

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

## **1 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 en el diseño de dispositivos de terminales y amortiguadores de impacto en carreteras, analizaremos 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.

Desde sus comienzos, los amortiguadores de impacto mostraron ser un medio seguro y eficaz para proteger determinados objetos fijos fuera de la calzada y su uso, a lo largo de los últimos treinta años, redujo notablemente el número de accidentes con consecuencias fatales por ese tipo de choques.

Así como se observa con otros dispositivos de seguridad, los Amortiguadores de Impacto no evitan el accidente, pero reducen notablemente las consecuencias fatales que podrían llegar a tener.

La norma NCHRP 350 contiene los procedimientos recomendados para los ensayos y evaluación del comportamiento de distintos elementos de seguridad del camino; ésta norma fue publicada como Informe 350 por el Transportation Research Board de los Estados Unidos de América y contiene los procedimientos necesarios para conducir los ensayos de choque de vehículos y una evaluación en servicio de los distintos dispositivos de seguridad que se ensayan.

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.

No se pretende cubrir todos los aspectos relacionados con el tema, pero sí hacer una introducción de los amortiguadores de impacto como elementos de reducción de víctimas fatales en accidentes, analizar su funcionamiento, los requisitos que deben cumplir, donde deben ser utilizados y cuáles son los beneficios que su uso pueden traer a la Sociedad.

## **1.1 DISEÑO TEÓRICO**

### **1.1.1 Justificación**

En la actualidad el incremento del parque automotor en el país ha ocasionado un incremento en el volumen de tráfico en el tramo carretero Tarija - Falda la Queñua - San Lorencito. Por ser una vía del eje trocal de nuestro país, dando como consecuencia el incremento de los accidentes y la pérdida de vidas humanas. Por ello es que no solo importa que las carreteras tengan un buen diseño geométrico y estructural, que cumpla con todos los requerimientos técnicos de la ingeniería, sino que también deben proporcionar al usuario seguridad vial.

Para lograr una mayor seguridad vial en el tramo Tarija - Falda la Queñua - San Lorencito se deben profundizar los estudios e investigaciones sobre los elementos que permiten obtener una mayor seguridad vial en el tramo en cuestión e impulsar que en las construcciones de las carreteras se tomen en cuenta estos elementos que conseguirán en parte una mayor seguridad vial de las carreteras.

De varios elementos que deben disponerse en una carretera para lograr minimizar los accidentes y dar mayor seguridad a los vehículos y sus ocupantes tenemos a las terminales y amortiguadores de impacto que son elementos esenciales para que los impactos que se producen sean aminorados y sus consecuencias sean menos graves. Es importante analizar desde los tipos de elementos en terminales y amortiguadores de impacto, su disposición, sus características, su colocación y su mantenimiento como elementos esenciales en la carretera.

Particularmente en Tarija la concientización sobre la importancia de la seguridad vial aún es precaria, aun así, consideramos muy importante desde el punto de vista ingenieril introducir el análisis técnico de estos elementos para que las instituciones, consultoras y constructoras del área de las carreteras vayan introduciendo en sus proyectos la disposición de elementos de seguridad vial como son las terminales y amortiguadores de impacto.

Por esta concientización precaria obre seguridad vial en Tarija las soluciones que se proponen y que se implantan actualmente en las carreteras son variadas, y se basan en dos tendencias: bien recubrir los postes con cubiertas deformables para impedir el impacto directo contra las aristas cortantes, o bien situar por debajo del nivel de la valla elementos longitudinales que impidan que el vehículo franquee la barrera o choque contra el poste.

Sin embargo, no se ha alcanzado una solución, y la variedad de propuestas existentes hace necesario un estudio que permita valorar y comparar los distintos sistemas.

Este hecho, unido a las normativas vigentes sobre sistemas de contención de vehículos que no contempla en modo alguno los sistemas de seguridad para los usuarios de las carreteras, y a la escasez de información disponible acerca de la interacción entre barreras y vehículos motiva el que se plantee como prioritario el iniciar una línea de investigación que aborde esta grave problemática.

Significará un aporte académico importante porque su estudio es muy vago en las materias de ingeniería civil por lo que se hace muy necesario de profundizar para que el trabajo de “DISEÑO FINAL DE DISPOSITIVOS DE TERMINALES DE BARRERA Y AMORTIGUADORES DE IMPACTO EN TRAMO TARIJA - FALDA LA QUEÑUA - SAN LORENCITO” resulte un documento de consulta para futuros trabajos en nuestro medio.

## **1.1.2 Planteamiento del problema**

### **1.1.2.1 Situación problemática**

De acuerdo con las estadísticas nacionales en Bolivia, los eventos conocidos como “accidentes por salida de la vía” son aquellos accidentes viales que se producen cuando un vehículo se sale de la superficie de circulación de la carretera y colisiona con algún objeto fijo, vuelca o atropella a un tercero en el margen de la carretera y por ello producen más del 30% de las muertes en carretera.

En Bolivia el índice de muertes causados por accidentes de tránsito se elevó preocupantemente en los últimos años, informó el jefe del centro de investigación y capacitación en seguridad vial de la Universidad Policial

Según los informes estadísticos del Comando General de Bolivia hasta el 2013, el departamento de La Paz es el que tiene el mayor índice de personas fallecidas, con 406 muertos y 4.971 heridos en 11.670 casos, seguido por Santa Cruz, con 198 muertos y 3.134 heridos en 7.070 hechos, y Cochabamba, con 223 muertos y 2.157 heridos en 2.869 accidentes.

Con cifras más bajas figuran los departamentos de Oruro, con 138 muertes y 745 heridos en 1.431 hechos; Potosí, con 103 víctimas fatales y 503 heridos en 1.229 accidentes; Chuquisaca, con 52 fallecidos y 559 heridos; Tarija registró 51 muertos y 841 heridos en 2.381 hechos, mientras que el Beni contabilizó 47 muertes y 630 heridos en 1.082 casos. Finalmente, en el departamento de Pando 12 personas murieron y 123 personas resultaron heridas en 263 accidentes de tránsito.

Las colisiones en las vías de tránsito es la segunda, de las principales causas de muerte en Bolivia y a nivel mundial. Esas colisiones dejan cada año un saldo de 1,2 millones de muertos y de hasta 50 millones más de personas heridas o discapacitadas.

A su vez, la Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que las colisiones en las vías de tránsito en Bolivia y el mundo cuestan 518 mil millones de dólares a nivel mundial en material, salud y otros conceptos, y resaltan que la mayoría de las colisiones fatales son predecibles, y prevenibles.

Por esta razón, que la necesidad de mejorar y acondicionar los márgenes de la red de carreteras en Tarija es una prioridad para la seguridad vial de los vehículos que circulan por nuestro medio, tomando estas medidas que será muy efectivas en la reducción de las víctimas de los accidentes de tránsito. Para realizar esta labor adecuadamente es necesario contar con criterios técnicos fundamentados y uniformes.

Para reducir la frecuencia y gravedad de los accidentes viales en la ciudad de Tarija se necesita un conjunto de soluciones destinadas a maximizar la rentabilidad de los fondos disponibles. La evolución de los esfuerzos por la seguridad vial se puede caracterizar en tres etapas que son: Campo, Acción y Prioridad.

#### **1.1.2.2 Problema**

¿Será que la evaluación de disposición de dispositivos terminales y amortiguadores de impacto en el tramo Tarija - Falda la Queñua - San Lorencito cumple con los requerimientos técnicos de seguridad vial en nuestro país?

## **1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.2.1 Objetivo general**

Evaluar la disposición de dispositivos; barreras de contención, terminales de barrera y amortiguadores de impacto en tramo Tarija - Falda la Queñua - San Lorencito cumpliendo con los criterios técnicos de seguridad vial distribuidos y necesarios de acuerdo a normativa.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- ❖ Evaluar la aplicación de dispositivos de seguridad vial, más propiamente, terminales de barrera y amortiguadores de impacto.
- ❖ Definir los requerimientos que deben cumplir los sistemas de contención vehicular que se utilicen en nuestro país.
- ❖ Realizar un estudio de tráfico en el tramo establecido en este proyecto. Trayectoria Tarija – Falda la Queñua – San Lorencito.
- ❖ Establecer una metodología básica de implementación de dispositivos de seguridad, terminales de barrera y amortiguadores de impacto.
- ❖ Analizar de forma general los componentes de seguridad evaluados en este proyecto.

### **1.2.3 Hipótesis**

El nivel de seguridad vial en una carretera está definido por el nivel de contención de las barreras, terminales y amortiguadores de impacto. Ya que estos elementos son los que brindan directamente la seguridad en la vía. Estos elementos están definidos en base a las características de diseño del tramo, topografía del a zona, el comportamiento del tránsito y los antecedentes de siniestros en la vía.

En base a la información disponible de las vías de la red nacional (Bolivia) y las características topográficas de la zona de estudio. Y realizando un estudio de tráfico, se establecerá un rediseño de la contención vehicular en el tramo en estudio.

Se hará un levantamiento de los elementos dispuestos en el tramo en estudio actuales, más los obtenidos a partir del rediseño se realizará un análisis comparativo. Estableciendo un precedente de la importancia que le dan a la contención vehicular a momento del diseño de carreteras en Bolivia.

### **1.3 ALCANCE**

El alcance de esta investigación considera la viabilidad técnica de la disposición de terminales de barrera y amortiguadores de impacto en el tramo carretero Tarija-Falda la Queñua-San Lorencito. Esta investigación también que los estudios preliminares realizar en los puntos críticos serán de gran ayuda para poder realizar un diseño adecuado según las necesidades viales.

En la Aplicación Práctica se realizará la disposición de dispositivos terminales y amortiguadores de impacto del tramo de Falda la Queñua del Departamento de Tarija cuyas características tengan relación con el alto riesgo en cuanto su seguridad vial en las cuales se requieren de elementos que resguarden a los vehículos para que los accidentes tanto en número como en severidad sean menores.

En el segundo capítulo se abarcará todo lo concerniente a los antecedentes que contemplan los trabajos relacionados o similares realizados anteriormente, los objetivos que se quieren alcázar con la disposición de terminales de barrera y amortiguadores de impacto en el tramo carretero Tarija - Falda la Queñua - San Lorencito, las justificaciones pertinentes por las cuales se está realizando esta disposición como también la metodología a seguir para completar nuestro diseño.

El capítulo tercero abarcaremos la parte ingenieril del proyecto realizando estudios de tráfico en el tramo carretero Tarija - Falda la Queñua - San Lorencito , identificando los volúmenes de tráfico a nivel diario y anual , como también el volumen de tráfico horario, también se identificarán las zonas peligrosas en el tramo carretero Tarija-Falda la Queñua-San Lorencito , aplicando métodos de identificaciones de zonas peligrosas basadas en normativa, diseño de las barreras teniendo en cuenta su ubicación, el ancho de trabajo, su disposición en tramo carretero de falda la Queñua y las terminales de barrera que está en función del nivel de seguridad que se requiere en el tramos de falda la Queñua que estarán basándose en los

estudios preliminares y el la normativa de seguridad vial, una vez realizado el diseño se pretende establece el costo total de las barreras, terminales de barreras y amortiguadores de impacto. Después se pretende establecer las especificaciones técnicas de las barreras, terminales de barreras y amortiguadores de impacto y como punto final del capítulo se pretende presentar algunos planos tipo de las barreras, terminales de barreras y amortiguadores de impacto

En el capítulo cuarto se establecerán conclusiones y recomendaciones a partir de la realización de la aplicaron practica en los tramos de estudio.

## **1.4 PROCEDIMIENTO DEL ANÁLISIS Y EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

### **1.4.1 Definición de variables independientes y dependientes**

#### **1.4.1.1 Variable independiente**

V1: Cantidad y pérdidas de los accidentes de tráfico en carretera

V2: Comportamiento del tráfico vehicular en el tramo

V3: Características topográficas de la zona

#### **1.4.1.2 Variable dependiente**

V4: Clasificación del nivel de gravedad de los accidentes

V5: Transporte promedio diario

V6: Tipo de barrera de contención, terminales de barrera y amortiguadores de impacto

### **1.4.2 Unidad de estudio**

La unidad de estudio de la presente investigación es: Evaluación de disposición de dispositivos de terminales de barrera y amortiguadores de impacto en el tramo Tarija – Falda la Queñua – San Lorencito

La seguridad vial implica muchos elementos, no solo los que comúnmente se asocia a la seguridad, unos elementos fundamentales para la seguridad vial en las carreteras es la contención vehicular, que se compone por tres elementos; barrera de contención, terminales de barrera y amortiguadores de impacto. Estos elementos se disponen de acuerdo a las



características de la transitabilidad de la carretera en cuestión, gravedad de los accidentes y características topográficas de la zona donde está emplazada la carretera, ya que estos elementos son fundamentales en la seguridad vial para rendir mejor su nivel de servicio.

#### **1.4.2.1 Población**

Las características generales de la carrera y sus condiciones; comportamiento del tráfico vehicular, características topográficas de la zona, diseño geométrico del tramo, accidentabilidad y elementos de pérdidas (económicas, humanas).

#### **1.4.2.2 Muestra**

Transporte promedio diario (TPD), gravedad de los accidentes, velocidad de diseño del tramo de carretera.

### **1.4.3 Métodos y técnicas empleadas**

Método Teórico - Empírico: Es teórico porque se realizará un análisis y una síntesis de la investigación basada en toda la bibliografía encontrada, y en los datos de campo que serán analizados para luego ser depurados y así llegar a un resultado.

Porque se realizarán observaciones y mediciones dentro del trabajo de campo, mediante el cual se encontrarán los datos necesarios para la realización de este proyecto, sin embargo, no se realizará experimentación.

Para lo cual los instrumentos requeridos son los siguientes:

Ordenador o computadora.

Planillas de aforos.

Calculadora.

Cinta métrica.

Flexómetro.

El presente trabajo estará primeramente orientado a recopilar toda la información que fuese necesaria para tener toda la bibliografía y poder realizar un análisis.

Este proyecto se divide en dos fases; fase de investigación y fase de gabinete.

Fase de investigación: Se hará una investigación de toda la información necesaria para la elaboración del proyecto.

Para la investigación de este proyecto

Para trabajo se procederá a realizar un análisis de datos aplicando la estadística descriptiva para cada variable, cuya la primera tarea es describir los datos, valores o puntuaciones obtenidas para cada variable involucrada en esta investigación con el fin de concluir de manera satisfactoria.

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO:**  
**DISPOSITIVOS DE**  
**CONTENCIÓN VEHICULAR**

## **2 MARCO TEÓRICO: DISPOSITIVOS DE CONTENCIÓN VEHICULAR**

### **2.1 SEGURIDAD VIAL**

Cualquier acción que tienda a reducir los accidentes de tránsito resulta ser una acción multifacética que debe incluir: una mejora en las características de la seguridad de los caminos (señalización, diseños de carreteras, calidad de las rutas, etc.), educación y capacitación de los conductores, seguridad en vehículos, contralor y sanciones estándares y campañas públicas. En consecuencia, el abordaje de esta problemática deberá estar a cargo de equipos profesionales y técnicos pluridisciplinarios.

La seguridad vial es una actividad multidisciplinaria, es por ello que la elaboración, implementación y seguimiento de un Programa de acción, requiere no sólo la consideración integral del problema sino también un marco de organicidad y participación conjunta del Estado, las Organizaciones no Gubernamentales, los sectores manufactureros del transporte, los operadores del mismo y los medios de comunicación, de forma tal de atacar el problema con una estrategia común, evitando el despilfarro de esfuerzos personales y medios materiales. La Educación Vial constituye por sí misma el punto de partida de un proceso de concientización de la población que comienza desde su desarrollo intelectual, creando paulatinamente las condiciones para una mejora progresiva de las conductas en el tránsito, y coadyuva a mitigar los graves problemas que se observan en los conductores y peatones por falta, entre otras cosas, de respeto a las normas. El proceso educativo que se pueda llevar a cabo en la escuela primaria, secundaria y también universitaria contribuirá a una toma de conciencia del significado y consecuencias de esas inconductas y de la responsabilidad que cada uno de nosotros debe asumir para consigo mismo, y sus semejantes.

#### **2.1.1 Definición**

La seguridad vial significa adoptar medidas más adecuadas para paliar o eliminar los problemas de inseguridad vial en carreteras y calles identificando los factores de riesgo que influyen en que se sufra un accidente como ser: velocidad excesiva, ingestión de alcohol, defectos de diseño trazado y mantenimiento de la vía pública, falta de visibilidad, etc.

## **2.2 TERMINALES Y AMORTIGUADORES DE IMPACTO**

### **2.2.1 Conceptos y definiciones**

#### **2.2.1.1 Seguridad vial**

La seguridad vial consiste en la prevención de accidentes de tránsito o la minimización de sus efectos, especialmente para la vida y la salud de las personas, cuando tuviera lugar un hecho no deseado de tránsito, también se refiere a las tecnologías empleadas para dicho fin en cualquier medio de desplazamiento terrestre.

Las normas reguladoras de tránsito y la responsabilidad de los usuarios de la vía pública componen el principal punto de seguridad vial, Sin una organización por parte del estado, con el apoyo de reglamentaciones para el tránsito y sin la moderación de las conductas humanas (educación vial), particulares o colectivas, no es posible lograr un óptimo resultado.

#### **2.2.1.2 Dispositivos de contención vial**

Barreras de seguridad

Figura Nro. 1 Barreras de seguridad



Fuente: <http://www.lorenzini.cl/seguridad-vial/sistemas-de-contencion-vial.php>

Comprenden las barreras longitudinales laterales y centrales y, las barreras o pretiles de puentes y viaductos.

## Terminales de barrera

Figura Nro. 2 Terminales de barrera



Fuente: <http://www.lorenzini.cl/seguridad-vial/sistemas-de-contencion-vial.php>

Involucran los elementos terminales de una barrera longitudinal, no catalogados como amortiguador de impacto.

## Amortiguadores de impacto

Figura Nro. 3 Amortiguadores de impacto



Fuente: <http://www.lorenzini.cl/seguridad-vial/sistemas-de-contencion-vial.php>

Comprenden los sistemas amortiguadores de impacto frontales, con o sin capacidad de re direccionamiento.

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.

## 2.2.2 Principios físicos

### 2.2.2.1 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 ( $E_c$ ) se define de la siguiente forma:

$$E_c = \frac{1}{2} m * v^2$$

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:

$$E_c = w$$

Donde:

w = Trabajo.

Los amortiguadores de impacto son 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.

### 2.2.2.2 Conservación de la energía (momentum)

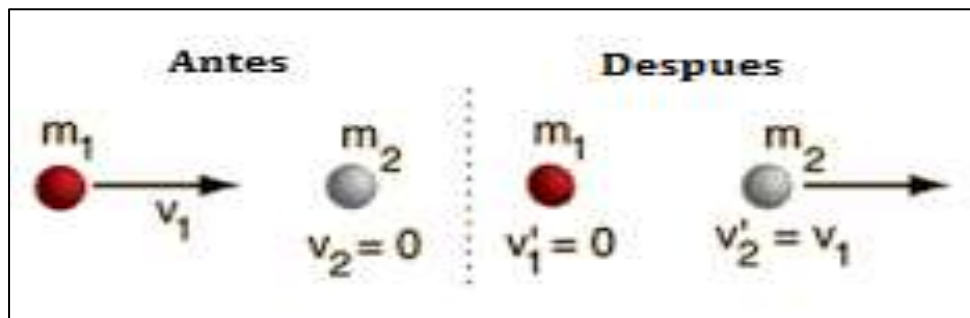
Otra clase de amortiguadores de impacto han sido diseñados utilizando otro principio básico de la física, el principio de la conservación del momento lineal. El momento lineal que se genera en un vehículo en movimiento es igual al producto de la masa por la velocidad del mismo:

$$\text{Momento} = \text{masa} * \text{velocidad}$$

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.

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 Nro. 4 Conservación de la energía



Fuente: <http://www.materialessantoto.blogspot.es>

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.



### 2.2.3 Normativas

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.

En su “Instructivo de Sistemas de Contención Vial”, existen seis niveles de prueba en el Reporte 350 que son también 6 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:

Terminales y amortiguadores de impacto con re direccionamiento.

Amortiguadores de impacto sin re direccionamiento.

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 re direccionar en forma predecible y aceptable las condiciones de impacto especificadas. La evaluación del riesgo de los ocupantes está 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.

## **2.3 TIPOS DE TERMINALES DE BARRERA Y AMORTIGUADORES DE IMPACTO**

### **2.3.1 Terminales de barrera**

#### **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. 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 ha 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.

### **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 siguiente 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 Nro. 5 Terminales abatidos para barreras rígidas



Fuente:<http://www.prefabricadosalberdi.com/alberdi/dm/>

### **Terminal esviado y anclado**

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. 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. Prácticamente todas las barreras instaladas de esta manera pueden re direccionar 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 re direccionamiento y evitar que el vehículo penetre por debajo de la barrera. Más 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 semirrígidas, 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 (22,4Tf), para prevenir que la barrera se separe del talud y permita la penetración de un vehículo liviano.

Figura Nro. 6 Terminal esviado y anclado



Fuente: <http://www.materialessantoto.blogspot.es>

### **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.

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 Nro. 7 Terminal atenuador del tipo estructor



Fuente: <http://www.materialessantoto.blogspot.es>

### **Terminal europea ABC**

Este terminal, inventado en Europa, ha sido ensayado de acuerdo a la norma europea 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 hincan en el suelo, y, una de menor sección inserta en la primera, afirmada con un pasador. Al ser el cabezal impactado frontalmente, la fuerza del impacto se traspa a los postes cortando secuencialmente los pasadores y la viga doble onda, la cual posee dos líneas de ranuras, que van colapsando cuando los segmentos de viga se desplazan, generando de esta forma la disipación de energía. Cualquier impacto lateral es resistido por los postes y por la tracción de la viga.

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

Figura Nro. 8 Terminal europea ABC



Fuente: <http://www.materialessantoto.blogspot.es>

### **Terminal de módulo de extensión de impacto dinámico**

El sistema módulo 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.

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.

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 Nro. 9 Terminal de extensión de impacto dinámico



Fuente: <http://www.materialessantoto.blogspot.es>

### **2.3.2 Amortiguadores de impacto**

#### **2.3.2.1 Amortiguadores de impacto re direccionables**

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

#### **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.

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 re direccionados 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.

Figura Nro. 10 Amortiguador de impacto sistema great



Fuente: <http://www.materialessantoto.blogspot.es>

### **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 Nro. 11 Amortiguador de impacto sistema quadguard



Fuente: <http://www.materialessantoto.blogspot.es>

### **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.

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 re direccionamiento 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 Nro. 12 Atenuador de bajo mantenimiento (LMA)



Fuente: <http://www.materialessantoto.blogspot.es>

### **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.

Figura Nro. 13 Amortiguador de impactos sistema REACT 350



Fuente: <http://www.materialessantoto.blogspot.es>

### **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.

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 re direccionado 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.

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 Nro. 14 Amortiguador de impactos sistema TRACC



Fuente: <http://www.signovial.pe/amortiguador-de-impacto-x-tenuator/>

### 2.3.2.2 Amortiguadores de impacto no redireccionable

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

#### **Sistema ABSORB 350.**

ABSORB 350 es un sistema no re direccionable, 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 está lleno de líquido. El sistema es fácil de instalar y restaurar luego de un impacto.

Figura Nro. 15 Amortiguador de impacto sistema ABSORB



Fuente: <http://www.materialessantoto.blogspot.es>

### **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

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 módulo 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.

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.

Figura Nro. 16 Amortiguador de impacto de tambores con arena



Fuente: <http://www.materialessantoto.blogspot.es>

## 2.4 CRITERIOS DE SELECCIÓN

### 2.4.1 Recomendaciones generales

Antes de entrar a ver los criterios de Selección de Terminales y de Amortiguadores de Impacto recomendados para cualquier ruta, 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.

#### **2.4.2 Factores que se consideran en la selección de barreras**

El proceso de selección de una barrera de contención vehicular es complicado debido a las diferentes situaciones que se encuentran en los márgenes de las vías y las múltiples opciones de sistemas disponibles en el mercado.

Se debe enfatizar que la mejor opción es aquella que brinda el nivel de protección requerido al menor costo durante un determinado período.

Instalar una barrera de seguridad o cualquier otro sistema de contención vehicular debe considerarse como última opción. Siempre se debe analizar la viabilidad técnica y económica de otras opciones que incluyen la eliminación, modificación o mitigación del peligro potencial.



De no ser factible la solución del problema de seguridad existente en los márgenes de una carretera mediante la eliminación o modificación del peligro existente, y sea necesario instalar una barrera de seguridad, la elección del sistema debe basarse en criterios técnicos objetivos y oficialmente establecidos.

Los siguientes factores se deben considerar antes de hacer una selección definitiva del sistema de contención vehicular:

Nivel de contención.

Deflexión de la barrera.

Condiciones del sitio.

Compatibilidad.

Costos de instalación y mantenimiento.

Estética.

Condiciones ambientales.

Historial de desempeño del sistema.

Cada uno de éstos factores se describen a continuación.

#### **2.4.2.1 Nivel de contención**

La barrera de seguridad debe poseer la capacidad estructural para contener y redireccionar el vehículo de diseño de manera segura. Si la prioridad es proteger los vehículos de pasajeros, un sistema de contención estándar, desarrollado para impactos de baja severidad con automóviles y camiones livianos será seleccionado normalmente. Si la vía presenta deficiencias en el diseño geométrico, altas velocidades de circulación, elevados volúmenes de tránsito o un volumen significativo de vehículos pesados puede ser necesario instalar un sistema de alta contención o reforzar los sistemas semi-rígidos. En especial, se deben analizar aquellos casos en que terceros pueden resultar afectados si la barrera es franqueada por un vehículo, por ejemplo, los niños que juegan en un parque cercano a la vía. En el capítulo 3 de este manual se brinda una guía para seleccionar el nivel de contención de la barrera de seguridad de acuerdo al nivel de riesgo, el volumen y composición del tránsito vehicular y la velocidad de diseño.

#### **2.4.2.2 Deflexión de la barrera**

Una vez que se ha determinado el nivel de contención requerido, la deflexión del sistema es un criterio que toma relevancia y puede dictar el tipo de barrera que se seleccione. Un principio general que debe aplicarse es colocar la barrera más flexible posible, siempre que se cumplan con los criterios dados por las normativas vigentes y las especificaciones del fabricante, ya que la severidad del impacto será menor, causando menores daños físicos a los ocupantes del vehículo.

Si el obstáculo se ubica muy cerca de la vía, probablemente la mejor opción es colocar un sistema semi-rígido o rígido. Los sistemas semi-rígidos pueden ser reforzados en un tramo específico donde se ubique un obstáculo muy cercano a la barrera, si se reduce la distancia entre los postes o se utiliza una viga doble o anidada. Algunos dispositivos flexibles también pueden ser reforzados si se reduce el espacio entre los postes, como los sistemas de cables. Se debe comprobar en todos los casos que el suelo pueda resistir las cargas laterales impuestas durante el impacto.

Si el obstáculo se ubica muy cerca de la barrera y es un elemento que supera la altura de la misma, como pilas de puentes o columnas de edificios, se debe considerar la posibilidad de que los camiones y buses se inclinen sobre la barrera e impacten la estructura, situación que por ejemplo podría provocar una tragedia mayor debido al colapso del soporte. En ese caso, se debe disponer una distancia mayor al ancho de trabajo entre el peligro y la barrera de seguridad, o incrementar la altura de la barrera para minimizar la inclinación del vehículo durante el impacto (si se trata barreras hechas de concreto).

#### **2.4.2.3 Condiciones del sitio**

En general, la pendiente de aproximación a la barrera de seguridad no debe ser mayor a 1V:10H para asegurar el adecuado funcionamiento del dispositivo durante el impacto. Si la pendiente del terreno es mayor a 1V:10H, el centro de gravedad del vehículo puede desviarse de su posición normal, lo que puede provocar que el vehículo traspase el dispositivo de seguridad, se vuelque o sea enganchado por un poste. Algunos sistemas flexibles pueden colocarse en terrenos con pendientes de hasta 1V:6H, sin embargo, se deben revisar las especificaciones técnicas del fabricante para garantizar que esta configuración es adecuada.

La cimentación y el suelo son una parte integral del sistema de contención vehicular, se debe revisar detalladamente las condiciones bajo las que se realizaron los ensayos a escala real y las recomendaciones de instalación de los fabricantes para garantizar el adecuado comportamiento del dispositivo de seguridad en campo.

En los planos y especificaciones técnicas del fabricante se define cuál es el tipo de suelo requerido para la cimentación del sistema, los parámetros que lo caracterizan, los ensayos que deben efectuarse para medir la resistencia del suelo y las normativas de referencia.

El Contratista del proyecto o Administrador de la carretera debe garantizar que la resistencia del suelo donde será instalado el sistema de contención vehicular sea suficiente para que el sistema tenga un comportamiento similar al que presentó el prototipo ensayado exitosamente bajo la norma EN 1317 o NCHRP Reporte 350 o las normativas que las sustituyan.

#### **2.4.2.4** Compatibilidad

Una recomendación frecuentemente practicada por las agencias de administración de carreteras, es utilizar una reducida variedad de sistemas de contención vehicular debido a las siguientes ventajas:

Los sistemas de contención vehicular en uso, que han demostrado su efectividad y confiabilidad a través de los años y se han instalado conforme a las especificaciones técnicas del fabricante y las normativas vigentes, deberían seguir siendo utilizados por las agencias administradoras de carreteras, ya que los registros históricos son las mejores pruebas que pueden respaldar la efectividad de un determinado modelo.

Se facilita el manejo de inventarios, ya que solamente se requiere adquirir unas cuantas piezas diferentes.

El personal de construcción y mantenimiento puede especializarse en la instalación o reparación de los sistemas más utilizados.

Los terminales y transiciones pueden estandarizarse para situaciones normales.

#### **2.4.2.5 Costos de instalación y mantenimiento**

Los costos de instalación y mantenimiento son factores de peso en la selección de un determinado sistema. Los sistemas de alta contención generalmente tienen un alto costo de instalación, sin embargo, los costos de mantenimiento son menores.

Se consideran los siguientes costos de mantenimiento:

**Mantenimiento rutinario:** Los costos de mantenimiento rutinario son mínimos e incluyen los costos de las operaciones de limpieza y pintura. Éstos son prácticamente iguales para cualquier tipo de barrera de seguridad.

**Reparación:** La mayoría de los costos de mantenimiento se deben a los daños que sufre la barrera durante el impacto. En zonas de alto tránsito, donde las colisiones con la barrera son frecuentes, los costos de reparación son un aspecto importante que puede imperar sobre otros criterios, por ejemplo, en las autopistas urbanas, donde no se pueden realizar labores de reparación sin interrumpir el tránsito en los carriles adyacentes, es preferido instalar una barrera rígida de concreto, que prácticamente no sufre ningún daño durante el choque.

**Materiales y almacenamiento de piezas:** Se debe determinar la disponibilidad de las piezas para su reemplazo en un futuro y cuáles son los requerimientos de almacenamiento.

Los diseños simples son más fáciles de instalar y reparar, además los trabajadores pueden ser capacitados más rápidamente para realizar esas tareas.

#### **2.4.2.6 Estética**

En la mayoría de los casos, este factor no rige la selección del sistema, sin embargo, en algunas áreas turísticas o reservas naturales se prefiere colocar barreras rústicas o de apariencia natural, que contribuyan a la belleza escénica de la zona.

#### **2.4.2.7 Condiciones ambientales**

Las barreras de contención forman parte de la infraestructura vial y por lo tanto deben ajustarse a las condiciones ambientales presentes en la zona. Por ejemplo: las barreras no deben obstaculizar la visibilidad de los conductores que se aproximan a una intersección desde una vía secundaria.

#### **2.4.2.8 Historial de desempeño del sistema**

El desempeño de la barrera durante su vida útil y los costos de instalación y reparación deben ser monitoreados y registrados por la agencia administradora de la carretera, ya que estos datos son necesarios para realizar una adecuada gestión de la infraestructura vial. Los ingenieros encargados de la selección, diseño y construcción de las barreras de seguridad también deben tener acceso a estos datos para realizar la mejor elección. Si un tipo de sistema se ha desempeñado satisfactoriamente durante su vida útil y los costos de mantenimiento no son excesivamente altos, no existe ninguna razón para que se sustituya por otro, del cual no se posee pruebas o documentación histórica que respalde su confiabilidad.

Se debe enfatizar que las pruebas de impacto a escala real son un medio para verificar el óptimo desempeño de una barrera en servicio, por lo que resulta necesario replicar en campo las condiciones de instalación de la barrera durante el ensayo. Se requiere aplicar de manera consistente los criterios establecidos en las normativas, estándares y especificaciones de los fabricantes. Sin embargo, el rendimiento de las barreras y otros productos debe ser monitoreado en campo para verificar su adecuado funcionamiento.

### **2.4.3 Criterios generales para la disposición de las barreras**

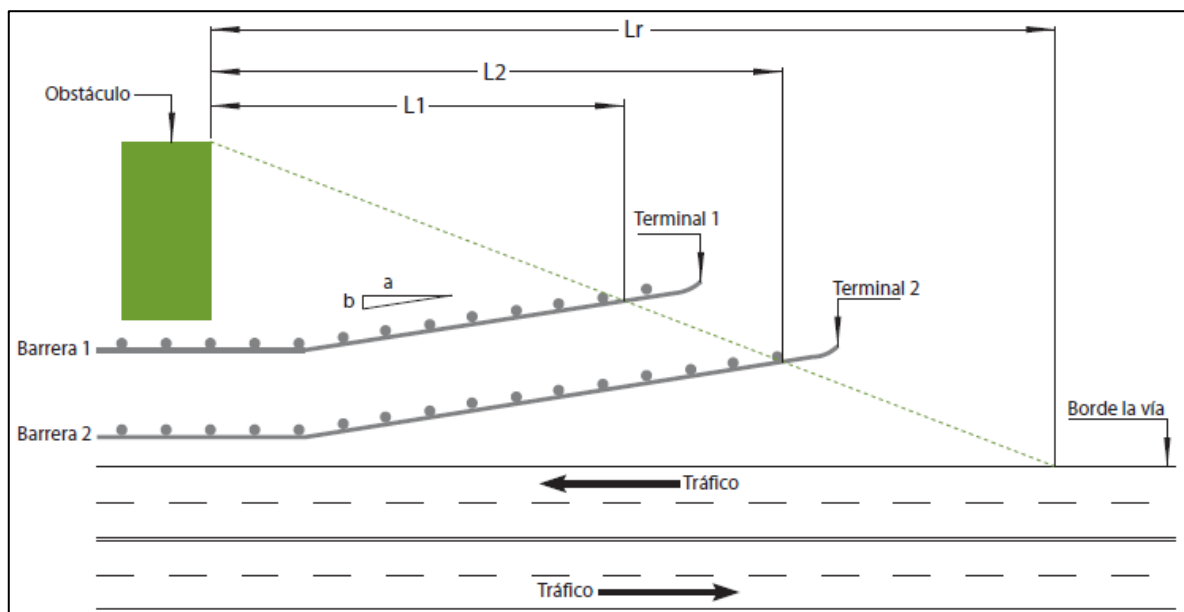
#### **2.4.3.1 Alineación lateral**

Se hace énfasis en que las barreras de contención vehicular se coloquen a la mayor distancia posible desde el borde de la vía, debido a que un alto porcentaje de los conductores pueden detener el vehículo o recuperar el control del mismo en un área libre de obstáculos y plana que se extienda frente a la barrera de seguridad, de ésta manera se maximizan las probabilidades de evitar una colisión con el sistema. Por otra parte, se reduce la longitud de la barrera si ésta se coloca cerca del obstáculo, tal y como se observa en la Figura II-9. Sin embargo, si la separación entre la vía y el sistema de contención es muy amplia, aumenta la posibilidad de que los ángulos de impacto sean mayores, consecuentemente se incrementa la severidad del impacto debido a que el desempeño de la barrera no es el más adecuado y además el vehículo podría traspasar o arrancar el sistema dando lugar a un accidente de consecuencias muy graves.

La distancia a partir de la cual un objeto ubicado en el margen de la vía no es percibido como un obstáculo que induciría al conductor a reducir la velocidad o cambiar la posición del

vehículo en la calzada se define como distancia de preocupación (“shy line offset”). De ser posible, se recomienda que las barreras de seguridad se coloquen a una distancia mínima igual a la distancia de preocupación, medida desde el borde externo del carril de circulación. Sin embargo, la distancia de preocupación es un criterio que pocas veces rige la colocación de una barrera de seguridad, ya que, si ésta se coloca más allá del espaldón, no tendrá un impacto importante en la velocidad de circulación o la posición del vehículo en la calzada.

Figura Nro. 17 Relación entre la disposición transversal de la barrera



NOTA:

- L1 Longitud de la sección anterior al obstáculo para la “Barrera 1”. La longitud L1 no incluye la longitud del terminal.
- L2 es la longitud de la sección anterior al obstáculo para la “Barrera 2”. La longitud L2 no incluye la longitud del terminal.
- $L2 > L1$
- Lr se mide paralela a la vía, desde el punto de inicio de la zona peligrosa hasta el punto donde se supone que el vehículo sale de la calzada. En el Capítulo 3 se explica detalladamente como calcular la longitud necesaria de una barrera de seguridad a partir de Lr.

Fuente: Manual SCV «Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras» 2011 – Universidad de Costa Rica

Se sugiere que se mantenga una zona libre uniforme entre el tráfico y los elementos ubicados en los márgenes de las vías (como parapetos, barreras de seguridad, muros de retención, barandas de puentes y otros). La razón es que un alineamiento uniforme realza la seguridad de la vía, ya que se reduce la preocupación y la reacción del conductor ante los objetos ubicados en los márgenes. Si se trata de la instalación de una barrera corta y aislada, si se debe respetar la distancia de preocupación recomendada para evitar una reacción súbita del conductor ante tal elemento. Nunca se debe instalar un dispositivo de seguridad a menos de 0,5 m del borde de la vía.

Las barreras de contención deben instalarse fuera del espaldón para mantener constante el ancho de la calzada a lo largo del tramo de vía. En este punto, se requiere contemplar los proyectos de ampliación y mejoramiento de las vías (como construcción de espaldones), para evitar que la barrera tenga que ser reubicada en un corto plazo.

Donde se coloque un tramo de barrera significativamente extenso es necesario proveer un espaldón adecuado, de 3,0 m de ancho aproximadamente, que permita abrir las puertas de un vehículo estacionado al margen de la vía, sin interrumpir el tránsito en el carril adyacente. Si el espacio es limitado y no es esencial brindar un espaldón amplio para los vehículos que sufren una emergencia o desperfecto mecánico, se puede proveer un espaldón más estrecho, siempre que se consideren las distancias de preocupación.

Si el obstáculo se ubica lejos del borde de la vía, es preferible instalar una barrera flexible, ya que ésta impone las menores fuerzas de impacto a los ocupantes del vehículo debido a que la barrera absorbe más energía del impacto y experimenta una mayor deformación. Si el obstáculo está ubicado cerca de la carretera, no queda otra opción que colocar una barrera rígida o semi-rígida. La mayoría de los sistemas de contención semi-rígidos se pueden reforzar para proteger un objeto fijo aislado ubicado cerca de la vía, por medio de la colocación de postes adicionales o el refuerzo de la viga. Si alguno de estos procedimientos se aplica se debe verificar que el suelo pueda proveer un adecuado anclaje al sistema.

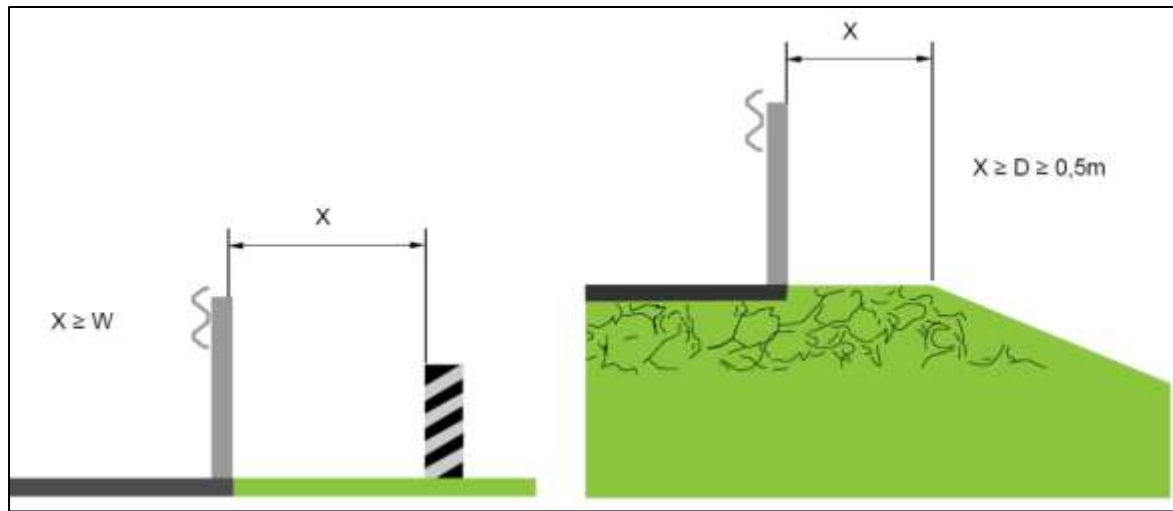
La deformación de la barrera de contención debido a un impacto, es un factor crítico en la selección del tipo de barrera y su disposición en el campo, especialmente si el peligro que se requiere proteger es un objeto rígido. La distancia entre la barrera y el obstáculo debe ser tal, que el vehículo no quede enganchado. También es importante resaltar que los vehículos que poseen un centro de gravedad relativamente alto, pueden inclinarse sobre la barrera y golpear el objeto, por lo que en algunos casos se requiere disponer una distancia mayor a la deflexión dinámica máxima de la barrera, la cual se denomina ancho de trabajo.

Los siguientes criterios establecen las distancias mínimas entre la barrera de seguridad y el tipo de obstáculo (Ver Figura 20):

La distancia entre un objeto rígido y la barrera de seguridad debe ser mayor o igual al ancho de trabajo (W) del sistema.

La distancia entre la barrera de seguridad y un talud crítico, desnivel o cuerpo de agua debe ser mayor o igual a la deflexión dinámica del sistema (D). Se debe comprobar que el suelo provea un adecuado soporte a los postes de la barrera, por lo tanto, se deben revisar aspectos como la pendiente del talud, el tipo de suelo, las condiciones de impacto esperadas, la sección transversal de los postes y la profundidad de cimentación.

Figura Nro. 18 Ubicación de la barrera con respecto a los obstáculos



Fuente: Manual SCV «Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras» 2011 – Universidad de Costa Rica

#### 2.4.3.2 Disposición en altura de las barreras de contención

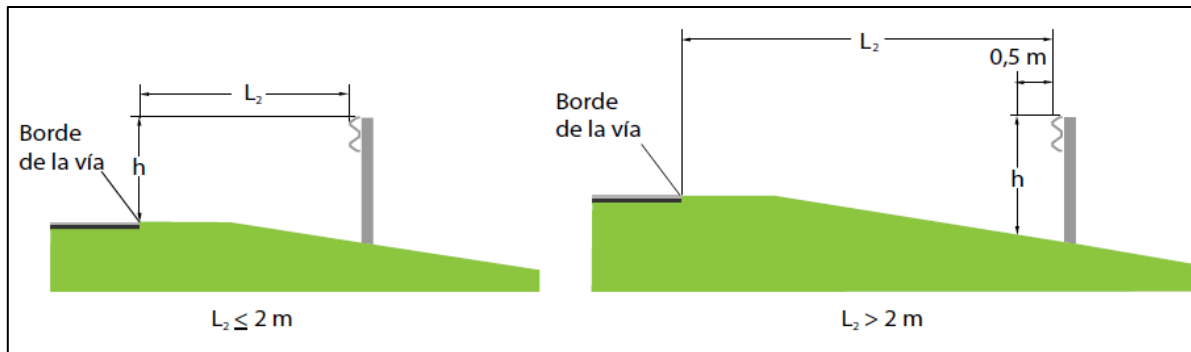
La altura de la barrera de seguridad es uno de los aspectos que se debe vigilar con más atención, ya que el desempeño del sistema depende de que su disposición sea conforme a la especificada por el fabricante o las normativas vigentes en el país. La altura recomendada para las barreras o pretiles de puentes se establece a partir de los ensayos a escala real que se realizan para aprobar y clasificar un sistema de contención vehicular, por lo tanto, se debe observar que durante su vida útil esta disposición se mantenga constante. Por ejemplo, la altura relativa de la barrera con respecto a la plataforma de la vía puede cambiar luego de que se apliquen tratamientos de mantenimiento y conservación como la colocación de sobrecapas.

Un vehículo puede ser enganchado por los postes o pasar por debajo de la viga metálica si la altura de la barrera es mayor a la indicada por el fabricante, por otra parte, si el sistema se instala a una altura menor, el vehículo puede franquear la barrera, inclinarse sobre la barrera y colisionar con el obstáculo o volcarse.



El punto de referencia con respecto al cual se debe medir la altura de la barrera se especifica en la Figura 21. Si la distancia lateral entre el límite externo del carril y el sistema de contención vehicular es menor o igual a 2,0 m, la altura se mide con respecto al borde externo del carril. Si la distancia es mayor a 2,0 m, la altura se mide con respecto a la superficie del terreno, a una distancia de 0,5 m de la cara anterior de la barrera.

Figura Nro. 19 Pautas para la disposición en altura de la barrera



Fuente: Manual SCV «Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras» 2011 – Universidad de Costa Rica

#### 2.4.3.3 Condiciones en los márgenes de las vías

Las barreras son ensayadas en terrenos planos y nivelados. Si la barrera se coloca en un terreno con pendiente mayor a 1V:10H, los estudios y pruebas han demostrado que, para ciertos ángulos de impacto y velocidades, un vehículo puede traspasar la barrera o quedar atrapado bajo la viga.

Si la barrera de seguridad se coloca lejos del borde de la vía, el terreno entre la vía y el sistema debe ser plano, nivelado y libre de obstáculos para garantizar que el centro de gravedad del vehículo esté en su posición normal al momento del impacto y el desempeño de la barrera sea óptimo. Por esta razón, se recomienda que las pendientes sean iguales a 1V:10H ó más planas, en todo caso se deben consultar las especificaciones del fabricante, ya que no todos los tipos de barreras se comportan adecuadamente si se colocan en pendientes más empinadas.

#### 2.4.3.4 Razón de esviaje

El esviaje de la barrera es una práctica generalmente utilizada para alejar el terminal de la vía, el cual puede representar un obstáculo muy peligroso para los vehículos si no se le brinda un tratamiento adecuado. Una de las ventajas de alejar el terminal de barrera es que se

minimiza la reacción del conductor ante un obstáculo cercano a la vía, ya que la barrera se acerca gradualmente al borde de la carretera. Por otra parte, se reduce la longitud necesaria de barrera, ya que una barrera paralela a la vía debe ser más extensa para evitar que un vehículo que abandona la vía en la sección anterior al obstáculo, pase por detrás de la barrera y colisione con el elemento peligroso.

Por otra parte, si la razón de esviaje es mayor, se incrementa el ángulo de impacto, por lo que la severidad del accidente puede ser mayor, provocando lesiones más graves a los ocupantes del vehículo, especialmente si el sistema de contención es rígido o semi-rígido. También se puede incrementar la probabilidad de que el vehículo sea redireccionado hacia la vía e invada el carril de circulación en sentido contrario, situación que es absolutamente indeseable debido a la gravedad de las consecuencias de tal accidente en una carretera de calzada única.

Si la carretera posee taludes empinados, generalmente se preferirán las razones de esviaje menores (más planas), debido a los extensos trabajos de movimiento de tierras que se requerirían para aplanar y nivelar el terreno entre el borde de la vía y la barrera, además de aplanar parte del terreno que se ubica detrás de la barrera y los terminales de la misma, esto con el fin de garantizar un adecuado comportamiento del sistema de contención vehicular durante el impacto.

#### **2.4.3.5** Longitud de la barrera

La disposición longitudinal de una barrera en relación con la zona peligrosa requiere que la barrera sea iniciada antes de la sección donde empieza el peligro y además debe ser prolongada más allá de la sección en que éste termina, con el propósito de proteger a los vehículos que circulan en sentido contrario.

#### **2.4.3.6** Continuidad de las barreras

Los terminales de barrera son señalados como un problema en varios estudios realizados en países europeos, por lo que se obtienen mayores beneficios al unir los tramos de barrera consecutivos en las vías de mayor volumen vehicular.

Se deben unir los tramos de barrera que estén separados por menos de 50,0 m de distancia. A menos que, entre ambos sistemas se encuentre un acceso a una propiedad, parada de autobuses, etc.

#### **2.4.4 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.

##### **2.4.4.1 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.

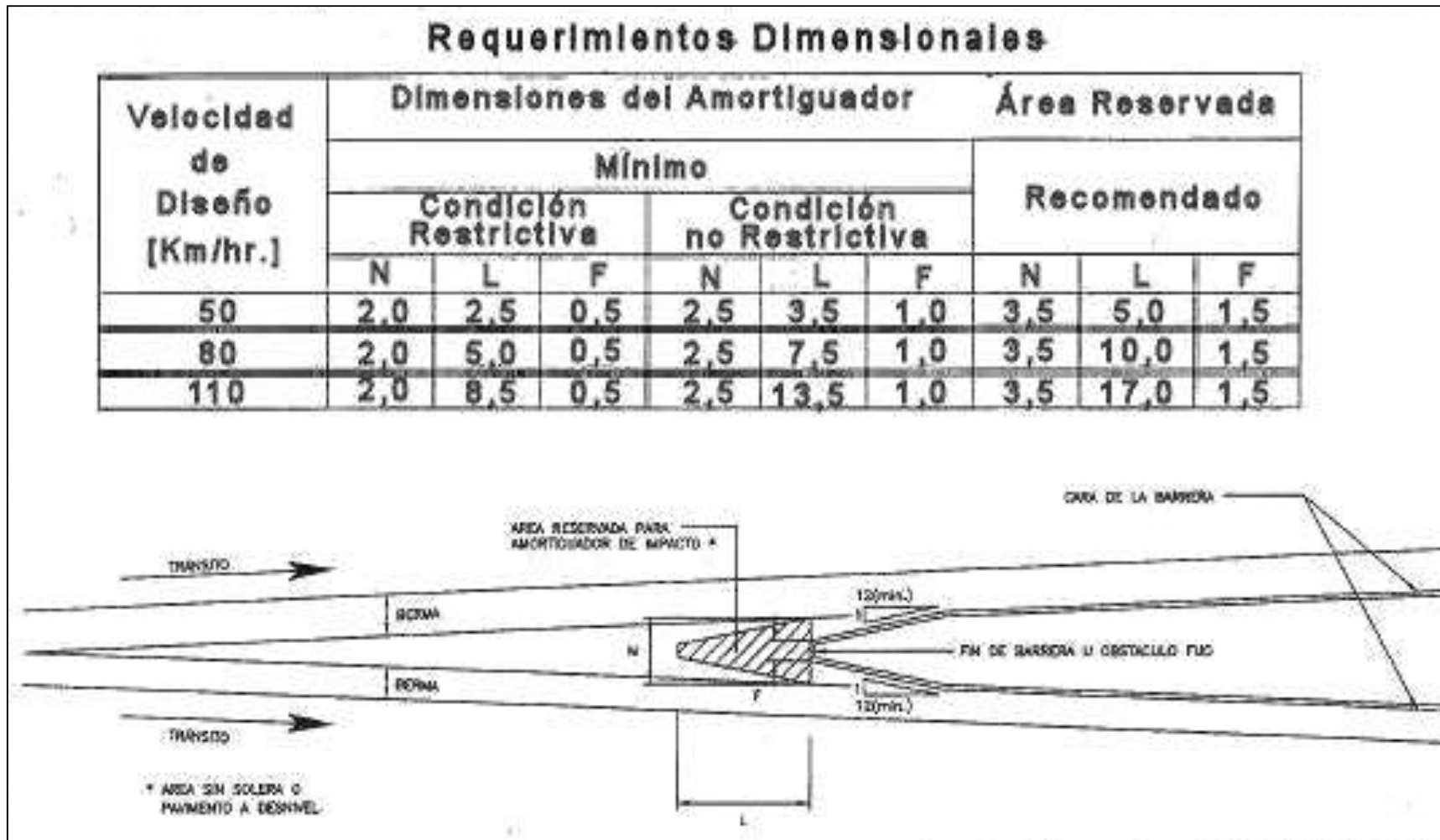
La siguiente figura muestra recomendaciones incluidas en la RDG de la AASHTO respecto a las dimensiones del área que se debe disponer para la instalación de cualquier amortiguador de impacto. Aunque muestra el espacio necesario para una bifurcación, sus requerimientos se pueden aplicar para cualquier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

Figura Nro. 20 Requerimientos dimensionales



Fuente: La RDG 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 pueden ser preponderante al momento de elegir el dispositivo.

#### **2.4.4.2** 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 re direccionamiento, 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 re direccionándolo a un ángulo aceptable. La mayoría de estos sistemas pueden diseñarse para velocidades menores, lo que puede derivar en cierta economía.

#### **2.4.4.3** 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.

#### **2.4.4.4 Mantenimiento**

##### **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.

##### **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 III**

**REDISEÑO DE ELEMENTOS DE**

**CONTENCIÓN VEHICULAR**

**TRAMO TARIJA – FALDA LA**

**QUEÑUA – SAN LORENCITO**

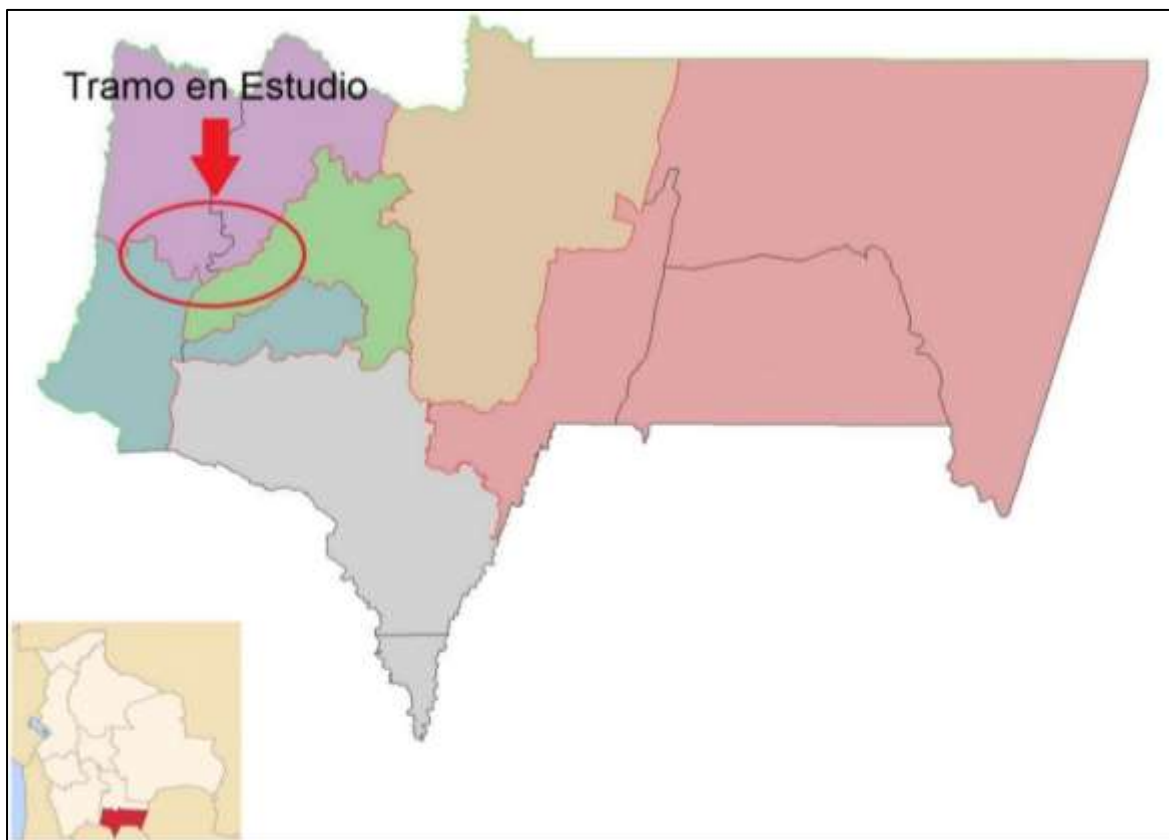
### 3 REDISEÑO DE ELEMENTOS DE CONTENCIÓN VEHICULAR TRAMO TARIJA – FALDA LA QUEÑUA – SAN LORENCITO

#### 3.1 UBICACIÓN DEL TRAMO

El tramo está ubicado en la Ruta 1 (camino al norte del país). La variante técnica denominada falda la Queñua, es el proyecto caminero, que comprende el sector del cruce el rancho, hasta el lugar de San Lorencito, de la provincia Méndez del departamento de Tarija – Bolivia.

La región donde se desarrolla el proyecto corresponde a la zona montañosa y por lo tanto el recorrido de la ruta transcurre en una gran parte sobre terrenos rocosos. Los estudios de la Falda la Queñua, corroboraron la obtención de una mejor alternativa para el paso a través de la Cumbre de Sama, cuya altitud actual alcanza los 3.950 m.s.n.m. Posibilitaron desarrollar un trazado a través de una variante por el faldeo del cerro de La Queñua, con mejores características técnicas llegando a una altitud máxima de 3.480 m.s.n.m., en el paso del referido cerro.

Figura Nro. 21 Ubicación del tramo en estudio



Fuente: Elaboración propia



### 3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRAMO

A las restricciones de diseño se deben añadir las dificultades en épocas de fuertes lluvias, por deficiencias en su sistema de drenaje y taludes no estabilizados, originándose frecuentes interrupciones del tráfico con los consiguientes perjuicios para la economía de la región y de los usuarios.

La actual carretera Potosí –Tarija, se desarrolla en terreno ondulado y montañoso, y en algunos lugares en condiciones topográficas muy difíciles.

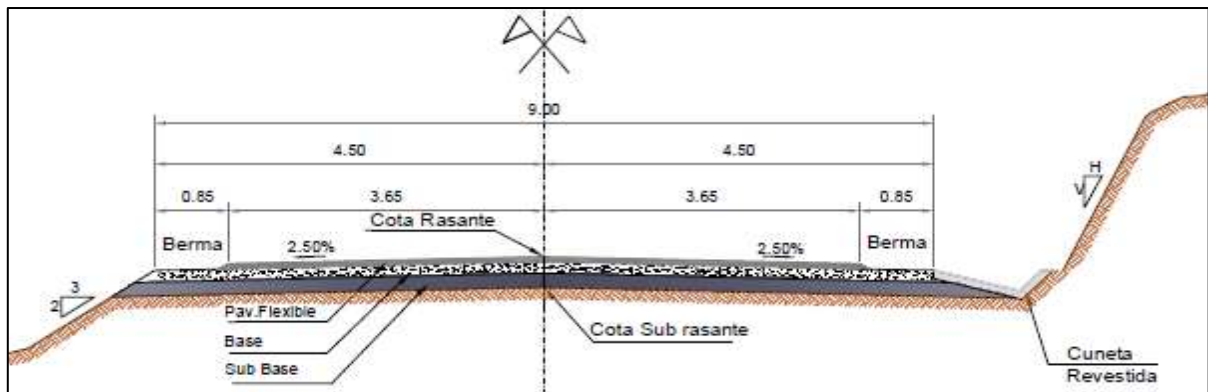
El clima en la parte más alta del proyecto corresponde a la zona fría y seca típicamente montañosa, y a clima templado seco en los valles. La vegetación en general es escasa, aún en los valles, excepto donde se cuenta con un curso de agua permanente. La hidrología, por tratarse de una zona montañosa, está compuesta por cursos de agua bien definidos, donde, dependiendo de la pendiente, el escurrimiento es más o menos torrentoso.

En general, toda la zona es poco desarrollada, aunque existe un importante potencial de desarrollo agrícola a través de esquemas de riego que están en estudio o en etapa de desarrollo, pues el recurso hídrico es uno de los principales obstáculos para ampliar la frontera agrícola de la región.

Descripción técnica de la carretera; Tiene un ancho de calzada de 7.30 metros y bermas a cada lado de 0.85 metros (con tratamiento asfáltico).

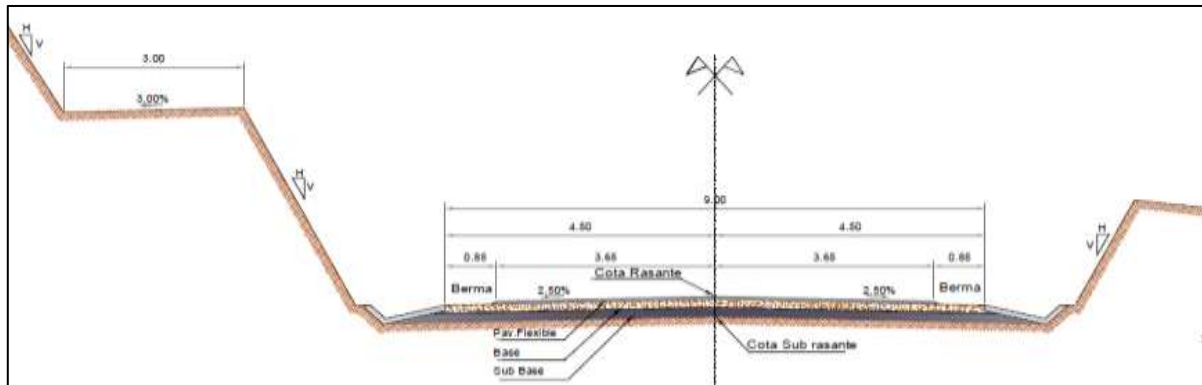
Tipos de secciones en el tramo Falda la Queñua Cruce San Lorenzo.

Figura Nro. 22 Sección transversal tipo en tangente mixta



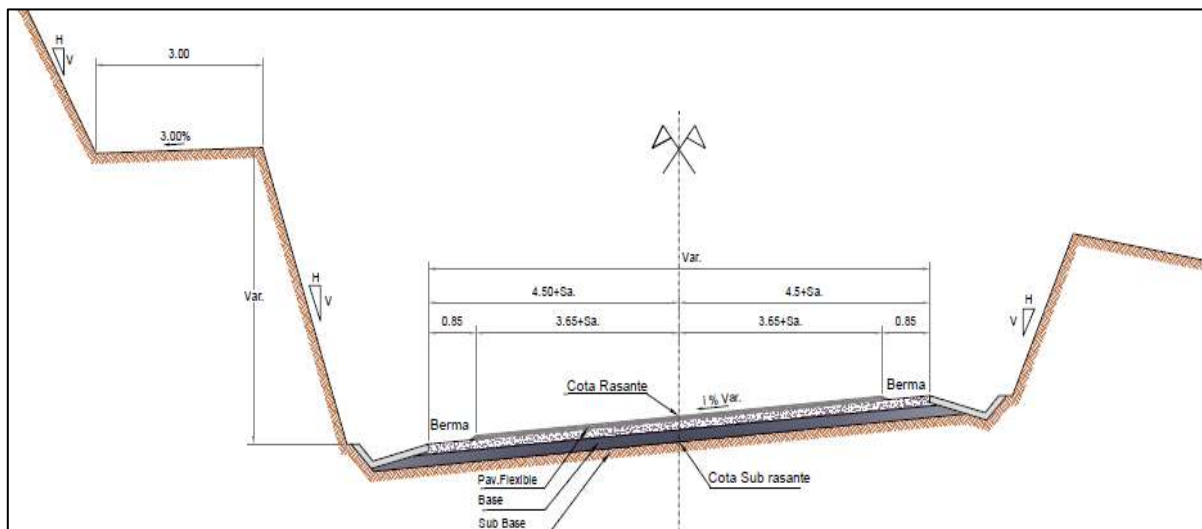
FUENTE: Administración boliviana de carretera

Figura Nro. 23 Sección transversal tipo en tangente – corte



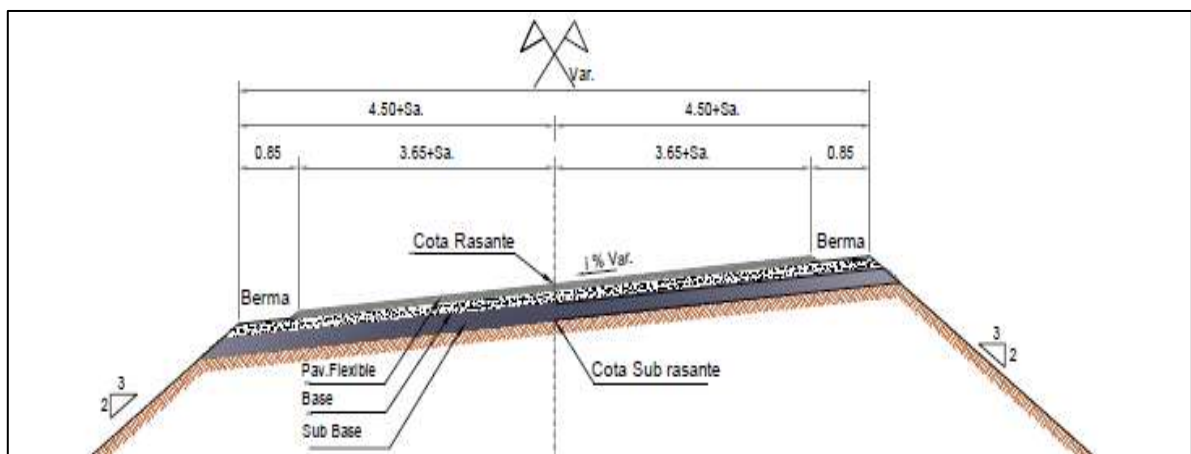
FUENTE: Administración boliviana de carretera

Figura Nro. 24 Sección transversal tipo en tramo curvo - corte



FUENTE: Administración boliviana de carretera

Figura Nro. 25 Sección transversal tipo en terraplén - curva



FUENTE: Administración boliviana de carretera

**Notas:**

Bombeo normal = 2.00%

Var. = Variable

Sa. = Sobre ancho

Paquete estructural:

Carpeta Asfáltica = 0.06m

Base = 0.15m

Sub Bas = 0.17m

Berma = Tratamiento superficial simple

FUENTE: Administración boliviana de carretera

### 3.2.1 Topografía del tramo

Posee una topografía muy irregular, con altitudes variadas, pendientes pronunciadas, Esta carretera está emplazada en una zona montañosa, va a lo largo de las elevaciones transversales de la serranía de la Queñua. Hicieron el mejor trazo geométrico de la carretera aun así cuenta con fuertes pendientes.

Figura Nro. 26 Imagen satelital del tramo



FUENTE: Google Earth

### 3.3 EVALUACIÓN DE CONDICIONES ACTUALES

Actualmente se cuenta con seguridad vial del tipo de contención en el tramo carretero en estudio, pero este es mínimo, se limita a señalización horizontal y vertical, barreras de seguridad del tipo se sección de viga “W”, con terminal tipo aleta, terminal guardarraíl o cola de pez.

Figura Nro. 27 Terminal existente tipo aleta



FUENTE: Fotografía propia

Figura Nro. 28 Terminal existente tipo cola de pez



FUENTE: Fotografía propia

La barrera de viga “W” está diseñada para la contención de vehículos pequeños (livianos, automóviles, pick up) de hasta 2000 kg, con centro de gravedad bajo, ya que los vehículos livianos tienen el centro de gravedad igual bajo (0.5 metros aproximadamente) y a velocidades de alrededor de 40 km/h. Los vehículos de mayor envergadura no pueden ser contenidos por este tipo de barrera, debido al alto peso y el centro de gravedad más elevado.

### 3.3.1 Barreras de seguridad existentes

Las barreras de contención vehicular emplazadas en el tramo en estudio, como ya lo habíamos mencionado son del tipo Viga “W”. Este es un elemento que está estandarizado bajo la norma estadounidense AASHTO M 180.

Figura Nro. 29 Barrera emplazada tramo de estudio



FUENTE: Fotografía propia

Las especificaciones y modo de instalación están en anexos, se hizo un levantamiento de todas las barreras emplazadas en el tramo en estudio, de ambos lados de la calzada, para ello se utilizó cinta métrica para medir uno a uno todos los elementos de contención, en el siguiente cuadro se muestra la planilla de las barreras emplazadas en el tramo de estudio. Así mismo se hace un cómputo de las terminales de barrera que están presentes al inicio y el final de cada una de las barreras de contención vehicular que se encuentran en el tramo túnel falda la Queñua hasta el Puente del río Calama.

Cuadro Nro. 1 Barreras de contención en el tramo

Nro.	Margen izquierdo				Margen derecho			
	Barrera	Progresiva		Longitud (m)	Barrera	Progresiva		Longitud (m)
		inicio	final			inicio	final	
San Lorencito - Túnel Falda la Queñua								
1	BI-1	47217,515	46975,515	242	BD-1	45372,595	45222,595	150
2	BI-2	45083,515	44929,515	154	BD-2	43828,595	43712,595	116
Túnel Falda la Queñua - Puente Calama								
1	BI-1	1+945	1+974	29	BD-1	2+340	2+398	58
2	BI-2	2+096	2+136	40	BD-2	3+111	3+223	112
3	BI-3	2+666	2+749	83	BD-3	3+312	3+378	66
4	BI-4	3+229	3+321	92	BD-4	3+405	3+691	286
5	BI-5	3+353	3+399	46	BD-5	3+846	3+894	48
6	BI-6	3+461	3+686	225	BD-6	4+175	4+225	50
7	BI-7	3+781	3+801	20	BD-7	4+358	4+506	148
8	BI-8	5+111	5+146	35	BD-8	4+688	4+834	146
9	BI-9	5+972	6+280	308	BD-9	5+302	5+378	76
10	BI-10	6+670	6+888	218	BD-10	5+643	5+894	251
11	BI-11	7+263	7+449	186	BD-11	6+267	6+455	188
12	BI-12	8+607	8+651	44	BD-12	7+074	7+205	131
13	BI-13	10+636	10+709	73	BD-13	7+884	8+338	454
14	BI-14	12+471	12+503	32	BD-14	8+864	8+954	90
15	BI-15	15+279	15+322	43	BD-15	9+472	9+696	224
16	BI-16	15+610	15+684	74	BD-16	10+101	10+169	68
17	BI-17	15+800	15+973	173	BD-17	10+435	10+505	70
18	BI-18	16+445	16+562	117	BD-18	10+570	10+788	218
19	BI-19	18+660	18+828	168	BD-19	10+838	10+904	66
20	BI-20	19+184	19+305	121	BD-20	11+031	11+305	274
21	BI-21	19+463	19+581	118	BD-21	11+775	11+886	111
22	BI-22	21+092	21+231	139	BD-22	12+147	12+239	92
23	BI-23	21+393	21+445	52	BD-23	13+498	13+632	134
24	BI-24	22+536	22+737	201	BD-24	13+897	13+973	76
25	BI-25	22+795	22+843	48	BD-25	14+619	14+783	164
26	BI-26	23+193	23+289	96	BD-26	14+908	14+944	36
27	BI-27	24+951	24+997	46	BD-27	15+267	15+458	191
28	BI-28	25+055	25+115	60	BD-28	16+210	16+451	241
29	BI-29	25+357	25+472	115	BD-29	16+993	17+119	126
30	BI-30	25+731	25+809	78	BD-30	18+839	18+983	144
31	BI-31	25+903	26+015	112	BD-31	20+197	20+368	171
32	BI-32	26+301	26+430	129	BD-32	20+693	20+744	51
33	BI-33	26+450	26+524	74	BD-33	21+427	21+458	31
34	-	-	-	-	BD-34	21+960	22+076	116
35	-	-	-	-	BD-35	22+688	22+759	71
36	-	-	-	-	BD-36	22+900	22+972	72
37	-	-	-	-	BD-37	23+210	23+301	91
38	-	-	-	-	BD-38	23+582	23+726	144
39	-	-	-	-	BD-39	24+148	24+226	78
40	-	-	-	-	BD-40	24+761	24+913	152
41	-	-	-	-	BD-41	25+589	25+667	78

FUENTE: Elaboración propia

Se tiene una longitud total de 3294 m del lado izquierdo y 4891 m del lado derecho en dirección asía Tarija.

### 3.3.2 Terminales de barrera existentes

Entre ambos lados de la calzada se llega a un total de 8185 m de barrera. En cuanto a las terminales de barrera se tiene en todo el tramo un total de 148 elementos que en su mayoría son del tipo aleta (ver Figura. 31)

Cuadro Nro. 2 Terminales de barrera tramo

Margen	Inicio	Final	Cantidad
Izquierdo	41	41	82
Derecho	33	33	66
Total	74	74	148

FUENTE: Elaboración propia

En cuanto a amortiguadores de impacto, no se cuenta con ningún tipo en todo el tramo, debido a que no es necesario dadas las condiciones de diseño y la no presencia de rampas de salida y/o desvíos principales.

### 3.4 EVALUACIÓN DE LAS CURVAS HORIZONTALES Y VELOCIDAD

El tramo cuenta con una parte más o menos plana, correspondiente al altiplano, zona Iscayachi, este parte del tramo comprende desde el cruce San Lorencito hasta el túnel de la Falda la Queñua, en donde los radios de curvatura son bastante grandes permitiendo llegar a superar la velocidad máxima del país. En el siguiente cuadro se muestran los detalles de las curvas de esta parte del tramo considerado en este proyecto.

Cuadro Nro. 3 Detalles de curvas San Lorencito – Falda la Queñua

Nº	Progresiva		R (m)	Lc (m)	Observación	Velocidad según radio (km/h)
	Inicio	Fin				
1	42+251,86	42+350,33	600	98,48	Curva simple	110
2	43+080,82	43+620,02	600	539,20	Curva simple	110
3	44+590,79	44+715,87	600	125,08	Curva simple	110
4	45+311,23	45+625,69	865	314,46	Curva simple	130
5	46+244,55	46+481,58	660	237,04	Curva simple	120
6	46+922,49	47+103,96	600	181,47	Curva simple	110
7	47+565,04	47+796,19	600	231,15	Curva simple	110
8	0+191,50	0+362,76	350	171,26	Curva simple	90

FUENTE: Elaboración propia

De esta primera parte del tramo de este estudio se tiene que la velocidad mínima según los radios de curvatura es de 90 km/h, superando los 80 km/h de velocidad máxima en Bolivia, según lo establece.

En tanto, la segunda parte del tramo que corresponde a la Falda la Queñua hasta el Puente Calama, esta parte del tramo es mucha más larga y de topografía completamente accidentada, dentro de la clasificación por su topografía es del tipo montañosa, esta parte es la que une el altiplano con la parte baja del valle central de Tarija, teniendo un desnivel aproximado de 1400 m. Para esta parte del tramo mostramos la siguiente parte de las curvas en el cuadro que a continuación (para ver el cuadro completo, ver anexos).

Cuadro Nro. 4 Detalles de curvas Falda la Queñua – Puente Calama

N°	Progresiva		R (m)	Lc (m)	L Trans.	Observación	Velocidad según radio (km/h)
	Inicio	Final					
1	1+884,20	1+924,20			40,00	Trans. Entrada	70
	1+924,20	1+980,91	130,00	56,71		Curva	
	1+980,91	2+020,91			40,00	Trans. Salida	
2	2+158,23	2+198,23			40,00	Trans. Entrada	40
	2+198,23	2+267,91	50,00	69,68		Curva	
	2+267,91	2+307,91			40,00	Trans. Salida	
3	2+315,33	2+355,33			40,00	Trans. Entrada	40
	2+355,33	2+380,79	47,00	25,46		Curva	
	2+380,79	2+420,79			40,00	Trans. Salida	
4	2+549,72	2+621,22	350,00	71,50		Curva simple	90
5	2+640,62	2+680,62			40,00	Trans. Entrada	60
	2+680,62	2+696,00	100,00	15,38		Curva	
	2+696,00	2+736,00			40,00	Trans. Salida	
6	2+754,95	2+794,95			40,00	Trans. Entrada	40
	2+794,95	2+844,79	50,00	49,84		Curva	
	2+844,79	2+884,79			40,00	Trans. Salida	
7	2+909,57	2+949,57			40,00	Trans. Entrada	40
	2+949,57	2+956,00	60,00	6,43		Curva	
	2+956,00	2+996,00			40,00	Trans. Salida	
8	3+047,53	3+087,53			40,00	Trans. Entrada	40
	3+087,53	3+127,65	65,00	40,13		Curva	
	3+127,65	3+167,65			40,00	Trans. Salida	
9	3+234,52	3+246,03	500,00	11,51		Curva simple	110
10	3+600,72	3+640,72			40,00	Trans. Entrada	40
	3+640,72	3+724,72	47,00	84,00		Curva	
	3+724,72	3+764,72			40,00	Trans. Salida	

FUENTE: Elaboración propia, octubre de 2017

En esta parte del tramo se tiene una gran diferencia ya que, según los radios de curvatura, de todas las curvas que conforman parte del mismo, tenemos; que la velocidad mínima es de 40 km/h. Que no es ni la mitad de la anterior parte que tiene 90 km/h.



Para lo cual establecemos como velocidad del proyecto la mínima y esta es de 80 km/h para la primera parte de acuerdo a lo establecido en el país, en tanto, para la segunda parte tenemos 40 km/h.

### 3.5 ESTUDIO DE TRÁFICO VEHICULAR

Se necesita establecer algunos parámetros del tráfico vehicular (TPD – Transporte Promedio Diario y Porcentaje de volúmenes de los tres tipos de vehículos, liviano, mediano, y pesado). Para ello se realizó la lectura de vehículos a lo largo del día (07:00 a 19:00) en el periodo de una semana (7 días), para establecer estos parámetros necesarios en el diseño de los elementos de seguridad vial (barreras de seguridad, terminales de barrera y amortiguadores de impacto).

#### 3.5.1 Aforo Vehicular

Inicialmente nos trasladamos a la zona de estudio para realizar el aforo vehicular, el proceso consiste en anotar por sentido de circulación todos los vehículos que pasan en un punto de la zona de estudio.

Se establecieron parámetros de tiempo para facilitar el cálculo y poder mostrar gráficamente el comportamiento del tráfico promedio a lo largo en un día.

Los datos levantados en campo se muestran como en el siguiente cuadro.

Cuadro Nro. 5 Planilla de aforo

Día	Sentido de circulación	Punto de aforo - progresiva 6+100					
		07:00 - 08:00			08:00 - 09:00		
		Tipo de vehículo	Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos
Lunes	Norte	17	1	1	18	5	1
	Sur	38	5	5	26	2	10
Martes	Norte	46	2	2	35	10	9
	Sur	30	1	6	9	5	13
Miércoles	Norte	48	1	6	18	9	9
	Sur	10	5	5	11	10	14
Jueves	Norte	38	2	1	48	5	9
	Sur	14	2	2	17	2	22
Viernes	Norte	21	2	1	22	2	1
	Sur	14	9	10	30	5	6
Sábado	Norte	2	1	1	17	6	5
	Sur	4	2	1	19	10	13
Domingo	Norte	5	1	1	9	1	2
	Sur	18	5	4	10	1	5
Volumen por sentido	Norte	25,29	1,43	1,86	23,86	5,43	5,14
	Sur	18,29	4,14	4,71	17,43	5,00	11,86
Volumen por sentido		55,71			68,71		
Volumen por acceso	Tipo de vehículo	Livianos	Medianos	Pesados	Livianos	Medianos	Pesados
	Norte	27,86	1,40	1,98	29,51	4,74	5,19
	Sur	13,05	4,52	4,45	17,40	5,50	11,98
<b>Volumen total por sentido</b>		53			74		

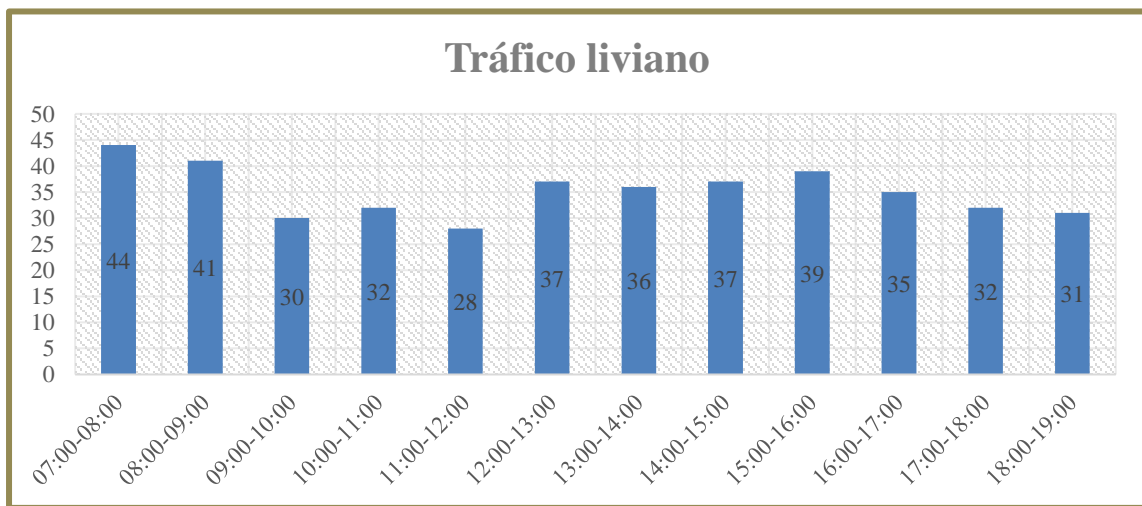
FUENTE: Elaboración propia, octubre de 2017

### 3.5.2 Comportamiento del tráfico

Debido a la naturaleza de la carretera en estudio, el tipo de flujo es continuo, describiendo una constante marcha en la carretera, es decir; no existen parámetros en el diseño de la carretera que obliguen al vehículo detenerse, a menos que sea estrictamente necesario realizar una parada por motivos mecánicos y/o humanos.

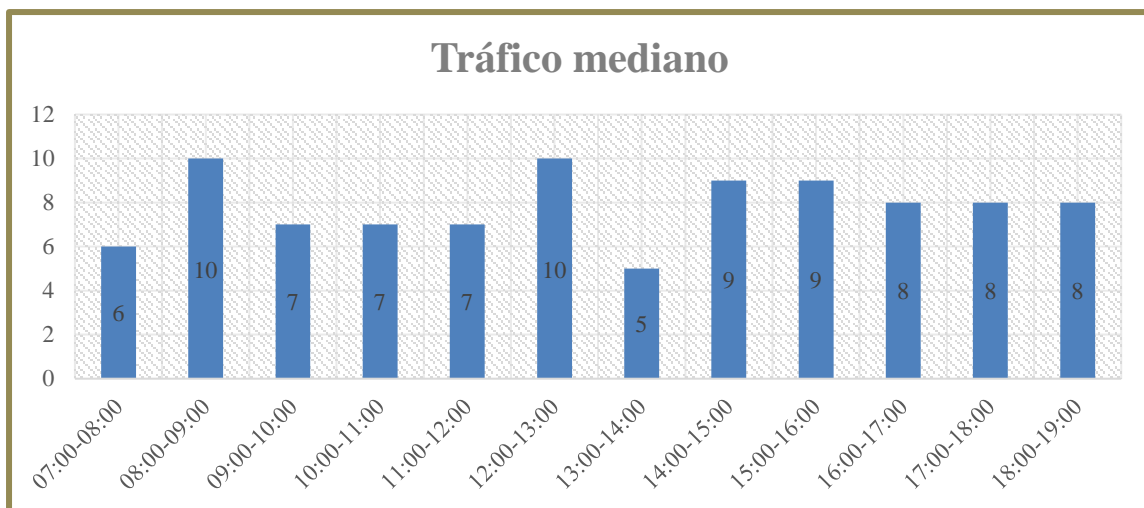
En las gráficas siguientes se muestra una representación del comportamiento diario del flujo vehicular en la carretera en estudio.

Figura Nro. 30 Comportamiento tráfico liviano



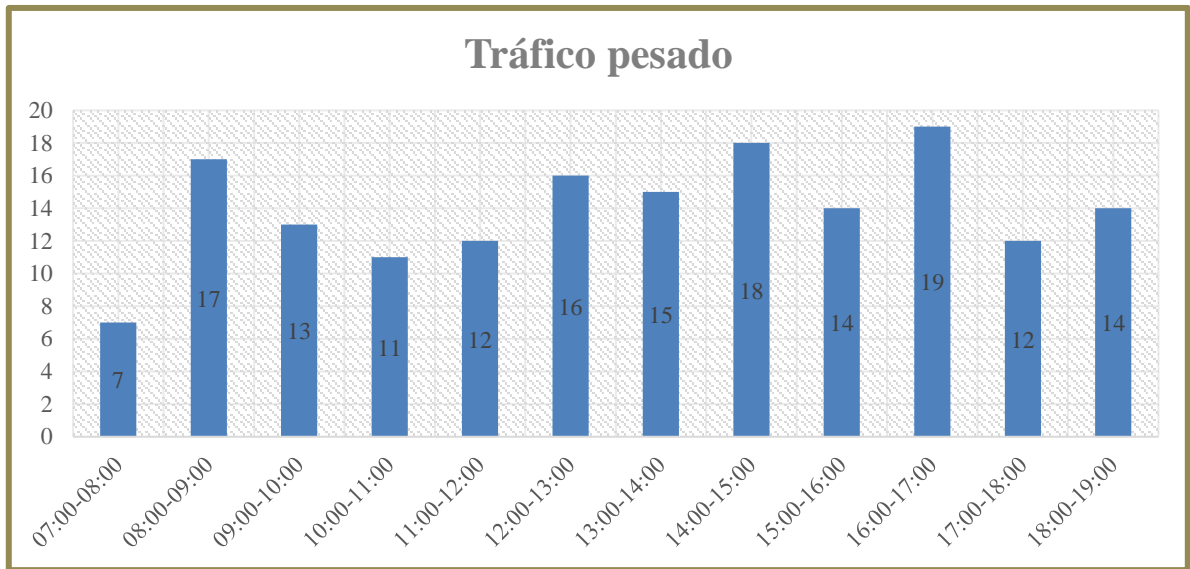
FUENTE: Elaboración propia, octubre de 2017

Figura Nro. 31 Comportamiento tráfico mediano



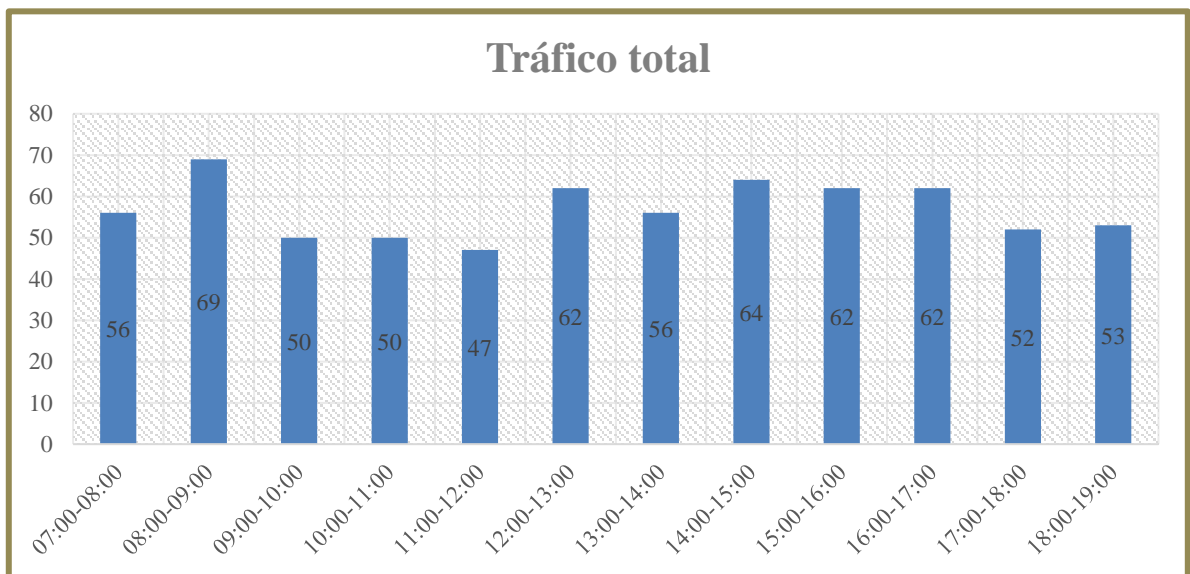
FUENTE: Elaboración propia, octubre de 2017

Figura Nro. 32 Comportamiento tráfico pesado



FUENTE: Elaboración propia, octubre de 2017

Figura Nro. 33 Comportamiento tráfico



FUENTE: Elaboración propia, octubre de 2017

Como podemos notar el volumen de tráfico a lo largo del día no varía mucho, es decir, que el flujo vehicular es independiente del tiempo. No se cuenta con horarios pico, esto comprueba que el tipo de flujo vehicular es continuo. Y en este caso particular es más o menos constante.

### 3.5.3 Tráfico promedio diario

Debido a las limitantes de recursos, se tomaron las medidas horarias de solo 12 horas, desde las 07:00 a las 19:00 horas, las cuales serían más representativas que las restantes 12:00 horas nocturnas, ya que si lo analizamos la tendencia de viajes nocturnos es menor. Por ello, consideraremos el resultado a partir de los cálculos para determinar el tráfico promedio horario, como promedio del resultado de la lectura horaria de siete días.

Cuadro Nro. 6 Transporte promedio horario

Direc.	Hora	Mañana			Hora	Tarde		
		Liviano	Mediano	Pesado		Liviano	Mediano	Pesado
Norte	07:00 - 08:00	25	1	2	13:00 - 14:00	11	3	9
Sur		18	4	5		25	2	6
Norte	08:00 - 09:00	24	5	5	14:00 - 15:00	14	5	8
Sur		17	5	12		23	4	9
Norte	09:00 - 10:00	16	4	6	15:00 - 16:00	14	4	6
Sur		14	4	6		25	5	8
Norte	10:00 - 11:00	15	4	5	16:00 - 17:00	14	4	9
Sur		17	3	6		21	4	10
Norte	11:00 - 12:00	13	3	6	17:00 - 18:00	12	5	7
Sur		14	4	6		19	4	5
Norte	12:00 - 13:00	19	5	7	18:00 - 19:00	14	5	8
Sur		17	5	9		17	3	6
TPH Liviano		17						
TPH Mediano		4						
TPH Pesado		7						
TPH		28						

FUENTE: Elaboración propia, octubre de 2017

Como los aforos vehiculares se realizaron solo durante las 12 horas del día, entonces; el valor de TPH (Transito Promedio Horario) será igual de las 12 horas (promedio de siete días) lecturadas, es decir:

$$TPH = 28 \text{ vehiculos}$$

De acuerdo al cálculo se establece un valor de 28 vehículos/hora, como promedio horario.

Entonces; el transito promedio diario será:

$$TPD = 24 * TPH = 24 * 28 = 672 \text{ vehiculos}$$

El tráfico promedio diario (TPD) es igual a 672 vehículos al día.

### 3.5.4 Volúmenes vehiculares

Es necesario conocer las cantidades porcentuales de los 3 tipos de vehículos que transitan por la carretera (liviano, mediano y pesado), para establecer el tipo de vehículo con mayor volumen de tráfico, que circula por la carrera en estudio. El siguiente cuadro muestra el cálculo y los resultados porcentuales correspondientes a los tres tipos de vehículos, livianos, medianos, pesados.

Cuadro Nro. 7 Valor porcentual tipo vehículo

Direc.	Hora	Mañana			Hora	Tarde		
		Liviano	Mediano	Pesado		Liviano	Mediano	Pesado
Norte	07:00 - 08:00	25	1	2	13:00 - 14:00	11	3	9
Sur		18	4	5		25	2	6
Norte	08:00 - 09:00	24	5	5	14:00 - 15:00	14	5	8
Sur		17	5	12		23	4	9
Norte	09:00 - 10:00	16	4	6	15:00 - 16:00	14	4	6
Sur		14	4	6		25	5	8
Norte	10:00 - 11:00	15	4	5	16:00 - 17:00	14	4	9
Sur		17	3	6		21	4	10
Norte	11:00 - 12:00	13	3	6	17:00 - 18:00	12	5	7
Sur		14	4	6		19	4	5
Norte	12:00 - 13:00	19	5	7	18:00 - 19:00	14	5	8
Sur		17	5	9		17	3	6
<b>Tipo vehíc.</b>		<b>Liviano</b>		<b>Mediano</b>		<b>Pesado</b>		
Vol. día Prom.		418		95		166		
Vol. día Total		679						
% Tipo vehíc.		61,56		13,99		24,45		

FUENTE: Elaboración propia, octubre de 2017

De acuerdo a los resultados del cálculo, aplicando una simple regla de tres simple, tenemos los siguientes resultados; tipo de vehículo liviano es de 61.56 %, tipo mediano tenemos 13.99 % y del tipo pesado el resultado es de 24.45 %. Más de la mitad de vehículos que transitan en la carretera en estudio es del tipo liviano, y menos del 40% corresponden a los medianos y pesados.

A continuación, mostramos una tabla de clasificación de los tipos de vehículos por su peso.

Cuadro Nro. 8 Clasificación vehicular por su peso

Tipo De Vehículo	Peso (Kg)	Clase
Liviano	820 a 2000	Automóvil, Pick Up
Mediano	2000 a 8000	Buses, Camión mediano
Pesado	8000 a 36000	Camión grande, Tracto Camión

FUENTE: Elaboración propia, octubre de 2017 – En base a la tabla II-12 del Manual SCV, mayo de 2011

### 3.6 REDISEÑO DE ELEMENTOS DE SEGURIDAD VIAL

#### 3.6.1 Barreras de seguridad

##### 3.6.1.1 Zona libre

La zona libre mínima necesaria (ZLMN) es el ancho mínimo de la zona libre necesaria, suponiendo que el terreno al margen de la carretera es plano. Este parámetro teórico de referencia se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$ZLMN = ZLMN_0 * F_c$$

Dónde:  $ZLMN_0$  = Valor de ZLMN para tramos con alineamiento horizontal,  
 $F_c$  = Factor de corrección debido al radio de curvatura.

Cuadro Nro. 9 Ancho de la zona libre mínima necesaria (ZLMN<sub>0</sub>)

Velocidad	TPDA	ZLMN <sub>0</sub> (m)	
		Pendiente del talud	
(Km/h)	(vpd)	negativa	positiva
<60	< 2000	3,5	3,5
	2000 - 10000	4,5	4,5
	> 10000	4,5	4,5
60-80	< 2000	5,0	5,0
	2000 - 10000	5,0	5,0
	> 10000	6,0	5,5
80-100	< 2000	6,5	5,0
	2000 - 10000	7,5	5,5
	> 10000	8,0	6,0

FUENTE: Elaboración propia, octubre de 2017 – En base a la tabla III-3 del Manual SCV, mayo de 2011

De acuerdo a las características del tramo carretero, y las condiciones de tráfico vehicular, TPD = 1358 vehículos y con una velocidad de proyecto de 40 Km/h, tenemos una Zona Libre Mínima Necesaria de 3.5 metros.

Cuadro Nro. 10 Factores de corrección según el radio de curvatura de la vía

Radio de curvatura	Factor de corrección (Fc)
>900	1,0
900-600	1,2
600-300	1,3
300-100	1,5

FUENTE: Elaboración propia, octubre de 2017 – En base a la tabla II-12 del Manual SCV, mayo de 2011

El factor de corrección por radio de curvatura será diferente en cada curva, como se puede apreciar en el cuadro anterior, la entrada para obtener dicho factor es el radio de curvatura, es decir, que dependiendo del radio de curvatura será propio de la curva en cuestión. Pero considerando las condiciones del lugar donde está emplazado el tramo en estudio, será indiferente realizar el cálculo de la ZLMN para las curvas, debido a que el terreno es montañoso, lo cual hace que no se cuente con las distancias de las zonas libres mínimas necesarias (ZLMN).

### 3.6.1.2 Selección del nivel de contención

La elección del nivel de contención de una barrera de seguridad está en función del nivel de severidad que se esperaría de un accidente por salida de la vía en el sitio, así como de las características del tráfico y de la vía –velocidad de operación o velocidad de diseño, volumen de tránsito y composición del tránsito vehicular (la cantidad de vehículos pesados).

El número de heridos y fallecidos en accidentes de tránsito desde el año 2008 hasta el año 2013 a nivel nacional, alcanza un total de 99.540 víctimas por accidente de tránsito; de estas el 91.2% corresponden a heridos y el 8.8% a muertes. El comportamiento por año en estos seis años fue casi similar, la relación de heridos por muerte fue de 17:1 (por diez y siete heridos existió una muerte)<sup>1</sup>

Cuadro Nro. 11 Clasificación de la gravedad de los accidentes

Gravedad del accidente	Condiciones
Muy grave	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caídas por precipicios.</li> <li>• Caídas desde la plataforma de un puente u otra estructura similar.</li> <li>• Colisiones con estructuras a nivel inferior, donde se preste un servicio o se almacenen mercancías peligrosas.</li> <li>• Nudos e intersecciones complejas.</li> </ul>
Accidente grave para terceros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Invasión de otras vías paralelas (líneas férreas, carreteras, ciclovías).</li> <li>• Irrupción en zonas donde se localizan terceros vulnerables (parques recreativos, por ejemplo).</li> <li>• Choque con elementos que puedan producir la caída de objetos de gran masa sobre la plataforma de la vía o puente.</li> </ul>
Accidente grave	<p>Caídas en masas de agua.                      Choque con pilares de puentes o entradas a túneles.                      Colisiones con laderas rocosas.</p>
Accidente normal.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Choque con elementos como:                      Árboles.                      Postes y soportes de luminarias, señales, rótulos y vallas.                      Muros, paredes, muros de retención, muros de suelo reforzado, muros de tierra armada, tablestacas, pantallas antirruido.                      Estructuras del sistema de drenaje.                      Cunetas o canales de sección no traspasable.                      Taludes transversales.</li> <li>• Vuelco (paso por taludes paralelos no traspasables).</li> </ul>

FUENTE: Tabla III-10 del Manual SCV, mayo de 2011

Cuadro Nro. 12 Relación de heridos con número de muertes por accidentes de tránsito a nivel nacional por gestiones 2008 al 2013

Variable	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Heridos	13.309	91.4	12.934	91.4	13.673	91.3	15.077	91.9	18.613	91.3	17.204	90.3
Muertes	1.248	8.6	1.222	8.7	1.294	8.7	1.335	8.1	1.783	8.7	1.848	9.7
<b>Total</b>	<b>14.557</b>	<b>100</b>	<b>14.156</b>	<b>100</b>	<b>14.967</b>	<b>100</b>	<b>16.412</b>	<b>100</b>	<b>20.396</b>	<b>100</b>	<b>19.052</b>	<b>100</b>

FUENTE: Observatorio Nacional de Seguridad Ciudadana con datos del Comando General de la Policía Boliviana

De acuerdo a los estudios realizados para la elaboración del Decreto Supremo N° 2079, de Plan Plurinacional de Seguridad Vial 2014 – 2018, se pudo extraer el cuadro anterior con datos relevantes de pérdidas de vida (muertes) a causa de accidentes de tráfico vehicular, que en un 13.1 % del total de los accidentes de tránsito a nivel nacional ocurren en las carreteras bolivianas. A partir de estos resultados emitidos para la elaboración del D.S. 2079, establecemos que los accidentes tránsito en carretera son de la categoría de “Muy Graves”, considerando que por cada 17 heridos existe una baja (muerte).



Figura Nro. 34 Accidente en puente



FUENTE: <http://elpais.bo/>

Figura Nro. 35 Vuelco de flota



FUENTE: <http://elpais.bo/>

Cuadro Nro. 13 Parámetros de nivel de contención

Accidente	Velocidad	TPD	TPDp	Nivel de contención
Muy grave	>60	>2000	>2000	H4b, TL5, TL6
Muy grave	>60	>2000	500<TPD <sub>p</sub> <2000	H3
Muy grave	>60	>2000	<500	H2
Muy grave	>60	<2000	-	H1, TL3, TL4
Grave para terceros	80-100	>2000	>2000	H4b, TL5, TL6
Grave para terceros	80-100	>2000	<2000	H3
Grave para terceros	80-100	>2000	>500	H2
Grave para terceros	80-100	<2000	<500	H1, TL3, TL4
Grave para terceros	60-80	>2000	>500	H2
Grave para terceros	60-80	>2000	<500	H1, TL3, TL4
Grave para terceros	60-80	<2000	-	N2, TL2
Grave	80-100	-	>2000	H3
Grave	80-100	-	<2000	H2
Grave	60-80	-	>2000	H1, TL3, TL4
Grave	60-80	-	<2000	N2, TL2
Normal	80-100	-	>500	H1, TL3, TL4
Normal	80-100	-	<500	N2, TL2
Normal	60-80	-	-	N2, TL2

FUENTE: Tabla III-11 del Manual SCV, mayo de 2011

Según los resultados obtenidos del estudio de tráfico, la gravedad de los accidentes dadas las condiciones del tramo en estudio y la velocidad de circulación de los vehículos que transitan por la carretera. Los accidentes se clasifican desde Grave a Muy Graves, de acuerdo a las condiciones del tramo en estudio se establece los siguiente cuadros resumen del nivel de contención de cada curva.

Cuadro Nro. 14 Niveles de contención San Lorencito – Túnel

Nº	Progresiva		R (m)	Lc (m)	Velocidad (km/h)	Nivel contención
	Inicio	Fin				
1	42+251,86	42+350,33	600	98,48	110	H1, H2, TL3, TL4
2	43+080,82	43+620,02	600	539,20	110	H1, H2, TL3, TL4
3	44+590,79	44+715,87	600	125,08	110	H1, H2, TL3, TL4
4	45+311,23	45+625,69	865	314,46	130	H1, H2, TL3, TL4
5	46+244,55	46+481,58	660	237,04	120	H1, H2, TL3, TL4
6	46+922,49	47+103,96	600	181,47	110	H1, H2, TL3, TL4
7	47+565,04	47+796,19	600	231,15	110	H1, H2, TL3, TL4
8	0+191,50	0+362,76	350	171,26	90	H1, H2, TL3, TL4

FUENTE: Elaboración propia, octubre de 2017

Cuadro Nro. 15 Niveles de contención Túnel – Puente Calama

Nº	Progresiva		R (m)	Lc (m)	Velocidad (km/h)	Nivel contención
	Inicio	Final				
1	1+884,20	2+020,91	130,00	136,71	70	N2, TL2
2	2+158,23	2+307,91	50,00	149,68	40	N2, TL2
3	2+315,33	2+420,79	47,00	105,46	40	N2, TL2
4	2+549,72	2+621,22	350,00	71,50	90	H1, H2, TL3,TL4
5	2+640,62	2+736,00	100,00	95,38	60	N2, TL2
6	2+754,95	2+884,79	50,00	129,84	40	N2, TL2
7	2+909,57	2+996,00	60,00	86,43	40	N2, TL2
8	3+047,53	3+167,65	65,00	120,13	40	N2, TL2
9	3+234,52	3+246,03	500,00	11,51	110	H1, H2, TL3,TL4
10	3+600,72	3+764,72	47,00	164,00	40	N2, TL2
11	3+826,27	3+921,13	80	14,86	50	N2, TL2
12	3+947,40	4+050,63	85,00	103,23	50	N2, TL2
13	4+123,97	4+220,69	88,98	96,72	50	N2, TL2
14	4+303,97	4+429,98	55,00	126,01	40	N2, TL2
15	4+440,02	4+531,36	70,00	91,34	50	N2, TL2
16	4+593,06	4+705,99	60,00	112,94	40	N2, TL2
17	4+711,65	4+815,83	60,00	104,19	40	N2, TL2
18	4+823,93	4+915,68	60	11,75	40	N2, TL2
19	4+918,30	4+974,26	130,00	55,95	60	N2, TL2
20	4+985,47	5+078,09	76,00	92,62	50	N2, TL2
21	5+078,09	5+163,50	47,00	85,40	40	N2, TL2
22	5+170,00	5+292,72	51,65	122,72	40	N2, TL2
23	5+293,15	5+391,29	51,65	98,14	40	N2, TL2
24	5+400,49	5+441,62	350,00	41,13	90	H1, H2, TL3,TL4
25	5+512,79	5+653,58	120,00	140,79	60	N2, TL2
26	5+654,39	5+736,51	75,90	82,13	50	N2, TL2
27	5+793,03	5+813,81	350,00	20,79	90	H1, H2, TL3,TL4
28	5+935,41	6+076,27	100,00	140,86	60	N2, TL2
29	6+089,47	6+203,03	100,00	113,57	60	N2, TL2
30	6+259,52	6+338,54	52,52	79,02	40	N2, TL2
31	6+338,72	6+452,65	50,00	113,93	40	N2, TL2
32	6+453,03	6+590,22	80,00	137,19	50	N2, TL2
33	6+730,69	6+849,87	50,00	119,19	40	N2, TL2
34	6+898,25	7+017,23	100,00	118,98	60	N2, TL2
35	7+119,15	7+642,97	452,84	523,82	110	H1, H2, TL3,TL4
36	7+807,49	8+033,67	300,00	226,18	90	H1, H2, TL3,TL4
37	8+054,43	8+247,08	500,00	192,65	110	H1, H2, TL3,TL4
38	8+658,11	8+863,34	130,00	205,24	60	N2, TL2
39	8+928,68	9+204,88	250,00	276,20	80	H1, H2, TL3,TL4
40	9+204,89	9+453,51	247,46	248,63	80	H1, H2, TL3,TL4
41	9+531,55	9+728,95	1500,00	197,40	130	H1, H2, TL3,TL4
42	9+736,59	10+065,42	210,00	328,82	80	H1, H2, TL3,TL4
43	10+429,67	10+630,73	110,00	201,07	60	N2, TL2
44	10+641,78	10+810,07	250,00	168,29	80	H1, H2, TL3,TL4
45	10+870,20	11+059,59	140,00	189,39	60	N2, TL2
46	11+096,55	11+241,63	130,00	145,07	60	N2, TL2
47	11+244,75	11+381,02	120,00	136,26	60	N2, TL2
48	11+382,30	11+626,27	110,00	243,96	60	N2, TL2
49	11+667,83	11+847,09	180	179,26	70	N2, TL2
50	11+923,06	12+145,06	190	82,00	70	N2, TL2

51	12+191,51	12+381,62	180	190,11	70	N2, TL2
52	12+416,11	12+587,81	350	171,70	90	H1, H2, TL3,TL4
53	12+684,38	12+822,23	90	137,85	60	N2, TL2
54	12+830,03	12+969,54	100	139,50	60	N2, TL2
55	13+042,56	13+226,37	200	183,81	80	H1, H2, TL3,TL4
56	13+329,31	13+535,04	377,91	205,73	100	H1, H2, TL3,TL4
57	13+535,07	13+744,34	725,56	209,27	120	H1, H2, TL3,TL4
58	13+745,19	13+923,01	220	177,82	80	H1, H2, TL3,TL4
59	13+925,10	14+089,21	70	164,11	50	N2, TL2
60	14+219,25	14+349,33	600	130,08	120	H1, H2, TL3,TL4
61	14+555,52	14+765,08	245	209,56	80	H1, H2, TL3,TL4
62	14+862,77	15+012,99	452	150,22	100	H1, H2, TL3,TL4
63	15+073,29	15+265,31	250	192,02	80	H1, H2, TL3,TL4
64	15+362,45	15+480,81	47	118,36	40	N2, TL2
65	15+525,56	15+635,49	51	109,93	40	N2, TL2
66	15+681,52	15+848,94	48,8	167,42	40	N2, TL2
67	15+851,59	15+993,42	51	141,83	40	N2, TL2
68	16+012,99	16+105,30	300	92,32	90	H1, H2, TL3,TL4
69	16+245,87	16+669,40	320,92	423,53	90	H1, H2, TL3,TL4
70	16+718,17	17+147,82	320	429,65	90	H1, H2, TL3,TL4
71	17+330,83	17+513,85	290	183,02	80	H1, H2, TL3,TL4
72	17+559,03	17+814,48	110	255,45	60	N2, TL2
73	17+860,36	17+987,04	100	126,68	60	N2, TL2
74	18+106,71	18+253,46	70	146,75	50	N2, TL2
75	18+298,00	18+406,15	80	108,15	50	N2, TL2
76	18+532,69	18+719,97	182,5	187,28	70	N2, TL2
77	18+826,93	19+093,17	85	266,24	50	N2, TL2
78	19+152,47	19+558,01	130,81	405,54	60	N2, TL2
79	19+716,51	19+863,75	150	147,24	70	N2, TL2
80	19+984,30	20+210,95	80,5	226,65	50	N2, TL2
81	20+258,55	20+415,79	60	157,24	40	N2, TL2
82	20+546,49	20+619,09	95	72,60	50	N2, TL2
83	20+723,98	20+808,22	78,5	84,25	50	N2, TL2
84	20+808,30	20+879,79	150	71,50	70	N2, TL2
85	21+006,17	21+108,46	200	102,29	80	H1, H2, TL3,TL4
86	21+131,31	21+236,62	300	105,31	90	H1, H2, TL3,TL4
87	21+284,50	21+448,35	165	163,85	70	N2, TL2
88	21+494,24	21+716,77	72	222,53	50	N2, TL2
89	21+787,85	21+952,60	55	164,76	40	N2, TL2
90	21+979,88	22+042,84	110	62,96	60	N2, TL2
91	22+256,92	22+315,60	360	58,68	90	H1, H2, TL3,TL4
92	22+343,95	22+435,65	68	91,70	50	N2, TL2
93	22+436,58	22+524,13	75	87,55	50	N2, TL2
94	22+562,41	22+651,73	60	89,32	40	N2, TL2
95	22+463,66	22+619,81	70	156,15	50	N2, TL2
96	22+691,05	22+830,71	50	139,65	40	N2, TL2
97	22+833,68	22+928,89	50	95,21	40	N2, TL2
98	22+931,70	23+027,64	80	95,94	50	N2, TL2
99	23+033,92	23+124,75	50	90,83	40	N2, TL2
100	23+157,29	23+272,78	50	115,49	40	N2, TL2
101	23+291,93	23+480,02	52,25	188,09	40	N2, TL2
102	23+646,21	23+928,76	255	282,54	80	H1, H2, TL3,TL4
103	23+929,03	24+125,32	173,21	196,29	70	N2, TL2
104	24+164,77	24+310,40	200	145,63	80	H1, H2, TL3,TL4

105	24+551,61	24+644,70	250	93,09	80	H1, H2, TL3,TL4
106	24+732,85	24+920,99	200	188,14	80	H1, H2, TL3,TL4
107	24+929,01	25+087,38	70	158,37	50	N2, TL2
108	25+097,46	25+221,60	100	124,14	60	N2, TL2
109	25+244,00	25+384,36	150	140,36	70	N2, TL2
110	25+535,33	25+717,61	80	182,28	50	N2, TL2
111	25+746,02	25+998,67	85	252,65	50	N2, TL2
112	26+079,12	26+241,97	55	162,86	40	N2, TL2
113	26+299,68	26+551,26	74	251,58	50	N2, TL2
114	26+767,93	26+944,35	600	176,42	120	H1, H2, TL3,TL4

FUENTE: Elaboración propia, octubre de 2017

Según el anterior cuadro se muestra el nivel de contención de cada una de las curvas del tramo de acuerdo a sus condiciones; se estableció el nivel de contención, y se cuenta con los siguientes N2, TL2 y H1, H2, TL3, TL4 según se estableció de acuerdo a las normativas.

### 3.6.1.3 Elección del tipo de barrera

Para la elección del tipo de barrera nos apoyamos en el siguiente cuadro, donde con el nivel de contención tenemos el tipo de barrera que soporta este tipo de contención.

Cuadro Nro. 16 Tipos de barreras de seguridad

Tipo	Nivel de contención
<p>Concreto:</p> <p>New Jersey 810 mm de altura 1070 mm de altura</p> <p>Barrera de perfil F 810 mm de altura 1070 mm de altura</p> <p>Barrera vertical 810 mm de altura 1070 mm de altura</p> <p>Barrera de pendiente simple 810 mm de altura 1070 mm de altura</p>	<p>TL-1, TL-2, TL-3, TL-4 TL-1, TL-2, TL-3, TL-4, TL-5</p> <p>TL-1, TL-2, TL-3, TL-4 TL-1, TL-2, TL-3, TL-4, TL-5</p> <p>TL-1, TL-2, TL-3, TL-4 TL-1, TL-2, TL-3, TL-4, TL-5</p> <p>TL-1, TL-2, TL-3, TL-4 TL-1, TL-2, TL-3, TL-4, TL-5</p>
<p>Metálicas</p> <p>Perfil Viga "W"</p> <p><b>Guardarraíl de viga thrie</b></p> <p><b>Ironwood Aesthetic</b></p>	<p>TL-1, TL-2</p> <p><b>TL-1, TL-2, TL-3</b></p> <p><b>TL-1, TL-2, TL-3</b></p>

FUENTE: Cuadro 6, Guía Para la Ubicación, Selección, y Diseño de Barreras de Seguridad Vial, ASOCCEM, Lima, marzo de 2010

Según el cuadro 16 la barrera metálica Ironwood Aesthetic y Guardarraíl de Viga Thrie son las que tiene la capacidad de contención “TL-3”. También se puede utilizar la barrera Viga W en lugares con menos riesgos de accidentes muy graves, ya que son elementos característicamente similares.

**Guardarraíl de Viga Thrie:** Es una barrera de metal, quitamiedos, bionda o guarraíl, es un elemento de protección de seguridad vial pasiva, colocado a los lados de la vía para separar calzadas de sentido contrario, o en tramos peligrosos para impedir que los vehículos se salgan de la vía o puedan chocar con elemento más peligrosos que la misma barrera. Algunos poseen reflectores incorporados. La palabra guardarraíl proviene del inglés guard - (guardar, cuidar) y – rail (camino, vía).

Características y beneficios:

Resistencia al impacto mejorada.

Bajo mantenimiento.

Económica – tanto en materiales como en instalación.

Versátil – puede suministrarse en varias configuraciones y terminaciones.

El acero continuamente galvanizado asegura un terminado consistente.

Cuadro Nro. 17 Dimensiones del guardarraíl de acero con viga thrie

L * A * A (mm)	Materiales	Grosor placa (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura - onda (mm)	Tratamiento de la superficie
3500*506*83(85)	Q235B/ Q345B	2.75/3/4	3500	506	83(85)	Revestimiento de aluminio o zinc galvanizado con fundición en caliente o revestimiento de rociado de plástico PLUS Peso 550-1220 g/m2
4128*506*83(85)		2.75/3/4	4128	506	83(85)	
4320*506*83(85)		2.75/3/4	4320	506	83(85)	

FUENTE: Internet: <http://wiremeshguardrails.com>

Estándar disponible del guardarraíl de viga thrie:

AASHTO M180 (Vigas de lámina de acero corrugadas para guardarraíl para carreteras – Estados Unidos)

JT/T 281-2007 (Vigas de lámina de acero corrugadas para guardarraíl para autopistas)

EN1317, EN ISO1461, BS6399, BS6180:1999 (Reino Unido)

RAL RG620 (Alemania)

Figura Nro. 36 Guardarraíl de viga thrie



FUENTE: Internet: <http://wiremeshguardrails.com>

Ironwood Aesthetic, barrera de metal probado según los requisitos del nivel tres de la prueba NCHRP 350 y aceptado para uso en el Sistema de Carreteras y Autopistas.

El tronco de 8 pulgadas de diámetro con su canal de acero galvanizado de 4 pulgadas x ¼ pulgadas incrustado en la parte posterior está montado en un poste de acero impulsado 5'-3". Una madera de 6 ¾" el bloque de desplazamiento enfrenta el impacto completando la combinación única de estética y seguridad. El poste de 3", se maneja con un equipo estándar de Guía. es rápido, económico y no perturba el paisaje existente.

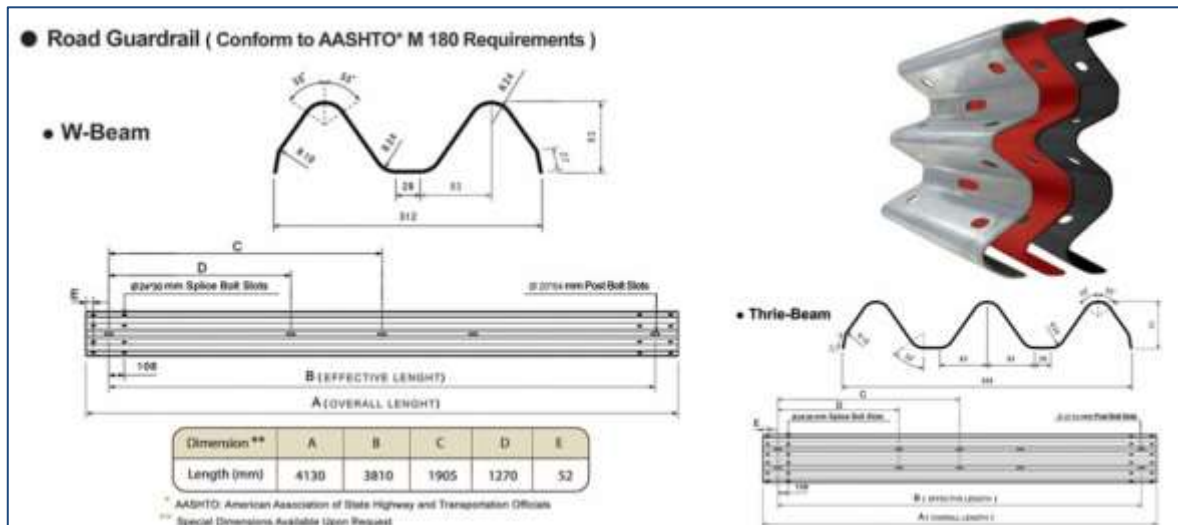
Figura Nro. 37 Guardarraíl Ironwood Aesthetic



FUENTE: <http://www.west-eastpartners.com/ironwood.php#projects>

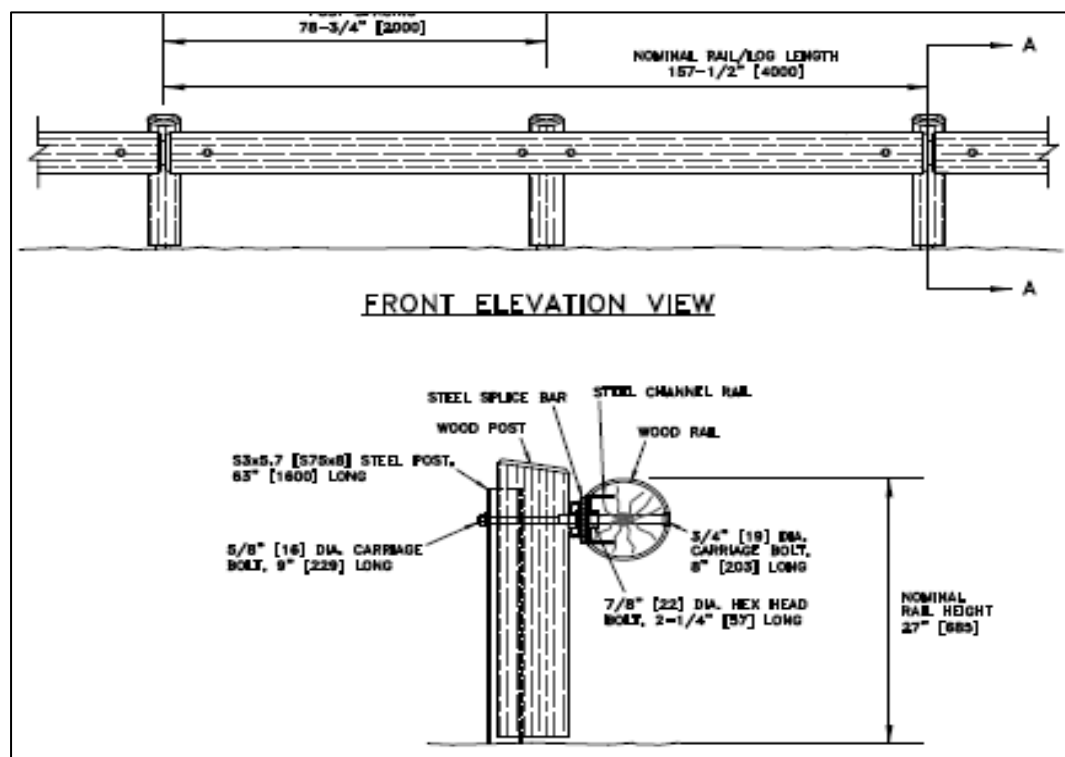
En este estudio se hará empleo de la barrera estándar AASHTO M 180, las características de este elemento se muestran en la siguiente figura:

Figura Nro. 38 Guardarraíl de viga thrie según requisitos AASHTO M180



FUENTE: Internet: <http://www.asia-profile.ir/portfolio/>

Figura Nro. 39 Guardarraíl Ironwood Aesthetic, según requisitos NCHRP 350



FUENTE: <http://www.west-eastpartners.com/ironwood.php#projects>



### 3.7 UBICACIÓN LATERAL DE LA BARRERA

Las barreras de seguridad deben colocarse a una separación mínima del borde la calzada de 0,50 m, y de ser posible, colocarse más allá de la distancia de preocupación (acápite 3.5.1.1 Zona Libre).

Si la carretera posee berma, las barreras de seguridad se colocarán fuera del mismo. Se recomienda, en cualquier caso, colocar las barreras de seguridad lo más lejos posible del borde de la vía, pero sin sobrepasar las distancias máximas que se indican en el cuadro siguiente.

Cuadro Nro. 18 Distancia de preocupación

Velocidad (km/hr)	Distancia entre el borde de la vía y la línea de preocupación, $L_s$ (m)
50	1,1
60	1,4
70	1,7
80	2,0
90	2,2
100	2,4
110	2,8

FUENTE: Tabla III-12 del Manual SCV, mayo de 2011

Considerando las condiciones del terreno, que es montañoso, y las pendientes laterales de la calzada con elevadas, es decir, que podrían facilitar el vuelco de un vehículo con centro de gravedad alto (flotas – buses). Por estos motivos se hará el emplazo de las barreras al borde de la berma, es decir a 0.85 metros de la calzada (ancho de berma 0.85 m).

Figura Nro. 40 Ubicación de la barrera de seguridad



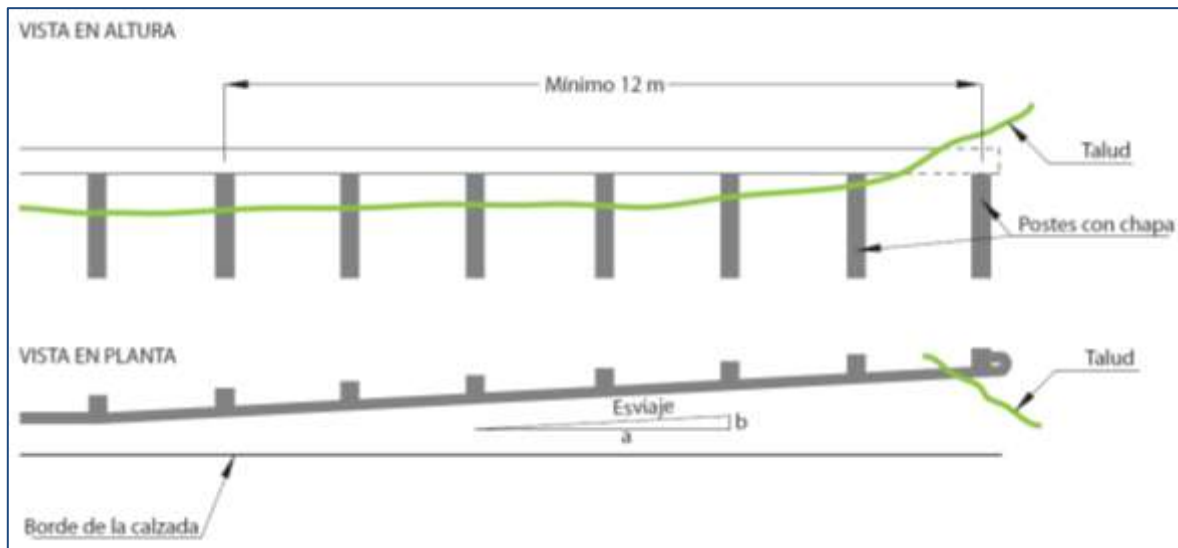
FUENTE: Fotografía propia, septiembre de 2017

### 3.8 APLICACIÓN DE TERMINALES DE BARRERA

Los extremos de una barrera de seguridad no pueden constituir, en sí mismos, un peligro potencial para los usuarios de la vía.

El tipo de terminal más recomendable y natural de una barrera de seguridad es su empotramiento en un talud. Siempre que las condiciones del sitio lo permitan, debe utilizarse este tipo de terminal para los extremos de las barreras de seguridad.

Figura Nro. 41 Empotramiento de barrera en talud



FUENTE: Figura III-22 del Manual SCV, mayo de 2011

Cuando no sea posible anclar los extremos de la barrera, bien por no disponer de un talud para tal efecto, bien por falta de espacio o bien por existir otros elementos interpuestos, entonces será necesario recurrir a otro tipo de terminal de barrera.

Cuadro Nro. 19 Criterios para seleccionar la clase de contención de un terminal

Tipo de vía	Velocidad, V (km/hr)	Clase de contención (km/hr)
Autopistas y carreteras separadas	$V > 100$	110
	$85 < V \leq 100$	100
	$V \leq 85$	80
<b>Carreteras interurbanas de calzada única</b>	$85 < V \leq 100$	100
	$V \leq 85$	<b>80</b>
Carreteras en zonas urbanas y áreas de peaje	$V \leq 85$	80

FUENTE: Tabla III-19 del Manual SCV, mayo de 2011

Según el cuadro anterior el nivel de contención de la terminal a utilizar es la de 80 km/hr.

Los tipos de terminales para guardarraíl de viga thrie de 2 y 3 ondas, bajo las especificaciones estándar de AASHTO M 180, son los siguientes:

Figura Nro. 42 Terminal tipo A



FUENTE: Internet: <http://www.guardrails.com/1-7-guardrail-terminal-end>

Figura Nro. 43 Terminal tipo B



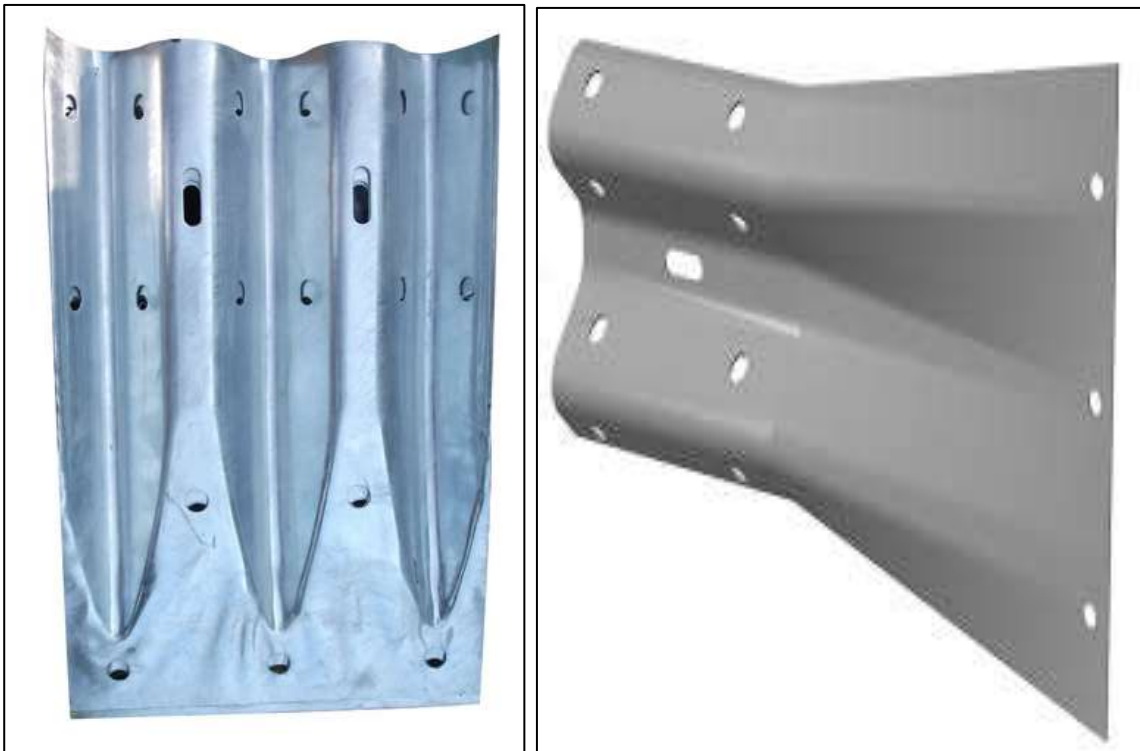
FUENTE: Internet: <http://www.guardrails.com/1-7-guardrail-terminal-end>

Figura Nro. 44 Terminal tipo C



FUENTE: Internet: <http://www.guardrails.com/1-7-guardrail-terminal-end>

Figura Nro. 45 Terminal tipo D



FUENTE: Internet: <http://www.guardrails.com/1-7-guardrail-terminal-end>

La terminal Tipo A que es la que escogemos para este proyecto, está equipada comúnmente con pegatinas de colores brillantes, con reflejo, o pintadas para incrementar la visibilidad, especialmente durante la noche. También nos apoyaremos en la Tipo D para realizar los empotramientos a los taludes en las secciones de carretera que lo permita.

El terminal Tipo de guardarraíl está diseñada para prevenir que el guardarraíl penetre en los vehículos que chocan con los extremos del sistema de barreras para carreteras. Las terminales desviarán el riel del choque para minimizar el impacto y detener el vehículo, en lo posible evitando daños catastróficos.

### **3.8.1 APLICACIÓN DE AMORTIGUADORES DE IMPACTO**

La instalación de un atenuador de impactos está justificada siempre y cuando la distancia de un obstáculo rígido discontinuo al borde de la vía o cualquier otro punto de referencia de la misma, sea inferior a la recomendable en el margen o mediana de una carretera (según los criterios para la ZLMN) y no pueda ser protegido ante un impacto frontal mediante la implantación de barreras de seguridad.

Figura Nro. 46 Ubicación amortiguador de impacto



FUENTE: Figura II-13 del Manual SCV, mayo de 2011

### 3.8.2 Ubicación de los amortiguadores de impacto

Los amortiguadores de impacto se ubican en puntos en los que no se puede emplazar las barreras de seguridad, es decir, en narices de rampas de salida y comienzo de medianas.

“Narices” en rampas de salida (accesos, desvíos) es una zona peligrosa asociada a una divergencia de salida o bifurcación, si no se dispone de un área plana y libre de obstáculos de, al menos, 60 m a partir de del punto de apertura de los carriles divergentes, se implementará un amortiguador de impacto.

Al igual que el anterior caso, se implementará amortiguadores de impacto en principio de la barrera doble de seguridad de la mediana diste menos de 40 m

Para la elección del amortiguador de impacto tendríamos el mismo nivel de contención que para las terminales, ya que se utiliza el mismo cuadro, como así también los mismos parámetros de entrada para establecer el nivel de contención.

Entonces según el cuadro 14 el nivel de contención es de 80 km/h, a partir de este resultado se escoge el tipo de amortiguador de impacto a emplear, uno que sea capaz de soportar este tipo de nivel de contención, según el cuadro correspondiente y que a su vez es el mismo que para la elección de terminales de barrera.

Para la implementación de un tipo de amortiguador de impacto, una buena opción y la que escogemos para el proyecto es, el amortiguador de impacto redirectivo, que presenta un excelente rendimiento ante un impacto a un precio asequible mediante la utilización de un diseño plegable y de absorción de energía.

Tenemos solo 4 puntos donde colocar Amortiguadores de Impacto, en ambas salidas del cruce asía Tupiza, tanto de venida desde Potosí como viceversa, es decir, desde Tarija. Donde se presentan dos “narices” por causa de las salidas asía la carretera que va a Tupiza.

Otros dos amortiguadores de impacto van en la medianera del puesto de control, carrerita al norte del país, en ambas direcciones.

Cuadro Nro. 20 Amortiguadores de impacto

<b>Nro.</b>	<b>Progresiva</b>	<b>Sentido</b>	<b>Cantidad</b>
1	47+979,000	Sur	1
2	47+924,000	Norte	1
3	24+266.485	Sur	1
4	24+310.485	Norte	1

FUENTE: Elaboración propia.

### **3.9 CANTIDADES**

#### **3.9.1 Barreras de seguridad**

Existen parámetros de la disposición de las barreras de seguridad, de acuerdo a la geometría de la carretera, vista en planta. Es decir; que en las curvas es necesario emplazar las barreras por el cambio de dirección y que genera fuerza centrífuga, tratando de sacar al vehículo de la calzada. Y en la presencia de obstáculos en cualquier tramo de la carretera, y como el tramo en estudio está ubicado en una zona montañosa, donde hay acantilados al borde de la calzada entonces se realiza la medición de campo en el tramo para establecer la ubicación de las barreras.

La ubicación de las zonas para emplazar las barreras se estableció mediante el criterio de la necesidad de contención vehicular para mitigar o minimizar el riesgo de accidentes o al menos bajar la gravedad de los posibles accidentes que pudieran suscitarse en el tramo en estudio.

Las barreras de seguridad a emplazarse en el tramo de estudio están tabuladas en el siguiente cuadro, en donde se hace referencia a su largo y las progresivas en las que se deben emplazar.

Cuadro Nro. 21 Ubicación de las nuevas barreras

Nro+	Margen izquierdo				Margen derecho			
	Barrera	Progresiva		Longitud (m)	Barrera	Progresiva		Longitud (m)
		inicio	final			inicio	final	
San Lorencito - Tunel Falda la Queñua								
1	BI-1	44+744	44+829	85	BD-1	43+960	44+100	140
2	BI-2	45+219	45+299	80	BD-2	45+306	45+376	70
3	BI-3	45+374	45+564	190	BD-3	45+458	45+638	180
4	BI-4	45+664	46+044	380	BD-4	46+510	46+645	135
5	BI-5	474+24	47+814	390	BD-5	47+413	47+778	365
Tunel Falda la Queñua - Puente Calama								
1	BI-1	1+955	2+007	52	BD-1	3+602	3+662	60
2	BI-2	2+125	2+179	54	BD-2	4+214	4+290	76
3	BI-3	2+213	2+313	100	BD-3	4+338	4+452	114
4	BI-4	2+539	2+629	90	BD-4	4+504	5+052	548
5	BI-5	2+701	2+795	94	BD-5	5+160	5+236	76
6	BI-6	2+847	2+895	48	BD-6	5+302	5374	72
7	BI-7	2+954	3+144	190	BD-7	5+444	5+644	200
8	BI-8	3+204	3+402	198	BD-8	5+720	5+912	192
9	BI-9	3+432	3+772	340	BD-9	6+334	6+406	72
10	BI-10	3+870	4+046	176	BD-10	6+642	6+894	252
11	BI-11	5+220	5+258	38	BD-11	7+211	7+419	208
12	BI-12	6+085	6+535	450	BD-12	7+971	8+267	296
13	BI-13	6+777	7+015	238	BD-13	8+789	9+279	490
14	BI-14	7+337	7+527	190	BD-14	9+693	9+787	94
15	BI-15	8+101	8+475	374	BD-15	9+929	10+043	114
16	BI-16	8+549	8+749	200	BD-16	10+260	10+486	226
17	BI-17	8+848	9+498	650	BD-17	10+858	10+922	64
18	BI-18	9+749	10+371	622	BD-18	11+166	11+974	808
19	BI-19	10+435	10+531	96	BD-19	12+338	13+156	818
20	BI-20	10+618	10+696	78	BD-20	13+228	13+502	274
21	BI-21	11+790	12+102	312	BD-21	13+562	13+746	184
22	BI-22	12+238	12+398	160	BD-22	14+040	14+272	232
23	BI-23	13+788	14+077	289	BD-23	14+404	14+474	70
24	BI-24	15+091	15+119	28	BD-24	14+882	14+928	46
25	BI-25	15+390	15+472	82	BD-25	15+080	15+247	167
26	BI-26	15+502	16+004	502	BD-26	15+345	15+379	34
27	BI-27	16+197	16+655	458	BD-27	15+653	15+825	172
28	BI-28	17+127	17+431	304	BD-28	16+509	16+781	272
29	BI-29	17+621	17+686	65	BD-29	17+271	17+405	134
30	BI-30	18+465	18+775	310	BD-30	19+087	19+215	128
31	BI-31	18+977	19+105	128	BD-31	19+332	19+402	70
32	BI-32	19+224	19+569	345	BD-32	20+378	20+556	178
33	BI-33	19+620	19+660	40	BD-33	20+848	20+900	52
34	BI-34	19+778	19+938	160	BD-34	21+546	21+580	34
35	BI-35	20+561	21+091	530	BD-35	22+032	22+256	224
36	BI-36	21+158	21+200	42	BD-36	22+968	23+032	64
37	BI-37	21+274	21+369	95	BD-37	23+136	23+202	66
38	BI-38	21+446	21+506	60	BD-38	23+410	23+494	84
39	BI-39	21+643	22+483	840	BD-39	23+746	23+988	242
40	BI-40	22+543	22+591	48	BD-40	24+242	24+339	97
41	BI-41	22+615	22+723	108	BD-41	24+347	24+383	36
42	BI-42	22+786	23+162	376	BD-42	24+617	24+969	352



43	BI-43	23+244	23+730	486	BD-43	25+625	25+695	70
44	BI-44	23+805	24+197	392	BD-44	26+561	26+931	370
45	BI-45	24+827	25+285	458	BD-45	27+683	27+703	20
46	BI-46	25+413	25+597	184	-	-	-	-
47	BI-47	25+793	25+869	76	-	-	-	-
48	BI-48	25+941	26+043	102	-	-	-	-
49	BI-49	26+328	26+474	146	-	-	-	-
50	BI-50	26+494	26+924	430	-	-	-	-
51	BI-51	27+678	27+703	25	-	-	-	-

FUENTE: Elaboración propia.

En total se cuenta con una longitud de 12.984 metros de barrera en el lado izquierdo y 9.342 metros en el lado derecho (sentido norte – sur), haciendo un total de 22.326 metros de barrera necesaria para todo el tramo en estudio. En total el tramo de estudio tiene una longitud de 32.69 Km.

### 3.9.2 Terminales de barrera

En cuanto a las terminales de barrera se empleará dos tipos de ellas, que ya se mencionó anteriormente (Tipo A y Tipo D). De acuerdo a las condiciones de zona donde se emplazará la barrera de contención, se empleará uno o el otro tipo de terminal, es decir; si en terreno lo permite se empotrará al talud de corte con un terminal de empotramiento (Tipo D) y en el caso que no se pueda realizar el empotramiento por no contar con un talud de corte o por la composición del material del talud, o simplemente porque está muy alejado de la línea de emplazamiento de la barrera se empleará la tipo A, para minimizar el daño en caso de colisión al terminal.

Figura Nro. 47 Riesgo de terminal de barrera



FUENTE: <http://elpais.bo/>

Cuadro Nro. 22 Terminales nuevas

Nro.	Margen izquierdo			Margen derecho		
	Barrera	Tipo de terminal		Barrera	Tipo de terminal	
		inicio	final		inicio	final
San Lorencito - Túnel Falda la Queñua						
1	BI-1	A	A	BD-1	D	D
2	BI-2	A	D	BD-2	D	A
3	BI-3	D	D	BD-3	A	A
4	BI-4	D	A	BD-4	A	D
5	BI-5	A	A	BD-5	D	A
Túnel Falda la Queñua - Puente Calama						
1	BI-1	D	A	BD-1	D	D
2	BI-2	A	D	BD-2	D	D
3	BI-3	D	A	BD-3	D	D
4	BI-4	A	A	BD-4	D	D
5	BI-5	A	D	BD-5	D	D
6	BI-6	D	D	BD-6	D	D
7	BI-7	D	D	BD-7	D	D
8	BI-8	D	D	BD-8	D	D
9	BI-9	D	A	BD-9	D	D
10	BI-10	D	D	BD-10	D	A
11	BI-11	D	D	BD-11	A	A
12	BI-12	D	D	BD-12	A	A
13	BI-13	D	A	BD-13	A	A
14	BI-14	A	A	BD-14	A	A
15	BI-15	A	D	BD-15	D	A
16	BI-16	A	D	BD-16	D	A
17	BI-17	D	D	BD-17	D	A
18	BI-18	A	A	BD-18	A	D
19	BI-19	A	A	BD-19	A	A
20	BI-20	D	A	BD-20	A	A
21	BI-21	A	A	BD-21	D	A
22	BI-22	A	A	BD-22	A	A
23	BI-23	A	A	BD-23	D	D
24	BI-24	D	D	BD-24	D	D
25	BI-25	D	D	BD-25	A	D
26	BI-26	A	D	BD-26	D	D
27	BI-27	A	A	BD-27	A	A
28	BI-28	A	A	BD-28	A	A
29	BI-29	A	A	BD-29	A	A
30	BI-30	D	A	BD-30	D	A
31	BI-31	D	D	BD-31	D	D
32	BI-32	A	D	BD-32	A	D
33	BI-33	A	A	BD-33	A	D
34	BI-34	A	A	BD-34	A	D
35	BI-35	A	D	BD-35	A	A
36	BI-36	D	D	BD-36	A	A
37	BI-37	A	A	BD-37	A	A
38	BI-38	D	A	BD-38	D	D
39	BI-39	A	D	BD-39	A	A
40	BI-40	A	A	BD-40	A	A
41	BI-41	A	A	BD-41	A	A
42	BI-42	A	A	BD-42	A	A
43	BI-43	A	A	BD-43	A	A
44	BI-44	A	A	BD-44	A	A
45	BI-45	A	A	BD-45	A	D
46	BI-46	A	A	-	-	-

47	BI-47	A	A	-	-	-
48	BI-48	D	D	-	-	-
49	BI-49	A	A	-	-	-
50	BI-50	A	A	-	-	-
51	BI-51	A	D	-	-	-

FUENTE: Elaboración propia.

Se tiene un total de 212 unidades de terminales de barrera, que 123 terminales son de Tipo A y 89 terminales de Tipo D. Es decir; que 89 terminales irán empotradas a los taludes de corte, según indica el cuadro anterior.

### 3.9.3 Amortiguadores de impacto

Este tipo de dispositivos de seguridad vial solo se disponen en “narices” de salidas (rampas de salida) y medianas. Dadas las condiciones y las características del tramo en estudio solo se implementarán 4 amortiguadores de impacto, como se muestra en el cuadro 18.

Los dos primeros se establecen en las salidas asía el desvío de carretera a Tupiza – Villazon, a la altura de San Lorencito. Como se muestra en las Figuras Nro. 55 - 56, tanto de sur, como de norte. Y en las medianeras del puesto de control Pajchani (caseta de control ruta norte) de dirección norte – sur y viceversa.

A continuación, se muestra imágenes satelitales de las zonas en las que se implementará este tipo de dispositivos de seguridad vial.

Figura Nro. 48 Amortiguadores de impacto “San Lorencito”



FUENTE: Elaboración propia, utilizando Google Earth.

Figura Nro. 49 Amortiguadores de impacto “Pajchani”



FUENTE: Elaboración propia, utilizando Google Earth.

### 3.10 ALTERNATIVAS DE IMPLEMENTACIÓN

Para este proyecto se consideran 3 alternativas; la primera (1ra) Barrera Guardarrañl de viga thrie, la segunda (2da) alternativa Barrera Guardarrañl Ironwood Aesthetic y la tercera (3ra) alternativa Barrera Guardarrañl de viga Thrie y dual (3 y 2 ondas)

Estos tipos de barrera se especifican en el acápite 3.6.1 Barreras de seguridad.

#### 3.10.1 Alternativas de implementación

En la primera alternativa elegida se hará uso en su totalidad de la barrera del tipo W de 3 ondas y los elementos de terminales para este tipo de barrera.

En la segunda alternativa se elige la barrera Ironwood Aesthetic, que, al igual que en la primera alternativa se hará uso de este tipo de barrera en su totalidad, pero a diferencia de la primera esta no contará con elemento de terminales de barrera, ya que este tipo termina en abatimiento.

Para la tercera y última alternativa se implementará la disposición de dos tipos de barrera, que serán W de 3 y 2 ondas. Quedando la de 3 ondas en la parte central de la barrera ya que este segmento es el que sufre mayor fuerza al momento del impacto por colisión de algún vehículo fuera de control, así mismo en uno o ambos extremos la barrera de 2 ondas.

Para la unión de estos dos tipos de barrera se hará uso de un elemento de transición, que se muestra en la siguiente figura:

Figura Nro. 50 Transición de barrera W de 3 a 2 ondas



FUENTE: <https://md.all.biz/ograzhdenie-dorozhnoe>

Este caso es particular, ya que será un conjunto de elementos de vigas W de 2 y 3 ondas, en donde se podría tener al inicio y final de cada tramo de barrera de contención vehicular la del tipo viga W de 2 ondas, restando en el centro una porción de viga W de 3 ondas. En el siguiente cuadro se muestra un resumen de este último caso.

Cuadro Nro. 23 Composición de la barrera de la 3ra alternativa

Margen izquierdo					Margen derecho				
San Lorencito - Túnel Falda la Queñua									
P. Entrada	Entrada	Medio	Salida	P. Salida	P. Entrada	Entrada	Medio	Salida	P. Salida
44+744	14	57	14	44+829	43+960	20	100	20	44+100
45+219	12	56	12	45+299	45+306	11	48	11	45+376
45+374	30	130	30	45+564	45+458	27	126	27	45+638
45+664	65	250	65	46+044	46+510	20	95	20	46+645
474+24	60	270	60	47+814	47+413	54	257	54	47+778
Túnel Falda la Queñua - Puente Calama									
1+955	-	52	-	2+007	3+602	-	60	-	3+662
2+125	15	25	14	2+179	4+214	-	76	-	4+290
2+213	50	-	50	2+313	4+338	-	80	34	4+452
2+539	45	-	45	2+629	4+504	100	360	88	5+052
2+701	-	94	-	2+795	5+160	76	-	-	5+236
2+847	-	48	-	2+895	5+302	72	-	-	5374
2+954	-	190	-	3+144	5+444	60	80	60	5+644
3+204	138	60	-	3+402	5+720	192	-	-	5+912
3+432	-	50	290	3+772	6+334	72	-	-	6+406
3+870	-	50	126	4+046	6+642	98	80	74	6+894
5+220	-	38	-	5+258	7+211	208	-	-	7+419
6+085	190	140	120	6+535	7+971	109	187	-	8+267
6+777	143	95	-	7+015	8+789	191	299	-	9+279
7+337	190	-	-	7+527	9+693	94	-	-	9+787
8+101	374	-	-	8+475	9+929	114	-	-	10+043
8+549	150	50	-	8+749	10+260	226	-	-	10+486
8+848	650	-	-	9+498	10+858	64	-	-	10+922
9+749	71	200	351	10+371	11+166	94	120	594	11+974
10+435	96	-	-	10+531	12+338	512	100	206	13+156
10+618	78	-	-	10+696	13+228	274	-	-	13+502
11+790	170	142	-	12+102	13+562	184	-	-	13+746
12+238	160	-	-	12+398	14+040	232	-	-	14+272
13+788	289	-	-	14+077	14+404	70	-	-	14+474
15+091	28	-	-	15+119	14+882	46	-	-	14+928
15+390	82	-	-	15+472	15+080	-	167	-	15+247
15+502	188	150	164	16+004	15+345	34	-	-	15+379
16+197	103	355	-	16+655	15+653	172	-	-	15+825
17+127	304	-	-	17+431	16+509	272	-	-	16+781
17+621	65	-	-	17+686	17+271	134	-	-	17+405
18+465	310	-	-	18+775	19+087	128	-	-	19+215
18+977	-	128	-	19+105	19+332	-	70	-	19+402
19+224	345	-	-	19+569	20+378	178	-	-	20+556
19+620	40	-	-	19+660	20+848	52	-	-	20+900
19+778	42	118	-	19+938	21+546	34	-	-	21+580
20+561	50	480	-	21+091	22+032	224	-	-	22+256
21+158	42	-	-	21+200	22+968	64	-	-	23+032
21+274	-	95	-	21+369	23+136	66	-	-	23+202
21+446	60	-	-	21+506	23+410	-	84	-	23+494
21+643	100	740	-	22+483	23+746	-	114	128	23+988
22+543	48	-	-	22+591	24+242	-	-	-	24+339
22+615	50	58	-	22+723	24+347	36	-	-	24+383
22+786	154	102	120	23+162	24+617	143	155	54	24+969
23+244	486	-	-	23+730	25+625	-	70	-	25+695
23+805	95	200	97	24+197	26+561	370	-	-	26+931
24+827	123	140	195	25+285	27+683	20	-	-	27+703
25+413	184	-	-	25+597	-	-	-	-	-
25+793	-	76	-	25+869	-	-	-	-	-

25+941	102	-	-	26+043	-	-	-	-	-
26+328	-	146	-	26+474	-	-	-	-	-
26+494	-	45	385	26+924	-	-	-	-	-
27+678	25	-	-	27+703	-	-	-	-	-

FUENTE: Elaboración propia.

Para este caso tenemos para el margen izquierdo 8.154 m de barrera W de 2 ondas, 4.830 m de barrera W de 3 ondas. Para el margen derecho tenemos 6.517 m de barrera W de 2 ondas y un total de 2.728 m de barrera W de 3 ondas, teniendo en total 14.671 m de barrera tipo viga W de 2 ondas y 7.558 m del tipo de 3 ondas.

En cuanto a las terminales de barrera y transiciones del tipo de barrera tenemos el siguiente cuadro resumen que muestra este detalle para cada una de las barreras a emplazar de acuerdo al diseño.

Cuadro Nro. 24 Terminales de barrera y transiciones: alternativa 3

Nro.	Margen Izquierdo				Margen Derecho			
	Barrera	Tipo de terminal			Barrera	Tipo de terminal		
		inicio	Transición	final		inicio	Transición	final
San Lorencito - Túnel Falda la Queñua								
1	BI-1	A'	2	A'	BD-1	D'	2	D'
2	BI-2	A'	2	D'	BD-2	D'	2	A'
3	BI-3	D'	2	D'	BD-3	A'	2	A'
4	BI-4	D'	2	A'	BD-4	A'	2	D'
5	BI-5	A'	2	A'	BD-5	D'	2	A'
Túnel Falda la Queñua - Puente Calama								
1	BI-1	D	-	A	BD-1	D	-	D
2	BI-2	A'	2	D'	BD-2	D	-	D
3	BI-3	D'	-	A'	BD-3	D	1	D'
4	BI-4	A'	-	A'	BD-4	D'	2	D'
5	BI-5	A	-	D	BD-5	D'	-	D
6	BI-6	D	-	D	BD-6	D'	-	D
7	BI-7	D	-	D	BD-7	D'	2	D'
8	BI-8	D'	1	D	BD-8	D'	-	D
9	BI-9	D	1	A'	BD-9	D'	-	D
10	BI-10	D	1	D'	BD-10	D'	2	A'
11	BI-11	D	-	D	BD-11	A'	-	A
12	BI-12	D'	2	D'	BD-12	A'	1	A
13	BI-13	D'	1	A	BD-13	A'	1	A
14	BI-14	A'	-	A	BD-14	A'	-	A
15	BI-15	A'	-	D	BD-15	D'	-	A
16	BI-16	A'	1	D	BD-16	D'	-	A
17	BI-17	D'	-	D	BD-17	D'	-	A
18	BI-18	A'	2	A'	BD-18	A'	2	D'
19	BI-19	A'	-	A	BD-19	A'	2	A'
20	BI-20	D'	-	A	BD-20	A'	-	A
21	BI-21	A'	1	A	BD-21	D'	-	A
22	BI-22	A'	-	A	BD-22	A'	-	A

23	BI-23	A'	-	A	BD-23	D'	-	D
24	BI-24	D'	-	D	BD-24	D'	-	D
25	BI-25	D'	-	D	BD-25	A	-	D
26	BI-26	A'	2	D'	BD-26	D'	-	D
27	BI-27	A'	1	A	BD-27	A'	-	A
28	BI-28	A'	-	A	BD-28	A'	-	A
29	BI-29	A'	-	A	BD-29	A'	-	A
30	BI-30	D'	-	A	BD-30	D'	-	A
31	BI-31	D	-	D	BD-31	D	-	D
32	BI-32	A'	-	D	BD-32	A'	-	D
33	BI-33	A'	-	A	BD-33	A'	-	D
34	BI-34	A'	1	A	BD-34	A'	-	D
35	BI-35	A'	1	D	BD-35	A'	-	A
36	BI-36	D'	-	D	BD-36	A'	-	A
37	BI-37	A	-	A	BD-37	A'	-	A
38	BI-38	D'	-	A	BD-38	D	-	D
39	BI-39	A'	1	D	BD-39	A	1	A'
40	BI-40	A'	-	A	BD-40	A	-	A
41	BI-41	A'	1	A	BD-41	A'	-	A
42	BI-42	A'	2	A'	BD-42	A'	2	A'
43	BI-43	A'	-	A	BD-43	A	-	A
44	BI-44	A'	2	A'	BD-44	A'	-	A
45	BI-45	A'	2	A'	BD-45	A'	-	D
46	BI-46	A'	-	A	-	-	-	-
47	BI-47	A	-	A	-	-	-	-
48	BI-48	D'	-	D	-	-	-	-
49	BI-49	A	-	A	-	-	-	-
50	BI-50	A	1	A'	-	-	-	-
51	BI-51	A'	-	D	-	-	-	-

FUENTE: Elaboración propia.

De acuerdo al diseño, y que se muestra en el cuadro anterior tenemos; Terminales de barrea tipo A un total de 52 unidades, terminales tipo D son 45 unidades, en tanto la tipo A' son 71 unidades y por último las tipo D' son 44 unidades. Y por último las transiciones son 62 unidades.

Cabe mencionar que las terminales tipo A-D se refiere a terminales para barrera de 3 ondas, en tanto las A'-D' se refiere a terminales para barrera de 2 ondas.

### 3.11 PRESUPUESTO DE LAS ALTERNATIVAS

#### 3.11.1 Precio unitario

El precio unitario para este proyecto se base en una investigación de costos de los materiales a utilizar y la mano de obra. Para ello nos basamos en una copia de cotización adquirida a través de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), quién nos facilitó dicha



información, más un parámetro de la mano de obra, en la cual nos apoyamos al momento de efectuar nuestras planillas de precios unitarios.

### 3.11.1.1 Primera alternativa

Esta primera alternativa consta de 4 ítems, estos son:

Cuadro Nro. 25 Ítems primera alternativa

Nro.	Ítem
1	Provisión y colocado barrera de seguridad (viga thrie) más sus componentes
2	Provisión y colocado terminal de barrera tipo A
3	Provisión y colocado terminal de barrera tipo D
4	Provisión y colocado amortiguador de impacto

FUENTE: Elaboración propia.

### 3.11.1.2 Segunda alternativa

Para esta alternativa, ya que no comprende terminales de barrea, solo contamos con dos ítems:

Cuadro Nro. 26 Ítems segunda alternativa

Nro.	Ítem
1	Provisión y coloc barrera de seguridad (Ironwood Aesthetic) más sus componentes
2	Provisión y coloc amortiguador de impacto

FUENTE: Elaboración propia.

### 3.11.1.3 Tercera alternativa

En esta última alternativa, tenemos un total de 8 ítems, esto se debe a que esta es más elaborada, compuesta por dos tipos de barreras, pero similares, del tipo W de 2 y de 3 ondas

Cuadro Nro. 27 Ítems tercera alternativa

Nro.	Ítem
1	Provisión y coloc barrera de seguridad (viga 2 ondas) más sus componentes
2	Provisión y coloc barrera de seguridad (viga 3 ondas) más sus componentes
3	Provisión y coloc terminal de barrera tipo A (viga 2 ondas)
4	Provisión y coloc terminal de barrera tipo A (viga 3 ondas)
5	Provisión y coloc terminal de barrera tipo D (viga 2 ondas)
6	Provisión y coloc terminal de barrera tipo D (viga de 3 ondas)
7	Provisión y coloc transición de viga de 3 a 2 ondas
8	Provisión y coloc amortiguador de impacto

FUENTE: Elaboración propia.

### 3.11.2 Costo de materiales

El análisis, cálculo e integración de los precios unitarios para un trabajo determinado deberá guardar congruencia con los procedimientos constructivos o la metodología de ejecución de los trabajos, con el programa de ejecución convenido, así como con los programas de utilización de personal y de maquinaria y equipo de construcción, debiendo tomar en cuenta los costos vigentes de los materiales, recursos humanos y demás insumos necesarios en el momento y en la zona donde se llevarán a cabo los trabajos, sin considerar el impuesto al valor agregado.

Cuadro Nro. 28 Costo de los materiales

Nro.	Material	Unidad	Costo (Bs)
1	Barrera W de 2 ondas	m	180
2	Barrera W de 3 ondas	m	270
3	Barrera Ironwood Aesthetic	m	336.47
4	Terminal de barrera tipo A	pza	69
5	Terminal de barrera tipo A'	pza	23
6	Terminal de barrera tipo D	pza	69
7	Terminal de barrera tipo D'	pza	23
8	Amortiguador de impacto	pza	2784.00

FUENTE: Elaboración propia.

El cálculo de cada uno de los cargos que integran un precio unitario, se deberán analizar por separado para que finalmente se integren cada uno de estos en un formato para el análisis de precios unitarios. Conviene también el manejo de formatos preestablecidos para el caso de análisis de costos de impuesto y el análisis de indirectos.

A continuación, se muestra los cuadros con los resultados del análisis de precios unitarios para cada uno de los ítems establecidos para las tres alternativas de este proyecto de investigación. Las planillas completas de los precios unitarios se muestran en anexos de este documento.

Cuadro Nro. 29 Precios unitarios primera alternativa

Nro.	Ítem	Unidad	Precio (Bs)	
			Manual	Hincadora
1	Provisión y coloc barrera de seguridad (viga thrie)	m	575,53	528,79
2	Provisión y coloc terminal de barrera tipo A	pza	94,46	94,46
3	Provisión y coloc terminal de barrera tipo D	pza	94,46	94,46
4	Provisión y coloc amortiguador de impacto	pza	3542,70	3542,70

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro Nro. 30 Precios unitarios segunda alternativa

Nro.	Ítem	Unidad	Precio (Bs)	
			Manual	Hincadora
1	Provisión y coloc barrera de seguridad (Ironwood Aesthetic) más sus componentes	m	558,74	521,91
2	Provisión y coloc amortiguador de impacto	pza	3542,70	3542,70

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro Nro. 31 Precios unitarios tercera alternativa

Nro.	Ítem	Unidad	Precio (Bs)	
			Manual	Hincadoara
1	Provisión y coloc barrera de seguridad (viga 2 ondas) más sus componentes	m	505,75	469,35
2	Provisión y coloc barrera de seguridad (viga 3 ondas) más sus componentes	m	575,53	528,79
3	Provisión y coloc terminal de barrera tipo A (viga 2 ondas)	pza	36,04	36,04
4	Provisión y coloc terminal de barrera tipo A (viga 3 ondas)	pza	94,46	94,46
5	Provisión y coloc terminal de barrera tipo D (viga 2 ondas)	pza	36,04	36,04
6	Provisión y coloc terminal de barrera tipo D (viga de 3 ondas)	pza	94,46	94,46
7	Provisión y coloc transición de viga de 3 a 2 ondas	pza	75,41	75,41
8	Provisión y coloc amortiguador de impacto	pza	3542,70	3542,70

FUENTE: Elaboración propia.

### 3.11.3 Presupuesto

El presupuesto de cada alternativa del proyecto ha sido elaborado en base a la cubicación de los volúmenes de obra para cada uno de los ítems (partidas) que lo conforman (ver detalles en cómputos métricos en anexos).

Cuadro Nro. 32 Presupuesto primera alternativa

Item	Descripción	Unid	Cant.	Metodología manual		Maquinaria tipo hincadora	
				Precio unt. (Bs)	Costo ítem (Bs)	Precio unt. (Bs)	Costo ítem (Bs)
1	Provisión y coloc barrera de seguridad (viga thrie) más sus componentes	m	22.326,0	575,53	12.849.262,96	528,79	11.810.454,00
2	Provisión y coloc terminal de barrera tipo A	pza	123,00	94,46	11.618,90	94,46	11.618,90
3	Provisión y coloc terminal de barrera tipo D	pza	89,00	94,46	8.407,17	94,46	8.407,17
4	Provisión y coloc amortiguador de impacto	pza	4,00	3.542,70	14.170,80	3.542,70	14.170,80
<b>Presupuesto total:</b>					<b>12.883.459,84</b>		<b>11.844.650,88</b>

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro Nro. 33 Presupuesto segunda alternativa

Item	Descripción	Unid	Cant.	Metodología manual		Maquinaria tipo hincadora	
				Precio unt. (Bs)	Costo ítem (Bs)	Precio unt. (Bs)	Costo ítem (Bs)
1	Provisión y coloc barrera de seguridad (Ironwood Aesthetic) más sus componentes	m	22.326,0	558,74	12.474.484,96	522,00	11.654.172,00
2	Provisión y coloc amortiguador de impacto	pza	4,00	3.542,70	14.170,80	3.542,70	14.170,80
<b>TOTAL PRESUPUESTO:</b>					<b>12.488.655,76</b>		<b>11.668.342,80</b>

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro Nro. 34 Presupuesto tercera alternativa

Item	Descripción	Unid	Cant.	Metodología manual		Maquinaria tipo hincadora	
				Precio unt. (Bs)	Costo ítem (Bs)	Precio unt. (Bs)	Costo ítem (Bs)
1	Provisión y coloc barrera de seguridad (viga 2 ondas) más sus componentes	m	7.558,00	505,75	3.822.422,09	470,00	3.552.260,00
2	Provisión y coloc barrera de seguridad (viga 3 ondas) más sus componentes	m	14.671,0	575,53	8.443.587,61	529,00	7.760.959,00
3	Provisión y coloc terminal de barrera tipo A (viga 2 ondas)	pza	71,00	36,04	2.558,80	36,04	2.558,80
4	Provisión y coloc terminal de barrera tipo A (viga 3 ondas)	pza	52,00	94,46	4.912,06	94,46	4.912,06
5	Provisión y coloc terminal de barrera tipo D (viga 2 ondas)	pza	44,00	36,04	1.585,74	36,04	1.585,74
6	Provisión y coloc terminal de barrera tipo D (viga de 3 ondas)	pza	45,00	94,46	4.250,82	94,46	4.250,82
7	Provisión y coloc transición de viga de 3 a 2 ondas	pza	62,00	75,41	4.675,52	75,41	4.675,52
8	Provisión y coloc amortiguador de impacto	pza	4,00	3.542,70	14.170,80	3.542,70	14.170,80
<b>TOTAL PRESUPUESTO:</b>					<b>12.298.163,42</b>		<b>11.345.372,73</b>

FUENTE: Elaboración propia.

Este tramo de carretera es del tipo zona montañosa, por ello se hace empleo de más metros lineales de barrera, ya que el riesgo en los accidentes se eleva debido a las grandes caídas que se tienen al borde de la calzada, también por las fuertes pendientes que se tienen en el tramo.

### 3.11.4 Especificaciones técnicas

Las defensas metálicas son dispositivos de seguridad que se instalan como barreras de protección en las carreteras y vialidades urbanas, en los lugares donde exista peligro, ya sea por el alineamiento del camino, altura de los terraplenes, alcantarillas, otras estructuras o por accidentes topográficos, entre otros, con el fin de incrementar la seguridad de los usuarios, evitando en lo posible que los vehículos salgan del camino y encauzando su trayectoria hasta disipar la energía del impacto. Se forman con vigas acanaladas o tubos de acero galvanizado, de dos o de tres crestas, que se empalman longitudinalmente sujetándolas con tornillos y tuercas en elementos separadores soportados en postes de madera o, cuando el proyecto. Sus extremos pueden ser aterrizados, tener secciones de amortiguamiento o terminales, según lo indique el proyecto. Cuando en una defensa se tenga un tramo de dos crestas y otro de tres crestas, esos tramos se unen mediante una sección de transición.

A continuación, se hace mención del detalle de especificaciones de los elementos del tipo viga W de 2 y 3 ondas:

**BARRERA:** Sección “W” con ocho perforaciones alargadas por extremo y espesor de 3 mm. Largo Total: 4.320 mm., LARGO ÚTIL 4.000 mm. Perfil según geometría norma AASHTO M-180 de doble onda, galvanizada según Norma ASTM A-123 (espesor de galvanizado 65 micras por cara = 920 gr. de zinc sumando ambas caras), acero calidad A 37-24 ES (A-240 ES).

**POSTES:** Sección “C”, 120 (ancho) x 68 (ala) x 18 (pliegue), largo 1.500 mm., espesor 5 mm. Acero A 37-24 ES (A-240 ES), galvanizado según Norma ASTM A-123 (espesor de galvanizado 85 micras por cara = 1.030 gr. de zinc sumando ambas caras).

**SEPARADOR ESTÁNDAR:** Largo 334 mm., alto 194 mm., ancho 90 mm., espesor 3 mm., galvanizado según Norma ASTM A-123.

TERMINALES:	Standard, espesor 3 mm., galvanizado según Norma ASTM A-123 (espesor de galvanizado 65 micras por cara = 920 gr. de zinc sumando ambas caras), Acero calidad A 37-24 ES (A-240 ES).
OJOS DE GATO:	Tipo plancha galvanizada de 2 mm., con scotchlite alta intensidad Amarillo de 170 Cd/luz/m <sup>2</sup> y color blanco de 250 Cd/luz/m <sup>2</sup> .
PERNOS Y TUERCAS:	Los pernos y tuercas son de 16 mm. de diámetro y largos de 32 mm. y 45 mm. Se incluyen los requeridos para el montaje. Fabricación según Norma ASTM A-307, Grado A y galvanizado según Norma ASTM A-153, Clase C.

Deseamos hacer notar que las barreras y accesorios cumplen Normas Internacionales de Seguridad y las NORMAS BOLIVIANAS NB 165001 y 165002, aprobadas por IBNORCA para SISTEMAS DE CONTENCIÓN VIAL.

Las especificaciones bajo la norma AASHTO M 180, en la que nos regimos, se encuentran en anexos de este documento. Para mayor referencia y detalle de los elementos a emplear.

### **3.12 ELECCIÓN DE ALTERNATIVA**

De acuerdo a los costos de aplicación de las 3 alternativas planteadas en esta investigación, tenemos que la mejor y la considerada de ahora en adelante es la tercera alternativa y con maquinaria del tipo hincadora, con un presupuesto de 11.345.372,73 Bs (Once millones trescientos cuarenta y cinco mil trescientos setenta y dos con 73/00 Bolivianos).

Esta alternativa es la más viable también desde el punto de vista técnico, ya que es un conjunto de 2 tipos de barrera similares, la comúnmente usada y la que podemos ver en cualquier carretera de nuestra ciudad es la Viga W de 2 ondas, a ella se suma en los lugares de mayor impacto en curvas donde se genera fuerza centrífuga, que pudiera sacar al vehículo de las carreteras o ya será por impacto por pérdida de control, la barrera de seguridad de viga

W de 3 ondas, que es una predecesora de la anterior, pero, con una mayor capacidad de contención.

Estos dos (2) tipos de barrera están bajo la norma AASHTO M 180, y que cumple las condiciones de las normativas bolivianas de contención vehicular, que antes se mencionaron y que son las NB 165001 y la NB 165002 respectivamente.

Estos dos tipos de viga tienen el mismo tipo de ensamblaje, además que estos dos tipos de viga que se utilizaron en carreteras de otros países, dando muy buenos resultados.

Como ya se mencionó esta dupla de barreras se implementa de la siguiente manera, en los extremos del tramo de barrera y que lo permita se emplazará la viga de 2 ondas quedando en el medio la de 3 ondas, esto está bajo el detalle del cuadro 21 y 22, que se muestran anteriormente.

### 3.13 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos a través de esta investigación nos muestran claramente un aumento en los costos de materiales y mano de obra, ya que existe un aumento en los metros lineales totales de emplazar barreras de seguridad con sus respectivas terminales y la aplicación de la disposición de amortiguadores de impacto en lugares que lo requieren.

Cuadro Nro. 35 Cuadro comparativo de costos y cantidades

<b>Barrera de seguridad</b>					
Detalle		Cantidad	P.U.	Costo	
		[M]	[M]	TOTAL [Bs]	
Existente		8.185,00	505,75	4.139.563,75	
Nuevo	2 Ondas	14.671,00	469,35	6.885.833,65	10.882.428,47
	3 Ondas	7.558,00	528,79	3.996.594,82	
<b>Terminales de barrera</b>					
Existente		148,00	36,04	5.333,92	
Nuevo	Tipo A	52,00	36,04	1.874,08	14.358,98
	Tipo D	45,00	36,04	1.621,80	
	Tipo A'	71,00	94,46	6.706,66	
	Tipo D'	44,00	94,46	4.156,44	
<b>Transiciones de barrera</b>					
Nuevo		62,00	75,41	4.675,42	
<b>Amortiguadores de impacto</b>					
Nuevo		4,00	3542,70	14170,80	

FUENTE: Elaboración propia.



En Cuadro Nro. 33 nos muestra los resultados comparativos obtenidos a través de esta investigación, en los tres aspectos que involucran este proyecto que trata de elementos de contención vehicular y que son; las barreras de seguridad, terminales de barrera y amortiguadores de impacto.

En cuanto a las barreras de seguridad tenemos que en lo existente hay un total de **8.185 m** de barrera, a diferencia de la nueva disposición tenemos un total de **22.326 m** de barrera, es decir que, existe un aumento del **272.77 %** de emplazamiento de barreras de seguridad, al igual que existe un cambio del tipo de barrera del tipo W de dos ondas al guardarraíl de tres ondas.

En las terminales de barra tenemos que existen un total de **148** elementos del tipo cola de pez y en resultado de la nueva disposición de los elementos de contención vehicular tenemos que existe un aumento debido a que también se aumentaron las barreras, en la nueva disposición tenemos un total de **212** terminales de barrera, en las que **52** son del tipo A, **71** son del tipo A', **45** don del tipo D y las restantes **44** son del tipo D'. Se tiene un incremento del **168.65 %**. Y que también existe diferencia en los tipos de terminal empleados en el diseño existente como en el nuevo.

En tanto los elementos de transición tenemos una implementación del **100 %**, con 62 elementos, que dadas las condiciones de la composición de la barrera son necesarios para empalmar estos dos tipos de barrera.

Para los amortiguadores de impacto se tiene que en el diseño de la disposición de estos elementos no se cuenta con ellos, debido a que quizá en el momento de la implementación no era de necesidad, pero ahora con este estudio se pudo identificar 4 puntos de necesidad de implementación. Ellos se muestran en los acápite correspondientes, dos se ubican en la salida (desvio) de carretera asía las comunidades de Tupiza y Villazon y los otros dos puntos de importancia se emplazarían en las medianas del puesto de control Pajchani. Con un total del **100 %** de aumento ya que replicando que en el diseño existente no se cuenta con estos elementos.

**CAPÍTULO VI**

**CONCLUSIONES Y**

**RECOMENDACIONES**

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

- ❖ Se cumplió con la evaluación de dispositivos de terminales de barrera y amortiguadores de impacto en tramo Tarija - Falda la Queñua - San Lorencito cumpliendo con los criterios técnicos de seguridad vial distribuidos y necesarios de acuerdo a normativa.
- ❖ Se definió los requerimientos que deben cumplir los sistemas de contención vehicular que se utilicen en nuestro país.
- ❖ Se realizó un estudio de tráfico en el tramo establecido en este proyecto. Trayectoria Tarija – Falda la Queñua – San Lorencito.
- ❖ Se analizó la factibilidad de aplicación de amortiguadores de impacto y elementos terminales en el trayecto de Cruce el Rancho – Falda la Queñua – San Lorencito. Dicho camino está compuesto por dos tramos: uno entre Cruce el Rancho a Falda la Queñua, otro desde la salida (Sur – Norte) del túnel Falda la Queñua hasta San Lorencito.
- ❖ Para el caso del tramo San Lorencito hasta el túnel Falda la Queñua, no se observaron mayores peligros, ya que es un camino sin mucha variación de pendientes y además poco sinuoso. Solamente se identificó un par nuevo de barreras de seguridad.
- ❖ En el mismo tramo se identificó dos puntos críticos de salidas de accesos principales, porque en estos puntos existe riesgo de impacto al tomar la salida, es decir, al tomar la salida asía la carretera a Tupiza – Villazon, en los que se deben implementar amortiguadores de impacto.

<b>Nro.</b>	<b>Progresiva</b>	<b>Sentido</b>	<b>Cantidad</b>
1	47+979,000	Sur	1
2	47+924,000	Norte	1

- ❖ A diferencia del anterior tramo, el tramo desde el túnel Falda la Queñua hasta el cruce El Rancho, es de topografía accidentada, zona montañosa con pendientes fuertes en la carretera de hasta 8% (Serranía de la Queñua) con grandes caídas al borde de la calzada. Este tramo que conforma parte de este estudio es de alto riesgo en caso de accidentes, con un promedio de 2839 al año, lo que conlleva a una mayor parte de la carretera con

necesidad de barreras de contención. Lo que acrecentó el presupuesto de obras (provisión e instalación de barrera y sus elementos).

- ❖ Al igual que en el anterior tramo se identificó dos puntos críticos de medianeras, en el puesto de control Pajchani (puesto de control carretera norte), porque sería fatal en caso de impacto en estos puntos, es por ello que se deben implementar amortiguadores de impacto.

<b>Nro.</b>	<b>Progresiva</b>	<b>Sentido</b>	<b>Cantidad</b>
3	24+266.485	Sur	1
4	24+310.485	Norte	1

- ❖ 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.
- ❖ En caso de las terminales de terminales de barrera se debe hacer uso de un tipo más seguro, es decir; que las terminales del tipo cola de pez, que son las más comunes de implementación y también las más riesgosas ya que pueden agravar los daños del vehículo y los tripulantes. Como se puede ver en la Figura. 46. Así de esta manera es que se establece para este proyecto un tipo de terminal con más seguridad (Tipo A) la cual se hace referencia en el acápite 3.8.
- ❖ Existe un incremento de todos los elementos de contención, en el caso de las barreras de seguridad tenemos un incremento del 272,77 %, en las terminales de barrera se tiene el 168,65 % y en los amortiguadores de impacto y transiciones se tiene el 100 %. En el momento en el que diseño el emplazamiento actual simplemente se siguió lo acostumbrado, la aplicación de la barrera del tipo W de dos ondas y las terminales sencillas que son la cola de pez y tipo aleta y también la no aplicación de amortiguadores de impacto.

- ❖ Establecimos una metodología básica de implementación de dispositivos de seguridad, terminales de barrera y amortiguadores de impacto. En base a manuales de las normas NCHRP Reporte 350 y NE 1317, que se hace referencia en bibliografía.

## **4.2 RECOMENDACIONES**

- ❖ Es recomendable siempre trabajar con datos obtenidos en campo puesto que existen datos que se pueden asumir en función a experiencias de otras carreteras pero que tal vez no sean los más adecuados para nuestro tramo en estudio.
- ❖ Se recomienda realizar los aforos por lo menos 12 horas ya que se comprueba que hay variación horaria en los volúmenes de tráfico.
- ❖ Durante los aforos se debe tener en cuenta los elementos de seguridad; chaleco fluorescente y conos. Para evitar cualquier peligro a causa del constante tránsito de los vehículos que pasan por el tramo en cuestión.
- ❖ Para las mediciones de distancias, hace falta dos personas o más ya que existen distancias considerables desde una a otra barrera y se puede dificultar las mediciones. Una alternativa más viable y que nos daría mejores resultados en tiempo y precisión, sería el uso de un odómetro. Es un elemento de fácil uso.
- ❖ Para obtener resultados confiables de una evaluación superficial se debe seguir las instrucciones de este documento tomando en cuenta las condiciones del lugar donde se llevará a cabo dicha evaluación.