



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Construcción Civil

“ESTUDIO DE AMORTIGUADORES DE IMPACTO Y ELEMENTOS TERMINALES, FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN EN TRAMO DE CARRETERA VALDIVIA-OSORNO”

Tesis para optar al título de:
Ingeniero Constructor

Profesor Guía:
Sr. Adolfo Montiel M
Ingeniero Constructor.

ANDRÉS ALBERTO ROMERO ALVAREZ
VALDIVIA – CHILE
2008

*“Agradecimientos especiales a Don Adolfo Montiel Mancilla
y a todos quienes confiaron en el correcto desarrollo de este tema de
tesis”*

Índice de Contenido

	Pág.
<u>Introducción</u>	
Capítulo I	
<u>Acerca de los elementos terminales y amortiguadores de impacto.</u>	
1.1.-	Definiciones 1
1.1.1.-	Definición de Seguridad Vial 1
1.1.2.-	Sistemas de contención vial 1
1.2.-	Principios Físicos 2
1.2.1.-	Energía Cinética 2
1.2.2.-	Conservación del Momentum 3
1.3.-	Normativa reguladora. 5
Capítulo II	
<u>Tipos de Amortiguadores de Impacto y Elementos Terminales.</u>	
2.1.-	Terminales de Barreras. 7
2.1.1.-	Terminales Abatidos. 7
2.1.1.1.-	Terminales abatidos para barreras de acero o acero forrado con madera 7
2.1.1.2.-	Terminales abatidos para barreras rígidas 11
2.1.2.-	Terminal Esviado y Anclado o Enterrado en el Talud de Corte 13
2.1.3.-	Pretilos de Tierra 16
2.1.4.-	Terminal Atenuador del Tipo Extrusor 18
2.1.5.-	Terminal Europeo ABC 21
2.1.6.-	Terminal de Módulo de Extensión de Impacto Dinámico 23
2.2.-	Amortiguadores de Impacto. 26
2.2.1.-	Amortiguadores de Impacto Redireccionables. 26
2.2.1.1.-	Sistema GREAT. 26
2.2.1.2.-	Sistema Quadguard. 29
2.2.1.3.-	Atenuador de Bajo Mantenimiento (LMA). 32
2.2.1.4.-	Sistema REACT 350. 35
2.2.1.5.-	Sistema TRACC. 37
2.3.-	Amortiguadores de Impacto No Redireccionables. 40
2.3.1.-	Sistema ABSORB 350 40
2.3.2.-	Tambores de plástico con arena. 43

Capítulo III

Criterios de Selección de los Elementos.

3.1.-	Recomendaciones Generales.	48
3.2.-	Selección de Terminales	50
3.3.-	Guía de Selección de Amortiguadores de Impacto	50
3.3.1.-	Características del Lugar.	51
3.3.2.-	Características Estructurales y Operativas de Sistemas Disponibles.	53
3.3.3.-	Costo.	54
3.3.4.-	Mantenimiento.	55
3.3.4.1.-	Mantenimiento rutinario	55
3.3.4.2.-	Mantenimiento por accidente	55

Capítulo IV

Acerca del tramo Valdivia-Osorno

4.1.-	Descripción General.	56
4.2.-	Acerca de los elementos terminales actuales.	57

Capítulo V

Acerca de la factibilidad de aplicación de los sistemas modernos.

5.1.-	Caracterización de los puntos conflictivos.	58
5.1.1.-	Punto Km 911,5 Ruta 5 Sur.	58
5.1.2.-	Punto Km 15 Ruta 207.	60
5.1.3.-	Punto Km 21 Ruta 207 (Cuesta del Cero).	62
5.1.4.-	Puente Santo Domingo.	65
5.2.-	Acerca de los costos.	68
5.3.-	Solución a los problemas señalados.	70

Conclusiones

73

Bibliografía

75

Índice de Figuras

	Pág.	
Figura 1	Colisión entre una bola de masa m incidente con velocidad v contra otra bola idéntica que está en reposo.	3
Figura 2	Terminal de barrera abatido y esviado.	8
Figura 3	Barrera rígida con terminal abatido.	11
Figura 4	Barrera con terminal enterrado en un talud de corte	14
Figura 5	Terminal atenuador del tipo extrusor.	19
Figura 6	Terminal ABC.	21
Figura 7	Terminal de Módulo de Extensión de Impacto Dinámico.	24
Figura 8	Sistema GREAT.	27
Figura 9	Sistema Quadguard (particularmente ancho).	29
Figura 10	Atenuador de Bajo Mantenimiento (LMA).	33
Figura 11	Sistema REACT 350.	35
Figura 12	Sistema TRACC.	38
Figura 13	Sistema ABSORB	41
Figura 14.a	Amortiguadores de tambores con arena.	43
Figura 14.b	Amortiguadores de tambores con arena.	44
Figura 15	Emplazamiento de las últimas tres líneas posteriores de tambores con arena.	45
Figura 16	Ejemplo de Terminal típico "Cola de Pez"	57
Figura 17.a	Vista Frontal del Terminal.	59
Figura 17.b	Vista Panorámica.	59
Figura 17.c	Punta Doblada de la Barrera.	60
Figura 18.a	Presencia Abundante de Árboles Junto a la Barrera.	61
Figura 18.b	Talud de Terraplén Cubierto de Abundante Maleza	61
Figura 18.c	Extremo Terminal.	62
Figura 19.a	"Cuesta del Cero"	63
Figura 19.b	Empalme Camino a "Los Guindos".	64
Figura 19.c	Terminal Completamente Inutilizable.	64
Figura 19.d	Extremo Terminal.	65
Figura 20.a	Puente Santo Domingo.	66
Figura 20.b	Disminución del Ancho de la Calzada.	67
Figura 20.c	Vista Curva.	67

Índice de Láminas

		Pág.
Lámina 1	Terminal Abatido Normal.	9
Lámina 2	Terminal Abatido Normal y Esviado.	10
Lámina 3	Terminal Abatido Normal Barrera Hormigón.	12
Lámina 4	Terminal Esviado y Anclado o Enrerrado en Talud de Corte.	15
Lámina 5	Esquema Típico Pretil de Tierra.	17
Lámina 6	Terminal Atenuador del Tipo Extrusor.	20
Lámina 7	Teminal Europeo ABC.	22
Lámina 8	Terminal de Módulo de Extensión de Impacto Dinámico.	25
Lámina 9	Sistema GREAT.	28
Lámina 10	Sistema Quadguard Angosto.	30
Lámina 11	Sistema Quadguard Ancho.	31
Lámina 12	Atenuador de Bajo Mantenimiento (LMA).	34
Lámina 13	Sistema REACT 350.	36
Lámina 14	Sistema TRACC.	39
Lámina 15	Sistema ABSORB 350	42
Lámina 16	Tambores de Plástico con Arena	47
Lámina 17	Requerimnientos Dimensionales	52

Resumen

La presente tesis se centra en el estudio de los distintos tipos de amortiguadores de impacto y elementos terminales que mejoran la seguridad vial en los extremos de las barreras de contención.

En primer lugar se presentan los dispositivos propiamente tal, previamente explicados los principios físicos bajo los cuales funcionan, y las normativas bajo los se regulan. El análisis de dichos elementos se basa en las características particulares de estos mismos, las cuales sirven para reconocer para qué tipo de situaciones de peligro resultan más apropiados.

Posteriormente se busca contextualizar lo expuesto con anterioridad, situándolo en un tramo conocido de carretera de la zona en que vivimos, en este caso, el tramo comprendido entre las ciudades de Valdivia y Osorno, que contiene parte de la Ruta 5 y de la Ruta 207 que la empalma.

Una vez analizados estos elementos, se pretende entonces, establecer una conclusión de factibilidad de aplicación de las tecnologías presentadas, para los terminales de barreras críticos de nuestras vías.

Summary

This thesis focuses on the study of different types of shock absorbers impact and terminal elements that improve road safety covering the ends of the containment barriers.

First there are the devices itself, previously explained the physical principles under which they operate, and the respective regulations. The analysis of these elements is centered on the particular characteristics of all of them, which are used to recognize the devices more appropriate for each kind of dangerous situations.

Subsequently the idea is contextualize this previously work, placing it on a stretch of road known for people in our area, in this case, the stretch between the towns of Valdivia and Osorno, which contains part of Route 5 and Route 207.

Finally it pretends to establish a conclusion about feasibility of application of the technologies submitted to the critics terminal barriers of our Roads

Introducción.

Las necesidades de seguridad vial en nuestro país son muchas y las soluciones para ellas no siempre son las más apropiadas. En este proyecto de tesis nos focalizaremos en conocer la gran variedad de sistemas de amortiguación de impactos existentes hoy en día en el mundo y ver si se justifica su uso dentro de nuestra región, analizando las características particulares de un tramo de carretera definido y sus puntos críticos, evaluando posibilidades y costos, y comparando con las características particulares de los sistemas que parezcan concordar con los perfiles más apropiados para satisfacer nuestras necesidades.

Se pretende entonces alcanzar el siguiente objetivo:

- Analizar factibilidad de aplicación amortiguadores de impacto y elementos terminales en el trayecto de Valdivia a Osorno.

Dicho camino tiene dos tramos: uno entre Valdivia y Paillaco (Ruta 207), y otro en la Ruta 5 Sur entre Paillaco y Osorno.

Por lo demás cabe destacar que actualmente la variedad de sistemas existe pero no de manera masificada (de hecho el sistema de amortiguadores de impacto se ha venido utilizando desde hace más de 30 años en USA). Nace de allí entonces la idea de estudiarlos y ver si se adaptan a los requerimientos de seguridad vial demandadas por nuestras vías.

Capítulo I

Acerca de los elementos terminales y amortiguadores de impacto.

1.1.- Definiciones.

1.1.1.- Definición de Seguridad Vial.

- **Seguridad Vial:** Disciplina que estudia y aplica las acciones y mecanismos tendientes a garantizar el buen funcionamiento de la circulación en la vía pública, previniendo los accidentes de tránsito.

1.1.1.2-Sistemas de contención vial.

- **Barreras de Seguridad:** Comprenden las barreras longitudinales laterales y centrales y, las barreras o pretilas de puentes y viaductos.

- **Terminales de Barrera:** Involucran los elementos terminales de una barrera longitudinal, no catalogados como amortiguador de impacto.

- **Amortiguadores de Impacto:** Comprenden los sistemas amortiguadores de impacto frontales, con o sin capacidad de redireccionamiento.

(Fuente: Dirección de Vialidad. 2001)

Observaciones: A pesar de la existencia de una política de prevención, siempre que hay vehículos circulando existe el riesgo potencial de que se produzcan accidentes por despiste o equivocaciones propias o de otros conductores, así como por fallos en los vehículos, condiciones climatológicas adversas y muchos otros factores. Por tanto, ya que no se pueden evitar los accidentes, es que se debe disponer de sistemas de contención vial para poder reducir sus consecuencias.

1.2.- Principios Físicos.

1.2.1.- Energía Cinética.

Los amortiguadores, en general, pueden ser impactados por vehículos errantes tanto en la zona frontal como en la zona lateral. Cuando un vehículo impacta la zona frontal se provoca una desaceleración hasta que llega a detenerse. En otras palabras, la energía cinética que éste lleva previo al impacto se disipa durante el choque, deformando el amortiguador.

La energía cinética (EC) se define de la siguiente forma:

$$E_C = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Donde:

m : Masa del vehículo.

v : Velocidad del vehículo previo al impacto.

La energía se conserva, no es creada ni destruida en el proceso. El trabajo realizado en la deformación del amortiguador de impacto (y del vehículo), w, será igual a la energía cinética inicial del vehículo:

$$E_C = w$$

Muchos amortiguadores de impacto que operan actualmente fueron diseñados utilizando este principio básico de la conservación de la energía. Esta clase de amortiguadores requiere algún tipo de estructura de reacción, que tenga la capacidad de resistir la fuerza del impacto al producirse el colapso del amortiguador. (Dirección de Vialidad. 2001)

1.2.2.- Conservación del Momentum.

Otra clase de amortiguadores de impacto han sido diseñados utilizando otro principio básico de la física, el principio de la conservación del momento lineal. El momento lineal que se genera en un vehículo en movimiento es igual al producto de la masa por la velocidad del mismo:

$$\text{Momento} = m * v$$

Una parte o la totalidad de este momento pueden ser transferidas a una masa inerte de material puesto en la trayectoria del vehículo. Por ejemplo, una serie de contenedores, con cantidades variadas de arena, pueden ser impactados por el vehículo fuera de control. Dado que el momento total del sistema, compuesto por los contenedores de arena más el del vehículo, debe conservarse, el momento del vehículo es reducido por la suma de momentos de las partículas individuales de arena. El resultado neto es que la velocidad del vehículo es reducida de una forma controlada durante el impacto. Los amortiguadores de impacto que operan bajo el principio de la conservación del momento no requieren una estructura de reacción. (Dirección de Vialidad. 2001).

Para entender mejor este concepto obsérvese el caso simple, la colisión entre una bola de masa m incidente con velocidad v contra otra bola idéntica que está en reposo.

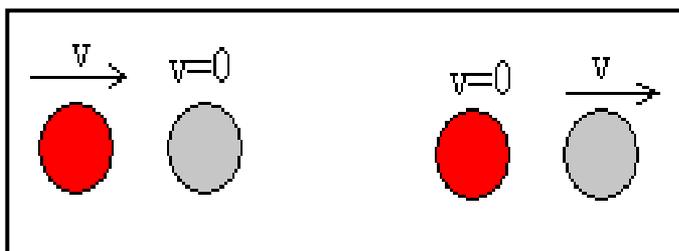


Figura 1. Colisión entre una bola de masa m incidente con velocidad v contra otra bola idéntica que está en reposo.

Fuente: Franco (2006)

Por la conservación del momento lineal

$$mv = mv_1 + mv_2$$

Por la conservación de la energía

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}mv_2^2$$

La solución de este sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas es

$$v_2=0, v_1=v \text{ que son los datos de partida y } v_2=v, v_1=0$$

En un choque de dos bolas idénticas, una de las cuales está en reposo, hay un intercambio de momento lineal, la primera se lo cede a la segunda, quedando aquella en reposo. (Franco. 2006)

1.3.- Normativa reguladora.

Se considera cómo referencia la información entregada por las pruebas de impacto real (complementadas con modelos computacionales y extrapolación de datos). Las cuales tienen un doble objetivo. Primero, confirmar la resistencia estructural de la barrera en las condiciones del ensayo y, segundo, conocer la reacción del vehículo e indirectamente las posibles consecuencias para los ocupantes.

Como señala Bionda Instalaciones S.L. (2003), es en Estados Unidos donde se lleva más tiempo estudiando este tipo de pruebas. De hecho, los atenuadores de impactos se idearon en ese país a finales de los años 60, pero no llegaron a Europa hasta mediados de los 80. La primera normativa desarrollada en el mundo para regular la instalación de atenuadores de impactos fue la NCHRP norteamericana (National Cooperative Highway Research Program), que actualmente se encuentra en su versión 350. En esta normativa se indica el tipo de pruebas necesarias para homologar estos sistemas para su uso en carretera. Dicha normativa basa su criterio de homologación en la realización de pruebas de choque reales, utilizando dummies y sistemas de medición que comprueban que la deceleración producida por el impacto de un vehículo contra un sistema produzca una deceleración contenida dentro de unos parámetros seguros para el ocupante del automóvil. Sin embargo se tiene también como referencia la normativa europea EN-1317, que tiene elementos tomados de la normativa norteamericana, más otros propios, producto de las investigaciones llevadas a cabo en Europa.

Según Dirección de Vialidad (2001), en su “Instructivo de Sistemas de Contención Vial”, existen seis niveles de prueba en el Reporte 350 que son también

conocidos como TL1 al TL6 (Test Level), dependiendo de los niveles de servicio y del dispositivo que este siendo evaluado. Los primeros tres niveles de prueba aplican a los extremos terminales de barreras longitudinales y amortiguadores de impacto, que además se subdividen en:

- a) Terminales y amortiguadores de impacto con redireccionamiento.
- b) Amortiguadores de impacto sin redireccionamiento.

La evaluación del sistema se realiza en base a una tabla, que contiene los requisitos de aprobación, separados en tres categorías: Suficiencia estructural, Riesgo del Ocupante y Trayectoria del Vehículo. La eficiencia estructural del amortiguador de impacto es evaluada por su capacidad de contener o redireccionar en forma predecible y aceptable las condiciones de impacto especificadas. La evaluación del riesgo de los ocupantes esta basada en la respuesta calculada de un vehículo hipotético durante el impacto contra el amortiguador. Y la trayectoria del vehículo después de la colisión es un factor importante, por el potencial riesgo que implica para el resto de los usuarios de las vías correspondientes.

Capítulo II

Tipos de Amortiguadores de Impacto y Elementos Terminales.

2.1.- Terminales de Barreras.

2.1.1- Terminales Abatidos.

2.1.1.1.-Terminales abatidos para barreras de acero o acero forrado con madera.

Son elementos cuya función es reducir paulatinamente la altura de la barrera hasta llegar al nivel del terreno, anclándola a través de postes con placa o a una masa de hormigón, para lograr la resistencia a la tracción. Como explica Dirección de Vialidad (2001), en primera instancia se consideraban diseños con una longitud de transición corta, y si bien se eliminó el problema de penetración, se generó otro, como es el lanzamiento o volcamiento de los vehículos al pasar por encima del terminal a altas velocidades.

Para minimizar el efecto de rampa se ha intentado dejar transiciones más largas, de 8 a 23 m, con conexiones débiles entre la viga abatida y sus postes, pensando que el terminal abatido de esta manera colapsaría con el impacto de un vehículo, permitiendo a éste pasar sobre la barrera, sin perder estabilidad ni ser aerotransportado. Sin embargo, ensayos y la experiencia en terreno, han revelado una tendencia de estos diseños de enganchar a los vehículos o de producir un volcamiento.

Se ha experimentado también con otro gran número de diseños, realizando todas las posibles variaciones sobre los factores involucrados, pero en general, ninguna de las modificaciones han resultado totalmente satisfactorias.

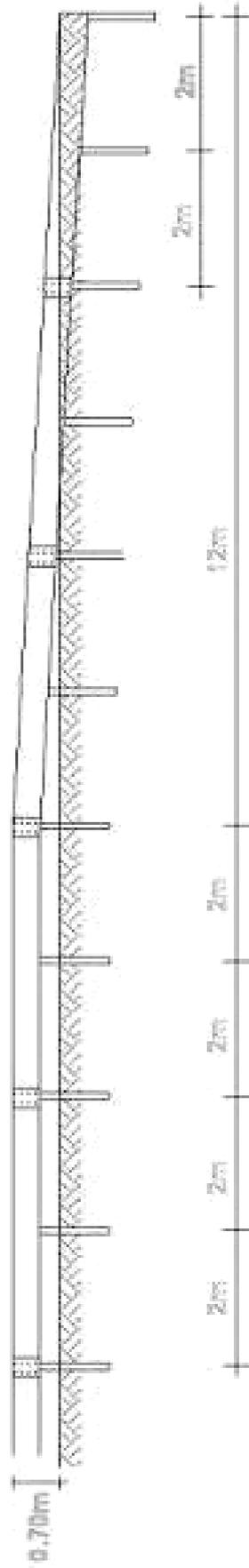
Actualmente, a pesar de ser una solución de bajo costo, estos diseños no son recomendados para una velocidad superior a 70 Km/h, sin embargo, tienen aplicación en vías con velocidades menores. En la figura 2 se muestra un típico terminal abatido y esviado.



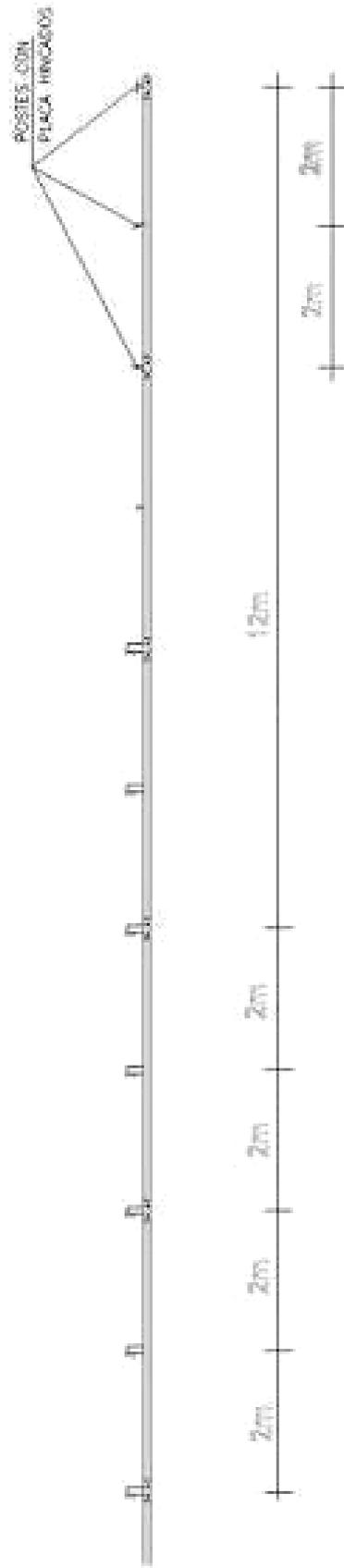
Figura 2. Terminal de barrera abatido y esviado.

Fuente: Dirección de Vialidad (2007)

Terminal Abatido Normal



ELEVACIÓN



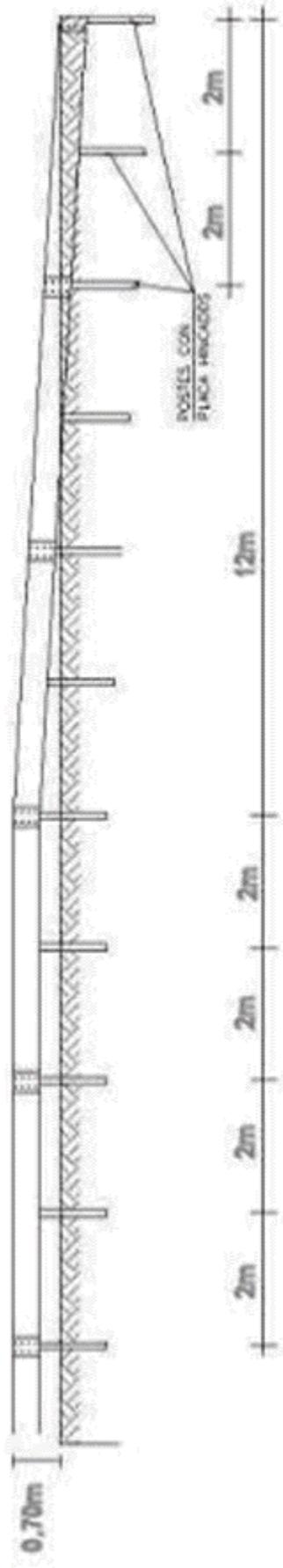
PLANTA

Los 4 primeros postes no llevan separador.

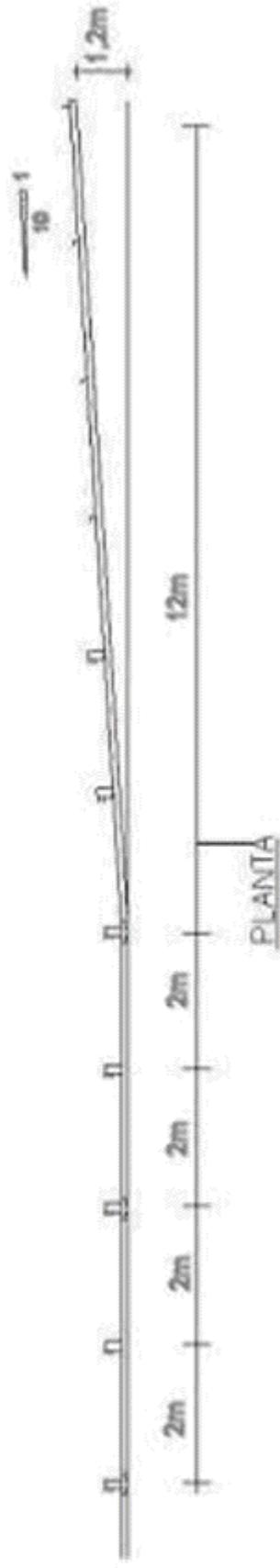
Lámina 1

Fuente: Dirección de Vialidad (2007).

Terminal Abatido Normal y Esviado



ELEVACIÓN



Los 4 primeros postes no llevan separador.

Lámina 2

Fuente: Dirección de Vialidad (2007).

2.1.1.2.- Terminales abatidos para barreras rígidas.

Normalmente se reconoce como barrera rígida a un perfil de hormigón, que corresponde al sistema de contención rígido más común en uso actualmente. Esto es debido a su bajo costo, efectivo funcionamiento y a que prácticamente no necesita mantenimiento.

En este caso Dirección de Vialidad, en su estudio único de los elementos terminales nacionales actuales, dice que ha habido intentos de iniciar una barrera rígida abatiendo su extremo, pero el resultado ha sido similar al obtenido en los terminales abatidos en barreras de acero, es decir, no son recomendables para ser aplicados en vías de alta velocidad.

Llevado a diseño, lo que se muestra en la figura 3 se recomienda sólo para ser utilizado en lugares donde las velocidades de circulación son bajas, 70 Km/h o menos. La longitud mínima de abatimiento en estos casos es de 6 m, pero serían deseables 10 a 13 m.

La mejor aplicación, si no se tiene un dispositivo terminal adecuado, es disponer la barrera esviada, sin abatimiento, prolongándola hasta más allá de la zona despejada o donde no es probable que ocurran impactos.

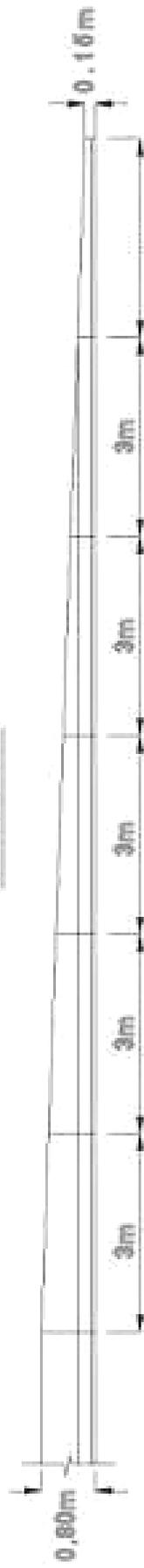


Figura 3. Barrera rígida con terminal abatido.

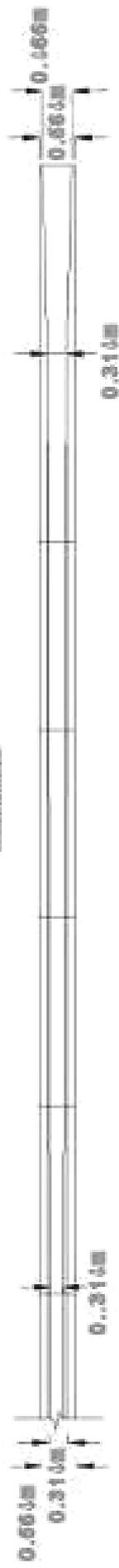
Fuente: Dirección de Vialidad (2007)

Terminal Abatido Normal Barrera Hormigón

ELEVACIÓN



PLANTA



VISTA FRONTAL

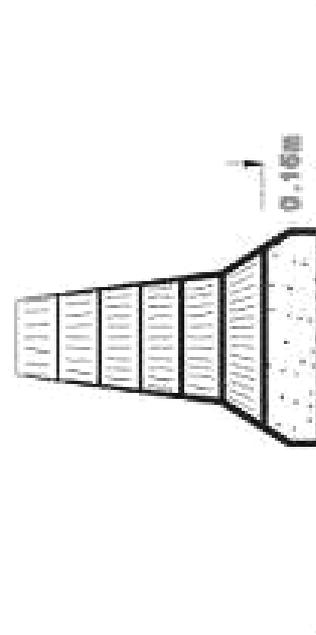


Lámina 3

Fuente: Dirección de Vialidad (2007).

2.1.2.- Terminal Esviado y Anclado o Enterrado en el Talud de Corte.

En áreas de carreteras que se encuentran en secciones de corte o donde el camino se encuentra en una transición de corte a terraplén, es posible esviar la barrera y enterrar la sección terminal en el talud de corte, como se muestra en la figura 4. Este tratamiento elimina el peligro que presentan los extremos de barreras no tratados y reduce efectivamente la probabilidad de penetración de éstos al interior de los vehículos. Dirección de Vialidad (2001),

Prácticamente todas las barreras instaladas de esta manera pueden redireccionar a los vehículos, que la impactan entre el extremo enterrado y el punto donde la barrera alcanza su altura total. Sólo cabe observar que, a menos de contar con un talud perfectamente vertical, siempre habrá un segmento de la barrera que no queda a la altura correcta. Esta es un área de funcionamiento incierto y debe ser minimizada en el diseño.

Este tratamiento es más apropiado para barreras rígidas y semi-rígidas y no es tan aconsejable para las barreras flexibles. Las consideraciones de diseño que son comunes para ambas barreras son:

- Altura de la barrera, tratar de guardar la altura típica
- grado de esviaje y
- el terreno circundante.

La altura de la barrera debe ser mantenida en la zona de esviaje para proporcionar un correcto redireccionamiento y evitar que el vehículo penetre por debajo de la barrera. Mas allá de la zona despejada la probabilidad de impactos es menor y el grado de esviaje se vuelve menos crítico. El terreno circundante debe ser esencialmente plano (el talud no debe exceder 1:10), con las depresiones

minimizadas o eliminadas en su totalidad. Si la barrera no puede terminar en el talud sin violar uno o más de estos principios, será apropiado utilizar otro tipo de tratamiento para el extremo de la barrera.

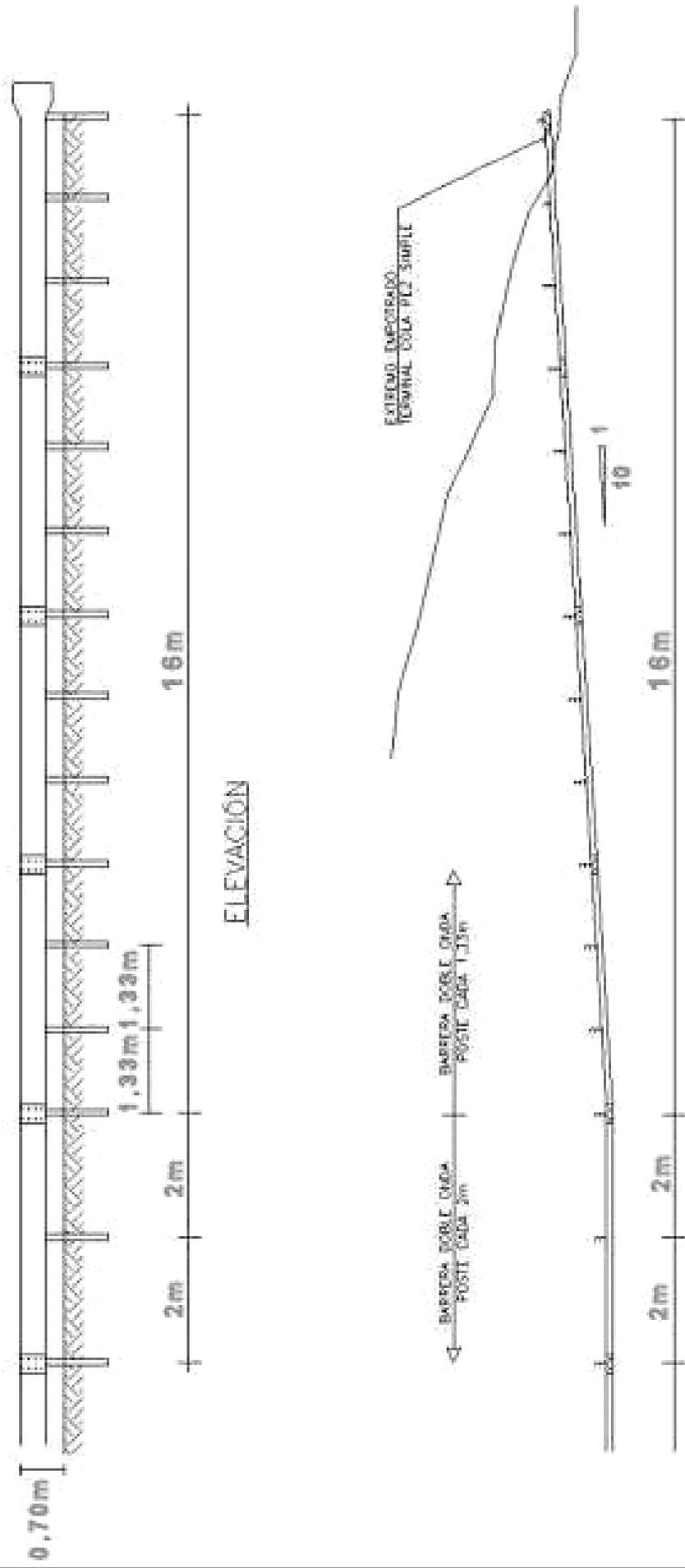
Una cuarta consideración de diseño, aplicable sólo a barreras semirígidas, es el desarrollo de una adecuada resistencia a la tracción en el elemento terminal de la barrera a través de un eficiente sistema de anclaje. El diseño debe ser capaz de soportar por lo menos 220 kN ($22,4T_i$), para prevenir que la barrera se separe del talud y permita la penetración de un vehículo liviano.



Figura 4. Barrera con terminal enterrado en un talud de corte.

Fuente: Dirección de Vialidad (2007)

Terminal Esvlado y Anclado o Enterrado en el Talud de Corte



* Los 2 primeros postes no llevan separador.
Fuente: Dirección de Vialidad (2007).

2.1.3.- Pretil de Tierra.

Un pretil de tierra también puede ser utilizado para proteger el extremo de una barrera sin tratamiento. En la lámina 5 se muestra un esquema típico, en el cual se ilustra el uso de un pretil para cubrir la zona de riesgo.

El pretil de tierra se puede usar como tratamiento de extremos de barreras rígidas y semirígidas, tanto para las barreras laterales como para las barreras centrales. Cuando es utilizado para barreras semirígidas, es necesario contar con un sistema de anclaje igual que el indicado para el anclaje a un talud de corte existente.

Debido a que evidentemente el pretil se construye en el sitio, debe ser diseñado con las pendientes apropiadas para que él, por sí solo, no represente una situación de peligro.

Como consecuencia de un diseño eficiente, el pretil será transitable en la mayor parte de su longitud y, por consiguiente, debe ser construido más allá de la longitud que sería necesaria para cualquier instalación de barrera.

No está demás observar que un pretil de tierra debe ser tratado para prevenir la erosión que pudiese dañar el sistema

Este tipo de tratamiento terminal no ha sido ensayado para impactos ya que no hay un consenso en cuanto a los criterios de ensayo que deberían aplicarse. Por ejemplo, si este tratamiento fuera sometido a un impacto en su zona de inicio, es probable que un vehículo de cualquier tamaño pudiese montarse encima de la barrera enterrada en su talud, con resultados impredecibles.

Esquema Típico Pretill de Tierra

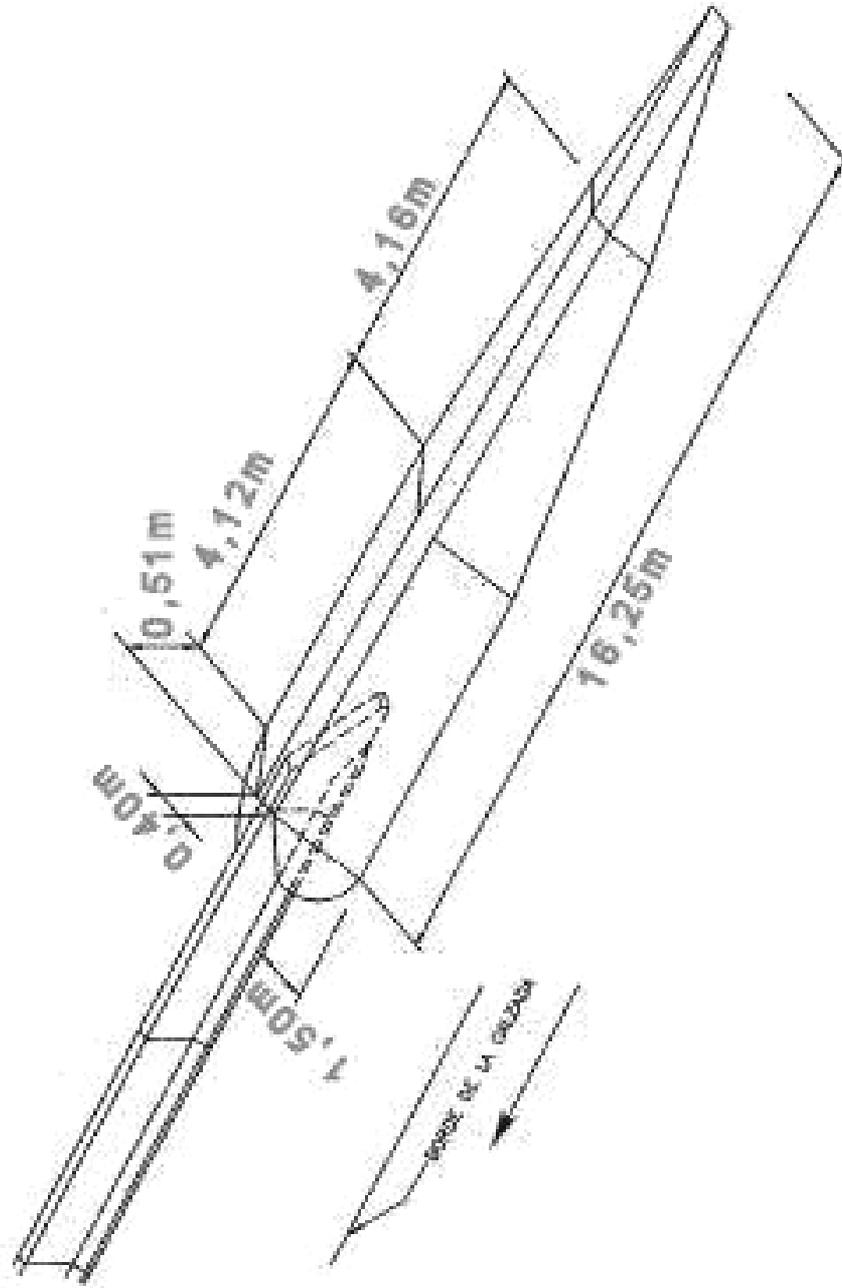


Lámina 5

Fuente: Dirección de Vialidad (2007).

2.1.4.- Terminal Atenuador del Tipo Extrusor.

Ésta es una solución para terminales de barrera metálica capacitada para recibir impactos tanto laterales como frontales. Los impactos laterales son resistidos por los postes y por la resistencia a la tracción de la viga. La resistencia a la tracción de la viga es generada por un cable, conectado entre el pie del primer poste y la intersección de la viga con el segundo poste. Segundo, cualquier impacto frontal rompe el primer poste, liberando el cable y permitiendo que el cabezal corra a lo largo de la viga, deformando y extrudiendo la misma, a medida que la cabeza avanza, la valla es aplanada y extraída lateralmente al ser obligada a pasar a través de la cabeza (según describe Hierros y Aplanaciones, S.A. 2007) Este mecanismo extrusor permite la absorción progresiva de la energía cinética del vehículo, hasta su total detención.

Una ventaja de este diseño de terminal es que el cabezal y algunos otros elementos del terminal son reutilizables y pueden ser reinstalados, luego de un impacto.

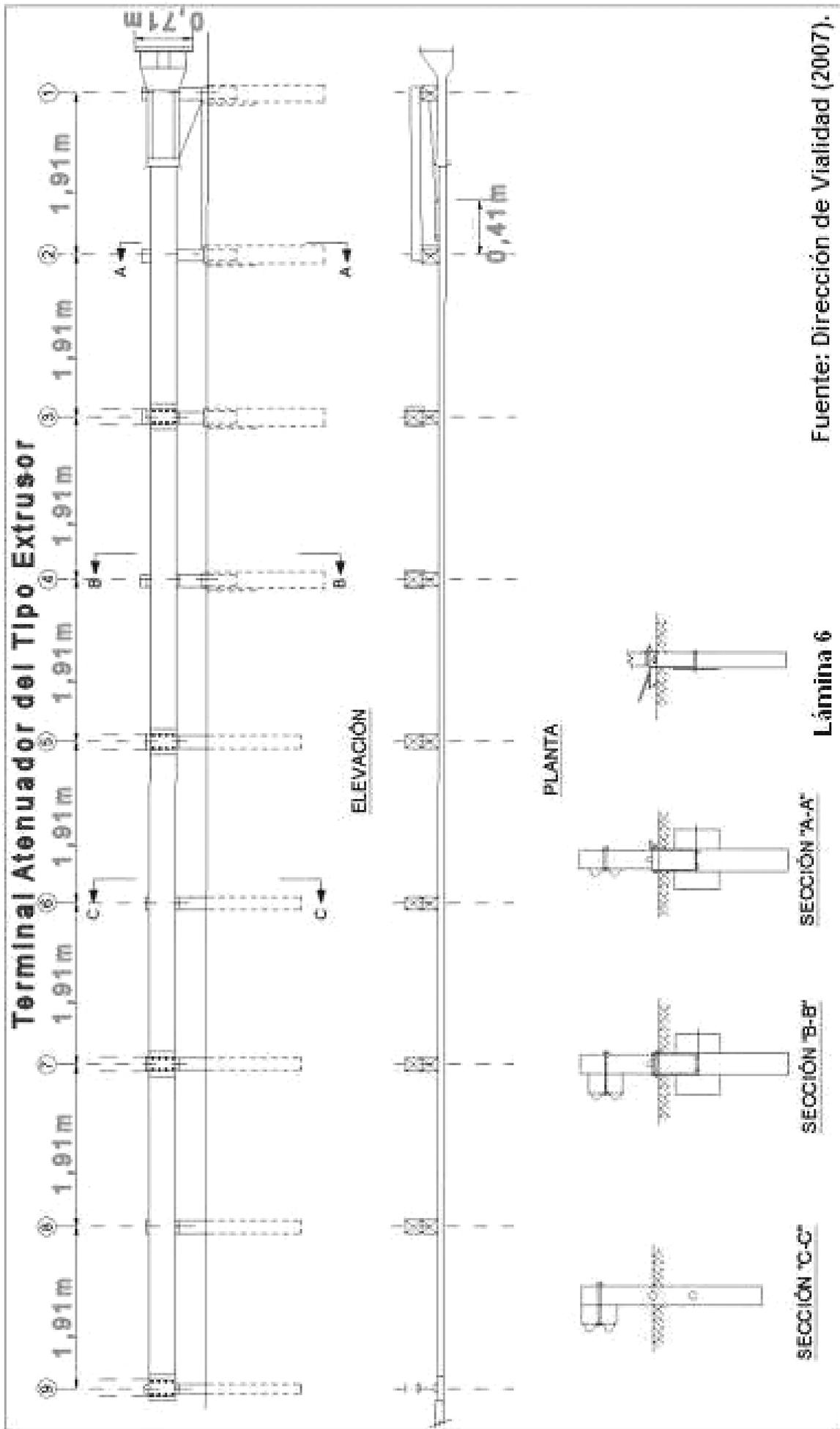
Estos sistemas incluyen un número de componentes especiales para su reparación, por lo que es fundamental la especialización del personal de mantenimiento, de manera que éste realice una evaluación detallada luego de un impacto con el objeto de seleccionar los componentes reutilizables. (Dirección de Vialidad. 2001).

Se han realizado diversos ensayos de impacto a este tipo de dispositivos para verificar el cumplimiento de los criterios establecidos en el Reporte 230 de la NCHRP. Éstos han incluido ensayos de impactos frontales y laterales, con vehículos de 800 Kg y 2.000 Kg realizados, en general, a 100 Km/h.



Figura 5. Terminal atenuador del tipo extrusor.

Fuente: Hierros y Aplanaciones S.A (2007)



2.1.5.- Terminal Europeo ABC.

Este terminal, inventado en Europa, ha sido ensayado de acuerdo a la normas europeas EN 1317 propuestas para terminales, las que consideran pruebas a velocidades de 80, 100 y 110 Km/h. (Dirección de Vialidad. 2001).

El sistema funciona con postes de acero cada 1,33 m, donde los primeros 9 postes están compuestos por dos piezas o partes, una mayor que se hinca en el suelo, y, una de menor sección inserta en la primera, afirmada con un pasador. Al ser el cabezal impactado frontalmente, la fuerza del impacto se traspassa a los postes cortando secuencialmente los pasadores y la viga doble onda, la cual posee dos líneas de ranuras, que van colapsando cuando los segmentos de viga se desplazan, generando de esta forma la disipación de energía.

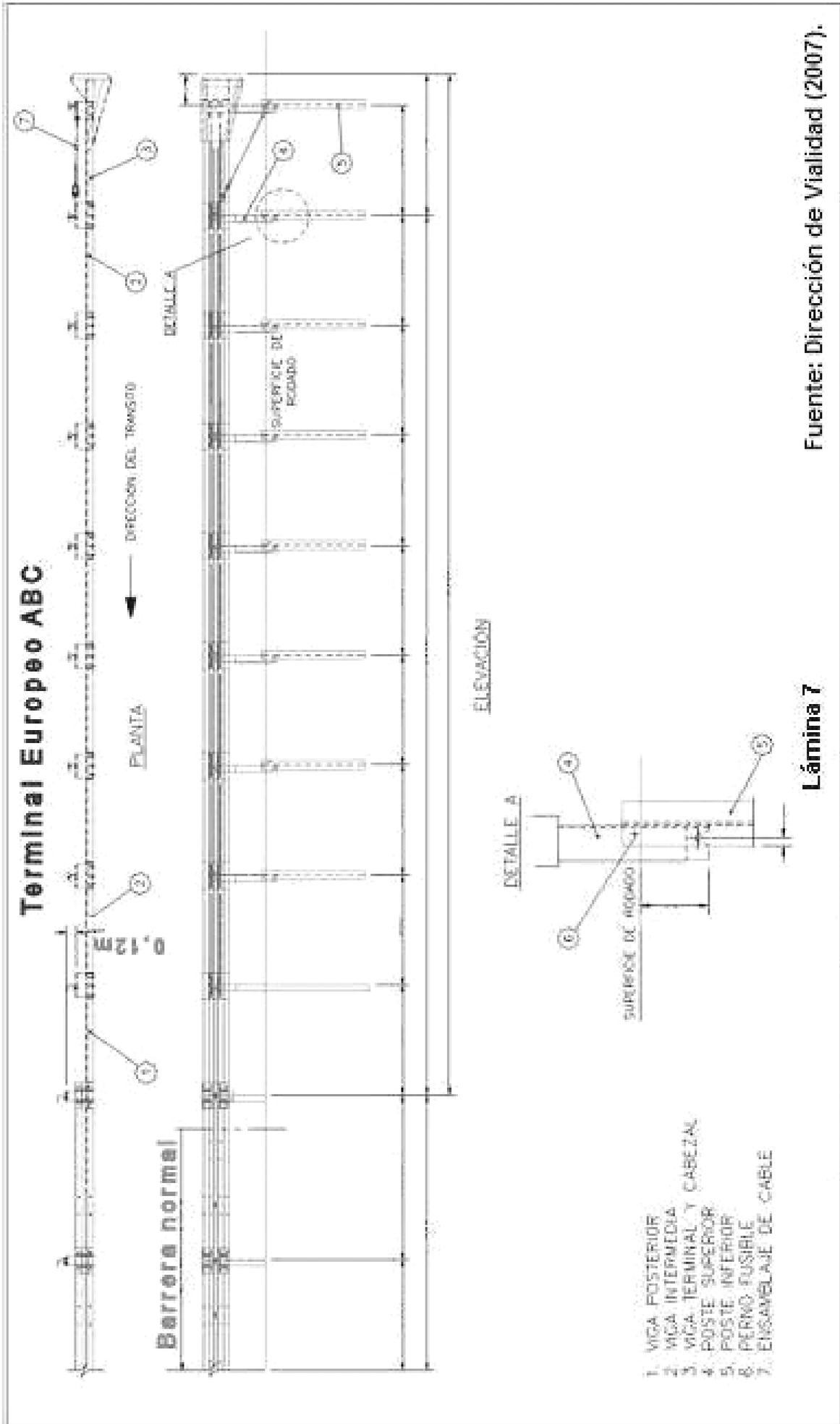
Cualquier impacto lateral es resistido por los postes y por la tracción de la viga. La resistencia a la tracción de la viga es generada por un cable, conectado entre el pie del primer poste y la intersección de la viga con el segundo poste. Este cable se suelta con un impacto frontal cuando el primer poste quiebra el pasador. Debido a su reciente diseño no hay información en cuanto a su comportamiento en terreno.



Figura 6. Terminal ABC.

Fuente: Highway Care Ltd.

(2007)



2.1.6.- Terminal de Módulo de Extensión de Impacto Dinámico.

El sistema Modulo de Extensión de Impacto Dinámico Avanzado, ADIEM II (Advanced Dynamic Impact Extension Module), es un terminal de relativamente bajo costo, cuya aplicación está orientada a extremos de barreras de hormigón. La figura 7 muestra el detalle de este dispositivo.

Este sistema disipa la energía cinética durante el impacto, comprimiendo o aplastando módulos de hormigón liviano, los cuales son fabricados mediante la incorporación al hormigón de esferas de poliestireno expandido. Este material es moldeado en módulos reforzados con malla de alambre y cubiertos con material adecuado para prevenir la penetración de agua (Dirección de Vialidad. 2001).

La instalación se realiza insertando diez de estos módulos en una base de hormigón anclada, con pendiente hacia arriba, desde el frente hasta la cara posterior. La mezcla para los terminales de esta barrera se diseña y se controla de tal manera que se puede asegurar la deceleración controlada de un vehículo impactante. Es importante destacar que son módulos prefabricados y no es posible construirlos en terreno. Como señala Trinity Industries, Inc. Acerca del producto, “Los diez módulos ligeros son de diseño idéntico e igual composición, por lo que no se requiere de un orden específico para armar el sistema o reemplazar alguno de ellos (Información disponible en sitio web del fabricante, agosto de 2007).

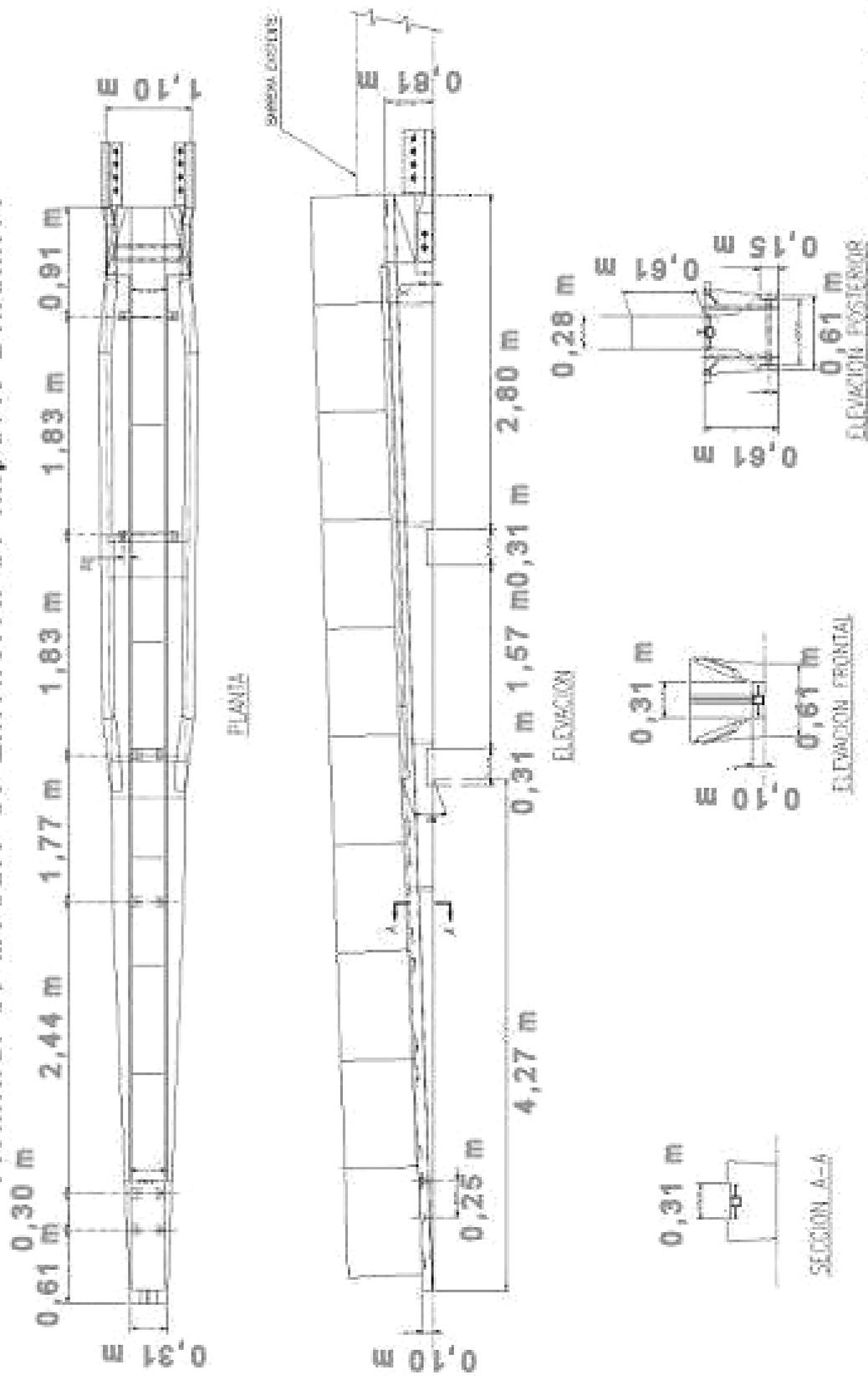
El daño de Impacto del es típicamente confinado para la reparación que hace módulos un proceso simple. Este sistema ha sido ensayado, con resultados satisfactorios, para vehículos de 820 kg y 2.000 kg.



Figura 7. Terminal de Módulo de Extensión de Impacto Dinámico.

Trinity Highway Products (2007)

Terminal de Módulo de Extensión de Impacto Dinámico



Fuente: Dirección de Vialidad (2007).

Lámina 8

2.2.- Amortiguadores de Impacto.

2.2.1.- Amortiguadores de Impacto Redireccionables.

Son los elementos amortiguadores que poseen la característica de redireccionar al vehículo que los impacte hacia su dirección original.

2.2.1.1.- Sistema GREAT.

El sistema GREAT (Guard Rail Energy Absortion Terminal), tiene aplicación en proteger de riesgos a los usuarios de vías que contengan elementos cercanos a las pistas de tránsito, como pueden ser los terminales de barreras centrales, cepas de puentes y otros objetos fijos que son susceptibles de ser impactados frontalmente. El sistema GREAT es fabricado en anchos de 610, 760, 910 y 1.067 mm y en distintas longitudes, dependiendo de la velocidad de diseño del lugar bajo consideración. La figura 8 muestra una instalación típica de este dispositivo. (Dirección de Vialidad. 2001).

Este sistema funciona comprimiendo un set de cartuchos, ubicados dentro de una estructura metálica adecuada, que disipan la energía del vehículo impactante. Al ocurrir el impacto frontal, su nariz se moldea conforme con el vehículo y la estructura metálica se contrae, acción que comprime los cartuchos, absorbiendo la energía del vehículo. Durante el proceso de deformación se incrementa continuamente la fuerza de compresión, hasta que se llega a la compresión total. Debido al efecto de deformación del dispositivo, es virtualmente eliminado el rebote del sistema después del impacto. Si el dispositivo es impactado lateralmente, los vehículos son redireccionados por medio de la resistencia lateral proporcionada por paneles exteriores de viga triple más la acción del sistema de anclaje y los cables guía.

La reparación del sistema después de un impacto frontal, consiste en tirar con una camioneta la estructura comprimida, restaurando su largo original, se insertan nuevos cartuchos, se coloca una nariz nueva, se reconecta el sistema de anclaje y cables guía y el sistema se encuentra nuevamente en servicio. Equipos experimentados logran este trabajo en menos de 1 hora. En el caso de un impacto lateral, se debe hacer una inspección del sistema para confirmar que no sufrió daños estructurales, de no ser así, se requiere cambiar o ajustar los elementos que sean necesarios. La principal desventaja del sistema es que los cartuchos y la nariz casi siempre tienen que ser reemplazados, lo que representa un costo importante.

Este sistema ha funcionado de acuerdo a su diseño en numerosas oportunidades, conteniendo vehículos de hasta 2.000 kg. Se ensayó exitosamente de acuerdo a los procedimientos del Reporte 230 de la NCHRP, pero no se logró ensayar satisfactoriamente con los procedimientos del Reporte 350 de la NCHRP. La política de varios estados en EE.UU. es de mantener estos dispositivos en uso, sin embargo, otros han decidido cambiarlos por modelos que han sido ensayados exitosamente con el Reporte 350 de la NCHRP. (Dirección de Vialidad. 2001)



Figura 8. Sistema GREAT.

Fuente: Signaline SA (2007)

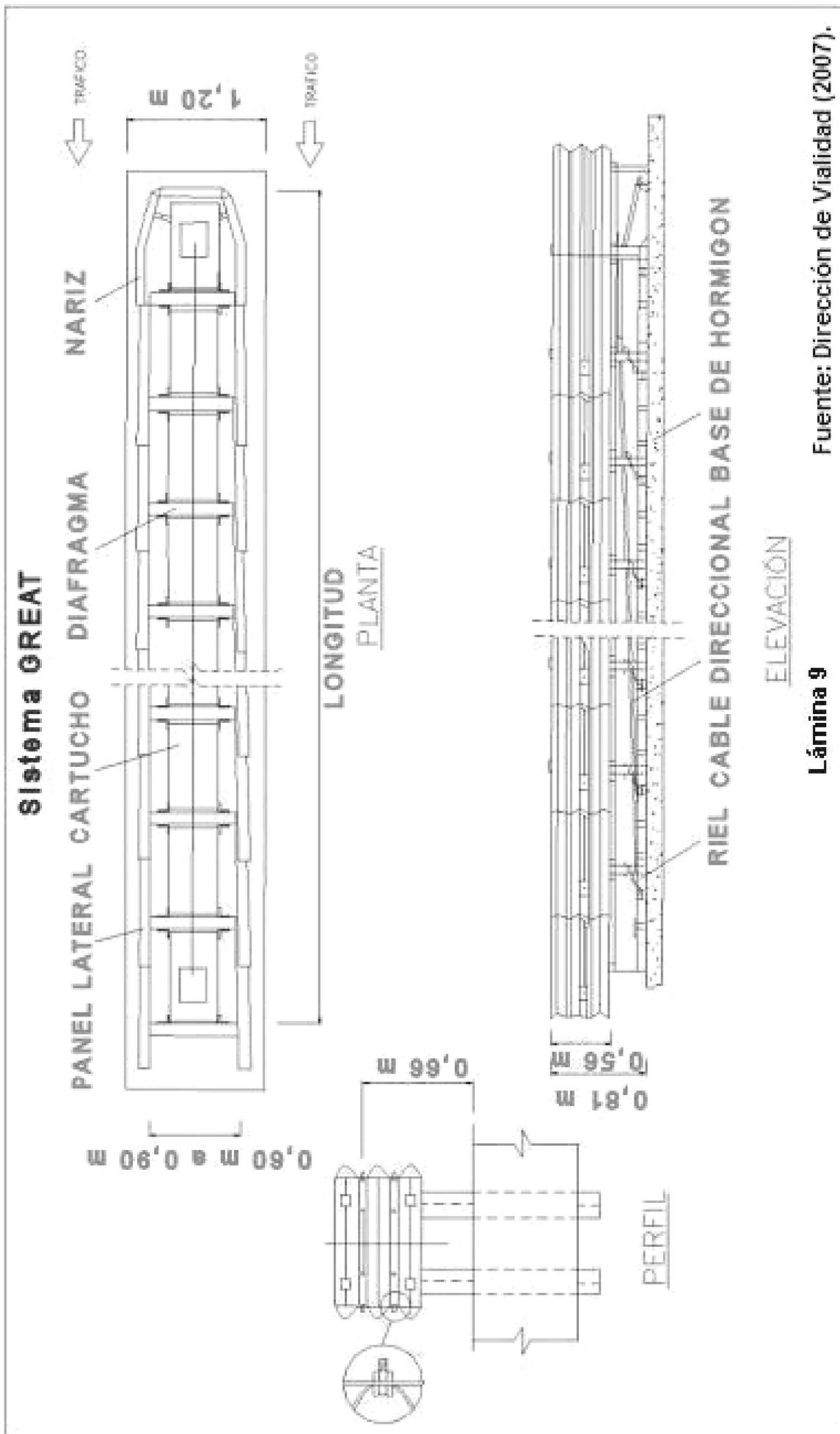


Lámina 9

2.2.1.2.- Sistema Quadguard.

Este sistema, al igual que el anterior, corresponde a un tratamiento terminal a base de cartuchos comprimibles dentro de una estructura metálica. Tiene una capacidad para defender objetos fijos de hasta 10 pies (3,05 m), según señala Washington State Department Transportation en el capítulo 720 del *WSDOT Design Manual* (2006). Su resistencia a un impacto lateral se basa en esa armadura y en paneles laterales de cuatro ondas y, en forma importante, en su base. Esta base es del tipo monorriel, y elimina la necesidad de cables y cadenas otorgando al sistema una muy buena capacidad redirectiva.

El sistema mostrado cumple con los requisitos del Reporte 350 de la NCHRP (siendo ésta una importante diferencia respecto del sistema GREAT, anteriormente señalado). Habiendo sido evaluado bajo los niveles TL-1 (50 km/h) TL-2 (70 km/h) y TL-3 (110 km/h).

Existen diversas variaciones a la idea original que define el sistema Quadguard, siendo las más conocidas el sistema Quadguard propiamente tal, en variados anchos, el sistema Quadguard Elite, con cilindros de HDPE (high density polyethylene plastic) en vez de los cartuchos, y el sistema Quadguard HS, de mayor

velocidad, entre otros.



Figura 9. Sistema Quadguard (particularmente ancho).

Fuente: Lecol Inc. (2007)

Sistema Quadguard Angosto

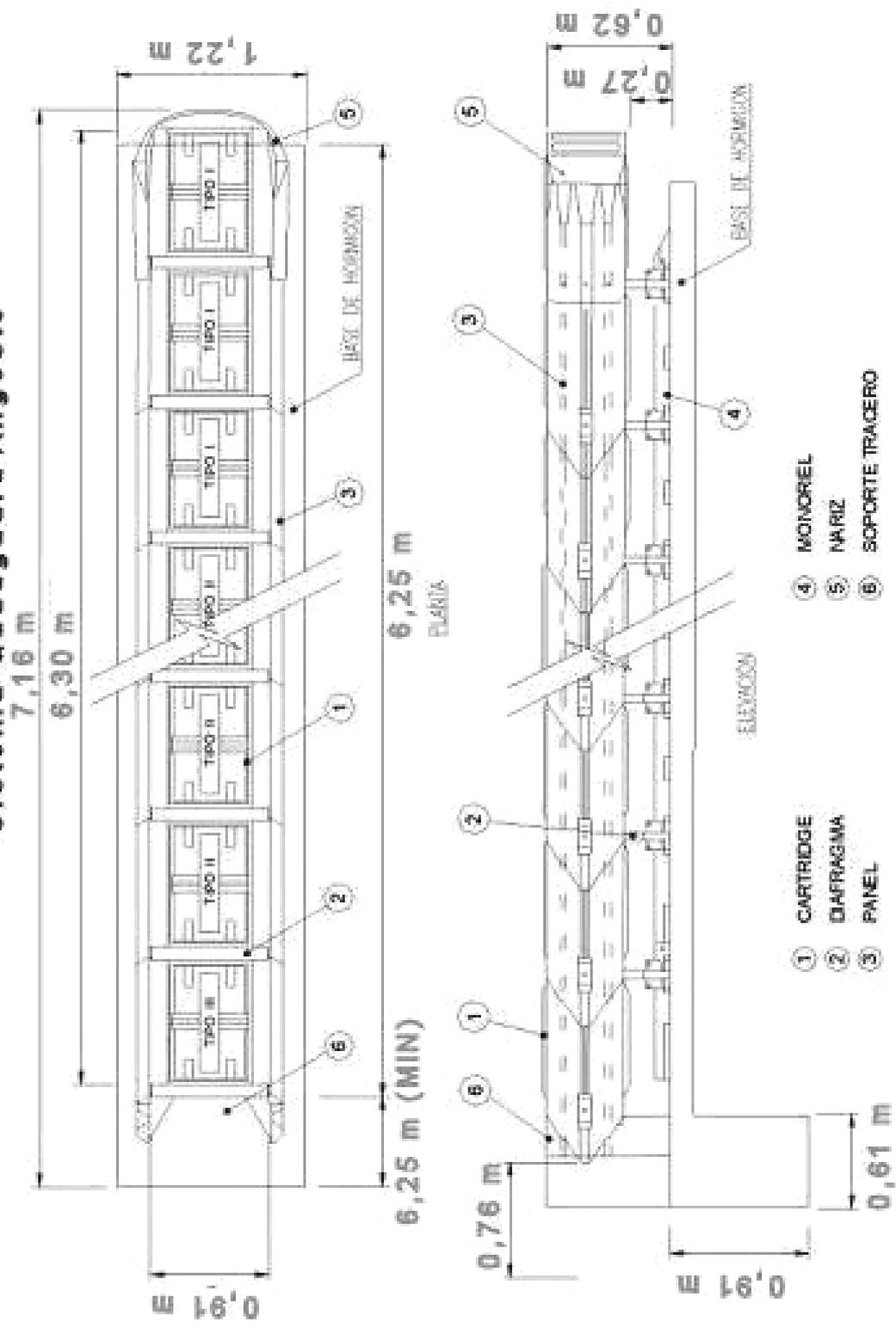
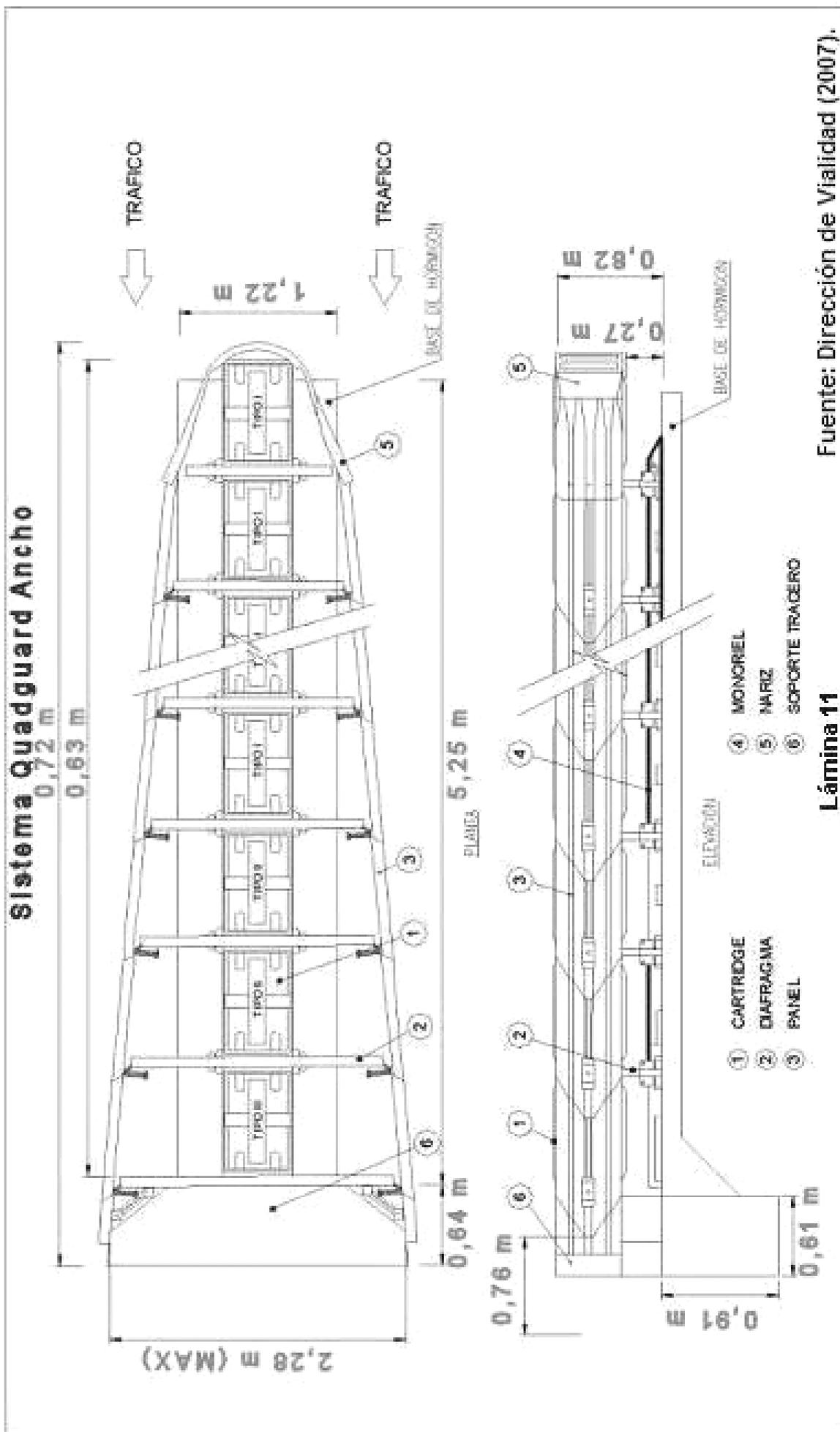


Lámina 10

Fuente: Dirección de Vialidad (2007).



Fuente: Dirección de Vialidad (2007).

Lámina 11

2.2.1.3.- Atenuador de Bajo Mantenimiento (LMA).

El LMA (Low Maintenance Attenuator) es un dispositivo desarrollado para defender objetos fijos hasta 3 pies de que son susceptibles de ser impactados con frecuencia, según señala Washington State Department Transportation en el capítulo 720 del *WSDOT Design Manual* (2006). La disposición y características se muestran en la figura 10.

El LMA es conformado por 12 segmentos modulares, cada uno incluye cilindros elastoméricos contenidos en una armadura de diafragmas de acero de triple corrugación y una barrera lateral viga triple onda. Cada cilindro tiene un diámetro exterior de 711,2 mm, pero las longitudes y espesores de la pared del cilindro aumentan a lo largo del dispositivo. Cada diafragma del LMA sirve como un punto de unión de los cilindros y como una armazón de soporte para los paneles de la defensa. (Dirección de Vialidad. 2007)

Con un impacto frontal, las vigas de barrera se traslapan y el dispositivo se contrae como el caso de un telescopio. Los cilindros se deforman, absorbiendo la energía cinética del vehículo, aplastándose totalmente con un impacto mayor. La virtud de este sistema es que los cilindros recuperan su forma original poco después del impacto, siendo totalmente reutilizables un gran número de veces. Cuando el sistema es impactado lateralmente, el diafragma y la viga triple onda contienen y causan el redireccionamiento del vehículo. En los primeros dos módulos de triple onda, el sistema tiene incorporado un cable de contención para controlar movimientos laterales durante los impactos orientados a la nariz.

Comparado con otros amortiguadores de impacto el costo inicial de este dispositivo es mayor, sin embargo, tiene un bajo costo de mantenimiento cuando es impactado frontalmente, siendo reutilizable prácticamente el 100% de sus cilindros

elastoméricos, incluyendo su nariz. Puede ser rápidamente puesto en servicio después de un impacto.

El LMA ha sido ensayado satisfactoriamente para vehículos de 820 y 2.000 kg con velocidades de hasta 100 km/h. Impactos laterales pueden ocasionar daños importantes al dispositivo.

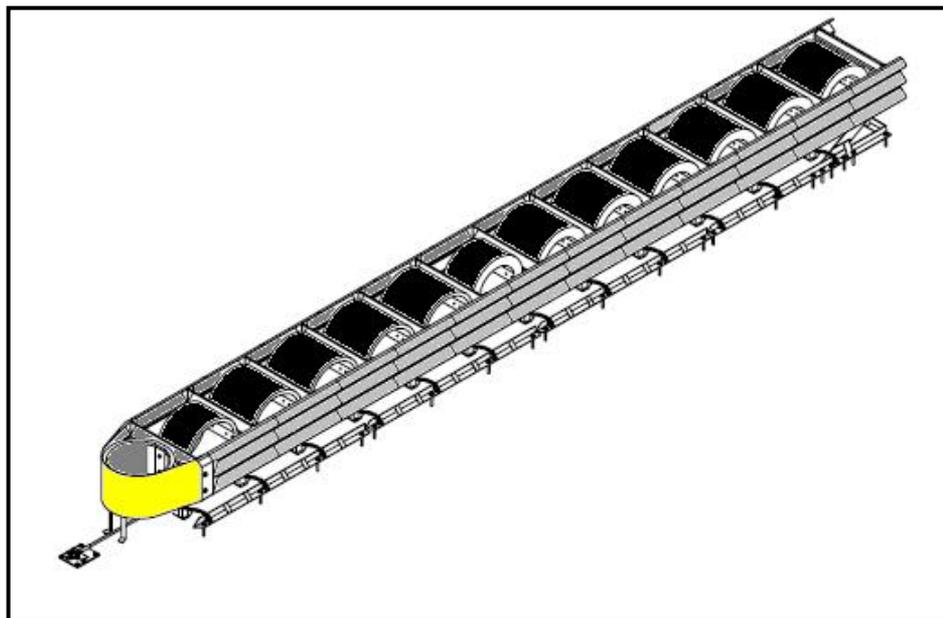
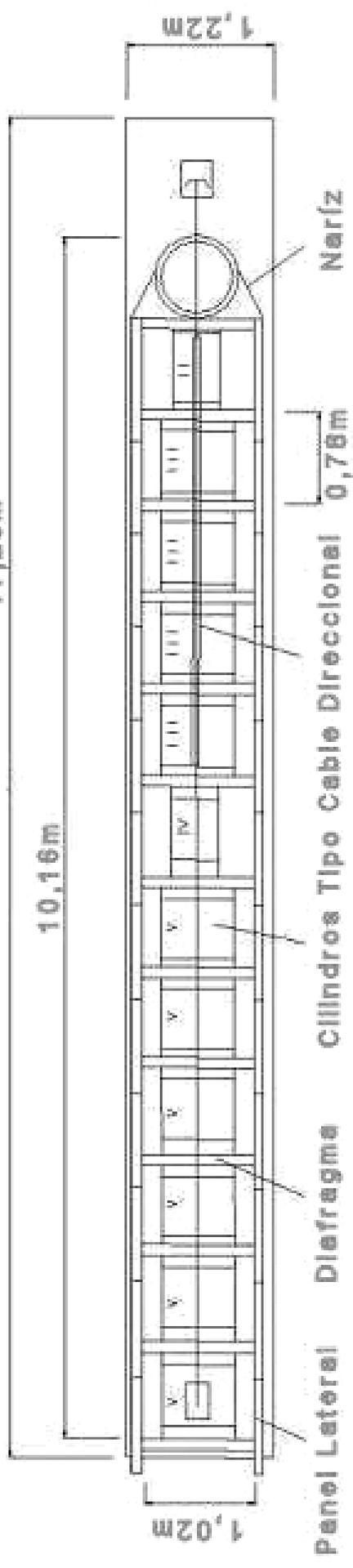


Figura 10. Atenuador de Bajo Mantenimiento (LMA).

Fuente: Washington State Department Transportation (2007)

**Atenuador de Bajo Mantenimiento (LMA).
11,28m**



PLANTA

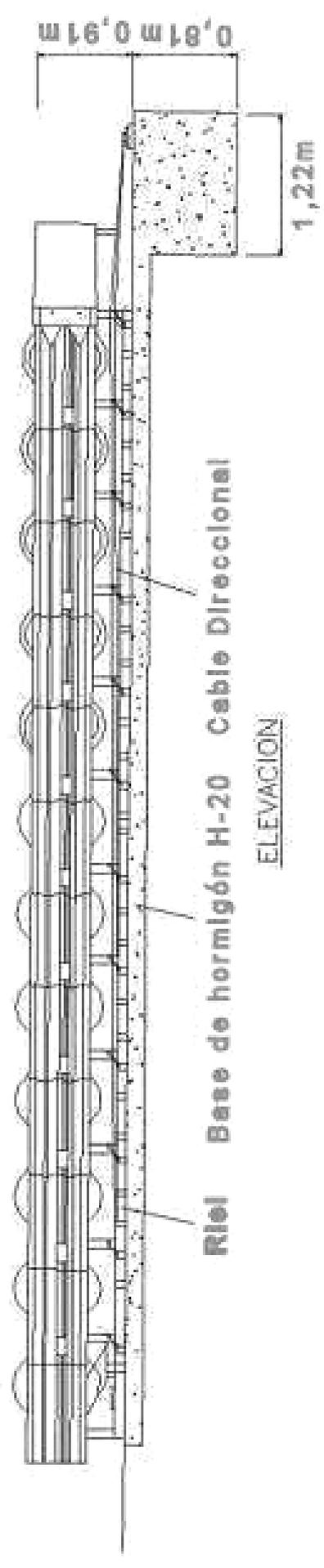


Lámina 12

Fuente: Dirección de Vialidad (2007).

2.2.1.4.- Sistema REACT 350.

Este Amortiguador es un tratamiento terminal para barreras y también para objetos fijos sobre 3 pies de ancho (91,44cms), según se menciona en capítulo 720 del WSDOT *Design Manual* (mayo 2006).

Este sistema consta de cilindros de plástico de polietileno de alta densidad, con gran peso molecular. Estos sistemas se pueden diseñar para velocidades de 72 Km/h hasta 113 Km/h, con anchos de hasta 3,1 m y han sido ensayados exitosamente según el Reporte 350 de la NCHRP. (Dirección de Vialidad. 2007)

Después de un impacto los cilindros recuperan por si solos un 90% de su forma original. Para volver a colocarlo en servicio, el equipo de mantenimiento debe tirar los cilindros, sobre extendiéndolos por un rato. Luego de soltarlos éstos vuelven a su conformación original. (Dirección de Vialidad. 2007)

Para impactos laterales, los cables contienen lo suficiente para prevenir la penetración del vehículo y redirigirlo. Se considera como ventaja que este sistema requiere pocas piezas de remplazo o reparaciones. (Dirección de Vialidad. 2007)



Figura 11. Sistema REACT 350.

Fuente: Lecol Inc (2007)

Sistema REACT 350

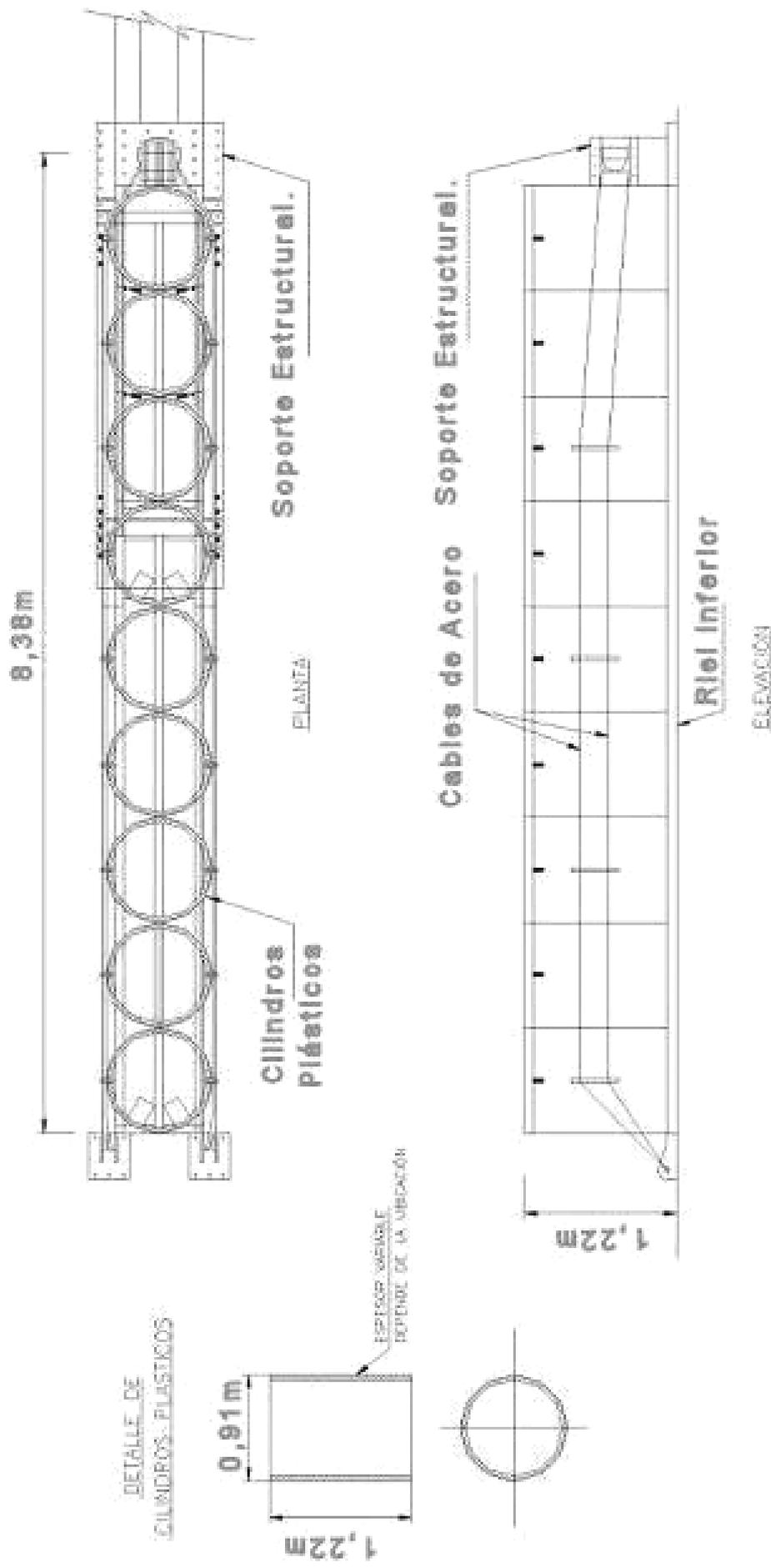


Lámina 13

Fuente: Dirección de Vialidad (2007).

2.2.1.5.- Sistema TRACC.

Una característica crucial del sistema TRACC (Trinity Attenuating Crash Cushion), es que se entrega armado y listo para ser instalado encima de una carpeta de asfalto, hormigón o material granular compactado. Por otra parte cabe destacar que es un sistema que no necesita de elementos complementarios como cartuchos. El Atenuador de Impactos TRACC ha sido aprobado en Estados Unidos, para el nivel de contención 3 (nivel máximo) según NCHRP 350, además de los ensayos de choque a escala real según norma europea UNE EN 1317-3, correspondientes a la clase 110 km/h (según señala Hierros y Aplanaciones, S.A. 2007).

En un impacto frontal la energía cinética del vehículo impactante es absorbida al cortarse secuencialmente una serie de planchas de metal diseñadas para este fin, comprimiendo el sistema en forma de telescopio. En un impacto lateral el vehículo es redireccionado por vigas laterales de cuatro ondas. El diseño del dispositivo es tal que después de un impacto, se remueve y traslada la unidad en su conjunto, para efectuar las reparaciones en un taller. Al remover el dispositivo impacto, se instala otro en su lugar para no dejar desprotegido el lugar. Todos los componentes del sistema TRACC son de acero galvanizado. El sistema es de 610 cm de ancho, 815 cm de alto y 6,4 m de longitud. Pesa 1,180 kg. (Dirección de Vialidad. 2007)

Se tiende a limitar su uso en zonas en construcción u otros lugares de trabajo cuya base no es permanente (Washington State Department Transportation. 2006).



Figura 12. Sistema TRACC.

Fuente Trinity Highway Products (2007)

2.3.- Amortiguadores de Impacto No Redireccionables.

Son los elementos amortiguadores que no poseen la característica de redireccionar al vehículo que los impacte hacia su dirección original.

2.3.1.- Sistema ABSORB 350.

ABSORB 350 es un sistema no redireccionable, a base de módulos rellenos de agua, limitado para instalaciones temporales (Washington State Department Transportation, *mayo de 2006*), que ha sido ensayado exitosamente a Nivel TL2 (70 km/h) y TL3 (100 km/h) del Reporte 350 de la NCHRP. Este sistema se puede conectar al término de cualquier sistema de barrera de hormigón, portátil o fijo. No requiere un sistema de anclaje ya que la misma barrera de hormigón actúa como muro de reacción.

El sistema puede ser de 5 ó 9 módulos dependiendo del nivel de protección requerido. Su ancho es de 60 cm y el largo del sistema de cinco módulos es de 5,7 m y el de 9 módulos es de 9,7 m, su altura es de 0,8 m. Son fabricados de un plástico polietileno de baja densidad con un refuerzo de acero ASTM a-36 galvanizado.

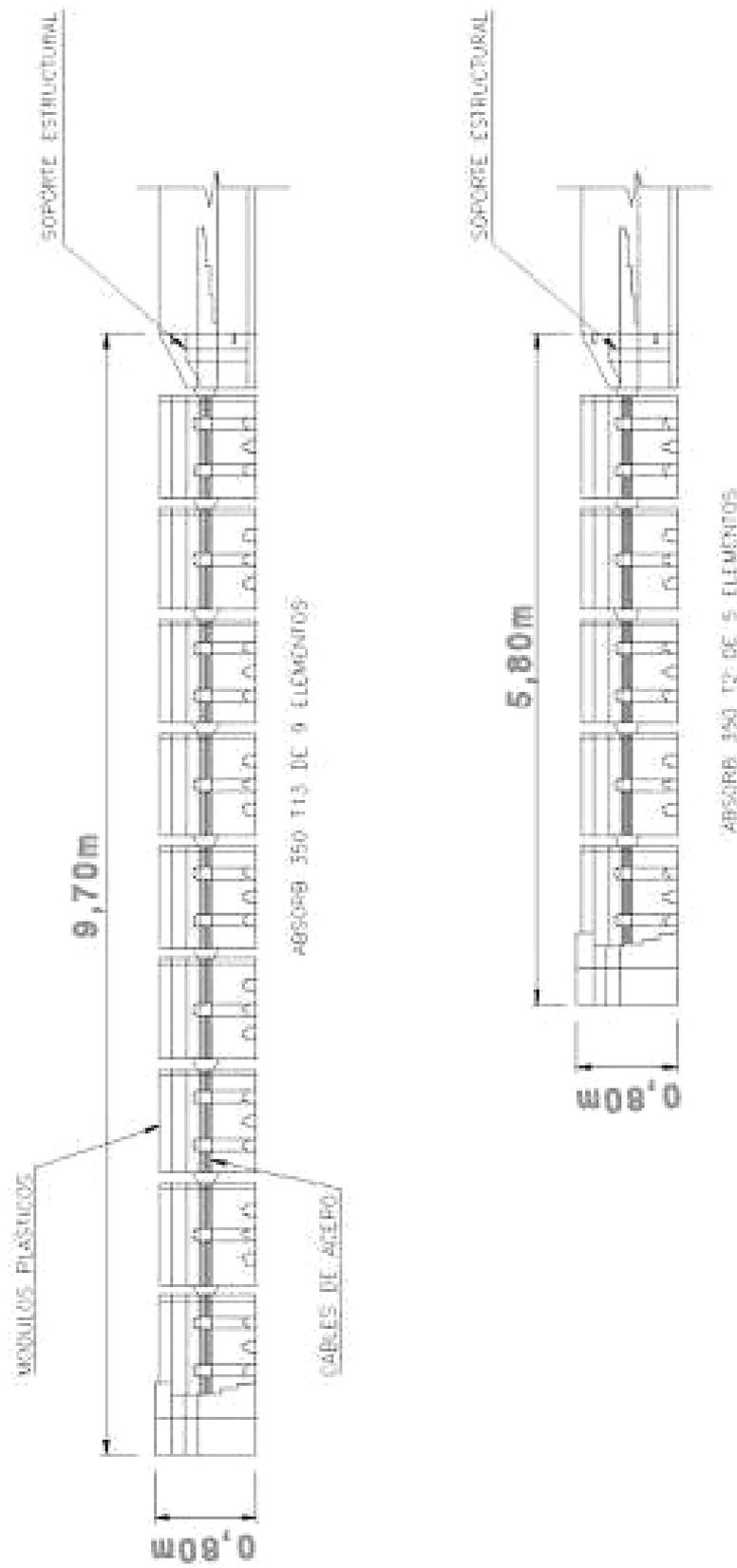
Cada módulo pesa 50 Kg vacío y 325 Kg cuando esta lleno de líquido. El sistema es fácil de instalar y restaurar luego de un impacto.



Figura 13. Sistema ABSORB

Fuente: Barrier Systems Inc. (2007)

Sistema ABSORB 350.



Fuente: Dirección de Vialidad (2007).

Lámina 15

2.3.2.- Tambores de Plástico con Arena.

Los amortiguadores de impacto de tambores de plástico con arena, conocidos también como amortiguadores inerciales, son dispositivos patentados que disipan la energía cinética del vehículo impactante por medio de una transferencia de momento lineal desde el vehículo a las partículas de arena. La cantidad de arena en cualquier tambor es función de la velocidad de diseño, la ubicación del tambor con relación a los demás tambores del dispositivo y, la forma, tamaño y naturaleza del objeto fijo o peligro del cual hay que defender (Dirección de Vialidad. 2007).

Algunos tipos de amortiguadores de tambores con arena se muestran en la lámina 16. Se observa que cada módulo se sostiene así mismo y no requieren de una estructura de reacción. Los tambores generalmente son de 910 mm de ancho y alto, y contienen distintas cantidades de arena, pudiendo cada modulo llegar a tener una masa de 90, 180, 320, 640 y hasta 960 Kg. Cada tambor puede disponer de un “piso falso” para ubicarlos a diferentes alturas dependiendo de su ubicación en el dispositivo total.



Figura 14.a. Amortiguadores de tambores con arena.

Fuente: Dirección de Vialidad (2007)



Figura 14.b. Amortiguadores de tambores con arena.

Fuente: Dirección de Vialidad (2007)

Puede haber un gran número de configuraciones de estos sistemas. Las distintas opciones incluyen el número de tambores, la configuración del grupo, el peso de la arena en cada línea de la serie y el tamaño del tambor. Cada sistema requiere un diseño apropiado para las condiciones específicas del sitio. Los proveedores han desarrollado series estandarizadas, cumpliendo con los requerimientos del sistema, como son peso del vehículo, velocidad de impacto, máxima desaceleración del vehículo, además de forma y tamaño del obstáculo. En las figuras 14.a y 14.b se muestran algunas configuraciones típicas del dispositivo.

Los amortiguadores de impacto de tambores de plástico con arena son dispositivos sin capacidad de redireccionamiento, por esta razón, es importante posicionar cuidadosamente los tambores posteriores. Si el sistema no ha sido diseñado apropiadamente, los impactos en los tambores posteriores de estos

dispositivos pueden ocasionar el enganchamiento en la esquina del obstáculo rígido. Por esto, se recomienda que los módulos exteriores, en las últimas tres líneas posteriores, traslapen en su ancho al objeto fijo del cual se quiere defender por lo menos en 760 mm, de manera de reducir la severidad de los impactos en estas esquinas (ver la figura 15). De contar con espacio suficiente, se puede agregar una línea longitudinal adicional de módulos más livianos para mejorar el diseño.

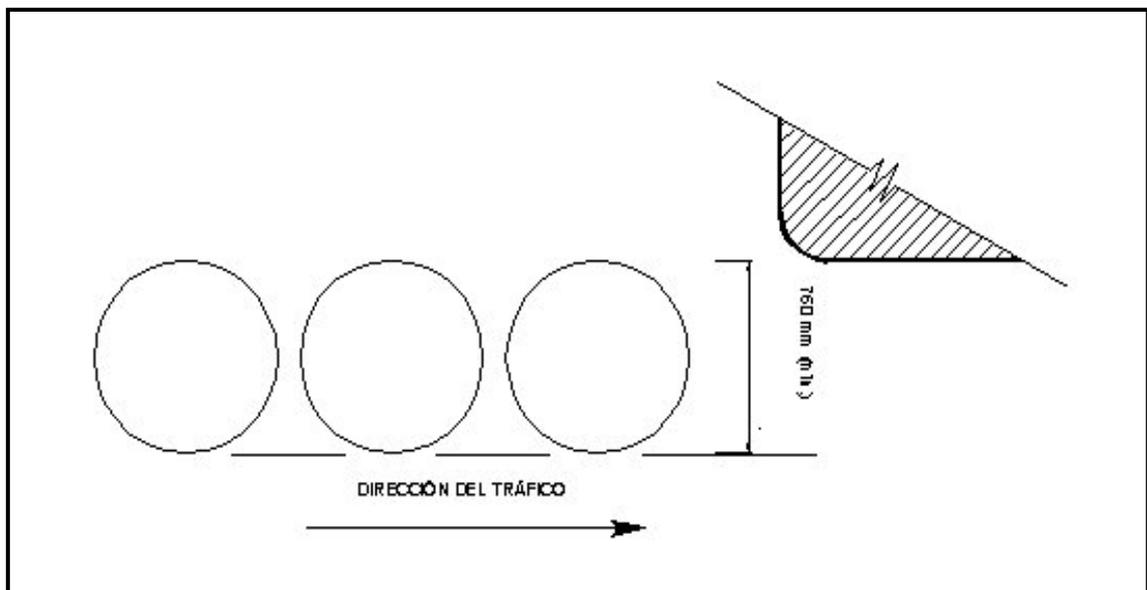


Figura 15. Emplazamiento de las últimas tres líneas posteriores de tambores con arena.

Fuente: Dirección de Vialidad (2007)

Es importante que la arena utilizada en este tipo de amortiguadores de impacto este depurada y que tenga un contenido de humedad menor o igual al 3 por ciento. La razón es que un alto contenido de humedad puede traer como consecuencia el congelamiento de la arena, produciendo grandes bloques de material, lo que puede afectar adversamente el funcionamiento del amortiguador de impacto y crear una condición de riesgo para los usuarios de la vía. Es recomendable

agregar un poco de sal con la arena para prevenir el congelamiento si existiese humedad en el material.

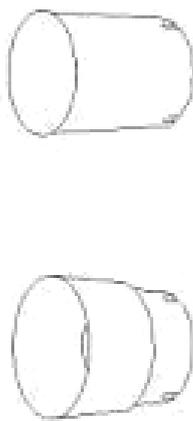
Estos dispositivos han funcionado adecuadamente en cientos de accidentes. Son preferidos por muchas entidades viales por su bajo costo inicial, sin embargo, los tambores impactados deben ser reemplazados, lo que redonda en un costo de mantención importante.

Otro factor negativo de estos dispositivos es que un golpe tangencial puede quebrar la pared de uno o más tambores, lo que puede ocasionar el escape de arena y, en consecuencia, generar un comportamiento defectuoso del sistema.

Después de un impacto es importante despejar la arena, para no dejar una condición resbaladiza en el pavimento.

En la lámina 16, se entregan algunas recomendaciones generales para el emplazamiento de este tipo de dispositivos.

Tambores de Plástico con Arena



MODELO 640



MODELO 960



TAPA

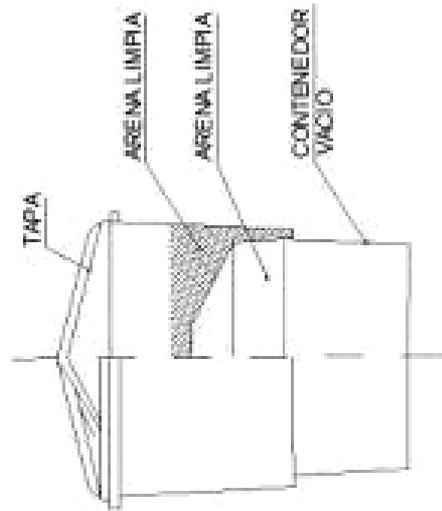


CONO
MODELO 90/180

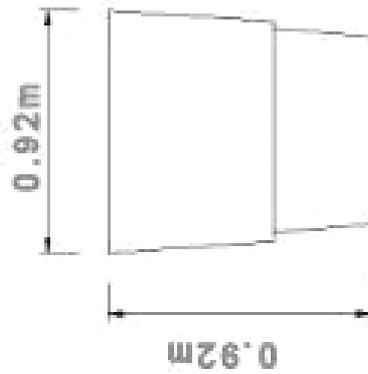


CONO
MODELO 320

MASA NOMINAL	MODELO	MODELO DEL CONO
90	640	90/180
180	640	90/180
320	640	320
640	640	-
960	960	-



MODELO 640



MODELO 960

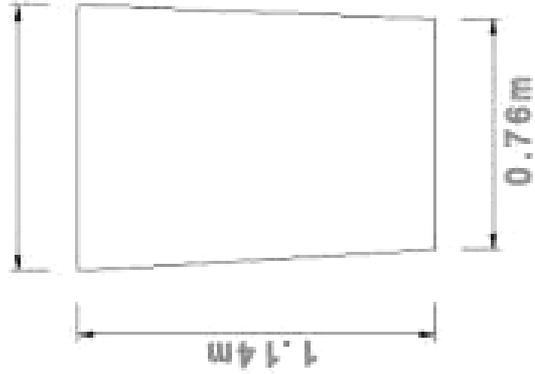


Lámina 16

Fuente: Dirección de Vialidad (2007).

Capítulo III

Criterios de Selección de los Elementos.

3.1.- Recomendaciones Generales.

Antes de entrar a ver los criterios de Selección de Terminales y de Amortiguadores de Impacto recomendados para cualquier ruta nacional, cabe destacar algunos criterios generales presentados en una guía elementos terminales presentada por Bionda Instalaciones S.L. (2007). La idea de presentar estos criterios es complementar la información entregada por la guía de selección publicada por Vialidad, que en términos de contenido resulta ser la más clara y completa.

• **Funcionamiento en impactos laterales:** es importante que el sistema siga funcionando tras impactos laterales sin necesidad de hacer ninguna reparación. Hay que tener en cuenta que se considera que la mayor parte de los impactos en un atenuador serán laterales, y que el vehículo continuará su camino tras ser redirigido por el sistema. Si el elemento se bloqueara tras un impacto lateral, no funcionaría correctamente al recibir uno frontal con posterioridad, y los impactos laterales suelen ser difíciles de detectar a simple vista.

• **Resistencia:** la resistencia del sistema tiene importancia especial en los impactos pequeños. Con éstos, se producen desperfectos, que en muchos casos no son visibles a simple vista, y que hacen que el sistema no funcione correctamente cuando reciba un impacto mayor.

• **Contención de piezas tras un impacto:** si las piezas del atenuador se rompen o saltan durante un impacto pueden convertirse en misiles que pongan en peligro al tráfico adyacente, o al que pase por debajo, en caso de estructuras.

- **Experiencia con los sistemas candidatos:** es preferible elegir sistemas que tengan muchas unidades instaladas con buenos resultados en choques reales.
- **Garantía de instalación:** los atenuadores de impactos necesitan una puesta en terreno para que el sistema funcione correctamente. Una obra mal realizada puede implicar que el sistema en vez de proteger el punto se convierta en un peligro añadido.
- **Mantenimiento:** hay sistemas, que requieren un mantenimiento periódico estricto para comprobar que los componentes no han sido afectados por las condiciones climatológicas o vandalismo. Por otra parte, los sistemas que dejan de funcionar tras impactos laterales deben ser revisados constantemente.
- **Reutilización:** si un sistema es reutilizable, el coste de su reparación será muy inferior, con lo que resulta amortizado en menos tiempo.
- **Reparación:** tras recibir un impacto a plena velocidad de diseño, un sistema deja de funcionar hasta ser reparado. Por tanto es importante que la reparación sea sencilla y rápida, para que el punto vuelva a quedar protegido lo antes posible. Por otra parte, la rapidez de la reparación minimiza el tiempo de exposición de los equipos de mantenimiento a los vehículos circulando y/o los trastornos al tráfico existente.

3.2.- Selección de Terminales.

El proceso de selección de un terminal debe considerar al menos los siguientes aspectos:

- Si el diseño es para 70 km/h o menos se puede considerar el abatimiento de la barrera, metálica o de hormigón.
- Si es para velocidades mayores a 70 km/h se deben considerar, en el siguiente orden, estas opciones:
 - terminal esviado y anclando en talud de corte o en un pretil de tierra
 - terminal extrusor, ABC o ADIEM II
 - amortiguador de impacto

3.3.- Guía de Selección de Amortiguadores de Impacto.

El número y la complejidad de los factores que hay que considerar para seleccionar un amortiguador de impacto imposibilitan un procedimiento de selección sencillo. En algunos casos habrá un sistema que, por sus características físicas y operacionales, obviamente dará mejores resultados. En la mayoría de los casos habrá dos o más dispositivos que reúnan las características necesarias para responder a la situación a resolver.

Una vez que se determine la necesidad de usar un amortiguador de impacto, el proyectista debería considerar los siguientes factores para seleccionar el sistema más apropiado.

3.3.1.- Características del Lugar.

Luego de identificar la necesidad de un amortiguador de impacto hay que considerar el espacio disponible en cada lugar. Esto asegura que el sistema seleccionado pueda contar con el espacio suficiente para ser instalado correctamente, para realizar su eventual mantención después de un impacto y para lograr sus objetivos como elemento de seguridad vial.

La lámina 17 entrega recomendaciones incluidas en la RDG de la AASHTO respecto a las dimensiones del área que se debe disponer para la instalación de cualquier amortiguador de impacto. Aunque muestra el espacio necesario para una bifurcación, sus requerimientos se pueden aplicar para cualquier objeto que pueda requerir protección.

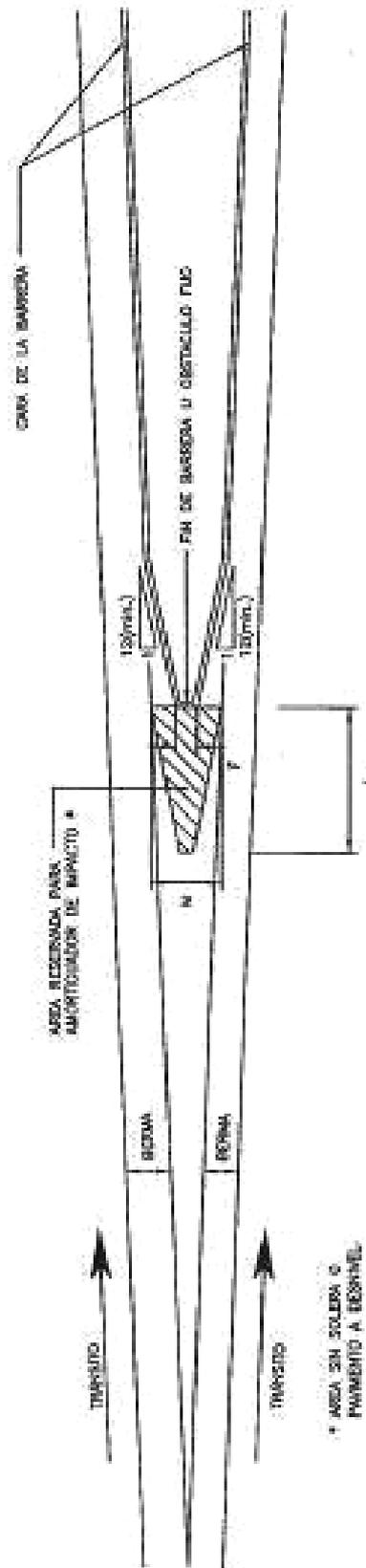
Las dimensiones listadas en la columna “preferida” deben ser consideradas como óptimas, porque aseguran mejor que los dispositivos puedan funcionar correctamente y dan suficiente espacio para su eventual mantenimiento.

Las condiciones “sin restricciones” representan las dimensiones mínimas para una función adecuada de un amortiguador de impacto. En aquellos sitios donde se pueda demostrar que lograr las dimensiones “sin restricciones” aumenta demasiado los costos se puede usar las dimensiones mínimas “con restricciones”. En este último caso, se debería reconocer que en algunos impactos el amortiguador podrá no responder adecuadamente y el mantenimiento requerirá cerrar transitoriamente pistas adyacentes.

De no contar con el espacio de reserva indicado se debe hacer lo posible para modificar el diseño del proyecto para obtener el espacio requerido.

Requerimientos Dimensionales

Velocidad de Diseño [Km/hr.]	Dimensiones del Amortiguador						Área Reservada		
	Mínimo						Recomendado		
	Condición Restrictiva			Condición no Restrictiva					
	N	L	F	N	L	F	N	L	F
50	2,0	2,5	0,5	2,5	3,5	1,0	3,5	5,0	1,5
80	2,0	5,0	0,5	2,5	7,5	1,0	3,5	10,0	1,5
110	2,0	8,5	0,5	2,5	13,5	1,0	3,5	17,0	1,5



Fuente: Dirección de Vialidad (2007).

Lámina 17

FUENTE : PDG de la AASHTO

Esta tabla presenta una información genérica y podría dejar fuera de consideración a algunos sistemas. Se recomienda que el diseñador elija entre varias opciones de amortiguadores de impacto disponibles, además de conocer los requerimientos de espacio necesario entregado por el proveedor. El diseñador debe tener claro que las condiciones del lugar de emplazamiento a veces puede ser preponderante al momento de elegir el dispositivo.

3.3.2.- Características Estructurales y Operativas de Sistemas Disponibles.

De estar considerando más de un sistema el proyectista debería evaluar los elementos estructurales y parámetros de seguridad de cada sistema. Entre ellos, las deceleraciones, capacidad de redireccionamiento, requerimientos de anclaje o de muro de reacción y posibles escombros generados por impactos.

Todos los sistemas descritos con anterioridad tienen la capacidad de disipar la energía cinética de un vehículo liviano (hasta 1.500 Kg.) cuando son impactados de frente, a 100 km/h, llevando controladamente al vehículo a una condición detenida o redirreccionándolo a un ángulo aceptable. La mayoría de estos sistemas pueden diseñarse para velocidades menores, lo que puede derivar en cierta economía.

3.3.3.- Costo.

Es importante considerar siempre las probabilidades que tiene un dispositivo de ser impactado. De ser altas y que sucesivas colisiones ocurran en un plazo corto, conviene optar por uno de los sistemas altamente reutilizables, aunque su costo inicial sea mucho mayor.

Todos los dispositivos amortiguadores de impacto mencionados en el presente documento tienen una óptima relación costo-efectividad, sin embargo hay variaciones en los costos de mantenimiento y reparación de éstos. Algunos sistemas normalmente deben reemplazarse después de un impacto mayor, pero los costos iniciales de este tipo de dispositivos son bajos. Los tambores de plástico con arena es un ejemplo que cae en esta categoría.

Otros dispositivos amortiguadores de impacto tienen altos costos iniciales, pero pueden ser fácilmente restaurados en el sitio después de un impacto. El LMA, por ejemplo, tiene un alto costo inicial, pero puede ser utilizado una y otra vez sin necesidad de reemplazar sus componentes disipadores de energía. Estos amortiguadores de impacto pueden ser una buena opción en instalaciones que se espera sean impactadas frecuentemente. Sistemas con un bajo costo inicial, probablemente no se presten para ser reparados en el sitio tan rápidamente y es recomendable que se utilicen en lugares donde las probabilidades de impacto frecuente sean bajas.

Todos los amortiguadores de impacto considerados en esta síntesis han sido sometidos a ensayos de impacto a nivel de terreno, por lo que es importante que las instalaciones de prueba sean diseñadas lo más próximo posible a las condiciones de terreno reales.

3.3.4.- Mantención.

3.3.4.1.- Mantenimiento rutinario.

Se considera que el mantenimiento de rutina es aquel que no es por causas de un impacto. Dentro de estos trabajos de mantención rutinaria están:

- Inspecciones visuales periódicas.
- Limpieza de acumulaciones de escombros y arena y despeje de maleza.
- Reposición de piezas por vandalismo o robo.
- Ajustes de tensión de cables guías.
- Etc.

3.3.4.2.- Mantenimiento por accidente.

Después de un impacto los dispositivos necesitan una inspección y análisis detenido, para definir las piezas que requieren reemplazo y los elementos que requieren un reposicionamiento o ajuste.

Basado en la experiencia, conviene contar con un completo abastecimiento de piezas, especialmente las frecuentemente dañadas durante los impactos. Nunca conviene demorar en restaurar estos dispositivos a su condición original, ya que un impacto con un sistema parcialmente dañado resultará en un accidente muy severo y daños de gran costo al dispositivo.

Capítulo IV

Acerca del tramo Valdivia-Osorno

4.1.- Descripción General.

El tramo que utilizado para contextualizar la posible aplicación de los sistemas presentados a nuestra realidad local es el comprendido entre las ciudades de Valdivia y Osorno. El cual está comprendido por la Ruta 5 Sur entre los kilómetros 918 y 790, y la Ruta 207, que conecta Valdivia con la carretera concesionada.

Se debe señalar que el registro de accidentes llevado a cabo en nuestro país es bastante general, por lo que no existen datos específicos del tipo de accidentes, así es que el tipo de información entregada por las instituciones pertinentes es, en general, del tipo referencial y en base a la experiencia, con posterior corroboración en terreno de quien ha realizado la presente tesis.

El tramo de la Ruta 5 corresponde, como ya se dijo, a carretera concesionada, es un camino de doble vía, con una sinuosidad moderada, barreras de protección acordes con lo señalado en el manual de carreteras volumen 5 (que corresponde a los modelos estándares que se utilizan en nuestro país) y despejada de árboles en sus alrededores. En cuanto al estado de la vía cabe señalar que es bueno, ya que es un camino relativamente nuevo, siendo responsabilidad de la concesionaria mantenerlo en buen estado.

La Ruta 207, es un camino de una sola vía, sinuoso y rodeado de abundante vegetación. De las dos rutas a analizar es de la que menos información formal existe.

Pese a ello se han identificado y revisado zonas de aparente riesgo, que se proponen ser revisadas a futuro, según los criterios presentados en el desarrollo de este tema.

4.2.- Acerca de los elementos terminales actuales.

Respecto de los tipos de terminales que se observan en estas vías, se señala que corresponde principalmente a barreras metálicas semirígidas a base de perfiles ondulados, en cuyo extremo se les realiza un doblado del tipo “cola de pez”, que es el único que existe actualmente en nuestras barreras de contención en carreteras y que no tiene más que un fin estético sobre los extremos. Se hace evidente entonces carencia de un diseño adecuado, quedando planteada la interrogante de si conviene o no invertir en sistemas más eficientes, que puedan resultar ser un poco o bastante más costosos, pero con la posibilidad de resguardar muchas más vidas humanas.

En la figura 16 se presenta un extremo de barrera del tipo “Cola de Pez”, que por lo demás no presenta tratamiento Terminal alguno.



Figura16. Ejemplo de Terminal típico “Cola de Pez”

Fuente: Speier Road Safety Solutions Ltda (2007)

Capítulo V

Acerca de la factibilidad de aplicación de los sistemas modernos.

5.1.- Caracterización de los puntos conflictivos.

Como ya se señaló en el capítulo anterior la información disponible acerca de tipos de accidentes específicos es formalmente nula. Sin embargo fue posible encontrar un punto dentro del tramo en estudio sugerido por la empresa Ingelog, quien asesora en la explotación de concesiones viales Zona Sur, y dos puntos más en la Ruta 207 de características que favorecerían la ocurrencia de nuestro tipo de accidentes.

5.1.1.- Punto Km 911,5 Ruta 5 Sur.

Este punto corresponde a un principio de curva ubicado al lado poniente de la carretera en dicho kilometraje. Se tiene una barrera doble onda esviada en su extremo. Como se puede apreciar está junto a un talud de corte, y el paisaje que le rodea es vegetación moderada acorde a esta zona, sin presencia de árboles altos o demasiado cercanos a la vía que pudiesen otorgar una complejidad extra a este problema (ver figuras 17a y 17b).

La situación de peligro en este caso se debe estrictamente al hecho de tener que tomar una curva a la izquierda por la derecha, como la tendencia natural del vehículo es seguir derecho en su trayectoria es natural que se tiendan a producir accidentes.



Figura 17.a. Vista Frontal del Terminal.

Fuente: Elaboración propia (2007)



Figura 17.b. Vista Panorámica.

Fuente: Elaboración propia (2007)

Cabe señalar que el extremo de esta barrera ya se ve algo estropeado, lo que ayudaría a confirmar su tendencia a ser víctima de choques. Notándose la punta curva doblada hacia adentro y el poste idealmente vertical en posición inclinada.



Figura 17.c. Punta Doblada de la Barrera.

Fuente: Elaboración propia (2007)

5.1.2.- Punto Km 15 Ruta 207.

Está ubicado cerca de una escuela, a 15 Km. del cruce con la carretera concesionada. También corresponde a un principio de curva a la izquierda, implicando una tendencia del vehículo a conservar su dirección en línea recta. LA barrera es un perfil doble onda esviado en su extremo. El lado de la vía en cuestión se ubica junto a un talud de terraplén cubierto de abundante maleza. Se añade a los datos del problema que existe presencia de árboles altos que pueden alterar la continuidad de los deshielos invernales, provocando zonas con sombra en las que el hielo demore más en derretirse, y pueda pasar inadvertido para una gran cantidad de conductores.



Figura 18.a. Presencia Abundante de Árboles Junto a la Barrera.

Fuente: Elaboración propia (2007)



Figura 18.b. Talud de Terraplén Cubierto de Abundante Maleza.

Fuente: Elaboración propia (2007)

Como se puede apreciar en este caso el extremo terminal está intacto, sin embargo ya sabemos que no es el más apropiado, sino simplemente el legalmente aceptado por nuestro país y por cierto el más económico, pero por la razones anteriormente explicadas, las posibilidades de que ocurra un accidente son inminentes.



Figura 18.c. Extremo Terminal.

Fuente: Elaboración propia (2007)

5.1.3.- Punto Km 21 Ruta 207 (Cuesta del Cero).

Este punto de la ruta, más conocido como “Cuesta del Cero”, corresponde a la elevación más alta de la zona. El problema aquí identificado es la llegada de un camino lateral a esta ruta, específicamente el camino hacia Los Guindos, desde un vehículo que viene de una curva a izquierda, en camino de ripio, y luego debe inmediatamente bifurcarse para entrar a la ruta 207. Podría pensarse que la mayor peligrosidad estaría en la cuesta misma. Subestimándose el empalme anteriormente señalado, aunque las huellas de un accidente lo confirman como punto de peligro (Ver Figura 19.c). No obstante cabe destacar que la altura de la cuesta y la presencia

de una curva a la derecha dentro de ésta misma, son factores que a la hora de prevenir accidentes, o a lo menos, aminorar el efecto de ellos, igualmente son considerables

Obsérvese la irregularidad con que la barrera absorbió el choque. De dicha forma se deduce que el vehículo chocó con un costado, lo aplastó son que esta ofreciera mayor resistencia y luego paso de largo.



Figura 19.a. “Cuesta del Cero”

Fuente: Elaboración propia (2007)



Figura 19.b. Empalme Camino a “Los Guindos”.

Fuente: Elaboración propia (2007)



Figura 19.c. Terminal Completamente Inutilizable.

Fuente: Elaboración propia (2007)



Figura 19.d. Extremo Terminal.

Fuente: Elaboración propia (2007)

5.1.4.-Puente Santo Domingo.

Cabe destacar que existen otros puntos críticos en el recorrido de potencial peligro, aparte de los ya señalados, tales como el puente “Santo Domingo”, cercano a la ciudad de Valdivia, e identificado como centro de peligro.

Dicho puente se caracteriza por ser arco con tablero inferior, hecho de hormigón, tal como se puede apreciar en la figura 20.a, y su principal problema es el escaso ancho de sus de vías, las cuales son de 3,00 metros cada una. A sus

costados existe una especie de vereda sobre la cual se encuentran emplazados los pilares, que encierran la calzada. En la figura 20.b se puede apreciar como a la llegada del puente se ésta se enangosta. Por lo demás cabe decir que ella se encuentra a la salida de una curva (fig. 20.c).

Por otro lado se puede observar en terreno que la señalización en este sector resulta insuficiente.



Figura 20.a. Puente Santo Domingo.

Fuente: Elaboración propia (2007)



Figura 20.b. Disminución del Ancho de la Calzada.

Fuente: Elaboración propia (2007)



Figura 20.c. Vista Curva.

Fuente: Elaboración propia (2007)

5.2.- Acerca de los costos.

El factor económico corresponde a una dimensión importante a considerar a la hora de tomar decisiones, especialmente si se trata el ver uso o no uso de nuevas tecnologías, comparando el valor de unas con otras y el beneficio que traen estas mismas, con respecto de los sistemas tradicionales.

En la tabla 1 se presenta el costo del daño estimado por la empresa concesionaria, dato facilitado por Ingelog, empresa asesora, en su sede de Frutillar. Y en la tabla 2 se muestra el costo referencial, facilitado por Ecopsa S.A., una de las empresas distribuidoras de elementos terminales y amortiguadores de impacto en Chile. Estos valores corresponden a los elementos más representativos. Como es de esperar, a medida que aumenta la complejidad del sistema, también lo hacen los precios.

COSTO DEL DAÑO					
DESIGNACION	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. [U.F.]	SUB-TOTAL	REF. EN. \$
Elementos de control y seguridad					
Defensa caminera simple	Ml.	16	1,41	22,56	414.728
Terminal de defensa simple	Un.	2	0,8	1,6	29.413
Poste S.O.S.	Un.	1	60	60	1.103.001
TOTAL				84,16	1.547.143

(Valor U.F. promedio de mayo de 2007 \$ 18514,17)

Tabla 1

COSTO REFERENCIAL ELEMENTOS ESPECIALES		
Elemento	US\$	\$
Terminal atenuador del tipo extrusor *		1.250.000
Terminal abatible modelo ABC **	5.000	2.607.050
Amortiguador de impactos modelo QuadGuard **	11.700	6.100.497

* Valores referenciales facilitados por Vialtek S.A.

** Valores referenciales facilitados por Ecopsa S.A.

(Valor promedio del dólar en mayo de 2007)

Tabla 2

Para visualizar un poco mejor estos datos pongámonos en el caso hipotético de que en un accidente se estropean 9 m de defensa caminera, lo cual sería algo razonable para la realidad de presentada en esta tesis. El costo de ello sería de \$247.996, \$233.289 en los 9 m de defensa y \$14.707 en un terminal cola de pez.

El sistema convencional tendría que destruirse 11 veces para alcanzar el valor del terminal ABC señalado en la segunda tabla. En caso de haberse considerado un poste S.O.S. (situación más desfavorable) bastaría con 2 veces. Repitiendo el ejercicio para un atenuador del tipo extrusor nos daría un resultado de 5 veces. Si nos detenemos en este aspecto, utilizar un dispositivo 5 u 11 veces más costoso respecto de lo convencional pareciera ser excesivo, pese a que éste puede presentar un costo de reparación menor, al no terminar destruido en su totalidad como sucede usualmente con los terminales de defensa actuales. Tal vez la verdadera economía puede presentarse a la hora del accidente en que vidas humanas se vean seriamente perjudicadas por un terminal de barrera que no haya tenido la capacidad de redireccionar o al menos contener el vehículo de manera apropiada. Por lo tanto se debe pensar además en costos propios del accidente, los daños morales y las responsabilidades.

Para el caso de un amortiguador de impacto no se realizará este ejercicio ya que no busca reemplazar los terminales por otros más eficientes, sino colocar a continuación de las defensas camineras dispositivos definitivamente más complejos. Por lo tanto los costos no son directamente comparables.

5.3.- Solución a los problemas señalados.

Queda claro de lo expuesto en la primera parte de este trabajo, que no existe una solución única para los distintos problemas que puedan presentarse, sin embargo, bajo la selección de los criterios de elección aceptados, se puede llegar a soluciones apropiadas, que en parte por sentido común, y con el respaldo de los principios de ingeniería, se ajustan a las necesidades de los problemas presentados.

Según las instituciones consultadas, Carabineros de Chile (Osorno, Paillaco, Valdivia, y Tenencia de Carretera de Pichirropulli), y Dirección de Vialidad (Osorno y Valdivia), no existen mayores accidentes de este tipo en el tramo de carreteras analizado, aunque nuestro país tampoco destaca por llevar muchos registros. No obstante, la evidencia en terreno nos muestra la existencia de huellas de accidentes que se asimilan con los perfiles en cuestión, así es que se entiende que al menos ocasionalmente éstos existen, y por lo tanto es recomendable que se tomen las medidas apropiadas.

Para los dos primeros puntos presentados, correspondientes a principios de curva a la izquierda, uno de ellos con presencia de deshielos invernales, recomiendo el uso de terminales comerciales, puesto que son más eficientes que los terminales de barrera actuales, además que las velocidades permitidas en sus tramos respectivos son mayores de 70 km/h (durante el reconocimiento no se observó

señalización que indique lo contrario). El uso de amortiguadores de impacto no lo aconsejo porque tampoco se vio una peligrosidad tan alta que amerite tomar tales medidas. Sólo se necesita mejorar lo existe, reemplazando dispositivos de funcionamiento algo incierto, por otros que respondan a nuestros requerimientos de manera adecuada. De los terminales presentados anteriormente me parece más apropiado el Terminal Atenuador del Tipo Extrusor, ya que, por las características ya mencionadas, es eficiente tanto lateral como frontalmente, y su calidad está probada por normativa norteamericana, que es la de mayor experiencia en el mundo. Como segunda opción dejaría el Terminal Europeo que es algo más nuevo y aún no hay muchas estadísticas de su comportamiento en terreno, el cual sin embargo, ha sido certificado para velocidades de hasta 110 Km/h, que es justamente lo más rápido que podemos conducir actualmente en Chile.

Respecto del punto identificado como “La Cuesta del Cero” que un camino absolutamente secundario como el empalme de Los Guindos, no pavimentado y en la cercanía de un cruce no necesitaría de barreras ni dispositivos amortiguadores de impacto especiales ya que la velocidad en que se debe conducir es menor evidentemente menor a 70km/h. lo cual depende directamente de la responsabilidad del conductor tras el volante. Se sugiere entonces, terminales tradicionales y una buena señalética. Sin embargo queda al criterio de las autoridades pertinentes, ver terminales más eficientes si observasen una frecuencia de accidentes considerable. Por otra parte, aunque no es el motivo central de esta tesis, cabe señalar que sería recomendable la creación de una tercera vía anexa a la derecha de la curva misma, para dar espacio de maniobrabilidad a los vehículos que circulan por ésta misma.

Por último, en lo que concierne al puente “Santo Domingo”, cabe decir que lo mejor sería evaluar la construcción de otro puente, ya que sugerir la implantación de

un dispositivo terminal no ayudaría a un vehículo que en el mejor de los casos se redireccionaría hacia una vía angosta y peligrosa. Por lo que cambiar el puente o hacer uno paralelo serían las mejores opciones.

A continuación en la Tabla 3 se resumen los puntos de conflicto y sus posibles soluciones.

Identificación	Problema	Solución Propuesta
Punto Km 911,5 Ruta 5 Sur.	Principio de curva a la izquierda	Uso de terminales comerciales
Punto Km 15 Ruta 207.	Principio de curva a la izquierda, deshielos invernales	Uso de terminales comerciales
Punto Km 21 Ruta 207 (Cuesta del Cero).	Empalme a la Ruta 207 por camino de ripio sinuoso	Terminales tradicionales, señalética.
Puente Santo Domingo.	Las vías se enangostan. Les precede salida de curva.	Construcción de otro puente

Tabla 3

Conclusiones

Se analizó la factibilidad de aplicación de amortiguadores de impacto y elementos terminales en el trayecto de Valdivia a Osorno. Como se señaló en un principio dicho camino está compuesto por dos tramos: uno entre Valdivia y Paillaco (Ruta 207), otro en a Ruta 5 Sur entre Paillaco y Osorno.

Para el caso de Paillaco a Osorno, no se observaron mayores peligros, ya que es un camino de doble vía y además poco sinuoso. Solamente se identificó el punto Km 911,5 Ruta 5 Sur, que presentaba un principio de curva a la izquierda, para el cual se recomienda el uso de terminales comerciales.

El tramo entre Paillaco y Valdivia, sí es un camino sinuoso, rodeado por abundante vegetación. El primer punto de peligro identificado corresponde al Km. 15 de la Ruta 207, un principio de curva a la izquierda, que además, producto de una corrida de árboles, sufre de deshielos invernales. Se recomienda también el uso de terminales comerciales. En el Punto Km. 21 Ruta 207 (Cuesta del Cero). Hay un empalme a la Ruta 207 por camino de ripio sinuoso, para ese caso sólo se recomienda el uso de terminales tradicionales, y una buena señalética. En el Puente Santo Domingo las vías se enangostan. Les precede salida de curva. Puesto que el ancho de las vías es reducido y existe tránsito de vehículos grandes, la mejor alternativa es la Construcción de otro puente.

(Continua)

Por todo lo aquí presentado se concluye entonces, que sí hay necesidad de aplicar éstas tecnologías en la zona en que vivimos, la única limitante sería eventualmente asumir el costo de éstas. Finalmente, para que estos dispositivos tengan la posibilidad de aplicarse, sería altamente recomendable incluirlos dentro del Manual de Carreteras, al menos para que en una primera etapa se considere su uso como una alternativa, y posteriormente realizar estudios de mayor extensión para establecer su obligatoriedad en los casos fuese necesario.

Bibliografía

- Dirección de Vialidad. 2001. Instructivo Sistemas de Contención Vial. Disponible en <http://www.vialidad.cl/seguridadvial>. Consultado en enero de 2007.
- Washington State Department Transportation 2005. Design Manual, Chapter 320. Disponible en: <http://www.wsdot.wa.gov/EESC/Design/DesignManual>. Consultado en febrero de 2007.
 - Franco Ángel. 2006. Física con Ordenador. Disponible en: http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/con_mlineal/cuna_newton. Consultado en diciembre de 2006.
 - Hierros y Aplanaciones S.A. 2007. Catálogo de Productos. Disponible en: <http://www.hiasa.com/index.aspx>. Consultado en marzo de 2007.
 - Signaline SA. 2007. Referenzen. Disponible en: <http://www.signaline.ch/de/referenzen>. Consultado en enero de 2007.
 - Trinity Highway Products.2007. Products. Disponible en: <http://www.highwayguardrail.com/products>. Consultado en enero de 2007.
 - Lecol Inc. (2007). Products (Crash Cushion Safety Systems). Disponible en <http://www.lecol.com/html/catalog>. Consultado en enero de 2007.
 - Energy Absorption Inc. Permanent Products. Disponible en: <http://www.energyabsorption.com/products>. Consultado en enero de 2007.
 - Barrier Systems Inc. (2007). Products & Services. Disponible en: <http://www.barriersystemsinc.com/product>
 - Speier Road Safety Solutions Ltda. (2007). Seguridad Vial en las Vías Concesionadas. Disponible en: http://www.conaset.cl/cms_conaset/archivos. Consultado en noviembre de 2007.