



Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas

**“SISTEMAS DE CONTENCIÓN VEHICULAR Y SU RELACIÓN CON
LOS RIESGOS POTENCIALES ASOCIADO A LOS ACCIDENTES
POR SALIDA DE VÍA EN EL CIRCUITO DE PLAYAS DE LA COSTA
VERDE, TRAMO: SAN MIGUEL - MAGDALENA”**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de
Transportes.

AUTOR (A)

VILLANUEVA ARTEAGA, FIORELLA SASKIA

ASESOR (A)

Ing. Higinio Flores Vidal

JURADO

Mg. Pervis Paredes Paredes

Mg. Leonidas Carolina Salazar Bravo

Dr. Jorge Alberto Vales Carrillo

Ing. José Alberto Huiman Sandoval

Lima – Perú

2018

DEDICATORIA

La presente tesis va dedicado a mi padre Claudio, por su compañía constante en cada paso que doy; a mi madre Edith, por la entrega de su vida hacia mi formación personal y académica; mi hermana Claudia, por la motivación a nunca rendirse ante los problemas y en especial a mi hermano Diego, por haber sido mi empuje y mi cable a tierra para lograr este paso.

AGRADECIMIENTOS

A mi hermano, Ing. Diego Villanueva, por la orientación y el apoyo incondicional para culminar esta tesis y al Ing. Granvil Pérez, por su apoyo e interés demostrado en el desarrollo del tema.

RESUMEN

La presente tesis tiene por objetivo determinar la relación entre la instalación de un sistema de contención vehicular y el riesgo potencial asociado a los accidentes de tránsito por salida de vía en el Circuito de playas de la Costa Verde en el tramo: San Miguel – Magdalena, con la finalidad de disminuir el riesgo de fatalidad a la que se ven expuestos conductores y terceros que circulan por esta vía, así como conocer los aspectos que inciden en la colocación de un dispositivo de contención. Para tal fin, se llevó a cabo el análisis y evaluación de riesgos de los peligros potenciales identificados en el tramo mencionado, realizando una comparación entre las barreras de seguridad instaladas en la actualidad y las características de las barreras de acuerdo a los criterios establecidos en los manuales de diseño, normas internacionales y el último Manual de Seguridad Vial publicado en julio del 2017 por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones. En el tramo estudiado se observa la falta de una zona despejada que permita al conductor detener o reconducir su vehículo de manera segura y el inadecuado tratamiento de los obstáculos ubicados al margen de la vía, de esta manera se resume el nivel de riesgo a la cual se exponen los usuarios a diario. Si bien los accidentes son eventos impredecibles, éstos sí se pueden prevenir evaluando todas las posibles alternativas de solución; en su mayoría de casos por características propias de la Costa Verde resulta factible la instalación de sistemas de contención vehicular, sin embargo, los elementos colocados en el sitio no cumplen con los criterios técnicos establecidos, lo cual permite afirmar que los sistemas de contención instalados bajo esta condición pueden convertirse en un obstáculo adicional al margen de la vía, aumentando en gran medida en nivel de gravedad ante un posible accidente.

Palabras clave: Sistemas de contención vehicular, accidentes por salida de vía, Circuito, de playas Costa Verde.

ABSTRACT

The objective of this thesis is to determine the relationship between the installation of a vehicle containment system and the potential risk associated with traffic accidents in the Costa Verde Beach Circuit in the section: San Miguel - Magdalena, in order to reduce the risk of fatality to which drivers and third parties are exposed, and to know the aspects that affect the placement of a containment device. For this, the risk analysis and evaluation of the potential hazards identified in the aforementioned section was carried out, making a comparison between the security barriers currently installed and the characteristics of the barriers according to the criteria established in the design manuals, international standards and the last road safety manual published in July 2017 by the Ministry of Transport and Communications. In the section studied, a clear area is missing that allows the driver to stop or redirect his vehicle safely and the inadequate treatment of obstacles located on the side of the road, thus summarizing the level of risk to which users are exposed daily. Accidents are unpredictable events, they can be prevented by evaluating all possible alternative solutions; In most cases, due to the characteristics of Costa Verde, the installation of vehicle containment systems is feasible, however, the elements placed on the site do not meet the established technical criteria, which allows us to affirm that the Containment systems installed under the condition can become an additional obstacle on the side of the road, greatly increasing the level of severity in case of a possible accident.

Keywords: Vehicle containment systems, accidents by exit of track, Circuito de playas Costa Verde.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	10
CAPITULO I	11
Planteamiento del Problema	11
1.1. Descripción de la realidad problemática y formulación del problema	11
1.2. Antecedentes	14
1.3. Objetivos de Investigación	18
1.4. Importancia y Justificación	19
1.5. Hipótesis	20
CAPITULO II	21
Marco Teórico	21
2.1 Bases Teóricas	21
2.2 Definición de Términos Básicos	78
CAPITULO III.....	85
Metodología	85
3.1. Tipo y Nivel de Investigación	85
3.2. Ámbito temporal y espacial	85
3.3. Variables	86
3.4. Población y Muestra	86
3.5. Instrumentos de Recolección de Datos	86
3.6. Procedimiento	87
3.7. Análisis de resultados	88
CAPITULO IV.....	103
Resultados de la Investigación	103
4.1. Interpretación de resultados.	103
4.2. Prueba de Hipótesis	107

CAPITULO V	110
Discusión de resultados	110
CONCLUSIONES	112
RECOMENDACIONES	113
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
ANEXOS	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estimación de anchuras teóricas de la zona de seguridad en márgenes.....	28
Tabla 2: Clasificación de los taludes de terraplén según su pendiente	29
Tabla 3: Clasificación de los taludes de terraplén según su pendiente	30
Tabla 4: Ancho de la zona libre mínima necesaria (ZLMNo)	31
Tabla 5: Factores de corrección según el radio de curvatura de la vía.....	31
Tabla 6: Taludes de relleno y la zona libre necesaria (ZLN).....	33
Tabla 7: Cálculo de la zona libre necesaria según las pendientes del terreno. Ejemplo 1	33
Tabla 8: Cálculo de la zona libre necesaria según las pendientes del terreno. Ejemplo 2	34
Tabla 9: Cálculo de la zona libre necesaria según las pendientes del terreno. Ejemplo 3	35
Tabla 10: Niveles de contención según normativa EN1317	38
Tabla 11: Niveles de prueba definidos en la normativa EN1317.....	39
Tabla 12: Niveles de prueba definidos en la normativa NCHRP Reporte 350.....	40
Tabla 13: Equivalencias entre niveles de prueba definidos en las normativas EN 1317 y Reporte 350 NCHRP	42
Tabla 14: Niveles de contención.....	44
Tabla 15: Índices de severidad del impacto	45
Tabla 16: Velocidad de choque (OIV) y Desaceleración (ORA) del ocupante	46
Tabla 17: Clases de deformación según normativa EN 1317	47
Tabla 18: Criterios para las Distancias de Salida (Caja de Salida).....	48
Tabla 19: Tipo de Tráfico	49
Tabla 20: Nivel de contención de acuerdo al tipo de tráfico y vía.....	50
Tabla 21: Distancias de preocupación (L_s).....	53
Tabla 22: Distancias máximas recomendadas entre el borde de la vía y la barrera de seguridad.....	53
Tabla 23: Distancias de salida sugeridas (LR).....	59
Tabla 24: Clasificación de barreras de seguridad según su rigidez	60
Tabla 25: Razones de esviaje (b:a)	60

Tabla 26: Criterios para seleccionar el nivel de contención de una barrera de seguridad en la mediana	61
Tabla 27: Criterios para seleccionar la clase de contención de un amortiguador de impacto.....	72
Tabla 28: Criterios para seleccionar la clase de contención de un terminal de barrera absorbente de energía (TAE)	77
Tabla 29: Resumen de peligros identificados y su nivel de riesgo	103
Tabla 30: Resumen de peligros identificados, su nivel de riesgo, contención, ancho de trabajo	104
Tabla 31: Prueba de hipótesis ji cuadrado	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Relación teórica entre factores asociados a la salida de vehículos de la calzada	26
Figura 2: Definición de la zona libre disponible.....	28
Figura 3: Taludes de relleno y la ZLN.....	32
Figura 4: Ejemplo 1 - Talud de terraplén.....	33
Figura 5: Ejemplo 2 - Talud de terraplén.....	34
Figura 6: Ejemplo 3 - Talud de terraplén.....	34
Figura 7: Energía cinética transversal máxima incidente en la barrera de seguridad según los niveles de prueba definidos en las normativas EN 1317 y Reporte 350 NCHRP.....	41
Figura 8: Deflexión dinámica (D) y ancho de trabajo (W) de una barrera de contención vehicular	47
Figura 9: Deflexión dinámica (D), ángulo de aproximación y ángulo de salida	48
Figura 10: Relación entre la disposición transversal de la barrera y la prolongación de la sección anterior al obstáculo	52
Figura 11: Ubicación de la barrera con respecto a los obstáculos	55
Figura 12: Pautas para la disposición en altura de la barrera.....	56
Figura 13: Variables que intervienen en el cálculo de la longitud de la sección de la barrera anterior al obstáculo	58
Figura 14: Ubicación correcta de una barrera de contención en la mediana de una carretera	63
Figura 15: Terminales franqueables e infranqueables	67
Figura 16: Amortiguadores redirectivos y no redirectivos	68
Figura 17: Criterios de implantación de atenuadores de impacto en rampas de salida.....	71
Figura 18: Criterios de implementación de atenuadores de impacto en un comienzo de mediana.....	72
Figura 19: Empotramiento de barrera metálica en talud.....	73
Figura 20: Terminal en abatimiento con esviaje, aumentando así la distancia (d) del extremo con el borde la vía.....	74
Figura 21: Terminal en ramal de salida o divergencia, caso de una única alineación de barrera	76
Figura 22: Terminal en ramal de salida o divergencia, caso de dos alineaciones de barrera.....	76
Figura 23: Puntos que cuentan con zona despejada.....	105
Figura 24: Puntos que cuentan con un SCV	106

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere al tema de Sistemas de Contención Vehicular y su aplicación en el Circuito de Playas de la Costa Verde, tramo: San Miguel – Magdalena, tomando en cuenta la identificación de riesgos potenciales asociado a los accidentes por salida de vía. El Circuito de Playas de la Costa Verde se caracteriza por su alta velocidad de diseño y por presentar un diseño geométrico particular, accesos de entrada y salida, curvas sinuosas, etc. Sin embargo, a pesar de los últimos trabajos ejecutados para mejorar las condiciones de seguridad en la vía, aún se presentan accidentes que han llegado inclusive a cobrar vidas de personas dentro de los últimos años. Para analizar esta problemática es necesario mencionar sus causas, una de ellas es la falta de una zona segura o "zona libre" en los márgenes de la vía, libre de obstáculos de modo que, si un vehículo pierde el control y sale de la carretera, no encuentre peligros en su entorno, área en la que permitiría al conductor reconducir después de salirse de la vía. La zona libre corresponde al espacio transversal comprendido entre el borde exterior de la vía y el obstáculo, desnivel u objeto vulnerable más próximo a ella. La investigación de esta problemática se realizó por el interés de conocer los efectos y la relación entre el riesgo potencial de accidentes de tránsito y el uso adecuado de un sistema de contención, ya que este recurso debe ser tomado como última instancia durante una evaluación de seguridad vial. No obstante, para el caso de la Costa Verde, una vía con insuficiente espacio para realizar una maniobra segura, es necesario investigar qué medidas se deben optar para garantizar la seguridad vial y en últimos casos, reducir la gravedad del daño, independientemente de las causas que originaron el accidente. En el marco teórico metodológico, la investigación se realizó mediante el tipo no experimental, ya que se observó el fenómeno tal y como se da en su contexto natural y midiéndose en una sola ocasión para después analizarlo. El propósito de la presente investigación es determinar si la instalación de un sistema de contención vehicular, mediante la evaluación de riesgos, se relaciona con el riesgo potencial de accidentes de tránsito por salida de vía con la finalidad de disminuir el riesgo de fatalidad de accidentes de tránsito en el Circuito de Playas de la Costa Verde para el tramo: San Miguel – Magdalena.

CAPITULO I

Planteamiento del Problema

1.1. Descripción de la realidad problemática y formulación del problema

El Circuito de playas de la Costa Verde es una de las rutas más transitadas de la ciudad de Lima Metropolitana por ser un punto de rápido acceso para el tráfico comercial y recreacional, que va desde la provincia Constitucional del Callao hasta el distrito de Chorrillos.

Fue construido con el fin de incentivar las actividades recreacionales, deportivas, en donde pueda disfrutar el ciudadano y la familia proporcionando el acceso a las playas limeñas. Sin embargo, con el crecimiento de la ciudad y la falta de planificación para el desarrollo de esta, suscitó a nuestra problemática que se vive hoy en día: el desordenamiento de ciudades y por ende el difícil el acceso de unas a otras. Es por ello que esta vía con el transcurrir de los años, fue perdiendo la función con el cual fue diseñada, tomándose en la actualidad como una vía rápida o de paso, ya que facilita el tránsito por los distritos litorales de la ciudad.

Se conoce que una de las principales causas de accidentes de tránsito es el exceso de velocidad, y lógicamente con el uso que se le da a esta vía, trajo como consecuencia la inseguridad tanto de usuarios de a pie (en su mayoría las que practican deporte) y conductores (incluyendo a vehículos menores como ciclistas), generando un conflicto al ingreso o salida al circuito de playas; prueba de ello la cantidad y gravedad de los siniestros viales acontecidos en los últimos años, produciéndose más de 352 accidentes de tránsito, algunos con consecuencias fatales en el periodo de abril del 2015 - 2017, según registros del movimiento Costa Verde de Todos.

Se puede observar en ella, la ausencia de vías auxiliares, vías discontinuas exclusivas para ciclistas, señalización precaria y confusa, puentes peatonales inconclusos, estacionamientos sin sus respectivos carriles de desaceleración. Estas u otras son las deficiencias técnicas que se han detectado en más de 40 puntos de la Costa Verde, según un estudio elaborado con la asesoría de la Asociación Cruzada Vial, alerta sobre los principales riesgos con los que se

deben enfrentar a diario los cientos de conductores y peatones que utilizan dicha vía. Durante el recorrido por la zona se pudo comprobar la existencia de los llamados ‘carriles fantasmas’ en Magdalena, Miraflores, Barranco y Chorrillos, del cual consiste en cambios bruscos de reducción de carriles. Una situación similar existe en la bajada Balta (Miraflores), donde también hay señalización inconclusa, así como a pocos metros de las bajadas Marbella y Armendáriz.

Otro de los problemas es la falta de vías auxiliares. Según expertos, señalan que por lo menos el 80% de la Costa Verde debería contar con esas vías en ambos sentidos. Según lo establecen las normas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Pese a los últimos estudios técnicos realizados por las autoridades para mejorar las condiciones de seguridad en la vía, en la actualidad se siguen registrando accidentes, los cuales constituyen en muchas oportunidades motivos de críticas hacia nuestras autoridades. Se conoce además que, en el año 2008 el Ministerio de Transportes y Comunicaciones publicó la Directiva N° 007-2008-MTC/02 sobre el ‘Sistema de Contención de Vehículos Tipo Barreras de Seguridad’, a fin de diseñar sistemas de prevención de accidentes de tránsito.

No obstante, según fuentes de análisis de prensa, estudios técnicos y reportes de la realidad del tránsito, las barreras colocadas en algunos tramos de la vía, no cumplen con las especificaciones exigidas por la directiva. Si bien el diseño geométrico del Circuito de Playas es muy complejo, propio de lo accidentado de la geografía del cual se encuentra ubicada, no se está tomando las acciones necesarias para minimizar el daño al momento de sufrir un accidente. Los obstáculos adyacentes que puedan existir en una carretera, nos obligan a tomar medidas para mejorar la seguridad vial.

Por otro lado, la inseguridad ciudadana, se suma a los problemas con los que cuenta esta vía, ya que algunas de las obras inconclusas (particularmente los puentes peatonales), se han convertido en puntos de encuentro de personas de dudosa procedencia, generando el malestar y temor de las personas que hacen uso de estos espacios públicos, como por ejemplo, las rampas que brindan acceso hacia el mar, así como los malecones construidos

en los distritos de San Miguel y Magdalena, muchos de estos encontrándose sin el mantenimiento necesario.

También existe el problema de la institucionalidad, sobre estas áreas intervienen los distritos litorales, así como la municipalidad Metropolitana de Lima. Cada distrito propone de manera individual lo que considera que debe hacerse en el área recreativa y atendiendo los conflictos en ámbitos de seguridad, perdiendo así la integridad de una propuesta técnica.

Como se sabe en el año 2015, se llevó a cabo la ampliación de la vía a tercer carril convirtiéndola en una autopista rápida, donde la nueva infraestructura permite a los conductores sobrepasar los límites de velocidad con normalidad, generando un riesgo potencial de accidentes de tránsito, si sumamos a ello la falta de un espacio seguro localizado al margen de la vía, comúnmente llamada “zona despejada”, la cual permite al conductor realizar maniobras seguras, dificulta en este redireccionar o detener el vehículo que se encuentre fuera de control, aumentando notablemente este riesgo, ya sea de volcarse o colisionar contra un obstáculo peligroso, generando daños al propio conductor como a terceros.

Lamentablemente, estamos frente al caso de una falta de cultura en seguridad vial, si bien al desarrollarse este proyecto en la Costa Verde para mejorar los problemas de congestión, la velocidad de diseño a la cual fue sometida (hablamos de 80 km/h como mínimo) no se tomó en cuenta una zona despejada; al no contar con los elementos necesarios para reconducir el vehículo, adicionalmente no acondicionar o proteger de manera adecuada obstáculos potencialmente peligrosos, trae como consecuencia el incremento de accidente fatales, es por ello lo importante que es evaluar la implementación de sistemas de contención para lograr el objetivo de prevenir y proteger a los usuarios de este peligro, realizando un análisis particular del tramo que se considera peligroso.

1.1.1. **Formulación del problema de investigación.**

1.1.1.1. Problema Principal.

¿De qué manera la instalación de un sistema de contención vehicular se relaciona con el riesgo potencial de accidentes de tránsito por salida de vía en el Circuito de Playas de la Costa Verde en el tramo: San Miguel – Magdalena?

1.1.1.2. Problema Secundario.

¿Cuáles son los aspectos que inciden en la colocación de un dispositivo de contención para disminuir la severidad del daño de un accidente de tránsito por salida de vía en el Circuito de Playas de la Costa Verde en el tramo: San Miguel – Magdalena?

¿De qué manera los niveles de contención se relacionan con los niveles de gravedad de accidentes de tránsito por salida de vía en el Circuito de Playas de la Costa Verde en el tramo: San Miguel – Magdalena?

1.2. Antecedentes

Cobeñas S. Pablo (2012), expone la importancia para la toma de decisiones, tomando como referencia el historial de accidentes en la zona, ya que de acuerdo al modo en que ocurren los accidentes y los peligros de la propia vía, se opta por la mejor decisión para evitar daños a los usuarios en las vías; estudiando e identificando los puntos de riesgo potencial o factores que ocasionan accidentes, el diseño propio de la vía, el exceso de velocidad y el mal tratamiento a los obstáculos adyacentes al margen de vía, busca aminorar los costos de pérdida materiales y por ende brindar una mayor calidad de vida a los ciudadanos. También indica en el estudio, que la implementación de elementos traspasables en los bordes de las vías no se encuentra difundido en nuestro país, pudiendo observar además que las señales de tránsito están sin ningún sistema de contención en la mayoría de los casos, incluso cuando se encuentran dentro de la zona despejada; peor aún, existen elementos duros como son las bases no removidas de los pórticos de anuncios ya no existentes en la carretera. Así

pues, aumenta el peligro de ser impactado por algún vehículo errante, cuando la solución es tan sencilla: remover la estructura ya que no cumple ninguna función.

Según la Unidad de Seguridad Vial y Transporte de la Universidad de Costa Rica (2013), detalla en su informe “Evaluación de Sistemas de Contención del proyecto mejoramiento de la Ruta Nacional 21”, que a pesar de estar instalados sistemas de contención vehicular estas llegan a ser insuficientes para cubrir las posibles trayectorias de salida de la vía que un vehículo fuera de control pueda tomar. Esta condición permite afirmar que los sistemas de contención instalados bajo esta condición se podrían convertir en un obstáculo más dentro del margen de la vía, es por ello que recomienda incluir la práctica internacional del diseño de márgenes de carretera, la cual indica que antes de considerar la colocación de un sistema de contención se debe hacer una valoración de la posibilidad de modificar el obstáculo de forma tal que se reduzcan sus riesgos, haciendo un análisis previo al inicio del proyecto para determinar la factibilidad de eliminarlos o mitigarlos por medio de su reubicación o modificación, o en último caso definir el diseño apropiado del sistema de contención a instalar.

Fairlie David (2015) en su artículo COSTA VERDE – ¿VÍA RÁPIDA? refiere los principales problemas de diseño que afectan a la Costa Verde posterior a la construcción del tercer carril en el año 2015, tomando como referencia las normas vigentes en cuanto al diseño geométrico de las vías y su clasificación según el volumen vehicular para así determinar la velocidad de diseño de la vía. En el artículo trata de responder a la pregunta si la Costa Verde es o no una rápida, concluyendo en lo siguiente: El límite de velocidad debe ser siempre la velocidad a la cual la mayoría (85%) de conductores se sienta seguro, pero la vía debe brindar los elementos de seguridad necesarios para que, efectivamente, estén seguros viajando a esa velocidad. Además, para asegurar la seguridad de los conductores a esa velocidad, se debe implementar una berma y una zona despejada adecuadas. Si no hay espacio para hacerlo, entonces simplemente NO SE PUEDE aumentar el número de carriles, y la solución sería gerenciar y reducir el volumen del tránsito a través de servicios e infraestructura alternativa como brindar servicio de transporte público para la gente que quiera bajar a la playa y regresar a la ciudad, o creando ciclovías y veredas seguras y atractivas para fomentar a las personas a bajar en bici o a pie y no en auto, así

como implementar un estacionamiento arriba con servicios de transporte para bajar a la playa, etc. También podrían enfocarse en aumentar la capacidad y fluidez de las vías de arriba (Av. Del Ejército, Av. La Paz, etc.), para que no sea necesario viajar por la Costa Verde para ganar tiempo.

Según el manual de diseño geométrico de carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), los caminos se clasifican según su demanda (o sea el número de vehículos que por ahí transcurren). Evidentemente, el número de carriles también está ligado a la demanda. Por lo tanto, según la clasificación del MTC, un camino asfaltado, de un solo carril en cada sentido, puede ser una carretera de tercera o de segunda clase dependiendo del volumen vehicular que soporta. Un camino asfaltado de dos carriles en cada sentido puede ser una carretera de primera clase o una autopista de segunda clase (nuevamente depende del volumen vehicular). Sin embargo, un camino de acceso restringido, asfaltado, con tres carriles en cada sentido solo puede ser una autopista de primera o segunda clase. La clasificación es importante porque con ella se determina la velocidad de diseño de la vía (la cual influye en el límite de velocidad que se le va a imponer), así como los elementos de seguridad necesarios para asegurar un viaje seguro a los usuarios, tanto conductores como ciclistas y peatones. Así, una autopista de tres carriles debe permitir velocidades de 80km/h o 60km/h mínimo, dependiendo del terreno. El problema es que una autopista de segunda clase debe tener un índice medio diario anual (IMDA) menor a 6000 vehículos. Esto se debe a que si el IMDA fuese mayor, empezaría a haber congestión y se requerirían más carriles y mayores medidas de seguridad. Si en la Costa Verde hay congestión, pero no hay más espacio para más carriles y para los elementos de seguridad que se requerirían, entonces deben intentar detectar las causas de la congestión y solucionar eso.

Asociación Cruzada Vial (2016), realizó un informe sobre la Costa Verde que alerta alrededor de 40 puntos de riesgo vial que deben enfrentar a diario los miles de conductores y peatones que utilizan dicha vía. Entre los problemas principales se citan la ausencia de bermas de tres metros de ancho a ambos lados de la calzada, el terreno más allá de la berma debe estar libre de cualquier obstáculo inamovible de tal forma que un vehículo que se sale de la pista no impacte contra algún objeto que pueda causarles daño a los ocupantes del

vehículo. La Costa Verde, en muchos tramos, no cuenta con bermas ni con áreas despejadas apropiadas para dar seguridad a velocidades de 80km/h. Por lo tanto, a pesar de que el número de carriles y el volumen vehicular que la Costa Verde soporta sugieren que se trata de una autopista de primera clase, la falta de elementos de seguridad (bermas y zona despejada) no permite que los vehículos puedan desplazarse a esa velocidad de manera segura. Otro problema sobre el que se alerta son los denominados “carriles fantasmas”. Hay varios tramos de la Costa Verde en donde aparecen y desaparecen carriles, sin la distancia mínima requerida por norma y sin previo aviso, lo que pondría en riesgo a los conductores. Explican también que en estos lugares se detectaron errores como señalización contradictorias: “Por ejemplo, hay carriles que tienen señales verticales que indican que el carril es exclusivo para girar, pero luego las marcas en el pavimento indican que desde ese carril se puede girar o también seguir de frente”.

Torres D. y Aranda F. (2015), describe la importancia de la Seguridad Vial como herramienta para la prevención de accidentes, tanto en el Perú como en el mundo, define el significado de ASV (Auditorías de Seguridad Vial), asimismo resaltan los costos y beneficios que se generan al realizar ASV y los niveles de certificación que existen para convertirse en un Auditor o Inspector. El adecuado uso de Listas de Chequeo como herramienta principal, permite identificar de manera fácil los problemas de seguridad presentados en las vías mejorando así el desempeño y uso de las vías.

Valverde G. (2011), en su guía para el análisis y diseño de la seguridad vial de márgenes de carretera, recopila los criterios de diseño que rigen para las barreras de seguridad, los terminales de barrera y las transiciones. Se debe resaltar que el término diseño implica la selección del nivel de contención del sistema y la disposición de éste con respecto al obstáculo y la carretera. Asimismo recalca que en cada caso se debe realizar un análisis particular de la zona peligrosa y evaluar los beneficios de los posibles tratamientos. La mejor solución es aquella que brinda el nivel de protección requerido por los usuarios de la carretera al menor costo durante un determinado período de tiempo. Siempre se debe analizar la viabilidad económica de otras propuestas que incluyen la eliminación o modificación del obstáculo, cambios en el diseño geométrico de la vía, extensión de la zona libre disponible, intervenciones en la estructura de pavimentos, entre otras.

El Manual de Seguridad Vial del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2017), explica la interacción entre la infraestructura y la seguridad vial, que describe y relaciona los efectos de los elementos de diseño geométrico con la seguridad vial, presentando algunas recomendaciones sobre principios básicos del diseño y construcción de una vía, relacionados con la seguridad de los usuarios, las mismas que se presentan como recomendaciones, las que pueden ser considerados y analizados durante el diseño y ejecución, aplicando e implementando de acuerdo a las características particulares de cada proyecto. Indica también, la mejora en las características y tecnologías de los vehículos y de la infraestructura, pueden ayudar a reducir las situaciones de conflicto y de esta manera, reducir la frecuencia y/o la gravedad de los accidentes de circulación, asunto muy necesario debido al constante incremento de las tasas de accidentes de tránsito.

1.3. Objetivos de Investigación

1.3.1. Objetivo General.

Determinar la relación entre la instalación de sistemas de contención vehicular y el riesgo potencial asociado a los accidentes de tránsito por salida de vía, mediante la identificación de peligros y evaluación de riesgos, con la finalidad de disminuir el riesgo de fatalidad de accidentes de tránsito en el Circuito de Playas de la Costa Verde en el tramo: San Miguel – Magdalena.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Analizar los aspectos que inciden en la colocación de un dispositivo de contención para disminuir la severidad del daño de un accidente de tránsito por salida de vía en el Circuito de Playas de la Costa Verde en el tramo: San Miguel – Magdalena.
- Conocer el nivel de contención y su relación con los niveles de gravedad de accidentes de tránsito por salida de vía en el Circuito de Playas de la Costa Verde en el tramo: San Miguel – Magdalena.

1.4. Importancia y Justificación

El estudio surge debido a que en la actualidad los accidentes de tránsito siguen siendo un problema que afecta no sólo económicamente, sino en ámbito social a nuestra sociedad. Se observa también la falta de toma de decisiones para mejorar las medidas de seguridad durante y posterior a la ejecución de proyectos realizados en la Costa Verde; el espacio insuficiente en esta vía a la cual fue sometida, disminuye el adecuado uso de dispositivos de seguridad que son necesarios para que los conductores se sientan seguros y cómodos al viajar. Sean cual sean los motivos por los cuales se origine un siniestro, una vía debe brindar seguridad, por lo tanto, los daños no pueden resumirse en número de muertes como en la actualidad aún se presentan en la Costa Verde. Si bien los accidentes son eventos impredecibles, sí se pueden prevenir siempre y cuando exista un control y evaluación de los riesgos potenciales que afectan a esta vía.

Los resultados del presente estudio, permitirán desarrollar medidas que mejoren las condiciones de seguridad vial tanto de los conductores como de terceros (ciclistas, personas de a pie), disminuirán los niveles de riesgo de accidentes de tránsito y en último de los casos, reducir el daño después de haber ocurrido un accidente, independientemente de las causas que la originaron. Asimismo, permitirá generar reflexión y mayor interés en temas de seguridad vial, ya no tocándose exclusivamente como problema sociocultural o de gestión de nuestras autoridades (hablamos de educación vial, normas de tránsito, etc.), sino un asunto preferente en temas propios de ingeniería, desde el momento preliminar de un proyecto, su diseño, construcción, hasta la operación y propio mantenimiento de las vías, hacer evaluaciones de seguridad vial e incidir más en el tema de auditorías, punto que por cierto, no se aplica en su totalidad a las carreteras de nuestro país.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General.

Si la instalación de un sistema de contención vehicular (SCV) mediante la identificación de peligros y evaluación de riesgos, se relacionan con el riesgo potencial de accidentes de tránsito por salida de vía, entonces disminuye el riesgo de fatalidad de accidentes de tránsito en el Circuito de Playas de la Costa Verde en el tramo: San Miguel – Magdalena.

1.5.2. Hipótesis Específicas.

- La zona despejada al margen de la vía es un aspecto que incide en la colocación de un dispositivo de contención para disminuir la severidad del daño tras sufrir un accidente de tránsito por salida de vía en el Circuito de Playas de la Costa Verde en el tramo: San Miguel – Magdalena.
- Los niveles de contención se relacionan con los niveles de gravedad de accidentes de tránsito por salida de vía en el Circuito de Playas de la Costa Verde en el tramo: San Miguel – Magdalena.

CAPITULO II

Marco Teórico

2.1 Bases Teóricas

2.1.1. Márgenes de carretera.

En la gestión de la seguridad de los márgenes de carretera, adquiere una importancia especial la provisión de una zona adyacente a la carretera que se encuentre libre de cualquier tipo de obstáculo que pueda representar un riesgo de colisión por parte de un vehículo errante o que comprometa de forma significativa su estabilidad en la trayectoria de salida. Esta zona es comúnmente denominada como zona de seguridad en márgenes.

La estimación de la anchura adecuada de la zona de seguridad en márgenes está directamente relacionada con la consideración de la distancia de salida de los vehículos errantes. A su vez, dicha distancia depende de otras variables tales como la velocidad de salida del vehículo, el ángulo de salida del vehículo, el grado de fricción de los materiales que conforman la margen de la carretera y las condiciones de parada del vehículo errante.

Cuando el terreno sea plano y ello no implique incremento en el costo, para aumentar la seguridad de los vehículos que intempestivamente salen de la vía, se debe prever una “zona de recuperación”, libre de obstáculos. Esta zona deberá ser amplia, nivelada y fácil de transitar. Debe implementarse en los proyectos, programas de mejoramiento, para eliminar peligros tales como: árboles, estructuras, parapetos, soportes masivos de señales, postes y otros obstáculos que puedan representar peligro para el tránsito. Cuando no sea posible esa eliminación, deberá buscarse la forma de instalar defensas u otro tipo de protección a fin de disminuir el riesgo.

2.1.2. La zona de seguridad.

La somnolencia, las distracciones y el consumo de alcohol o de otras sustancias psicotrópicas por parte de sus conductores hacen que algunos vehículos se salgan

de la plataforma del camino, destinada a su circulación segura. Actualmente, se pretende reducir los daños que de ello se derivan instalando una barrera de seguridad, sin preocuparse mucho del diseño de los márgenes del camino.

Una alternativa a este planteamiento, poco desarrollada en nuestro país, sería la de lograr que el vehículo pudiera circular por una zona de seguridad cuyas características evitaran su vuelco o su choque con algún obstáculo peligroso, posibilitando además la recuperación de su control.

La zona de seguridad se mide a partir del borde de la calzada: por consiguiente, incluye la berma. La anchura de la zona de seguridad se define en función de:

- La clase de la vía (calzada única o calzadas separadas).
- El trazo en planta.
- En las curvas, la situación de la margen respecto de la plataforma.
- La pendiente transversal del margen.
- La gravedad del accidente que se pretende evitar.

Sobre todo, en las curvas se deberá disponer de una zona de seguridad que permite alejarse de la plataforma siempre que el ángulo de choque, con la barrera no resulte eventuales barreras, y así reducir la frecuencia de los choques con ellas. Para acotar en planta un límite de la zona de seguridad se puede establecer en cada punto de una curva un vector tangente a la trayectoria inicial, cuyo módulo esté representado por la distancia de detención a partir de la velocidad en dicho punto, movilizándolo un rozamiento con el terreno del orden de 0.5 (correspondiente al caso de ruedas bloqueadas, es el mismo orden de magnitud que el análisis del lecho de frenado).

Las opciones de diseño para evitar que elementos de la infraestructura, obstáculos y otros elementos sean potenciales peligros en los márgenes de una carretera son, en orden de preferencia, los siguientes:

1. Remover o eliminar el obstáculo o peligro.
2. Rediseñar o modificar el obstáculo para que sea traspasable de forma segura.

3. Relocalizar el obstáculo a un sitio donde sea menos probable colisionar contra él.
4. Reducir la severidad de un potencial impacto usando un dispositivo fusible apropiado.
5. Proteger del obstáculo mediante un sistema de contención vial (como una barrera de seguridad o un amortiguador de impactos, entre otros) diseñado para contener y redireccionar a los vehículos.
6. Delinear o demarcar el obstáculo en caso de que las opciones anteriores no sean factibles o apropiadas.

2.1.3. Zona de seguridad en márgenes.

La velocidad de salida de un vehículo de la calzada condiciona en gran medida su riesgo de colisión contra algún tipo de obstáculo localizado en el margen de la carretera. Una mayor velocidad de salida se relaciona con una mayor trayectoria errante del vehículo y una mayor área potencial de riesgo de colisión. En el Reino Unido se estimaron velocidades promedio de salida de la calzada de 96 km/h para carreteras con velocidades máximas permitidas de circulación de 96 km/h. En contraste, para carreteras con velocidades máximas permitidas de circulación de 64 km/h, la velocidad promedio de salida de la calzada fue de 83 km/h (Lynam y Kennedy, 2005). En el mismo sentido, un estudio realizado en Australia, en donde se analizaron a detalle accidentes por salida de la calzada acaecidos en un periodo de cinco años, indicaba que la incidencia promedio anual de accidentes por salida de la calzada era similar para aquellos tramos de carretera con velocidades máximas permitidas de circulación comprendidas entre 60 y 100 km/h, sin embargo aquellos tramos con velocidad máxima permitida de más de 100 km/h presentaban una incidencia de víctimas mortales ocho veces mayor respecto aquellos tramos con velocidades máximas permitidas inferiores (Parliament of Victoria, 2005). Con lo anterior se deduce que las carreteras con altas velocidades de circulación, así como aquellas carreteras con una sucesión de tramos con importantes diferencias en sus

velocidades máximas permitidas de circulación, presentan mayores velocidades de salida de la calzada.

El ángulo de salida de los vehículos respecto al borde de la calzada o plataforma determina el área potencial de riesgo de colisión, así como las condiciones de impacto contra los obstáculos localizados en los márgenes. Al igual que en las velocidades de salida, los recursos analizados para determinar los ángulos de salida de los vehículos son los registros de accidentes y la visualización en directo de las huellas de frenado de los neumáticos. La velocidad y ángulo de salida de los vehículos de la calzada dependen de los eventos acaecidos en los segundos inmediatamente anteriores a la salida tal como un derrape o una maniobra súbita de frenado realizada por el conductor para evitar la salida del vehículo. En aquellos casos en que no se produzcan maniobras súbitas para corregir la trayectoria del vehículo, el ángulo de salida dependerá fundamentalmente de la velocidad de salida. Al respecto, algunos estudios han comprobado que una mayor velocidad de salida se relaciona con un ángulo reducido de salida.

En uno de los primeros estudios realizados para comprender los accidentes por salida de la calzada, el ángulo promedio de las salidas fue de 11°, y en donde las observaciones se realizaron en carreteras interestatales de los Estados Unidos con velocidades máximas permitidas de circulación de 110 km/h (Hutchinson y Kennedy, 1966). Por su parte, observaciones realizadas en accidentes por salida de la calzada y colisión contra postes de servicio en carreteras convencionales, mostraron que el 85% de los ángulos de salida tenían valores inferiores a 26° (Sicking y Ross, 1986). El modelo desarrollado en el programa Roadside safety analysis program, RSAP, para la simulación de accidentes por salida de la calzada, utiliza una distribución de ángulos de salida basada en la reconstrucción de accidentes y que depende del tipo funcional de la carretera, así como de la velocidad de salida del vehículo, siendo la media observada del ángulo de salida de 14° (Mak, Sicking y Ross, 1986).

En muchos casos, la provisión de condiciones para la detención total y segura de un vehículo fuera de control no es práctica, resultando más recomendable la

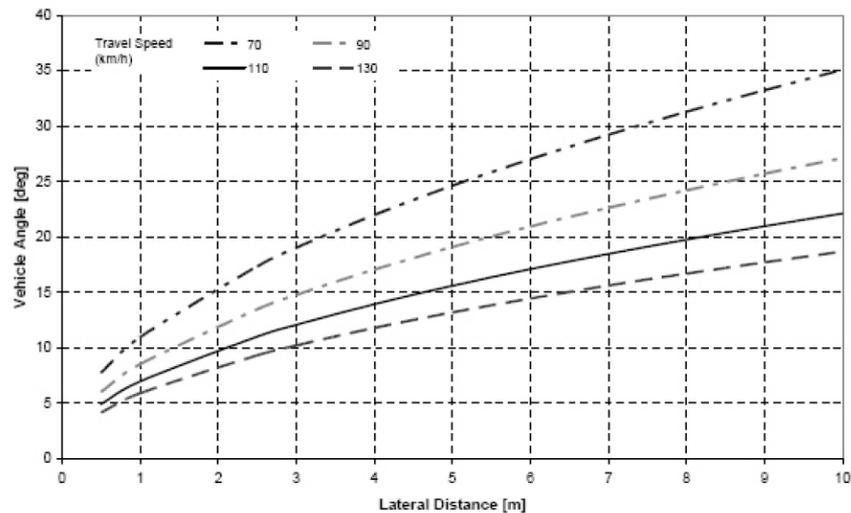
disposición de una distancia lateral a la carretera en donde se pueda recuperar el control del vehículo o conseguir una disminución considerable en su velocidad de circulación. La trayectoria de salida de un vehículo determinará dos tipos de distancias a considerar, una distancia longitudinal medida propiamente en el ángulo de salida del vehículo, así como una distancia lateral medida respecto al borde de la plataforma. Ambas distancias conformarán una zona de riesgo, en la cual cualquier tipo de obstáculo presente en ella tiene la posibilidad de ser colisionado por el vehículo fuera de control que sale de la calzada.

En el estudio realizado por Hutchinson y Kennedy en 1966, los registros de las marcas de neumáticos observadas sobre la mediana de la carretera mostraban que el 85% de las distancias longitudinales de salida eran inferiores a 150 m, mientras que el 85% de las distancias laterales de salida era inferior a 12 m. Resulta importante señalar que la inclinación transversal máxima de la mediana era de 1V:4H. En otro estudio realizado sobre accidentes por salida de la calzada en carreteras interurbanas de Finlandia se observó que en más de la mitad de los casos analizados los vehículos siniestrados permanecían en la zona de las cunetas de la carretera y únicamente el 10% de los vehículos se desplazaba una distancia superior a 12 m respecto al borde de la calzada (Ehrola, 1981). Posteriores estudios actualizaron la información anterior y pudieron comprobar que en más del 50% de los accidentes por salida de la calzada los vehículos siniestrados colisionaron con obstáculos localizados a menos de 3 m respecto al borde de la calzada mientras que un 88% de los accidentes analizados los vehículos colisionaron con obstáculos localizados a menos de 7 m del borde de la calzada (SAFESTAR, 1997). Lynam y Kennedy (2005) estimaron en base a datos de accidentes de la TRL de Reino Unido que el 83% de las salidas de la calzada involucraron el impacto del vehículo con algún tipo de obstáculo localizado a menos de 10 m del borde de la calzada.

Además de los registros de accidentes, también se pueden emplear las ecuaciones de movimiento para determinar las distancias de salida de vehículos de la calzada como una función de la velocidad inicial de salida y del valor de desaceleración producido por el terreno. Lynam y Kennedy (2005) estimaron distancias de salida

respecto al borde de la calzada tomando un valor de desaceleración de 4.55 m/s². Así por ejemplo, la posición de parada de un vehículo que inicialmente sale de la calzada a una velocidad de 112 km/h y con un ángulo de salida de 20° es de 15 m respecto al borde de la calzada. Con las mismas condiciones, una velocidad de salida de 80 km/h se relaciona con una distancia lateral respecto al borde de la calzada de 8 m.

Figura 1: Relación teórica entre factores asociados a la salida de vehículos de la calzada



Fuente: Chalmers University of Technology, 2003.

Existen algunos estudios encaminados a determinar los límites tolerados por el cuerpo humano, en términos de velocidades de impacto contra obstáculos rígidos, observándose que impactos a más de 40 km/h están relacionados con graves lesiones, incluso mortales (Chalmers University of Technology, 2003). Tomando como referencia que la salida de un vehículo de la calzada se comporta en esencia como un movimiento uniformemente acelerado, se puede aplicar la siguiente ecuación para calcular la distancia recorrida por un vehículo errante antes de alcanzar una velocidad de 40 km/h así como la distancia lateral respecto al borde de la calzada (ecuación I).

$$s = \left(\frac{v_o^2 - v_f^2}{2a} \right) \operatorname{sen} \alpha = \left(\frac{v_o^2 - v_f^2}{2\mu g} \right) \operatorname{sen} \alpha$$

Donde:

S= distancia lateral respecto al borde de la calzada para trayectoria de vehículo errante (m)

Vo = velocidad estimada de salida de calzada (m/s)

Vf = velocidad final del vehículo errante = 40 km/h = 11.10 m/s.

A = desaceleración del vehículo errante (m/s²)

μ = coeficiente de fricción

g = aceleración de la gravedad = 9.81 m/s²

α = ángulo de salida del vehículo errante respecto al borde de la calzada (grados)

El dimensionamiento teórico de la zona de seguridad de márgenes contiene algunas suposiciones básicas, tales como: las salidas del vehículo se producen sin maniobras súbitas de frenado o cambio de dirección, la inclinación transversal de los márgenes es nula y el coeficiente de fricción corresponde a un caso de un material deslizante tipo césped.

Tomando como referencia dichas condiciones de salida, se pueden calcular las distancias de frenado del vehículo, así como la distancia lateral respecto al borde de la calzada. Los valores mostrados en la Tabla 1 únicamente constituyen una referencia para la determinación de la anchura de la zona de seguridad de márgenes, siendo éstos valores generalmente mayores a los necesarios en la práctica.

Tabla 1: Estimación de anchuras teóricas de la zona de seguridad en márgenes

Ángulo de salida (°)	μ	Velocidades de salida de vehículo errante (km/h)							
		50	60	70	80	90	100	120	130
5	0.3	1	2	4	5	7	12	15	17
10	0.3	2	5	8	11	15	24	29	35
15	0.3	3	7	11	16	22	36	43	52
20	0.3	4	9	15	22	29	47	57	69
25	0.3	5	11	18	27	36	58	71	85
30	0.3	6	13	22	31	43	69	84	100

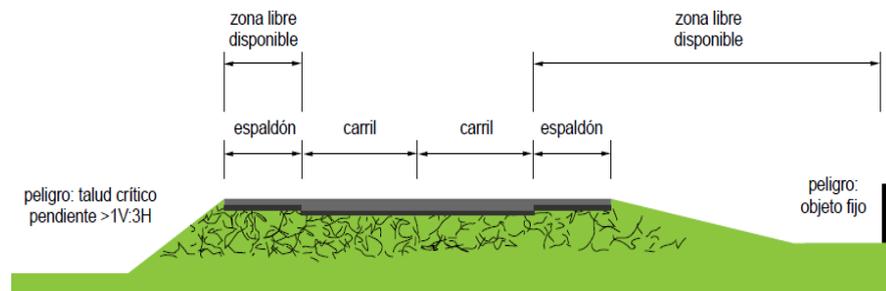
Fuente: Chalmers University of Technology, 2003.

De lo expuesto, es difícil definir el valor recomendable en el ancho de la zona de seguridad en márgenes, debido en parte a la dificultad existente en reproducir las diferentes condiciones que se presenta. Sin embargo, el diseñador debe tomar como mínimo las siguientes variables de análisis: la velocidad del proyecto, la inclinación transversal de los márgenes, el tipo funcional de la carretera, la intensidad del tráfico y el trazo de la carretera.

2.1.4. Zona libre necesaria y zona libre disponible.

- La **zona libre necesaria (ZLN)** es la distancia medida desde uno de los bordes de la vía hacia el margen correspondiente, necesario para que, después de salirse de la vía, un conductor pueda reconducir o detener su vehículo de manera segura (sin volcarse ni colisionar contra algún obstáculo peligroso).
- La **zona libre disponible (ZLD)** se define como el área comprendida entre el borde de la vía y el obstáculo, desnivel u objeto vulnerable más próximo a ella.

Figura 2: Definición de la zona libre disponible



Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

2.1.5. Taludes y la zona libre

Los taludes de relleno paralelos a la vía se clasifican según su pendiente de acuerdo con los criterios de la Tabla 2.

Tabla 2: Clasificación de los taludes de terraplén según su pendiente

Clasificación	Descripción	Pendiente (S)
Preferible	Plano	$S \leq 1V:6H$
Seguro	Traspasable y recuperable	$1V:6H < S \leq 1V:4H$
Aceptable	Traspasable pero no recuperable	$1V:4H < S \leq 1V:3H$
Crítico	No traspasable	$S > 1V:3H$

Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

Los terrenos planos y aquellos que se consideran *traspasables y recuperables*, permitirían a un conductor de un vehículo que se sale de la vía, circular de manera segura y recuperar el control del vehículo, o detenerse por completo para luego volver a su carril de circulación en la carretera.

Si la pendiente del terreno se clasifica como aceptable –*traspasable pero no recuperable*– un vehículo que se salga de la vía probablemente no se vuelque al transitar sobre el talud, pero dependiendo de la velocidad a la que circule no le sería posible detenerse en esa zona y descenderá hasta el final de esa pendiente.

Por otra parte, si la pendiente del talud se clasifica como crítica –*no traspasable*–, el vehículo corre el riesgo de volcarse.

Las zonas de pendiente preferible se consideran seguras y aptas para carreteras de alta velocidad y altos volúmenes de vehículos pesados.

Los taludes de relleno paralelos a la vía se clasifican según su pendiente de acuerdo con la Tabla 3. En este caso se consideran dos factores: la pendiente y la altura del talud.

Se considera que taludes con pendientes ascendentes menores al 50% ($S \leq 1V:2H$), independientemente de la altura del talud, son *traspasables*. Esto significa que un

vehículo que se salga de la vía podría transitar sobre el talud sin peligro a colisionar agresivamente contra él.

En el caso de que la altura del talud ascendente no supere 1,2 m, independientemente de su pendiente, también se considera como un talud *traspasable*.

Tabla 3: Clasificación de los taludes de terraplén según su pendiente

Clasificación	Descripción	Pendiente (S)	Altura (H)
Seguro	Traspasable	$S \leq 1V:2H$	-
Aceptable	Traspasable	$S > 1V:2H$	$H \leq 1,2 \text{ m}$
Crítica	No traspasable	$S > 1V:2H$	$H \geq 1,2\text{m}$

Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

2.1.6. Cálculo de la zona libre necesaria.

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:

$$ZLMN = ZLMN_0 * F_C \text{ (Ecuación II)}$$

Donde:

$ZLMN_0$ = valor de ZLMN para tramos con alineamiento horizontal recto. Este el valor se obtiene de la Tabla 4, según la velocidad de diseño y el volumen de tráfico (TPDA en ambos sentidos de circulación) del tramo de carretera.

F_C = es el factor de corrección debido al radio de curvatura de la vía. Se obtiene de la Tabla 5.

Tabla 4: Ancho de la zona libre mínima necesaria (ZLMN₀)

Velocidad (Km/h)	TPDA (vpd)	ZLMN ₀ (m)	
		Pendiente del talud	
		Negativa	Positiva
<60	<2000	3,5	3,5
	2000-10 000	4,5	4,5
	>10 000	4,5	4,5
60-80	<2000	5,0	5,0
	2000-10 000	5,0	5,0
	>10 000	6,0	4,5
80-100	<2000	6,5	5,0
	2000-10 000	7,5	5,5
	>10 000	8,0	6,0

Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

Tabla 5: Factores de corrección según el radio de curvatura de la vía

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

Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

Los valores especificados en la Tabla 4 se aplican como ZLN a tramos rectos de vía en los cuales el margen de la carretera posee taludes de pendiente negativa igual a 1V:6H o más plana o taludes de pendiente positiva menor a 1V:2H. En el caso de tramos curvos estos valores deben ser corregidos por los factores FC de la Tabla 5 según el radio de curvatura.

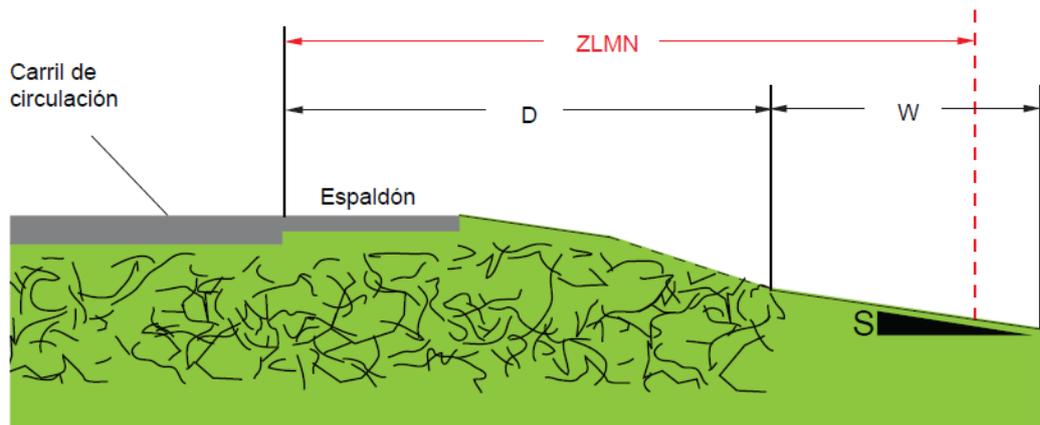
Cuando los taludes localizados dentro de la ZLMN poseen pendientes mayores a 1V:6H, la ZLN es mayor a la ZLMN debido a que se requiere un área adicional para que un vehículo pueda maniobrar y recuperarse o para detenerse.

La Figura 3 y la Tabla 6 muestran los criterios generales para la determinación de la ZLN en taludes de relleno, en función de la ZLMN y de la topografía del talud.

Las Figuras 4 y 5 junto con las Tablas 7 y 8, muestran dos ejemplos de aplicación de los criterios para determinar la ZLN y la zona libre potencialmente disponible (ZLPD) en márgenes que poseen determinadas combinaciones de pendiente. En estos ejemplos se denomina ZLPD al área del talud que posee pendientes consideradas traspasables ($S < 1V:3H$), que de estar libre de obstáculos sería ZLD. Sin embargo, en todos los casos la ZLD queda limitada por la presencia de obstáculos fijos.

En el caso de que el margen de la carretera posea un talud de corte, la $ZLN = ZLMN$, tal y como se muestra en la Figura 6 y en la Tabla 9 (la cual muestra también la ZLPD en estos casos).

Figura 3: Taludes de relleno y la ZLN



NOTAS:

D = Ancho del talud con pendiente ($s \leq 1:6$ (V:H)). Incluye el espaldón.

W = Ancho del talud con pendiente $> 1:6$ (V:H).

S = Pendiente del talud (V:H)

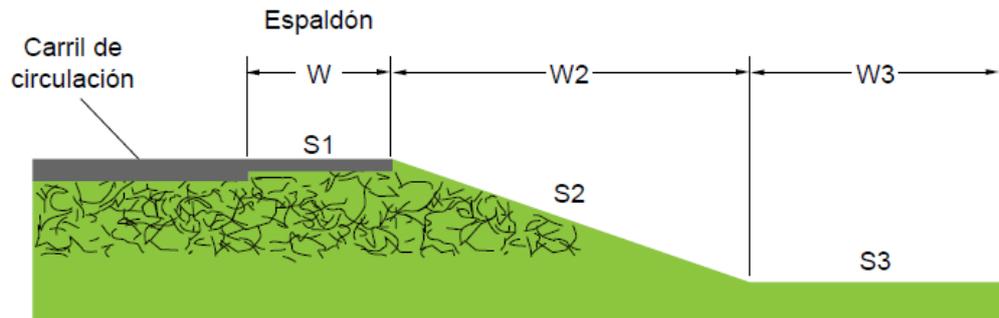
Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

Tabla 6: Taludes de relleno y la zona libre necesaria (ZLN)

S	$\leq 1:6$	$1:6 \leq S \leq 1:4$		$1:4 \leq S \leq 1:3$	$\geq 1:3$
Caso	-	ZLMN - D > $\frac{1}{2}W$	ZLMN - D $\leq \frac{1}{2}W$	-	-
ZLN	ZLMN	ZLMN + $\frac{1}{2}W$	ZLMN + (ZLMN-D)	ZLMN + W	ZLD < ZLN

Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

Figura 4: Ejemplo1 - Talud de terraplén



Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

Tabla 7: Cálculo de la zona libre necesaria según las pendientes del terreno. Ejemplo 1

S ₁	$\leq 1:6$	$\leq 1:6$		$\leq 1:6$	$\leq 1:6$
S ₂	$\leq 1:6$	$1:6 \leq S_2 \leq 1:4$		$1:4 \leq S_2 \leq 1:3$	$\geq 1:3$
S ₃	$\leq 1:6$	$\leq 1:6$		$\leq 1:6$	-
Caso	-	ZLMN - W ₁ > $\frac{1}{2}W_2$	ZLMN - W ₁ $\leq \frac{1}{2}W_2$	-	-
ZLN	ZLMN	ZLMN + $\frac{1}{2}W_2$	W ₁ + 2(ZLMN - W ₁)	ZLMN + W ₂	ZLD < ZLN
ZLPD	W ₁ + W ₂ + W ₃	W ₁ + W ₂ + W ₃	W ₁ + W ₂ + W ₃	W ₁ + W ₂ + W ₃	W ₁

NOTAS:

i = número de sección (i = 1,2,3)

S_i = Pendiente V:H de la sección i. Cada sección puede estar compuesta por uno o varios segmentos consecutivos cuyas pendientes correspondan al rango indicado.

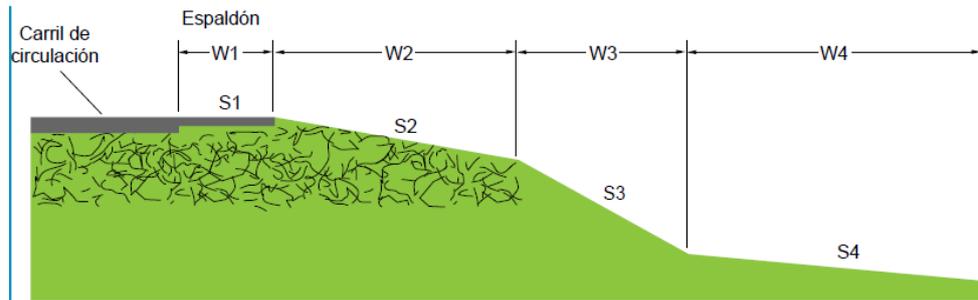
W_i = Ancho de la sección i.

ZLN = Zona libre necesaria.

ZLPD = Zona libre potencialmente disponible.

Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

Figura 5: Ejemplo 2 - Talud de terraplén



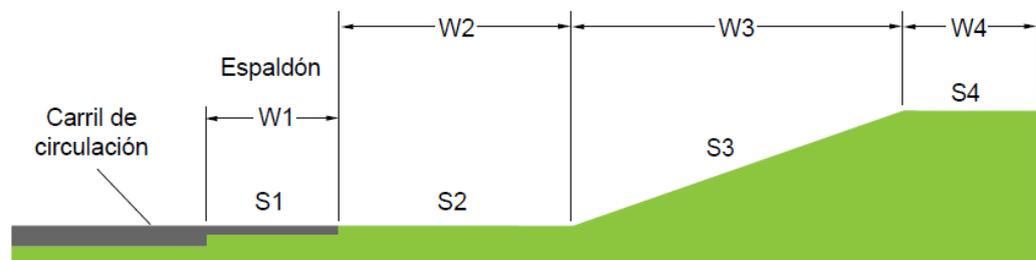
Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

Tabla 8: Cálculo de la zona libre necesaria según las pendientes del terreno. Ejemplo 2

S ₁	≤ 1:6	≤ 1:6	≤ 1:6	≤ 1:6
S ₂	≤ 1:6	≤ 1:6	≤ 1:6	≤ 1:6
S ₃	≤ 1:6	1:6 ≤ S ₃ ≤ 1:4	1:4 ≤ S ₃ ≤ 1:3	≥ 1:3
S ₄	≤ 1:6	≤ 1:6	≤ 1:6	≤ 1:6
Caso	-	ZLMN - (W ₁ + W ₂) > ½W ₃	ZLMN - (W ₁ + W ₂) ≤ ½W ₃	-
ZLN	ZLMN	ZLMN + ½W ₃	W ₁ + W ₂ + 2(ZLMN - W ₁ - W ₂)	ZLMN + W ₃
ZLPD	W ₁ +W ₂ +W ₃	W ₁ + W ₂ + W ₃	W ₁ + W ₂ + W ₃	W ₁ + W ₂

Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

Figura 6: Ejemplo 3 - Talud de terraplén



Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

Tabla 9: Cálculo de la zona libre necesaria según las pendientes del terreno.
Ejemplo 3

S_1	$\leq 1:6$	$\leq 1:6$	$\leq 1:6$
S_2	$\leq 1:6$	$\leq 1:6$	$\leq 1:6$
S_3	$< 1:2$	$\geq 1:2$	
H	-	$< 1,2 \text{ m}$	$\geq 1,2 \text{ m}$
ZLN:	ZLMN	ZLMN	ZLMN
ZLD:	$W_1 + W_2 + W_3$	$W_1 + W_2 + W_3$	$W_1 + W_2 + 1,2(S_3)$

NOTAS:

i = número de sección ($i = 1,2,3$)

S_i = Pendiente V:H de la sección i . Cada sección puede estar compuesta por uno o varios segmentos consecutivos cuyas pendientes correspondan al rango indicado.

W_i = Ancho de la sección i .

ZLN = Zona libre necesaria.

ZLPD = Zona libre potencialmente disponible.

Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

2.1.7. Dispositivos de contención de vehículos.

Cuando un obstáculo presente en el margen de carretera, a escasa distancia de los carriles de circulación, no puede ser convenientemente eliminado, modificado o reubicado en una zona en la que presente un menor riesgo de impacto por parte de un vehículo errante, la mejor alternativa de actuación en términos de seguridad es la instalación de un sistema de contención.

En principio, la instalación de un sistema de contención en los márgenes de carretera debe ser la última actuación a considerar en la gestión de la seguridad de los márgenes. Un sistema de contención de vehículos debe considerarse en sí mismo un obstáculo presente en los márgenes de carretera y solamente debería instalarse en aquellos casos en los cuales su ausencia pudiese provocar la ocurrencia de un accidente mucho más grave que la colisión contra el sistema de contención. Por ejemplo, en una sección en terraplén con una considerable altura y fuertes inclinaciones transversales del talud, la instalación de una barrera de seguridad

puede ser la alternativa más adecuada desde el punto de vista costo – beneficio. Así mismo, la instalación de una barrera de seguridad en una sección de carretera con alto valor ecológico y con una multitud de árboles localizados en el margen de carretera puede constituir la mejor alternativa desde el punto de vista medioambiental.

Cuando un sistema de contención es diseñado e instalado de forma correcta su eficacia es evidente. Los amortiguadores de impacto permiten absorber parte de la energía producida al colisionar un vehículo contra obstáculos tales como pilas de puentes, terminales de barrera y postes de servicio, disminuyendo de forma considerable las consecuencias del accidente. Los amortiguadores de impacto han demostrado una capacidad de reducción en la incidencia de accidentes de circulación con víctimas graves y mortales de hasta un 75% en los Estados Unidos y un 67% en el Reino Unido (European Transport Safety Council, 2008).

El nivel de seguridad de la vía no se alcanza por medio de los sistemas de contención de vehículos, que pretenden proteger a los usuarios de los elementos proyectados o existentes, en los márgenes o en el separador central, que representen una amenaza potencial. Este planteamiento conduce a que:

- Es fundamental desarrollar estudios comparativos.
- Se debe afinar suficientemente en la valoración de los riesgos inherentes al diseño de cada elemento, en la confianza de poder paliarlos por medio de los sistemas de contención de vehículos.
- Es necesario mitigar la frecuencia de los accidentes: choques con los sistemas de contención de vehículos, y alcances por falta de espacio lateral.

Con esta filosofía de diseño también se puede alcanzar un nivel de seguridad final calificable de suficiente; pero se abusa de una solución que en sí es paliativa y no está exenta de riesgos propios. Por ejemplo, la recuperación de un vehículo fuera de control mediante una barrera de seguridad puede:

- Impedir que se esquive un obstáculo.

- Provocar que el vehículo vuelva a la plataforma propia, o se mantenga en ella, representando un obstáculo para el resto de los usuarios.
- No evitar en último extremo que los vehículos (o su carga) accedan a la calzada opuesta.
- No se puede olvidar que ciertos sistemas de contención de vehículos (por ejemplo, las barreras metálicas de seguridad) representan un peligro específico para los motociclistas.

2.1.8. Normativas de ensayo.

Los ensayos a escala son pruebas normadas que han sido diseñadas para evaluar uno o más de los principales factores que afectan el comportamiento de los sistemas de contención vehicular, como el comportamiento estructural, el riesgo para los ocupantes del vehículo y el comportamiento del vehículo de ensayo después del impacto. Su propósito es verificar el adecuado funcionamiento del sistema, para garantizar la seguridad de los ocupantes del vehículo, otros usuarios de la vía y terceros vulnerables.

Se definen los siguientes parámetros para evaluar la eficiencia de las barreras de contención vehicular y definir los límites de aceptación, así como las clases técnicas:

- Nivel de contención.
- Severidad del impacto.
- Deformación del sistema de contención.
- Capacidad de redireccionamiento o trayectoria del vehículo después de impactar el sistema.

Existen dos normativas para la evaluación de sistemas de contención vehicular, la norma europea EN 1317 y la norma NCHRP Reporte 350 estadounidense.

Estas normativas contienen procedimientos estándar de ensayo, evaluación y clasificación de los sistemas de contención vehicular.

a. Comparación de los niveles de contención.

Los criterios de ensayo de las normativas EN 1317 y Reporte 350 NCHRP pueden compararse según el nivel de contención o energía cinética transversal que el sistema es capaz de retener de manera controlada.

La normativa europea EN1317 establece 6 niveles de prueba o clases técnicas (Ver Tabla 10). En la Tabla 11 se muestran los valores de la energía cinética transversal correspondiente a los ensayos a que son sometidas las barreras de seguridad de cada nivel de contención. Para cada una de las pruebas se muestra el tipo de vehículo y sus características (masa y altura del centro de gravedad CG), la velocidad y ángulo de impacto del vehículo y la energía cinética transversal capaz de retener el sistema.

Tabla 10: Niveles de contención según normativa EN1317

Nivel de contención	Ensayos de aceptación	Índices de severidad del impacto	Deformación del vehículo	Deformación de la barrera de seguridad
T1	TB21	TB 21	TB 21	TB 21
T2	TB22	TB 22	TB 22	TB 22
T3	TB41 y TB21	TB 21	TB 21	TB 41
N1	TB31	TB 31	TB 31	TB 31
N2	TB32 y TB11	TB 32 + TB 11	TB 32 + TB 11	TB 32
H1	TB42 y TB11	TB 11	TB 11	TB 42
H2	TB51 y TB11	TB 11	TB 11	TB 51
H3	TB61 y TB11	TB 11	TB 11	TB 61
H4a	TB71 y TB11	TB 11	TB 11	TB 71
H4b	TB81 y TB11	TB 11	TB 11	TB 81

Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

Tabla 11: Niveles de prueba definidos en la normativa EN1317

Nivel de prueba	Masa del vehículo (kg)	Tipo de vehículo	Velocidad de impacto (km/h)	Ángulo Impacto (Grados)	Altura CG (mm)	Energía cinética (KJ)
N1	1500	C	80	20	530	43,33
N2	900	C	100	20	490	40,62
	1500	C	110	20	530	81,91
H1	900	C	100	20	490	40,62
	10000	R	70	15	1500	126,63
H2	900	C	100	20	490	40,62
	13000	B	70	20	1400	287,48
H3	900	C	100	20	490	40,62
	16000	R	80	20	1600	462,13
H4a	900	C	100	20	490	40,62
	30000	A	65	20	1600	572,03
H4b	900	C	100	20	490	40,62
	38000	A	65	20	1900	724,57

Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

NOTAS:

Tipo de vehículos:

C Auto

B Bus

A Vehículo articulado de carga pesada

R Vehículo rígido de carga pesada

En Estados Unidos de América se han definido 6 niveles de prueba o clases técnicas, las cuales se definen en el Reporte 350 NCHRP.

En la Tabla 12 se muestra para cada una de las clases técnicas, dos de los tipos de vehículos utilizado en el ensayo a escala real (para efectos de comparación con los niveles de prueba realizados con la Normativa EN 1317) y sus características (masa y altura del centro de gravedad CG), la velocidad y ángulo de impacto del vehículo y la energía cinética transversal capaz de retener el sistema.

Tabla 12: Niveles de prueba definidos en la normativa NCHRP Reporte 350

Nivel de prueba	Masa del vehículo (kg)	Tipo Vehículo	Velocidad de impacto (km/h)	Ángulo Impacto (Grados)	Altura CG (mm)	Energía cinética (KJ)
TL1	820	C	50	20	550	9,25
	2000	P	50	25	700	34,45
TL2	820	C	70	20	550	18,13
	2000	P	70	25	700	67,53
TL3	820	C	100	20	550	37,01
	2000	P	100	25	700	137,81
TL4	820	C	100	20	550	37,01
	8000	S	80	15	1250	132,32
TL5	820	C	100	20	550	37,01
	36000	V	80	15	1850	595,44
TL6	820	C	100	20	550	37,01
	36000	T	80	15	2050	595,44

Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

NOTAS:

Tipo de vehículos:

C Auto

P Pick-up

S Camión tipo van

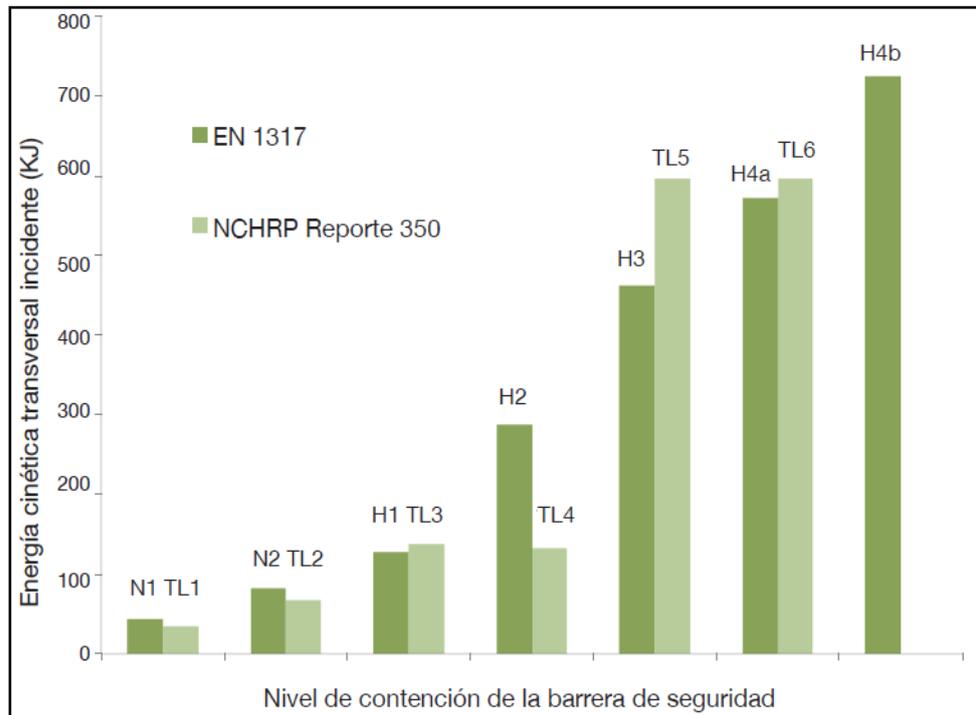
T Semi-trailer tipo tanque

R Semi-trailer tipo van

Para efectos de comparar los niveles de contención que se definen en ambas normativas e intentar equipararlos, se utiliza la máxima energía cinética transversal incidente a la que son sometidas las barreras de seguridad.

El gráfico de la Figura 7 muestra los valores de la energía cinética transversal máxima incidente, correspondientes a los diferentes niveles de contención que establecen ambas normativas. Esta figura permite observar la comparación de los niveles de prueba según la energía cinética transversal que el sistema es capaz de absorber durante el ensayo.

Figura 7: Energía cinética transversal máxima incidente en la barrera de seguridad según los niveles de prueba definidos en las normativas EN 1317 y Reporte 350 NCHRP



Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

Es importante aclarar que solamente se está comparando la energía cinética incidente, por lo que dos sistemas equivalentes (que son capaces de absorber una cantidad similar de energía cinética), por ejemplo TL3 y TL4, no necesariamente son capaces de retener el mismo vehículo, ya que las pruebas se realizan con diferentes tipos de camiones. Así, un vehículo más alto puede inclinarse sobre una barrera y volcarse a pesar de que el sistema tenga la capacidad de disipar la energía cinética del impacto. Cabe resaltar que en Estados Unidos se utiliza un vehículo tipo camioneta para evaluar las barreras de baja contención, mientras que en Europa se utiliza un automóvil más pequeño.

Las clases TL5 y TL6 absorben hasta un 76% más de energía cinética transversal durante el impacto que las clases inferiores inmediatas TL3 y TL4, lo que implica que el incremento en el nivel de contención no es gradual. Por lo tanto, hay un rango de energías que no se incluye en la normativa estadounidense, las cuales corresponden a las clases H2 y H3 de la normativa europea.

Por su parte, en el gráfico de la Figura 7 se observa claramente como los niveles de contención establecidos en la normativa europea se incrementan de una forma más gradual.

Además, se observa que la normativa NCHRP Reporte 350 no incluye un nivel de prueba que sea equivalente (en cuanto a la energía cinética transversal máxima incidente) al nivel de contención H4b de la normativa EN 1317.

Los sistemas de alta contención no son superiores (mejores) que los sistemas de menor nivel de contención. En cada caso se debe realizar un análisis de la zona peligrosa para determinar el nivel de contención que requiere la barrera para proteger a los usuarios de la vía y los terceros vulnerables.

En términos de la energía cinética transversal máxima incidente, los niveles de prueba que establece la normativa EN 1317 presentan un incremento más gradual que los normados en la NCHRP Reporte 350, lo cual permite seleccionar niveles de contención que se ajusten mejor a distintas condiciones particulares en sitios diferentes.

En esta guía se establecen como referencia para el diseño los niveles de contención que define la normativa EN 1317. En el caso de que el sistema que se desee instalar como solución corresponda a una barrera de seguridad ensayada bajo la normativa NCHRP Reporte 350, esta guía define las equivalencias entre niveles de prueba que se muestran la Tabla II-13.

Tabla 13: Equivalencias entre niveles de prueba definidos en las normativas EN 1317 y Reporte 350 NCHRP

NCHRP Reporte 350	EN 1317
TL2	N2
TL3, TL4	H1
-	H2
-	H3
TL5, TL6	H4a
-	H4b

Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

Esta equivalencia entre los niveles de prueba únicamente considera la energía cinética transversal máxima que la barrera de seguridad es capaz de absorber durante el impacto. Los sistemas que se consideran equivalentes no se comportan exactamente de la misma manera y en cada caso se deben analizar otros factores como ancho de trabajo, deformación dinámica y nivel de severidad para seleccionar el sistema más adecuado según las condiciones del sitio.

2.1.9. Barreras de seguridad certificadas.

Una barrera de seguridad certificada es aquella que ha pasado por pruebas de impacto de acuerdo a los requisitos normativos establecidos por la NCHRP Report 350 de los Estados Unidos de Norteamérica o por la EN 1317 de la comunidad Europea.

La directiva N°007-2008-MTC/02 Sistemas de Contención Vehicular Tipo Barreras de Seguridad, mediante las pruebas de impacto a la barrera de seguridad se obtienen los siguientes parámetros:

- Nivel de contención.
- Nivel de severidad del impacto.
- Deformación del sistema.
- Capacidad de redireccionamiento del sistema

a. Nivel de contención.

El nivel de contención es la capacidad de la barrera de seguridad de absorber la energía de impacto de un vehículo, manteniendo una adecuada deformación, deceleración y capacidad de redireccionamiento del vehículo.

Se han definido los siguientes niveles de contención y criterios básicos para su aplicación:

- **P1 - Bajo:** se utilizarán estas barreras para condiciones de nivel de servicio bajo como en zonas urbanas o en carreteras de bajo volumen de tránsito donde predominen el tránsito de vehículos livianos con velocidades de hasta 50km/h, también pueden ser utilizado como barreras temporales.

- **P2 - Medio:** es el nivel mínimo requerido para carreteras de alta velocidad donde predomine el tránsito de vehículos livianos.
- **P3 - Medio alto:** es el nivel de contención recomendado para vías que tienen un tráfico principal de vehículos de transporte público y autobuses interurbanos con pesos brutos de hasta 10 toneladas.
- **P4 - Alto:** es el nivel recomendado para vías que tienen un tráfico considerable de vehículos pesados como camiones y autobuses con pesos brutos de hasta 30 toneladas.
- **P5 - Muy alto:** es el nivel recomendado para vías que tienen un tráfico considerable de camiones trailer y semi trailer.

En la Tabla 14 se aprecia los diferentes niveles de contención que pueden ser considerados por los diseñadores, en el cual podrán utilizar su correspondiente norma NCHRP Report 350 o EN 1317.

Tabla 14: Niveles de contención

Nivel de contención	NCHRP Report 350	EN 1317
P1 — Bajo	TL2	N1
P2 – Medio	TL3	N2
P3 – Medio alto	TL4	H1, H2, H3
P4 – Alto	TL5 o TL6	H4a
P5 – Muy Alto	-	H4b

Fuente: Directiva N°007-2008-MTC/02.

b. Nivel de severidad del impacto.

El nivel de severidad del impacto es una manera de medir el daño que sufrirán los ocupantes del vehículo al impactar en una barrera de seguridad, para ello se ha desarrollado a nivel mundial los siguientes parámetros:

- ASI - Índice de severidad de la aceleración.
- THIV - Velocidad teórica de choque de la cabeza.

- O1V - Velocidad de choque del ocupante.
- ORA - Deceleración del ocupante.
- PHD - Deceleración de la cabeza tras el choque.
- VCDI - Índice de la deformación de la cabina del vehículo.

Todos estos parámetros tienen por finalidad contar con indicadores que aseguren que la barrera de seguridad no se convierta en un obstáculo que cause daños equivalentes o mayores de los que se desea proteger a los ocupantes del vehículo.

El ASI y PHD corresponde a las deceleraciones que se producen al interior del vehículo, si las deceleraciones son excesivas estas producen daños y desprendimiento de órganos internos que pueden causar la muerte de los ocupantes del vehículo, por lo que sus valores deben ser limitados.

En la Tabla 15, de acuerdo al índice de severidad del impacto, se muestran los valores permisibles de ASI, THIV y PHD.

Tabla 15: Índices de severidad del impacto

Índice de severidad del impacto	Valor de los índices		
A	ASI ≤ 1.0	y	TH ≤ 33km/h
B	ASI ≤ 1.4		PHD ≤ 20g
<p>NOTA:</p> <p>El índice de severidad A proporciona una mayor seguridad para los ocupantes que el B, y es preferible en las mismas circunstancias.</p> <p>En localizaciones especialmente peligrosas, donde la contención del vehículo incontrolado (por ejemplo, vehículos pesados) es un condicionante primordial, puede ser necesario instalar un sistema de contención sin un índice específico de severidad del impacto. Sin embargo, el valor de los índices determinado en las pruebas debe quedar reflejado en el informe de los mismos.</p>			

Fuente: EN 1317 y NCHRP-350

Los valores del OIV y ORA se realizan para el vehículo ligero y deben cumplir lo siguiente:

Tabla 16: Velocidad de choque (OIV) y Desaceleración (ORA) del ocupante

OIV - Velocidad de choque del ocupante (m/s)		
Componente	Deseable	Máxima
Longitudinal y lateral	9	12

ORA - Deceleración del ocupante (G's)		
Componente	Deseable	Máxima
Longitudinal y lateral	15	20

Fuente: NCHRP-350

El propósito del VCDI según EN 1317 o OCDI según NCHRP-350, es dar una descripción estándar de la deformación del interior del vehículo para una mejor comprensión de la severidad del impacto.

c. Deformación del sistema.

La absorción de energía se realiza en gran parte por la deformación del conjunto de elementos que componen la barrera de seguridad y el vehículo, estas deformaciones deben ser limitadas y deben de ser compatibles con el lugar y el entorno en el que serán instaladas. Las deformaciones de las barreras de seguridad durante la prueba de impacto vienen caracterizadas por la deflexión dinámica y el ancho de trabajo.

- **El ancho de trabajo (W)** es la distancia entre la cara más próxima a la corriente de tráfico antes del impacto, y la posición lateral más alejada que durante el impacto alcanza cualquier parte esencial del sistema de contención o vehículo.

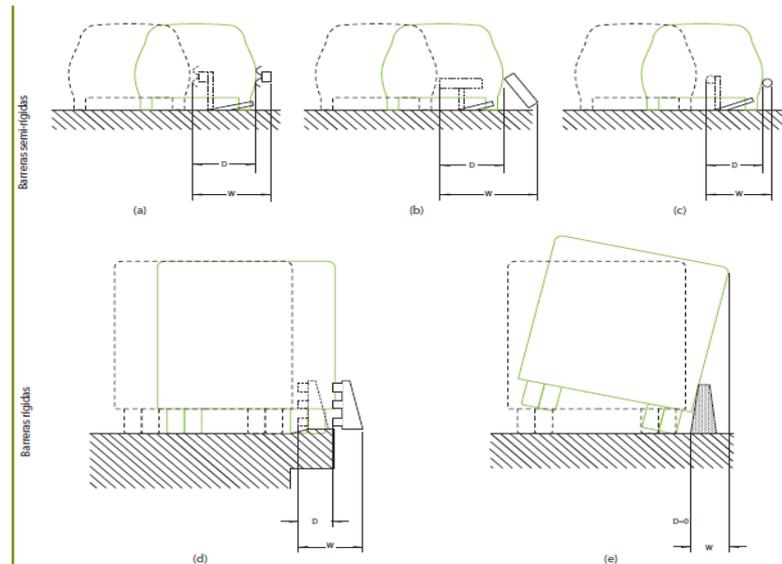
- **La deflexión dinámica (D)** es el máximo desplazamiento dinámico lateral de la cara del sistema más próxima al tráfico.

La deflexión dinámica y el ancho de trabajo permiten fijar las condiciones de instalación para cada barrera de seguridad, y también ayuda a definir las distancias a establecer delante de obstáculos para permitir que la barrera se deforme satisfactoriamente.

Los valores de deflexión dinámica y el ancho de trabajo están registrados en el informe de la prueba de impacto de la barrera de seguridad certificada, estos

valores dependen de la estructura del sistema, así como de las características de la prueba. De acuerdo a la anchura de trabajo, la normativa EN1317 clasifica la deformación de las barreras de seguridad, los criterios se muestran en la Tabla 17.

Figura 8: Deflexión dinámica (D) y ancho de trabajo (W) de una barrera de contención vehicular



Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

Tabla 17: Clases de deformación según normativa EN 1317

Clases de ancho de trabajo	Niveles de ancho de trabajo (m)
W1	$W \leq 0,6$
W2	$W \leq 0,8$
W3	$W \leq 1,0$
W4	$W \leq 1,3$
W5	$W \leq 1,7$
W6	$W \leq 2,1$
W7	$W \leq 2,5$
W8	$W \leq 3,5$

Fuente: Normativa EN 1317

d. Capacidad de redireccionamiento del sistema.

El vehículo debe ser reconducido por la barrera de seguridad de tal forma que, tras el impacto, la trayectoria de las ruedas no atraviese una línea paralela a la posición inicial de la cara de la barrera de seguridad más próxima al tráfico, situada a una distancia A y sobre una distancia B medida desde la intersección

final (ruptura) de la trayectoria de las ruedas del vehículo con la cara de la barrera de seguridad más próxima al tráfico.

Tabla 18: Criterios para las Distancias de Salida (Caja de Salida)

Tipo de vehículo	Distancia de Salida (m)	
	A	B
Vehículo Ligero	$2,2 + V_A + 0.16 V_L$	10,0
Otros vehículos	$4,4 + V_A + 0.16 V_L$	20,0

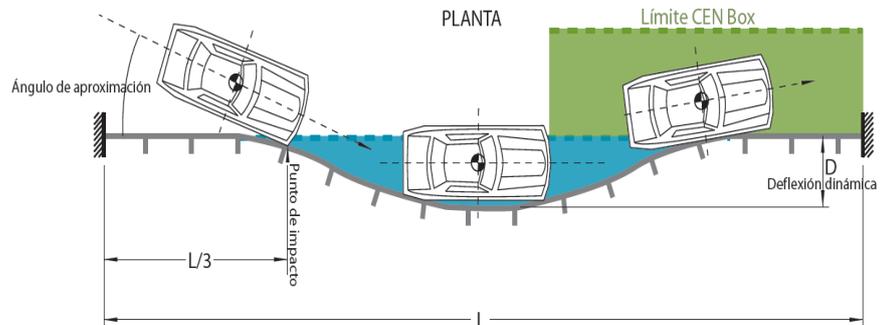
Fuente: Normativa EN 1317

Donde:

V_A : Ancho del vehículo

V_L : Longitud del vehículo

Figura 9: Deflexión dinámica (D), ángulo de aproximación y ángulo de salida



Fuente: Normativa EN 1317

2.1.10. Criterio de selección de una barrera de seguridad.

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.

La Directiva N°007-2008 del MTC SCV Tipo barrera de seguridad, menciona la responsabilidad del ingeniero especializado en el tema, en la elección de la barrera, teniendo en cuenta lo siguiente:

A. Estudio de tráfico.

Para la selección del nivel de contención, primero se debe determinar mediante un estudio de tráfico los tipos de vehículos que transitan en el tramo de la vía donde será necesaria la instalación de la barrera de seguridad, con esta información en la Tabla 19 se designa el tipo de tráfico al que correspondería la vía.

Tabla 19: Tipo de Tráfico

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

Fuente: Directiva N°007-2008-MTC/02.

Nota: No obstante, el vehículo predominante para el nivel de contención será obtenido mediante evaluaciones estadísticas provistas por el especialista.

B. Selección de la barrera de seguridad.

En la Tabla 20 se sugiere el nivel de contención de la barrera de seguridad de acuerdo al tipo de vía y el tipo de tráfico.

Tabla 20: Nivel de contención de acuerdo al tipo de tráfico y vía

Tipo de Vía	Tipo de Tráfico	Barrera central	Barrera lateral	Barrera para puentes (1)
AP, MC	A	P5 – P4	P4 – P3	P5 – P4
	B	P4 – P3 – P2	P4 – P3 – P2	P4
DC	C	-	P3	P4 – P3
	D	-	P3 – P2	P3
BVT	E	-	P2	P3 – P2
	F	-	P1	P2

Fuente: Directiva N°007-2008-MTC/02.

(1) Para puentes de luz menores a 10 m será equivalente a colocar una barrera lateral.

Donde:

AP: Autopista

MC: Carretera multicarril o dual (dos calzadas)

DC: Carretera de dos carriles

BVT: Carretera de bajo volumen de tránsito

Para el caso de una barrera certificada, se deberá tener en cuenta las siguientes consideraciones al momento de elegir la barrera más conveniente:

- Funcionamiento y comportamiento de la barrera certificada.
- Las condiciones del terreno.
- El espacio disponible (ancho de trabajo y deflexión dinámica)
- Necesidades especiales (conexiones, anclajes, abatimientos, etc.)
- El menor valor de ASI.
- El menor valor de THIV y PHD.
- La menor deformación del vehículo de acuerdo a los valores del VCDI ó OCDI.

2.1.11. Criterios de implementación de una barrera de seguridad.

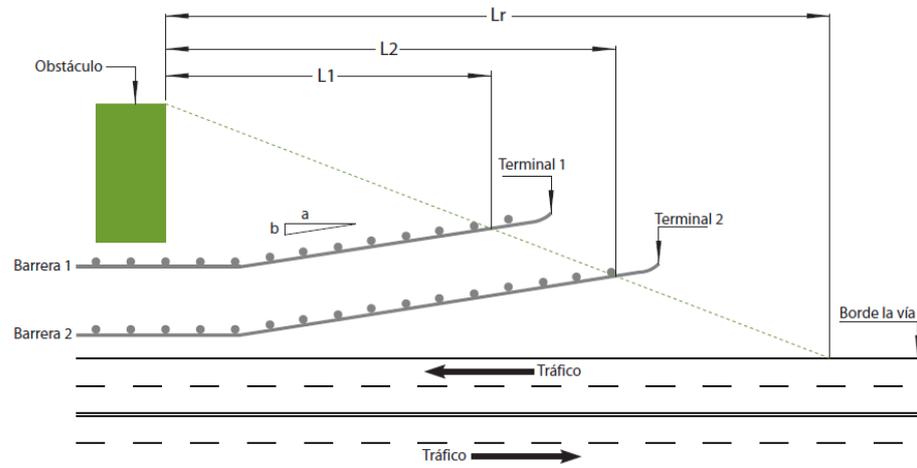
El Manual SCV Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carretera, recomienda, antes de optar por disponer de una barrera de seguridad, se analice lo siguiente:

a. 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 10. 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 10: Relación entre la disposición transversal de la barrera y la prolongación de la sección anterior al obstáculo



Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

NOTAS:

- L_1 Longitud de la sección anterior al obstáculo para la “Barrera 1”. La longitud L_1 no incluye la longitud del terminal.
- L_2 es la longitud de la sección anterior al obstáculo para la “Barrera 2”. La longitud L_2 no incluye la longitud del terminal.
- $L_2 > L_1$
- L_r 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.

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, y de ser posible, colocarse más allá de la distancia de preocupación (Tabla 21).

Tabla 21: Distancias de preocupación (L_s)

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: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

Si la carretera posee espaldón, 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 la Tabla 22.

Tabla 22: Distancias máximas recomendadas entre el borde de la vía y la barrera de seguridad

Velocidad de diseño (Km/h)	Distancia máxima (m)		
	Número de carriles por sentido		
	1	2	3
50	2,5	0,5	0,5
60	2,5	0,5	0,5
70	6,0	2,5	0,5
80	6,0	2,5	0,5
90	11,0	7,5	4,0
100	11,0	7,5	4,0
110	16,5	13,0	10,0

Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

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.

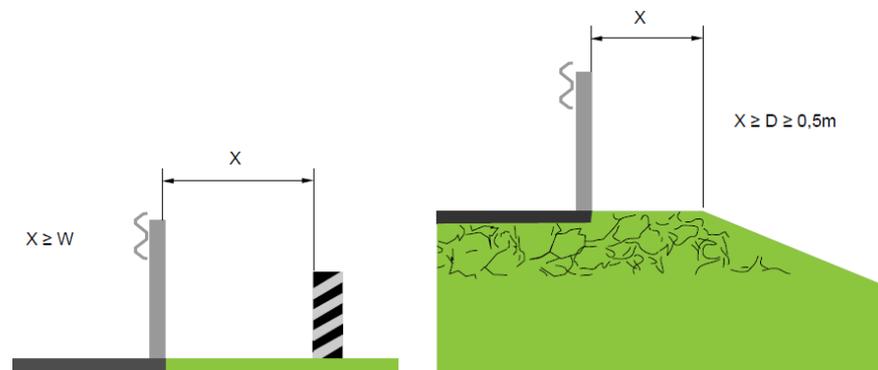
Si el obstáculo se ubica lejos del borde de la vía, es preferible instalar una barrera flexible, ya que ésta impone las menores fuerzas de impacto a los ocupantes del vehículo debido a que la barrera absorbe más energía del impacto y experimenta una mayor deformación. Si el obstáculo está ubicado cerca 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 (Figura 11):

- 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 11: Ubicación de la barrera con respecto a los obstáculos



Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

b. Disposición en altura de las barreras de contención.

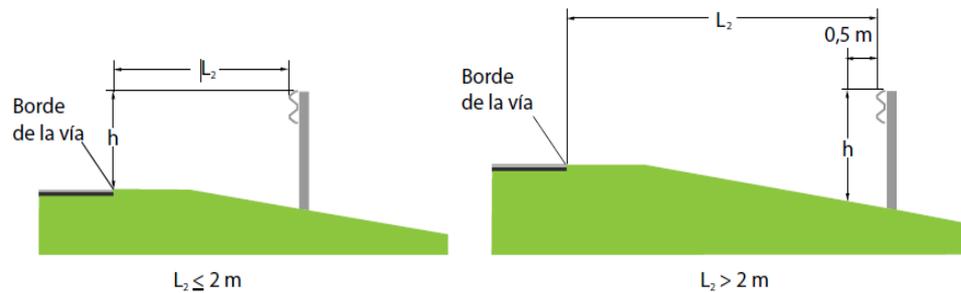
La altura de la barrera de seguridad es uno de los aspectos que se debe vigilar con más atención, ya que el desempeño del sistema depende de que su disposición sea conforme a la especificada por el fabricante o las normativas vigentes en el país. La altura recomendada para las barreras o pretiles de 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 12. 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 12: Pautas para la disposición en altura de la barrera



Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

c. 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 o 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.

d. 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.

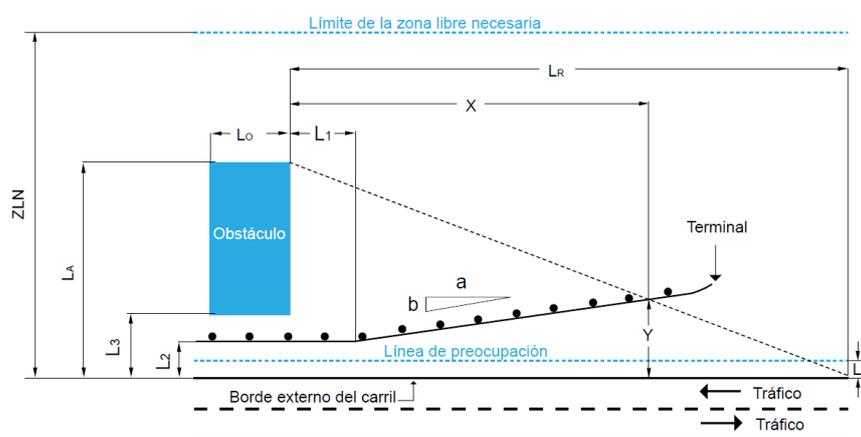
Si la carretera posee taludes empinados, generalmente se preferirán las razones de esviaje menores (más planas), debido a los extensos trabajos de movimiento de tierras que se requerirían para aplanar y nivelar el terreno entre el borde de la vía y la barrera, además de aplanar parte del terreno que 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.

e. 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.

Las variables que se consideran en la metodología para calcular la longitud de la sección de barrera anterior al obstáculo se muestran en la Figura 13 (sección de aproximación al obstáculo).

Figura 13: Variables que intervienen en el cálculo de la longitud de la sección de la barrera anterior al obstáculo



Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

L_S = distancia de preocupación (Ver Tabla 21).

L_R = es la distancia teórica que recorre un vehículo que se sale de la vía fuera de control antes de detenerse. 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 carretera. Este parámetro se obtiene de la Tabla 23 en función de la velocidad del tramo de carretera (velocidad de diseño o V85) y de su TPD.

ZLN = es el ancho de la zona libre necesaria.

L_A = es la distancia transversal desde el borde del carril hasta el extremo más alejado del obstáculo o zona peligrosa. Si la zona peligrosa se extiende más allá del límite de la zona libre necesaria (ZLN), L_A puede considerarse igual al ancho

de la zona libre necesaria (LC) para el cálculo de la longitud de la barrera de seguridad.

L_0 = es la longitud del obstáculo medida paralela a la vía.

L_1 = es la longitud de la sección de barrera paralela a la vía antes del obstáculo, y su valor se determina de la siguiente manera:

- $L_1 = 0$ si el obstáculo no sobresale del terreno, por ejemplo: taludes no traspasables, cuerpos de agua.
- $L_1 = 8$ m si el obstáculo sobresale del terreno, por ejemplo: árboles, postes, pilares de puentes, estructuras del sistema de drenaje y otros.
- $L_1 = 5$ m como mínimo para pretilas de puente.

L_2 = es la distancia transversal desde el borde de la vía hasta la sección de la barrera de seguridad paralela a la vía.

L_3 = es la distancia transversal desde el borde de la vía hasta el obstáculo o zona peligrosa.

Tabla 23: Distancias de salida sugeridas (LR)

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

Fuente: Road Desing Guide, 2011

b:a = es la razón de esviaje, la cual se determina en función de la velocidad del tramo de vía (velocidad de diseño o V_{85}), el tipo de sistema y la ubicación del sistema con respecto al borde de la vía. El tipo de sistema se refiere a su clasificación de acuerdo al nivel de rigidez según la Tabla 24. La razón de esviaje, b:a se establece de acuerdo a los criterios de la Tabla 25.

Tabla 24: Clasificación de barreras de seguridad según su rigidez

Clasificación	Deflexión (m)	Ejemplos
Flexible	2,0 - 3,5	Barreras de cables
Semi-rígido	0,6 - 2,0	Barreras de viga triple onda
Rígido	0,0 - 0,6	Barreras de concreto ancladas

Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

Tabla 25: Razones de esviaje (b:a)

Velocidad diseño (Km/h)	Barreras colocadas antes de la línea de preocupación	Barreras colocadas más allá de la línea de preocupación	
	Cualquier tipo de sistema	Sistemas rígidos	Sistemas flexibles y semi-rígidos
50	13:1	8:1	7:1
60	16:1	10:1	8:1
70	18:1	12:1	10:1
80	21:1	14:1	11:1
90	24:1	16:1	12:1
100	26:1	18:1	14:1
110	30:1	20:1	15:1

Fuente: Road Desing Guide, 2011

X = es la longitud de la sección de barrera anterior al obstáculo. Si la barrera se colocará paralela a la vía en toda su longitud **X** se calcula mediante la Ecuación I, y si la barrera se instalará con esviaje **X** se calcula mediante la Ecuación II.

X: Barrera paralela... Ecuación I

X: Barrera con esviaje... Ecuación II

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

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

Y = es la distancia transversal desde el borde de la vía hasta el inicio o término de la barrera. Y se calcula mediante la Ecuación III.

Y: Barrera con esviaje... Ecuación III

$$Y = L_A - \frac{L_A}{L_R} * X$$

2.1.12. Barreras en medianas.

a. Criterios de implantación.

En las siguientes condiciones se debe instalar un sistema de contención vehicular en la mediana de la carretera:

- Un análisis de riesgo o los criterios vigentes indican que existe una alta probabilidad de que los vehículos crucen la mediana y sufran una colisión frontal con otros vehículos que circulan en sentido contrario.
- El análisis de los registros de accidentes demuestra que es una zona peligrosa.
- Taludes no traspasables,
- Dentro de la ZLN en la mediana se ubican objetos fijos potencialmente peligrosos como luminarias, pilares de puentes, alcantarillas, y por alguna razón técnica o económica no es posible removerlos, trasladarlos de sitio o modificar dichos objetos para hacerlos “traspasables”—por ejemplo, sustituyendo las bases de los postes por sistemas colapsables.

Estos criterios se aplican solamente para el caso de que la mediana posea un terreno traspasable y no se encuentren obstáculos, como objetos fijos, en la mediana.

b. Selección del nivel de contención.

Si se debe colocar una barrera de contención vehicular, el nivel de contención se selecciona de acuerdo a los criterios de la Tabla 26.

Si el nivel de exposición a accidentes de tránsito es alto se debe considerar instalar una barrera de muy alta contención tipo H4b.

Tabla 26: Criterios para seleccionar el nivel de contención de una barrera de seguridad en la mediana

Velocidad (km/hr)	Nivel de contención
≤ 60	H1, TL3, TL4
> 60	H2, H3, H4b, TL5, TL6

Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

c. Criterios para la disposición según la configuración de los taludes del terreno.

Se establecen tres tipos de medianas:

Tipo I: medianas que presentan una sección transversal tipo canal.

Tipo II: medianas que separan carriles de circulación a diferentes elevaciones.

Tipo III: medianas elevadas, los taludes del terreno forman un desmonte.

Si las pendientes que conforman el canal son iguales a 1V:3H o más empinadas, se debe colocar una barrera de contención vehicular a ambos lados de la mediana como se muestra en la Figura 14, Ilustración 1.

Si uno de los taludes que conforman el canal presenta una pendiente igual a 1V:3H o mayor (más empinada) y la pendiente del otro talud es menor a 1V:3H (más plana), se debe colocar una barrera para proteger a los usuarios que corren el riesgo de volcarse al descender por la pendiente no traspasable (mayor o igual a 1V:3H), como se observa en la Figura 14, Ilustración 2.

Si las pendientes que conforman el canal son menores a 1V:10H (más planas) y el riesgo de que un vehículo cruce la mediana y sufra una colisión frontal es alto (según el gráfico de la Figura III-18), se debe colocar una barrera en centro de la mediana, a menos que se ubiquen otros objetos fijos potencialmente peligrosos. En la Figura 14, Ilustración 3 se muestra este caso.

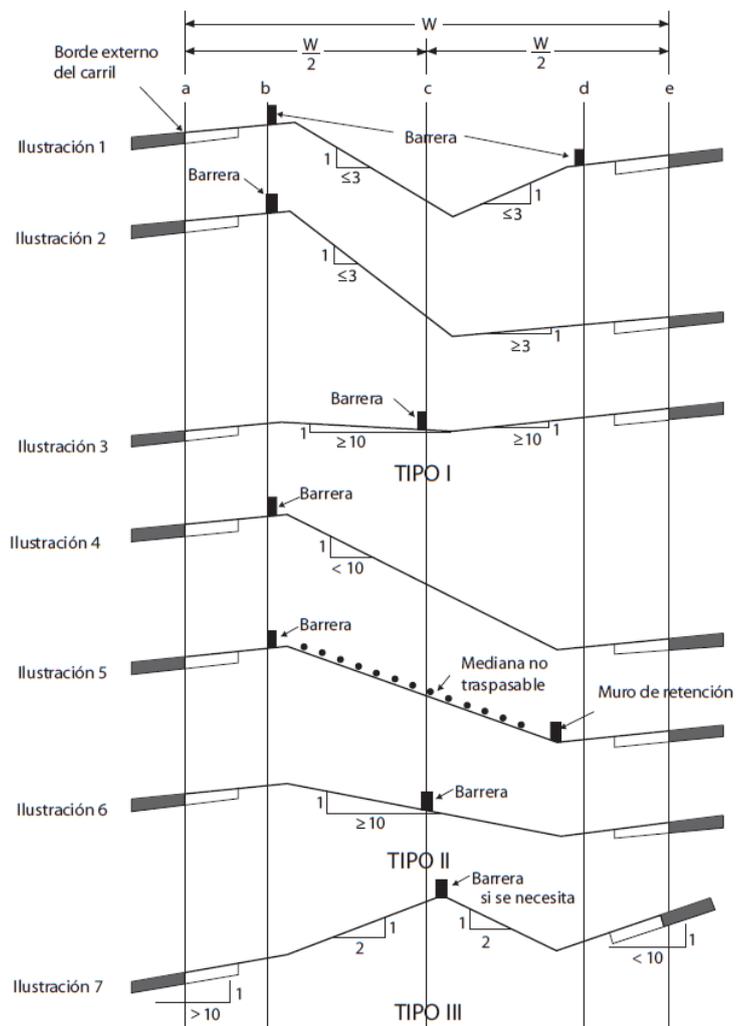
Si el talud que conforma la mediana presenta una pendiente mayor a 1V:10H (más empinada) y el riesgo de que un vehículo cruce la mediana y sufra una colisión frontal es alto, se debe colocar una barrera para proteger a los usuarios que corren el riesgo de descender por la pendiente e invadir los carriles de circulación en sentido contrario, como se muestra en la Figura 14, Ilustración 4.

Si la superficie del talud es rugosa, rocosa, irregular o poco firme se debe colocar una barrera a ambos lados de la mediana, como se observa en la Figura 14, Ilustración 5.

Si la pendiente del talud es igual a 1V:10H o más plana y el riesgo de que un vehículo cruce la mediana y sufra una colisión frontal es alto, la barrera se debe colocar en el centro de la mediana, como se observa en la Figura 14, Ilustración 6.

Si los taludes de corte de la mediana presentan una superficie rugosa, rocosa, irregular o poco firme; se debe colocar una barrera a ambos lados para proteger a los usuarios de la vía. De lo contrario, no se requiere colocar barrera de seguridad.

Figura 14: Ubicación correcta de una barrera de contención en la mediana de una carretera



"W" es el ancho de la mediana

Fuente: Road Desing Guide, 2011

2.1.13. Terminales de barreras y amortiguadores de impacto.

Los terminales de barrera son dispositivos especialmente diseñados para proteger a los ocupantes de un vehículo que colisiona con el extremo de una barrera de contención o contra un elemento rígido, en el caso de los amortiguadores de impacto.

Algunos terminales solo funcionan como elementos de seguridad, mientras otros también proporcionan anclaje a la barrera.

Un terminal de barrera funciona de alguna de las siguientes maneras:

- Desacelera el vehículo hasta detenerlo en una corta distancia.
- Permite una penetración controlada del vehículo detrás de la barrera.
- Retiene y redirecciona el vehículo.
- Combina las funciones anteriores.

A. Tipos de terminales y amortiguadores.

Los terminales de barreras se pueden clasificar en cuatro categorías de acuerdo a su configuración y funcionalidad:

- Terminales bruscos.
- Terminal abatido y enterrado.
- Terminal empotrado en talud de corte.
- Terminales atenuadores de impacto.

a. Terminales bruscos: existen dos tipos, los llamados “cola de pez” y los cortes verticales de los muros y barreras de concreto. No son recomendables debido a su comportamiento negativo a cualquier velocidad. El riesgo de penetración del habitáculo del vehículo es elevado, imponen desaceleraciones muy altas a los ocupantes del vehículo y como no disponen de anclaje se reducen las prestaciones de la barrera en los extremos. Cabe mencionar que este tipo de

terminal no se encuentra mencionado en la normativa, por lo cual, su instalación no está permitida en el país.

- b. Terminal en abatimiento:** consiste en disminuir la altura de la barrera hasta que ésta alcance el nivel del suelo y pueda enterrarse el anclaje. No ofrece un elevado riesgo de penetración del habitáculo del vehículo, pero puede producir el ascenso o vuelco de los vehículos que lo impactan frontalmente. En los casos en que la barrera se ubique muy próxima a la vía, se debe instalar de manera que en planta presente un tramo en ángulo, de tal forma que el extremo enterrado del terminal se aleje del borde de la vía (efecto de esviaje). 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.
- c. Terminal en abatimiento en barrera rígida:** El comportamiento que se obtiene con este tipo de elemento es similar al obtenido en los terminales abatidos en barreras de acero, es decir, no son recomendables para ser aplicados en vías de alta velocidad, debido a que un vehículo que colisione de frente puede ser lanzado por el aire por el terminal como si éste fuera una rampa.
- d. Terminal empotrado en un talud:** es una solución muy eficiente, consiste en alejar el extremo de la barrera del borde de la vía y anclarlo a un talud de corte. El talud debe ser empinado, con una pendiente mayor a 1H:5V y una superficie suave (no rocosa) capaz de redireccionar el vehículo sin provocar el enganchamiento o vuelco del mismo. Si el diseño de la barrera de seguridad y su terminal es adecuado (considerando su disposición en campo y diseño estructural), este tipo de anclaje provee una defensa absoluta a los usuarios de la vía, elimina la posibilidad de una colisión frontal con el terminal de la barrera, y minimiza la posibilidad de que el vehículo traspase la barrera y alcance el obstáculo, por lo tanto, se considera que es un tipo de terminal infranqueable.

e. Terminales atenuadores de impacto: como su nombre lo indica, este tipo de terminales se comportan como sistemas atenuadores de impactos frontales y como barreras de seguridad ante las colisiones laterales. Constituyen el tipo óptimo de terminal, pero su instalación es poco común debido a razones de índole económica.

f. Amortiguadores de impacto: se utilizan para proteger zonas u obstáculos peligrosos contra choques frontales, para los que las barreras de seguridad no resulten adecuadas. Su finalidad es la de atenuar las consecuencias del choque frontal del vehículo, absorbiendo su energía cinética mediante la deformación del sistema.

Los terminales de barrera se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Franqueables e
- Infranqueables

La Figura 15 ilustra el concepto de terminales franqueables e infranqueables.

Los terminales infranqueables y con capacidad de redireccionamiento no permiten que el vehículo traspase la barrera. Si el choque es frontal, el terminal detiene de manera controlada y segura el vehículo. Si el choque es lateral, el terminal desacelera y cambia la trayectoria del vehículo, permitiéndole regresar a la vía.

Los terminales franqueables y no redirectivos son diseñados para que el vehículo pase a través de ellos e ingrese en un área ubicada detrás de la barrera, la cual debería ser plana y libre de obstáculos.

Los amortiguadores de impacto se pueden clasificar de la siguiente manera (Figura 16):

- Redirectivos
- No redirectivos

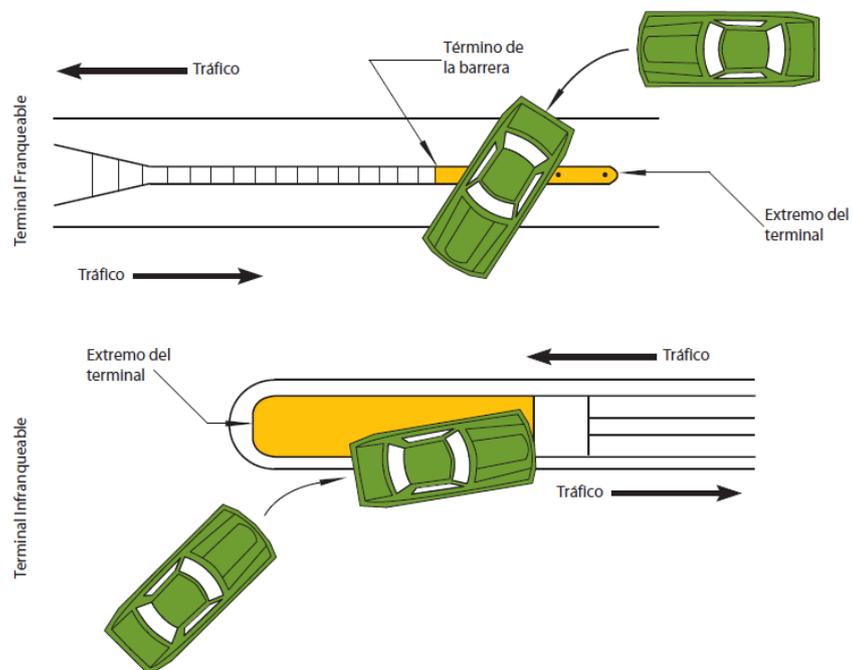
Los atenuadores de impacto no redirectivos desaceleran el vehículo hasta detenerlo en una corta distancia.

Los atenuadores de impacto redirectivos contienen el vehículo y cambian su dirección, apartándolo del objeto rígido peligroso.

Los siguientes factores se deben considerar para seleccionar el terminal de barrera más apropiado:

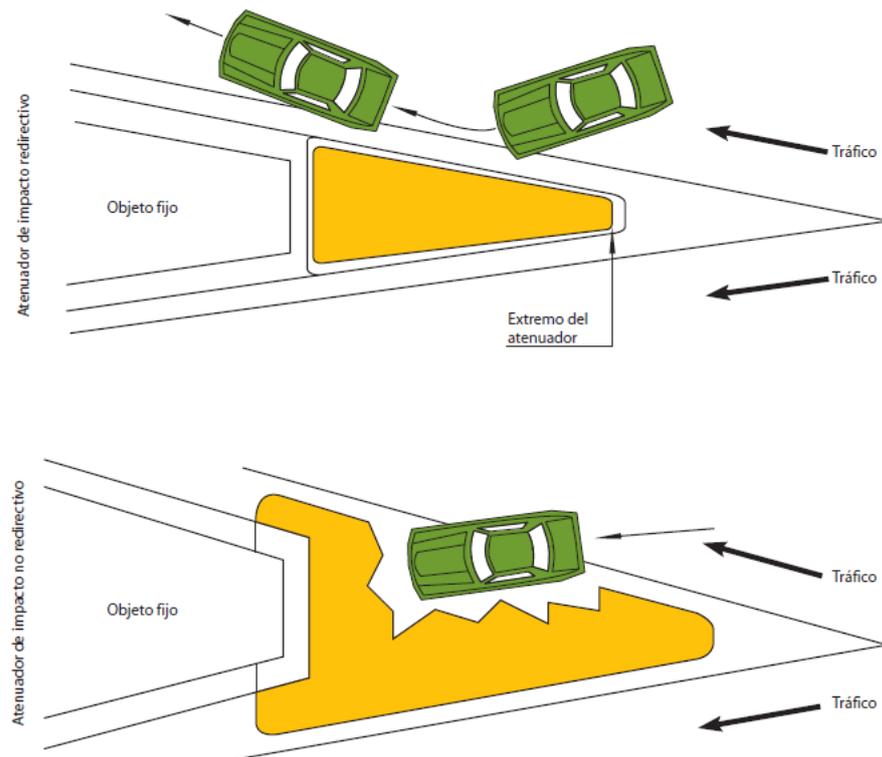
- Las características del terminal de barrera (sobre todo las que se refieren a la capacidad de redireccionamiento de los vehículos)
- Velocidad.
- Espacio disponible para la instalación y deformación del terminal.
- Capacidad para absorber las colisiones.
- Compatibilidad con la barrera de seguridad.
- Costos de instalación y mantenimiento.

Figura 15: Terminales franqueables e infranqueables



Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

Figura 16: Amortiguadores redirectivos y no redirectivos



Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

B. Criterios generales para la disposición de los terminales de barrera.

Un terminal franqueable permite a un vehículo que impacta el costado o la nariz del terminal, pasar a través del dispositivo e ingresar a una zona detrás de la barrera, por lo que el terreno más allá de la barrera y su terminal debe ser traspasable y libre de obstáculos.

Se recomienda un área libre rectangular mínima de 23 m de largo (se miden paralelos a la barrera) y 6 m de ancho (se miden perpendiculares a la barrera). Se debe aclarar que un área de tales dimensiones no puede acomodar a todos los vehículos que impacten el terminal y, por lo tanto, se debe contemplar la probabilidad de que ocurra un accidente debido a la presencia de peligros más allá de ésta área libre establecida.

Los terminales infranqueables y redirectivos no requieren un área despejada detrás de la barrera para acomodar el vehículo y por lo tanto son idóneos para proteger:

- Terminales de barreras en medianas estrechas.
- Zonas estrechas.
- Bifurcaciones.
- Objetos fijos localizados en la zona libre necesaria.
- Terminales de pretilos de puentes.
- Pilas de puentes.

Las barreras pueden empotrarse en un talud de corte en aquellos tramos donde se presenten transiciones de un corte a un terraplén. El talud debe ser empinado, con una pendiente mayor a 1H:5V y una superficie suave (no rocosa) capaz de redireccionar el vehículo sin provocar el enganchamiento o vuelco del mismo.

Si el diseño de la barrera y su terminal es adecuado (considerando su disposición en campo y diseño estructural), este tipo de anclaje provee una defensa absoluta a los usuarios de la vía, elimina la posibilidad de una colisión frontal con el terminal de la barrera, y minimiza la posibilidad de que el vehículo traspase la barrera y alcance el obstáculo, por lo tanto, se considera que es un tipo de terminal infranqueable.

La configuración del talud debe ser tal, que el vehículo sea redireccionado sin que éste ascienda por la ladera, ya que si esto ocurre podría pasar sobre la barrera y alcanzar la zona peligrosa.

Los aspectos claves que se deben observar en el diseño de un terminal empotrado en un talud de corte son los siguientes:

- Utilizar una razón de esviaje apropiada según la velocidad de diseño
- Colocar un anclaje que sea capaz de desarrollar el esfuerzo de tensión requerido por la viga de la barrera de seguridad.
- La altura de la viga debe ser uniforme con respecto a la vía hasta que este cruce el canal de flujo (ubicado al pie del talud de corte, por ejemplo).

- Si la barrera está conformada por una viga de sección “W” se debería colocar una viga inferior adicional (rubrail).
- La pendiente de aproximación del terreno no debe ser mayor a 1V:4H.

Los atenuadores de impacto no redirectivos como los compuestos por contenedores llenos de arena se pueden colocar directamente frente al obstáculo o utilizar como un tratamiento terminal para una barrera, sin embargo, es probable que no sean capaces de redireccionar los vehículos que colisionan lateralmente, especialmente aquellos que se dirigen hacia la parte posterior del dispositivo.

Entre las ventajas que ofrecen están que se pueden utilizar para proteger obstáculos de cualquier ancho y particularmente en ramales de salida, bifurcaciones o divergencias y no requieren estructuras de soporte o muros. El terreno donde se coloquen debe ser plano y compacto, con una pendiente de aproximación no mayor a 1V:20H generalmente, además se recomienda colocar una fundación de concreto o asfalto.

El terreno entre la vía y el terminal debe ser plano, compactado y libre de obstáculos, se recomienda una pendiente igual a 1V:10H o más plana en cualquier dirección, de manera que se garantice que el vehículo se encuentre en una condición estable durante el impacto.

2.1.14. Atenuadores de impacto.

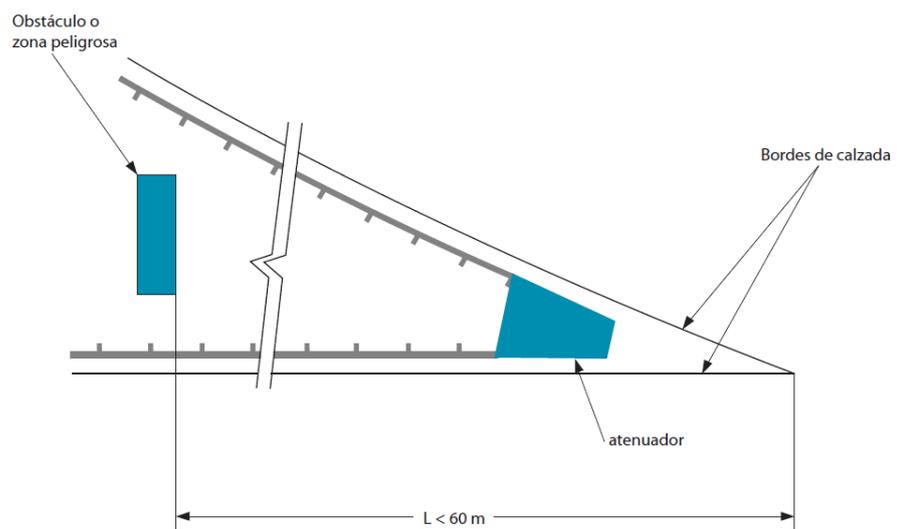
A. Criterios de implantación.

La instalación de un atenuador de impacto 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 y no pueda ser protegido ante un impacto frontal mediante la implantación de barreras de seguridad.

La instalación de atenuadores de impacto está específicamente justificada en los siguientes casos:

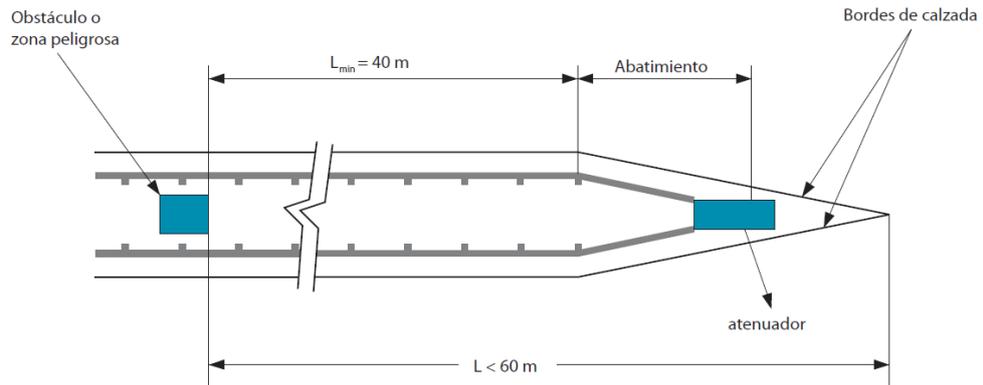
- **“Narices” en rampas de salida.** Cuando en una zona peligrosa asociada a una divergencia de salida o bifurcación no se disponga de un área plana y libre de obstáculos de, al menos, 60 m a partir de del punto de apertura de los carriles divergentes, se dispondrá de un atenuador redirectivo (ver Figura 17). En las “narices” de una rampa de salida se evitará tanto la disposición de barreras de seguridad con vigas o vallas curvas uniendo dos alineaciones de barrera, como los abatimientos frontales convergentes en un punto.
- **Comienzos de mediana.** Cuando el principio de la barrera doble de seguridad de la mediana diste menos de 40 m del primer obstáculo situado en ésta, se dispondrá de un atenuador de impacto redirectivo (ver Figura 18).

Figura 17: Criterios de implantación de atenuadores de impacto en rampas de salida



Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

Figura 18: Criterios de implementación de atenuadores de impacto en un comienzo de mediana



Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

B. Selección de la clase de contención.

Para determinar el nivel de contención de un atenuador de impactos, se debe tener en cuenta la velocidad de diseño o V85 del tramo de carretera donde va ser instalado, ya que la clase o nivel de contención de estos sistemas se especifica en términos de la velocidad de operación, y existen cuatro clases: 110 km/h, 100 km/h, 80 km/h y 50 km/h.

La Tabla 27 muestra los criterios para elegir la clase de contención de un atenuador de impacto.

Tabla 27: Criterios para seleccionar la clase de contención de un amortiguador de impacto

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
Carreteras interurbanas de calzada única	$85 < V \leq 100$	100
	$65 < V \leq 85$	80
	$V \leq 65$	50
Carreteras en zonas urbanas y áreas de peaje	$V \leq 65$	50

Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

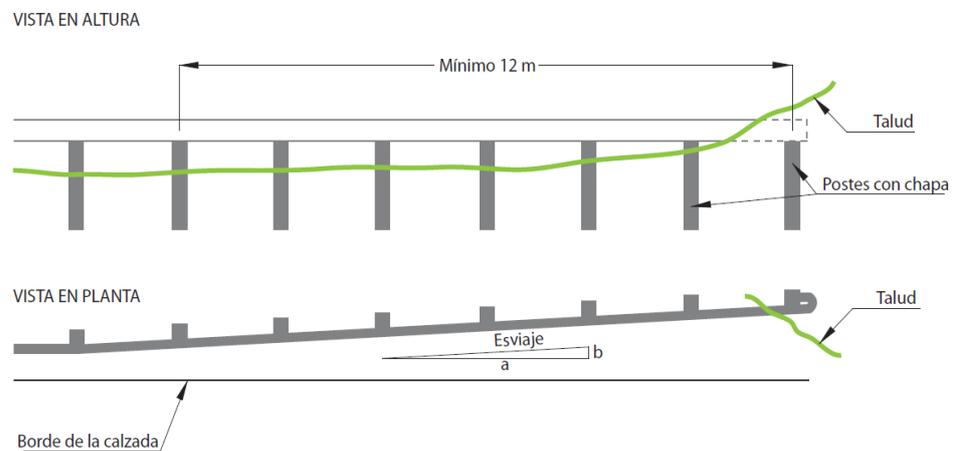
2.1.15. Terminales.

A. Selección del tipo de terminal.

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 19).

Figura 19: Empotramiento de barrera metálica en talud



Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

El empotramiento de los extremos de la barrera debe garantizar el anclaje de la barrera, el tramo que va desde la barrera hasta el empotramiento debe mantener la altura adecuada, y el ángulo de esviaje debe cumplir con los criterios de la Tabla 25.

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.

Los terminales bruscos deben ser definitivamente excluidos por su comportamiento claramente negativo a cualquier velocidad.

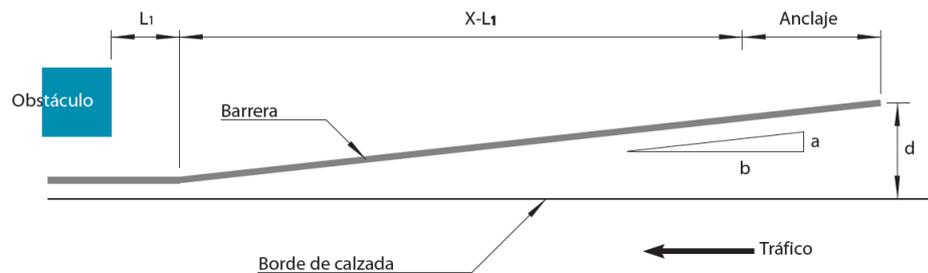
Desde el punto de vista de su comportamiento ante el impacto de un vehículo, los **terminales absorbentes de energía (TAEs)** son siempre de prestaciones superiores y, por lo tanto, resultan preferibles a los terminales en abatimiento, cualquiera que sea su aplicación.

Dado que la instalación generalizada de TAEs es todavía hoy poco factible por razones de índole económica, es conveniente determinar en qué situaciones un TAE garantiza una relación de beneficio/costo más elevada. La sustitución de un terminal en abatimiento por un TAE es tanto más beneficiosa cuanto mayor es el riesgo de vuelco y vuelco.

A continuación, se indican dos situaciones particulares en las que la disposición de terminales de barrera en abatimiento puede representar un peligro:

- **Terminal en abatimiento próximo a la vía y de alto riesgo:** un terminal de barrera en abatimiento paralelo y muy próximo al borde de vía, genera el riesgo de que, al ser impactado frontal o lateralmente, provoque el vuelco y vuelco del vehículo. Las consecuencias de este tipo de accidente pueden ser graves. Este riesgo aumenta con la velocidad, la proximidad al borde y con el trazado curvo. En el caso de un terminal en abatimiento con alto riesgo por proximidad, es conveniente instalar la barrera de manera que, en planta, presente un tramo en ángulo o esviaje, de tal forma que el extremo enterrado del abatimiento terminal se aleje del borde la vía (Figura 20). La Tabla 25 contiene las razones de esviaje (b:a) recomendadas.

Figura 20: Terminal en abatimiento con esviaje, aumentando así la distancia (d) del extremo con el borde la vía



Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

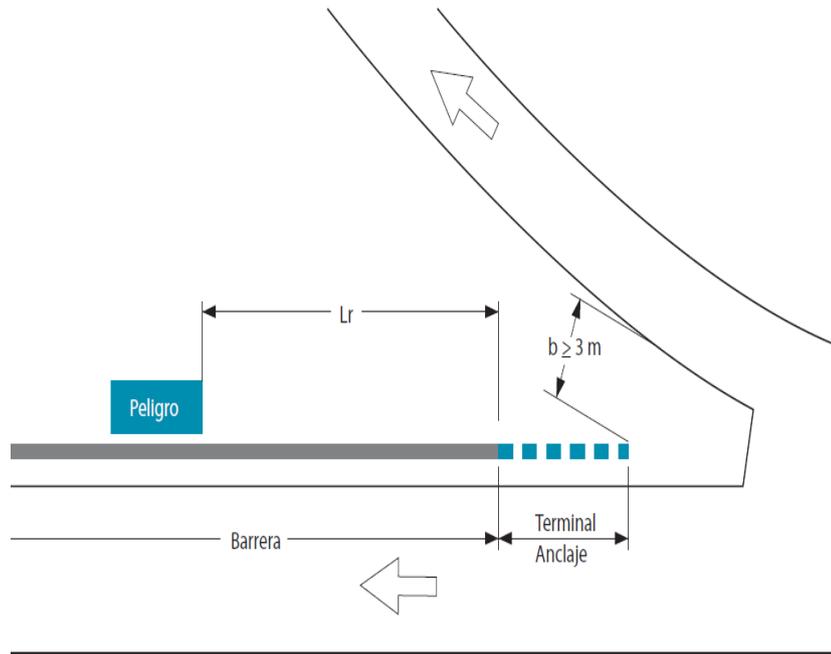
- **Terminales en bifurcaciones:** una zona de especial interés para implantación de TAEs son los ramales de salida, bifurcaciones o divergencias cuando presentan bien una única alineación de barrera, paralela a una de las vías que se separan (Figura 21) o bien dos alineaciones de barrera de seguridad que convergen, una paralela a cada vía (Figura 22).
 - **El caso de una única alineación de barrera (Figura 21) paralela a una de las vías que se separan,** tendrá lugar cuando la zona peligrosa únicamente afecta a una de las vías (generalmente, la vía principal). En este caso, resulta recomendable la implantación de un terminal con absorción de energía
 - **El caso de dos alineaciones de barrera (Figura 22) paralelas respectivamente a cada vía y convergentes hacia un punto,** tendrá lugar cuando la zona peligrosa que justifica la implantación de barrera afecta a las dos vías que se separan.

Cuando el talud entre ambas plataformas es inferior a 2:1 (más plano), es recomendable que la barrera de la vía secundaria se inicie a partir de la sección en que los bordes de dichas plataformas se encuentran a una distancia mínima de 3 m.

En el caso de dos alineaciones de barreras, paralelas respectivamente a cada vía y convergentes en un punto (cuando la distancia entre los extremos es menor a 3 m), es preciso recurrir a la implantación de un atenuador de impacto redirectivo.

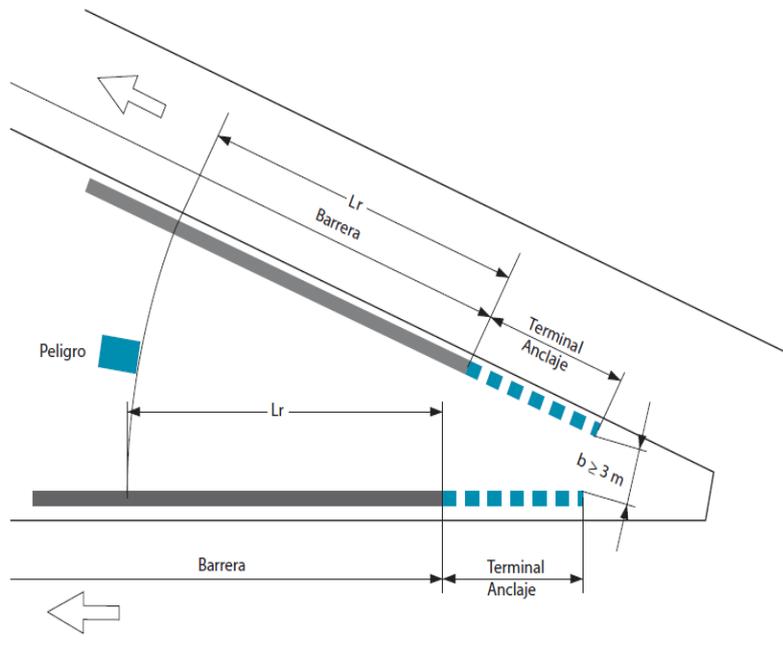
La disposición de un TAE en bifurcaciones donde existan barreras próximas al punto de divergencia, es recomendable tanto en el caso de una sola alineación de barrera como en el de dos alineaciones convergentes con sus extremos suficientemente separados.

Figura 21: Terminal en ramal de salida o divergencia, caso de una única alineación de barrera



Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011)

Figura 22: Terminal en ramal de salida o divergencia, caso de dos alineaciones de barrera



Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

B. Selección del nivel de contención

Respecto a la selección del nivel de contención de los terminales de barrera absorbentes de energía (TAEs), se pueden aplicar los mismos criterios establecidos para los atenuadores de impacto, excluyendo la clase de 50 km/hr que, para terminales, no está definida. La Tabla 28 muestra los criterios a elegir.

Tabla 28: Criterios para seleccionar la clase de contención de un terminal de barrera absorbente de energía (TAE)

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
Carreteras interurbanas de calzada única	$85 < V \leq 100$	100
	$V \leq 85$	80
Carreteras en zonas urbanas y áreas de peaje	$V \leq 85$	80

Fuente: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011).

2.2 Definición de Términos Básicos

2.2.1. Relacionados a los Sistemas de Contención Vehicular.

A. SISTEMA DE CONTENCIÓN VEHICULAR.

Es un dispositivo que tiene por objeto reducir la gravedad de las consecuencias de los accidentes por salida de la vía, tanto para los ocupantes del vehículo como para otros usuarios de la vía y terceros situados en las proximidades. Su función es sustituir la colisión del vehículo contra el obstáculo por un impacto más controlado contra el mismo sistema. Por lo tanto, su función no es prevenir los accidentes por salida de la vía, sino más bien reducir su severidad.

Los sistemas de contención de vehículos deben cumplir con tres funciones básicas:

- Contener al vehículo
- Redireccionar el vehículo y
- Mitigar la gravedad del impacto de los ocupantes del vehículo.

Clasificación de los sistemas según su función y ubicación:

- Barreras de seguridad
- Atenuador de impacto
- Pretil de puente
- Terminal de barrera
- Transición
- Lechos de frenado, rampas de escape o rampas de frenado

➤ **BARRERAS DE SEGURIDAD:**

Es un sistema longitudinal paralelo al flujo vehicular, su propósito es contener y redireccionar los vehículos que pierden el control y salen de la vía. Pueden ser ubicados e instalados en los márgenes o en los separadores centrales de la carretera y en los bordes de los puentes (pretilos).

La rigidez de la barrera se define como la capacidad que posee de soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones o desplazamientos. Los sistemas rígidos casi no se deforman si son impactados por un vehículo, por lo que resultan elementos más agresivos para los usuarios de las vías.

Si hay suficiente espacio entre el obstáculo y el borde de la vía, es preferible colocar una barrera flexible o semirígida, ya que imponen menores fuerzas de impacto a los ocupantes del vehículo, reduciendo la posibilidad de que sufran lesiones severas.

➤ **ATENUADOR DE IMPACTO:**

Es un dispositivo que detiene un vehículo a una razón de desaceleración tolerable para sus ocupantes o redirecciona el vehículo lejos del objeto potencialmente peligroso.

➤ **PRETIL DE PUENTE:**

Es un sistema análogo a una barrera de seguridad, pero se diseña específicamente para bordes de tableros de obras de paso, puentes, coronaciones de muros de retención y obras similares.

➤ **TERMINAL DE BARRERA:**

Es un sistema que se diseña para reducir la probabilidad de que un vehículo sea lanzado, se vuelque o sufra una excesiva desaceleración si impacta el extremo de una barrera de seguridad. Generalmente incluyen el anclaje de la barrera de seguridad.

➤ **TRANSICIÓN:**

Es una sección de barrera cuya rigidez aumenta gradualmente para unir un sistema flexible o semirígido a un sistema rígido o un objeto fijo.

➤ **LECHOS DE FRENADO, RAMPAS DE ESCAPE O RAMPAS DE FRENADO:**

Son áreas adyacentes a la calzada de la carretera donde los vehículos pesados pueden detenerse si pierden el control. El terreno se conforma de materiales limpios, difíciles de compactar y con alto coeficiente de resistencia al rodado. Los lechos de frenado también pueden ser un carril de escape pavimentado.

➤ **NIVEL DE CONTENCIÓN**

El nivel de contención es la energía cinética transversal que un sistema es capaz de retener de manera controlada, sin que el vehículo atraviese el sistema ni se vuelque. Ninguna parte relevante del sistema debe desprenderse o penetrar en el habitáculo del vehículo durante la prueba, de manera que el vehículo se mantenga estable durante y después del impacto con el dispositivo. Un leve cabeceo, balanceo o inclinación puede ser aceptable.

➤ **SEVERIDAD DEL IMPACTO**

La severidad del impacto se define como el nivel de riesgo de sufrir lesiones para los ocupantes del vehículo como consecuencia de una colisión. Un sistema que sea capaz de contener un camión no sirve si al contener un vehículo liviano causa graves lesiones o la muerte de sus ocupantes, es por ello que se han desarrollado a nivel mundial parámetros que permiten cuantificar la severidad del impacto, entre ellos se destacan las deceleraciones medidas en el interior del vehículo y la deformación del habitáculo.

➤ **DEFORMACIÓN DEL SISTEMA**

La deformación del sistema se describe mediante dos distancias transversales que se miden durante los ensayos de impacto a escala real: ancho de trabajo (W) y deformación dinámica (D). Representan el máximo espacio transversal que, bajo las condiciones de impacto normalizadas del ensayo, ha sido empleado por el sistema durante su deformación. Si la deformación del sistema es mayor que el espacio transversal entre éste y la zona peligrosa, entonces el sistema no protege realmente al usuario del peligro (ver Figura 8).

El **ancho de trabajo (W)** es la distancia entre la cara más próxima al tráfico antes del impacto, y la posición lateral más alejada que durante el impacto alcanza cualquier parte esencial del sistema o vehículo.

La **deflexión dinámica (D)** es el máximo desplazamiento dinámico lateral de la cara del sistema más próxima al tráfico.

La deflexión dinámica y el ancho de trabajo permiten fijar la ubicación de la barrera de seguridad con respecto al obstáculo o zona peligrosa.

El **ángulo de salida** es un parámetro utilizado para medir la capacidad de la barrera de seguridad para otorgar al vehículo que la impacta una dirección de salida lo más paralela posible al eje de la calzada.

Una deformación horizontal excesiva del sistema puede producir un “embolsamiento”, lo que genera un ángulo de salida mayor al de entrada, como consecuencia el vehículo puede impactar otros vehículos que circulan por la misma vía o incluso puede volver a impactar la barrera del lado opuesto.

2.2.2. Relacionadas al Riesgo potencial de accidentes de tránsito.

El riesgo de sufrir un choque en la mayor parte de los trayectos considerados individualmente es bastante bajo, pero las personas se trasladan muchas veces por día por semana, por año y la suma de estos pequeños riesgos resulta cuantiosa.

El termino ACCIDENTE puede dar la impresión, probablemente no intencionada, de que son INEVITABLES e IMPREDECIBLES, es decir sucesos imposibles de controlar en su lugar por ello es importante emplear el termino COLISION (CHOQUE) SINIESTRO, denotando un suceso o serie de sucesos que cabe someter a un análisis racional y la aplicación de medidas CORRECTIVAS.

El riesgo se define como la probabilidad de sufrir un accidente por cada Km. Recorrido; éste se puede evaluar, entre otras consideraciones metodológicas, a través de la siguiente expresión:

$$\text{RIESGO} = \frac{\text{EVENTO}}{\text{NIVEL DE EXPOSICIÓN}}$$

En donde:

RIESGO [evento/unidad de transporte] (p ej. Accidentes/vehículos, muertos/peatones)

EVENTO [evento/periodo] (p ej. Accidentes/año, muertos/año)

NIVEL DE EXPOSICIÓN [unidad de transporte/periodo] (p ej. Vehículos/año, peatones/año)

Este modelo se puede estimar el número de accidentes para cada modo de transporte, si se quieren hacer comparaciones entre modos es importante considerar la velocidad media del modo de transporte y para ello se utilizan variables ponderadas, es decir, se tiene en cuenta las horas dedicadas al transporte.

➤ **ACCIDENTES POR SALIDA DE VÍA:**

Los accidentes por salida de la vía comprenden aquellos sucesos eventuales en que un vehículo errante sale de la calzada y colisiona con un objeto fijo, invade otra vía o desciende por un talud empinado y se vuelca.

Un accidente por salida de la vía puede ocurrir al margen derecho o izquierdo de la calzada. Si el vehículo sale de su carril de circulación por el margen izquierdo, puede irrumpir en la mediana de la carretera (vías de calzada separada) o puede cruzar los carriles de circulación en sentido contrario y luego salir de la vía (vías de calzada única) o en el peor de los casos se puede producir una colisión frontal.

La salida de la vía se puede producir por causas directas relacionadas con la infraestructura vial, el ambiente, el conductor o el vehículo, por ejemplo:

a. Infraestructura.

- Demarcación horizontal y señalización deficientes.
- Mala condición de la estructura de pavimento.
- Falta de iluminación.

b. Conductor.

- Maniobras inseguras.
- Uso de drogas.
- Conducción temeraria (exceso de velocidad).

- Despiste, confusión, duda o cansancio en el conductor.

c. Vehículo.

Fallas mecánicas del vehículo.

d. Ambiente.

- Falta de visibilidad debido a la lluvia o neblina
- Interferencia de un objeto, usuario o tercero vulnerable.

Un accidente por salida de la vía también se puede producir de forma indirecta, como un efecto secundario de otro evento, por ejemplo, un vehículo podría salir de la vía luego de colisionar a otro vehículo por detrás.

Generalmente, los accidentes por salida de la vía involucran solamente un vehículo, sin embargo, si otro vehículo en movimiento o estacionado se ve implicado en el incidente, se puede considerar como una colisión múltiple.

➤ **Nivel Exposición al Riesgo (NER).**

El nivel de exposición al riesgo de sufrir un accidente de tránsito en un periodo de tiempo “t” en un tramo específico de la red vial de longitud “l”, con un tráfico definido por valor de IMDA, es una medida que depende de los kilómetros recorridos a lo largo del mismo por el conjunto de usuarios de la vía, y se calcula por cada 100 millones de kilómetros recorridos en el tramo, obteniendo una magnitud que se mide en unidades de vehículos * kilometro (vh*km).

$$N.E.R. = \frac{IMDA * \text{Periodo de tiempo} * \text{Longitud del tramo}}{100 \text{ millones de kilometros recorridos}}$$

$$N.E.R. = \frac{IMDA * t * l}{10^8} \text{ (vh * km)}$$

IMDA en vehículos/día

t en días

l en kilómetros

➤ **Índice de peligrosidad (IP).**

Se define el Índice de Peligrosidad como el cociente entre el número de accidentes con víctimas y el número de kilómetros recorridos en el periodo y tramos con datos de tráfico aforados, expresando este resultado cada 100 millones de kilómetros recorridos por los vehículos. Su expresión matemática es para el caso de un año:

$$I.P. = \frac{\text{Nro. de Accidentes con Víctimas (ACV)}}{\text{Nivel de Exposición al Riesgo}}$$

$$I.P. = \frac{ACV \times 10^8}{IMDA * t * l}$$

ACV: nº accidentes con víctimas

IMDA en vehículos/día

t en días

l en kilómetros

➤ **Índice de mortalidad (IM).**

De igual forma se define el Índice de Mortalidad como el cociente entre el número de víctimas mortales y el número de kilómetros recorrido por los vehículos en el periodo y tramos con datos de tráfico aforados. El resultado se expresa cada 100 millones de kilómetros recorridos por los vehículos. La fórmula a aplicar para su cálculo es, considerando un periodo de un año:

$$I.M. = \frac{\text{Nro. de Víctimas Mortales}}{\text{Nivel de Exposición al Riesgo}}$$

$$I.M. = \frac{\text{Fallecidos} \times 10^8}{IMDA * t * l}$$

Fallecidos: nº víctimas mortales

IMDA en vehículos/día

t en días

l en kilómetros

CAPITULO III

Metodología

3.1. Tipo y Nivel de Investigación

Según se intervino la investigación es *no experimental*, ya que se realizó sin manipular las variables de estudio, observándose el fenómeno tal y como se da en su contexto natural para analizarlo posteriormente, se tiene como objetivo indagar la incidencia y los valores en que se manifiesta una o más variables, describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular.

Su estudio y su tratamiento dependen completamente del investigador, de las decisiones que tome para manejar su experimento. El investigador no tiene control sobre las variables independientes porque ya ocurrieron los hechos o porque son intrínsecamente manipulables.

Según el número de ocasiones que fueron medidas las variables de estudio, la investigación es *transversal* porque se midió en una sola ocasión, teniendo como propósito es describir las variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado; las muestras son independientes.

Estos tipos de estudios son útiles para describir un efecto particular en una población en particular en un momento determinado en el tiempo.

3.2. Ámbito temporal y espacial

La investigación comprende en el periodo de enero - julio 2018 07 meses.

Los datos recopilados en la investigación se obtuvieron en el Circuito de Playas de la Costa Verde para el tramo comprendido entre los distritos de San Miguel y Magdalena, en la ciudad de Lima.

3.3. Variables

3.3.1. Variable Independiente.

X: SISTEMAS DE CONTENCIÓN

Se considera a todo aquel dispositivo instalado en la carretera que proporciona un cierto nivel de contención a un vehículo fuera de control, reduciendo la gravedad de las consecuencias de los accidentes de tránsito.

3.3.2. Variable Dependiente.

Y: RIESGO POTENCIAL DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO

Se define como la probabilidad de sufrir un accidente por cada Km recorrido.

3.4. Población y Muestra

La población objeto de estudio corresponde al total de kilómetros que comprenden la vía rápida del Circuito de playas de la Costa Verde y todos los peligros detectados en ella, abarcando desde el distrito de San Miguel hasta el distrito de Chorrillos.

La muestra tomada para la investigación comprende los peligros potenciales ubicados en el tramo San Miguel – Magdalena.

3.5. Instrumentos de Recolección de Datos

Para la recolección de datos de campo se emplearon instrumentos válidos y confiables de la siguiente manera:

- Guía de observación
- Lista de cotejo
- Escala de observación

Papel y lápiz (formato ver Anexo)

Cámara fotográfica/video

3.6. Procedimiento

A. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN:

Se empleó las siguientes técnicas de investigación:

- **Observación:**

La cual consistió en evaluar científicamente y atentamente el fenómeno hecho o caso, tomar información y registrarla para su posterior análisis siguiendo los siguientes pasos:

1. Recorrer todo el tramo de la vía de la Costa Verde, desde la bajada Escardo (San Miguel) hasta la bajada Marbella (límite distrital Magdalena – San Isidro).
2. Recolección de datos (estado de la vía, elementos de seguridad ya colocados, identificación de obstáculos potencialmente peligrosos, flujo vehicular)
3. Medir anchos y pendientes del terreno en el margen de la carretera.
4. Establecer la zona libre disponible.
5. Calcular la zona libre necesaria para cada sección de la vía.
6. Determinar el nivel de contención requerido de la barrera.
7. Establecer la disposición de la barrera:
 - Ubicación lateral, con respecto al margen de la vía y al obstáculo.
 - Parámetros de comportamiento dinámico, W y D.
8. Establecer las dimensiones de la barrera (razón de esviaje, longitud de la barrera de seguridad).
9. Comparar las barreras de contención instaladas en el sitio y las características de las barreras según los manuales de diseño.

B. TÉCNICAS ESTADÍSTICAS DE ANÁLISIS DE DATOS.

Una vez levantado los datos por medio de la observación, el procesamiento de datos se efectuó mediante el uso de herramientas estadísticas con el apoyo del computador. Se realizó el análisis para cada punto identificado como peligros, resumiendo los resultados para el análisis descriptivo el uso de herramientas de distribución de frecuencias representado en histogramas circulares. Para el análisis inferencial se utilizó la prueba Ji Cuadrado para probar la hipótesis, determinando si el patrón de frecuencia observado se ajusta al patrón de frecuencia esperado y evaluar la relación entre dos variables categóricas.

3.7. Análisis de resultados

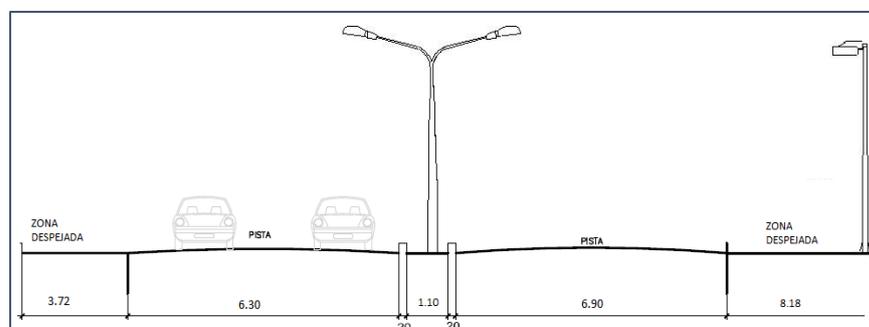
❖ IDENTIFICACIÓN “PUNTO 1”:

➤ Referencia: Bajada Escardo – 1



Fuente: Propia.

- **Situación actual:** Sección transversal



Fuente: Elaboración propia.

- **Descripción de la sección:**

Sección N-S	Mediana	Sección S-N
Zona despejada 3.72 m	Berna 1.50 m	Zona Despejada 8.18 m
Pendiente 1.25%	Sección mostrada en plano	Pendiente 1.25%

Fuente: Elaboración propia.

- **Análisis de la sección transversal típica:**

$V_D = 80 \text{ km/h}$

IMDA = <6000

Según la clasificación de la gravedad de los accidentes por presencia de un inicio de una mediana, se consideraría como **Accidente normal**.

El caso presenta falta de señalización que indique el comienzo de un separador central, acompañado también de una curva pronunciada, la primera de muchas que existen en la Costa Verde.

Si bien esta sección cuenta con las marcas en el pavimento según la norma (demarcación de divergencia y “curva”), se debe tomar en cuenta los obstáculos encontrados que resulta un riesgo potencial. Se recomienda la disposición de **delineadores** para demarcar la divergencia en la vía y el inicio del separador central.

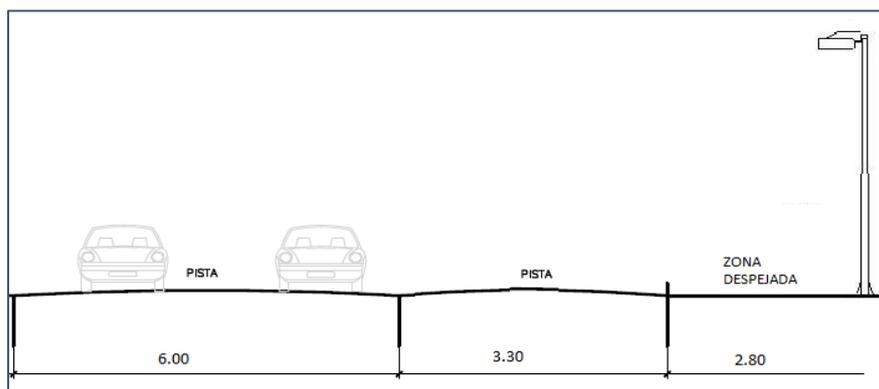
➤ **Referencia: Bajada Escardo – 2**



Fuente: Propia.

Según la clasificación de gravedad de los accidentes por choque contra poste de alumbrado, se consideraría como **Accidente normal**.

- **Descripción de la sección:** Sección transversal



Fuente: Elaboración propia.

En este caso, se observó una zona despejada de 2.30 – 2.80 m al margen derecho, la cual resulta ser insuficiente, ya que no permitiría al conductor retomar el control del vehículo en caso de un despiste, aumentando así el riesgo ante un posible choque contra los obstáculos ubicados al margen de la vía.

Tomando en cuenta la velocidad de diseño, el volumen de tráfico y la geometría del alineamiento, se recomienda el uso de un dispositivo de contención a todo lo largo del tramo, resultando más factible económicamente que reubicar todos los postes de alumbrado de este sector.

- **Nivel de Ancho de Trabajo:**

La zona libre disponible en esta sección de la vía tiene un ancho aproximado de 2.50 m (este espacio pretende cumplir la función de berma), los postes de alumbrado tienen un diámetro de 0.30 m. Teniendo en cuenta la disponibilidad de espacio, se debe considerar un sistema que presente un ancho de trabajo (W) menor al espacio disponible (2 m), se recomienda un sistema con W4 ($W \leq 1.3$ m).

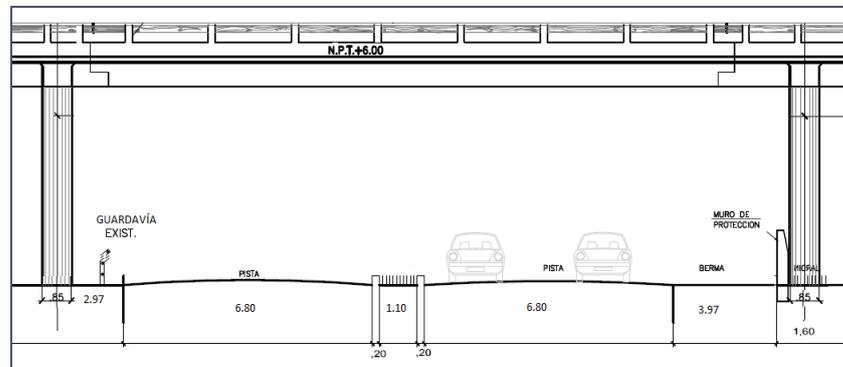
❖ IDENTIFICACIÓN “PUNTO 2”

➤ Referencia: Puente Belén



Fuente: Google Earth.

- Situación actual: Sección transversal



Fuente: Elaboración propia.

- Descripción de la sección:

Sección S-N	Mediana	Sección N-S
Zona despejada 2.92 m, punto duro (pilar de puente)	Mediana sin barrera, no presenta punto duro	Zona Despejada 3.97 m, punto duro (pilar de puente)
Sin pendiente	Sección mostrada en plano	Sin pendiente

Fuente: Elaboración propia.

- Análisis de la sección transversal típica:

$$V_D = 80 \text{ km/h}$$

$$\text{IMDA} = < 6000$$

Según la clasificación de la gravedad de los accidentes por choque con pilares de puente, se consideraría como **Accidente grave**

Por el tipo de vía de la Costa Verde (vía rápida), tipo de tráfico y velocidad de diseño, se considerará un nivel de contención **P3 – Medio alto**

Según la sección transversal del puente, se verifica distintos anchos de zona despejada, por lo que es necesario, hacer el tratamiento por cada elemento rígido presentado:

➤ **SENTIDO N-S:**



Fuente: Propia.

- **Zona despejada:** 5,0 (según Tabla 4)

- **Cálculo de longitud de la barrera:**

L_A : 4.82

L_2 : 3.97

L_R : 58 (según Tabla 23)

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

$$X = \frac{4.82 - 3.97}{\frac{4.82}{58}} = 10.24 \text{ m}$$

$$Y = L_A - \frac{L_A}{L_R} * X$$

$$Y = 4.82 - \frac{4.82}{58} * 10.24 = 3.97 \text{ m}$$

- ***Nivel de Ancho de Trabajo:***

La berma en esta sección de la vía presenta un ancho aproximado de 3.97 m, el pilar lateral del puente proyectado tiene un diámetro de 0.85 m. Teniendo en cuenta la disponibilidad de espacio, se debe considerar un sistema que presente un ancho de trabajo (W) menor al espacio disponible (3.97m), se recomienda un sistema con W6 ($W \leq 2.1$ m).

- ***Elemento de contención actual:***

Se pudo observar que la barrera colocada como elemento de protección, no cumple con los criterios de seguridad que manda la normativa.

Esta barrera pretende trabajar como un amortiguador de impacto, pero al contar con un espacio disponible (>2 m) no se debió optar por un sistema rígido, ya que no presenta un ancho de trabajo, convirtiéndose en un objeto de peligro adicional al margen de la vía.

➤ **SENTIDO S-N:**



Fuente: Propia.

- ***Zona despejada:*** 5,0 (según Tabla 4)

- ***Cálculo de longitud de la barrera:***

L_A : 3.77

L_2 : 2.92

L_R : 58 (según Tabla 23)

- **Cálculo de longitud de la barrera:**

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

$$Y = L_A - \frac{L_A}{L_R} * X$$

$$X = \frac{3.77 - 2.92}{\frac{3.77}{58}} = 13.07 \text{ m}$$

$$Y = 3.77 - \frac{3.77}{58} * 13.07 = 2.92 \text{ m}$$

- **Nivel de Ancho de Trabajo:**

La berma en esta sección de la vía presenta un ancho aproximado de 2.92 m, el pilar lateral del puente proyectado tiene un diámetro de 0.85 m. Teniendo en cuenta la disponibilidad de espacio, se debe considerar un sistema que presente un ancho de trabajo (W) menor al espacio disponible (2.92 m), se recomienda un sistema con W5 (W≤1.7m).

- **Terminales:**

De acuerdo a las condiciones del terreno se recomienda emplear terminales empotrado en talud de corte, ya que no provocan el enganchamiento o vuelco del vehículo hacia la barrera.

La barrera colocada en esta sección, todavía cuenta con terminales bruscos, llamados “cola de pez”, lo cual el riesgo de un enganchamiento es elevado.

❖ **IDENTIFICACIÓN “PUNTO 3”**

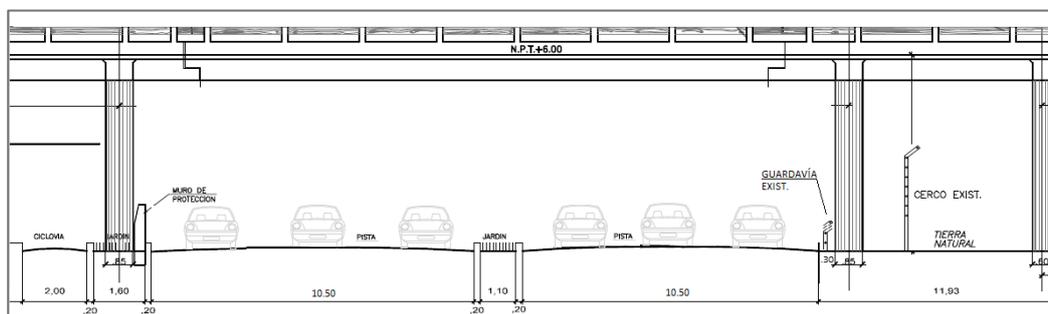
- **Referencia: Puente acceso av. Bertolotto**



Fuente: Google Earth.

- **Situación actual:**

Sección transversal



Fuente: Elaboración propia.

- **Descripción de la sección:**

Sección S-N	Mediana	Sección N-S
Zona despejada (no cuenta), punto duro (pilar de puente)	Mediana sin barrera, no presenta punto duro	Zona Despejada (no cuenta), punto duro (pilar de puente)
Sin pendiente	Sección mostrada en plano	Sin pendiente

Fuente: Elaboración propia.

- **Análisis de la sección transversal típica:**

$V_D = 80 \text{ km/h}$

IMDA= <6000

Según la clasificación de la gravedad de los accidentes por choque con pilares de puente, se consideraría como **Accidente grave**

Por lo tanto, por el tipo de vía de la Costa Verde (vía rápida), tipo de tráfico y velocidad de diseño, se considerará un nivel de contención **P3 – Medio alto**

Según la sección transversal del puente, se verifica distintos anchos de zona despejada, por lo que es necesario, hacer el tratamiento por cada elemento rígido presentado:

➤ **SENTIDO N-S:**



Fuente: Propia.

- **Zona despejada:** 5,0 (según Tabla 4)
- **Cálculo de longitud de la barrera:**

$$L_A: 4.23$$

$$L_2: 2.80$$

$$L_R: 58 \text{ (según Tabla 23)}$$

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

$$Y = L_A - \frac{L_A}{L_R} * X$$

$$X = \frac{4.23 - 2.80}{\frac{4.23}{58}} = 19.59 \text{ m}$$

$$Y = 4.23 - \frac{4.23}{58} * 19.59 = 2.80 \text{ m}$$

- **Nivel de Ancho de Trabajo:**

El obstáculo al encontrarse muy próximo a la vía, se empleó un atenuador de impacto con el fin de contener la energía de un posible choque. Al ser una barrera rígida, considera un ancho de trabajo igual a 1.2 m, por lo que su deflexión dinámica llega a ser igual a cero

- **Terminales:**

Para este caso se empleó una barrera rígida con terminal abatido, lo cual no es recomendable en vías de alta velocidad ya que puede provocar que el vehículo vuele y pase por encima de la barrera como si éste fuese una rampa.

➤ **SENTIDO S-N:**



Fuente: Propia.

- **Zona despejada:** 5,0 (según Tabla 4)

- **Cálculo de longitud de la barrera:**

L_A : 1.15

L_1 : 8 (para obstáculos que sobresalen del terreno)

L_2 : 0.30

L_R : 58 (según Tabla 23)

b/a: 1/21

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

$$Y = L_A - \frac{L_A}{L_R} * X$$

$$X = \frac{1.15 + \frac{1}{21} * 8 - 0.30}{\frac{1}{21} + \frac{1.15}{58}} = 18.37 \text{ m}$$

$$Y = 1.15 - \frac{1.15}{58} * 18.37 = 0.79 \text{ m}$$

- **Nivel de Ancho de Trabajo:**

La berma en esta sección de la vía presenta un ancho aproximado de 0.80 m, el pilar lateral del puente proyectado tiene un diámetro de 0.85 m. Teniendo en cuenta la disponibilidad de espacio, se debe considerar un sistema que presente un ancho de trabajo (W) menor al espacio disponible (0.80 m). Asimismo, para este caso se consideró otorgar una razón de esviaje para alejar el terminal de la barrera, ya que el obstáculo detectado se encuentra al borde la vía.

- **Terminales:**

De acuerdo a las condiciones del terreno se recomienda emplear terminales empotrado en talud de corte, ya que no provocan el enganchamiento o vuelco del vehículo hacia la barrea. La barrera colocada en esta sección, todavía cuenta con terminales bruscos, llamados “cola de pez”, lo cual el riesgo de un enganchamiento es elevado.

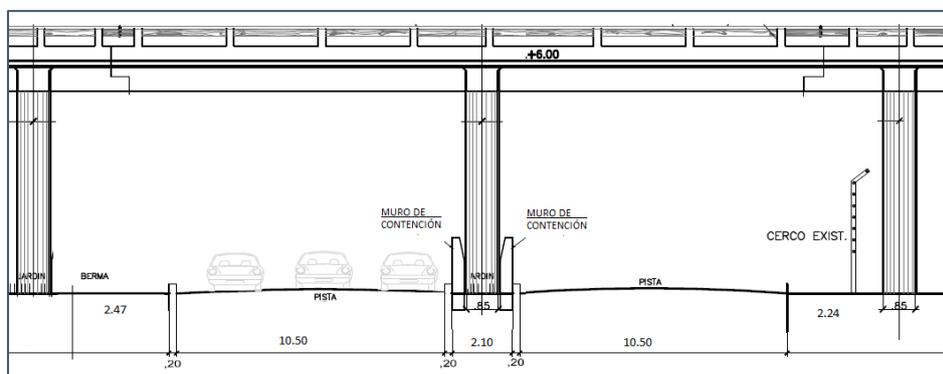
❖ **IDENTIFICACIÓN: PUNTO 4**

- **Referencia: Bajada Sucre**



Fuente: Google Earth.

- **Situación actual: Sección transversal**



Fuente: Elaboración propia.

- **Descripción de la sección:**

Sección N-S	Mediana	Sección S-N
Zona despejada (área de jardín) 2.47 m	Mediana 2.50 m con barrera rígida, presenta punto duro (pilar de puente)	Zona Despejada 2.24 m, punto duro (pilar de puente)

Fuente: Elaboración propia.

- **Análisis de la sección transversal típica:**

$V_D = 80 \text{ km/h}$

$IMDA = < 6000$

Para este caso presentado, se ha identificado dos puntos de peligros presuntamente potenciales: Pilar central del puente peatonal y soporte metálico de señal informativa con base de concreto a 22 m aprox. de pilar lateral derecho del puente.

Según la clasificación de la gravedad de los accidentes por choque con pilares de puente, se consideraría como **Accidente grave** y para accidentes por choque con soporte de señal, **Accidente normal**.

Por lo tanto, por el tipo de vía de la Costa Verde (vía rápida), tipo de tráfico y velocidad de diseño, se considerará un nivel de contención **P3 – Medio alto**

➤ **SECCIÓN DE LA MEDIANA:**



Fuente: Propia.

Los criterios de selección de un sistema de contención en medianas, van de acuerdo al ancho de la mediana (2.50 m) y el tipo de tráfico, pero al presentarse un objeto fijo potencialmente peligroso del cual no puede ser removido, es necesario la disposición de **atenuadores de impacto**.

- **Nivel de contención:**

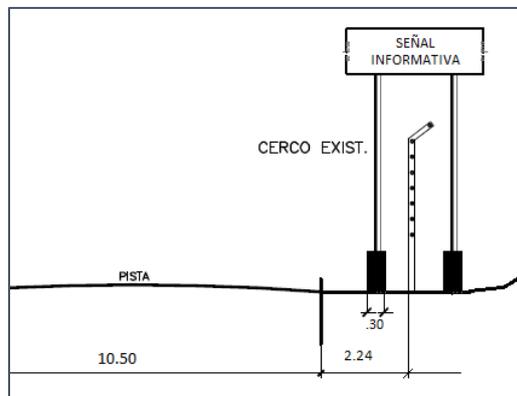
Para la determinación del nivel de contención del atenuador de impacto, se tomó en cuenta la velocidad de diseño de la vía (80 km/h), y según Tabla 27, se considera un nivel de contención tipo 2 (NC-2) **redireccionable no traspasable**.

➤ **SECCIÓN DEL SOPORTE DE SEÑAL:**



Fuente: Propia.

- **Sección del soporte de señal:**



Fuente: Elaboración propia.

El soporte metálico con base de concreto del panel informativo se encuentra dentro de la zona despejada (2.24 m) y a 0.90 m del margen de la vía. Por la naturaleza del elemento, como primera opción se sugiere el retiro del objeto, sin embargo, por razones funcionales, al ser una señal de tránsito y encontrarse próximo a un puente peatonal, se recomienda colocar barreras semi rígidas. Por tal motivo, se analizarán en esta sección de la vía:

- **Zona despejada:** 5,0 (según Tabla 4)

- **Cálculo de longitud de la barrera:**

L_A : 2.24

L_A : 0.50

L_1 : 8 (para obstáculos que sobresalen del terreno)

L_2 : 0.30

L_R : 58 (según Tabla 23)

b/a: 1/21

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

$$Y = L_A - \frac{L_A}{L_R} * X$$

$$X = \frac{2.24 + \frac{1}{11} * 8 - 0.50}{\frac{1}{11} + \frac{2.24}{58}} = 18.97 \text{ m}$$

$$Y = 2.24 - \frac{2.24}{58} * 18.97 = 1.51 \text{ m}$$

- **Nivel de Ancho de Trabajo:**

La berma en esta sección de la vía presenta un ancho aproximado de 2.24 m, el soporte de señal tiene un ancho de 0.40 m. Teniendo en cuenta la disponibilidad de espacio, se debe considerar un sistema que presente un ancho de trabajo (W) menor al espacio disponible, se recomienda un sistema con W2 ($W \leq 0.80$).

- **Terminales:**

De acuerdo a las condiciones del terreno no es factible emplear terminales esviados y empotrado en talud de corte, asimismo los terminales abatidos y esviados no proveen la protección adecuada, debido a que el diseño de la vía supera los 70 km/h. se recomienda el uso de terminales atenuadores de impacto. Sin embargo, su instalación es poco común, por razones de índole económica.

❖ IDENTIFICACIÓN “PUNTO 5”

- Referencia: Salida “Bajada Marbella”



Fuente: Google Earth.

- Situación actual:

Según la clasificación de la gravedad de los accidentes por emplazamiento de narices en salida asociada a una bifurcación, se consideraría como **Accidente normal**.

Los criterios de selección de un sistema de contención en bifurcaciones o rampas de salida, van de acuerdo al área plana y libre de obstáculos que disponga, por lo menos 60 m. Para el caso presentado, sólo se cuenta con un área de 30 m aprox., se observó también el uso de barreras de seguridad con el terminal adecuado para el tipo de bifurcación.

Sin embargo, se observó postes de servicio al margen derecho de la vía con la ausencia de una zona segura, lo cual aumenta el riesgo de choque contra el obstáculo.

La misma situación se presenta para la salida “bajada Sucre”.

CAPITULO IV

Resultados de la Investigación

4.1. Interpretación de resultados.

Se resumen en la siguiente tabla las zonas con posibles peligros potenciales de riesgo de accidente y los elementos que se encuentran en ella, determinando los niveles de riesgo a lo largo del tramo estudiado:

Tabla 29: Resumen de peligros identificados y su nivel de riesgo

IDENTIFICACIÓN DE ZONAS	ELEMENTOS POTENCIALES DE RIESGO					RIESGO DE ACCIDENTE
	1I	2I	CM	2D	1D	
PUNTO 1: Bajada Escardo	Poste de servicio		Poste de servicio			Normal
			Ciclovía			Grave para terceros
PUNTO 2: Puente Belén	Pilar de puente					Grave
					Pilar de puente	Grave
PUNTO 3: Puente Bertolotto	Pilar de puente					Grave
					Pilar de puente	Grave
PUNTO 4: Puente bajada Sucre			Pilar de puente			Grave
					Soporte de señal	Normal
			Ciclovía			Grave para terceros
			Paso a desnivel			Muy grave
	"nariz" rampa de salida					Normal
PUNTO 5: Salida Bajada Marbella			Paso a desnivel			Muy grave
	"nariz" rampa de salida					Normal

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

1I: Primer carril izquierdo

1D: Primer carril derecho

2I: Segundo carril izquierdo

2D: Segundo carril derecho

CM: Mediana

- Posterior al análisis a través de la medición en campo, los niveles de contención, índice de severidad, la anchura del trabajo (W), y si cuenta con dispositivo de contención. Se presenta a continuación:

Tabla 30: Resumen de peligros identificados, su nivel de riesgo, contención, ancho de trabajo

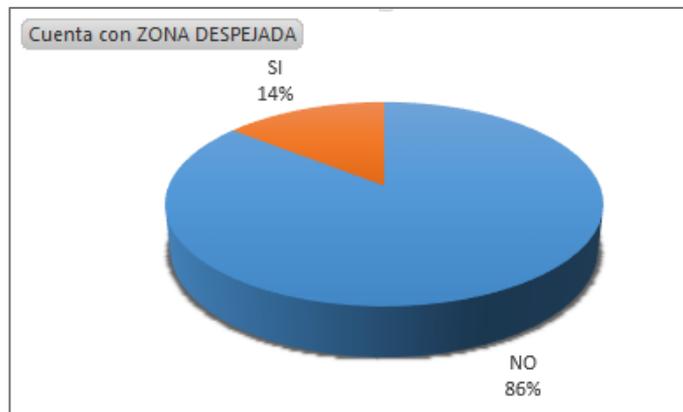
IDENTIFICACIÓN DE ZONAS	ELEMENTOS POTENCIALES DE RIESGO					RIESGO DE ACCIDENTE	NIVEL DE CONTENCIÓN	INDICE DE SEVERIDAD	ANCHO DE TRABAJO (W)	CUENTA CON ZLN	CUENTA CON SCV	TIPO SCV EMPLEADO
	1I	2I	CM	2D	1D							
PUNTO 1: Bajada Escardo	Poste de servicio					Normal	P2 - Medio alto	TB 32 + TB 11		NO	NO	X
			Poste de servicio			Normal	P3 - Medio alto	TB 32 + TB 11		NO	NO	X
			ciclovía			Grave para terceros	P5 - Muy alto	TB 11		NO	NO	X
PUNTO 2: Puente Belen	Pilar de puente					Grave	P3 - Medio alto	TB 11	2.92	NO	SI	Barrera semi-rígida
					Pilar de puente	Grave	P3 - Medio alto	TB 11	3.97	SI	SI	Barrera rígida
PUNTO 3: Puente Bertolotto	Pilar de puente					Grave	P3 - Medio alto	TB 11	2.0	NO	SI	Amortiguador de impacto
					Pilar de puente	Grave	P3 - Medio alto	TB 11	0.8	NO	SI	Barrera semi-rígida
PUNTO 4: Puente bajada Sucre			Pilar de puente			Grave	P3 - Medio alto	TB 11	2.5	NO	SI	Amortiguador de impacto
					Soporte de señal	Normal	P3 - Medio alto P2 - Medio	TB 32 + TB 11	1.36	SI	NO	X
			ciclovía			Grave para terceros	P5 - Muy alto	TB 11		NO	NO	X
			Paso a desnivel			Muy grave	P4 - Alto	TB 11		N/A	SI	Pretel de puente
	"nariz" rampa de salida					Normal	P3 - Medio alto P2 - Medio	TB 32 + TB 11		NO	SI	Barrera semi-rígida
PUNTO 5: Salida Bajada Marbella			Paso a desnivel			Muy grave	P4 - Alto	TB 11		N/A	SI	Pretel de puente
	"nariz" rampa de salida					Normal	P3 - Medio alto P2 - Medio	TB 32 + TB 11		NO	SI	Barrera semi-rígida

Fuente: Elaboración propia.

- ¿Cuántos de los puntos identificados como peligros cuentan con una Zona de seguridad para disminuir el riesgo de sufrir algún accidente por salida de vía?

Etiquetas de fila	Cuenta con ZONA DESPEJADA	%
NO	12	85.71
SI	2	14.29
Total general	14	100

Figura 23: Puntos que cuentan con zona despejada



Fuente: Elaboración propia.

Del cuadro, se obtuvo que el 85.71% de los puntos identificados como peligrosos NO cuentan con una zona despejada que permita al conductor realizar maniobras o detener su vehículo en una zona segura, mientras que sólo el 14.29% SI cuentan.

- De los puntos identificados como peligrosos, ¿cuántos cuentan con un Sistema de contención vehicular para disminuir el riesgo de fatalidad por accidentes de tránsito por salida de vía?

ZONA DESPEJADA	Cuenta con SISTEMA CONTENCIÓN VEHICULAR	%
SI	5	35.71
NO	9	64.29
Total general	14	100.00

Figura 24: Puntos que cuentan con un SCV



Fuente: Elaboración propia.

Del cuadro, los puntos identificados como peligrosos que NO cuentan con una zona despejada, el 64.29 % cuentan con un dispositivo de contención, mientras que el 35.71% a pesar de contar con una zona despejada, también emplea un dispositivo de contención.

4.2. Prueba de Hipótesis

La hipótesis se someterá a prueba mediante la aplicación de un diseño de investigación, recolectando datos a través de los instrumentos de medición mencionados en el punto 3.5 y analizando e interpretando dichos datos, obtenidos por medio de la observación.

Para probar la hipótesis se siguieron los siguientes pasos:

- Paso 1: Planteamiento de Hipótesis

Ho: Hipótesis Nula - H1: Hipótesis Alternativa

Hipótesis Nula: Una afirmación o enunciado tentativo que se realiza acerca del valor de un parámetro poblacional. Por lo común en una afirmación de que el parámetro de población tiene valor específico.

Hipótesis Alternativa: Una afirmación o enunciado que se aceptara si los datos muestrales proporcionan amplia evidencia de que la hipótesis nula es falsa

- Paso 2.- Niveles de Significación.

El riesgo que se asume acerca de rechazar la hipótesis nula cuando en realidad debe asemejarse por ser verdadera. El nivel de significación se denota mediante la letra griega sigma.

No hay un nivel de significación que se aplique a todos los estudios que implican muestreo. Deben tomarse una decisión de usar el nivel 0.05, el nivel 0.01, el 0.10 o cualquier otro nivel entre 0 y 1

Error Tipo 1.- La probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera.

Error Tipo 2.- La probabilidad de aceptar la hipótesis nula cuando en realidad es falsa.

- Paso 3.- Estadístico de Prueba

Un valor determinado a partir de la información muestral, que se utiliza para aceptar o rechazar la hipótesis nula.

- **Paso 4.- Regla de Decisión**

Es una regla simple la cual es una afirmación de las condiciones bajo las que se acepta la hipótesis nula.

- **Paso 5.- Toma de Decisión**

Es la toma de decisión si se debe aceptar o rechazar la hipótesis nula.

Hipótesis

H₀: La instalación de un Sistema de Contención Vehicular **no está** relacionadas con el riesgo potencial de accidentes de tránsito por salida de vía en el circuito de playas de la Costa Verde.

H₁: La instalación de un Sistema de Contención Vehicular **si están** relacionadas con el riesgo potencial de accidentes de tránsito por salida de vía en el circuito de playas de la Costa Verde.

Los datos han sido distribuidos en una tabla de contingencia. Usando el estadístico Ji cuadrado para probar la asociación entre dos variables, se ha considerado un nivel de significancia $\alpha=0.005$ y 3 grados de libertad cuyo valor tabular es de $X^2_{(0.05,3)} = 7.815$ que luego será comparado con un ji cuadrado experimental para la aceptación o rechazo de la hipótesis nula.

La prueba ji cuadrado requiere la comparación del $X^2_{\text{calculado}}$ con el X^2_{tabular} . Si el valor estadístico experimental es menor que el valor tabular, la hipótesis nula es aceptada, caso contrario, H₀ es rechazada.

Tabla 31: Prueba de hipótesis ji cuadrado

SISTEMAS DE CONTENCIÓN VEHICULAR	RIESGO POTENCIAL DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO				TOTAL
	Normal	Grave	Grave para terceros	Muy grave	
Con SCV	2	5	0	2	9
Sin SCV	3	0	2	0	5
TOTAL	5	5	2	2	14

Fuente: Elaboración propia

$$x^2 = \sum \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} = 8.7733$$

Ji cuadrado calculado > ji cuadrado tabular

$$8.773 > 7.815$$

El valor que alcanza ji cuadrado calculado es superior al valor tabular lo que permite que la hipótesis nula sea rechazada a un nivel de significancia de 5% y se concluye que la instalación de un sistema de contención vehicular si están relacionadas con el riesgo potencial de accidentes de tránsito por salda de vía en el circuito de playas de la Costa Verde, Tramo: San Miguel Magdalena.

CAPITULO V

Discusión de resultados

Por medio del análisis de cada uno de cada uno de los puntos identificados como peligros potenciales, se obtuvo los siguientes resultados:

- El 86% de las áreas que comprenden un peligro potencial, no cuentan con una zona despejada adecuada que permita al conductor realizar una maniobra segura para retomar el control del vehículo en caso de un despiste, procurando así el choque contra algún obstáculo ubicado al margen de la vía.
- Para los peligros potenciales, Puntos 2, 3, 4 y 5 cuentan con un sistema de contención por medidas de seguridad de acuerdo a normativa. Sin embargo, al no contar con una zona despejada apropiada, no se llega a los niveles de eficacia requeridos para disminuir la gravedad de un posible accidente, ya que su instalación no cumple con los criterios técnicos que especifican los manuales de seguridad vial. Estos casos representan el 64% de la muestra extraída.

Ello llega a ser un punto crítico, ya que, al no cumplirse las distancias mínimas requeridas, un sistema de contención, en vez de ser un elemento de protección, éste puede llegar a convertirse un obstáculo más al margen de la vía, no cumpliendo el propósito para su instalación, como se pudo observar en los puntos 2 y 3.

- Las dimensiones de la barrera de seguridad colocadas para los puntos 2 y 3 resultaron ser insuficientes para cubrir las posible trayectoria de salida del vehículo fuera de control; se suma a ello el empleo de terminal de barrera tipo atenuador de impacto sólo para un extremo de la barrera (sentido contrario al tráfico), el otro extremo todavía se emplea el famoso tipo “cola de pez”, lo cual no debe ser admisible.
- Para los puntos 1 y 2 (casos específicos que no cuentan con un sistema de contención), al no resultar económicamente factible la reubicación de los obstáculos y/o retiro de todos los peligros potenciales, no se consideró elementos o dispositivos de seguridad adecuados (como señalización horizontal y vertical), o la falta de mantenimiento de estas.
- Para los puntos 4 y 5 (casos específicos de bifurcaciones), se observó barreras de seguridad con terminales tipo atenuador de impacto apropiado para el caso. Sin embargo, se verificó la

inadecuada colocación de señalización preventiva, que aumentan las condiciones de riesgo. Por otro lado, el margen derecho de la vía no proporciona la seguridad debida, ya que cuenta con perfiles de corte de talud sin el tratamiento adecuado sumado a ello los postes de alumbrado ubicados muy margen de la calzada.

En contrastación de la Hipótesis:

Nivel de significación: Para todo valor de probabilidad igual o menor que 0.05, se acepta H_a y se rechaza H_0 .

Zona de rechazo: Para todo valor de probabilidad mayor que 0.05, se acepta H_0 y se rechaza H_a .

El valor que alcanza el estadístico ji cuadrada experimental es superior al valor tabular lo que permite que la hipótesis nula sea rechazada a un nivel de significación de 5% y se concluye que la instalación de un sistema de contención vehicular si están relacionadas con el riesgo potencial de accidentes de tránsito por salida de vía en el circuito de playas de la Costa Verde para el tramo: San Miguel – Magdalena.

Al determinar la relación entre la instalación de un sistema de contención vehicular y el riesgo potencial de accidentes de tránsito, se determina también el nivel de importancia y significancia de una evaluación preliminar de seguridad de los peligros potenciales asociado a los accidentes de tránsito por salida de vía, tomando en cuenta las condiciones de espacio y geometría de diseño, valorando la posibilidad de modificar el obstáculo de tal forma que se reduzcan las condiciones de riesgo y tomando como último recurso la colocación de un dispositivo de contención para disminuir la gravedad tras sufrir un accidente de tránsito.

CONCLUSIONES

- Los sistemas de contención se relacionan con el riesgo potencial de accidentes de tránsito; a través de la correcta evaluación de los peligros potenciales, acompañado de dispositivos de seguridad, disminuye el riesgo de sufrir accidentes, y por otro lado mediante la instalación de sistemas de contención se disminuyen el riesgo de fatalidad de accidentes de tránsito por salida de vía.
- El circuito de playas de la costa verde, al no contar con una zona despejada que permita al conductor reconducir o detener su vehículo de manera segura, hace que sea imprescindible la necesidad de utilizar un sistema de contención, sin embargo, la práctica internacional del diseño de márgenes de carretera indica que antes de considerar la colocación de un sistema de contención, se debe hacer una valoración de la posibilidad de modificar el obstáculo de tal forma que se reduzcan sus condiciones de riesgo.
- La instalación de un sistema de contención es el último recurso a tomar como medida para mitigar algún peligro detectado ya que, al no ser evaluado correctamente, el elemento colocado puede convertirse en un obstáculo adicional al margen de la vía, aumentando en gran medida en nivel de gravedad ante un posible accidente.
- A la actualidad no se define el propósito o la funcionalidad de la vía de la costa verde, se prioriza la movilidad automotriz, consecuencia de los problemas en gestión del tráfico, mas no la movilidad de las personas, circulando en condiciones mínimas de seguridad, poniendo en riesgo la vida no sólo de conductores sino de terceros que pueden verse afectados por un accidente.

RECOMENDACIONES

- Analizar los márgenes de la vía ayudaría a detectar los riesgos potenciales previo al inicio del proyecto para determinar la factibilidad de eliminarlos o mitigarlos por medio de su reubicación o modificación, o en último caso definir el diseño apropiado del sistema de contención a instalar.
- Definir cuál es la funcionalidad que queremos darle a la Costa Verde, una vía rápida de paso o una vía de acceso para las zonas recreacionales aledañas al mar, es importante tener una idea clara de que se desea, ya que este es el punto de partida para una correcta evaluación de seguridad vial.
- El uso de una zona despejada es básico para la prevención de accidentes por carretera, si bien en la actualidad la Costa Verde no cuenta con el espacio suficiente para agregar este espacio de seguridad al margen de la vía, se debe considerar la mejora de gestión del tráfico en las avenidas aledañas al circuito de playas, para que así los usuarios no tengan la necesidad de ‘ganar tiempo’ circulando por esta vía. De este modo, se podría plantear la reducción a 2 carriles y darle una zona despajada requerida por normativa.
- Incidir más en temas de auditoría e inspecciones de seguridad vial, durante la operación y mantenimiento de la vía ya que, ante la ocurrencia de un accidente fatal, recién nos preocupamos en tomar medidas de prevención. Con la reciente publicación del primer manual de seguridad vial en el Perú, es de exigencia propia del Estado el cumplimiento de las normas y evaluaciones de seguridad vial, tomando como referencia también las prácticas internacionales en el tema de seguridad vial y normas existentes.
- Realizar inspecciones y mejora en el control de fabricación e instalación de los dispositivos de contención; el empleo de barreras de seguridad certificadas es de suma importancia, ya que esto evitaría que la estructura, principalmente de las barreras metálicas, en el momento de su deformación dañen a los ocupantes del vehículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asociación Cruzada Vial y Movimiento Costa Verde de Todos (2016). *Informe: análisis de la actual vía de la Costa Verde (Obra: Mejoramiento Vial del Circuito de Playas de la Costa Verde, Lima)*
- Cobeñas P. (2012). *Sistemas de Contención Vehicular*. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/1751/COBENAS_PABLO_CONTENCION_VEHICULAR.pdf;jsessionid=8C7A75D48F74DACC1466A45D3FB4C699?sequence=1
- Fairlie D. (2015). Costa Verde – ¿vía rápida?. Recuperado de <https://dafairlie.wordpress.com/2015/08/22/costa-verde-via-rapida/>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008). *Directiva N° 007-2008-MTC/02 Sistemas de Contención Vehicular Tipo Barreras de Seguridad*. Recuperado de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/directivas/10_1727_.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018). *Manual de carreteras: Diseño geométrico (DG-2018)*. Lima, Perú. Recuperado de http://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual.de.Carreteras.DG-2018.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2017). *Manual de Seguridad Vial*. Lima, Perú. Recuperado de http://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual_de_Seguridad_Vial_2017.pdf
- Torres D. y Aranda F. (2015). *Inspecciones de Seguridad Vial*. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Pontificia universidad Católica del Perú. Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/6367>
- Unidad de Seguridad Vial y Transporte (2013). *Informe evaluación de sistemas de contención del proyecto “Mejoramiento de la Ruta Nacional N°21. Secciones: Quebrada San Pedro – Quebrada Tronconal y Jicara – Lepanto*. San José, Costa Rica. Recuperado de <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/banco-de-informacion-digital-on-line/07-02-13/2013/LM-PI-USVT-002-13.pdf>
- Valverde G. (2011). *Guía para el análisis y diseño de la seguridad vial de márgenes de carretera*. Universidad de Costa Rica, Costa Rica. Recuperado de <https://www.csv.go.cr/documents/10179/10903/Manual+SCV+%28Gu%C3%ADa+para+el+an%C3%A1lisis+y+dise%C3%B1o+de+seguridad+vial.pdf/a34408fd-8e14-4968-9b11-e388f1b5bbf6>

ANEXOS

– GUÍA DE OBSERVACIÓN:

GRAVEDAD DEL ACCIDENTE	CONDICIONES	NIVEL DE CONTENCIÓN
Muy grave	<ul style="list-style-type: none"> • Caídas por precipicios. • Caídas desde la plataforma de un puente u otra estructura similar. • Colisiones con estructuras a nivel inferior, donde se preste un servicio o se almacenen mercancías peligrosas. • Nudos e intersecciones complejas. 	P4 - Alto
Accidente grave para terceros	<ul style="list-style-type: none"> • Invasión de otras vías paralelas (líneas férreas, carreteras, ciclovías). • Irrupción en zonas donde se localizan terceros vulnerables (parques recreativos por ejemplo). • Choque con elementos que puedan producir la caída de objetos de gran masa sobre la plataforma de la vía o puente. 	P5 - Muy alto
Accidente Grave	<p>Caídas en masas de agua. Choque con pilares de puentes o entradas a túneles. Colisiones con laderas rocosas.</p>	P3 - Medio alto
Accidente Normal	<ul style="list-style-type: none"> • Choque con elementos como: <ul style="list-style-type: none"> - 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 antirruído. - Estructuras del sistema de drenaje. - Cunetas o canales de sección no traspasable. - Taludes transversales. • Vuelco (paso por taludes paralelos no traspasables). 	P3 - Medio alto P2 - Medio

FUENTE: Guía de análisis y diseño SCV, Valverde G. (2011)

- LISTA DE COTEJO:

IDENTIFICACIÓN DE ZONAS	ELEMENTOS POTENCIALES DE RIESGO					RIESGO DE ACCIDENTE	NIVEL DE CONTENCIÓN	INDICE DE SEVERIDAD	ANCHO DE TRABAJO (W)	CUENTA CON ZLN	CUENTA CON SCV	TIPO SCV EMPLEADO
	1I	2I	CM	2D	1D							

FUENTE: Propia