

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

SISTEMAS DE CONTENCIÓN VEHICULAR

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, que presenta el bachiller:

Pablo Augusto Cobeñas Silva

ASESOR: Juan Carlos Dextre Q.

Lima, Septiembre del 2012

Resumen Ejecutivo:

La presente investigación tiene por objetivo analizar las diversas maneras que existen cuyo objetivo principal sea brindar una mayor seguridad a las vías, a los conductores y ocupantes de los vehículos. Para tal fin, se llevó a cabo una revisión de Manuales de Diseño, Recomendaciones y Normas Internacionales.

En el primer capítulo se describe la problemática del riesgo de fatalidad al que quedan expuestos los vehículos y sus ocupantes, además de las hipótesis y objetivos que tiene la investigación.

En el segundo capítulo se describen todos los criterios, recomendaciones y consideraciones que se deben de tener en cuenta, de tal forma de que las vías no sean un peligro latente para los vehículos que se salgan de la calzada, esto es básicamente la “zona despejada”.

En el tercer capítulo se describen los diversos Sistemas de Contención vehicular existentes, los criterios y consideraciones que se deben de seguir según estándares internacionales debidamente ensayados y aprobados.

En el cuarto capítulo se analizó un tramo de un kilómetro de la Panamericana Sur, con el fin de encontrar todas las condiciones que hacen que no sea una vía segura para los usuarios; y además, poner en práctica la bibliografía estudiada.

En el quinto capítulo se presentan las conclusiones generales de la investigación y las conclusiones específicas del tramo analizado.

Índice:

	Página
1. Introducción e Hipótesis.....	03
1.1.Introducción.....	03
1.2. Hipótesis de trabajo.....	04
1.3. Objetivos	04
2. La Zona Despejada en las carreteras	05
2.1. Elementos de una vía	05
2.2. Geometría de una carretera	06
2.3. Definición de la Zona Despejada	06
2.4. Consideraciones de la zona despejada	07
2.5. Diseño de una zona despejada	07
2.6. Estructuras de drenaje en la sección transversal de la vía	15
2.7. Objetos dentro de la zona despejada	17
2.8. Criterios de evaluación y ensayo de los elementos traspasables	23
3. Sistemas de contención de vehículos	25
3.1 Introducción	25
3.2. Definición	25
3.3. Tipos	26
3.3.1. Barreras de seguridad	26
3.3.1.1. Tipos de Barreras de Seguridad	28
3.3.1.1.1. Barreras Flexibles	28
3.3.1.1.2. Barreras semi-rígidas	29
3.3.1.1.3. Barreras rígidas	31
3.3.1.2. Criterios de selección de una barrera de seguridad	33
3.3.1.3. Criterios de ensayo y evaluación de las barreras de seguridad.....	39
3.3.1.4. Homologación de las barreras de seguridad	45
3.3.2. Barreras de puentes	46
3.3.2.1. Tipos de barreras para puentes	46
3.3.2.2. Criterios de selección de una barrera de puente.....	47
3.3.3. Transiciones	48
3.3.3.1. Criterios de ensayo y evaluación de las transiciones	48
3.3.4. Terminales	49
3.3.4.1. Consideraciones en la selección de terminales	50
3.3.4.2. Tipos de terminales	50
3.3.4.3. Criterios de ensayo y evaluación de los terminales	54
3.3.4.4. Homologación de los terminales	58
3.3.5. Amortiguadores de impacto	59
3.3.5.1. Principios de diseño de los amortiguadores de impacto	59
3.3.5.1.1. Principio de trabajo y energía	59
3.3.5.1.2. Principio de conservación del momento	59
3.3.5.2. Tipos de amortiguadores de impacto	61
3.3.5.3. Criterios de ensayo y evaluación de los amortiguadores de impacto..	65

3.3.5.4. Homologación de atenuadores de impacto	72
3.3.6. Lechos de Frenado	73
3.3.6.1. Diseño de los Lechos de Frenado	73
3.3.6.2. Necesidad de un Lecho de Frenado	74
3.3.6.3. Localización de un Lecho de Frenado	75
3.3.6.4. Cálculo de la velocidad de diseño y Diseño geométrico del Lecho de Frenado	76
4. Caso Práctico: Análisis de un 1 km. de una carretera	77
4.1. Datos generales.....	77
4.2. Análisis del kilómetro más crítico.....	77
4.2.1. Sección transversal con mediana y zona despejada insuficiente	77
4.2.2. Sección transversal con mediana y zona despejada insuficiente	81
4.2.3. Sección transversal con mediana y zona despejada insuficiente	84
4.2.3.1 Sección transversal crítica en el tramo	86
4.2.4. Sección transversal con punto duro (señal de tránsito)	88
4.2.5. Sección transversal con mediana y zona despejada insuficiente	90
5. Conclusiones	93
5.1. Conclusiones generales	93
5.2. Conclusiones específicas del tramo analizado	94
6. Referencia bibliográfica.....	95

1. Introducción e Hipótesis

1.1. Introducción

Cuando se diseña una carretera es necesario que esta sea amplia, cómoda y segura para los conductores, teniendo en cuenta siempre las limitaciones topográficas y más aún económicas del proyecto. Por lo tanto, se trata de que la vía sea lo suficientemente plana, lisa y segura, de tal modo en caso algún vehículo que transita por ella, y por algún motivo se salga de la misma, no sufra ningún tipo de accidente; o en caso ocurriese, que los daños sufridos sean mínimos. Por ello, siempre debe dejarse, desde el borde de la calzada, una zona con un ancho determinado para que el vehículo que sufra este incidente tenga algún espacio de maniobra.

El nivel de riesgo de fatalidad de un accidente que se pueda producir es el producto de tres factores (R): probabilidad de salir de la vía, probabilidad de que el vehículo errante intercepte a un punto duro y la probabilidad de que dicho vehículo errante produzca un daño severo al impactar con el elemento duro. Actualmente, en nuestro país los vehículos que impactan con algún punto duro o elemento infraestructural de la carretera se encuentra en un rango del 30%-40%.

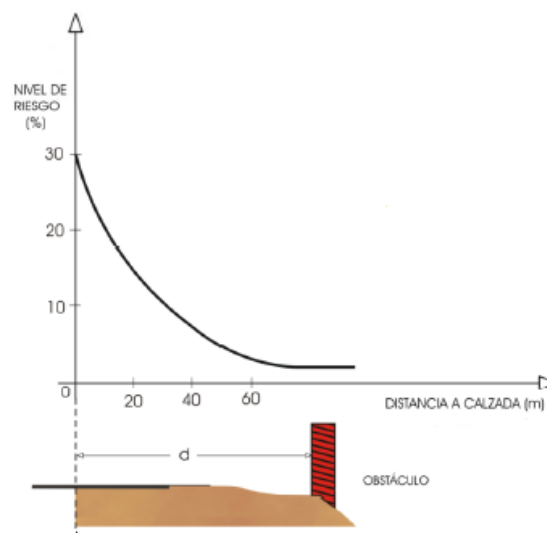


Fig 1.1: Nivel de riesgo vs. Distancia del borde de la calzada
Fuente: Hiasa, 2011

Para reducir este riesgo, en primera instancia, se deben tratar de eliminar o remover todos los elementos que pueden ocasionar algún accidente, tales como postes, anuncios, árboles, entre otros que se encuentren cercanos al borde de la autopista. El objetivo es dejar una “zona despejada” para que los vehículos puedan retornar por sus propios

medios a la autopista siguiendo las pautas del “*Roadside Design Guide 2011*” publicado por la *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*.

En segunda instancia, cuando existan elementos que sean necesarios en la vía y no se puedan reubicar, estos deben ser articulables en su base, de modo que no sean rígidos y causen menos daño a los tripulantes al colisionar con el vehículo.

En tercera instancia y como última alternativa, en caso de que ninguna de las alternativas planteadas anteriormente sea posible, se evalúa la posibilidad de implementar algunos de los diversos sistemas de contención para vehículos existentes, según se requiera en el tramo de la vía.

El propósito de la presente investigación es analizar cada una de las posibilidades que ayudan a disminuir el riesgo de accidentes en las vías de tránsito y verificar en el tramo corto de una carretera si el sistema aplicado garantiza la seguridad de la misma.

1.2. Hipótesis de trabajo

Se han planteado las siguientes hipótesis para el desarrollo de la presente investigación:

- ✓ No existe una adecuada implementación de seguridad vial al borde de las vías o carreteras en nuestro país.
- ✓ No es difundido el uso de elementos traspasables en nuestro país, incluso cuando estos representan un elemento duro en la carretera.
- ✓ Los proyectos actuales que se realizan en carreteras sí cumplen con las especificaciones y certificaciones internacionales en cuanto se refiere a Sistemas de Contención empleados.

1.3. Objetivos

Objetivo general

- Analizar las diversas alternativas que se pueden emplear para dar seguridad a una vía, así como también la factibilidad de realizarse dependiendo del caso.

Objetivos específicos

- Analizar la seguridad de una vía según recomendaciones de la *AASHTO*, *Federal Highway Administration (FHWA)* y otras publicaciones interestatales de Estados Unidos.

- Analizar los Sistemas de contención recomendados por la Norma Europea (EN 1317), las condiciones según la *National Cooperative Highway Research Program (NCHRP 350, 1993)* y la publicación de la Norma Peruana, Directiva N° 007-2008-MTC/02 *SISTEMA DE CONTENCIÓN DE VEHÍCULOS TIPO BARRERAS DE SEGURIDAD*, aprobada por Resolución Ministerial N° 824-2008-MTC/02.
- Analizar un kilómetro de una carretera y verificar si cumple con lo estipulado por la Norma de Sistemas de Contención en carreteras.

2. La Zona Despejada en las carreteras

2.1. Elementos de una vía

➤ Calzada

Es el principal elemento de la vía. Es aquella parte de la vía destinada a la circulación de vehículos. Puede ser de uno o dos sentidos, en cuyo caso se separan por una mediana o una línea pintada en la frontera de ambas. Su diseño varía de acuerdo al tránsito que hay sobre ella, el cual puede ser: bajo, medio o alto. La calzada puede ser de concreto o asfalto.

➤ Mediana

Es parte la parte de la vía que separa a ambos sentidos, cuyo ancho varía dependiendo de la ubicación o empleo de la misma. Se emplea generalmente en zonas urbanas para brindar seguridad al peatón al momento de cruzar la calzada. También son empleadas con fines estéticos para colocar en ellas elementos que mejoren la percepción de la ciudad.

➤ Berma

Es la parte de la vía que se encuentra al mismo nivel y contigua a la calzada. Es usada generalmente como soporte para los vehículos que se detienen por algún motivo en la vía, e incluso es usado también como vía por ciclistas.

➤ Derecho de vía

Es una parte del terreno aledaño a la calzada, cuyo dominio le pertenece al Estado, y se encuentra reservado para el mantenimiento, construcción o futuras ampliaciones en la vía, así como para servicios públicos o servicios auxiliares.

2.2. Geometría de una carretera:

Una carretera está compuesta básicamente por:

- ✓ Pendientes paralelas a la vía, que pueden ser pendientes en subida y/o pendientes en bajada
- ✓ Pendientes transversales, que por lo general son perpendiculares a la vía y están presentes en la mayoría de casos cruces medios y entradas.

2.3. Definición de la Zona Despejada

Es un área de la frontera de una carretera, autopista o una vía urbana, la cual abarca desde el borde de la calzada hasta una distancia adecuada, de modo que sea una zona segura para los vehículos que se salgan de la vía y no sufran daños por la colisión con algunos elementos ubicados próximos a ella, los cuales pueden ocasionar accidentes e incluso la muerte de los ocupantes de los vehículos.

Dependiendo de la topografía del terreno y condiciones geométricas de la vía, la zona despejada puede ser:

- Un carril auxiliar, cuando se tiene una superficie plana en todo el borde de la carretera. Sin embargo, no debe tratarse de un carril auxiliar para el tránsito de vehículos, puede ser una berma.
- Una pendiente recuperable, que permita al vehículo recobrar el control y retornar a la vía.
- Una pendiente no recuperable, que permita que el vehículo se detenga más adelante, mas no que pueda retornar inmediatamente a la vía.
- Un área libre, que se aplica generalmente cuando hay bastante vegetación en los alrededores.



Fig 2.1: La zona despejada de una carretera
Fuente: *Engineering Police Guide*

2.4. Consideraciones de la zona despejada

- ✓ La zona despejada varía de acuerdo a las características geográficas donde se ubica la carretera; por ello, debe considerarse dentro del proyecto integral y esencial de la vía urbana o carretera.
- ✓ Una vez integrada, se debe evaluar en conjunto, es decir, evaluar el impacto que ocasionará dentro del “escenario de la vía”, realizando ajustes o modificaciones en caso las hubiera.
- ✓ El proyecto, al igual que los demás elementos de la vía, debe tener la información adecuada y suficiente del diseño de la zona despejada para su posterior ejecución.

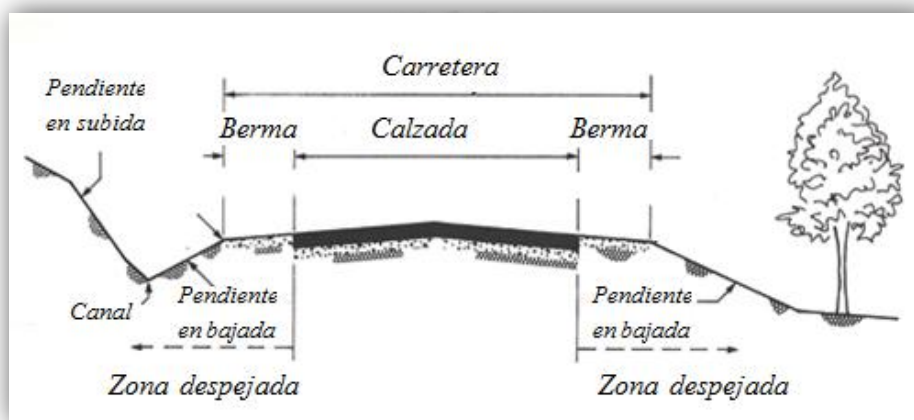


Fig. 2.2: Perfil de una carretera
Fuente: Adaptado de FHWA

2.5. Diseño de una zona despejada

Según estudios de volumen de tráfico que se hicieron en el Sur de Dakota (USA) se determinó que el 80% de vehículos que se salían de la circulación de una vía de alta velocidad, con una zona despejada de 30 pies (9.00m), podía recobrar el control por su propia cuenta. Sin embargo, esta distancia de 9.00 m. puede reducirse adoptando tres criterios (3R): repavimentación, restauración y rehabilitación, los cuales permitan tener mejor visibilidad, manejo y control al conductor.

Es importante resaltar además que el ancho de una zona despejada depende de:

- ✓ Volumen de tránsito
- ✓ Velocidad de diseño
- ✓ Geometría del alineamiento
- ✓ Pendiente del talud
- ✓ Tiempo
- ✓ Condiciones ambientales

No obstante, los anchos obtenidos de la zona despejada deben ser tomados solo como una referencia al momento de diseñar una vía para que cuente con nivel de seguridad aceptable para los vehículos y sus ocupantes. Cada tramo debe analizarse por separado teniendo en cuenta las características propias del sitio.

Tabla 2.1: Distancias despejadas recomendadas

Velocidad de Diseño (km/h)	Diseño de IMDA (veh/año)	Pendiente en bajada			Pendiente en subida		
		1V:6H o más plano	1V:5H a 1V:4H	1V:3H	1V:3H	1V:5H a 1V:4H	1V:6H o más plano
≤ 60	≤ 750	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0	b	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0
	750-1500	3.0 - 3.5	3.5 - 4.5	b	3.0 - 3.5	3.0 - 3.5	3.0 - 3.5
	1500-6000	3.5 - 4.5	4.5 - 5.0	b	3.5 - 4.5	3.5 - 4.5	3.5 - 4.5
	> 6000	4.5 - 5.0	5.0 - 5.5	b	4.5 - 5.0	4.5 - 5.0	4.5 - 5.0
70-80	≤ 750	3.0 - 3.5	3.5 - 4.5	b	2.5 - 3.0	2.5 - 3.0	3.0 - 3.5
	750-1500	4.5 - 5.0	5.0 - 6.0	b	3.0 - 3.5	3.5 - 4.5	4.5 - 5.0
	1500-6000	5.0 - 5.5	6.0 - 8.0	b	3.5 - 4.5	4.5 - 5.0	5.0 - 5.5
	> 6000	6.0 - 6.5	7.5 - 8.5	b	4.5 - 5.0	5.5 - 6.0	6.0 - 6.5
90	≤ 750	3.5 - 4.5	4.5 - 5.5	b	2.5 - 3.0	3.0 - 3.5	3.0 - 3.5
	750-1500	5.0 - 5.5	6.0 - 7.5	b	3.0 - 3.5	4.5 - 5.0	5.0 - 5.5
	1500-6000	6.0 - 6.5	7.5 - 9.0	b	4.5 - 5.0	5.0 - 5.5	6.0 - 6.5
	> 6000	6.5 - 7.5	8.0 - 10.0 ^a	b	5.0 - 5.5	6.0 - 6.5	6.5 - 7.5
100	≤ 750	5.0 - 5.5	6.0 - 7.5	b	3.0 - 3.5	3.5 - 4.5	4.5 - 5.0
	750-1500	6.0 - 7.5	8.0 - 10.0 ^a	b	3.5 - 4.5	5.0 - 5.5	6.0 - 6.5
	1500-6000	8.0 - 9.0	10.0 - 12.0 ^a	b	4.5 - 5.5	5.5 - 6.5	7.5 - 8.0
	> 6000	9.0 - 10.0 ^a	11.0 - 13.5 ^a	b	6.0 - 6.5	7.5 - 8.0	8.0 - 8.5
110	≤ 750	5.5 - 6.0	6.0 - 8.0	b	3.0 - 3.5	4.5 - 5.0	4.5 - 5.0
	750-1500	7.5 - 8.0	8.5 - 11.0 ^a	b	3.5 - 5.0	5.5 - 6.0	6.0 - 6.5
	1500-6000	8.5 - 10.0 ^a	10.5 - 13.0 ^a	b	5.0 - 6.0	6.5 - 7.5	8.0 - 8.5
	> 6000	9.0 - 10.51	11.5 - 14.0 ^a	b	6.5 - 7.5	8.0 - 9.0	8.5 - 9.0

Fuente: Roadside Design Guide, 2011

Cabe resaltar que en tramos de la carretera que no son totalmente llanos, es decir en aquellos que presentan algún radio de curvatura, existe una mayor probabilidad de que el vehículo se salga de la calzada debido a efectos de la velocidad, aceleración centrífuga, fricción de las llantas con el pavimento, entre otros factores. Por esta razón, el vehículo necesita de una distancia mayor para poder recuperar el control y retornar a la vía.

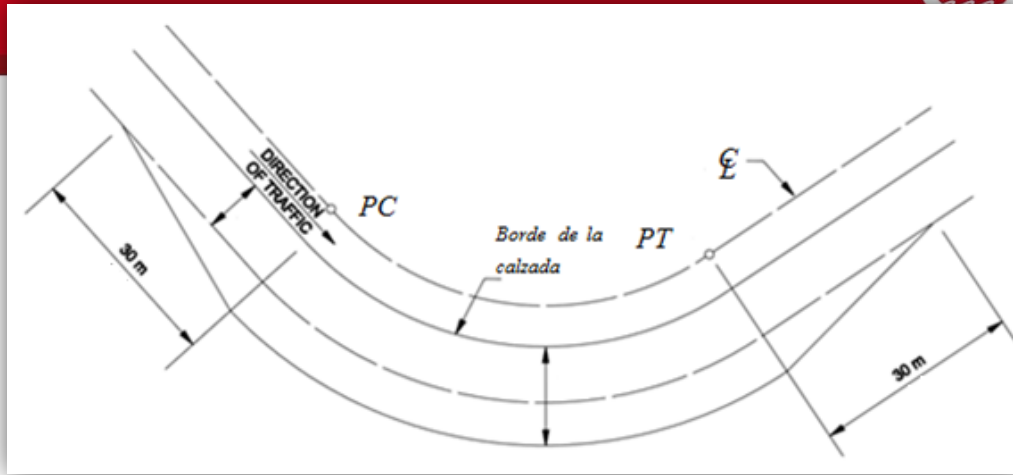


Fig 2.3: Distancia despejada en curvas horizontales
Fuente: Adaptado de Road Manual Design of Montana

Esta distancia de la zona despejada se amplifica mediante la siguiente expresión:

$$CZ_C = L_C \cdot K_{CZ}$$

Donde:

- CZ_C: Distancia de la zona despejada
- L_C: Distancia de la zona despejada al exterior de la curva
- K_{CZ}: Factor de corrección de la curva

Tabla 2.2: Factores de corrección por curva (K_{CZ})

Radio (m)	Velocidad de Diseño (km/h)					
	60	70	80	90	100	110
900	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2
700	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3
600	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4
500	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4
450	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5
400	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	-
350	1.2	1.2	1.3	1.4	1.5	-
300	1.2	1.3	1.4	1.5	1.5	-
250	1.3	1.3	1.4	1.5	-	-
200	1.3	1.4	1.5	-	-	-
150	1.4	1.5	-	-	-	-
100	1.5	-	-	-	-	-

Fuente: Roadside Design Guide, 2011

- **Pendientes paralelas a la vía:**

Dependiendo del pronunciamiento de la pendiente al borde de la vía (V:H), esta puede ser: recuperable o no recuperable y/o transitable o no transitable. Según las estadísticas de accidentes y ensayos que realizó la AASHTO se establecen los siguientes criterios de acuerdo al tipo de pendiente:

Pendientes en bajada:

- En taludes de relleno más empinados a 1:3, considerada como la pendiente crítica, es recomendable colocar en el interior de la zona despejada una barrera de seguridad.
- Los taludes cuya relación esté entre 1:3 y 1:4 se consideran solamente transitables, mas no el vehículo puede recobrar el control dentro de esta zona. Por ello, se requiere de una “zona de recuperación” adicional que se inicia en el borde del tramo inclinado, cuya longitud será como mínimo de 3 m. El diseño de esta zona seguirá las siguientes pautas:
 - ✓ Se determinará la distancia desde el borde de la vía hasta el punto donde se cruzan las pendientes recuperables y no recuperables.
 - ✓ Se hallará la longitud de la zona despejada con la pendiente recuperable.
 - ✓ La zona de recuperación será el resultado de la resta de las distancias obtenidas en los dos pasos previos si esta longitud es mayor a 3 m. En caso contrario se tomará como ancho 3 m. desde el borde del pie de la pendiente no recuperable.
 - ✓ Finalmente, la distancia de la zona despejada abarcará desde el borde de la calzada hasta la zona de recuperación.
- En taludes cuya relación sea 1:4 o más planas, se considera que son transitables y recuperables de modo que si no hay ningún obstáculo dentro de dicha zona ya no se requerirá de una barrera de seguridad. Su diseño se realiza con la *tabla 2.1*.

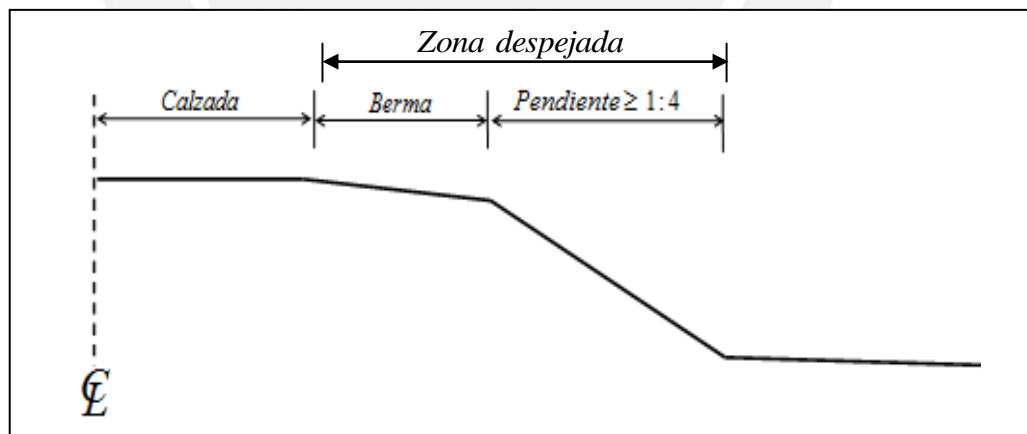


Fig. 2.4: Zona Despejada transitable y recuperable
Fuente: Adaptado de *Road Manual Design of Montana, 2004*

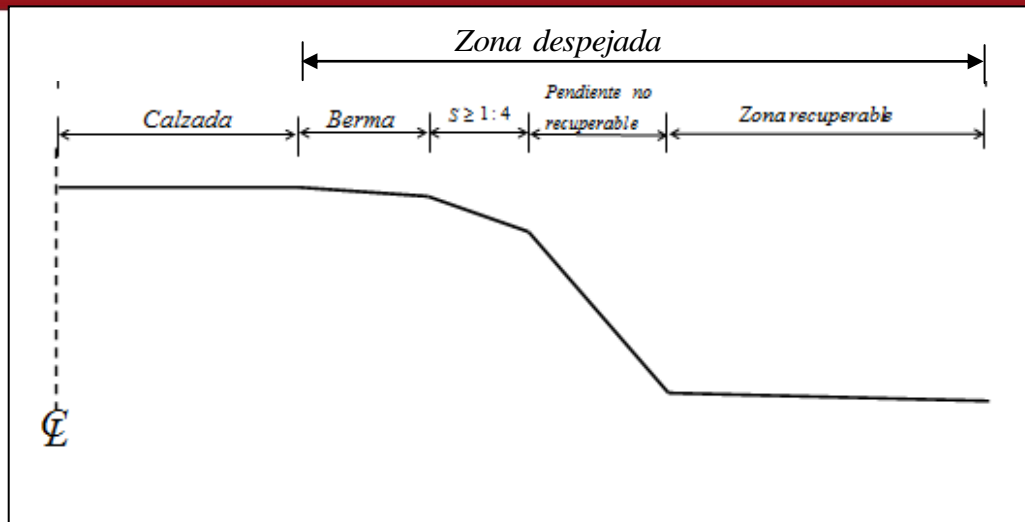


Fig. 2.5: Zona Despejada transitada y recuperable
 Fuente: Adaptado de *Road Manual Design of Montana, 2004*

Diseño en bajadas conformada por dos pendientes recuperables

Este tipo de diseño se conoce con el nombre de “**Barn-Roof Fill Slope**”. Requiere de menos cantidad de terraplén y derecho de vía que un modelo normal de zona despejada. Se encuentra conformado por dos tipos de pendientes recuperables en el cual se realiza el diseño con la primera pendiente recuperable adyacente a la berma, la cual es más plana que la segunda. En caso la distancia de la zona despejada se extienda más allá del punto donde se unen ambas pendientes, se debe rediseñar con la pendiente más pronunciada.

Por otro lado, según las recomendaciones del *RDG, 2011* se debe tomar para el diseño solo a la pendiente más empinada.

Pendientes en subida:

Las pendientes en subida se encuentran, por lo general, en secciones de corte de la carretera donde no hay sardinel. El ancho de las zonas despejadas dependerá de la pendiente de bajada, pendiente de subida y la ubicación horizontal al pie de la pendiente. El diseño de las zanjas seguirá el siguiente orden:

- Verificar la longitud de la pendiente de bajada según la tabla 2.1
- Verificar si la posición del pie de la pendiente de subida se ubica dentro de la zona despejada. Si este se ubica más allá de la zona despejada, en el diseño se deberán considerar solo los obstáculos de la carretera en la zona despejada en la pendiente de bajada. En caso que el pie de la pendiente de subida se ubique en el interior de la zona despejada, se debe evaluar la posibilidad de reubicarlo en la pendiente de subida.

- Verificar si la zanja de la sección transversal es transitable. En caso de no serlo se deberá trasladar fuera de la zona despejada o en una zona de la sección transversal que se pueda transitar. Ver en la tabla 2.3 ó 2.4.
 - Proporcionar a la pendiente de subida una zona despejada, cuya distancia más allá del pie se calculará de la siguiente manera:
 - ✓ Hallar el porcentaje de la zona despejada disponible en el pie de la pendiente de subida.
 - ✓ Hallar la diferencia de porcentaje con el paso anterior y multiplicar este resultado por la zona despejada en la pendiente de subida.
 - ✓ Añadir esta zona despejada obtenida en el paso previo a la pendiente de subida y al ancho de la zanja.
 - En secciones de cortes de roca no se requiere de una zona despejada más allá de la pendiente de subida. Solo debe procurarse que el corte tenga una forma suave en la parte de la zanja. En caso contrario puede ser riesgoso y puede emplearse algún tipo de barrera según convenga.
- **Canales de drenaje**

Los canales de drenaje que, por lo general, son paralelos a la vía tienen diversas funciones como llevar en ella toda el agua que cae en la carretera producida por las lluvias, así como también permitir una salida segura a un vehículo que se haya salido de la calzada. Estos pueden tener forma de cunetas tipo “V” o formas de cunetas con una base en su parte inferior.

Estos canales pueden ser traspasables o no traspasables según la relación de pendiente de bajada y pendiente de subida se proyecten en el área sombreada y no sombreada respectivamente.

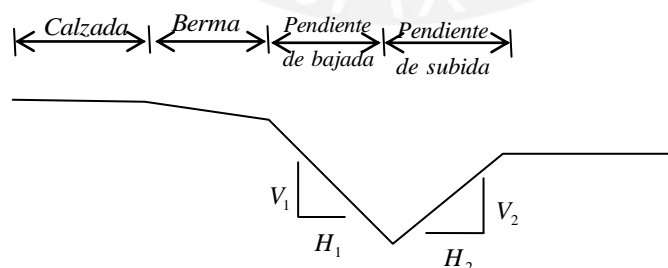


Fig. 2.6: Canal en forma de “V”

Fuente: Adaptado del Roadside Design Guide, 2011

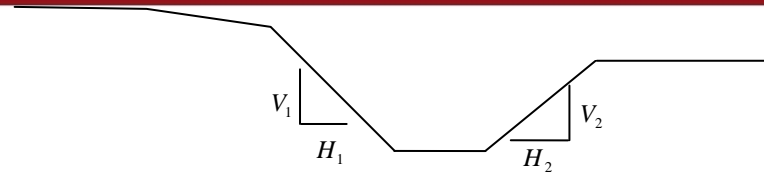
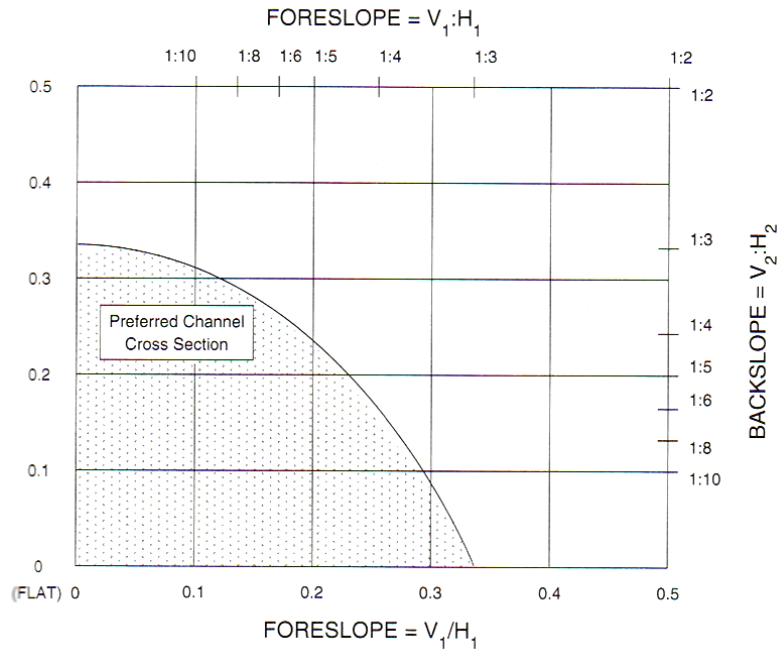


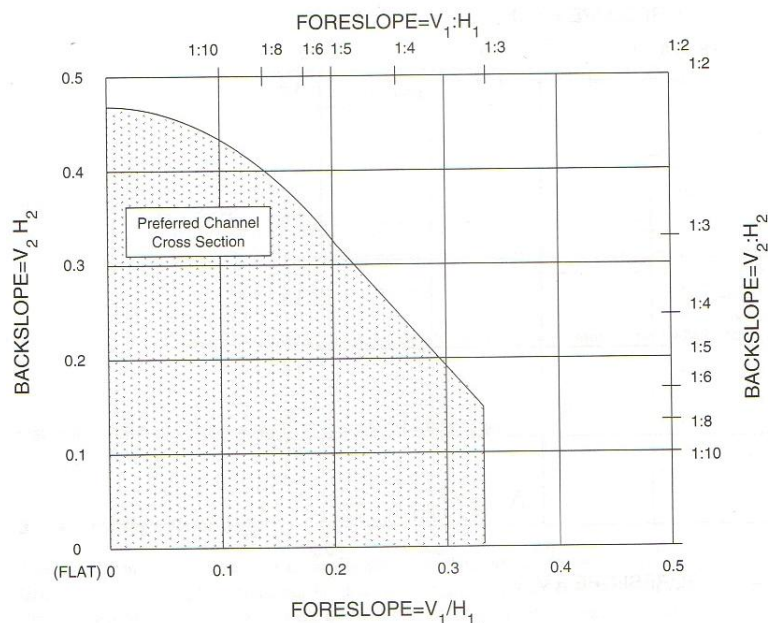
Fig. 2.7: Canal con cambio gradual de pendientes
Fuente: Adaptado del Roadside Design Guide, 2011

Tabla 2.3: Sección transversal preferente para cambios de pendientes abruptos



Fuente: Roadside Design Guide, 2011

Tabla 2.4: Sección transversal preferente para cambios de pendientes graduales



Fuente: Roadside Design Guide, 2011

Por otro lado, el diseño de una zona despejada o la implementación de otras medidas que se tratarán más adelante pueden quedar limitados en base al diseño de la vía o uso que se le dará a la misma, según un artículo sueco “*Visión Cero*” (Parlamento sueco, 1997), el cual tiene como objetivo disminuir paulatinamente la cantidad de accidentes de tránsito hasta reducirlo a cero (Rechnitzer and Grzebieta, 1999), meta que se tiene prevista alcanzar en el 2020. Para ello se debe cambiar el paradigma actual y optar por un nuevo modelo económico de seguridad vial de costo razonable, de tal manera que exista un equilibrio entre la movilidad y la seguridad. Los paradigmas de mayor relevancia a considerar son los siguientes:

- La responsabilidad de la seguridad está centrada en los usuarios de las vías y no los que las diseñan, como se tenía tradicionalmente pensado. No obstante debe entenderse a todo el conjunto desde los usuarios hasta las autoridades legislativas quienes dan la aprobación de los proyectos. Tal es el caso de conductores que manejan irresponsablemente en estado etílico o de peatones que cruzan temeraria e indebidamente las calzadas, entre otros.
- No se deben aceptar accidentes mortales ni con lesiones severas para las personas. Este paradigma se basa en el principio:

“It can never be ethically acceptable that people are killed or seriously injured when moving within the road system.” (Tingvall and Haworth, 1999.)

En otras palabras, no se acepta la idea que existan accidentes de tránsito de consecuencias severas cuando las personas transitan libremente por las calles o avenidas.

- El sistema de transporte debe regular y adecuar las velocidades de los vehículos dependiendo de la máxima severidad que pueden resistir las personas ya sean los ocupantes de los vehículos o los peatones. Según diversos estudios los peatones pueden sobrevivir sin consecuencias graves a una velocidad de 30 km/h; los ocupantes dentro del vehículo están protegidos por este ante un posible choque lateral hasta 50 km/h y el cinturón de seguridad proporciona una seguridad hasta de 70 km/h ante un posible choque frontal.

Por tal razón, se obtiene el siguiente cuadro dependiendo de velocidades máximas permitidas en función a la infraestructura:

Tabla 2.5: Velocidades máximas permitidas en función a la infraestructura

Tipo de infraestructura y tráfico	Velocidad (km/h)
Vías con posibles conflictos entre peatones y vehículos	30
Intersecciones con posibles choques laterales	50
Vías con posibles choques frontales	70
Vías donde no es posible los choques frontales ni laterales (sólo impactos con la infraestructura)	100+

Fuente: Tingwall and Haworth, 1999

Por otro lado, solo se aceptan aquellos accidentes que sean producidos por errores humanos que no causen lesiones graves, mas no los accidentes causados por negligencia por parte de ellos.

De acuerdo a estos criterios, en caso que una carretera se encuentre o cruce por un pueblo donde hay un considerable tránsito de peatones, por ejemplo, ya no habrá necesidad de diseñar o implementar medidas de seguridad para el vehículos y sus ocupantes, sino por el contrario resguardar la seguridad e integridad de las personas, limitando así la velocidad de los vehículos a 30 km/h, en la cual no cause ningún accidente de consideración para cualquier elemento del sistema: conductores, ocupantes, peatones, etc.

2.6. Estructuras de drenaje en la sección transversal de la vía

Son estructuras que permiten el transporte del agua, como tuberías de concreto, PVC, alcantarillas, entre otras, las cuales controlan la erosión en los alrededores de la vía. Debido a que se ubican debajo de la carretera, representan un daño potencial para los vehículos que transitan por la misma; por ello se deben tomar algunas de las siguientes medidas para mantener la seguridad en la vía:

- **Usar diseños traspasables:**

Este diseño se puede emplear cuando se trate alcantarillas, en las cuales se pueden colocar rejillas, de modo que puedan resguardar al vehículo y no se quede atascado. De acuerdo a pruebas realizadas en escala real, en estas distancias el vehículo puede transitar esta zona sin alterar las condiciones de la tubería o estructura que se encuentra debajo de la vía.



Fig. 2.8: Alcantarilla traspasable
Fuente: FHWA

Según las recomendaciones de la RDG, se recomiendan los siguientes espacios en el interior de las alcantarillas de acuerdo a su diámetro:

Tabla 2.6: Distancias recomendadas en interior de alcantarillas

Longitud de la alcantarilla (m)	Distancia en el interior (mm)
≥ 3.66	75
[3.66 - 4.88]	87
[4.88 - 6.10]	100
≤ 6.10 con soporte central	75

Fuente: Roadside Design Guide, 2011

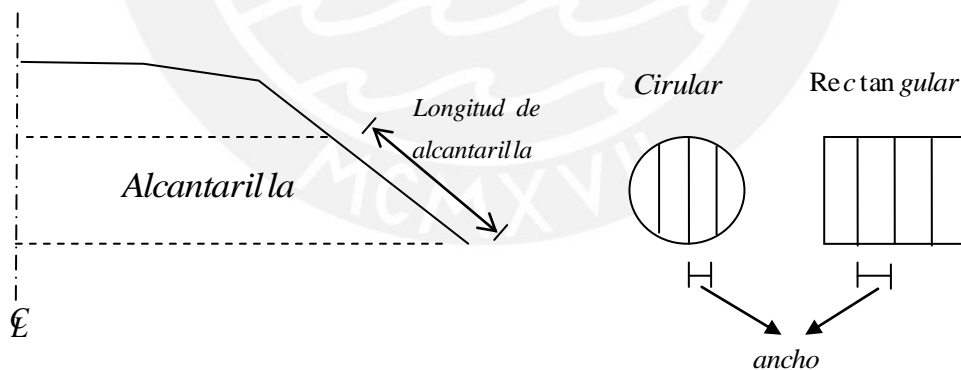


Fig. 2.9: Sección de una alcantarilla
Fuente: Adaptado de Roadside Design Guide, 2011

- **Extensión de la estructura:**

Se debe extender a la tubería o estructura por debajo de la vía cuando esta sea de un tamaño mediano, ya que no puede ser traspasable por el vehículo de forma inmediata. En primera instancia, se debe tratar de llevarla hacia una zona que se encuentre fuera de la zona despejada, antes de eliminarla.

- **Proteger la estructura**

De acuerdo a la importancia de la tubería que se ubica debajo de la vía, se puede implementar una barrera de seguridad en dicha zona, teniendo en cuenta siempre la viabilidad y factibilidad económica.

Estructuras de drenaje en sección paralela a la vía

Al igual que las estructuras transversales a la vía, estas se tratan principalmente de tuberías y alcantarillas las cuales transportan caudales pequeños de fluido y son de gran ayuda para evitar la erosión. Es recomendable que se coloquen en pendientes de bajada (1V:6H) o más planas en carreteras de alta velocidad, en los demás casos se evaluará la factibilidad del proyecto. Se recomiendan las siguientes pautas a fin de mantener la vía en condiciones seguras:

- ✓ Eliminar la estructura.
- ✓ Crear diseños traspasables.
- ✓ Remover la estructura.
- ✓ Proteger la estructura.

2.7. Objetos dentro de la zona despejada

Si bien las zonas despejadas no deben contener elemento alguno que pueda poner en riesgo la seguridad de dentro dicha área, existen elementos que son parte de la carretera y que por razones de espacio, visibilidad, ubicación, entre otras razones, el único lugar donde pueden ser colocados es dentro de esta área. Dichos elementos pueden ser:

- **Naturales:**

Salientes de rocas, árboles, taludes empinados

- **Artificiales:**

Semáforos, postes de alumbrado público, estructuras que sirven de base a las señales de tránsito, barandas de puente, extremos de barreras, buzones de correo, entre otros.

Para ello se deben analizar otras alternativas de tal manera que no presenten un daño potencial a los tripulantes del vehículo y brinden seguridad a la vía. Tales alternativas se establecen en el siguiente orden de prioridad:

1) Remover o cambiar de posición los obstáculos o “puntos duros”

Toda clase de objetos son un peligro latente en una carretera, cuando se encuentran aledaños a la calzada, más aún cuando el tránsito es de alta velocidad de diseño, razón por la cual se debe tratar de alejar lo más posible a toda clase de objetos que se encuentren cerca del borde de la vía. Generalmente esto es usado cuando se presentan en las vías: postes de iluminación, cunetas de drenaje, entre otras.

Una opción es reubicarlo en la mediana de la vía, en caso tuviese, de modo que el riesgo a ser impactado por el vehículo sea en un solo sentido, es decir solo en el carril izquierdo.

Sin embargo, puede darse el caso en el cual retirar de manera permanente los puntos duros es también una buena opción. Depende en su mayoría de la historia de accidentes en el lugar.

***“In general, a signalized intersection and the entire area within the right-of-way should be kept free of visual clutter, particularly illegally placed commercial signs”
¹ (FHWA, 2004)***

Esta cita señala que en una intersección se debe tener un adecuado panorama del mismo, de modo que no debe haber algún tipo de obstáculo visual que pueda convertirse en un distractor para los conductores al momento de cruzar dicha intersección. Por lo general, estos distractores pueden ser anuncios publicitarios no reglamentarios y por ello deben ser erradicados.

La eliminación de puntos duros en las vías se realiza cuando:

- Se tiene una vasta información acerca de accidentes leves, los cuales han sido producidos por una distracción del conductor innecesaria o producida por alguna señal, anuncio o aviso, que no sean permitidos entre otros que dificulten el campo visual.
- Se presente un alto número de accidentes desde leves hasta fatales en donde una de sus causas sean algunos de los elementos de la carretera mencionados anteriormente.

2) Rediseñar el obstáculo de tal forma que pueda ser traspasado de forma segura

Generalmente, este criterio se aplica sobre elementos livianos que puedan encontrarse en una carretera, cuya historia de accidentes sea importante, no tanta por la cantidad sino por la gravedad que pueden llegar a conducir. Tal es el caso de los buzones de

correo, que antiguamente, debido a su forma y diseño, producían accidentes mortales. Ahora están diseñados de tal forma que dañan al vehículo pero no llegan a causar lesiones graves a los tripulantes.

3) Ubicar los obstáculos en lugares poco colisionables

Cuando se trate de elementos más importantes de la carretera y sea necesario que estén presentes, se analiza la posibilidad de cambiarlos de posición en donde las probabilidades de ser colisionados sean bajas. Así pues, pueden ser reubicados en zonas como pendientes, detrás de una barrera de seguridad o similares.

4) Emplear elementos colapsables o traspasables:

En caso de que alguno de los elementos no pueda ser retirado o llevado fuera de la zona despejada y la única posibilidad sea que se ubique dentro de esta zona, se diseñarán elementos que sean traspasables para los vehículos de manera que no tengan un comportamiento rígido en el momento de la colisión, que pueda causar lesiones graves a los tripulantes del vehículo.

4.1) Postes de señales de tránsito

La *Federal Highway Administration (FHWA)* establece las siguientes recomendaciones:

- Cualquier tipo de señal que sea mayor a 10cm x 15cm (4"x6") deberá ser colapsable.
- En el caso de buzones de correo sus bases deben ser de madera como máximo de 10cm x 10cm (4"x4") o de acero con un diámetro máximo de 2". Si se presentan buzones múltiples la separación mínima será de $\frac{3}{4}$ de su altura.
- En cabinas telefónicas se deben colocar bases desplazables según las condiciones de la zona y donde sea apropiado.

Consideraciones de los elementos traspasables

- ✓ Su mecanismo se basa principalmente en una base deslizable, fracturas parciales de sus elementos y articulaciones de plástico.
- ✓ Su diseño se rige principalmente en la fuerza cortante en su base.
- ✓ El mecanismo de activación del dispositivo puede ser afectado por el tipo del suelo, generalmente cuando están empotrados a un nivel mayor a 1m.

Dependiendo del área del panel que cargan, estos pueden ser:

- **Elementos traspasables largos:**

Son elementos que cargan en su parte superior un panel con un área mayor a 5 m², conformada por dos o más subcuerpos que pueden resistir distintas condiciones del clima como viento, lluvia, etc. Su peso lineal no debe exceder los 65 kg/m., y el peso total los 270 kg. Tiene en una articulación la cual debe estar por lo menos a 2.10m sobre la superficie. Su base no debe tener un coeficiente de rugosidad alto que pueda retardar la activación del mecanismo ante un posible impacto.

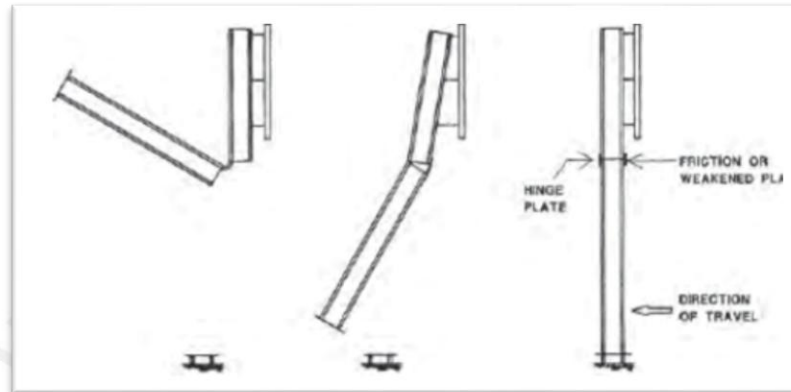


Fig. 2.10: Mecanismo del elemento traspasable (izquierda a derecha)
Fuente: Brockenbrough, 2009

Su diseño puede ser:

Unidireccional: cuando solo la parte de base que está en el mismo plano del suelo se encuentra articulada.

Multidireccional: cuando la base que está en el mismo plano que el suelo y parte de la base paralela al poste se encuentran articuladas.

Las uniones en la parte superior del poste pueden ser insertadas o perforadas dando origen a:

- o Diseño de paneles con placas ranuradas

Usados cuando hay uno o más posibles direcciones de impacto. Tienen en la parte trasera del poste un mecanismo, el cual corta el anclaje del poste con el panel cuando hay algún movimiento que se produzca en el poste, de modo que desconecta al poste de placa ubicado en dicha articulación. No se recomienda cuando hay fuerzas de viento considerables (*Figura 2.12a*).

Otro diseño parecido al anterior es aquel que consta de dos placas traseras y delantera, pero sin ningún mecanismo de corte, sino al momento de ser impactado la placa friccionante libera los tornillos posteriores de modo que pueda dividirse en dos y pueda caer libremente hacia atrás. (*Figura 2.12b*)

- Diseño de paneles con placas perforadas

Usados en impactos de una o más direcciones. Tienen un buen comportamiento ante cargas de viento, ya que constan de una articulación en la parte trasera y una placa en la parte delantera con huecos en su superficie, lo cual permite que cuando el poste sea alcanzado toda esta unión se pueda romper con facilidad. (Figura 2.13c)

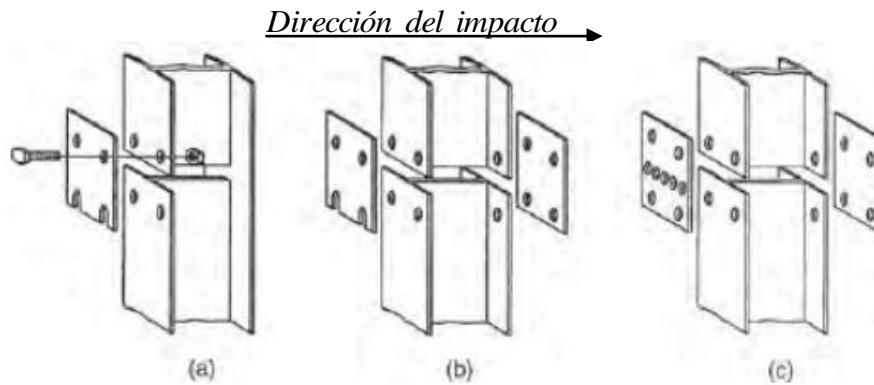


Fig. 2.11: Diseño de elementos articulables
Fuente: Brockenbrough, 2009

El empleo de estos elementos articulables largos no garantiza la seguridad en el tramo de la vía. Según pruebas e historia de accidentes realizadas por la AAHSTO, se determinó que tiene mucha influencia la ubicación de dichos elementos. En otras palabras, cuando estos se ubican en un terreno al mismo nivel de la calzada no solo tienen menos probabilidad de ser alcanzados, sino que el tipo de impacto es menos perjudicial para el vehículo y sus ocupantes que si se tratara de uno ubicado en terreno a distinto nivel de la calzada.

- Elementos traspasables pequeños:

Son elementos que cargan en su parte superior un panel con un área menor a 5 m². Su base deslizante generalmente es de acero y puede tener forma de círculo, cuadrado o triángulo; sin embargo, su comportamiento es poco predecible ya que sufre muchas variaciones de acuerdo a la resistencia del suelo, rigidez del soporte, profundidad de empotramiento al suelo, entre otras. Su diseño puede ser:

- **Unidireccional:** en la mayoría de casos se trata de una base de acero laminado el cual es anclado a una base por debajo de concreto. Presenta una inclinación de 10 a 20 grados con la horizontal de tal manera que se desestabilice y gire con mayor facilidad cuando un vehículo la impacte y caiga al suelo. Sin embargo en las otras direcciones no presenta protección y es un peligro para los vehículos.

- **Multidireccional:** por lo general, constan de una base triangular, donde se ubica un tornillo en cada esquina, de manera que la estructura se puede separar de su base ante cualquier dirección del impacto, sin embargo, se recomienda una base rígida debajo de la base triangular para que pueda controlar el efecto de las vibraciones que se pueden producir en el suelo. Por lo general el tubo es de 7.5 a 2.7 cm de diámetro.

Cuando existen problemas de torsión es mejor usar el dispositivo modelo “Oregon” el cual tiene 3 pernos en su base y es deslizable, con aberturas de 90 grados ajustados con arandelas, ya que es menos sensible a este tipo de fenómeno.

4.2) Postes de iluminación o alumbrado público

Estos dispositivos deben ser colocados sobre una superficie con una pendiente 1V:6H o más plana según la recomendación de la *AAHSTO*, para obtener un mejor desempeño cuando sea impactado por el vehículo.

Cuando un vehículo impacta a este tipo de postes, somete a aceleraciones y desaceleraciones muy altas en su base, lo cual podría traer como consecuencia que los elementos que carga la estructura se desprendan, causando daño a los ocupantes del vehículo. Como resultado de las pruebas realizadas por la *NHCRP* y la *AAHSTO*, se tienen las siguientes recomendaciones:

- ✓ El poste no debe exceder los 18.5 m de altura, ni un peso de 450 kg.
- ✓ Se debe tener conocimiento del suelo en que se encuentra el poste, ya que puede someterlo a sollicitaciones no diseñadas, lo cual puede conducir a la falla.
- ✓ Debe contar con algún sistema que desconecte el flujo eléctrico cuando el poste sea impactado.

Su base puede ser de 3 tipos:

- Poste de base de aluminio frágil
- Poste de base deslizable
- Poste de base acoplada frágil

4.3) Postes de servicio público de madera

Estadísticamente son los que más causan accidentes mortales al año (RDG, 2011), dado que este tipo de postes son más rígidos. Por tal motivo, se trata de evitar o llevar lo más lejos de la vía a este tipo de estructuras, en donde no pueda producir un fuerte daño a los vehículos.

El diseño de estos postes consiste en una base deslizante y un mecanismo articulable en la parte superior, de tal manera que cuando sea impactado por el vehículo la base se desprenda sin problemas del suelo y, mientras cae el poste, este se rompa mediante el mecanismo creado con dicho fin.

Los criterios empleados para analizar un adecuado diseño de este tipo de estructuras rompibles, según Fox et al (1979), son los siguientes:

- ✓ Variaciones de aceleración y velocidad producidas en el vehículo al impactar con el poste.
- ✓ Condiciones de los tripulantes del vehículo durante el impacto.
- ✓ Zona donde se aplicará este tipo de poste.
- ✓ Posición final de las partes del poste luego de ser impactado.
- ✓ Comportamiento del poste bajo cargas de servicio.
- ✓ Factibilidad económica.

2.8. Criterios de evaluación y ensayo de los elementos traspasables

De acuerdo a las recomendaciones del *Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features (NCHRP Report 350, 1993)* para proyectos viales en USA, las evaluaciones para postes de alumbrado público colapsables, buzones de correo, entre otros, los parámetros más importantes a medir son los siguientes:

- ✓ Ángulo de Impacto Crítico, dentro de un rango de valores se debe determinar el ángulo que produzca mayor daño cuando impacte el vehículo. Tanto para dispositivo de tráfico de control para zonas de trabajo y postes de alumbrado público los ángulos variarán de 0 -20° en dirección del tránsito. En caso las zonas a medir sean más grandes que las posibles, se deben sectorizar para hallar los ángulos críticos por sectores.
- ✓ Para un sistema colapsable simple las pruebas 60 y 61 sirven para medir la severidad a velocidades más altas y el rendimiento de los vehículos, aunque es mayor la posibilidad que tienen de volcarse.

Los ensayos realizados por el *NCHRP Report 350*, son clasificados en:

Test 60 y 61: Estructuras de Soporte

Ambas pruebas se recomiendan para vehículos de 800C o 720C para bajas velocidades donde se evalúan el mecanismo de falla del sistema y para altas velocidades donde se evalúan el comportamiento y trayectoria del vehículo, el vehículo 2000P también puede usarse para una mejor consideración del riesgo del ocupante y estabilidad del vehículo.

Test 70 y 71: Dispositivos de Control de Tráfico para Zonas de Trabajo

Se recomiendan los vehículos de la misma manera y consideraciones que los test 60 y 61, donde el test 70 se puede despreciar si el test 71 es más crítico. Las velocidades de ensayo oscilan entre 35 y 70 km/h.

Test 80 y 81: Postes de servicio público traspasables

Se recomiendan los vehículos de la misma manera y consideraciones que los test 60 y 61. Para ensayos de nivel 3 el vehículo debe ser conducido a velocidades entre 50 y 100 km/h, aunque existe la posibilidad de obtener resultados más severos a los críticos.

Tabla 2.7: Criterios de ensayo de elementos traspasables

Nivel de ensayo	Característica	Designación del ensayo	Vehículo	Velocidad (km/h)	Ángulo (°)
2	Estructuras de soporte	2 - 60	820C	35	0 - 20
		S2 - 60 ^a	700C	35	0 - 20
		2 - 61	820C	70	0 - 20
		S2 - 61 ^a	700C	70	0 - 20
	Dispositivos de Control de Tráfico para Zonas de Trabajo	2 - 70 ^a	820C	35	0 - 20
		S2 - 70 ^a	700C	35	0 - 20
		2 - 71	820C	70	0 - 20
		S2 - 71 ^a	700C	70	0 - 20
	Postes de servicio público traspasables	2 - 80 ^a	820C	50	0 - 20
		S2 - 80 ^a	700C	50	0 - 20
		2 - 81	820C	70	0 - 20
		S2 - 81 ^a	700C	70	0 - 20
3	Estructuras de soporte	3 - 60	820C	35	0 - 20
		S3 - 60 ^a	700C	35	0 - 20
		3 - 61	820C	100	0 - 20
		S3 - 61 ^a	700C	100	0 - 20
	Dispositivos de Control de Tráfico para Zonas de Trabajo	3 - 70 ^a	820C	35	0 - 20
		S3 - 70 ^a	700C	35	0 - 20
		3 - 71	820C	100	0 - 20
		S3 - 71 ^a	700C	100	0 - 20
	Postes de servicio público traspasables	3 - 80 ^a	820C	50	0 - 20
		S3 - 80 ^a	700C	50	0 - 20
		3 - 81	820C	100	0 - 20
		S3 - 81 ^a	700C	100	0 - 20

Fuente: NCHRP Report 350, 1993

Donde:

^a Tests opcionales

3. Sistemas de contención de vehículos

3.1. Introducción

Después de que un vehículo ha abandonado por algún motivo la calzada y no cumple con los criterios de seguridad presentados en el capítulo anterior existe una gran posibilidad de que se encuentre y colisione con alguno de los diversos elementos infraestructurales que puede haber en los bordes de las vías, también mencionados anteriormente. No obstante, pueden presentarse además condiciones topográficas en la vía que representen un peligro latente en el caso de que un vehículo transite por dicha zona. Tal es el caso de taludes muy empinados, abismo, o alguna condición especial que presente algún tipo de riesgo para el vehículo, sus tripulantes y los demás usuarios de la carretera.

En tales casos con el fin de mantener la seguridad en la vía se utilizan los Sistemas de Contención de Vehículos (SVC), previo análisis y evaluación económica del retiro, desplazamiento o modificación de los elementos aledaños a las vías. Los SCV pueden ser: barreras de seguridad, atenuadores de impacto, transiciones entre los sistemas de contención, pretilos de puente, lechos de frenado, sistemas de protección para motociclistas y soportes de equipamiento colapsables (estudiados en el capítulo anterior).

En la actualidad estos SCV son evaluados por una Norma Europea (EN-1317), donde se establecen requisitos mínimos, especificaciones y resultados de ensayos esperados con el fin de que sean correctamente elaborados, aplicados y ensayados según el requerimiento y exigencia que presente la vía.

Sin embargo, es importante resaltar que los SCV no evitan que se produzca un accidente, es decir, no influye en el Índice de Peligrosidad ya que los vehículos continuarán desviándose de la calzada; pero sí influirán en gran medida en la severidad de los daños que se puedan producir. Este parámetro es definido mediante el cociente de Índice de Mortalidad entre Índice de Peligrosidad (IM/IP), ya que, al salirse de la calzada un vehículo, se convierte en un incidente y dependiendo de los daños con víctimas que puedan producirse se convertirán en simples accidentes (IP), o accidentes seguidos de consecuencias fatales (IM).

3.2. Definición

Un sistema de contención es cualquier tipo de dispositivo instalado en los bordes de la calzada, medianas, puentes pasos a desnivel u otra estructura cuyo principal objetivo es

proporcionar, a los vehículos que se salgan sin control de la calzada, cierta contención, de tal modo que se pueda reducir la gravedad de los accidentes que puedan ocurrir para los ocupantes del vehículo, peatones próximos a la calzada o los demás usuarios de las vías.

3.3. Tipos

Dependiendo su ubicación y función de los sistemas de contención según la (*Dirección General de Carreteras de España, 2000*) estos pueden ser:

3.3.1. Barreras de seguridad

Son elementos colocados paralelos a las vías que tienen como función contener a los vehículos cuando se desvíen de su trayectoria y redireccionarlos de una manera segura a la vía, por lo general son colocados en los bordes y medianas de las calzadas.

Dependiendo de la dirección del impacto de diseño que pueden soportar las barreras de seguridad, estas pueden ser:

- Barreras simples: También conocidas como barreras laterales, las cuales solo resisten impactos en un solo sentido.
- Barreras dobles: También conocidas como barreras de mediana, las cuales pueden resistir impactos en ambos sentidos de las vías.
- Barreras de puentes: También conocidas como pretilas, las cuales solo resisten impactos en un solo sentido. Son colocadas en bordes de puentes, muros especiales como presas y estructuras de funcionalidad similar.

Por otro lado, las barreras de seguridad se clasifican según su capacidad de deformación (*IRF, 2010*) en:

- Rígidas, cuya deflexión dinámica se encuentra en el rango de 0 y 0.30 m.
- Semi-rígidas, cuya deflexión dinámica se encuentra en el rango de 0.61 y 1.52 m.
- Flexibles, cuya deflexión dinámica se encuentra por encima de 1.52 m.

La Norma Europea (*EN 13172-2, 1998*) establece dos criterios de deformación del sistema:

- ✓ **Deflexión dinámica (D).**- Es el máximo desplazamiento lateral dinámico producido de la parte del sistema que se encuentra más cerca al sentido del tráfico.

- ✓ **Ancho de trabajo (W).**- Es la distancia entre la parte del sistema más cerca al sentido del tráfico antes del impacto y el máximo desplazamiento lateral dinámico producido en cualquier parte del sistema durante el impacto.

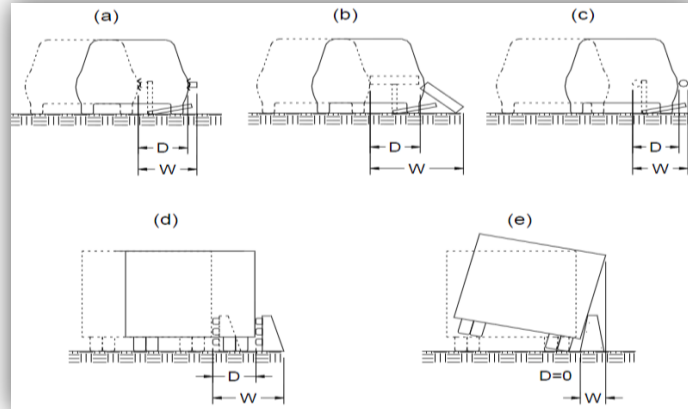


Fig. 3.1: Ejemplos de Deflexión Dinámica (D) y Ancho de Trabajo (W)
Fuente: MTC, 2008

Tabla 3.1: Niveles de ancho de trabajo

Clase de niveles de ancho de trabajo	Niveles de ancho de trabajo (m)
W1	$W \leq 0.60$
W2	$W \leq 0.80$
W3	$W \leq 1.0$
W4	$W \leq 1.3$
W5	$W \leq 1.7$
W6	$W \leq 2.1$
W7	$W \leq 2.5$
W8	$W \leq 3.5$

Nota 1: Se puede considerar un nivel menor de W1 de ancho de trabajo

Nota 2: La deflexión dinámica y ancho de trabajo permiten la determinación de las condiciones de la instalación para cada barrera de seguridad y también definen las distancias delante de obstáculos que permitan al sistema deformarse satisfactoriamente

Nota 3: La deformación depende tanto del sistema como de las características de prueba de impacto

Fuente: EN 1317-2, 1998

3.3.1.1. Tipos de Barreras de Seguridad

3.3.1.1.1. Barreras Flexibles:

- **Viga W.-** También denominada de poste débil. Se encuentran conformadas por tres elementos: poste, barrera y separador, los cuales permiten una gran deformación lateral y, además, permiten redireccionar al vehículo a la calzada cuando este abandona la vía. La barrera se apoya sobre los postes de 70 cm. Son las más conocidas y usadas en los bordes de las vías. También son usadas en medianas donde su altura es de 0.84 m. y se recomienda su uso en superficies planas sin irregularidades ni presencia de sardineles en los bordes.

De acuerdo a la *NCHRP Report 350*, esta barrera es aprobada en el nivel TL-2 con una deflexión dinámica de 1.40 m, mientras que de acuerdo a una variación al diseño con un TL-3 se obtiene una deformación dinámica de 2.10 m. En el caso de barreras en medianas su deflexión varía entre 1.50 m. y 2.10 m.

- **Cable de tres hebras.-** Es un sistema conformado por postes de 77 cm aproximadamente embebidos en el suelo con cables de acero sobre postes débiles (S75x8.5) los cuales permiten redireccionar al vehículo. A diferencia de las barreras tipos viga W, estos son más económicos, producen menor desaceleración al impactar con el vehículo y su diseño evita el derrape en la vía por condiciones climatológicas. En el caso de su implementación en medianas el diseño varía colocando la hebra del medio en el sentido del tráfico y el espaciamiento entre los cables varía.

De acuerdo a la *NCHRP Report 350* esta barrera es aprobada en el nivel TL-2 con una deflexión dinámica de 2.40 m. para vehículos entre 820 y 2000 kg. En ensayos para condiciones más usuales con vehículos de 1600 kg. a 100 km/h se obtuvieron deflexiones del orden de 2.10 a 3.30 metros dependiendo del espaciamiento de los perfiles de 1.20 m a 4.90 m. En medianas se obtienen deflexiones de hasta 3.70 m.

- **Cables de alta tensión.-** El diseño es similar al cable de tres hebras, se usa por lo general en las medianas de las vías. Presentan deflexiones del orden de 2.0 hasta 2.8 m. Existen diversa variedad dependiendo del fabricante. Entre los más conocidos son:

- **NU-Cable:** Existen de 2 tipos el TL-3 conformado por 3 cables y una altura de 84 cm desde el suelo y TL-4 conformado por 4 cables con una altura de 1.05 m desde el suelo. Este sistema permite un ahorro hasta de 75% en comparación con el guardavía tipo W.

- **The Cable Safety System (CASS):** Del tipo TL-3 con tres cables.

- **Brife Wire Rope Safety Fence:** Conformado por 3 ó 4 cables que se encuentran intercalados.
- **Barrera estética de acero y madera.-** Es un sistema conformado por postes débiles (S75x8.5) embebidos en el suelo, separados a 2.0 m. aproximadamente, unidos por una barrera de madera de 20 cm de diámetro.
De acuerdo a la *NCHRP Report 350* esta barrera es aprobada en el nivel TL-3 con una deflexión dinámica de 1.64 m.

3.3.1.1.2. Barreras semi-rígidas:

- **Vigas W con postes fuertes.-** De similares características al de las vigas W, conformada por postes de madera o acero en los cuales se les colocan bloques de 15 cm de espesor generalmente conformados por madera o plástico reciclado, de tal forma que absorben mejor el impacto y minimizan así la posibilidad de volteo del vehículo; este tipo de barrera es usada usualmente en vías que no se puedan producir grandes impactos y no sea necesaria la inmediata reparación o reposición del sistema.
De acuerdo a la *NCHRP Report 350* esta barrera es aprobada en el nivel TL-3 con una máxima deflexión de 0.80 m y 1.0 m para madera y acero respectivamente.
- **Viga tipo caja.-** Presenta la misma base que el de las vigas W con la diferencia de que los postes están unidos mediante unas vigas cuadradas huecas de 6"x6" o de 8"x8". Si bien su costo es algo elevado respecto al de la viga W, su alta durabilidad hace que sea más rentable los costos de mantenimiento.
De acuerdo a la *NCHRP Report 350*, esta barrera es aprobada en el nivel TL-3 con una deflexión dinámica de 1.15 m.; y en caso de medianas, se obtienen hasta deflexiones de 1.70 m.
- **NU-Guard.-** El diseño puede consistir de postes débiles o fuertes de 7.44 kg/m y espaciados a 2.0 m. Se utilizan tanto en bordes de vías como en medianas.
De acuerdo a la *NCHRP Report 350* esta barrera es aprobada en el nivel TL-3 y TL-4.
- **Trinity T-31:** El diseño consiste en postes fuertes de 79 cm de altura espaciados a 1.90 m. a los cuales van anclados directamente la viga W mediante pernos, evitando así el uso de bloques.
De acuerdo a la *NCHRP Report 350* esta barrera es aprobada en el nivel TL-3 con una deflexión dinámica de 1.04 m.
- **Gregory Mini Spacer (GMS).-** El modelo es muy parecido al Trinity T-31, ya que tampoco lleva bloques en los postes que pueden ser débiles o fuertes de tamaños variables desde 32 cm hasta 95 cm espaciados hasta 79 cm dependiendo el poste.

De acuerdo a la *NCHRP Report 350*, esta barrera es aprobada en el nivel TL-3.

- **Sistema de barrera del medio oeste.**- Este tipo de barrera no es una patente en sí, sino que ha sido creada con la financiación de un Programa de Fondo Común. Utiliza postes con alturas variables dependiendo de si es de madera o de acero y además es utilizable en pendientes de 1V:8H, junto a sardineles y transiciones.

De acuerdo a la *NCHRP Report 350*, esta barrera es aprobada en el nivel TL-3 con una deflexión dinámica de 1.10 m. Este tipo de barrera es aprobada para vehículos ligeros y camionetas.

- **Block-out thrie-beam.**- Existen tres tipos aprobados por la *NCHRP Report 350* para el caso de barreras laterales:

- ✓ Block-out thrie beam: Diseñada con postes fuertes de 81 cm. y bloques de 15 cm. de espesor y vigas W con adicionales corrugaciones en ellas. El montaje de la viga permite una mejor contención del vehículo.

De acuerdo a la *NCHRP Report 350*, esta barrera es aprobada en el nivel TL-3 con una deflexión dinámica de 0.58 m.

- ✓ Modified Block-out thrie beam: La modificación que presentan esta barrera es la incorporación de una brida de acero que se dobla hacia adentro durante el impacto (W360x33) adherido a los postes (W150x14), espaciados a cada 1.90 m. A comparación de la barrera tipo W, esta es más resistente a los impactos y de instalación más fácil y económica.

De acuerdo a la *NCHRP Report 350* esta barrera es aprobada en el nivel TL-4 con una deflexión dinámica de 0.60m y 0.90, respectivamente.

- ✓ Trinity T-39: Es un modelo muy parecido al Trinity T-31, con la diferencia de que la viga W es más grande y por ende resistente a impactos de mayor consideración. Su diseño consiste en postes de 1.0 m. separados a 1.905 m. donde se conectan las vigas W directamente mediante pernos. No usa bloques.

De acuerdo a la *NCHRP Report 350* esta barrera es aprobada en el nivel TL-4 con una deflexión dinámica de 0.63 m.

Por otro lado, en el caso de barreras en medianas existen:

- Block-out W beam: Presenta la ventaja de disminuir los posibles enganches de las ruedas en la barrera y no necesita una reparación inmediata luego del impacto.

De acuerdo a la *NCHRP Report 350* esta barrera es aprobada en el nivel TL-2 o TL-3 dependiendo de si se usan bloques de acero o madera y/o plástico reciclado con una deflexión dinámica en un rango de 0.60 a 1.20 aplicados a medianas de 3.00 m. o más de ancho.

- **Block-out thrie beam:** Tiene una altura de 0.813 m. y es de similares características que el mismo modelo en barrera lateral. Los bloques pueden ser de madera o plástico reciclado.
De acuerdo a la *NCHRP Report 350* esta barrera es aprobada en el nivel TL-3 con una deflexión dinámica la cual varía de 0.30 a 0.90 m.
- **Modified Block-out thrie beam:** De similares características al mismo modelo en barrera lateral. De acuerdo a la *NCHRP Report 350*, esta barrera es aprobada en el nivel TL-4.
- **Merrit Parkway Aesthetic Guardrail:** Esta barrera fue desarrollada por el Departamento de Transporte de Connecticut. Consta de vigas de madera de 15cmx 30cm emperrados a un perfil (W150x22.5) en el centro, de tal forma que le da una mejor resistencia a esfuerzos de tracción. Por otro lado, los postes van unidos a un bloque de madera de 10cmx20cmx28cm, de manera que se tiene un mejor comportamiento en vehículos pesados. Debido a sus características estéticas, es recomendable su uso cuando el paisaje es de vegetación o campo abierto.
De acuerdo a la *NCHRP Report 350*, esta barrera es aprobada en el nivel TL-3 con una deflexión dinámica de 1.15 m. sin la presencia de sardinel y 1.02 m. con la presencia de este.
- **Blacked Timber Guardrail:** Es un sistema conformado por postes, bloques (15cmx25cm) y vigas de madera, además de una platina de acero (25cmx30cmx2.13m), los cuales unen a la viga de madera con los bloques aportando así mayor resistencia a la tracción.
De acuerdo a la *NCHRP Report 350*, esta barrera es aprobada en el nivel TL-3 con una deflexión dinámica de 0.58 m. cuando el sistema se encuentra conformado con bloques de madera; en caso contrario el nivel que presenta es TL-2.

3.3.1.1.3. Barreras rígidas:

Barreras de concreto

Este tipo de barreras es diseñado para poder resistir y absorber mayor energía del impacto producido por la colisión del vehículo. Pueden ser prefabricadas o fabricadas in-situ teniendo en cuenta el costo del proyecto, además de la factibilidad de realizarse en obra. Su altura puede variar desde 0.46 m. hasta 2.29 m., siendo las más usadas las de 0.81 m.

De acuerdo a la *NCHRP Report 350*, esta barrera es aprobada en el nivel TL-4 hasta una altura de 0.81 m., mientras que en un nivel TL-5 hasta los 1.07 m.

Existe una gran variedad de barreras de concreto, entre las más conocidas tenemos:

- **Barrera de bajo perfil.**- Usadas generalmente en zonas urbanas en medianas de jardinería. Pueden ser prefabricadas o fabricadas in-situ. Su altura puede variar entre los 0.457 m. y 0.51 m. La ventaja que presenta es que permite tener un mejor panorama de toda la vía para el conductor.

De acuerdo a la *NCHRP Report 350*, esta barrera es aprobada en el nivel TL-2.

- **Barrera tipo New Jersey.**- Son muy usadas en las medianas, consta de una base de 3" de altura, seguida de un tramo con una pendiente de 55° con la horizontal de 10"(0.255 m) y una altura total de 32" (0.81m) (más detalle en el gráfico). La suave pendiente que tiene permite al vehículo que se eleve y así la fricción de las ruedas delanteras permitirá el frenado y redireccionamiento a la calzada. No obstante, esta barrera se puede modificar, como la adición de una viga tipo caja para vehículos con mayor velocidad o ángulo de impacto, dependiendo también del elemento a proteger. Otra variación de este modelo de barrera fue **Ontario Tall Wall** el cual no lleva una viga tipo caja y presenta un muy buen comportamiento en vehículos pesados.

De acuerdo a la *NCHRP Report 350*, esta barrera es aprobada en el nivel TL-4; sin embargo, de acuerdo al criterio *Manual for Assessing Safety Hardware MASH* no aprueba de dicho nivel.

- **Barrera forma "F".**- Presenta el mismo uso, diseño y funcionamiento de la tipo New Jersey a diferencia de que la altura del tramo con inclinación de 55° respecto a la horizontal es de 7", lo cual le permite un mejor comportamiento ante el impacto de vehículos pequeños evitando que vuelquen según diversos ensayos y pruebas realizadas. Su altura total es también de 32" (0.81 m.).
- **Barrera de pendiente única.**- Es una alternativa a las barreras verticales, su tamaño puede variar entre 0.76 m. hasta 1.07 m. y el ángulo que forma con respecto a la horizontal varía entre 9.1° y 10.8°. La ventaja que presenta es que así se realicen modificaciones en el pavimento adyacente a la barrera esta no queda afectada por ello; sin embargo, dada su geometría no le permite absorber la energía liberada en el impacto y los tripulantes del vehículo sienten y sufren mayores consecuencias a causa del choque.

De acuerdo a la *NCHRP Report 350*, esta barrera es aprobada en el nivel TL-4.

- **Barrera de pared vertical.**- Al igual que las barreras de pendiente única, estas tampoco absorben la energía producida por el impacto, sin embargo, los ensayos

demuestran que es la más segura en cuanto se refiere a la posibilidad de volcamiento del vehículo.

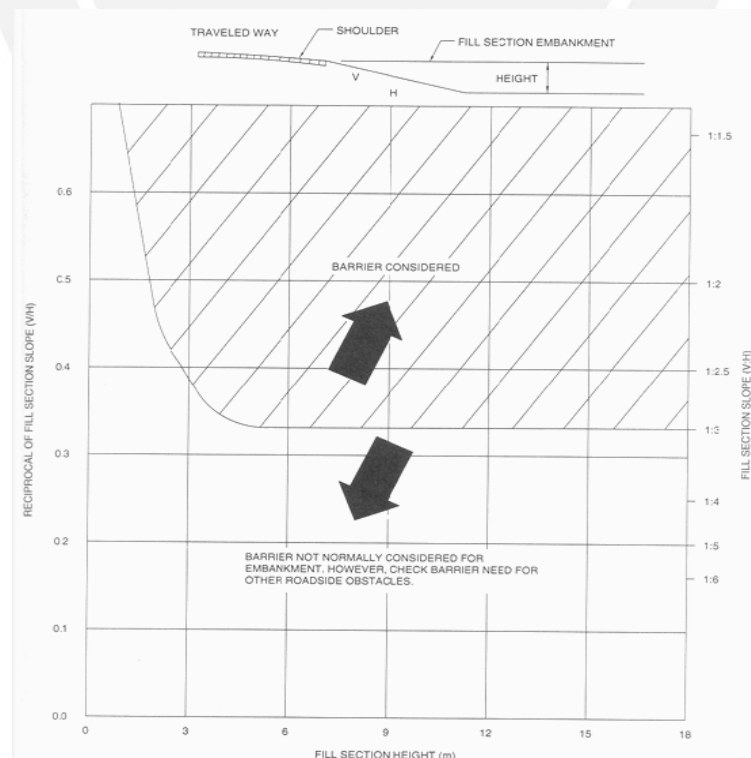
- **Barrera móvil Quickchange.**- Es una cadena de barreras de forma “F”. Se puede emplear tanto en obras provisionales como permanentes, dependiendo de sus variaciones de las mismas se pueden obtener distintas deflexiones dinámicas. De acuerdo a la *NCHRP Report 350*, esta barrera es aprobada en el nivel TL-3 con una deflexión dinámica máxima de 1.40 m.

Otro modelo de barrera rígida es la **Barrera de mampostería de piedra**, el cual consiste en un núcleo de concreto que puede ser fabricado o prefabricado, cubierto por grandes piedras con mortero, dándole así una apariencia rústica externa de piedras ordenadas verticales en todo lo largo. De acuerdo a la *NCHRP Report 350*, esta barrera es aprobada en el nivel TL-3.

3.3.1.2. Criterios de selección de una barrera de seguridad

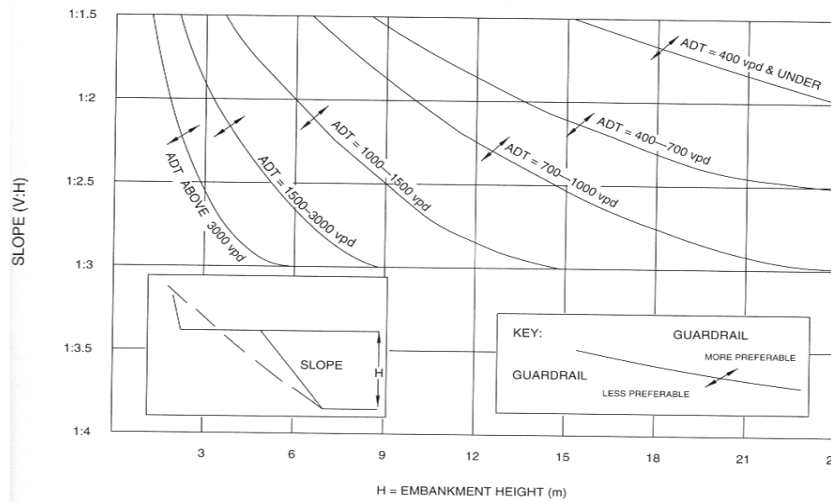
- ✓ La implementación de una barrera de seguridad según (*RDG, 2011*) se basa principalmente en la relación de las pendientes que hay en el borde de la vía y la altura que esta tenga. Además existe otro criterio que también considera el tráfico anual de la vía.

Tabla 3.2: Cuadro comparativo de consideración de barreras en terraplenes



Fuente: *Roadside Design Guide, 2011*

Tabla 3.3: Consideración de empleo de barreras en función a la altura del terraplén, relación de pendiente y volumen de tráfico



Fuente: *Roadside Design Guide, 2011*

- ✓ Se recomienda, además, colocar las barreras de seguridad a una distancia adecuada del objeto a proteger, a fin de que el sistema pueda desarrollar la deflexión máxima adecuada cuando un vehículo abandone la calzada. Asimismo existe compensación de línea de segura “shy-line” (L_s) que inicia desde el borde de la calzada donde el punto duro no es percibido como un peligro; sin embargo permite a los conductores disminuir la velocidad o cambiar de carril. Dicha distancia depende de la velocidad del vehículo.

Por otro lado, en caso las barreras protejan un terraplén, la distancia mínima recomendable es de 0.60 m. desde la parte trasera del guardavía y el punto donde cambia la pendiente.

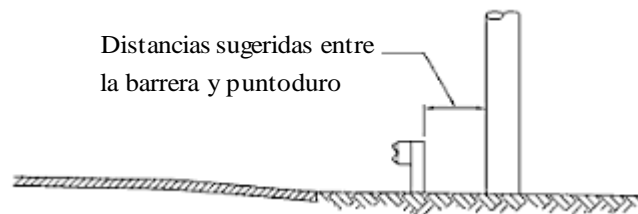


Figura 3.2: Espaciamiento entre la barrera de seguridad y punto duro
Fuente: *Adaptado del Roadside Design Guide, 2011*

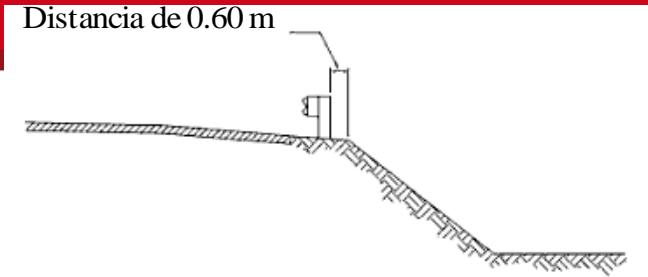


Figura 3.3: Distancia entre barrera de seguridad y terraplén
Fuente: Adaptado del Roadside Design Guide, 2011

Tabla 3.3: Distancias sugeridas del “shy-line”

Velocidad (km/h)	Distancias L_S (m)
130	3.7
120	3.2
110	2.8
100	2.4
90	2.2
80	2.0
70	1.7
60	1.4
50	1.1

Fuente: Roadside Design Guide, 2011

- ✓ Debe conocerse además la relación de cantidad de vehículos pesados y IMDA (MTC, 2008) para obtener el nivel de contención a usar en la vía. Tales tablas se muestran más adelante.
- ✓ Las barreras de seguridad deben desarrollarse dentro de una longitud necesaria la cual sea suficiente para proteger al vehículo errante. Mediante el siguiente método gráfico podemos hallar dichas distancias:

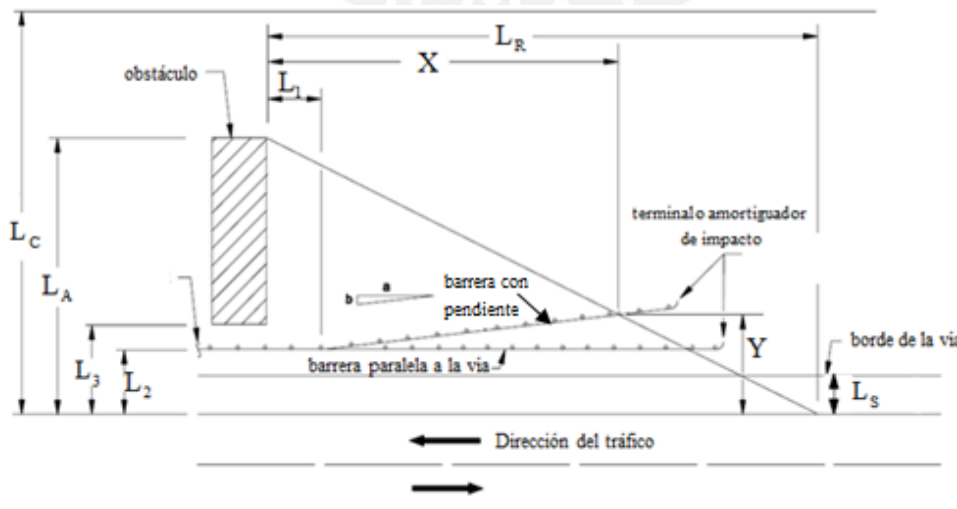


Figura 3.4: Longitud necesaria de una barrera
Fuente: Adaptado de Road Manual Design of Montana, 2004

Donde:

L_A : Distancia del borde de la vía al obstáculo

L_C : Distancia de la zona despejada

L_S : Distancia de compensación de línea segura (L_S)

L_R : Longitud de salida

L_1 : Distancia del obstáculo a la barrera donde empieza la pendiente

L_2 : Distancia de la barrera al borde de la vía

L_3 : Distancia más cerca del borde de la vía y el objeto

$$X = \frac{L_A \left(\frac{b}{a} \right) (L_1) - L_2}{\left(\frac{b}{a} \right) + \left(\frac{L_A}{L_R} \right)} \quad Y = L_A - \frac{L_A}{L_R} X$$

Mientras que en una barrera paralela a la vía se tiene:

$$X = \frac{L_A - L_2}{\frac{L_A}{L_R}}$$

Tabla 3.4: Sugerencias de Inclinación de la barreras

Velocidad de diseño (km/h)	Inclinación de la barrera dentro del L_S (a:b)	Inclinación de la barrera fuera del L_S (a:b)	
		Barrera rígida	Barrera semi-rígida
110	30:1	20:1	15:1
100	26:1	18:1	14:1
90	24:1	16:1	12:1
80	21:1	14:1	11:1
70	18:1	12:1	10:1
60	16:1	10:1	8:1
50	13:1	8:1	7:1

Fuente: Roadside Design Guide, 2011

Tabla 3.5: Distancia de salidas sugeridas (L_R)

Velocidad de diseño (km/h)	Índice Medio Diario Anual (veh/día), m			
	≤ 1000	1000 - 50000	5000 - 10000	≥ 10000
130	101	116	131	143
110	76	88	101	110
100	61	64	76	91
80	46	49	58	70
60	30	34	40	49
50	21	24	27	34

Fuente: Roadside Design Guide, 2011

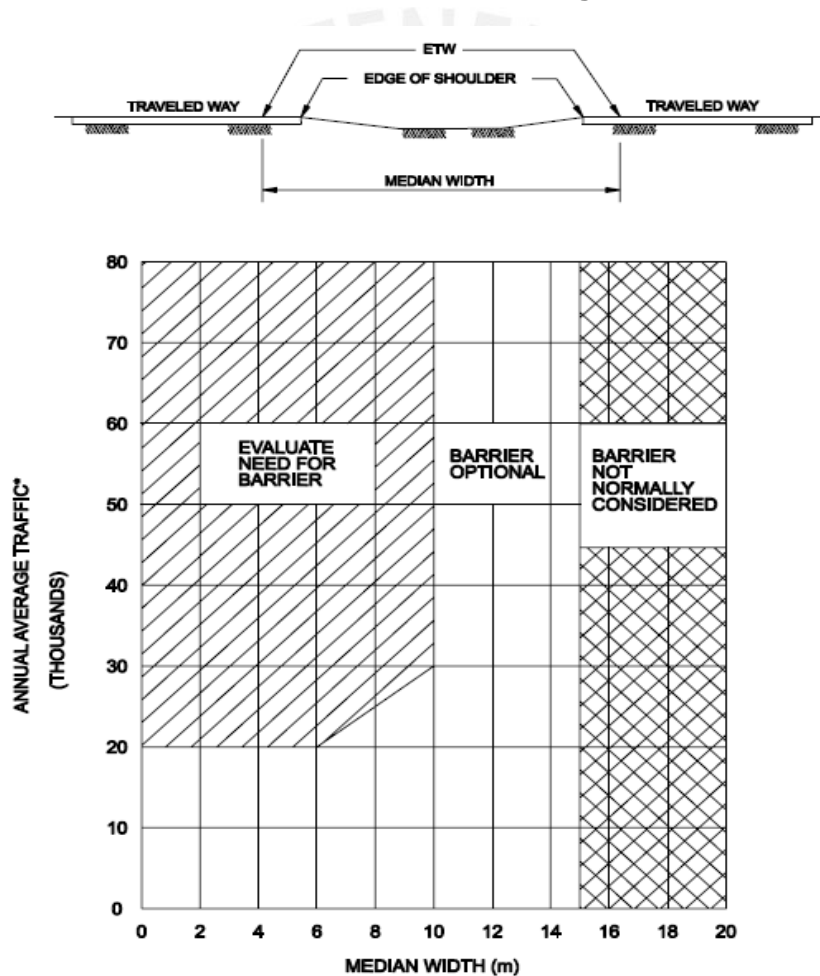
- ✓ Es preferible no hacer combinaciones de sardineles con barreras de seguridad para diseños de vías a altas velocidades, salvo excepciones de la barrera Trinity T-31 con un sardinel no más alto de 100 mm. Por otro lado, si se usan barreras tipo W de poste fuerte con sardinel, es recomendable que lleven cintas adheridas

reflectivas de luz hasta velocidades de 80 km/h con sardineles de 150 mm.; y por encima de dichas velocidades sardineles hasta, 100 mm.

- ✓ Es importante señalar además que se deben colocar barreras flexibles cuando se tenga el suficiente ancho en la calzada para desarrollar tal distancia y más aún si no se pondrá aún más en riesgo la seguridad del vehículo y sus ocupantes. En tales casos deben implementarse los postes de las barreras de manera hincada o empotrada con concreto respectivamente, según especifique el diseño.

En el caso del uso de barreras de seguridad en medianas se recomienda:

Tabla 3.6: Consideración de barreras de seguridad en medianas



* BASED ON A MINIMUM FIVE-YEAR PROJECTION
MEDIAN BARRIER WARRANTS

Fuente: Road Manual Design of Montana, 2004

Además, de acuerdo a los taludes que se tienen en la zona de la mediana, se analiza la posibilidad de colocar una barrera compartida o una para cada sentido del tráfico. Se pueden separar en tres secciones:

Sección 1:

Se ha probado que en taludes más empinados a 1V:6H la barrera no se comporta adecuadamente con mayor riesgo para los vehículos. Para dichos taludes se recomienda colocar una barrera semi-rígida para cada sentido de la vía en las secciones “b” y “d” (**Caso 1**); en cambio para secciones más planas a 1V:10H no representa un potencial peligro para los vehículos y no es necesaria la colocación de una barrera (**Caso 2**). Por otro lado, cuando se tengan ambas pendientes en las secciones de la mediana mayores a 1V:10H, se recomienda una sola barrera en la mediana cuya deflexión máxima no exceda la mitad del ancho de la misma (**Caso 3**). Se prefiere el uso de barreras y no de alambres porque mediante ensayos se ha probado que muchas veces no tienen la capacidad de redireccionamiento suficiente.

Sección 2:

En el caso de medianas con una sola pendiente se colocará una barrera de seguridad en la zona de mayor riesgo para el vehículo “b” y si el tramo de la mediana se encuentra libre de algún punto duro (**Caso 4**); en caso exista algún punto duro, se colocará una barrera en ambos bordes de la vía “b” y “d” (**Caso 5**). Finalmente, en caso el tramo de mediana sea más plano a 1V:10H, se recomienda colocar una barrera en la mitad de la misma (**Caso 6**).

Sección 3:

En secciones de mediana que tienen pendientes desiguales y calzadas con pendientes distintas tampoco hay una manera de dar seguridad a tal tramo, por lo general tampoco se elaboran tramos con dichas características (**Caso 7**).

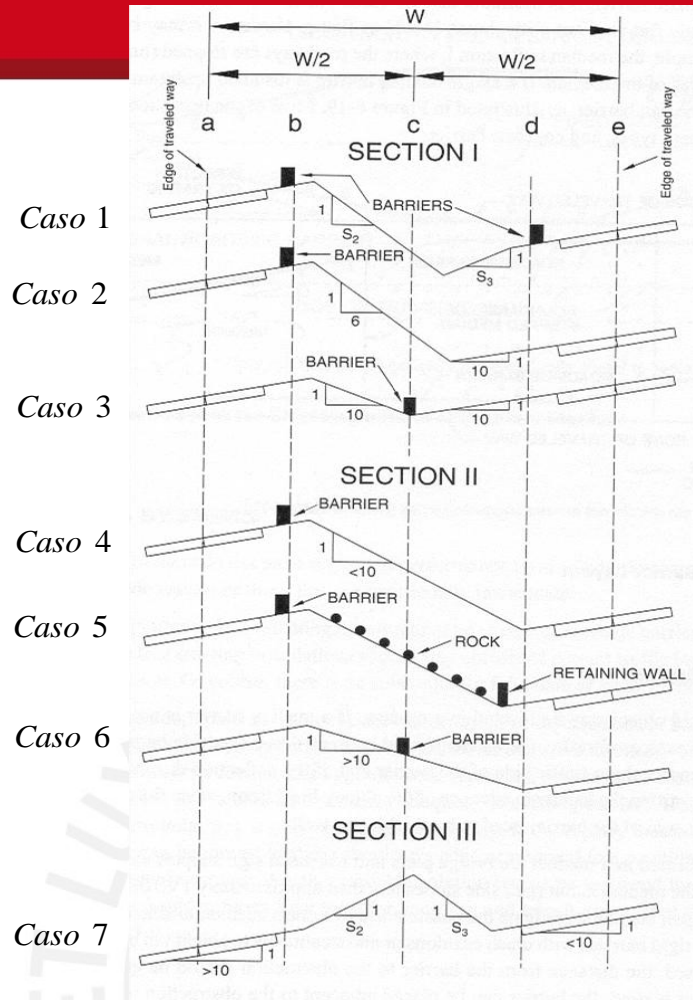


Figura 3.5: Recomendación de colocación de barreras en medianas
Fuente: Adaptado del Roadside Design Guide, 2011

3.3.1.3. Criterios de ensayo y evaluación de las barreras de seguridad

La aprobación de estas barreras se realiza mediante ensayos a escala real por la *Norma Europea (EN 1317)* para el caso de proyectos en la Unión Europea, mientras que el *MASH* de la *AASHTO* y las recomendaciones del *Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features (NCHRP Report 350, 1993)* para proyectos en USA. Estos ensayos se realizan en distintos niveles que varían de acuerdo al tipo de vehículo (peso), velocidad y ángulo de impacto.

La Norma Europea (*EN 1317-2, 1998*) ordena los niveles de contención en: bajos (T), normales (N), alto (H) o muy alto (H4a o H4b). Cada nivel absorbe distinta cantidad de energía cinética. Sin embargo, en el nivel H2 la Norma Europea no establece diferencias en los dos tipos buses que existen: bus urbano y bus interurbano

El bus urbano puede transportar pasajeros sentados y parados por lo que su altura en su interior es casi tal cual se puede apreciar exteriormente, a diferencia del bus interurbano

que tiene un altura interior menor (aproximadamente 1 m. por encima del nivel exterior), debido a que los pasajeros solo pueden viajar sentados y necesita un compartimiento para guardar el equipaje de los viajeros. Esta diferencia en el diseño influye en gran medida en los ensayos realizados a escala real. Se pudo observar que los buses interurbanos tienen un comportamiento mucho más desfavorable tanto en ancho de trabajo, deflexión dinámica y, sobretodo, tienen una mayor tendencia al volcamiento. La diferencia de rigidez en la carrocería no permite un correcto redireccionamiento por parte del sistema, ni que pueda absorber la energía debidamente. Por ello en este nivel H2 se recomienda ensayar con el bus interurbano.

Tabla 3.7: Nivel de contención de vehículos

Nivel de contención	Test	Tipo de vehículo	Velocidad (km/h)	Ángulo (°)	Peso (kg)
T1	TB 21	automóvil	80	8	1300
T2	TB 22	automóvil	80	15	1300
T3	TB 21	automóvil	80	8	1300
	TB 41	camión	70	8	10000
N1	TB 31	automóvil	80	20	1500
N2	TB 11	automóvil	100	20	900
	TB 32	automóvil	110	20	1500
H1	TB 11	automóvil	100	20	900
	TB 42	camión	70	15	10000
H2	TB 11	automóvil	100	20	900
	TB 51	bus	70	20	13000
H3	TB 11	automóvil	100	20	900
	TB 61	camión	80	20	16000
H4a	TB 11	automóvil	100	20	900
	TB 71	camión	65	20	30000
H4b	TB 11	automóvil	100	20	900
	TB 81	camión articulado	65	20	38000

Fuente: EN 1317-2, 1998

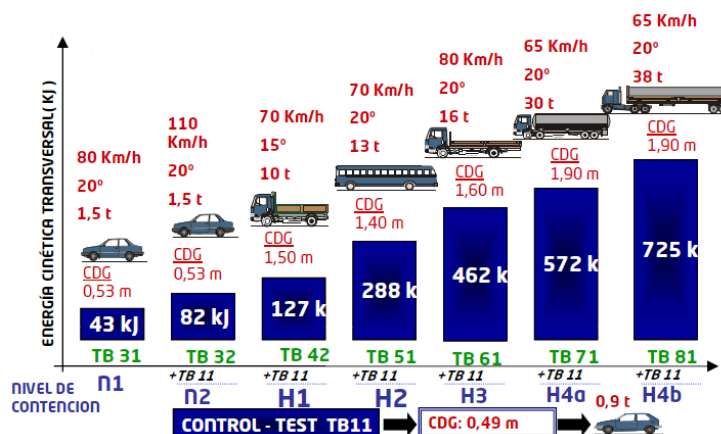


Fig. 3.6: Energía cinética que absorbe cada nivel de contención

Fuente: HIASA, 2011

Por otro lado, el *NCHRP Report 350* clasifica la contención medida en los ensayos del 1 al 6 como Test Level (TL), donde el nivel 3 es considerado como nivel básico. Los ensayos que realiza son los siguientes:

Test 10:

Evalúa la longitud necesaria en cada nivel, además del comportamiento de los ocupantes y riesgos.

Test 11 y 21:

Se aplican para niveles 1, 2 y 3, (2000P), evalúa la fuerza contenedora. Para niveles 4, 5 y 6 es opcional.

Test 20:

Para una transición es opcional el riesgo del ocupante y la trayectoria luego del choque. Establece la estructura adecuada de la transición.

Test 12 y 22:

El test 12 sirve para evaluar la longitud necesaria; y el 22, para evaluar la transición en los niveles 4,5 y 6. Evalúa la contención y redirección de vehículos pesados.

Tabla 3.8: Nivel de contención de vehículos

Nivel de ensayo	Vehículo	Test designado		Velocidad (km/h)	Ángulo (°)
		LON	Transición		
TL-1	820C	1-10	1-20d	50	20
	700C	S1-10a	S1-20a	50	20
	2000P	1-11	1-21	50	25
TL-2	820C	2-10	2-20d	70	20
	700C	S2-10a	S2-20a	70	20
	2000P	2-11	2-21	70	25
TL-3	820C	3-10	3-20d	100	20
	700C	S3-10a	S3-20a	100	20
	2000P	3-11	3-21	100	25
TL-4	820C	4-10	4-20d	100	20
	700C	S4-10a	S4-20a	100	20
	2000P	4-11	4-21	100	25
	8000S	4-12	4-22	80	15
TL-5	820C	5-10	5-20d	100	20
	700C	S5-10a	S5-20a	100	20
	2000P	5-11	5-21d	100	25
	36000V	5-12	5-22	80	15
TL-6	820C	6-10	6-20d	100	20
	700C	S6-10a	S6-20a	100	20
	2000P	6-11	6-21d	100	25
	36000T	6-12	6-22	80	15

Fuente: NCHRP Report 350, 1993

La Norma en nuestro país (MTC, 2008) divide a los niveles de contención en:

Tabla 3.9: Niveles de contención

Nivel de contención	NHCRP Report 350	EN 1317-2
P1-Bajo	TL-2	N1
P2-Medio	TL-3	N2
P3-Medio alto	TL-4	H1
		H2
		H3
P4-Alto	TL-5 o TL-6	H4a
P5-Muy alto	-	H4b

Fuente: MTC, 2008

Además, el *NCHRP Report 350* se subdivide en pruebas para cada nivel en donde se evalúan distintos parámetros como la longitud necesaria de la barrera, dependiendo del terreno y tráfico de la vía además de las transiciones. Se realizan los ensayos por lo general en la tercera parte de la longitud total de la barrera, donde se recomienda como mínimo una longitud de 5 m. y 15 m. para pretilos y barreras deformables respectivamente.

Por otro lado, la Norma *EN 1317-1* y el *NCHRP Report 350* definen distintos parámetros para los ensayos a realizarse los cuales son:

- ASI:** Índice de severidad de la aceleración
- THIV:** Velocidad teórica de impacto de la cabeza
- PHD:** Deceleración de la cabeza después del impacto
- OIV:** Velocidad de impacto del ocupante
- ORA:** Deceleración del ocupante
- VCDI:** Índice de la deformación de la cabina del vehículo
- VIDI:** Índice de la deformación interior del vehículo

El *ASI* y *PHD* son las deceleraciones producidas durante el impacto y 10 ms después del mismo. Con ello se trata de controlar las deceleraciones que no puedan producir daños severos en los ocupantes. El *THIV* mide la velocidad del conductor, asumiéndolo como un cuerpo libre desplazándose en una sola dirección. El *OIV* y *ORA* son obtenidos mediante computadora. EL *VCDI* es un código conformado por letras y números que permite determinar el grado de deformación producido en el vehículo y su ubicación debido al impacto.

Tabla 3.10: Índices de severidad de impacto

Índice de severidad del impacto	Valor de los índices		
A	ASI ≤ 1.0	y	THIV ≤ 33 km/h
B	ASI ≤ 1.4		PHD ≤ 20g
Nota 1: El índice de severidad A proporciona mayor seguridad para los ocupantes de un vehículo errante que el B, y es preferible en condiciones similares. Nota 2: En localizaciones peligrosas en donde la contención de un vehículo errante (tales como vehículos pesados) en primera consideración, no es necesario la instalación de un sistema de contención con un índice de severidad específico, pero debe ser estar determinado y especificado en el informe realizado.			

Fuente: *NCHRP Report 350* y *EN1317-2*

Por otro lado, también evalúa el comportamiento del vehículo al impactar con el sistema restringiendo el centro de gravedad del vehículo el cual no debe el centro de la línea de la

deformada, además el vehículo no debe sobrepasar el cajón de salida mostrado a continuación:

Tabla 3.11: Índices de severidad de impacto

Tipo de vehículo	Distancias de la caja de salida	
	A (m)	B (m)
Ligero	$2.2 + A_v + 16\% L_v$	10.0
Otros vehículos	$4.4 + A_v + 16\% L_v$	20.0

Fuente: EN 1317-2

Donde:

A_v : Ancho del vehículo
 L_v : Longitud del vehículo

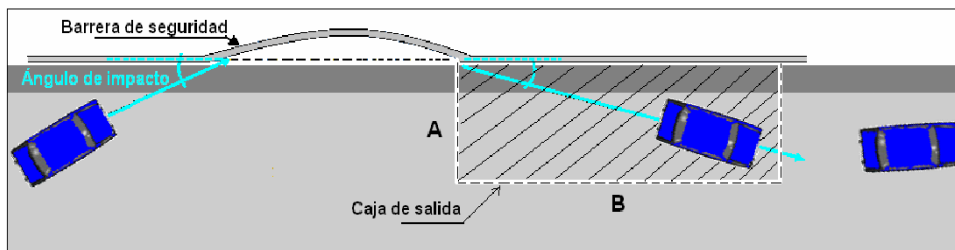


Fig. 3.7: Caja de redireccionamiento del sistema

Fuente: MTC, 2008

Además, el sistema empleado en los bordes de las vías debe ser seguro para todos los usuarios que transiten en ella; es decir, en caso que sea necesario la implementación de un sistema de alta contención, este debe resguardar la seguridad tanto de los vehículos pesados, como de los vehículos ligeros, de modo tal que no sea tan rígido para ellos. Por ello, los ensayos para niveles de contención medio y alto contemplan siempre al vehículo más ligero (turismo). Para satisfacer tal requerimiento se colocan barreras más flexibles en la parte inferior del sistema que se desempeña como amortiguador o separador para este vehículo liviano.

Para obtener el marcado "CE" los guardavías deben pasar por dos aprobaciones:

- ✓ Se debe ensayar el prototipo en un laboratorio de manera independiente, es decir, el fabricante enviará los materiales y especificaciones para que sea ensayado donde el laboratorio emitirá un informe.
- ✓ Se inspeccionará la fabricación de las barreras mediante un control de producción.

Luego de obtener ambas aprobaciones el organismo de certificación emite un Certificado de Conformidad (CE) por el organismo.

3.3.1.4. Homologación de las barreras de seguridad

Debido a que en el mundo existen muchos fabricantes de guardavías, y cada una de estas patentes con ligeras variaciones en el modelo y diseño, son necesarias las pruebas de ensayo mencionadas anteriormente; y más aún el mercado CE que garantiza el correcto funcionamiento del sistema, todo ello con el fin de poder comparar entre sí las barreras de seguridad.

Un ejemplo de ello son los guardavías producidos por la empresa española *HIASA* del Grupo Gonvarri, la cual diseña, fabrica y suministra e instala barreras de seguridad simples y dobles con distintos anchos de trabajo, nivel de contención y clase de seguridad A. (Anexo 2)

Los parámetros antes señalados son los de mayor relevancia para la prueba de ensayos los cuales además se encuentran en la Norma Peruana creada en el año 2008 por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) denominada "SISTEMAS DE CONTENCIÓN DE VEHÍCULOS TIPO BARRERAS DE SEGURIDAD", donde se recopilan los parámetros según las Normas NCHRP Report 350 y EN 1317, que deben cumplir las barreras de seguridad según el tipo que se use. No obstante, se resalta si dicho sistema empleado no cumple con las certificaciones de cualquiera de las dos normas, queda bajo responsabilidad del proyectista y diseñador que la barrera empleada garantice las condiciones mencionadas anteriormente, las cuales deben evaluarse y aprobarse de acuerdo a lo estipulado en el *EG-2000*.

Nuestra norma además clasifica el tipo de tráfico y con ello el tipo de barrera a considerar de acuerdo al caso a resguardar.

Tabla 3.12: Tipo de tráfico

Tipo de tráfico	IMDA	% de vehículos con masa ≥ 18 ton
A	> 4000	≥ 25
B	> 4000	< 25
C	350 - 4000	≥ 25
D	350 - 4000	< 25
E	< 350	≥ 25
F	< 350	< 25

Fuente: MTC, 2008

Tabla 3.13: Nivel de contención según el tipo de vía y tráfico

Tipo de vía	Tipo de tráfico	Barrera central	Barrera lateral	Barrera para puentes
AP, MC	A	P4 - P5	P3 - P4	P4 - P5
	B	P2 - P3 - P4	P2 - P3 - P4	P4
DC	C	-	P3	P3 - P4
	C	-	P2 - P3	P3
BVT	E	-	P2	P2 - P3
	F	-	P1	P2 - P3

Fuente: MTC, 2008

Donde:

AP: Autopista

MC: Carretera multicarril o dual

DC: Carretera de dos carriles

BVT: Carretera de bajo volumen de tránsito

Haciendo además una restricción que para puentes con luces menores a 10 m. deben ser diseñados como barreras laterales.

Es importante resaltar que todos estos ensayos a escala real y calidad de fabricación de la barrera si no son colocados en obra debidamente tal como indican las especificaciones técnicas, pierden su validez, ya que se desconoce el modo en el que trabajarán cuando sean exigidos.

3.3.2. Barreras de puentes:

Se clasifican como barreras longitudinales. Sin embargo se estudia y clasifica independientemente, debido a que su objetivo principal es evitar que el vehículo traspase dicha zona y produzca un accidente de mayores consecuencias; por esta razón, deben tener la suficiente capacidad de redirigir al vehículo. Estos pretilos son elaborados en su mayoría de metal, concreto o alguna combinación entre ellos. Cuando existe un flujo, además de peatones y/o ciclistas, se recomienda además una barrera separadora con el flujo.

3.3.2.1. Tipos de barreras para puentes:

Las barreras usadas en puentes son:

- **Curb type glu-lam timber railing.-** Se usan en puentes con baja velocidad de tránsito y en trabajos de obras provisionales.
De acuerdo a la NCHRP Report 350, esta barrera es aprobada en el nivel TL-1.
- **Texas T-6.-** Se usan en puentes con baja velocidad de tránsito
De acuerdo a la NCHRP Report 350, esta barrera es aprobada en el nivel TL-2.
- **Wyoming Two-Tube.-** El diseño consta de una combinación de postes de concreto con vigas metálicas.
De acuerdo a la NCHRP Report 350, esta barrera es aprobada en el nivel TL-3.
- **Barrera Tipo F.-** Al igual que barreras laterales, son de 0.813 m. de altura y de acuerdo a la NCHRP Report 350, esta barrera es aprobada en el nivel TL-4.
- **Barrera Tipo F, New Jersey, de pendiente única, pared vertical.-** Vistas anteriormente de altura no menor de 1.067 m. Son las más usadas en los casos de puentes.
De acuerdo a la NCHRP Report 350, esta barrera es aprobada en el nivel TL-5.
- **Barrera Texas Tank Truck.-** Son una de las más rígidas y presentan un nivel de contención TL-6, según la NCHRP Report 350.

3.3.2.2. Criterios de selección de una barrera de puente:

Son cinco los criterios que se deben tomar en cuenta de acuerdo:

✓ **Desempeño:**

Toda barrera para puente debe tener un nivel de contención mínimo de TL-3, según *NCHRP Report 350*, o nivel de contención similar *MASH* o *EN 1317*, además de ser aprobada con tales requerimientos.

✓ **Compatibilidad:**

Se debe tener en cuenta toda la zona a proteger desde antes del inicio del puente, de modo que no hayan marcadas diferencias de altura, nivel de contención, deflexiones, etc. Para ello se deben colocar las transiciones adecuadas.

✓ **Costo:**

Se debe buscar un equilibrio entre los costos iniciales del proyecto y los costos de mantenimiento, de tal forma que el proyecto sea viable a corto y largo plazo.

✓ **Experiencia de campo:**

Es importante conocer los posibles choques y modos que se producen, a fin de crear un diseño que pueda mejorar este problema y además reducir los costos de mantenimiento.

✓ **Estética:**

Se debe colocar una barrera que vaya de acuerdo al entorno; por ejemplo, pueden ser de apariencia en caso de estar en zonas de vegetación, siempre y cuando cumplan con los niveles de seguridad y contención adecuados.

3.3.3. Transiciones

Son sistemas empleados en zonas donde hay dos tipos de barreras de distinta capacidad de deformación, geometría o nivel de contención, de tal modo que el diseño tenga una rigidez gradual a la largo de la transición, incrementando rigidez desde el sistema más flexible al menos flexible y variando el tamaño de la barrera y/o de los postes. Ello permite una mayor seguridad ante un impacto en dicha zona, evitando posibles volteos o deslizamiento del vehículo. Generalmente, es usada en barreras de puentes debido a su poca casi nula capacidad de deformación en relación a las barreras laterales; en caso de pretilas con un nivel de contención bajo como los TL-2 no es necesario el uso de transición.

La recomendación del *RDG* es que la longitud de la transición sea de 10 a 12 veces la diferencia de deflexiones laterales de ambos sistemas.

3.3.3.1. Criterios de ensayo y evaluación de las transiciones

Según *Norma Europea (EN 1317-4, 2001)* una barrera removible no menor de 40 m. debe considerarse como una sola transición, en caso contrario se considerará otro tipo de barrera conectada a la principal, previamente ensayadas y clasificadas según los criterios de la *EN 1317-2*. Por otro lado, si la barrera desmontable tiene una longitud entre 40 m. y 70 m. se deberá ensayar a un tercio de su longitud según se especifica en la Norma.

Dirección crítica de impacto

Se ensayarán ambas transiciones en sentido de la menos rígida a la más rígida siempre y cuando la menor deflexión se encuentre en la prueba de alta contención. Si la deflexión dinámica de la barrera es mayor a la de la de menor rigidez se elegirán otros ensayos según sean pertinentes; y en caso ambas barreras conectadas presenten el mismo nivel de contención, la dirección del impacto será de la que presente mayor deflexión dinámica a la menor.

Punto de impacto crítico

Dicho punto se ubicará a $\frac{3}{4}$ de la longitud de la transición en la dirección del impacto desde el inicio de la misma para vehículos livianos. En caso de vehículos pesados se ubicará a la $\frac{1}{2}$ de la longitud de transición y en casos especiales se evaluará según sea pertinente.

El *NCHRP Report 350*, por su parte, recomienda que la longitud de la transición sea como mínimo 15 m. para criterios de ensayo. Los demás criterios y tablas a considerar se encuentran dentro de las barreras longitudinales vistas anteriormente.

Por otro lado, nuestra Norma “SISTEMAS DE CONTENCIÓN DE VEHÍCULOS TIPO BARRERAS DE SEGURIDAD” (*MTC, 2008*) condensa lo mencionado en el *EN 1317* y el *NCHRP Report 350* detallando 3 principios básicos para el desarrollo de una correcta transición:

- ✓ **Conexión fuerte:** el empalme o traslape de las barreras debe ser lo suficientemente resistente, con la finalidad de que no colapse durante el impacto. En el caso de barreras de concreto, deben ser conectadas mediante pernos pasantes diseñados para tal fin.
- ✓ **Diseño que evite el enganchamiento:** se debe reducir al mínimo la posibilidad que las ruedas del vehículo se enganchen en la transición.
- ✓ **Una transición adecuada:** para asegurar que el cambio al pasar de una barrera a otra sea gradual, la diferencia de nivel de contención entre ambas debe encontrarse en el mismo nivel. Asimismo, la diferencia de los anchos de trabajo entre ambas barreras no debe exceder a dos niveles (Tabla 3.1)

Protección en los extremos de las barreras:

Todo tipo de barrera representa un peligro en sus extremos para los vehículos que se salen de la calzada e impactan en dicha zona, ya que pueden incrustarse o chocarse con un elemento demasiado rígido pudiendo ocasionar incluso un accidente de mayor consideración que el contemplado inicialmente en el diseño de la barrera. Por ello, se deben resguardar los extremos de los guardavías con el fin de mantener la seguridad en la vía. Los sistemas más usados son: terminales y amortiguadores de impacto.

3.3.4. Terminales:

Son dispositivos empleados en barreras flexibles y semi-rígidas a prueba de impactos clasificados con un nivel de contención de TL-2 o TL-3, de acuerdo al *NCHRP Report 350*,

empleados siempre y cuando el extremo de una barrera se encuentre dentro de la zona despejada.

3.3.4.1. Consideraciones en la selección de terminales

Son cuatro los criterios que se siguen en la implementación de terminales en barreras flexibles y semi-rígidas:

✓ **Compatibilidad del terminal con el sistema de guardavías:**

Los terminales deben ser ensayados para los diversos tipos de barreras de seguridad y además adaptarse a la gran variedad de ellos sin el uso de componentes adicionales.

✓ **Comportamiento de las características de los terminales:**

Se evalúan tres características:

➤ **Absorción de energía vs. No absorción de energía del terminal.-** Dependiendo del tipo de superficie o punto duro ubicado detrás del terminal, se evalúa la posibilidad de colocar uno que tenga la capacidad de absorber energía (15m. aproximadamente) u otro que no absorba la energía producida durante el impacto (75m aproximadamente).

➤ **Terminal con pendiente vs. Terminal tangente.-** Por lo general, en caso de terminales tangentes el ancho que permite un mejor comportamiento se encuentra entre 0.30 y 0.60 m. desde la línea de la barrera, mientras que en terminales con pendiente esta distancia es aproximadamente 1.20 m.

➤ **Punto de longitud necesaria.-** Se debe conocer el punto a partir del cual el terminal tiene la suficiente capacidad de contener y redirigir al vehículo errante, la mayoría de terminales presentan una distancia de 3.81 m.

✓ **Consideración del sitio de colocación.-** Es una consideración muy importante ya que los ensayos realizados a este sistema son llevados a cabo en una superficie plana y las consideraciones en la zona de colocación pueden ser muy distintas.

Para ello se debe considerar la inclinación de la ubicación del terminal, el cual no debe ser más empinado a 1V:10H. En caso existan otras condiciones desfavorables se puede evaluar la posibilidad de extender la longitud de la barrera, además se recomienda dejar una distancia, en caso sea posible, de 15 m. aproximadamente hacia adentro en la posición del terminal, con la finalidad de dar mayor seguridad. Por otro lado, las distancias necesarias detrás del terminal muchas veces no son factibles de hacerse debido a limitaciones del terreno, costos, etc., por lo que se puede tomar como mínimo una distancia de 23 m y 6 m. de ancho.

3.3.4.2. Tipos de terminales:

Existen terminales tipo cable y tipos barrera W con distintas variaciones.

- **Cable terminal de 3 hebras.-** No tiene una patente, y es aprobado con un nivel TL-3, de acuerdo al *NCHRP Report 350*.
- **Cables terminales de alta tensión.-** Este sistema se diseña de acuerdo al suelo donde se encuentra, se emplean generalmente en medianas. De acuerdo al *NCHRP Report 350*, es aprobado con un nivel TL-3.
- **Terminal enterrado en pendiente de subida.-** Generalmente usadas en taludes de corte o relleno, debido a que reduce a cero las posibilidades de impactar en él. Para ello se necesita una pendiente no más plana de 1V:2H en la zona a ubicar el terminal para que pueda cubrir al sistema. El diseño con vigas W ha sido probado en pendientes de 1V.10H, 1V:6H y 1V:10H manteniendo una altura constante del nivel del terreno a la viga de 0.46 m. y en caso dicha distancia sea mayor, se le tendrá que colocar otra barrera para evitar posibles enganches del vehículo en el sistema. De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-3.

Existen terminales que tienen cierta pendiente o ángulo respecto a la barrera a la cual se encuentra unida. Los modelos producidos por las compañías FLEAT y X-TENSION son las únicas con capacidad de absorber energía. Los modelos más usados de estos terminales son:

- **Terminal de carga excéntrica.-** Se trata de un terminal de fácil mantenimiento, el cual no tiene capacidad de absorción del impacto por ello necesita un área de salida considerable detrás del terminal. El sistema consiste de una palanca de acero dentro de una sección de tubo de acero, con lo cual los pernos en las barreras son removidos de los postes, excepto en la unión de barrera con el terminal. Por otro lado, el puntal ubicado en el tubo permite resistir las cargas provenientes del impacto. Su longitud es de 11.4m. de largo con 1.2 m. de distancia lateral respecto al poste y se puede ubicar su punto de longitud necesaria a 3.81 m. desde el final del terminal (ubicado en el tercer poste). De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-3.
- **Terminal de carga excéntrica modificado.-** Se trata de un terminal sin capacidad de absorción de energía con diseño parabólico, empleado en zonas de bajo tránsito. Su longitud es de 11.4 m. con una distancia lateral respecto a la barrera de 1.2 m. y se puede ubicar su punto de longitud necesaria a 3.8 m desde el final del terminal. De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-2.
- **Terminal absorbente de energía (FLEAT).-** Se trata de un terminal empleado también en medianas, el cual se instala en barreras tipo W y presenta capacidad de absorción de energía por medio del doblamiento secuencial de los postes fuertes que pueden ser de madera o metal. Su longitud es de 11.4 m. de largo con una distancia lateral respecto al poste que oscila entre 0.80 y 1.2 m. Se puede ubicar su punto de longitud necesaria a

3.81 m desde el final del terminal. De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-3.

- **Terminal ranurado (SRT-350).**- Se trata de un terminal sin capacidad de absorción de energía con diseño parabólico, el cual tiene barreras tipo W en forma de curva, el cual tiene 3 ranuras de corte longitudinales de $\frac{1}{2}$ " , las cuales le permite reducir el pandeo dinámico manteniendo la su capacidad por tracción. Además, los postes pueden estar conformados de acero o madera. Su longitud es de 11.4 m. de largo con una distancia lateral respecto al poste que oscila entre 0.90 y 1.2 m. Se puede ubicar su punto de longitud necesaria a 3.81 m desde el final del terminal. De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-3.
- **Terminal X-Tension.**- Se trata de un terminal con capacidad de absorción de energía con diseño tangente o con inclinación respecto a la barrera. Además, cuenta con dos cables que corren a lo largo del sistema y una barra que fricciona al colisionar el vehículo. Sus postes pueden ser de madera o acero. Su longitud es de 11.4 m. de largo con una distancia lateral respecto al poste que puede ser de 0 a 1.2 m. Se puede ubicar su punto de longitud necesaria en el primer poste. De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-3.

Existen, además, terminales tipo W tangentes, los cuales tienen la capacidad de absorber la energía donde desarrollará su capacidad a menos de 15 m. de forma paralela y detrás de la barrera. Por lo general, este terminal es instalado sin ninguna inclinación o pendiente respecto a la barrera o también en ratios de esta que van de 25:1 a 50:1.

- **Terminal Extruder (ET-Plus).**- Se trata de un terminal con capacidad de absorción de energía, el cual cuenta con una cabeza al final del sistema que se desliza por un carril interno ubicado lo largo del terminal. Puede estar conformada por postes de madera o acero. Se pueden encontrar en longitudes de 11.4 m. y 15.2 m. de largo y se puede ubicar su punto de longitud necesaria a 3.81m. al final del terminal en el tercer poste. De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-2 y TL-3, según las longitudes descritas antes respectivamente.
- **Terminal de enroscadura secuencial (SKT-350).**- Se trata de un terminal con capacidad de absorción de energía, el cual cuenta con una cabeza al final del sistema que se desliza por el mismo produciendo una serie de articulaciones plásticas en la viga W, lo cual permite que se tenga menores fuerzas dinámicas al impactar el vehículo y así disipar la energía cinética. Puede estar conformada por postes de madera o acero. Se pueden encontrar en longitudes de 11.4 m. y 15.2 m. de largo y se puede ubicar su punto de longitud necesaria a 3.81m. al final del terminal en el tercer poste. De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-2 y TL-3, según las longitudes descritas antes respectivamente.

- **Terminal X-Tension.-** Descrito anteriormente.

Es importante señalar que las alturas de las barreras pueden variar, así como también el uso de postes fuertes, para lo cual deben ser aprobados por el *NCHRP Report 350*. Se puede encontrar en tipos: FLEAT, SRT-350, SKT-350 y ET-Plus, con un nivel TL-3.

Asimismo existen terminales en barreras de medianas:

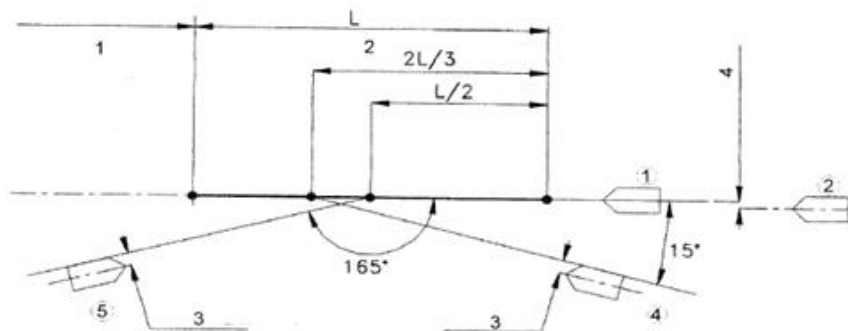
- En barreras tipo W:
 - **Brakemaster 350.-** Se trata de un terminal empleado también para cubrir objetos cercanos y puede usarse también como amortiguador de impacto. El sistema consiste en paneles de viga W soportados por diafragmas de acero que se deslizan hacia atrás y un cable ensamblado que se rompe ante el impacto, disipando la energía. De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-3.
 - **Terminal amortiguador de impacto (CAT-350).-** Se trata de un terminal empleado también para cubrir objetos cercanos y en direcciones unidireccionales y bidireccionales del tránsito. El sistema consiste de un cable que se encuentra en el final del terminal el cual se desliza al impactar el vehículo, de este modo las vigas W y los postes de madera pueden disipar la energía cinética. De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-3.
 - **Terminal de mediana (FLEAT-MT).-** Se trata de un sistema empleado en tránsitos bidireccionales de características similares al terminal FLEAT, con la diferencia de que este tiene de un sistema doble: 2 cabezas de impacto, 2 vigas tipo W, 2 carriles en el interior de las vigas y 2 cables ensamblados. Ello permite retraerse y empujar a los postes que pueden ser de madera o acero. De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-3.
 - **Sistema atenuador de mediana X-Tension (X-MAS).-** El sistema es muy similar a terminal X-Tension con pequeñas variaciones para su empleo en mediana. Se puede usar postes de madera o acero y su punto de longitud necesaria se ubica en la nariz del terminal. De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-3.
- En barreras tipo caja:
 - **Terminal viga tipo caja Wyoming (WY-BET).-** Se trata de un terminal que consiste en una cabeza amortiguadora del impacto la cual se encuentra unida a una caja de 6"x6", la cual se desliza por un tubo de 17.5 cm. x 17.5 cm., despejándose la energía cinética. No se recomienda su uso en vías con mayor pendiente de 15:1 respecto a la dirección

paralela. De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-3.

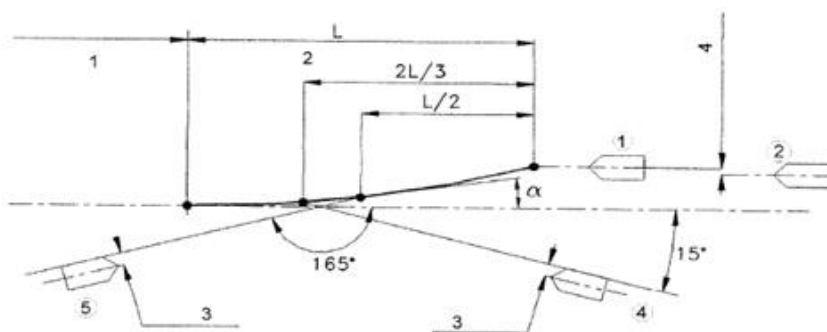
- **Terminal de absorción de energía por ruptura (BEAT).-** Se trata de un terminal que consiste en una cabeza amortiguadora del impacto, la cual se encuentra unida a una caja de 6"x6", un poste colapsable de acero y un cable de anclaje. Se recomienda su uso en vías con mayor pendiente o a la dirección paralela a la vía. De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-3.

3.3.4.3. Criterios de ensayo y evaluación de los terminales

De acuerdo a la Norma Europea (*EN 1317-4, 2001*) el criterio de evaluación es el siguiente:



Terminal paralelo a la vía



Terminal con inclinación respecto a la vía

Fig. 3.8: Posibles aproximaciones de los vehículos en los terminales

Fuente: Adaptado del *EN 1317-4, 2001*

Donde:

- | | |
|------------------|---------------------------|
| ① Aproximación 1 | 1 Barrera |
| ② Aproximación 2 | 2 Terminal |
| ③ Aproximación 3 | 3 ½ de ancho del vehículo |
| ④ Aproximación 4 | 4 ¼ de ancho del vehículo |
| ⑤ Aproximación 5 | |

Con lo cual se pueden establecer las siguientes categorías:

Tabla 3.14: Evaluación del impacto del vehículo y clases

Clase	Localización del terminal	Aproximación	Aproximación de referencia	Masa del vehículo (kg)	Velocidad (km/h)	Código de evaluación														
P1	Arriba o Abajo	desplazado a 1/4 del ancho del vehículo	2	900	80	TT 2.1.80														
P2	Arriba	desplazado a 1/4 del ancho del vehículo	2	900	80	TT 2.1.80														
		con 15° a 2/3 del terminal	4	1300	80	TT 4.2.80														
	Abajo	con 165° a 1/2 del terminal	5	900	80	TT 5.1.80														
P3	Arriba	desplazado a 1/4 del ancho del vehículo	2	900	100	TT 2.1.100														
		centro del vehículo	1	1300	100	TT 1.2.100														
		con 15° a 2/3 del terminal	4	1300	100	TT 4.2.100														
	Abajo	con 165° a 1/2 del terminal	5	900	100	TT 5.1.100														
P4	Arriba	desplazado a 1/4 del ancho del vehículo	2	900	100	TT 2.1.100														
		centro del vehículo	1	1500	110	TT 1.3.100														
		con 15° a 2/3 del terminal	4	1500	110	TT 4.3.100														
	Abajo	con 165° a 1/2 del terminal	5	900	100	TT 5.1.100														
<p>Código de evaluación:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 20%;">TT</td> <td style="width: 20%;">1</td> <td style="width: 20%;">2</td> <td style="width: 20%;">100</td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> <tr> <td>Evaluación del terminal</td> <td>Aproximación</td> <td>Masa del vehículo de prueba</td> <td>Velocidad de impacto</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>Nota 1: Para evitar la ambigüedad de aproximación en la tabla 3.14 y figura 3.46 es el mismo que en el EN 1317-3, la aproximación 3 está presente en EN 1317-3 como test 3 para amortiguadores de impacto, pero no se requiere para terminales</p> <p>Nota 2: La evaluación 3 con aproximación 5 no se realiza para terminales con inclinación respecto a la barrera, en caso sea un punto de impacto relevante, el ángulo del vehículo de la trayectoria del vehículo a la cara del tráfico de la terminal es inferior a 5°</p>							TT	1	2	100				Evaluación del terminal	Aproximación	Masa del vehículo de prueba	Velocidad de impacto			
TT	1	2	100																	
Evaluación del terminal	Aproximación	Masa del vehículo de prueba	Velocidad de impacto																	

Fuente: EN 1317-4, 2001

Con tales parámetros de evaluación se pueden agrupar de acuerdo a la clase del terminal en:

Tabla 3.15: Patrón para terminal P4

Clase	Tests
P4	Todos
P3	TT 1.2.100
P2	TT 2.1.80

Fuente: EN 1317-4, 2001

Tabla 3.16: Patrón para terminal P3 (paralelo a la vía)

Clase	Tests
P3	Todos
P2	TT 2.1.80

Fuente: EN 1317-4, 2001

Tabla 3.17: Patrón para terminal P3 (no paralelo a la vía)

Clase	Tests
P4	TT 2.1.100
	TT 1.3.110
P3	TT 1.2.100
P2	TT 2.1.80

Fuente: EN 1317-4, 2001

Asimismo, resguarda el bienestar de los ocupantes con las siguientes restricciones:

Tabla 3.18: Clases de severidad de impacto para terminales

Clase de impacto de severidad	Valor de los índices		
	A	$ASI \leq 1.0$	THIV < 44 km/h en test 1 y 2 THIV < 33 km/h en test 4 y 5
B	$ASI \leq 1.4$	THIV < 44 km/h en test 1 y 2 THIV < 33 km/h en test 4 y 5	$PHD \leq 20g$

Nota 1: El impacto de severidad A ofrece mayor seguridad para los ocupantes de un vehículo errante que el B, y es preferible en condiciones similares.

Nota 2: El valor límite para THIV es mayor en los test 1 y 2, ya que la experiencia ha demostrado que los valores más altos pueden ser tolerados por los ocupantes en impactos frontales (también debido a una mejor seguridad pasiva en esta dirección). Tal diferencia de la tolerancia humana entre los impactos frontales y laterales es considerada en el parámetro de ASI, que por lo tanto no es necesario se cambiado.

Fuente: EN 1317-4, 2001

Para evaluar el comportamiento del vehículo se define una caja de salida la cual puede estar conformada por una línea de rebote perpendicular a la barrera que se encuentra a 6 m. del final del terminal, dos líneas paralelas a la barrera A y D con una distancia Z_a y Z_d respectivamente, y los puntos R y 4 que es donde termina la barrera.

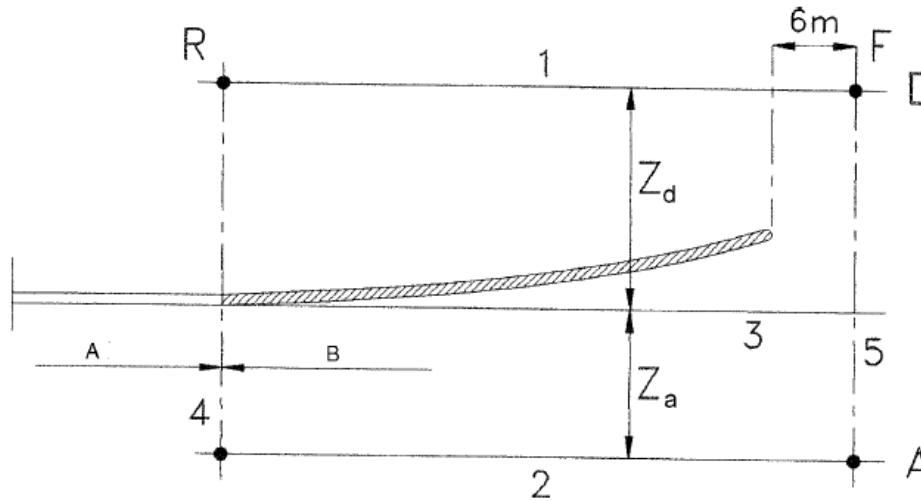


Fig. 3.9: Caja de salida
Fuente: Adaptado del EN 1317-4, 2001

Donde:

- 1 Lado de salida
- 2 Lado de aproximación
- 3 Cara de tráfico de la barrera
- 4 Final del terminal
- 5 Línea de rebote
- A Barrera
- T Terminal

Además dependiendo del tipo de aproximación (Fig. 3.46:) se obtienen las siguientes cajas de salida:

Tabla 3.19: Cajas de salida

Aproximación	Control de líneas de caja de salida
1, 2	F, A, D
4, 5	A

Fuente: EN 1317-4, 2001

Tabla 3.20: Dimensiones de la caja de salida Z_a y Z_d

Clase de Z	Lado de salida Z_a (m)	Lado de aproximación Z_d (m)
Z1	4	4
Z2	6	6
Z3	4	sin límite
Z4	6	sin límite

Fuente: EN 1317-4, 2001

Nota: No se permite en las aproximaciones 1 y 2 que las ruedas del vehículo crucen las líneas de la caja de salida a menos que la velocidad del centro de masa del vehículo sea menor al 10% de la velocidad de prescrita para el ensayo.

Es importante señalar también que tanto el terminal como ninguno de sus componentes pueden penetrar en el vehículo, debido a que pueden causar serias lesiones a los ocupantes, las cuales no están permitidas.

Por otro lado, de acuerdo a los criterios del al *NCHRP Report 350*, para el ensayo de terminales se encuentra junto a los atenuadores de impacto; por ello tales criterios serán vistos en dicha sección.

3.3.4.4. Homologación de los terminales

Al igual que las barreras de contención, estas pruebas y ensayos que se realizan a los terminales sirve para uniformizar las condiciones; y de este modo obtener un marcado CE, que permita dar fe de la calidad y correcto funcionamiento de este sistema en servicio.

Según nuestra Norma Peruana “SISTEMAS DE CONTENCIÓN DE VEHÍCULOS TIPO BARRERAS DE SEGURIDAD” (MTC, 2008), se menciona a los terminales como una instalación complementaria, que puede ser:

- **Terminal abatido y esviado.**- Se entierra la barrera y luego se introduce esviada horizontalmente. Se limita uso solo cuando no sea posible el terminal empotrado en corte.
- **Terminal esviado y empotrado en talud de corte.**- Se conserva la altura de la barrera hasta alcanzar el extremo y, de este modo, no se expone ningún elemento del sistema al tránsito. Se enterrará al talud de corte sin esviaje.

Además, recomienda que el terreno deba estar parejo para que la altura de la barrera cumpla siempre al instalar la barrera.

Asimismo, es importante resaltar que los terminales comúnmente denominados “cola de pez” solo pueden colocarse en el caso que la vía solo sea de un solo sentido y se colocará únicamente en la parte final del tramo. Para vía de dos sentidos debe colocarse necesariamente en terminal abatido y esviado en ambos extremos.

3.3.5. Amortiguadores de impacto:

Es un sistema al cual se le conoce también como atenuador de impacto, cuyo objetivo es reducir la severidad de daños al vehículo ante un impacto frontal, haciendo disminuir su aceleración de manera gradual absorbiendo la energía cinética a lo largo de su extensión del mismo hasta lograr que se detenga. El uso de este sistema es común en estructuras a distintos niveles como es el caso de puentes y en barreras muy rígidas que representan un gran peligro ante un impacto frontal en sus extremos.

No obstante, los amortiguadores de impacto pueden resistir impactos laterales e incluso redireccionar al vehículo errante, de acuerdo a ello se pueden clasificar en:

- Redireccionales.- Tienen la capacidad de resistir y redireccionar al vehículo ante impactos laterales, comportándose en tal caso como una barrera de longitudinal de seguridad.
- No redireccionales.- No tienen la capacidad de resistir impactos laterales, solo resisten impactos frontales permitiendo al vehículo la penetración al sistema durante el impacto

3.3.5.1. Principios de diseño de los amortiguadores de impacto

3.3.5.1.1. Principio de trabajo y energía

Se basa en la absorción de la energía cinética del sistema (E_k):

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

donde:

m: masa del vehículo

v: velocidad del vehículo

Según el principio de la energía, la cual no se puede destruir, sino solo transformar, los atenuadores de impacto cumplen con ello, convirtiendo a la E_k en: energía mecánica producida en la deformación del sistema, energía térmica producida por la fricción, energía potencial el sistema y vehículo tratarán de regresar a sus condiciones iniciales, energía de sonido que se emitirá al impactar en el sistema.

3.3.5.1.2. Principio de conservación del momento

Se basa en la transferencia del momento del vehículo a otro cuerpo, que son barriles de plástico llenados con arena de 955 kg, 636 kg, 318 kg, 182 kg y 91 kg, donde la energía

cinética se va disipando a lo largo de los barriles. Ninguno de los diseños bajo este principio no son redireccionales. Su diseño es en forma analítica y se basa en la ecuación de conservación de momento:

Momento antes del impacto = Momento luego del impacto

donde:
 M_v : masa del vehículo
 V_0 : velocidad del impacto inicial
 M_1 : masa del primer barril con arena
 V_1 : velocidad luego del impacto

$$M_v V_0 = M_1 V_1 + M_1 V_1$$

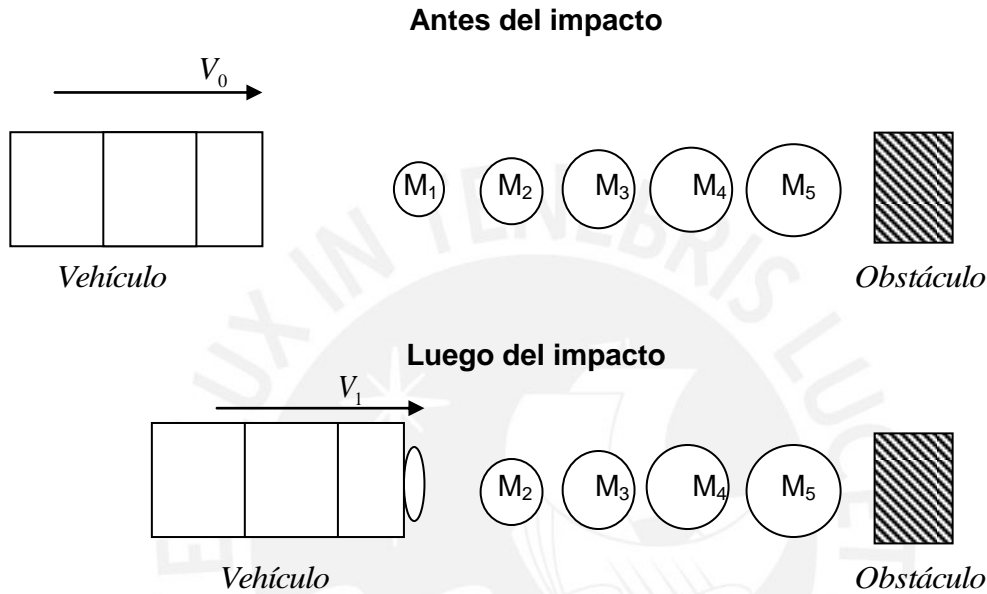


Fig. 3.10: Principio de la conservación de momento
 Fuente: Adaptado del Roadside Design Guide, 2011

Además debido a que este sistema no tiene la capacidad de redirigir al vehículo errante los barriles de arena se deben colocar como mínimo a 0.75 m. del obstáculo, tal como se muestra en la siguiente figura:

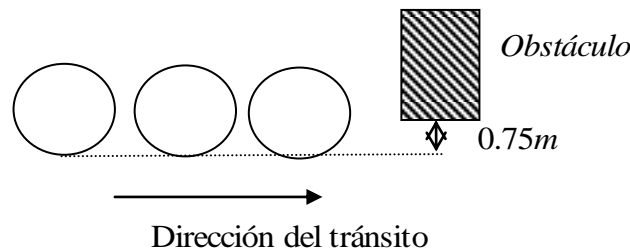


Fig. 3.11: Distancia mínima entre el obstáculo y barril de arena
 Fuente: Adaptado del Roadside Design Guide, 2011

3.3.5.2. Tipos de amortiguadores de impacto

Los atenuadores de impacto diseñados según el principio de trabajo y energía pueden ser:

- Amortiguadores de impacto de sacrificio

Los cuales están diseñados para resistir un solo impacto, colocados en zonas con poca historia de accidentes en la zona, los más usados de este tipo son:

- **Sistema Thrie-Beam Bullnose.-** Es un sistema empleado generalmente en medianas y en tránsitos bidireccionales, usados con el fin de proteger a algún objeto. Su diseño es muy similar a una nariz de toro donde los paneles de la viga thrie se apoyan sobre los postes rompibles aledaños a la nariz, la que es recomendable que se encuentre, por lo menos, 19 m. antes del objeto a cubrir. De acuerdo al *NCHRP Report 350* este terminal es aprobado con un nivel TL-3.
- **Absorb 350.-** Es un sistema no redireccional empleado generalmente en medianas y en tránsitos bidireccionales. Se puede usar tanto en barreras de mediana tipo *Quickchange*, barreras de concreto temporales y permanentes o con el fin de proteger a algún punto duro. El diseño consiste en cajas especiales de 24" de ancho por 32" de alto con agua en su interior, las cuales resisten el impacto, solo debe de tenerse un tratamiento especial con el agua en climas severos. De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-3.
- **ADIEM.-** Es un sistema denominado avanzado "Módulo avanzado dinámico de extensión del impacto", empleado generalmente en medianas y en tránsitos bidireccionales. Consiste en un bloque de concreto que permite disipar la energía del impacto, deslizándose por la superficie tipo cuña sobre la que se encuentra apoyada. De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-3.
- **BEAT-SSCC.-** Es un sistema de una sola cara de amortiguamiento similar al de los terminales *BEAT*, con la variación que estos pueden ir directamente tanto en barreras rígidas como pretiles, su diseño consiste en dos etapas de amortiguamiento, el primero ubicado en la cabeza del elemento que va a lo largo de las vigas tipo caja que la conforman; y el segundo, en la sección próxima a la barrera. Existen en varias longitudes dependiendo de la longitud necesaria a desarrollar.
De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-3.
- **BEAT-BP.-** Es un sistema ubicado directamente sobre los bordes de los puentes, es simétrico para el tránsito en ambas direcciones, su diseño consiste en una cabeza que transmite el impacto a lo largo de las vigas tipo caja de dimensiones de 15 cm. x 15cm. y es recomendable en presencia de grass y áreas de reducidas. De acuerdo al *NCHRP Report 350* este terminal es aprobado con un nivel TL-3.

- **QuadTrend 350.-** Es un sistema de una sola dirección del tránsito que va directamente sobre las barreras rígidas, pretiles, etc. sin algún tipo de transición adicional; por tal motivo son de tamaño pequeño. Su diseño está compuesto de 4 vigas tipo W (dos en cada lado), una base deslizable, una correa de tensión y un cable de reorientación. Puede llevar cajas con arena en caso proteja directamente a una barrera. De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-3.
- **NCIAS.-** Es un sistema de una sola dirección del tránsito. El diseño consiste en 8 cilindros de acero en fila amarrados con dos cables tensos en ambos lados, con el fin de que durante el impacto los cilindros no se desalineen y se pueda redirigir correctamente al vehículo; por ello los 4 cilindros más próximos a la barrera son más rígidos para contribuir a tal fin. De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-3.
- Amortiguadores de impacto reusables
Están diseñados para resistir varios impactos, de modo que la mayoría de piezas puedan ser usadas nuevamente más adelante. Si bien el costo inicial de estos atenuadores son mayores a los atenuadores de sacrificio, a largo plazo puede ser beneficioso en zonas donde la historia de accidentes sea considerable. Los más usados en este tipo son:
 - **QuadGuard.-** Es un sistema empleado generalmente en medianas y en tránsitos bidireccionales, el sistema consiste en cartuchos soportados por un diafragma de acero y 4 vigas corrugadas, los cuales se retraen hacia atrás durante el impacto donde el elemento que se sacrificará serán los cartuchos. Los amortiguadores pertenecientes a este grupo de familia pueden variar dependiendo el tipo de impacto y velocidad del impacto.
De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-3.
 - **Universal TAU-II.-** Es un sistema empleado generalmente en medianas y en tránsitos bidireccionales. El sistema consiste en dos cartuchos que absorben la energía separados por un diafragma de acero como el modelo de las vigas thrie. Su costo de mantenimiento no es muy elevado y permite proteger a casi todos los riesgos en una carretera.
De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-3.
 - **TRACC.-** Es un sistema que actúa en ambas direcciones del tránsito. El diseño consiste en un par de postes guía, marcos de acero y paneles de viga W y una armadura interna como especie de trineo la cual absorbe la energía cinética del impacto. Este no presenta cartuchos o cajas en su interior. Además, la ventaja que presenta es que está recubierto, ya que el metal se encuentra bañado con una capa galvanizada, que le brinda una mejor durabilidad, disminuyendo los costos de mantenimiento. En esta familia también existen

modelos como: WIDETRACC, SHORTRACC y FASTERACC, los cuales varían según el ancho del amortiguador de impacto, velocidad y peso de vehículo.

De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-3.

- **QUEST.-** Es un sistema que actúa en ambas direcciones del tránsito. El diseño consiste en un mecanismo disparador, una armadura interna tipo trineo, un diafragma y un panel de vigas W ensambladas, de tal forma que al impactar el vehículo el mecanismo disparador se activa liberando la armadura.

De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-3.

- Amortiguadores de bajo mantenimiento

Los cuales están diseñados para que puedan resistir otros impactos luego del primero sin sufrir algún daño considerable cualquiera de sus elementos, lo cual no significa que estén exentos de mantenimiento, por lo que se les denomina auto-recuperables. Se emplean, por lo general, en zonas donde hay una considerable historia de choques, barreras en puentes, rampas donde su mantenimiento afecte al flujo de tráfico de la zona. Los más usados en este tipo son:

- **Compressor Attenuator.-** Es un sistema empleado en tránsitos unidireccionales. Su diseño consiste de un polietileno de alta densidad (HDPE) el cual tiene la capacidad de absorber la energía en una distancia corta.

De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-3.

- **EASI-CELL.-** Es un sistema empleado en tránsitos unidireccionales. Su diseño consiste en una serie polietilenos de alta densidad (HDPE) de forma cilíndrica. Se emplean por lo general para proteger cualquier punto duro en la vía y para velocidades no mayores a 50 km/h. De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-3.

- **HEART.-** Es un sistema híbrido empleado en tránsitos unidireccionales. Su diseño consiste en 3 paneles de polietileno de alta densidad, conectados a lo largo de diafragmas de acero montados sobre rieles de acero tubular. Además, también cuenta con una nariz de polietileno colocada sobre el primer diafragma, el cual se activa durante el impacto por medio de un cable tensionado que permite que trabaje el sistema en cadena.

De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-3.

- **QuadGuard Elite.-** Es un sistema empleado en tránsitos bidireccionales. Su diseño consiste cilindros de polietileno de alta densidad en su interior los cuales son los que absorben el impacto. El sistema es un 99% reutilizable. De acuerdo al *NCHRP Report 350* este terminal es aprobado con un nivel TL-3.

- **QuadGuard LMC.-** Es un sistema empleado en tránsitos bidireccionales. Su diseño consiste en cilindros elastoméricos en su interior, los cuales son los que absorben el impacto y tienen una gran durabilidad. El sistema es un 100% reutilizable y los ensayos garantizan un buen comportamiento hasta ángulos de impactos superiores a los 20°. Este sistema es empleado en zonas con historias de accidentes altas. De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este terminal es aprobado con un nivel TL-3.
- **REACT 350.-** Es un sistema empleado en tránsitos bidireccionales, su diseño consiste en cilindros de poliestireno de alta densidad de 0.90 m. de diámetro dispuestos en fila, los cuales absorben la energía cinética producida en el impacto, amarrados por un conjunto de cables en cada borde que permiten la redirección del vehículo. El sistema es 99% reutilizable y está diseñado para soportar un promedio de 3 impactos al año.
De acuerdo al *NCHRP Report 350* este terminal es aprobado con un nivel TL-2 y TL-3 para atenuadores con 4 y 9 cilindros respectivamente.
- **Smart Cushion Innovations.-** Es un sistema empleado en tránsitos bidireccionales. Su diseño consiste en una base anclada, una armadura tipo trineo ensamblada, una serie de paneles de acero a los costados que permite el colapso de los marcos y un cilindro que absorbe el impacto. El funcionamiento del sistema es por medio del cable de tensión, ubicado en la parte frontal, que regula la fuerza en el sistema dependiendo la velocidad y masa del vehículo en el impacto.
De acuerdo al *NCHRP Report 350*, este sistema es aprobado con un nivel TL-2 y TL-3 para atenuadores 70GM y 100GM

Los atenuadores de impacto diseñados según el principio de conservación de momento son:

- Amortiguadores de impacto de sacrificio
Diseñados para resistir un solo impacto, colocados en zonas con poca historia de accidentes en la zona. El diseño en estos modelos es similar. La variación no radica en el comportamiento sino en el diseño de cada fabricante y todos están aprobados con un nivel de contención TL-3, de acuerdo al *NCHRP Report 350*. Este sistema se usa para la protección de barreras rígidas, así como también en separadores de carriles distintos. Los modelos más conocidos son:
 - Fitch Universal Barrel
 - ENERGITE III
 - Big Sandy
 - CrashGard

3.3.5.3. Criterios de ensayo y evaluación de los amortiguadores de impacto

De acuerdo a la Norma Europea (EN 1317-3, 2000) el criterio de evaluación es el siguiente:

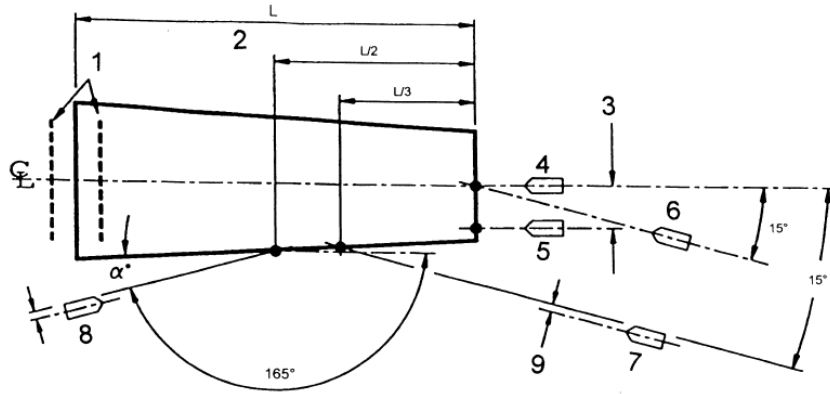


Fig. 3.12: Posibles aproximaciones de los vehículos en los amortiguadores de impacto
Fuente: Adaptado del EN 1317-3, 2000

Donde:

- 1 Localizaciones alternativas de la cara del obstáculo
- 2 Amortiguador de impacto
- 3 ¼ del ancho del vehículo para el test 2
- 4 Test 1
- 5 Test 2
- 6 Test 3
- 7 Test 4
- 8 Test 5
- 9 ½ del ancho del vehículo

Tabla 3.21: Criterios de ensayo para los amortiguadores de impacto de los vehículos

Test ¹⁾	Aproximación	Masa del vehículo (kg)	Velocidad (km/h)	Test en la Figura 3.71
TC 1.1.50	centro del vehículo	900	50	1
TC 1.1.80		900	80	
TC 1.1.100		900	100	
TC 1.2.80		1300	80	1
TC 1.2.100			100	
TC 1.3.100		1500	110	1
TC 2.1.80	desplazado a 1/4 del ancho del vehículo	900 ²⁾	80	2
TC 2.1.100			100	
TC 3.2.80	centro de la nariz a 15°	1300	80	3
TC 3.2.100		1300	100	
TC 3.3.110		1500	110	

TC 4.2.50	impacto lateral a 15°	1300	50	4								
TC 4.2.80		1300	80									
TC 4.2.100		1300	100									
TC 4.2.110		1500	110									
TC 3.5.80	impacto lateral a 15°	1300	80	5								
TC 3.5.100		1300	100									
TC 3.5.110		1500	110									
<p>1) La notación del test en la siguiente:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">TC</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">80</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Evaluación del amortiguador de impacto</td> <td style="text-align: center;">Aproximación</td> <td style="text-align: center;">Masa del vehículo de prueba</td> <td style="text-align: center;">Velocidad de impacto</td> </tr> </table> <p>2) Para esta condición de prueba, el muñeco de prueba se debe ubicar en el lugar más distante de la línea central de amortiguadores de impacto.</p> <p>Nota 1: Las especificaciones y tolerancias están especificadas EN 1317-1</p> <p>Nota 2: El test 5 no se realizará para amortiguadores de impacto no paralelos cuando el ángulo (α) de la trayectoria del vehículo a la cara del tráfico del amortiguador de impacto sea inferior a 5°.</p>					TC	1	2	80	Evaluación del amortiguador de impacto	Aproximación	Masa del vehículo de prueba	Velocidad de impacto
TC	1	2	80									
Evaluación del amortiguador de impacto	Aproximación	Masa del vehículo de prueba	Velocidad de impacto									

Fuente: EN 1317-3, 2000

Asimismo, dependiendo de si el amortiguador de impactos sea de un modelo redirectivo o no redirectivo, existen siguientes niveles:

Tabla 3.22: Niveles de los amortiguadores de impacto redirectivos

Nivel	Aceptación de la evaluación					
50	TC 1.1.50	-	-	-	TC 4.2.50	-
80/1	-	TC 1.2.80	TC 2.1.80	-	TC 4.2.80	-
80	TC 1.1.80	TC 1.2.80	TC 1.2.80	TC 3.2.80	TC 4.2.80	TC 5.2.80*
100	TC 1.1.100	TC 1.2.100	TC 1.2.100	TC 3.2.100	TC 4.2.100	TC 5.2.100*
110	TC 1.1.100	TC 1.3.110	TC 2.1.100	TC 3.3.110	TC 4.3.110	TC 5.3.100*
<p>Nota 1: Los ensayos señalados (*) no requerirán cuando la aproximación del vehículo (ejemplo: vehículos en una sola dirección o casetas de peaje).</p> <p>Nota 2: Para la clase 80/1 el número de pruebas será reducido y el Índice de severidad de aceleración, la deformación del amortiguador de impacto y el comportamiento del vehículo no será comparable a la clase 80.</p>						

Fuente: EN 1317-3, 2000

Tabla 3.23: Niveles de los amortiguadores de impacto no redirectivos

Nivel	Aceptación de la evaluación			
50	TC 1.1.50	-	-	-
80/1	-	TC 1.2.80	TC 2.1.80	-
80	TC 1.1.80	TC 1.2.80	TC 1.2.80	TC 3.2.80
100	TC 1.1.100	TC 1.2.100	TC 1.2.100	TC 3.2.100
110	TC 1.1.100	TC 1.3.110	TC 2.1.100	TC 3.3.110

Nota 2: Para la clase 80/1 el número de pruebas será reducido y el Índice de severidad de aceleración, la deformación del amortiguador de impacto y el comportamiento del vehículo no será comparable a la clase 80.

No obstante, resguarda el bienestar de los ocupantes con las siguientes restricciones:

Tabla 3.24: Valores de la severidad de impacto de los vehículos

Clase de impacto de severidad	Valor de los índices		
A	$ASI \leq 1.0$	THIV < 44 km/h en test 1, 2 y 3 THIV < 33 km/h en test 4 y 5	$PHD \leq 20g$
B	$ASI \leq 1.4$	THIV < 44 km/h en test 1, 2 y 3 THIV < 33 km/h en test 4 y 5	$PHD \leq 20g$
<p>Nota 1: El impacto de severidad A ofrece mayor seguridad para los ocupantes de un vehículo errante que el B, y es preferible en condiciones similares.</p> <p>Nota 2: El valor límite para THIV es mayor en los test 1 y 2, ya que la experiencia ha demostrado que los valores más altos pueden ser tolerados por los ocupantes en impactos frontales (también debido a una mejor seguridad pasiva en esta dirección). Tal diferencia de la tolerancia humana entre los impactos frontales y laterales son considerados en el parámetro de ASI, que por lo tanto no es necesario sea cambiado.</p>			

Fuente: EN 1317-4, 2001

Ningún elemento de los amortiguadores de impacto deberá penetrar o producir deformaciones en el vehículo que pueda causar un daño de consideración en los tripulantes.

Para evaluar el comportamiento del vehículo se definirá una caja de salida que puede estar conformada por una línea de rebote F perpendicular al centro de línea del amortiguador de impacto a 6 m. de la cara del sistema, 2 líneas A y D paralelas al trapecio definido por el amortiguador de impactos a una distancia Z_a y Z_d del lado de aproximación y lado de salida respectivamente, una línea R perpendicular y ubicada al final del amortiguador de impacto y una línea punteada que representa la parte frontal del objeto a proteger.

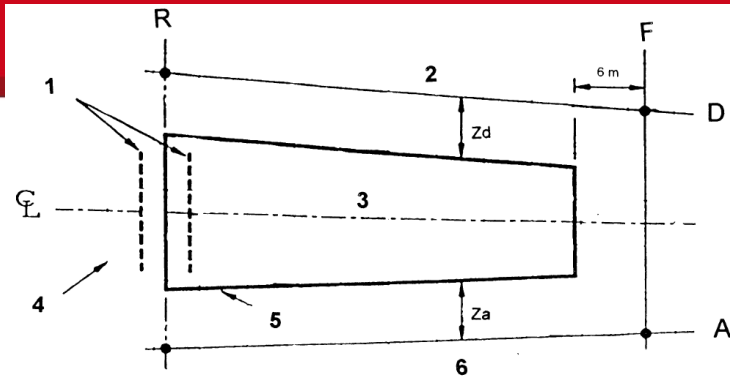


Fig. 3.13: Caja de salida
Fuente: EN 1317-3, 2000

Donde:

- 1 Ubicaciones alternativas de la cara frontal del obstáculo
- 2 Lado de salida
- 3 Centro de línea del amortiguador de impacto
- 4 Línea de referencia
- 5 Envoltura del amortiguador
- 6 Lado de aproximación

La caja de salida queda definida de acuerdo al tipo de ensayo:

Tabla 3.25: Cajas de salida

Aproximación	Control de líneas de caja de salida
1, 2	F, A, D y R
2,3 y 4	F, A, D
4, 5	A

Fuente: EN 1317-3, 2000

Tabla 3.26: Dimensiones de la zona de redirección (Za y Zd)

Clase de Z	Lado de aproximación Zd (m)	Lado de salida Za (m)
Z1	4	4
Z2	6	6
Z3	4	≥ 4, test3, figura 3.71
Z4	6	≥ 6, test3, figura 3.71

Fuente: EN 1317-3, 2000

Por otro lado, el *NCHRP Report 350* realiza ensayos juntando en un mismo grupo a los terminales y amortiguadores de impacto. En caso sea redirectivo el sistema (non gating) debe ser capaz de redirigir al vehículo cuando impacte en él, en cambio, si es no redirectivo, se debe controlar el sistema la intrusión del vehículo. Por ello, se divide en distintos test, los cuales evalúan:

Test 30 y 40:

Vehículo paralelo a la vía y el impacto se produce a su lado derecho o izquierdo. Evalúa el riesgo del ocupante y la trayectoria. También si gira en sentido horario o antihorario al impactar el vehículo.

Test 31 y 41:

Evalúa la capacidad del dispositivo de absorber la energía de un vehículo 2000P de manera segura para los ocupantes.

Test 32 y 33:

Evalúa el riesgo del ocupante y la trayectoria

Test 34 y 35:

Se aplican solo para los dispositivos de compuerta en el CIP (Punto de Impacto Crítico) al inicio de la longitud necesaria. Test 34 tiene como objetivo principal evaluar el riesgo de los ocupantes y los criterios de trayectoria, mientras que el test 35 como objetivo principal evaluar la capacidad del dispositivo para contener y redirigir al vehículo 2000P dentro de los criterios de la trayectoria al comienzo de la longitud necesaria.

Test 36, 37 y 38:

Se aplica en dispositivos "non gating". Evalúan la capacidad de redirección de impacto cerca al mismo. Test 36 evalúa el riesgo del ocupante y la trayectoria del vehículo y el test 37 estructura adecuada y los criterios de trayectoria.

Test 38:

No es necesario si la rigidez lateral del amortiguador es mayor que del dispositivo.

Test 39:

Evalúa el rendimiento del terminal o amortiguador de impacto marcha atrás

Test 42, 43 y 44:

Se aplica para sistemas no redirectivas, evalúan el riesgo de los ocupantes y los criterios de trayectoria, además del ángulo de impacto del choque. Por otro lado, trata de detener con seguridad vehículos de gran tamaño sin causar daños mortales a los pasajeros.

Tabla 3.27: Ensayos para terminales y atenuadores de impacto

Nivel del test	Característica	Característica del sistema	Test designado	Condiciones del impacto		
				Vehículo	Velocidad (km/h)	Ángulo (°)
1	Terminales y amortiguadores de impacto redirectivos	G/NG	1-30	820C	50	0
		G/NG	S1-30 ^a	700C	50	0
		G/NG	1-31	2000P	50	0
		G/NG	1-32	820C	50	15
		G/NG	S1-32 ^a	700C	50	15
		G/NG	1-33	2000P	50	15
		G	1-34	820C	50	15
		G	S1-34 ^a	700C	50	15
		G	1-35	2000P	50	20
		NG	1-36	820C	50	15
		NG	S1-36 ^a	700C	50	15
		NG	1-37	2000P	50	20
		NG	1-38	2000P	50	20
		G/NG	1-39	2000P	50	20
	Terminales y amortiguadores de impacto no redirectivos	G	1-40	820C	50	0
		G	S1-40 ^a	700C	50	0
		G	1-41	2000P	50	0
		G	1-42	820C	50	15
		G	S1-42 ^a	700C	50	15
		G	1-43	2000P	50	15
		G	1-44	2000P	50	20

Fuente: NCHRP Report 350

Nivel del test	Característica	Característica del sistema	Test designado	Condiciones del impacto		
				Vehículo	Velocidad (km/h)	Ángulo (°)
2	Terminales y amortiguadores de impacto redirectivos	G/NG	2-30	820C	70	0
		G/NG	S2-30 ^a	700C	70	0
		G/NG	2-31	2000P	70	0
		G/NG	2-32	820C	70	15
		G/NG	S2-32 ^a	700C	70	15
		G/NG	2-33	2000P	70	15
		G	2-34	820C	70	15
		G	S2-34 ^a	700C	70	15
		G	2-35	2000P	70	20
		NG	2-36	820C	70	15
		NG	S2-36 ^a	700C	70	15
		NG	2-37	2000P	70	20
		NG	2-38	2000P	70	20
		G/NG	2-39	2000P	70	20
	Terminales y amortiguadores de impacto no redirectivos	G	2-40	820C	70	0
		G	S2-40 ^a	700C	70	0
		G	2-41	2000P	70	0
		G	2-42	820C	70	15
		G	S2-42 ^a	700C	70	15
		G	2-43	2000P	70	15
G		2-44	2000P	70	20	
3	Terminales y amortiguadores de impacto redirectivos	G/NG	3-30	820C	100	0
		G/NG	S3-30 ^a	700C	100	0
		G/NG	3-31	2000P	100	0
		G/NG	3-32	820C	100	15
		G/NG	S2-32 ^a	700C	100	15
		G/NG	3-33	2000P	100	15
		G	3-34	820C	100	15
		G	S3-34 ^a	700C	100	15
		G	3-35	2000P	100	20
		NG	3-36	820C	100	15
		NG	S3-36 ^a	700C	100	15
		NG	3-37	2000P	100	20
		NG	3-38	2000P	100	20
		G/NG	3-39	2000P	100	20
	Terminales y amortiguadores de impacto no redirectivos	G	3-40	820C	100	0
		G	S3-40 ^a	700C	100	0
		G	3-41	2000P	100	0
		G	3-42	820C	100	15
		G	S3-42 ^a	700C	100	15
		G	3-43	2000P	100	15
G		3-44	2000P	100	20	

Fuente: NCHRP Report 350

Donde:

- ^a Test opcional
- G/NG Aplicable a dispositivos “gating” y “non gating”
- G Aplicable solo a dispositivos “gating”
- NG Aplicable solo a dispositivos “non gating”

Además para el caso de vehículos pesados evalúan los siguientes parámetros:

Test 50 y 51:

Test 50 evalúa el riesgo de los ocupantes en un impacto dentro de un vehículo pequeño, mientras que el test 51 evalúa la estructuración adecuada para un impacto con un vehículo pesado.

Test 52 y 53:

Son opcionales ya que no hay garantía de que cumplan los requisitos.

Tabla 3.28: Ensayos para atenuadores de impacto de camiones

Nivel del test	Test designado	Condiciones del impacto		
		Vehículo	Velocidad (km/h)	Ángulo (°)
2	2-50	820C	70	0
	S2-50 ^a	700C	70	0
	2-51	2000P	70	0
	2-52 ^h	2000P	70	0
	2-53 ^h	2000P	70	10
3	3-50	820C	100	0
	S3-50 ^a	700C	100	0
	3-51	2000P	100	0
	3-52 ^h	2000P	100	0
	3-53 ^h	2000P	100	10

Fuente: NCHRP Report 350, 1993

Donde:

- ^a Test opcional
- ^h Test opcional

3.3.5.4. Homologación de atenuadores de impacto

Al igual que los demás barreras de contención, estas pruebas y ensayos que se realizan a los terminales de impacto con el fin de uniformizar las condiciones; y de este modo obtener un marcado CE, que permita dar fe de la calidad y correcto funcionamiento de este sistema en servicio.

En el caso de nuestra Norma Peruana “SISTEMAS DE CONTENCIÓN DE VEHÍCULOS TIPO BARRERAS DE SEGURIDAD” (MTC, 2008) se menciona a los amortiguadores de impacto dentro del grupo de terminales como una instalación complementaria, la cual se encuentra adherida a los extremos de una barrera lateral, con el fin de mitigar y reducir la severidad de los impactos. Estos deben ser ensayados con vehículos livianos de 2000 kg. como máximo y a una velocidad de 100 km/h.

3.3.6. Lechos de Frenado

Es un sistema de contención ubicado en la categoría Vías de Emergencia, el cual es una variante de Vías de Gravedad. Los lechos de frenado (LF) se utilizan por lo general en pendientes extensas en descenso donde es muy probable que el sistema de frenos falle debido a una fatiga térmica. Su diseño consiste en una pendiente ascendente longitudinal al borde de la calzada con una superficie rugosa (generalmente arena), la cual permite detener al vehículo errante por el efecto del rozamiento. Este sistema puede ir en reemplazo de un atenuador de impacto o trabajar en conjunto con él.

3.3.6.1. Diseño de los Lechos de Frenado

Al igual que el resto de los Sistemas de Contención los Lechos de Frenado deben considerarse a lo largo de su vida útil: diseño, ejecución y operación. Asimismo, se establecen los siguientes criterios:

- **Criterio de Necesidad:**

Se cuestiona la necesidad de un LF tanto en caminos existentes como en nuevos de acuerdo a la geometría y restricciones del diseño; sin embargo, no existe un criterio analítico definido, pero el parámetro que está presente en casi todos es la historia de choques producidos por falla de los frenos.

- **Criterio de Localización:**

Se define la colocación del LF dentro de la pendiente teniendo en cuenta las restricciones físicas y funcionales de la dicha elección. De acuerdo a la (AASHTO 2001) se debe evaluar si puede ir a la derecha o izquierda del tramo, antes de una curva horizontal a partir de la mitad de la pendiente.

- **Criterio de cálculo de la velocidad de diseño:**

La velocidad de diseño no es constante ya que depende de la distancia recorrida luego de la falla de los frenos y la pendiente del tramo; sin embargo, al asumir esta velocidad como

constante simplifica en gran medida el diseño del LF. Por su parte la normativa de la *AASHTO 2001* recomienda una velocidad de 140 km/h, mientras que otras normativas como la de España (Ministerio, 1999) y la Sud África (CSIR, 2001) recomiendan velocidades que oscilan entre 50 y 130 km/h. Asimismo, la normativa chilena sugiere una velocidad de diseño igual a la velocidad del proyecto + 20 km/h.

Parámetros:

- V_x : Velocidad a una distancia “x” de la pendiente

$$V_x = 8.82 \sqrt{0.01291.V_i^2 - 3.28h_x - 3.28K.x - 3.3 \times 10^{-5} V_m.x - \frac{0.0499F.x.V_n^2}{W}}$$

$$V_x = \sqrt{V_0^2 - 2g.h_{(x)}}$$

Donde:

V_i : Velocidad inicial (V_0)

h_x : Altura a la distancia “x” de la pendiente

K: Coeficiente de fricción

F: Área frontal del vehículo

x: Distancia “x” recorrida de la pendiente

W: Potencia

V_m : Velocidad media del tramo estudiado

V_n^2 : Velocidad media de los cuadrados de las velocidades en el tramo

La primera fórmula solo emplea parámetros de las resistencias pasivas y activas del vehículo mientras que la segunda solo parámetros físicos.

Para el diseño de un LF se debe determinar la necesidad, localización, velocidad de diseño y diseño geométrico del mismo.

3.3.6.2. Necesidad de un Lecho de Frenado

Se debe determinar la Velocidad Máxima de Descenso Seguro (VMDS) la cual es la máxima velocidad que puede descender el vehículo sin que fallen los frenos y la Velocidad de Circulación (VC), que es la cual es la velocidad de operación de los vehículos. En caso que $VC > VMDS$ entonces será necesario la colocación de un lecho de frenado. Se debe hallar la velocidad al final de la pendiente, de modo que alcance una temperatura límite (T_{lim}) equivalente a 260° C.

Donde: $T_{lim} = T_f + \Delta T_f$

T_f : Temperatura de los frenos al término de la pendiente

$$T_f = T_0 + \left(T_\Phi - T_0 + \frac{K_2 \cdot HPB - 32}{1.8} \right) \left(1 - e^{\frac{-K_1 \cdot L_c}{VMDS}} \right)$$

T_0 : Temperatura de los frenos al inicio de la pendiente (65.6° C)

T_{ϕ} : Temperatura de del ambiente (valor sugerido: 32.6° C)

L_C : Longitud de la pendiente (km.)

K_1 : Constante de calibración (1/h)

$$K_1 = 1.23 + 0.016VMDS \quad (\text{Ecuación de Bowman, 1989})$$

K_2 : Constante de calibración (° F/HP)

$$K_2 = \frac{1}{0.1 + 0.0013VMDS} \quad (\text{Ecuación de Bowman, 1989})$$

HPB: Potencia de frenado

$$HPB = [(2205W)i - (450 + 10.83VMDS)] \frac{VMDS}{600} - HP_M$$

Donde:

HP_M : Potencia del motor (HP)

W: Peso del vehículo

ΔT_f : Variación de la temperatura de los frenos

$$\Delta T_f = 1.5 \times 10^{-4} (W)(VMDS)^2 - 17.8$$

Con el valor de temperatura límite se puede despejar el VMDS, sin embargo, es un cálculo complejo. Por ello, existen ábacos de VMDS obtenidos para vehículos cuyo peso oscila entre 30 a 40 toneladas y 40 a 45 toneladas, pendientes de 4% a 8% y longitudes de pendiente de 0 a 16 km. La ventaja de este es que podemos definir un VMDS = VC y realizar combinaciones de longitudes y pendientes, de tal modo que no requieran un Lecho de Frenado.

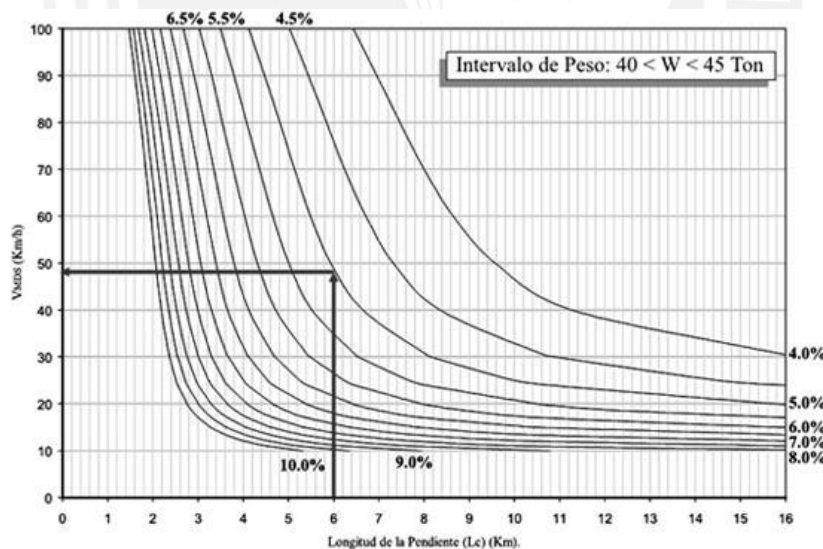


Fig. 3.14: Ábaco de estimación de la VMDS

Fuente: Nancufil, 2002

3.3.6.3. Localización de un Lecho de Frenado

Se debe hallar la posición respecto al inicio de la pendiente (L_x) donde se alcanza el T_{lim} a una Velocidad de Circulación (VC). Se calcula reemplazando $VMDS=VC$ y $L_x=LC$. También existen ábacos para hallar el valor L_x para vehículos cuyo peso oscila entre 30 a 40

toneladas y 40 a 45 toneladas, pendientes de 4% a 8% y longitudes de pendiente de 0 a 16 km.

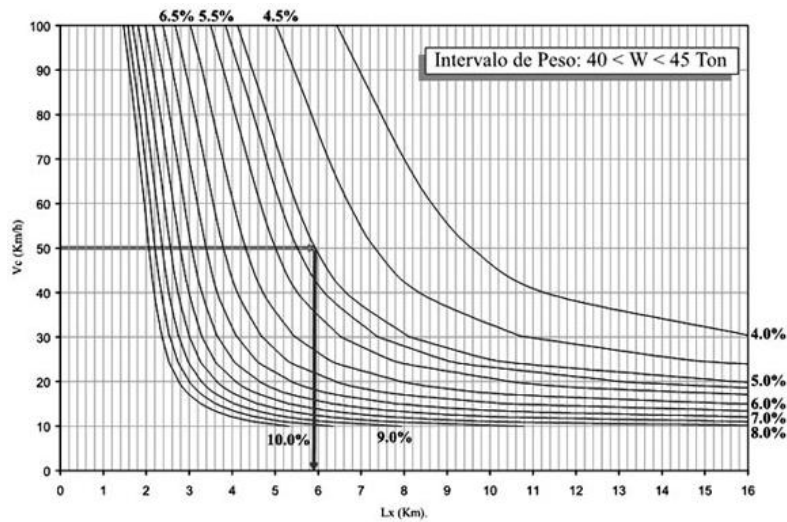


Fig. 3.15: Ábaco para determinar L_x dado una V_C , pendiente y peso del vehículo
Fuente: Nancuñil, 2002

3.3.6.4. Cálculo de la velocidad de diseño y Diseño geométrico del Lecho de Frenado

La velocidad de diseño (V_D) irá aumentando conforme el vehículo se desplace una distancia “ x ” hacia abajo por efecto de la gravedad.

$$V_D = \begin{cases} V_C & ; \quad x \leq L_x \\ \sqrt{V_C^2 + 254,275(i - fr)(X - L_x)} & ; \quad x > L_x \end{cases}$$

Donde:

V_C : Velocidad de Circulación

fr : Fricción del lecho de frenado

$X - L_x$: Posición relativa del lecho de frenado

Con la velocidad de diseño se halla la distancia en que se detiene el vehículo L_{LF}

$$L_{LF} = \frac{V_D^2}{254(fr + i_{LF})}$$

Donde:

i_{LF} : Pendiente longitudinal del lecho de frenado

En el caso que la distancia requerida sea mayor a la distancia disponible se puede variar la pendiente o el material del lecho de frenado; y si aún no se logra el espacio suficiente para

detener el vehículo se procede a colocar un atenuador de impacto con una velocidad final en la longitud del LF igual a:

$$V_f = \sqrt{V_D^2 - 254L_{LF}(fr + i_{LF})}$$

4. Caso Práctico: Análisis de un 1 km. de una carretera

4.1. Datos generales:

✓ Ubicación:

Se analizaron 50 km. de la Carretera Panamericana Sur (KM 19.5 - KM 71.5) referencias Peaje EMAPE y Playa Puerto Viejo respectivamente

✓ Tramo analizado:

KM 57 + 695.10 m. - KM 58 + 582.8 m.

✓ Número de carriles:

2 carriles de 3.40 m. y 3.60 m. de acuerdo a la sección analizada

✓ Velocidad de diseño: 100km/h

✓ IMDA: 11,826 veh/año

✓ % Vehículos pesados= 17.6 %

4.2. Análisis del kilómetro más crítico:

4.2.1. Sección transversal con mediana y zona despejada insuficiente

KM 57 + 695.10 m. (S 12° 27.860' W 076° 45.108')

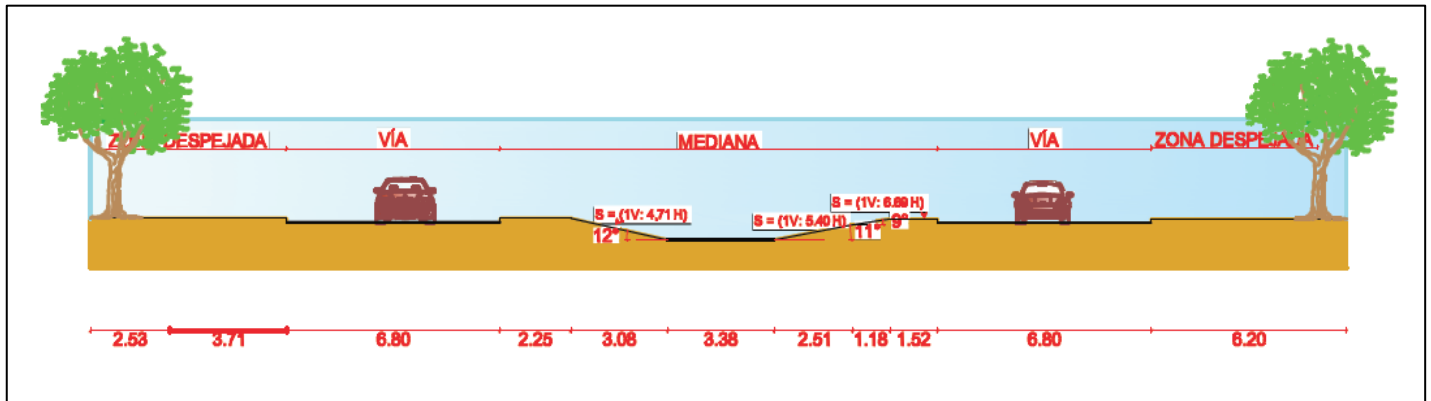
Referencia: Puente vehicular



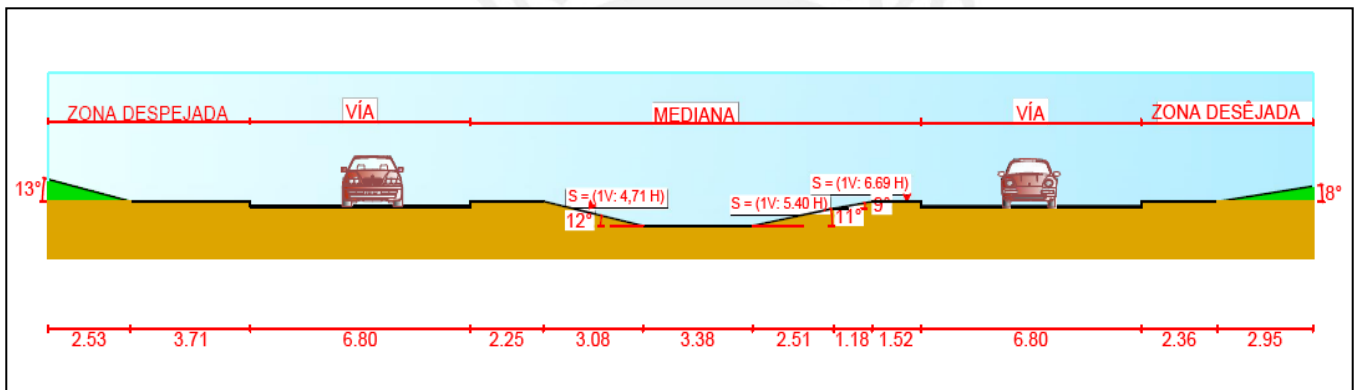
Fig. 4.1: Puente vehicular
Fuente: Propia

Situación actual:

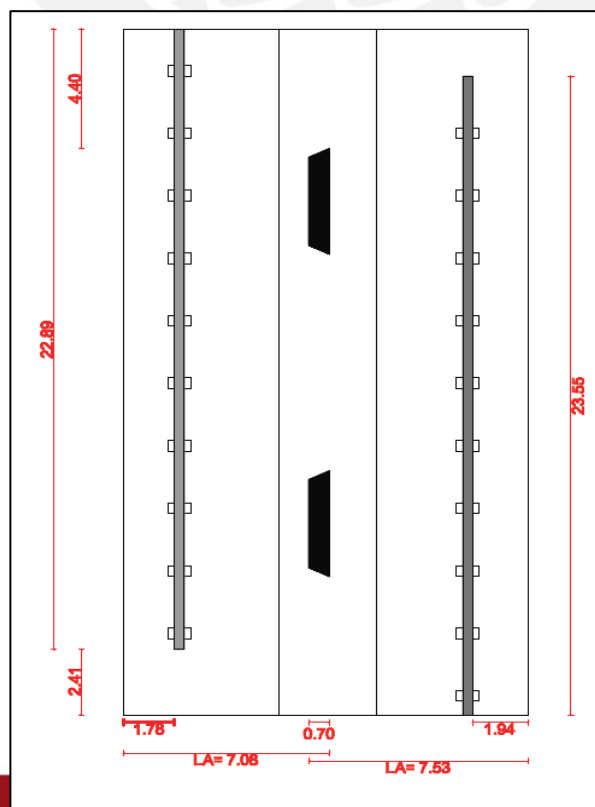
Sección transversal del tramo de la carretera (antes del puente):



Sección transversal del tramo de la carretera (en el puente):



Sección del puente (planta):



Descripción en la sección antes de llegar al puente:

Sección S-N	Mediana	Sección N-S
Zona despejada 6.24 m., punto duro (árbol)	Mediana sin barrera y con árboles en su interior	Zona despejada 6.20 m., punto duro (árbol)
Pendiente de subida: (1V:4.33H)	Sección mostrada en plano	Pendiente de bajada: (1V:22.90H)

Descripción en la sección en el puente:

Sección S-N	Mediana	Sección N-S
Zona despejada 3.71 m. (carril auxiliar)	Mediana con barrera que cubre la columna del puente y terminal cola de pez	Punto duro al borde de la vía: 2.36m.
Pendiente de subida: (1V:4.33H)	Sección mostrada en plano	Pendiente de subida: (1V:7.12H)

Análisis de la sección transversal típica:

$V_D = 100$ km/h

IMDA= 11,826 veh/año

% Vehículos pesados= 17.6 %

- **Sección de ida y venida**

✓ **Zona despejada:** 9.0 -10.0 m. (tabla 2.1)

- **Sección de la mediana**

De acuerdo a la tabla 3.6 esta sección transversal de la mediana no es necesaria la implementación de barreras de seguridad; sin embargo, debido a que en su interior hay árboles, los cuales representan un punto duro en la carretera, deben colocarse barreras semi-rígidas en la mediana. Por tal motivo analizaremos a esta sección como el Caso 1 (Figura 3.25; es decir, deben colocarse barreras en ambos bordes de la mediana.

En la zona donde se ubica el puente con las medidas de la sección transversal y longitudes de las barreras, el análisis es el siguiente:

Dirección N-S:

$L_A = 7.53$ m.

$L_2 = 1.94$ m.

$L_R = 91.0$ m. (tabla 3.5)

$$X = \frac{7.53 - 1.94}{\frac{7.53}{91.0}} = 67.56 \text{ m.} \quad Y = 7.53 - \frac{7.53}{91} (67.56) = 1.94 \text{ m.}$$

Dirección S-N:L_A: 7.08 m.L₂: 1.78 m.L_R: 91.0 m. (tabla 3.5)

$$X = \frac{7.08 - 1.78}{\frac{7.08}{91.0}} = 68.12 \text{ m.} \quad Y = 7.08 - \frac{7.08}{91} (8.12) = 1.78 \text{ m.}$$

Conclusiones:

Para este y los demás casos considerando el tipo de tráfico (17.6% vehículos pesados), obtenemos un tipo de tráfico tipo “B” en la *Tabla de Tipo de Tráfico* (Tabla 3.12) y considerando que se trata de una carretera multicarril en la *Tabla de Nivel de Contención de acuerdo al tipo de tráfico y vía* (Tabla 3.12) se puede emplear una barrera con niveles de contención que pueden oscilar entre P2 y P4. En este caso, consideraremos un nivel de contención P3, el cual es un nivel intermedio alto, tanto en las barreras laterales como en la zona de la mediana. Asimismo, en todos los diseños consideraremos terminales abatidos y esviados tal como establece la Norma Peruana (MTC, 2008).

En la sección típica de ida y venida del borde de la vía se requiere el uso de una barrera debido a que la zona despejada es menor a la que se debería tener de acuerdo a las condiciones existentes. Por otro lado, en la sección donde se ubica el puente la sección de subida presenta mucha pendiente; por ello, se recomienda el uso de una barrera semi-rígida con un nivel de contención P3, ya que tampoco se cuenta con mucha distancia para que se pueda deformar. Sin embargo, dado la historia de choques en dicha zona es casi nula, por tal motivo puede dejarse sin efecto las recomendaciones del RDG.

En la sección de la mediana, si bien podría emplearse una barrera flexible, se recomienda la implementación de una barrera semi-rígida debido a que no es un terreno plano, además debido a la existencia de palmeras en dicha zona, las cuales son potenciales puntos duros. Asimismo, en la zona del puente las longitudes de las barreras son insuficientes para cubrir los pilares del puente, la longitud y distancia referenciales son las calculadas anteriormente. No obstante, es importante resaltar que el tipo de flujo es en ambos sentidos, ya que esta carretera es reversible en temporadas de verano y su diseño solo contempla “protección” en un solo sentido. Peor aún, el terminal cola de pez no se debe emplear ya que solo se debe colocar en caso el flujo sea unidireccional.

Asimismo, en la sección de los bordes de la vía se recomienda la colocación de barreras del mismo nivel de contención P3 a unos dos metros del punto duro (palmeras) y continuar a lo largo en toda la sección protegiendo así al vehículo de la vegetación debajo del puente en los bordes de la vía con pendientes muy empinadas. En cuanto al elemento de concreto ubicado en la sección Norte-Sur; ya que no cumple ninguna función, se debería retirar.

4.2.2. Sección transversal con mediana y zona despejada insuficiente

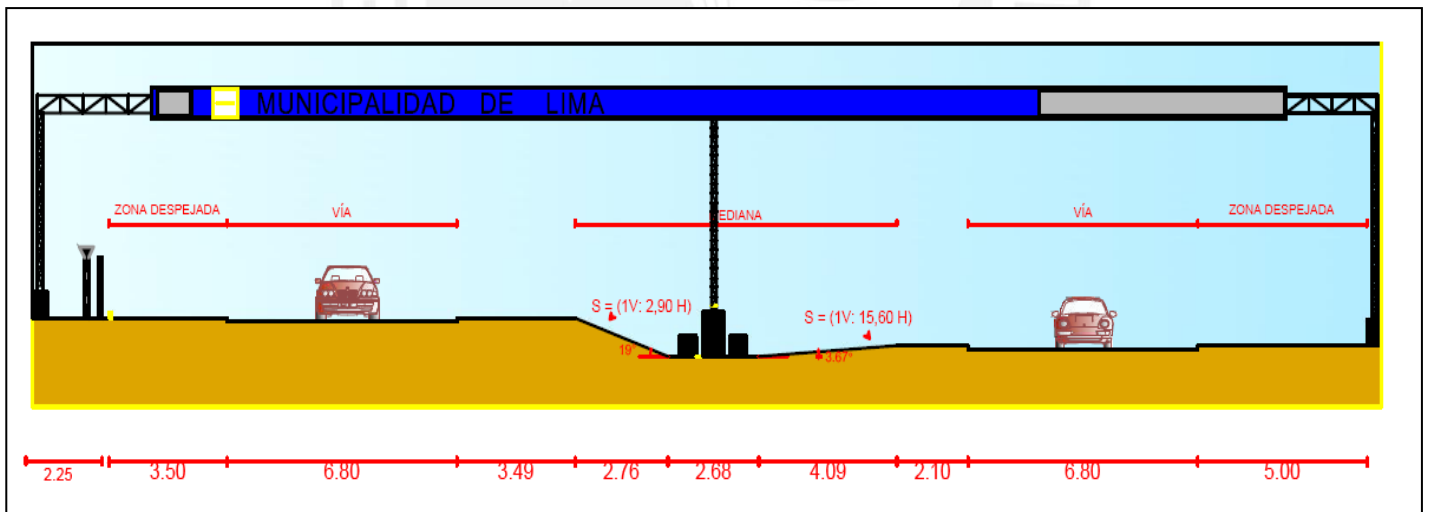
KM 57 + 813.50 m. (S 12° 28.203' W 076° 45.016')

Referencia: Pórtico de publicidad

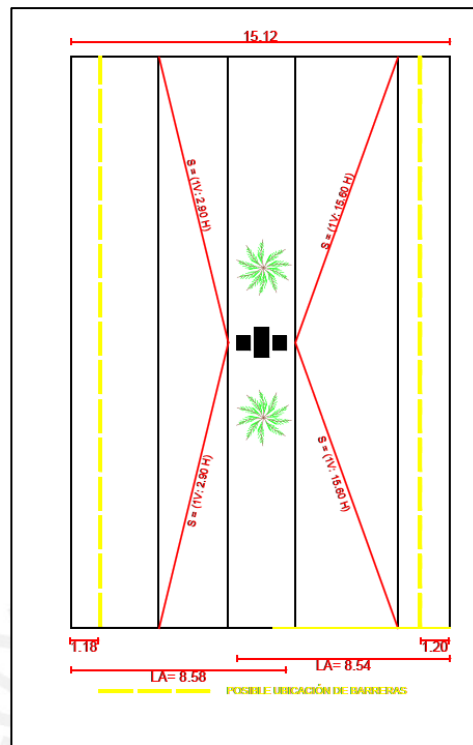


Fig. 4.2: Pórtico de señalización en la carretera
Fuente: Propia

Situación actual:
Sección transversal



Sección en planta:



Descripción en la sección:

Sección S-N	Mediana	Sección N-S
Zona despejada 3.50 m. (carril auxiliar), sardinel y a 1.83 m. más allá se ubica la base del pórtico	Mediana sin barrera con puntos duros claramente identificados	Zona despejada 5.00 m., punto duro (base del pórtico)
Sin pendiente	Sección mostrada en plano	Sin pendiente

Análisis de la sección transversal típica:

$V_D = 100 \text{ km/h}$

IMDA= 11,826 veh/año

% Vehículos pesados= 17.6 %

- **Sección de ida y venida**
 - ✓ **Zona despejada:** 9.0 -10.0 m. (tabla 2.1)

- **Sección de la mediana**

De acuerdo a la tabla 3.6, esta sección transversal de la mediana no es necesaria la implementación de barreras de seguridad; sin embargo, debido a que en su interior existe la presencia de árboles y la base del pórtico, debe de colocarse barreras semi-

rígidas en la mediana. Por tal motivo analizaremos a esta sección como el Caso 1 (Figura 3.25; es decir, deben colocarse barreras en ambos bordes de la mediana.

En la zona donde se ubica el puente con las medidas de la sección transversal y longitudes de las barreras, el análisis es el siguiente:

Dirección N-S:

$$\begin{array}{l}
 L_A: 8.54 \text{ m.} \\
 L_2: 1.18 \text{ m.} \\
 L_R: 91.0 \text{ m. (tabla 3.5)}
 \end{array}
 \quad
 X = \frac{8.54 - 1.18}{\frac{8.54}{91.0}} = 78.43 \text{ m.}
 \quad
 Y = 8.54 - \frac{8.54}{91} (78.43) = 1.18 \text{ m.}$$

Dirección S-N:

$$\begin{array}{l}
 L_A: 8.58 \text{ m.} \\
 L_2: 1.20 \text{ m.} \\
 L_R: 91.0 \text{ m. (tabla 3.5)}
 \end{array}
 \quad
 X = \frac{8.58 - 1.20}{\frac{8.58}{91.0}} = 79.12 \text{ m.}
 \quad
 Y = 8.58 - \frac{8.58}{91} (79.12) = 1.20 \text{ m.}$$

- **Sección del borde de la vía:**

Al igual que en la mediana, se debe implementar barreras en los bordes de la vía para proteger las bases del pórtico con las siguientes longitudes necesarias:

Dirección N-S:

$$\begin{array}{l}
 L_A: 5.42 \text{ m.} \\
 L_2: 3.00 \text{ m.} \\
 L_R: 91.0 \text{ m. (tabla 3.5)}
 \end{array}
 \quad
 X = \frac{5.42 - 3.00}{\frac{5.42}{91.0}} = 40.63 \text{ m.}
 \quad
 Y = 5.42 - \frac{5.42}{91} (40.63) = 3.00 \text{ m.}$$

Dirección S-N:

Se recomienda la implementación de un guardavía donde se encuentra el sardinel, asimismo, que recorra a lo largo de tal forma que cubra la zona donde está el terrenal de arena.

Conclusiones:

En las secciones tanto de ida como de venida se requiere el uso de una barrera debido a que la zona despejada es mayor a la distancia que se tiene, consideraremos el empleo de una barrera semi-rígida con nivel de contención P3, con terminales abatidos y esviados en ambos extremos. Por otro lado, dado la historia de choques en dicha zona es casi nula, por tal motivo puede dejarse sin efecto las recomendaciones del RDG.

En la sección de la mediana, se recomienda el uso de una barrera semi-rígida debido a que la mediana no es plana, asimismo, las barreras a instalarse deben cubrir ambos sentidos en las vías por tratarse de una vía reversible como se indicó en el caso anterior.

4.2.3. Sección transversal con mediana y zona despejada insuficiente

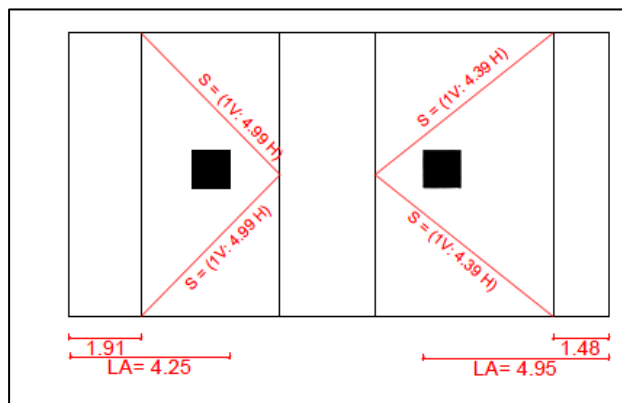
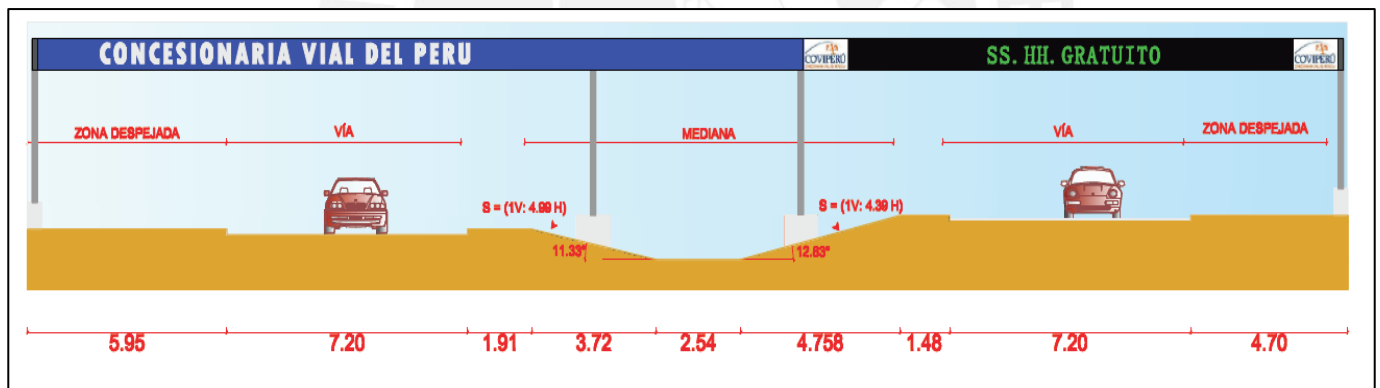
KM 58 + 253.8 m. (S 12° 28.203' W 076° 45.016')

Referencia: Pórtico de publicidad



Fig. 4.3: Pórtico de señalización en la carretera
Fuente: Propia

Situación actual:
Sección transversal



Descripción en la sección:

Sección S-N	Mediana	Sección N-S
Zona despejada 5.95 m., punto duro (base del pórtico)	Mediana sin barrera con puntos duros claramente identificados	Zona despejada 4.70 m., punto duro (base del pórtico)
Sin pendiente	Sección mostrada en plano	Sin pendiente

Análisis de la sección transversal típica:

$V_D = 100 \text{ km/h}$

$IMDA = 11,826 \text{ veh/año}$

$\% \text{ Vehículos pesados} = 17.6 \%$

- **Sección de ida y venida**

✓ **Zona despejada:** 9.0 -10.0 m. (tabla 2.1)

- **Sección de la mediana**

De acuerdo a la tabla 3.6 esta sección transversal de la mediana la implementación de barreras de seguridad es solo opcional; sin embargo, debido a que en su interior se encuentra la base del pórtico, deben colocarse barreras semi-rígidas en ambos lados de la mediana. Por tal motivo analizaremos a esta sección como el Caso 1 (Figura 3.25).

En la zona donde se ubica el puente con las medidas de la sección transversal y longitudes de las barreras, el análisis es el siguiente:

Dirección N-S:

$L_A: 4.95 \text{ m.}$

$L_2: 1.42 \text{ m.}$

$L_R: 91.0 \text{ m. (tabla 3.5)}$

$$X = \frac{4.95 - 1.42}{\frac{4.95}{91.0}} = 64.89 \text{ m.} \quad Y = 4.95 - \frac{4.95}{91} (64.89) = 1.42 \text{ m.}$$

Dirección S-N:

$L_A: 4.25 \text{ m.}$

$L_2: 1.32 \text{ m.}$

$L_R: 91.0 \text{ m. (tabla 3.5)}$

$$X = \frac{4.25 - 1.32}{\frac{4.25}{91.0}} = 62.74 \text{ m.} \quad Y = 4.25 - \frac{4.25}{91} (62.74) = 1.32 \text{ m.}$$

- **Sección del borde de la vía:**

Al igual que en la mediana, se debe implementar barreras en los bordes de la vía para proteger las bases del pórtico con las siguientes longitudes necesarias:

Dirección N-S:

$L_A: 4.70 \text{ m.}$

$L_2: 1.70 \text{ m.}$

$L_R: 91.0 \text{ m. (tabla 3.5)}$

$$X = \frac{4.70 - 1.70}{\frac{4.70}{91.0}} = 58.09 \text{ m.} \quad Y = 4.70 - \frac{4.70}{91} (58.09) = 1.70 \text{ m.}$$

Dirección S-N: $L_A: 5.95 \text{ m.}$ $L_2: 2.95 \text{ m.}$ $L_R: 91.0 \text{ m. (tabla 3.5)}$

$$X = \frac{5.95 - 2.95}{\frac{5.95}{91.0}} = 45.88 \text{ m.} \quad Y = 5.95 - \frac{5.95}{91} (45.88) = 2.95 \text{ m.}$$

Conclusiones:

En las secciones tanto de ida como de venida, debido a que la zona despejada requerida es mayor a la distancia que se tiene, se requiere el uso de una barrera semi-rígida con un nivel de contención P3, con terminales abatidos esviados en ambos extremos; sin embargo, dado la historia de choques en dicha zona es casi nula, por tal motivo puede dejarse sin efecto las recomendaciones del *RDG*.

En la sección de la mediana, es necesario cubrir los puntos duros (bases del pórtico) con un tipo de barrera semi-rígida con nivel de contención P3, debido a que se encuentran muy cercanos a la calzada; y no es como en los casos anteriores donde las bases se hallaban en la parte central de la mediana.

4.2.3.1 Sección transversal crítica en el tramo

KM 58 + 270.20 m. (S 12° 28.203' W 076° 45.016')

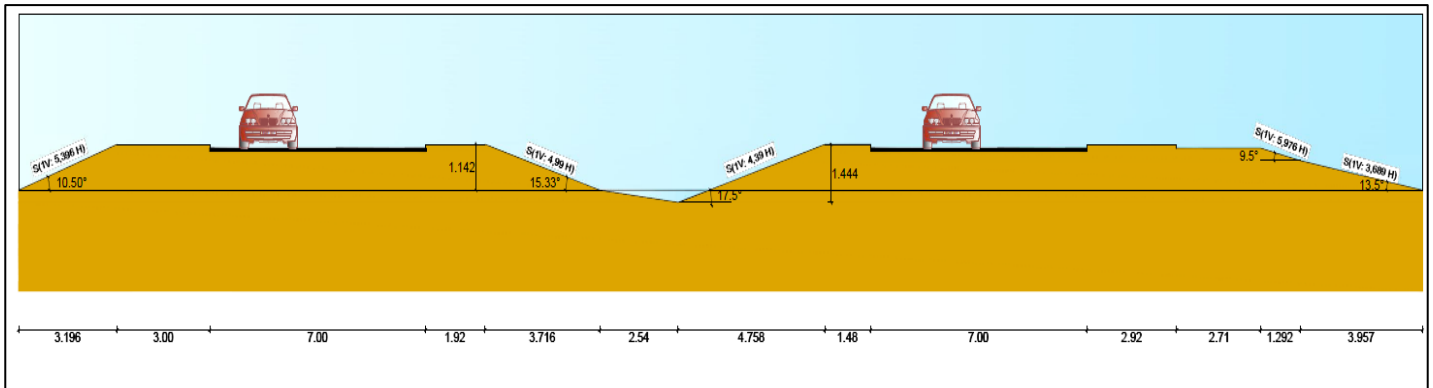
Referencia: A pocos metros del Pórtico de publicidad



Fig. 4.4: Borde de la vía de sección crítica

Fuente: Propia

**Situación actual:
Sección transversal**



Descripción en la sección:

Sección S-N	Mediana	Sección N-S
Zona despejada 3.00 m. (carril auxiliar) seguido de 3.20 m. (1V:5.40H)	Mediana sin barrera y con árboles en su interior	Zona despejada 5.63 m. (carril auxiliar y parte del borde), seguido de 1.29 m. (1V:5.98H) y 3.96 m. (1V:3.69H)

Análisis de la sección transversal típica:

$V_D = 100$ km/h

IMDA= 11,826 veh/año

% Vehículos pesados= 17.6 %

- **Sección de ida y venida**
 - ✓ **Zona despejada:** 9.0 -10.0 m. (tabla 2.1)
- **Sección de la mediana**
 - Analizada en el anteriormente (Caso 3)

Conclusiones:

En la sección de ida se analizará con un tramo recuperable y otro no:

$d_1: 5.63 + 1.29 = 6.92$ m.

$d_2: 9.50$ m. (tomando una pendiente aproximada de 1V:6H y la distancia intermedia del rango)

$$|d_1 - d_2| = |6.92 - 9.50| = 2.58$$

Por lo tanto, se usa la distancia mínima de 3.00 m. y debe extenderse desde el pie del talón más empinado. De acuerdo a las características esta zona tiene suficiente espacio de recuperación; sin embargo, debido a la presencia de basura, desmonte, etc., puede llevar a perder el control del vehículo.

En la sección de venida se analizarán dos tramos recuperables, por lo cual la distancia despejada se tomará con la pendiente adyacente a la berma (9.00 – 10.00 m.). Debido a la zona despejada insuficiente, se recomienda la implementación de barreras de seguridad semi-rígidas al borde de la calzada.

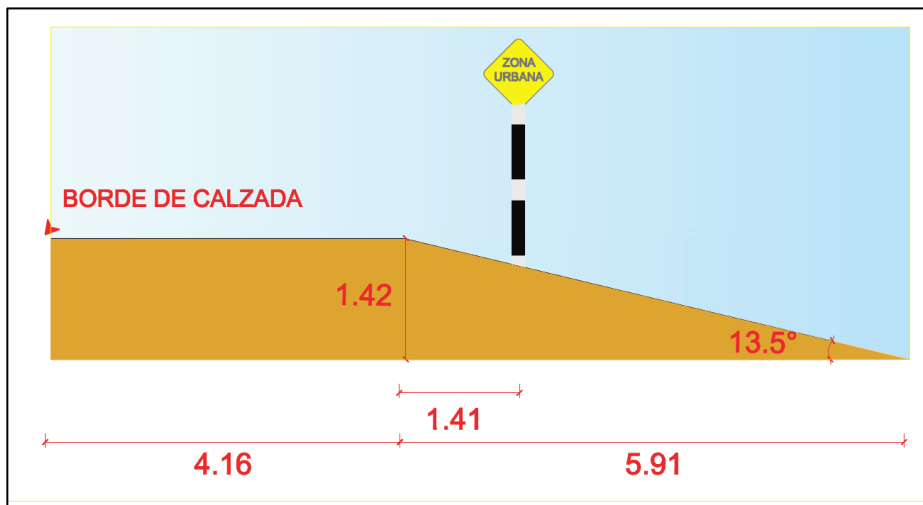
4.2.4. Sección transversal con punto duro (señal de tránsito)

KM 58 + 309.4 m. (S 12° 28.208' W 076° 45.007')



Fig. 4.5: Señal de tránsito al borde de la carretera
Fuente: Propia

**Situación actual:
Sección transversal**



Descripción en la sección:

Sección N-S	Mediana	Sección S-N
Zona despejada 3.00 m. (carril auxiliar) seguido de 3.20 m. (1V:5.40H)	Mediana sin barrera y con árboles en su interior	Zona despejada 4.16 m. (carril auxiliar), seguido de 5.91 m. (1V:4.17H). Señal a 5.57 m. del borde de la calzada

Análisis de la sección transversal típica:

$V_D = 100$ km/h

IMDA= 11,826 veh/año

% Vehículos pesados= 17.6 %

- **Sección de ida y venida**
 - ✓ **Zona despejada:** 9.0 -10.0 m. (tabla 2.1)
- **Sección de la mediana**
 - Analizada en el anteriormente (Caso 3.1)

Conclusiones:

En la sección de ida se analizarán dos tramos recuperables, por lo cual la distancia despejada se tomará con la pendiente adyacente a la berma (9.00 – 10.00 m.). La señal de tránsito se encuentra dentro de la zona despejada, la cual es aún insuficiente. Se recomienda la implementación de barreras de seguridad semi-rígidas al borde de la vía con un nivel de contención P3, con terminales abatidos esviados en ambos extremos.

La sección de venida y la mediana son iguales al empleado en el caso anterior (Caso 4).

4.2.5. Sección transversal con mediana y zona despejada insuficiente

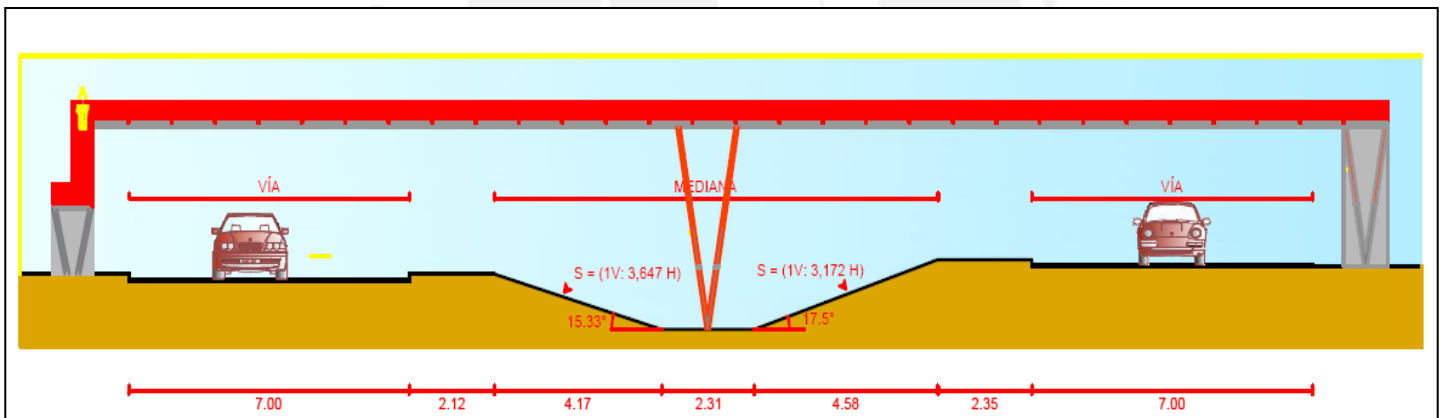
KM 58 + 582.8 m. (S 12° 28.409' W 076° 44.958')

Referencia: Puente peatonal

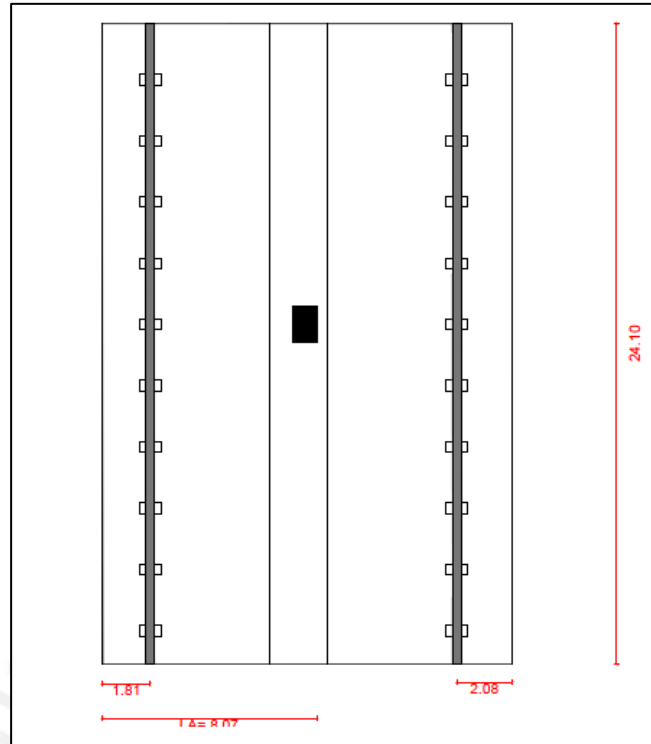


Fig. 4.6: Puente peatonal
Fuente: Propia

**Situación actual:
Sección transversal**



Sección en planta:



Descripción en la sección:

Sección N-S	Mediana	Sección S-N
Zona despejada: 2.77 m (carril auxiliar).	Mediana con barrera protectora a la base del puente	Zona despejada: 2.72 m (carril auxiliar).

Análisis de la sección transversal típica:

$V_D = 100$ km/h

IMDA= 11,826 veh/año

% Vehículos pesados= 17.6 %

- **Sección de ida y venida**

✓ **Zona despejada:** 9.0 -10.0 m. (tabla 2.1)

- **Sección de la mediana**

De acuerdo a la tabla 3.6 esta sección transversal de la mediana no es necesaria la implementación de barreras de seguridad; sin embargo, debido a que en su interior hay árboles y la base del pórtico, deben colocarse barreras semi-rígidas en la mediana. Por

tal motivo analizaremos a esta sección como el Caso 1 (Figura 3.25; es decir, deben colocarse barreras en ambos bordes de la mediana.

En la zona donde se ubica el puente con las medidas de la sección transversal y longitudes de las barreras, el análisis es el siguiente:

Dirección N-S:

L_A : 8.25 m.

L_2 : 2.08 m.

L_R : 91.0 m. (tabla 3.5)

$$X = \frac{8.25 - 2.08}{\frac{8.25}{91.0}} = 68.06 \text{ m.} \quad Y = 8.25 - \frac{8.25}{91} (68.06) = 2.08 \text{ m.}$$

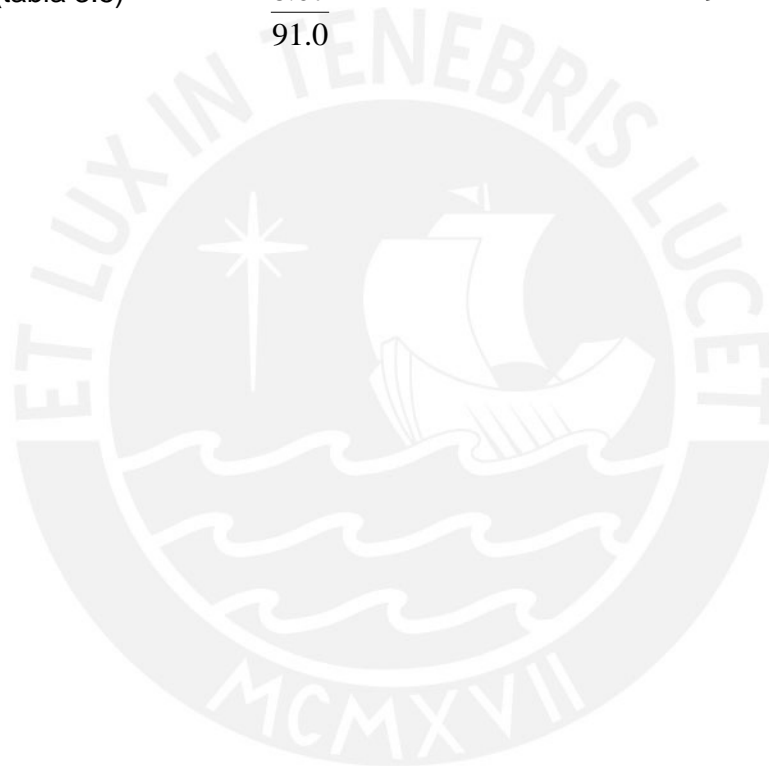
Dirección S-N:

L_A : 8.07 m.

L_2 : 1.81 m.

L_R : 91.0 m. (tabla 3.5)

$$X = \frac{8.07 - 1.81}{\frac{8.07}{91.0}} = 70.59 \text{ m.} \quad Y = 8.07 - \frac{8.07}{91} (70.59) = 1.81 \text{ m.}$$



5. Conclusiones:

5.1. Conclusiones generales

- En los tratamientos de puntos duros o estructuras que pueden causar un accidente a un vehículo que se ha salido de la vía es necesario evaluar todas las posibles soluciones que brinden una mayor seguridad para el vehículo y sus ocupantes. Esto significa proteger siempre la integridad de los usuarios de las vías, sin importar si el accidente fue causado por negligencia del conductor u otros agentes.
- Un factor muy importante para la toma de decisiones en cuanto se refiere a tratar los peligros en los bordes de las vías es la historia de accidentes en la zona; ya que, de acuerdo al modo en que ocurren los accidentes y los peligros propios de la vía, se opta por la mejor decisión para evitar los perjuicios a los usuarios de las vías.
- El peligro nunca desaparece en una vía por más medidas de implementación de seguridad que se empleen, habrá siempre una posibilidad mínima de riesgo, y de acuerdo al nivel del mismo, se debe analizar el modo y la forma que debe ser tratado el peligro, con el objetivo de que la solución propuesta no produzca daños mayores a iniciales.
- La implementación de los guardavías en las carreteras debe realizarse luego de hacer un análisis detallado donde estén presentes: la historia de accidentes con consecuencias severas, velocidad de la vía, diseño de la carretera y los peligros inherentes que no pueden ser tratados bajo ningún concepto previo como: removerlos, cambiarlos de lugar o hacerlos traspasables.
- La existencia de Normas internacionales como la EN 1317 y el *NCHRP Report 350* permite que se produzcan en distintos países: guardavías, amortiguadores de impacto y terminales con ligeras variaciones dependiendo las necesidades o peligros que hay que resguardar en la carretera; no obstante, dichas modificaciones no deben alterar el comportamiento inicial de los Sistema de Contención, de acuerdo a su clasificación y tipo. Asimismo, los dispositivos con altos niveles de contención, deben ser seguros también para los vehículos livianos, en ningún momento puede ser un potencial peligro, en caso contrario se debe diseñar nuevamente.

- Un Sistema de Contención certificado (CE) es un dispositivo ensayado en laboratorio, en donde además especifica su proceso de fabricación e instalación in-situ. Si hay variaciones durante su colocación, dicho Sistema se comportará de manera distinta a la prevista, lo cual puede ser un riesgo para el vehículo errante que impacte en él.
- Si un guardavías flexible es embebido en el suelo, no se comportará debidamente; ya que no podrán salir los postes y con ello no se logrará la deformación necesaria. Para lograr una mayor contención, se debe acortar la longitud de los postes, de 4 m. a 2 m.

5.2. Conclusiones específicas del tramo analizado

- La implementación de elementos traspasables en los bordes de las vías no se encuentra difundido en nuestro país, se puede observar además que las señales de tránsito están sin ningún sistema de contención en la mayoría de los casos, incluso cuando se encuentran dentro de la zona despejada; peor aún, existen elementos duros como son las bases no removidas de los pórticos de anuncios ya no existentes en la carretera. Así pues, aumenta el peligro de ser impactado por algún vehículo errante, cuando la solución es tan sencilla: remover la estructura ya que no cumple ninguna función.
- La protección de los elementos duros en la carretera solo están diseñados en un solo sentido, es decir, en dirección norte-sur (ida) o la sección sur-norte (venida); sin embargo, esta carretera es reversible en temporadas de verano, por lo tanto, los vehículos que transiten en los sentidos contrarios del diseño inicial quedan expuestos a sufrir algún tipo de accidente con consecuencias severas.
- La protección de los pilares de los puentes en la Panamericana Sur, están diseñados con el fin de proteger a la estructura, mas no, a resguardar la seguridad de los vehículos. Esto queda demostrado con la historia de accidentes que hay recurrentemente en la Panamericana Sur en donde ya se presentó un accidente mortal por el “Sistema de Contención” implementado.
- El terminal abatido y esviado señalado en la Norma Peruana (MTC, 2008) es usado en algunas secciones de la Panamericana Sur, donde ha habido modificación parcial o cambio de los guardavías en los últimos años; sin embargo, las demás barreras de seguridad solo cuentan con el terminal “cola de pez”, los cuales están mal empleados debido al flujo de tránsito en ambas direcciones que presenta la carretera.

6. Referencia bibliográfica:

- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA)
1989 *Functional Requirements of Highway Safety Features*
[http://www.youtube.com/watch?v=_C4XI7itGZw]

1989 *Breakaway Timber Utility Poles*
[<http://www.youtube.com/watch?v=00rHgGRrNAU>]

2011 *Design Standards*
[<http://www.fhwa.dot.gov/programadmin/clearzone.cfm>]

2011 *Utility Program*
[<http://www.fhwa.dot.gov/reports/utilguid/util2.cfm>]

2011 FHWA SAFETY
[http://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/policy_guide/road_hardware/ctrmeasures/wbeam/]

2004 *Memorandum*
[http://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/policy_guide/road_hardware/policy_memo/memo1004/]
- AASHTO
1994, *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, Washington, D.C, U.S.A.
2011, *Roadside Design Guide*, Washington, D.C, U.S.A.
- Montana Department of Transportation
2004 *Roadside Design Manual, Roadside Safety*
[http://www.mdt.mt.gov/other/roaddesign/external/montana_road_design_manual/14_Roadside_Safety.pdf]
- Wide paved shoulders
[http://www.campo-nc.us/BPSG/docs/NCDOT_on_Wide_Paved_Shoulders.pdf]
- Traffic Safety Systems
[<http://www.dot.ca.gov/hq/traffops/saferesr/Section7-02Clear-Zone-Concept.pdf>]

- Cita textual:
2004, FHWA, Signalized Intersections: Informational Guide
[<http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/04091/11.cfm#c1134>]

- MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES (MTC)
Normas de Diseño Geométrico
[http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manual/DG-01/volumen1/cap3/seccion303.htm]

- Roadside Safety
[<http://www.sddot.com/pe/roaddesign/docs/rdmanual/rdmch10.pdf>]

- Federación Internacional de Carreteras (IRF)
2010, *Diseño de Seguridad en el Borde de las Carreteras*

- Department of Infrastructure , energy and resources
Road Hazard Management Guide
[http://www.transport.tas.gov.au/pdf/road/Road_Hazard_Management_Guide.pdf]

- Office of Road Safety Commonwealth Department of Transport
1979 Fox J., Wood M., Joubert P., Development of Breakaway Utility Poles
[http://www.infrastructure.gov.au/roads/safety/publications/1979/pdf/Coll_Ut_Poles_3pt1.pdf]

- Transportation Research Board of the National Academy
Analysis of sign attachments to breakaway Luminaire Supports
[<http://144.171.11.39/view.aspx?id=642512>]

- TRB Publication Index
[<http://pubsindex.trb.org/view.aspx?id=452728>]

- TRID (SKT-350)
[<http://trid.trb.org/view.aspx?id=541990>]

- Stockholm Environment Institute
2006 Whitelegg, J. and Haq, G. *Vision Zero: Adopting a Target of Zero for Road Traffic Fatalities and Serious injuries*. Stochholm, Sweden

- [http://seiinternational.org/mediamanager/documents/Publications/Future/vision_zero_FinalReportMarch06.pdf]
- Nucor Stell Marion
NU-Cable Barrier System
[<http://www.gsihighway.com/documents/NU-CABLEbrochure.pdf>]
 - Elderlee Inc
[<http://www.elderlee.com/boxbeam.asp>]
 - Gregory Industries
The Gregory Mini Spacer Guardrail
[http://www.gregorycorp.com/highway_gms.cfm]
 - University of Nebraska, Lincoln
2006 Midwest Roadside Safety Facility
[<http://engineering.unl.edu/specialty-units/mwrsf/Newsletters/MwRSFNewsletter-Issue1.pdf>]
 - FHWA
Modified Thrie Beam Guardrail
[<http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/99065/99065.pdf>]
 - J-J Hooks
2011, Precast Concrete Barrier Profile
[<http://www.jjhooks.com/profiles.shtml>]
 - A Lindsay Transportation Solutions Company
Absorb 350 Crach Cushion System
[<http://www.barriersystemsinc.com/f8web/?uf=.%2FABSORB-PI%20for%20WEB%20050110.pdf>]
 - Energy Absorption Systems, Inc.
QUADTREND® 350 END TREATMENT SYSTEM
[http://www.energyabsorption.com/products/products_quadtrend350_end.asp]
 - REACT 350 Impact Attenuator

[http://www.energyabsorption.com/products/products_react350_impact.asp]

- 6 th International Conference Road Safety & mobility
1999 *Tingvall, C and Hawort, N.* Vision Zero an ethical approach to safety and mobility

- Road Equipment
 - 1998 EN 1317 -1: Terminology and general criteria for test methods
 - 1998 EN 1317 -2: Performance classes, impact test acceptance criteria and test methods for safety barriers
 - 2000 EN 1317 -3: Crash cushions – Performance classes, impact test acceptance criteria and test methods
 - 2001 EN 1317 -4: Performance classes, impact test acceptance criteria and test methods for terminals and transitions of safety barriers
 - 2008 EN 1317 -5: Product requirements and evaluation of conformity for vehicle restraint systems

- American Association of State Highway and Transportation Officials in Cooperation with the Federal Highway Administration
1993 National Cooperative Highway Research Program, Washington DC.

- X Congreso Internacional Obras de Infraestructura Vial. Lima – Perú, 2011
 - HIASA, Grupo Gonvarri
Role de los Sistemas de Contención en la Seguridad Vial

 - DUERO, Seguridad Vial
Sistemas de Alta contención

- Revista de Ingeniería en la Construcción Vol. 22 N°3
2007 Echaveguren T., Vargas S., Ñancufil J., Metodología de análisis y diseño de lechos de frenado
[<http://www.scielo.cl/pdf/ric/v22n3/art04.pdf>]

Referencia de figuras:

Fig. 1.1:

Role de los Sistemas de Contención en la Seguridad Vial
X Congreso Internacional “Obras de Infraestructura Vial & EXPO Vial y Transporte”, 2011

Fig. 2.1:

http://epg.modot.org/index.php?title=Image:231.2_Clear_Zone.jpg

Fig. 2.2:

http://safety.fhwa.dot.gov/local_rural/training/fhwasa08002/images/figzone.jpg

Fig 2.3, 2.5:

http://www.mdt.mt.gov/other/roaddesign/external/montana_road_design_manual/14_Roadside_Safety.pdf

Fig. 2.4:

http://www.mdt.mt.gov/other/roaddesign/external/montana_road_design_manual/14_Roadside_Safety.pdf

Fig. 2.6, 2.7 y 2.9:

Roadside Design Guide, Washington, D.C, U.S.A.

Fig. 2.8:

http://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/strat_approach/fhwasa07001/images/image019.jpg

Fig. 2.10, 2.11

<http://es.scribd.com/doc/58983283/55/SLIP-BASE-DESIGNS>

Fig. 3.1

[http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/Directivas/9%20Directiva%20007-2008/directiva_N007_2008MTC_barreras_seguridad.pdf]

Fig. 3.2, 3.3

Roadside Design Guide, 2011

Fig. 3.4:

[http://www.mdt.mt.gov/other/roaddesign/external/montana_road_design_manual/14_Roadside_Safety.pdf]

Fig. 3.5:

Roadside Design Guide, 2011

Fig. 3.6:

HIASA, 2011