curvas que no pueden ser enfrentadas en forma segura por un vehículo fuera de control.
- La experiencia ha demostrado que una rampa ubicada entre 5 y 7 Km de la cumbre interceptará un 70 y un 80 % de los vehículos fuera de control.

Las rampas de escape por lo general deberán estar ubicadas al costado derecho de la vía y en una alineación tangente a esta, de manera que los vehículos que ingresen lo hagan de una forma segura, ya que una vez dentro de la rampa se pierde la maniobrabilidad, recomendaciones recientes establecen que una rampa debe ser visible desde una larga distancia y que el ángulo de partida debe ser menor o igual a 5 grados.

No es recomendable diseñar rampas de escape al costado izquierdo de las vías bidireccionales, ya que debe evitar que los vehículos crucen la pista de sentido contrario, la excepción a esta regla básica es que las condiciones topográficas obliguen a esta situación y en este caso se debiera cumplir con algunas condiciones fundamentales de emplazamiento, como por ejemplo: que deben estar ubicadas en lugares donde se tenga una visibilidad adecuada, tanto para el conductor del vehículo fuera de control como para los conductores que se desplazan en sentido contrario, que las condiciones topográficas del entorno permitan proyectar una pista que no interfiera con la seguridad del camino, etc.

En el caso de vías unidireccionales con más de una pista se podrían diseñar rampas de escape al costado izquierdo, pero ubicadas sólo en la mediana de ambas calzadas, evitando de esta manera que el vehículo fuera de control cruce hacia la calzada donde los vehículos circulan en sentido contrario.

10.3.2 Longitud

Para la determinación de la longitud de la rampa de escape, requerida por un vehículo fuera de control para detener su marcha, se puede aplicar la ecuación entregada en el documento de la AASHTO "A Policy on Geometric Design Of Highways and Streets" (1994), donde se consideran la resistencia al rodado y la pendiente.

$$L = V^2/254*(R G)$$

Donde:

L.- Distancia de detención (m)

V.- Velocidad de entrada (Km/h)

R.- Resistencia al rodado del material de la rampa, expresado como un equivalente de la pendiente, dividido por 100.

G.- Pendiente de la rampa, dividida por 100

La resistencia al rodado de acuerdo a los diferentes tipos de materiales, expresado como un equivalente de la pendiente, queda expresado en el cuadro siguiente:

Material superficial de la rampa	Resistencia al rodado (Kg/1,000 Kg)	Grado equivalente (%)
Concreto con cemento Portland	10	1.0
Concreto asfáltico	12	1.2
Grava compactada	15	1.5
Tierra arenosa suelta	37	3.7
Agregado molido suelto	50	5.0
Grava suelta	100	10.0
Arena	150	15.0
Gravilla de Tamaño uniforme	250	25.0

Fuente: a policy on geometric design of highways and streets (AASTHO, 1994)

Entonces, por ejemplo, si se asume que las condiciones topográficas en un sector seleccionado para diseñar una rampa de escape, imponen una gradiente de un 10%, lo que implica el valor para la ecuación $G=+0.10$, si el lecho de frenado se construirá con gravilla suelta, de acuerdo al cuadro anterior el valor de $R=0.10$, y la velocidad de entrada es de 140 Km/h, para este caso la rampa de escape deberá tener una longitud mínima de 400 m.

Cuando la pendiente varía dentro del lecho de frenado, la velocidad final al término de la primera pendiente puede ser calculada y utilizada como la velocidad inicial en la segunda pendiente y así sucesivamente.

Utilizando la misma fórmula:

$$V_f^2 = V_i^2 - 2554(R G)$$

La velocidad del vehículo es determinada en cada cambio de pendiente de la rampa de escape, hasta una longitud suficiente para detener al vehículo fuera de control.

En situaciones en que el terreno o las condiciones de desarrollo no permiten la provisión de las longitudes deseadas para la rampa, se pueden utilizar montículos u otros elementos de contención, como disipadores de energía, para reducir las distancias de detención, en estos casos se debe utilizar con prudencia este tipo de atenuadores para asegurar que la seguridad de los ocupantes de un vehículo pesado sea aumentada y no puesta en peligro.

Los montículos, en lo posible, deberán ser del mismo material con el que fue construido el lecho de frenado y ubicados en el punto del lecho en el cual el impacto que se produzca sea a una velocidad menor que 40 Km/h, además deberán tener una altura de 0.70 m y un ancho de 3.0 m, con un talud de 2:1.

En el caso de utilizar barriles, se recomienda que éstos sean llenados con el mismo material utilizado en el lecho más que con arena, ya que esta última podría contaminar la rampa y reducir su resistencia al rodado.

10.3.3 Acceso

El ancho de las rampas de escape deberá ser adecuado para permitir el ingreso a más de un vehículo, ya que no es poco común que dos o más vehículos necesiten utilizar la rampa dentro de un corto tiempo, el ancho óptimo debe estar entre 10.0 y 12.0 m, lo que permite acomodar

dos o más vehículos fuera de control, ya que el primero normalmente ocuparía el centro de la rampa de escape, quedando para el segundo vehículo la posibilidad de ubicarse a alguno de los costados.

10.3.4 Profundidad

Los lechos de frenado deberán ser construidos con una profundidad mínima de 60 cm, pudiendo llegar a más de 1.00 m

La profundidad del lecho de frenado no requiere ser uniforme en toda su extensión, para evitar desaceleraciones excesivas en su acceso, es recomendable variar la profundidad del lecho desde unos 7.5 cm a la entrada, hasta la profundidad total a los 30 o 60 m de recorrido.

En el caso de los lechos diseñados con grava de río es recomendable utilizar profundidades mínimas de 1.00 m.

10.3.5 tipos de materiales utilizados

Los materiales a ser utilizados en la superficie de las rampas de escape deben ser limpios, no deben ser fáciles de compactar y deben tener un alto coeficiente de resistencia al rodado

Cuando se utilizan áridos, estos deben estar compuestos de elementos redondeados, predominantemente de un mismo tamaño y lo más limpio posible de partículas y contaminación, el uso de un material grande y de tamaño regular minimizará los problemas derivados de la retención de humedad y congelación, así como también minimizará el mantenimiento requerido.

El material utilizado con mayor frecuencia es la gravilla de tamaño uniforme, suave, redondeado y no comprimido, cuyo tamaño ideal debe estar comprendido dentro del rango $\frac{1}{4}$ " a $1\frac{1}{2}$ " y con un promedio de las mismas entre $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{4}$ ", no obstante lo anterior, también puede utilizarse grava suelta y arena.

Para evaluar la durabilidad y resistencia al desgaste del material tipo grava o gravilla en las rampas, debe realizarse la determinación del desgaste mediante la máquina de Los Angeles, considerándose como máximo un valor de 30% según LNV 75.

10.3.6 Drenaje

El drenaje es un factor fundamental en la vida útil de las rampas de escape, por dos razones, la primera es que el congelamiento anula la eficacia del lecho en climas fríos, y segundo, el drenaje inadecuado puede llevar a la acumulación de partículas que llenen los huecos, compacte los áridos y finalmente reduzca el rendimiento de las rampas.

Experiencias internacionales han demostrado que la falta de drenaje podría llevar a la inutilización de las rampas de escape y por lo tanto recomiendan algunas medidas para evitar que esto suceda.

Una de las medidas básicas consiste en diseñar la rampa con una pendiente en la base para interceptar y drenar las aguas que entren al lecho, sumado a sistemas de subdrenes transversales.

Para evitar la infiltración de material fino desde el suelo natural, que evite el drenaje del agua, se recomienda utilizar geotextiles o pavimento.

Cuando existe una probabilidad de contaminación tóxica, por petróleo u otro tipo de material, es conveniente pavimentar la base de la rampa y colocar estanques de almacenamiento para retener los contaminantes vertidos.

10.3.7 Mantenimiento

Ciertos tipos de actividades de mantenimiento son esenciales para el funcionamiento adecuado de las rampas de escape.

El mantenimiento requiere de un equipo adecuado, que asegure que la rampa esté de vuelta en funcionamiento en un periodo mínimo de tiempo, por esto el uso de herramientas manuales no es aceptable, con esto también se asegura que los trabajadores abocados a esta tarea no estén expuestos a la posibilidad de que un vehículo fuera de control necesite utilizar la rampa.

Para evitar su compactación, las rampas deberán ser escarificadas y graduadas a intervalos periódicos, incluso si no han sido utilizadas.

Luego de cada uso, el material deberá ser alojado y enrasado si fuera necesario, además deberá ser limpiado de contaminantes y removido periódicamente para mantener las características de contención del material del lecho y para mantener el buen drenaje del mismo.

10.3.8 Rescate de vehículos

El diseño adecuado de una rampa de escape no sólo debe estar orientado a que los vehículos fuera de control, sean salvados de un alto riesgo de accidentes, sino que además debe contemplar disposiciones para facilitar la remoción de los vehículos por medio de grúas u otros equipos de servicio, para ello es indispensable diseñar pistas auxiliares de servicio y pilares de seguridad, de manera tal que en conjunto formen un diseño integral de las rampas de escape.

Ahora bien, estos elementos adicionales deben estar diseñados de tal forma que el conductor que viene en un vehículo fuera de control no la confunda con la rampa, esta distinción tiene especial relevancia sobre todo en la operación nocturna.

Para ello deberá disponerse de un camino auxiliar con un ancho mínimo de 3.00 m adyacente al lecho de frenado y al mismo costado donde se ubica la carretera, este camino auxiliar debe permitir el acceso a camiones de remolque que acudan a retirar los vehículos atrapados y provea una superficie dura, alejada de la ruta principal, hacia la cual se puedan arrastrar los vehículos atrapados, es recomendable que este camino sea pavimentado, especialmente en zonas de lluvias, pero también podría ser de material granular.

Los pilares de seguridad deberán estar ubicados a distancias regulares de entre 50.0 y 100.0 m entre si y emplazados en el camino auxiliar, alejados del lecho de frenado, se deberá instalar además, uno de estos pilares en el inicio del material del lecho de frenado, lo que facilitará el rescate de los vehículos que solo hayan entrado una corta distancia en la rampa.

En los lugares que sea posible, es conveniente que el camino auxiliar retorne al camino principal, esto permitirá tanto a la grúa como al vehículo rescatado un reingreso más fácil a la ruta.

CONCLUSIONES
(CAPITULO 11)

1.- CONCLUSIONES

La seguridad vial es uno de los aspectos que requieren de mayor difusión y atención, toda vez que en la mayoría de los casos, los proyectistas de vías rápidas y carreteras de las dependencias responsables de ello, se limitan a los aspectos fundamentales en el diseño de vías rápidas y carreteras, reduciendo los alcances de los proyectos a la superficie de rodamiento y en ocasiones algunas de las obras de drenaje así como obras de contención siempre y cuando su necesidad sea evidente, debido a la falta de recursos económicos para la construcción de obra auxiliares y complementarias,

Aunado a lo anterior se debe considerar que las crisis recurrentes han obligado a los gobiernos federal, estatales y municipales a destinar los escasos recursos disponibles a la operación y/o otros rubros que le promuevan en una mejor imagen respecto de su actuación, lo cual no necesariamente quiere decir que se atiendan los problemas de mayor importancia, pues la inversión en infraestructura así como en seguridad podría, en un mediano plazo reducir el gasto que el mismo gobierno debe destinar a la operación de las instituciones encargadas de brindar atención y atención a las personas accidentadas, así como la reparación de los daños a las instalaciones y lugares donde ocurran los accidentes, todo ello sin considerar los gastos que se generan para los familiares de las víctimas del accidente para la rehabilitación o para recuperar la salud, o los gastos que genera para la familia y el estado el gran número de personas que ha consecuencia de un accidente queden incapacitados parcial o totalmente

Por otra parte es evidente el deterioro y abandono en que se encuentran muchos de estos sistemas o dispositivos a lo largo y ancho de las carreteras del país, aunado a que los diseños utilizados en muchos casos no se ajustan a las normas estandarizadas o son construidos sin diseñarse y solo se considera como factor determinante el costo del mismo.

De lo anteriormente expuesto, podemos deducir que en la mayoría de los casos, los directivos encargados de tomar las decisiones para la asignación presupuestal no cuentan con la información suficiente, ya sea por omisión por parte de quien genera la petición o por estar pendiente de otros aspectos de mayor relevancia política, cualquiera que sea la causa se le resta importancia a la inversión en infraestructura, como son las carreteras o vías rápidas y por consecuencia a las denominadas obras complementarias de las mismas.

En relación al impacto que se pueden obtener después de implementar las mejoras en la seguridad vial, resulta evidente que la única forma de evaluar una acción, es el reflejo en las estadísticas favorables a largo plazo, como la tendencia a la disminución del número de muertes o de la gravedad de los accidentes, como es el caso de los países que hace tiempo han implementado medidas que ha la fecha les permiten cuantificar los beneficios de las decisiones tomadas con relación a la inversión sostenida en medidas de seguridad vial, con lo cual es posible inferir que en México tendría un resultado parecido.

Se han presentado la normatividad que existe y se aplica hoy el mundo desarrollado, específicamente los sistemas de mejor rendimiento y adaptabilidad, complementariamente lo permite implementar mejores diseños, que ayuden a disminuir la severidad de los accidentes y con ello el número de muertos y daños materiales.

Para la correcta aplicación de los conceptos expuestos, es fundamental familiarizarse con el tema, ya que las decisiones dependen de la experiencia y fundamentalmente del conocimiento que se tenga del funcionamiento y rendimiento de los sistemas propuestos, por ende es necesario tener presente que los dispositivos presentados se aplican exitosamente en otros países, y no se recomienda su implementación parcial o con modificaciones, por más leves que parezcan, ya que se cambiaría sustancialmente el comportamiento del elemento.

La construcción de vías más rápidas implica que las medidas de seguridad asociadas deben considerarse primero en el diseño de la infraestructura vial, en este aspecto sobresale la aplicación del concepto de zona despejada y su relación con el talud, sin embargo, cuando no exista la posibilidad técnica y/o económica, de resolver las situaciones de riesgo a través del diseño, el criterio utilizado debe ser proyectar todos los elementos de seguridad que se requieren, entre ellos los sistemas de contención, siguiendo directrices y recomendaciones específicas, para lograr el objetivo de prevenir y proteger a los usuarios de todas las zonas y puntos duros de las vías. Cada uno de los diseños incluidos es representativo de una tipología o familia de los principales sistemas de contención existentes, sin embargo, dado el amplio universo de sistemas disponibles, es obligatorio conocer los criterios y rangos permisibles en el resultado de las pruebas de nuevos elementos, lo que permitirá evaluar su incorporación del elemento o materiales no tratados específicamente en este documento.

Los elementos descritos en este documento corresponden a los patrones usados y aceptados en EE.UU. y Europa, y cuentan con una basta trayectoria de pruebas de laboratorio, además de estar respaldados por una constante investigación y seguimiento del comportamiento de los elementos instalados, es decir se conoce el comportamiento del elemento en las aplicaciones prácticas que se han desarrollado, además de disponer de técnicas y procedimientos constructivos refinados.

BIBLIOGRAFÍA.

- 1.- PAVIMENTOS Y LÍMITES URBANOS.
Boemin, Ghaus Dieter.
Barcelona. G. Gil; 1984.
- 2.- INGENIERIA DE CARRETERAS, CALLES, VIADUCTOS, Y PASOS A DESNIVEL.
Oglosby Clarkson, Hill 1908.
México, Continental 1969.
- 3.- FUNDAMENTOS DE INGENIERIA DE TRASPORTE.
Hannes, Robert. Graham.
Barcelona, México, Revertó 1963.
- 4.- PROYECTOS Y CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS.
Jeufroy, Georges.
Barcelona, Técnicos Asociados. 1972.
- 5.- INGENIERÍA DE CARRETERAS.
Wright Paul Hamblen.
México, Limusa 1993.
- 6.- ANALISIS ECONOMICO DEL COMPORTAMIENTO DE SECCIONES ESTRUCTURALES DE CARRETERAS EN DIVERSAS CIRCUNSTANCIAS.
Serie Publicación Técnica.
Instituto Mexicano del Transporte No. 61.
- 7.- DESARROLLO DE NORMAS PARA EL PROYECTO DEL TERCER CARRIL DE ASCENSO EN CARRETERAS DE DOS CARRILES.
Sanfandila, Qro. Instituto Mexicano del Transporte. S.C.T. 1995.
- 8.- MANUAL DE DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL DEL TRANSITO EN CALLES Y CARRETERAS.
S.C.T. 1995.
- 9.- ESTADO SUPERFICIAL Y COSTOS DE OPERACIÓN EN CARRETERAS.
Sanfandila, Qro. Instituto Mexicano del Transporte. S.C.T. 1995.
- 10.- CATALOGO DE DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE CARRETERAS MEXICANAS.
Sanfandila, Qro. Instituto Mexicano del Transporte. S.C.T. 1995.
- 11.- ESTRUCTURACIÓN DE VIAS TERRESTRES.
Olvera Bustamante, Fernando.
México, CECSA, 1988.

12.-LA TECNOLOGÍA DE LAS VIAS TERRESTRES Y SU RELACIÓN CON EL
TRANSPORTE.

Publicación Técnica / Instituto Mexicano del Transporte. ISBN 0 188-7297. No. 88.

13.-VÍAS DE COMUNICACIÓN.

Crespo Villalaz, Carlos.

México Limusa, 1979...