

SEGURIDAD VIAL

SEGURIDAD VIAL Manual 2010

MINISTERIO DE
OBRAS PÚBLICAS
Y TRANSPORTE

CONSEJO DE
SEGURIDAD VIAL

2010



Guía para el desarrollo de proyectos de infraestructura desde la óptica de la seguridad vial

Ing. Germán Valverde González, MBA. M.Sc.
Autor

Este manual está dirigido a todos aquellos profesionales responsables de la planificación, diseño, construcción, gestión y administración de las vías, tanto urbanas como rurales.

El documento pretende ser una guía que ayude abordar los problemas de seguridad vial de manera efectiva por medio de la ingeniería, para lo cual presenta una serie de medidas en cada etapa del desarrollo de un proyecto de infraestructura vial.



Contenidos

Parte I

Introducción y antecedentes 7

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1 | Introducción | 7 |
| 2 | El problema | 7 |
| | 2.1 Datos globales | 7 |
| | 2.2 Problemática en Costa Rica | 8 |
| 3. | Conceptos generales sobre seguridad vial | 10 |
| | 3.1 Sistema HAV | 10 |
| | 3.2 Infraestructura y seguridad vial | 11 |
| | 3.2.1 Principio de calidad | 12 |
| | 3.2.2 Principio de consistencia espacial | 13 |
| | 3.2.3 Principio de consistencia temporal | 13 |

Parte II

Etapas de Planificación 15

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1 | Introducción | 15 |
| 2 | Clasificación funcionalidad de las vías | 15 |
| | 2.1 Arterias principales | 16 |
| | 2.2 Distribuidores secundarios (arterias menores) | 17 |
| | 2.3 Distribuidores locales | 18 |
| | 2.4 Vías de acceso (vías locales) | 19 |
| | 2.5 Áreas peatonales | 20 |
| | 2.6 Vías para ciclistas | 21 |
| 3. | Planificación para diferentes usos del suelo | 22 |

| | |
|-----------------------------------|----|
| 3.1 Áreas residenciales | 22 |
| 3.2 Áreas industriales | 23 |
| 3.3 Áreas de comercio | 24 |
| 3.4 Áreas de recreación y turismo | 25 |

Parte III

Etapa de Diseño 27

| | |
|---|----|
| 1 Introducción | 27 |
| 2 Parámetros de diseño geométrico | 27 |
| 2.1 Velocidad de diseño | 27 |
| 2.2 Distancia de visibilidad o visual | 28 |
| 2.3 Distancia visual de frenado | 28 |
| 2.4 Distancia de decisión | 28 |
| 2.5 Distancia de adelantamiento | 28 |
| 2.6 Fricción | 29 |
| 3 Alineamiento horizontal | 30 |
| 3.1 Radio de curvatura | 30 |
| 3.2 Ancho de la vía | 31 |
| 3.3 Espaldones | 31 |
| 4 Alineamiento vertical | 31 |
| 4.1 Pendientes ascendentes | 31 |
| 4.2 Pendientes descendentes | 31 |
| 4.3 Curvas verticales | 31 |
| 4.4 Carriles de ascenso | 32 |
| 5 Combinación curvas horizontales y curvas verticales | 33 |
| 6 Diseño de los márgenes de una carretera | 33 |
| 6.1 Antecedentes | 33 |

6.2 El concepto de carreteras que perdonan 34

Parte IV

Etapa de Construcción 37

1 Introducción 37

2 El proceso constructivo de una carretera 37

2.1 Generalidades 37

2.2 Características fundamentales de las carreteras 37

3 Control de tránsito en sitios de obra 38

3.1 Introducción 38

3.2 Zonas de control temporal del tránsito 39

3.3 Planes de manejo de tránsito 39

3.4 Dispositivos de control temporal del tránsito 40

3.5 Técnicas de control 41

Parte V

Etapa de Operación 43

1 Introducción 43

2 Inspecciones de seguridad vial 43

3 Planes de manejo de accidentes de tránsito 43

Parte I

Introducción y antecedentes

1 Introducción

Este documento presenta las distintas etapas involucradas en el desarrollo de un proyecto de infraestructura vial, y algunos principios de diseño consciente de la seguridad vial, de tal forma que los profesionales involucrados y los encargados de la toma de decisiones dispongan de una herramienta que les oriente sobre cómo hacer más segura para todos los usuarios la red vial nacional.

La guía que se presenta está orientada a la “prevención de accidentes” mediante la incorporación de factores clave relacionados con la seguridad vial durante la planificación, diseño, construcción y operación de carreteras y redes viales.

La elaboración de este documento se basó fundamentalmente en la recopilación libre del conocimiento contenido en diversas fuentes bibliográficas, y su adaptación a las necesidades nacionales y a los alcances de esta guía.

2 El problema

La primera muerte registrada relacionada con un vehículo automotor tuvo lugar en Londres en 1896. Desde entonces los accidentes de tránsito han reclamado más de 30 millones de vidas. Al rededor del mundo las autoridades de todos los países ya están conscientes de la cantidad de personas asesinadas y lesionadas en las carreteras, y de las consecuencias sociales y económicas que este fenómeno genera.

A medida que las enfermedades infecciosas se han

ido controlando paulatinamente, las muertes y lesiones producidas en las carreteras han ido ganado importancia con relación a otras causas de mortalidad y discapacidad. La Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Banco Mundial estimaron que en 1990 los accidentes de tránsito ocupaban el noveno lugar de un total de 100 causas identificadas de muerte y discapacidad (Murray y López, 1996). Para el año 2020, se proyecta que los accidentes de tránsito ocuparán el segundo lugar en términos de “años de vida perdidos”, el tercer lugar en términos de “años de vida ajustados por discapacidad (AVAD’s)¹” y sexto lugar como causa de muerte (**Tabla I-1**).

2.1 Datos globales

Los accidentes de tránsito son un problema económico, social y de salud de grandes magnitudes a nivel mundial. Datos estadísticos de orden internacional presentados por la OMS ponen de manifiesto dicha problemática:

- Cada año muere más de un 1.2 millones de personas a causa de accidentes viales.
- Alrededor del 91% de los accidentes de tránsito que dejan como consecuencia víctimas mortales, ocurren en países de bajos y medianos ingresos, los cuales poseen solamente el 48% de la flota vehicular registrada a nivel mundial.
- Alrededor de los 1000 niños y personas meno-

¹ AVAD’s expresa años de vida perdidos por muerte prematura, así como años vividos con una discapacidad, ajustados por la severidad de la discapacidad.

| 1990 | | | 2020 | |
|-------------------------------|----------|--|----------|-------------------------------|
| Infecciones respiratorias | 1 | | 1 | Corazón isquémico |
| Diarrea | 2 | | 2 | Depresión unipolar mayor |
| Perinatal | 3 | | 3 | Accidentes de tránsito |
| Depresión unipolar mayor | 4 | | 4 | Cerebrovascular |
| Corazón isquémico | 5 | | 5 | Pulmonar |
| Cerebrovascular | 6 | | 6 | Infecciones respiratorias |
| Tuberculosis | 7 | | 7 | Tuberculosis |
| Measles | 8 | | 8 | Guerra |
| Accidentes de tránsito | 9 | | 9 | Diarrea |
| Anomalías congénitas | 10 | | 10 | HIV |

Tabla I-1
Cambios proyectados en las 10 primeras causas de muerte y discapacidad

res a los 25 años mueren en accidentes de tránsito diariamente, siendo esta la principal causa de muerte entre los 10 y 24 años de edad.

- Los conductores jóvenes, pertenecientes al sexo masculino, son los más tendientes a cometer infracciones por exceso de velocidad, concordando esto con un tercio de la totalidad de los accidentes de tránsito en el mundo.
- El uso del cinturón de seguridad en carretera es capaz de reducir el riesgo de muerte en un 61%, a la hora de ocurrencia del siniestro. Así, utilizar equipos de seguridad apropiados para niños dentro del vehículo, como sillas para niños, puede disminuir su mortalidad en un orden del 35%.

De acuerdo con TRRL (1991), la ausencia de chequeos sistemáticos de las implicaciones de la seguridad vial en redes viales nuevas o rehabilitadas, puede estar empeorando la situación y asegura que “existen cada vez más vías inseguras, porque rara vez se incorporan en los procesos de diseño resguardos especiales extras (normal en países desarrollados) para superar ineficiencias operacionales”.

La Unión Europea, conscientes del impacto que representan los accidentes de tránsito, iniciaron una campaña que se materializa en el 2001 con la emisión del Libro Blanco, en el cual se imponen la meta de reducir en un 50% en número de víctimas mortales y en el año 2003 la Comisión Europea se aprueba el Programa de Acción Europeo de Seguridad Vial en el cual compromete a los países miembros de la Unión a elaborar e implementar planes estratégicos de seguridad vial.

Este esfuerzo no se ha limitado a la Unión Europea, en un estudio presentado por la “Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo” (OECD, por sus siglas en inglés) en el Foro Internacional del Transporte (ITF, por sus siglas en inglés) indica que en países en 30 de los 33 países incluidos en el estudio, hubo una disminución de las muertes por accidentes de tránsito.

2.2 Problemática en Costa Rica

La **Figura I-1** muestra la tendencia histórica de la cantidad de muertes en el sitio del accidente de tránsito de Costa Rica, correspondiente al período entre los años 1995 y 2010. En la figura se indican mediante líneas horizontales el valor promedio y las bandas de dispersión correspondientes a una desviación estándar.

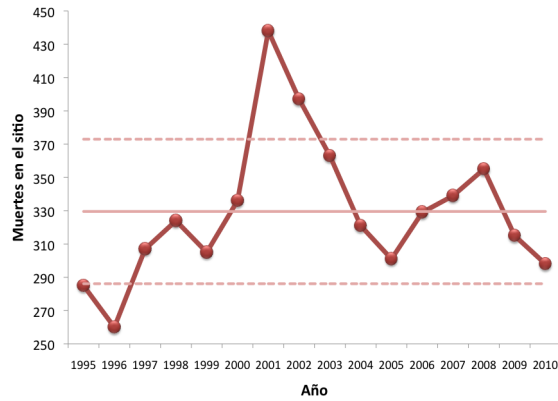


Figura I-1
Muertes en situ por accidentes de tránsito en Costa Rica

En el período 1995-2001 se experimentó una preocupante tendencia creciente, la cual fue revertida durante los siguientes cuatro años. A partir de ahí, los datos han fluctuado alrededor del medio promedio, y a pesar de que en los últimos dos años de la serie de datos se muestra una reducción en la cantidad de muertes en el sitio, es posible que esta reducción se debe simplemente a la naturaleza estocástica de los accidentes de tránsito.

Durante este periodo, del total de muertos en el sitio, el 28,9% corresponde a atropellos, siendo los afectados en este tipo de accidentes los usuarios vulnerables, entendiéndose éstos como peatones y ciclistas. Asimismo un 20,6% de estas situaciones se dio mediante accidentes en los cuales los vehículos se salieron de la vía y un 4,1 mediante vuelcos (**Figura I-2**).

Lo anterior ubica a nuestro país en el comportamiento típico de un país en vías de desarrollo en materia de seguridad vial, en el que el número de víctimas vulnerables (peatones, ciclistas) supera las víctimas que viajan dentro del vehículo.

En todos estos casos una infraestructura con un diseño más adecuado podrían haber reducido las conse-

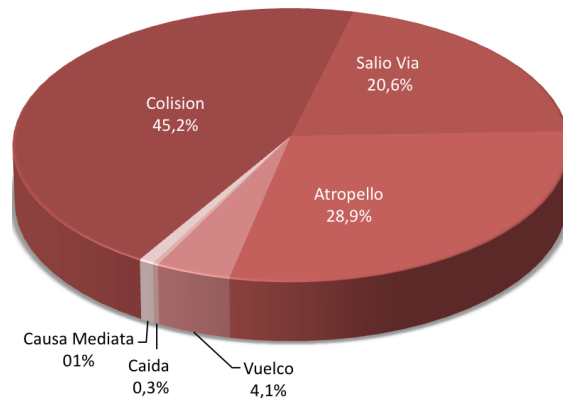


Figura I-2
Muertes en situ según tipo de accidente

Figura I-3

Cerca del 30% de las muertes que ocurren en los choques viales corresponden a accidentes por salida de la vía, en la cual un vehículo colisiona con algún objeto fijo, o cae o se vuelca lado de la carretera.



cuencias de los accidentes y evitado muchas de estas muertes.

Las cifras del COSEVI muestran que la mayor cantidad de vehículos involucrados en accidentes en los que fallecen personas in situ son de tipo sedan, seguidos por las motocicletas, las cuales representan también usuarios vulnerables. Las personas entre los 20 y 25 años de edad son las más expuestas a esta situación.

La iluminación de las vías y señalización nocturna en nuestro país es un aspecto importante a considerar, puesto que la mayor cantidad de muertes in situ ocurren en horas de la noche y la madrugada. Durante la franja horaria de 6 de la tarde a 6 de la mañana, en el lapso entre 2004 y 2007 ocurrieron 716 muertes, mientras que en el transcurso del día, entre las 6 am y las 6 pm la cifra alcanzada fue de 489 fallecidos.

Los accidentes por salida de la vía, es decir, aquellos en los cuales un vehículo abandona su carril de circulación y colisiona o vuelca en el margen de la carretera, cobran cerca del 30% de las muertes por

accidentes de tránsito en el mundo. Las consecuencias que se derivan de este tipo de accidentes pueden reducirse mediante mejores diseños de las vías y con la utilización de sistemas de contención vehicular (Ver **Figura I-3**), de tal forma que se podrían evitar muchas muertes, lesiones graves y grandes pérdidas materiales.

Costa Rica ha tomado en consideración la importancia de la seguridad vial a través de la elaboración de planes. En ese sentido por medio del Plan Nacional de Seguridad Vial implementado entre los años 2000 al 2005, se obtuvieron grandes resultados en materia de seguridad vial, como producto de los esfuerzos en conjunto emprendidos por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, las unidades ejecutoras de proyectos del Consejo de Seguridad Vial, así como por parte de las instituciones gubernamentales y no gubernamentales involucradas en acciones de seguridad vial y la sociedad civil.

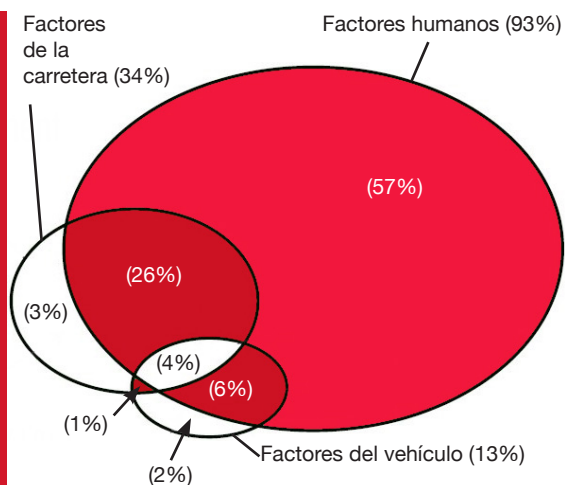
Como complemento a los resultados obtenidos el “Plan Estratégico de Seguridad Vial” 2007-2011 pretende además de preocuparse por la educación vial a temprana edad, contar con criterios accidentológicos certeros, que lleve al país a una toma de decisiones precisas, con el fin de mejorar la eficiencia de los recursos asignados y tener mejores resultados.

El objetivo general del del Plan Estratégico de Seguridad Vial” 2007-2011 es articular esfuerzos del sector público, privado y la sociedad civil, en la ejecución de acciones de protección y seguridad para los usuarios que se movilizan por el sistema de tránsito nacional, de tal forma que se reduzca el número de personas fallecidas por accidentes de tránsito en un 19%, en un período de cinco años”.

Figura I-4

Contribución de los factores a la ocurrencia de accidentes de tránsito

Fuente:
Treat et al., 1979



3. Conceptos generales sobre seguridad vial

3.1 Sistema HAV

La mayoría de los accidentes no pueden atribuirse a una sola causa, sino que son el resultado de una compleja secuencia de acciones e interacciones entre va-

rios componentes del sistema humano-ambiente-vehículo (HAV). La experiencia indica que ejecutando acciones simultáneas en varios de estos componentes puede ser una estrategia muy efectiva para resolver un problema específico. Esto genera un efecto de sinergia que incrementa el beneficio que se obtiene de acciones individuales. Por ejemplo, la combinación de modificaciones a las leyes de circulación, acciones en

| Componente | Antes del accidente | Durante el accidente | Después del accidente |
|------------|--|---|---|
| Humano | <p>Condiciones físicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • fatiga, enfermedad, medicación, alcohol. • discapacidad, visión, audición, etc. <p>Condiciones psicológicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • estrés, inatención, distracción, actitud. <p>Características socio-demográficas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • edad, sexo, ocupación, nivel de educación. <p>Experiencia y destreza:</p> <ul style="list-style-type: none"> • experiencia como conductor, conocimiento del vehículo y de la ruta, conocimiento de la ley de tránsito. <p>Acciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • maniobras antes de colisionar. <p>Autoprotección:</p> <ul style="list-style-type: none"> • uso del cinturón de seguridad, uso de casco. | <p>Condiciones físicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • reflejos. <p>Errores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • pobre imagen mental de la carretera. • pobre evaluación de distancias y velocidades. • maniobras inapropiadas. <p>Acciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • velocidad. • frenado. • posicionamiento. • advertencia. | <p>Condiciones físicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • resistencia al impacto. <p>Condiciones psicológicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • shock emocional. <p>Experiencia y destreza:</p> <ul style="list-style-type: none"> • primeros auxilios. • protección de la escena del accidente • capacidad de sobreponerse a la alarma. <p>Acciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • maniobras después de la colisión. |
| Vehículo | <p>Factores físicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • tipo y marca, color, potencia, condición mecánica. • frenos, llantas, suspensión, luces, etc. <p>Daños:</p> <ul style="list-style-type: none"> • internos, externos. <p>Condiciones de la carga:</p> <ul style="list-style-type: none"> • objetos, posición de pasajeros. • obstrucción de equipaje. • colocación de la carga. | <p>Activación de seguridad pasiva:</p> <ul style="list-style-type: none"> • resistencia a la deformación. • bolsas de aire. • envío de señales de ayuda. | <p>Manipulación de vehículos dañados</p> |
| Carretera | <p>Geometría:</p> <ul style="list-style-type: none"> • alineamiento vertical, sección transversal, alineamiento horizontal. <p>Características de la superficie:</p> <ul style="list-style-type: none"> • resistencia al deslizamiento, regularidad superficial. • presencia de escombros. <p>Alrededores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • urbano, rural. • publicidad, tiendas. • volúmenes de tráfico. • otros usuarios. • señales, demarcación, etc. | <p>Area de recuperación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • espaldón, carril de emergencia. • refugio central. • condiciones en los márgenes de la vía. <p>Zonas de trabajos en la vía:</p> <ul style="list-style-type: none"> • zona de transición. • áreas de trabajo. • condiciones defectuosas inusuales en los alrededores. • superficie en mantenimiento. • obstáculos en la vía. | <p>Aadvertencia del accidente</p> <p>Despeje de la carretera</p> |

Tabla I-2
Matriz de Haddon
Lista de factores que contribuyen en un accidente de tránsito

el campo de la educación y la promoción de actividades de vigilancia policial han sido muy útiles para incrementar el uso del cinturón de seguridad y reducir las cifras de muertes por accidentes de tránsito.

Por lo tanto, los problemas de seguridad deben ser abordados mediante la implementación de acciones integrales que tomen en cuenta cada uno de los componentes del sistema HAV.

Debido a que este manual está dirigido a la implementación de medidas de seguridad vial en las distintas etapas de desarrollo de un proyecto de infraestructura vial, se dará un mayor énfasis a la descripción del componente de infraestructura (que forma parte del elemento ambiente en el sistema HAV). Sin embargo, debe tenerse claro que los conceptos de seguridad vial relacionados con el diseño de la infraestructura no pueden considerarse de forma independiente de los otros dos componentes del sistema, el factor humano y el vehículo.

Generalmente se señala el rol predominante que tiene el componente humano en los accidentes de tránsito. Sin embargo, el hecho de que los factores humanos están involucrados en la mayoría de los accidentes no significa que solo este componente del sistema deba ser tratado.

Debe tomarse en consideración que los cambios en el comportamiento humano se logran de manera muy lenta y progresiva. En contraste, las condiciones de la infraestructura pueden ser modificadas y obtener resultados inmediatos.

El diagrama de Venn de la **Figura I-4** muestra que se podrían obtener beneficios significativos en la seguridad vial al trabajar en la interacción que existe entre los factores humanos y los componente ambientales de la infraestructura.

El sistema HAV puede representarse mediante la matriz de Haddon, la cual combina los tres componentes del sistema y las tres fases de un accidentes (antes, durante y después), como en la **Tabla I-2**.

Los profesionales encargados del desarrollo de la infraestructura vial deben considerar cómo contribuyen los factores ambientales de la carretera en la seguridad vial durante las tres fases de un accidente de tránsito, e incorporar de manera efectiva estos elementos dentro de la ejecución de todas las etapas del desarrollo de los proyectos.

3.2 Infraestructura y seguridad vial

La red vial debe ser apropiadamente planificada y diseñada para lograr una circulación segura, eficiente, y económica de todos los usuarios de la infraestructura, y por lo tanto debe minimizar las consecuencias o el impacto negativo que dicha circulación puede producir.

Los requerimientos de seguridad vial de una carretera no se pueden expresar de una manera simple. Se debe tomar en cuenta los factores que contribuyen a un funcionamiento apropiado así como también las conclusiones que se obtengan del mal funcionamiento del sistema.

La principal responsabilidad de las autoridades encargadas de la red vial nacional consiste en tomar acciones sobre los factores ambientales de la carretera. Sin embargo, al observar la **Figura I-4** es fácil llegar a la conclusión de que es de primordial importancia considerar de forma adecuada las interacciones humano-infraestructura, concepto que puede denominarse **“ergonomía de la carretera”**. También deben considerarse las interacciones vehículo-infraestructura, que se enfocan en el diseño de carreteras con características geométricas adecuadas para la dinámica de comportamiento de los vehículos y para proveer una conducción ergonómica para los conductores.

Con el propósito de lograr una operación segura del tráfico, los ingenieros de carretera y otros profesionales encargados del desarrollo de proyectos de infraestructura vial deben respetar tres principios básicos:

El principio de **calidad**: cumpliendo completamente cinco requerimientos básicos:

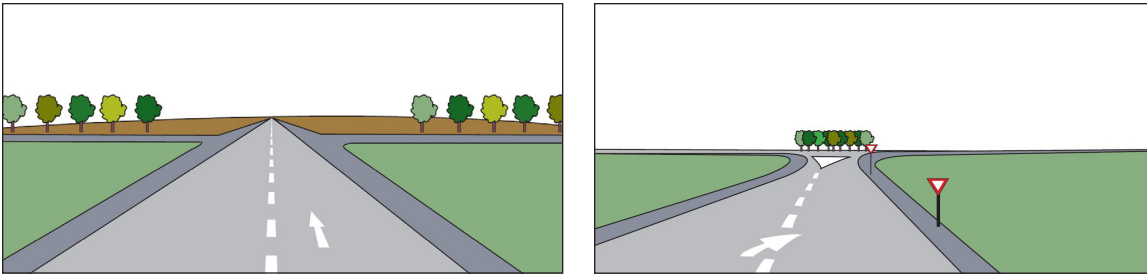
- visibilidad,
- vías con diseño auto explicativo,
- adecuación de la infraestructura a la dinámica de los vehículos,
- posibilidades de maniobra y recuperación,
- reducción de la severidad de impacto.

El principio de **consistencia espacial**:

- consistencia completa de todos los elementos del camino con su entorno,
- consistencia de las características de la carretera a lo largo de todo el recorrido.

El principio de **consistencia temporal**:

- diseño de carreteras planificado.



El paisaje ayuda a estimular la atención del conductor y facilita entender el alineamiento de la carretera:

- A la izquierda: mejora la visibilidad de una vía secundaria mediante filas de árboles.
- A la derecha: se enfatiza el final de la carretera mediante una pantalla de árboles.

Fuente: Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes, 1998

Figura I-5
Ejemplos de carreteras con diseño autoexplicativo

3.2.1 Principio de calidad

Se deben satisfacer cinco requerimientos:

Visibilidad

Se estima que cerca del 90% de la información usada en la conducción es visual. Como un requerimiento básico, debe asegurarse que la calidad de la información visual contenida en los alrededores de la carretera contribuyan a facilitar la tarea de conducción.

El conductor debe tener la información visual a tiempo, de forma que le permita adaptar su comportamiento de manera segura a la situación que se ha encontrado (con base a las velocidades de operación).

Los peatones y otros usuarios que desean cruzar la carretera deben poder observar suficientemente lejos a los vehículos que circulan por ella, para tener el tiempo necesario de procesar la información, decidir cuándo cruzar y completar su maniobra de forma segura.

En Francia, la distancia de visibilidad de intersección se calcula con 8 segundos (con 6 segundos como mínimo absoluto) a la velocidad de operación V_{85}^2 en la vía principal. En una carretera de 3 carriles o en una carretera dividida de 2 carriles, estos valores se incrementan a 9 y 7 segundos, respectivamente (Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes, 1994).

Carreteras auto explicativas

La infraestructura y sus alrededores deben ser fácilmente entendidos por los usuarios de la carretera, de tal forma que puedan identificar dónde están, en qué

dirección deben seguir y ser capaces de anticipar fácilmente eventos que deberán afrontar – movimientos de vehículos y peatones, cambios en la infraestructura, entre otros – con el propósito de ajustar su comportamiento según corresponda (ver la **Figura I-5**).

Adecuación de la infraestructura a la dinámica de los vehículos

Las características de la carretera deben minimizar el riesgo de fallas dinámicas de arrastre, vuelco y otras, de acuerdo con la velocidad de operación.

Por ejemplo:

- cambios repentinos en el radio de curvatura horizontal,
- coeficiente de fricción reducido en las intersecciones,
- la existencia de pequeñas lomas en la carretera pueden propiciar altas velocidades de conducción (por ejemplo en carreteras rurales de primer orden).
- marcas de frenado en la carretera pueden desesta-

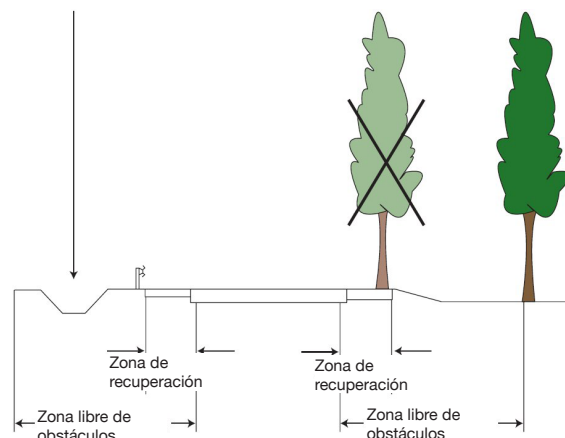


Figura I-6
Zona de recuperación y zona libre

² V_{85} : Velocidad o inferior, a la que viaja el 85% de los conductores

bilizar a las motocicletas.

Posibilidades de maniobra y recuperación

El diseño de la infraestructura debe “perdonar” los errores del conductor, es decir, debe permitir a los conductores maniobrar y recuperar el control en situaciones críticas, evitando salirse del camino y colisionar con objetos rígidos, volcar, atropellar a un tercero o caer a un desnivel, etc. (Ver **Figura I-6**)

Reducción de la severidad del impacto

Los obstáculos localizados en los márgenes de la carretera deben estar a una distancia tal, o no ser tan rígidos, para evitar consecuencias graves en un accidente en el cual el vehículo se sale de la vía. Cuando este requerimiento no se pueda satisfacer, los objetos a lado de la carretera deben eliminarse, moverse, modificarse para hacerlos frágiles, o protegerlos mediante sistemas de contención vehicular.

3.2.2 Principio de consistencia espacial

Este criterio de consistencia no puede ser considerado de forma independiente. Por el contrario, debe tomarse en consideración las velocidades de operación de los usuarios, el cual está parcialmente condicionado por el criterio de **diseño auto explicativo de carreteras**. Esto conduce a dos requerimientos de consistencia:

Consistencia completa de todos los elementos de la carretera con su entorno

Ejemplos de situaciones peligrosas:

- carretera con características de diseño de alta velocidad, por ejemplo, carreteras divididas, intersecciones a desnivel, pero que posee puntos críticos, por ejemplo, acceso a propiedades privadas, espaldones angostos (o inexistentes), obstáculos rígidos cercanos a los carriles de circulación, entre otros.
- calles residenciales con características de diseño que no se adaptan a la presencia de peatones y otros usuarios no motorizados (red en forma de malla, alineamiento recto de vías, carriles de circulación anchos, entre otros).

Consistencia a lo largo de todo el recorrido

Para que los conductores puedan adaptar de forma segura su comportamiento, deben entender en qué tipo de carretera están viajando y predecir las situaciones o condiciones que les espera más adelante. Esto hace que se requiera definir un sistema de categorías de carreteras en el cual cada tipo de vía se distinga por un set de consistente de características de diseño.

3.2.3 Principio de consistencia temporal

La seguridad vial está fuertemente influenciada por los cambios planeados y no planeados en los flujos y patrones de tráfico (**Figura I-6**). La planificación de un proyecto generalmente se desarrollan a lo largo de varios estados, que típicamente corresponden a tres etapas: estudios preliminares, borrador del proyecto y diseño detallado. La seguridad vial debe considerarse apropiadamente en cada una de estas etapas.

Estudios preliminares

- consistencia a lo largo de todo el recorrido.
- definición de mejoras con relación a los flujos.

Borrador del proyecto

- diseños de la carretera y características principales (por ejemplo, elección del tipo de intersección, anchos de vías, entre otros).

Diseño detallado

- equipamiento de seguridad, señalamiento y demarcación.
- tratamiento de puntos críticos.

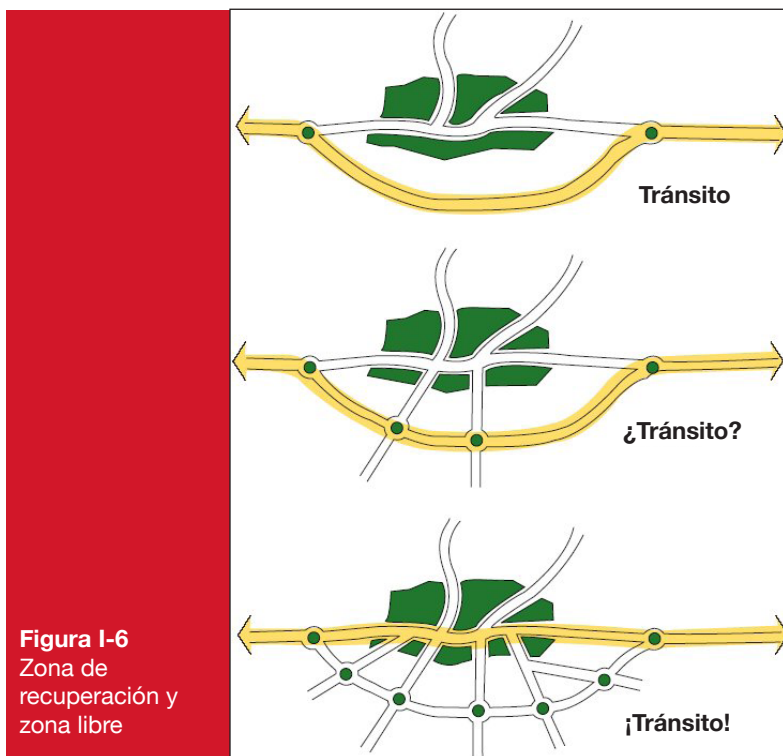


Figura I-6
Zona de recuperación y zona libre

Parte II

Etapa de Planificación

1 Introducción

Entre más tempranas sean las etapas de un proyecto de infraestructura vial en las que se consideren y apliquen conceptos de seguridad vial, mejores resultados se obtendrán, tanto desde el punto de vista técnico como económico. Por lo tanto, atender la seguridad vial del proyecto en la etapa de planificación es imprescindible, ya que es en esta etapa donde el proyecto está en un estado de conceptual que permite realizar cualquier modificación antes incluso de plasmar el la idea en un plano.

Este capítulo incluye algunos de los principales elementos conceptuales que permiten planificar una obra de infraestructura de carreteras contemplando la seguridad vial como elemento primordial.

2 Clasificación funcionalidad de las vías

Existen diversas maneras de clasificar las vías de modo que estas sean reconocidas según su importancia, su forma geométrica, su pertenencia o no a la red de carreteras de cierta localidad, entre otros.

Las carreteras y vías de comunicación brindan dos servicios fundamentales: 1) la función de brindar el servicio apropiado para una circulación segura, constante, rápida, y eficiente del tráfico, y 2) suministrar el acceso a las propiedades aledañas.

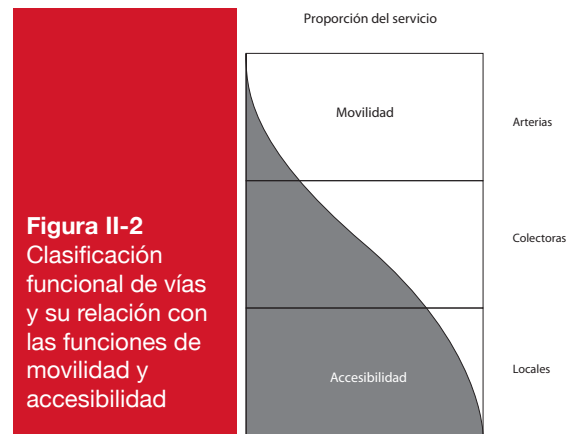


Figura II-2
Clasificación funcional de vías y su relación con las funciones de movilidad y accesibilidad

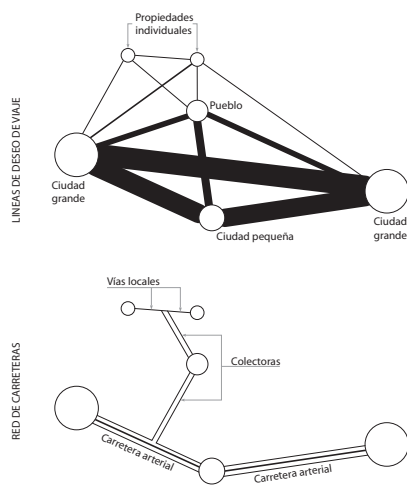
El concepto de Clasificación Funcional de carreteras se basa en el tipo de servicio que brinda un cierto tramo de vía, el cual está contenido entre los dos extremos mencionados anteriormente. Se destacan 6 tipos de vías de acuerdo a su funcionalidad: vías de movimiento principal, de transición, distribución, colección, acceso y terminales. Este sistema de clasificación contempla dos funciones de servicio: accesibilidad y movilidad de tráfico.

En una vía de movimiento principal el flujo de vehículos es constante, sin interrupciones. En ella, los vehículos pueden circular a altas velocidades y no es posible el acceso a la vía directamente, sino por medio de transiciones. Por lo tanto, una vía de tal categoría cuenta con una alta movilidad y muy baja accesibilidad.

Al acercarse el usuario a su destino, este sale de la vía de movimiento principal y reduce su velocidad en una rampa que actúa como vía de transición. Ya alcanzada una velocidad adecuada, el usuario ingresa a una vía de distribución, la cual le brinda una mayor cercanía al lugar de destino. Una vía de colección introduce al usuario al vecindario requerido. Finalmente, el usuario ingresa a la vía de acceso, la cual lo transporta directamente a la propiedad privada requerida, o a una vía terminal en donde finaliza su recorrido. El resultado es que estos últimos tipos de vías presentan una alta accesibilidad y baja movilidad.

Los diferentes niveles de jerarquía de las vías de tránsito según su clasificación funcional están diseñados para cumplir específicamente una función, según el volumen de tráfico que maneja cada uno de ellos. Es así como dependiendo de dicha cifra y de la cantidad

Figura II-1
Clasificación funcional de vías y su relación con las magnitudes de los viajes



de población de cierto lugar, se pueden estimar los niveles de servicio que brindan las carreteras. Cada una posee características específicas, que deben ser dirigidas a los volúmenes de tráfico actuales y a futuro que utilizarán dichas vías. Entre otros se encuentran la longitud de viaje, la velocidad de operación, el propósito del viaje, el volumen del tráfico, el acceso y la población.

Una de las primeras tareas en la etapa de planificación consiste entonces en definir cuál es la función que cumplirá la vía que se está proyectando, y por lo tanto, cómo se clasifica según su funcionalidad.

La mayor parte de las características técnicas de la carretera, así como sus estándares de diseño, la forma en que será usada por distintos usuarios, su interrelación con el uso del suelo de los terrenos aledaños, y hasta las características de diseño de obras de infraestructura complementarias, quedarán definidas con base en el tipo de carretera que será proyectada.

Estas características de diseño están relacionadas con la velocidad de operación de la vía. Una carretera que brinda a los conductores amplias distancias de visibilidad, un alineamiento recto, carriles de circulación anchos, y zonas despejadas en los márgenes, hace que la conducción a alta velocidad sea una experiencia cómoda y de una sensación de seguridad, lo cual incentiva a los conductores a transitar a alta velocidad. Por otra parte, una vía estrecha, de trazado sinuoso y con la presencia de objetos cercanos a los carriles de circulación, produce que los conductores viajen a una velocidad baja.

De esta forma, las características de diseño de una vía condicionan en gran medida el comportamiento de sus usuarios. De ahí la importancia de que consideren en las etapas de planificación y diseño la función que queremos que cumpla la vía que estamos

proyectando, la forma en que esperamos se comporten sus usuarios, e incorporar en el diseño las características congruentes con estos objetivos y con el uso del suelo aledaño.

2.1 Arterias principales

Estas carreteras presentan servicio para el transporte de larga distancia. Conectan ciudades así como también unen las zonas rurales con las zonas urbanas. Por lo tanto, deben cumplir varias funciones de movilidad, que dependen de la ubicación de la vía y del uso del suelo en sus alrededores. Sin embargo, su función principal es la movilidad y no el acceso a propiedades.

Los distribuidores primarios deben ser identificados claramente como rutas principales de transporte dentro de una jerarquía vial.

Se debe dejar una reserva en ella para impedir edificaciones y otro tipo de desarrollos muy cerca. En áreas altamente urbanizadas, este tipo de vía será probablemente de un estándar de doble calzada, pero a medida que la vía pasa por un escenario rural y el flujo de tránsito disminuye, los estándares de diseño se debieran reducir. Esto dependerá de los flujos de tránsito pero el énfasis siempre debiera estar en mantener el tránsito de paso. El tránsito de acceso local debe ser acomodado fuera del distribuidor primario, siempre que sea posible.

Los principales elementos a considerar al planificar distribuidores primarios incluyen :

- No proveer accesos frontales;
- Desarrollo urbano permitido solo apartado de la vía;

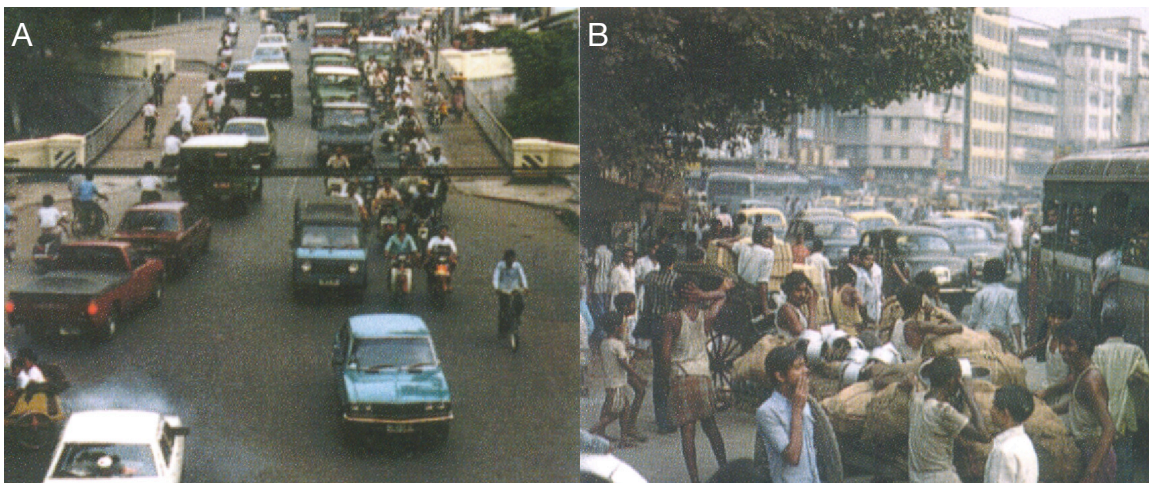


Figura II-2
 A. Vía principal con múltiples funciones, con conflictos causados por un ancho de vía variable, mezcla de dos tipos de tránsito y accesos frontales
 B. Grave conflicto entre peatones, vehículos no motorizados y otro tráfico en una vía urbana principal

Figura II-3

A. Distribuidor primario con accesos limitados y el desarrollo forntal bien separado de la vía, lo que reduce los conflictos

B. Distribuidor primario con doble calzada y ningún acceso frontal



- Todos los accesos a las propiedades deben ser a través de vías distribuidoras locales;
- El numero de intersecciones debe minimizarse;
- Intersecciones con canalización adecuadas para flujos menores;
- Donde sea posible, los peatones y vehículos de marcha lenta deben estar claramente segregados,
- Desincentivar el estacionamiento en la vía;
- Donde sea necesario, el estacionamiento y facilidades para detención deben proveerse fuera de la vía principal;
- Debieran proveerse ensanches para buses a intervalos regulares; e
- Intersecciones separadas por nivel para flujos extremadamente altos.

Si la vía pasa a través de un poblado donde la falta de control ha permitido que la vía se vuelva deficiente en cualquiera de los elementos indicados anteriormente, habrá riesgos de accidentes. Si estos elementos no pueden ser restablecidos por medio de medidas correctivas adecuadas, debe entonces considerarse la creación de una nueva ruta, con controles adecuados (es decir, control del desarrollo y de los estándares de jerarquía vial) que sean cumplidos desde su inicio para impedir la recurrencia de accidentes.

2.2 Distribuidores secundarios (arterias menores)

En la jerarquía vial, estas vías pertenecen al nivel inmediatamente inferior de los Distribuidores Prima-

rios, también se conocen con el nombre de Distribuidores de Distritos.

Aún predominan los requerimientos para desplazar el tránsito, pero también contribuyen a los requerimientos de acceso. Si bien éstos pueden llevar una gran proporción de tránsito de más larga distancia, esto lo hace solo como uno de los distribuidores principales hacia y desde la red vial nacional.

Es en general aceptado que las velocidades vehiculares sean menores (50 a 60 Km./h) que en distribuidores primarios, y que se pueda permitir controles de acceso menos rigurosos. Sin embargo, éstas aún son rutas importantes de tránsito y la segregación debería mantenerse donde sea posible.

Los distribuidores de distrito deben ser identificados como rutas principales del mismo modo que las rutas primarias de mayor distancia. Sin embargo, sus estándares pueden ser relajados en consideración a su importancia reducida como rutas de tránsito.

Los principales elementos a considerar al planificar vías distribuidoras de distrito incluyen :

- No proveer accesos frontales;
- Desarrollo urbano apartado de las vías;
- La mayoría de los desarrollos deben tener acceso por medio de intersecciones con distribuidores locales;
- En circunstancias excepcionales, las áreas de desarrollo urbano de mayor escala pueden tener acceso directo, siempre que se provea una intersección de alto estándar;
- Todas las intersecciones estarán generalmente



Figura II-4
 A. Conflictos de accesos frontales y de peatones-vehículos en distribuidor de distrito
 B. Acera protegida en un distribuidor de distrito

al mismo nivel;

- El tránsito que vira debiera ser segregado del tráfico de paso;
- Las ciclovías y rutas peatonales debieran estar apartadas de la calzada;
- Los puntos de cruces peatonales debieran estar claramente definidos y controlados;
- El estacionamiento en la vía no debe ser permitido;
- Las paradas de buses y otras áreas de carga y descarga (solo permitidas en circunstancias excepcionales) debieran estar en bahías separadas y bien diseñadas.

Es muy importante si se desea mejorar la seguridad, considerar las necesidades de peatones y vehículos no motorizados en el diseño y frecuencia de las intersecciones de estas vías.

2.3 Distribuidores locales

Los distribuidores locales son las principales vías colectoras dentro de zonas o áreas. Sirven para llevar el tránsito hacia y desde la red vial principal al comienzo y término de los viajes. Estas incluyen todas las vías de conexión importantes en un área, pero se caracterizan por la ausencia de tránsito de paso. Los distribuidores locales están en el nivel de la jerarquía a partir del cual la necesidad de movimiento del tránsito empieza a tener menos importancia que las necesidades de tránsito local y de acceso.

En las áreas urbanas estas vías servirán directamente a las propiedades residenciales y comerciales. El desarrollo de las calles se adaptará al patrón de cons-

trucciones existentes, y el tránsito no motorizado será paralelo a rutas motorizadas en las aceras y a lo largo de las pistas de marcha lenta. En áreas rurales donde existen solamente asentamientos esparcidos, el distribuidor local puede ser la conexión local más importante y tener una mezcla de tráficos residencial e industrial liviano/agrícola.

La función más importante de los distribuidores locales es el acceso. La velocidad de los vehículos debe mantenerse baja. Se pueden permitir accesos frontales, pero se deben evitar los accesos vehiculares desde los edificios adyacentes, excepto en aquellos lugares donde existen generadores de mucho tráfico.

Estas vías estarán dentro o muy cerca de áreas residenciales. El tráfico debe estar consciente de los peatones, especialmente de los niños. Las áreas adyacentes a lo largo de estas vías pueden convertirse en áreas de juego, a no ser que se tomen las medidas necesarias para que las áreas abiertas entre las rutas no se transformen en lugares de juego.

Los puntos más importantes a considerar son:

- La vía es solo para el tráfico local. El tráfico de larga distancia hay que dirigirlo hacia una vía alternativa adecuada, más directa;
- Donde sea posible, una vía con tráfico industrial no debe pasar por un área residencial;
- La velocidad de los vehículos debe mantenerse baja, por lo que deben evitarse las vías largas y rectas;
- Está permitido el estacionamiento pero, en lo posible, debe proveerse estacionamiento alternativo fuera de la vía;

Figura II-5
 A. Carencia de facilidades peatonales en distribuidor local
 B. Distribuidor local donde la calzada ha sido angostada a través de estacionamientos protegidos para reducir la velocidad. Nótese las aceras bien separadas



- El tráfico no motorizado es tan importante como el motorizado y si es posible deben proveerse rutas separadas;
- Si el tráfico no motorizado necesita usar un distribuidor local, este debe separarse del tráfico motorizado;
- Dependiendo de los flujos de tráfico, el ancho de las vías puede variar, para proveer el estacionamiento o dar mayor énfasis a los cruces;
- Las paradas de buses pueden ser ubicadas en las calzadas, pero cerca de cruces bien definidos
- Los movimientos de tráfico de paso deben hacerse difíciles e inconvenientes, para así desincentivarlo.

2.4 Vías de acceso (vías locales)

Como su nombre lo indica, estas vías son solo de acceso y principalmente para usos residenciales (los accesos industriales deberían efectuarse como mínimo desde una vía con características de distribuidor local. Estas son las calles donde vive la gente. Por lo tanto, los conceptos de seguridad vial, seguridad per-

sonal y medio ambiente son de vital importancia. Por ende, las vías de acceso deben permitir solo el acceso residencial y el diseño debe permitir solamente un mínimo de tránsito. Es mejor tener muchas vías cortas de acceso, unidas por un distribuidor local, que unas pocas vías largas.

En las vías de acceso predominan las necesidades de los usuarios no motorizados y los niños generalmente jugarán en las calles. Debe indicarse claramente que los vehículos son intrusos en estas áreas y que se exigen velocidades bajas.

La seguridad y la sensación de seguridad en las vías de acceso, depende de la frecuencia y gravedad de conflicto, del tipo y densidad habitacional, y del tipo de actividades existentes. En las vías de acceso, si bien los estándares de diseños pueden variar, los elementos más importantes a considerar son:

- Mantener al mínimo los flujos de vehículos;
- Eliminar todo el tránsito innecesario;
- Mantener bajas las velocidades, incluyendo en forma deliberada y cuidadosa, obstrucciones para crear alineamientos complicados;
- Donde sea posible, mantener vías de acceso cortas;
- Donde sea posible, utilizar callejones sin salida y vías curvas para desincentivar el tránsito de paso;
- Las intersecciones debieran ser de tres brazos en vez de cuatro y mantenerlas compactas, para ayudar al movimiento de los peatones.
- Peadones y vehículos pueden compartir el es-

Figura II-6
 Niños expuestos a peligro cuando juegan en una vía local larga y recta



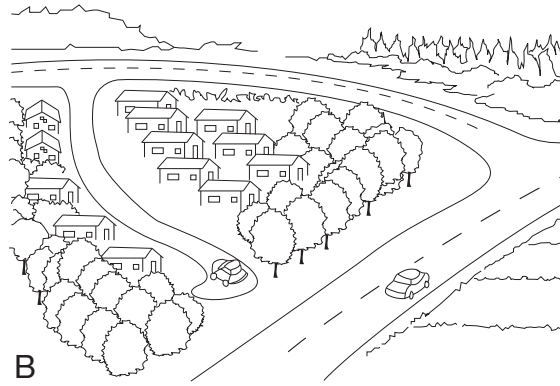
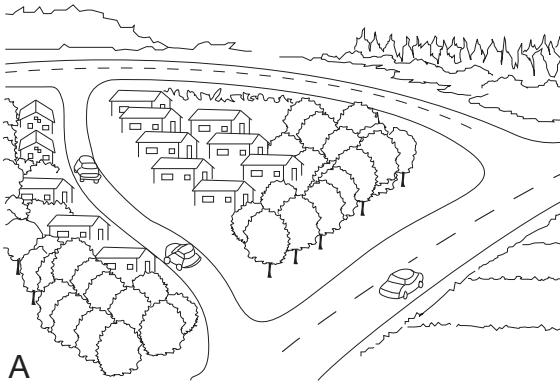


Figura II-7
A. Un mal diseño de una red vial atrae el tránsito de paso a la vía de acceso
B. Un buen diseño de la red vial, que desincentiva que el tráfico de paso use la ruta de acceso

pacio;

- El ancho de la calzada se puede reducir para enfatizar la prioridad de los peatones;
- Los puntos de entrada y salida de las calles de acceso deben ser claramente identificables lo que se puede lograr aplicando tratamientos especiales a las entradas/salidas, por ejemplo: cambios en el trazado geométrico, paisajismo, edificación e incluso portales y señalizaciones.
- El estacionamiento y detenciones están permitidos, aunque deben proveerse estas facilidades dentro de las propiedades o en áreas de garaje separadas;
- El uso de cunetas bajas permitirá que estas calles, estrechas y de bajos estándares de alineamiento, puedan ser usadas por vehículos de emergencia y de servicios, o también para estacionarse en forma ocasional, y
- Los accesos de emergencia para vehículos de bombero pueden mantenerse despejados usando cierres diagonales con el fin de eliminar espacio de estacionamiento o, asegurando que otros propietarios del sector tengan acceso por la misma vía, para que las mantengan despejadas.

2.5 Áreas peatonales

Estas son áreas donde se excluyen totalmente los vehículos motorizados. En el sentido más amplio, estas incluirán todas las rutas donde el tránsito no motorizado tiene absoluta prioridad. Esto incluiría paseos peatonales y ciclovías especialmente construidas para tal propósito que, generalmente en áreas residenciales, conforman una red totalmente separada de aquellas para tránsito motorizado.

Las rutas o áreas peatonales no deben planificarse

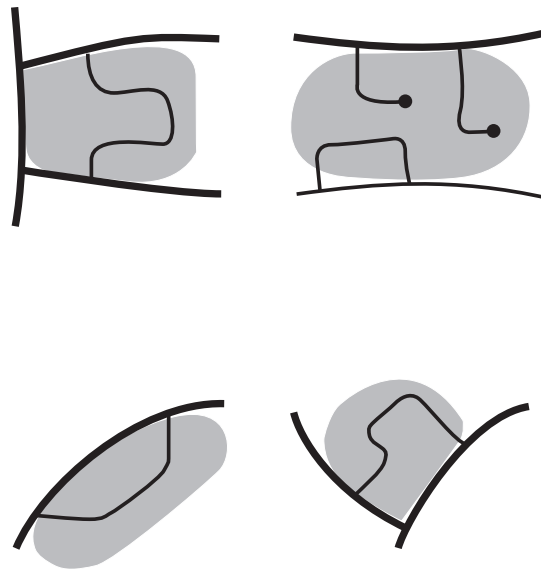


Figura II-8
 Ejemplos de un buen trazado de vías locales, donde es improbable que el tráfico de paso use las rutas de acceso

aisladamente, puesto que el tráfico motorizado debe acomodarse también en algún lugar. Al planificar redes y áreas peatonales nuevas, los puntos clave a considerar son:

- Las áreas residenciales, industriales y comerciales deberían estar conectadas por rutas peatonales que sean las más directas y placenteras entre los destinos. El uso de árboles que den sombra pueden incentivar su uso.
- Cualquier desvío desde una ruta directa debe ser más atractivo que una vía alterna menos segura.
- Todos los cruces con rutas principales deben estar en lo posible, separados a nivel, y si esto no es posible, deben proveerse facilidades a nivel (por ejemplo refugios) para minimizar los problemas al cruzar.
- Los desvíos verticales (paso nivel o bajo nivel) son mucho menos atractivos para los peatones que las facilidades a nivel.

- Las alineaciones verticales y horizontales de las rutas peatonales pueden incorporar pendientes más inclinadas y curvas más bruscas que las vías para vehículos motorizados.
- Es necesario mantener espacios de aspecto abierto, especialmente en intersecciones y pasos a bajo nivel.
- En áreas comerciales se debe dar prioridad a los peatones.
- Cuando los vehículos motorizados dejan de ser permitidos, es necesario contar con una capacidad adecuada en las vías aledañas -para carga /descarga, estacionamiento y movimiento-, pero estas facilidades deben estar siempre dentro de una distancia fácil de caminar.
- Si no existen alternativas adecuadas para el tráfico motorizado, se debe considerar la peatonización a ciertas horas del día, esto es, permitir el acceso de los vehículos cuando el flujo peatonal es bajo (por ejemplo muy temprano en la mañana o tarde en la noche).
- Las conexiones con paraderos, áreas de estacionamiento y estaciones son vitales, por lo que deben ser adecuadas.
- Todas las áreas peatonizadas deben proveer acceso para vehículos de emergencia y vehículos recolectores de basura

Los peatones son el grupo más vulnerable de usuarios viales, especialmente los niños y los ancianos, pues no van dentro de un vehículo que los proteja de las lesiones en caso de una colisión menor. La misma carrocería metálica que protege al conductor de un vehículo, puede matar a un peatón. Es fundamental que en el sistema de transportes se consideren las necesidades de los peatones, incluso se los debería considerar más que a los demás usuarios de las vías, puesto que tienen muchas más probabilidades de resultar heridos o de morir.

La mayor parte del movimiento peatonal es de naturaleza local. Se realiza en aceras adyacentes a las vías, o en el borde de éstas. En la gestión del tránsito, debe ponerse especial atención en minimizar los conflictos y proveer facilidades peatonales que sean seguras, convenientes y agradables para usar.

En países en desarrollo, las aceras se encuentran por lo general obstruidas por negocios ambulantes, actividades comerciales o automóviles estacionados. Se deben tomar medidas para despejar las aceras, a tra-

vés de una mejor fiscalización o ingeniería (por ejemplo, postes en las orillas de la acera para evitar que sean invadidas por vehículos estacionados).

- Cuando los flujos peatonales son intensos y las aceras angostas, debe considerarse su ensanchamiento. Cuando los peatones están involucrados en una proporción substancial de accidentes en un lugar específico, sus necesidades deben considerarse cuidadosamente en el diseño y selección de medidas correctivas. Donde sea posible, deberían usarse medidas que segreguen vehículos y peatones.
- El uso de un radio pequeño en las soleras de las intersecciones para disminuir las velocidades del tránsito que vira, puede además ayudar a los peatones a cruzar más fácilmente vías laterales en las esquinas. Una buena medida es extender la acera de la vía principal, cruzando las vías secundarias (o laterales) y creando cruces levantados. Esto permite a los peatones continuar en el mismo nivel de la acera, mientras que los conductores tienen que maniobrar lentamente sobre la acera levantada.
- Para estimular su uso, las aceras deben ser razonablemente niveladas y bien drenadas. No debería permitirse la existencia de vegetación, ya que esto puede obstaculizar la acera. Cuando la obra está en construcción, se deben proveer pasos temporales alternativos para los peatones desplazados de la acera que se está modificando.

2.6 Vías para ciclistas

Las bicicletas y otros vehículos de marcha lenta deben ser considerados en forma separada en el sistema vial, debido a sus características diferentes de movimiento, al hecho de que los conductores tienden a percibirlos menos que a otros vehículos, y a que son más vulnerables a lesiones en caso de accidente. Las rotondas en particular tienen un mal récord de accidentes con estos vehículos, pero pueden haber dificultades en cualquier tipo de intersección.

- En las intersecciones de prioridad, los vehículos de menor velocidad pueden ser protegidos segregando sus movimientos por medio de la canalización o proporcionando refugios centrales que les permitan desplazarse en dos etapas.
- En los semáforos, un método útil para proteger a los vehículos de marcha lenta es permitir una fase separada (manejado por cabezales separados, incorporando por ejemplo, un símbolo para bicicletas) o darles ventaja en la partida por medio

de una línea de detención separada ubicada unos metros más adelante que la línea de detención del resto del tránsito.

- Los problemas en las rotondas son mucho más difíciles y la mejor solución es dirigir los vehículos de marcha lenta a una ruta alternativa. También se podría permitir que las bicicletas y otros vehículos pequeños compartieran las facilidades de peatones, donde estas existan, como una alternativa conveniente. En el Reino Unido, esta alternativa ha probado ser una medida segura con flujos de hasta 300 por hora.
- Si no se puede encontrar una ruta alternativa adecuada para evitar la rotonda, o si el número de vehículos de marcha lenta es significativo, podría ser necesario considerar un tipo diferente de control de la intersección.
- Las facilidades para ciclistas deben ser atractivas, o no serán utilizadas. No deben tener grandes desvíos, o pendientes muy empinadas, o escalones o desmontes y, deben tener buen mantenimiento.
- Es fundamental prohibir el estacionamiento de vehículos en la vía, ya que los vehículos de menor velocidad se verán forzados a hacer movimientos repentinos en su desplazamiento para esquivar los vehículos estacionados.
- En los proyectos nuevos se pueden evitar los posibles problemas con un diseño apropiado de rutas alternativas segregadas.

3. Planificación para diferentes usos del suelo

3.1 Áreas residenciales

Las vías residenciales son el primer escenario donde interactúan vehículos y peatones, y en donde la función de desplazamiento cumple un rol cada vez menor en relación a las actividades domésticas y de servicio más importantes.

En áreas desarrolladas más antiguas los problemas de tránsito vehicular han aumentado gradualmente, lo que hace que muchas ciudades sufran problemas de seguridad de tránsito. Mientras que el automóvil es cada vez más necesario para acceder a una mayor gama de facilidades, su desplazamiento y estacionamiento ocupa la mayor parte del espacio vital, el cual debe cumplir la mayor parte del tiempo otras funciones en estas áreas.

Con el fin de proveer un ambiente seguro para vehículos y peatones:

- Las calles de áreas residenciales de más de 100 metros de largo deben ser serpenteadas y tener curvas cerradas incentivando bajas velocidades.
- El tránsito que no es de acceso, debería encontrar imposible o altamente inconveniente usar vías residenciales como atajos.
- Se debe dar prioridad a los peatones, especialmente cerca de edificaciones y en áreas de juego.
- El acceso directo a las viviendas debe ser por vías de acceso más que por vías distribuidoras.
- Cuando las viviendas tienen acceso vehicular por vías distribuidoras, se debe proveer un acceso peatonal alternativo a través de aceras segregadas hacia vías de acceso.
- Los peatones deben ser segregados donde sea posible y los cruces con rutas vehículos deben ser convenientes y seguras.
- Los estacionamientos deben ser amplios y convenientes, ubicados lejos de áreas donde juegan niños.



Figura II-9

A. Una calle en Japón, donde los peatones tienen prioridad, y donde se utilizan elementos reductores de velocidad.

B. Calle residencial en Holanda, claramente identificada como una calle para juegos, con prioridad para los peatones.

- Se necesita hacer conscientes a los conductores acerca de la prioridad que tienen los peatones a la entrada y a través de toda el área, mediante la geometría, la textura de la superficie y tratamiento de la entrada al área.
- Los desarrollos de conjuntos grandes deben subdividirse para minimizar el tránsito vehicular en las calles internas.
- Las redes tipo cuadrícula ya existentes deberían ser modificadas por medio de cierres de vías o restricciones con el fin de crear sistemas internos o externos de acceso.
- La visibilidad recíproca de conductores y peatones debe ser suficiente para minimizar el riesgo de accidentes.
- El estacionamiento de camiones durante la no-

che especialmente aquellos con cargas peligrosas, debe ser desincentivado.

3.2 Áreas industriales

Las áreas industriales son muy importantes para la economía de la mayoría de los países, por lo que es necesario que tengan conexiones seguras y eficientes con los mercados nacionales e internacionales para sus materias primas y productos manufacturados. En la mayoría de los casos estas conexiones son vía terrestre debido a la facilidad y flexibilidad de movimiento que éstas ofrecen. Sin embargo, algunos tipos de y tamaños de carga pueden ser transportados más fácilmente por tren, barco o aire. En los países más industrializados, la localización de la industria está planificada para sacar ventaja de estas oportunidades de transferencia de carga.

Los terrenos destinados al uso industrial deben estar claramente identificados de los Planes de Desarrollo, situando los desarrollos de mayor escala en los sectores periféricos. Deben estar separadas físicamente de las áreas residenciales y no es posible dicha separación, debe considerarse seriamente reubicar estas industrias como un objetivo a largo plazo. Como solución parcial es posible diseñar medidas, como parte de un esquema de gestión de tráfico del área, para restringir los efectos negativos de las actividades industriales y para limitar el movimiento de vehículos pesados a ciertas áreas solamente.

Los factores a considerar para el trazado y diseño de los complejos industriales son:

- Los sitios zonificados para fines industriales deben tener donde sea posible acceso directo desde la red distribuidora de distrito.
- Cada sitio debe tener suficiente espacio de estacionamiento fuera de la vía y de carga/descarga, para acomodar todas las necesidades operativas, del personal y de visitantes dentro del sitio.
- Las vías y pasos para peatones deben ser medios de acceso seguros y eficientes para los trabajadores, los visitantes y todo rango de vehículos posibles para predecir, cuando varias industrias diferentes están agrupadas.
- El sistema de circulación interna debe asegurar que en circunstancias normales no se formen colas en la red.
- Deben crearse redes de pasos para peatones y ciclo vías seguras entre las áreas industriales y las

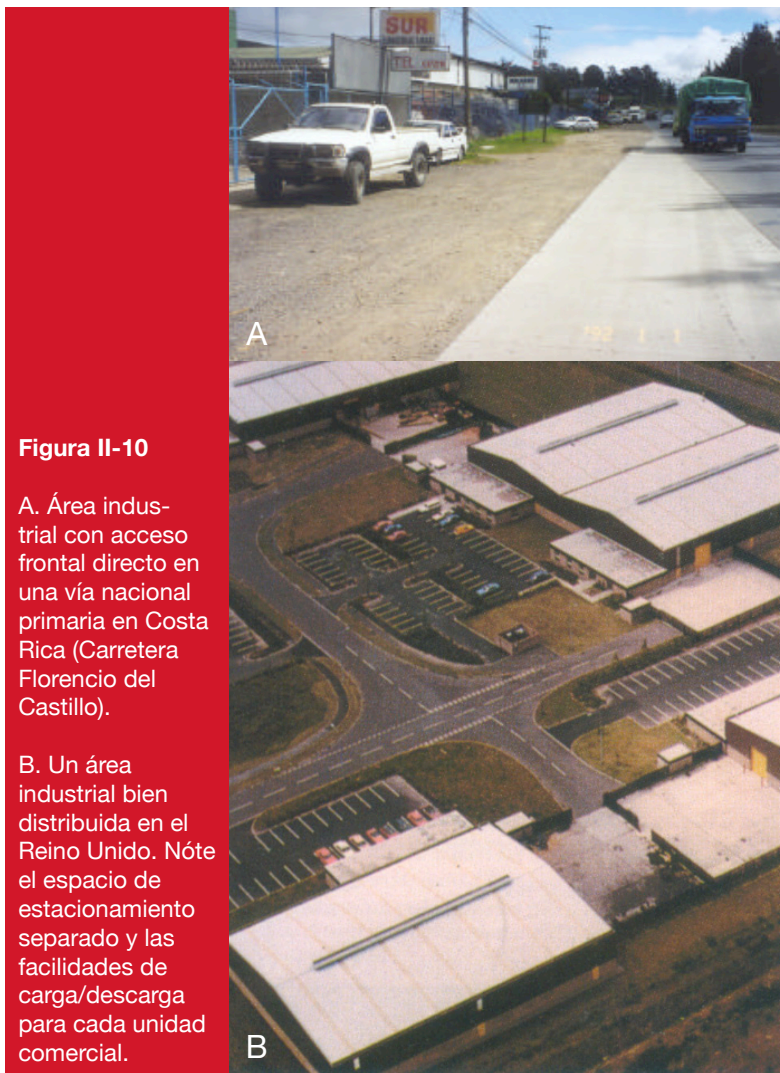


Figura II-10

A. Área industrial con acceso frontal directo en una vía nacional primaria en Costa Rica (Carretera Florencio del Castillo).

B. Un área industrial bien distribuida en el Reino Unido. Nóte el espacio de estacionamiento separado y las facilidades de carga/descarga para cada unidad comercial.

áreas más importantes donde viven los trabajadores.

3.3 Áreas de comercio

Las áreas comerciales pueden variar desde quioscos aislados o vendedores ambulantes hasta grandes centros comerciales y de oficinas, ocupando largas extensiones de terreno. Como consecuencia de esto, las necesidades de transporte pueden ser sumamente variadas. En ciudades de países desarrollados se trata de evitar la congestión creando un único Distrito Comercial Céntrico (CBD) (Área Central de Negocio) y desarrollando parques comerciales en la periferia de las ciudades. Estos ofrecen amplios estacionamientos y eficientes conexiones a las redes de transporte público y privado. En áreas más rurales la escala de operación es mucho menor y puede limitarse a ciertos días de mercado, pero aun así, estas actividades requieren de una provisión adecuada para la seguridad y eficiencia en el desplazamiento seguro y eficaz del tráfico.

Para proveer un buen nivel de acceso a todos los involucrados, las áreas comerciales deberían ser servidas desde la red distribuidora local y nacional. Es beneficioso proveer accesos separados para los clientes y los vehículos de servicio, o segregarlos tan pronto como sea posible. Esto minimiza conflictos y permite distintos sistemas de circulación.

Cuando las áreas comerciales la constituyen ferias al aire libre, es fundamental proveer el espacio adecuado, fuera de la vía principal. Debe además proveerse estacionamiento fuera de la vía para los clientes.

Los puntos más importantes a considerar al planificar estas áreas son:

- Todas las áreas de comercio deben estar lejos de la red para el tránsito de paso; y si lo están, deben proveerse vías de servicio.
- Donde sea posible, el servicio debe proveerse por la parte de atrás, separado de los accesos peatonales.
- En lo posible deben proporcionarse estacionamientos adecuados y facilidades para carga/descarga dentro del sitio de cada propiedad.
- Los estacionamientos para clientes y visitantes deben proveerse fuera de la vía, de preferencia un estacionamiento común.
- Debe desincentivarse el estacionamiento en la vía, y ser solamente permitido donde no obstruya el movimiento del tránsito general ni produzca conflictos con peatones.
- Una buena provisión de transporte público hacia y dentro de estas áreas reducirá efectivamente la demanda por estacionamiento; y
- En países en desarrollo, cuando las vías rurales principales pasan a través de centros comerciales, será necesario reducir la velocidad con medidas físicas, tales como lomos y cruces peatonales levantados para proteger a los peatones y a los clientes.



Figura II-11

Área comercial, Feria del agricultor de alajuela, separada de la vía principal, con la provisión de estacionamientos para clientes, zona de carga/descarga y calles de servicio de acceso.

3.4 Áreas de recreación y turismo

A medida que los países se desarrollan, las personas tienen cada vez más tiempo para actividades de recreación. Esto aumenta la demanda por centros deportivos y de recreación como también parques de diversiones, además de facilidades para eventos deportivos con espectadores.

Las facilidades de acceso seguro y estacionamiento forman una parte importante del éxito, cuando se fomentan actividades relacionadas con la recreación o el turismo que quieran convertirse en una parte necesaria de la economía.

Al planificar facilidades recreacionales que no se usan continuamente, se debe considerar compartir facilidades (como playas de estacionamientos) con otros usos más generales (por ejemplo, cuando no se usan los estadios, sus playas de estacionamientos pueden usarse para instalar ferias o estacionamientos nocturnos de camiones). En estos casos es importante asegurar que los usos no coincidan, o si lo hacen, que haya una provisión adecuada para servir a todos los usuarios.

Las consideraciones más importantes a tener presente son:

- Todos los generadores de recreación deberían

tener acceso, dependiendo de su tamaño, desde una vía distribuidora o de distrito.

- Los usos de suelos de recreación deben estar separados de las áreas residenciales. Pueden, en algunos casos, estar en su periferia, siempre y cuando el tránsito recreacional no se filtre a estas áreas de viviendas.
- Ciertos usos recreacionales pueden ser aceptables dentro de áreas comerciales o industriales, pero se debe tener mucha cautela;
- Es fundamental contar con un adecuado servicio de transporte público;
- El estacionamiento de todos los participantes y espectadores debe estar separado, dentro o cerca de cada facilidad, y ser suficiente para satisfacer demandas punta;
- Las rutas para peatones entre las áreas de entrada/estacionamiento y el recinto mismo deben estar libres del tránsito vehicular y claramente señalizadas;
- Cuando algunos eventos necesiten usar las vías públicas, estas deben ser claramente separadas del tránsito general (se pueden justificar cierres periódicos);
- Las áreas de servicio y las facilidades deben estar segregadas del tránsito general y, si es posible, operar en horarios diferentes al uso del público.
- Algunas facilidades, tales como los estacionamientos, pueden compartirse con otros usos.

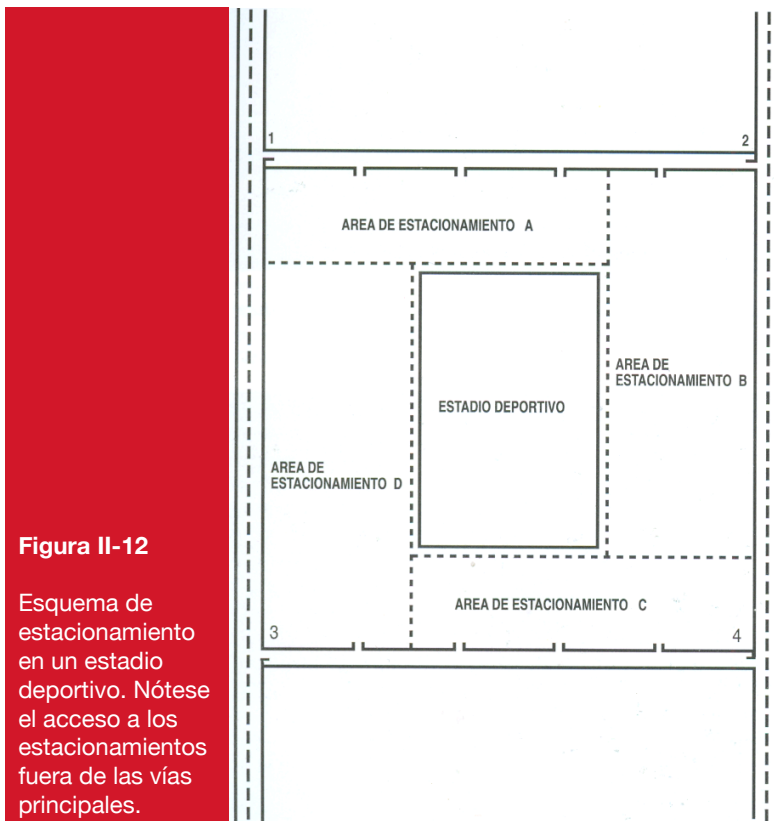


Figura II-12

Esquema de estacionamiento en un estadio deportivo. Nótese el acceso a los estacionamientos fuera de las vías principales.

Parte III

Etapa de Diseño

1 Introducción

La seguridad debe recibir especial atención en la etapa inicial de diseño de vías o de intersecciones. Esta sección de la Guía se refiere a los riesgos de accidentes asociados a estos diseños, para lo urbano y lo rural.

Por lo general será posible en las etapas iniciales del diseño, desarrollar e incluir elementos de seguridad a bajo costo, los que reducirán sustancialmente los riesgos de accidentes. En otras circunstancias, el costo de elementos primarios de seguridad, tales como aumento del radio de las curvas en terrenos montañosos, puede ser prohibitivamente alto. En casos como estos, la seguridad deberá recaer en elementos secundarios, tales como la instalación de señalizaciones y barreras. Las decisiones finales se basarán en criterios financieros y económicos y en la evidencia disponible de la investigación. Sin embargo, cualquiera sea la decisión, es muy importante que se considere la seguridad a través de todo el proceso de diseño y construcción.

Mientras esta sección se relaciona con la efectividad de los diseños finales, el proceso de diseño debe también incluir decisiones y recomendaciones sobre como controlar el tráfico de manera segura durante el proceso de construcción de la vía o intersección. Este debe incluir la señalización y su instalación en cada tramo de la construcción, junto con detalles de como se manejará la interacción entre la construcción y el tráfico. En general, un buen diseño hará que la tarea de conducir sea clara, simple y consistente. El uso de estos principios hará que un conductor automáticamente sea guiado por una vía o una situación conflictiva, como una intersección, en forma eficiente y segura. La tarea de conducir será el efecto de la combinación entre geometría, señalización y demarcaciones, y prioridades claras que se le presentan al conductor. Aun cuando el conductor cometa un error, el diseño debe permitirle corregirlo, sin que se produzca el accidente, o minimizar su gravedad si este ocurre.

El diseño de carreteras comprende el dimensionamiento de los elementos que las comprenden como curvas verticales y horizontales, ancho de carriles, secciones transversales, distancias e intersecciones. Las características del conductor, peatón, vehículos y superficie sirven de base para la determinación de

las dimensiones físicas de los elementos citados anteriormente.

2 Parámetros de diseño geométrico

La importancia de tomar en cuenta la seguridad vial en la etapa de diseño está en la gran cantidad de accidentes que se ha comprobado ocurren por errores en cálculos de curvas, inclinaciones y radios de carreteras, entre otros. El objetivo principal del diseño es proveer rutas que mantengan el flujo y que eviten accidentes.

El diseño vial se basa en estándares y normas que dependen de:

- La clasificación funcional de la carretera.
- El volumen predicho de tránsito y los tipos de vehículos que transitarán.
- La topografía del terreno.
- El nivel de servicio.
- La velocidad de diseño.

2.1 Velocidad de diseño

Los alineamientos dependen de la velocidad de diseño que se haya seleccionado. Uno de los aspectos más significativos en cuanto a alineamiento es que se debe procurar que sea consistente para evitar cambios repentinos y que los dos alineamientos (vertical y horizontal) se complementen y estén previamente coordinados.

La velocidad de un vehículos en una vía variará de acuerdo al tipo y condición del vehículo, las características del conductor, la geometría vial, la presencia de otros usuarios en la vía y los controles de velocidad.

En vías rurales con bajos flujos, los sucesivos elementos geométricos que se le presentan al conductor deben ser coherentes. Esta coherencia generalmente se logra con el concepto de velocidad de diseño. En la mayoría de los estándares actuales, las velocidades utilizadas para la estimación de parámetros de dise-

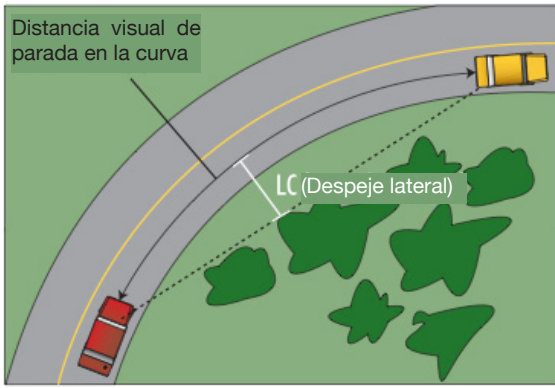


Figura II-9
Distancia de visibilidad de parada a lo largo de una curva horizontal y su relación con el despeje lateral

ño, como la distancia de visibilidad, están estrechamente relacionadas con las velocidades reales. Esto es crucial para un diseño seguro. Existen muchas interrelaciones para predecir las velocidades vehiculares de una geometría conocida. El percentil 85 de la velocidad de los vehículos livianos, V_{85} , es comúnmente usado como una base de diseño, esto es, la velocidad excedida por solo un 15% de los vehículos.

Los conductores conducirán a una velocidad que refleja las características geométricas predominantes de vía. La aplicación rígida de un conjunto de estándares de diseño relacionados con la velocidad no significará necesariamente una vía segura. Por ejemplo, si el terreno permite que una vía sea construida con una curvatura substancialmente mayor que el mínimo estándar requerido para la velocidad de diseño, el uso de estándares mínimos en cualquier lugar de la vía, aparecerá para el conductor como una reducción substancial del estándar, creándose un punto de concentración de accidentes en potencia en ese lugar.

Las interrelaciones entre la velocidad, la geometría y los accidentes son generalmente, poco comprendidas. Es muy difícil predecir los efectos de la interacción entre los distintos elementos de diseño, por ejemplo, un camino recto y angosto ¿es más o menos seguro que uno complicado pero ancho?

2.2 Distancia de visibilidad o visual

La distancia visual es la longitud del camino que el conductor puede observar en cualquier momento. La distancia visual disponible debe ser tal que cuando el conductor está viajando a una velocidad de diseño cuente con tiempo suficiente para desarrollar la maniobra necesaria. Existen tres tipos de distancia: la de frenado, de decisión y de maniobra.

2.3 Distancia visual de frenado

Se define como la distancia mínima que requiere el

conductor para detener el vehículo sin impactar un objeto. Es la suma de la distancia recorrida durante el tiempo de percepción y reacción y de la distancia que debe recorrer antes de frenar. Después de realizar los cálculos pertinentes, es recomendable que se viaje a una velocidad menor que la de distancia de paro calculada a menos que sea necesario que el conductor tenga que reaccionar más rápido de lo normal y dicha velocidad depende del tipo de maniobra requerida para evitar accidentes.

2.4 Distancia de decisión

Es la distancia que necesaria para que el conductor observe un obstáculo o señal inesperada y decida a qué velocidad debe ir y cuál trayectoria debe seguir. Además contempla la distancia que necesita el usuario del vehículo para realizar las maniobras necesarias específicamente con eficiencia y seguridad.

En el caso de las distancias de decisión también existen recomendaciones y cálculos previos pero se debe tener cuidado ya que es dependiente del tipo de carretera que se trate, la sección en cuestión y la topografía del terreno.

2.5 Distancia de adelantamiento

Es la distancia mínima que se requiere para que un

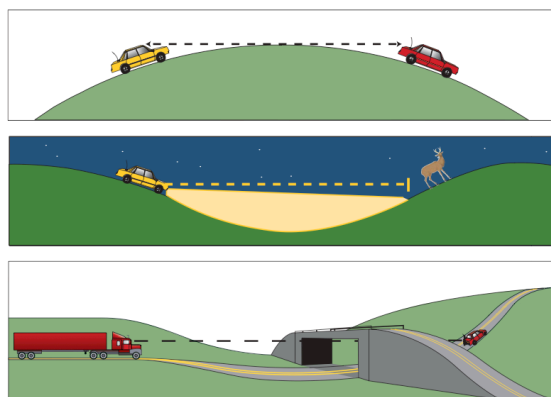
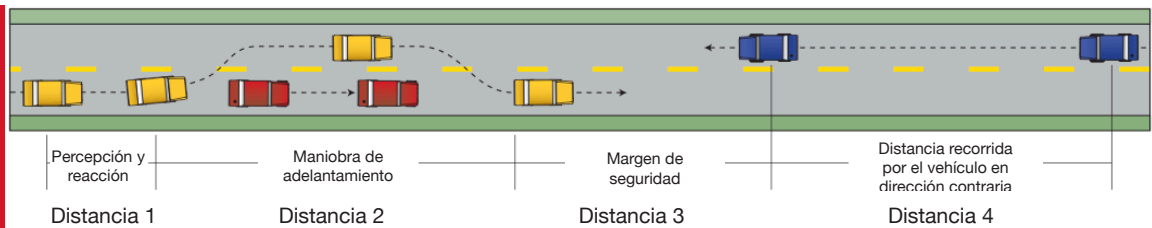


Figura II-10
Distancia de visibilidad y restricciones del alineamiento vertical

Figura II-11
Distancia de adelantamiento



conductor pueda terminar de adelantar uno o más vehículos son colisionar con algún vehículo que transite por el carril contrario. Es importante saber que los cálculos de la distancia visual de adelantamiento están hechos considerando que se adelanta solamente un vehículo por lo que las distancias mínimas calculadas no deben ser utilizadas como las adecuadas para adelantamientos múltiples. Existen varias condiciones que se utilizan al calcular la distancia visual de adelantamiento entre las que están:

- Existe un espacio entre el vehículo que rebasa y cualquier otro vehículo que circule en el carril contrario.
- El conductor utiliza algún tiempo desde que llega a la sección en la que se permite el rebase y decide hacerlo.
- La velocidad del vehículo que adelanta cuando está realizando la maniobra es de aproximadamente 16 km/h más que el vehículo que está siendo adelantado.
- El vehículo que está siendo adelantado viaja a velocidad constante y disminuye conforme el vehí-

culo que adelanta está realizando la maniobra.

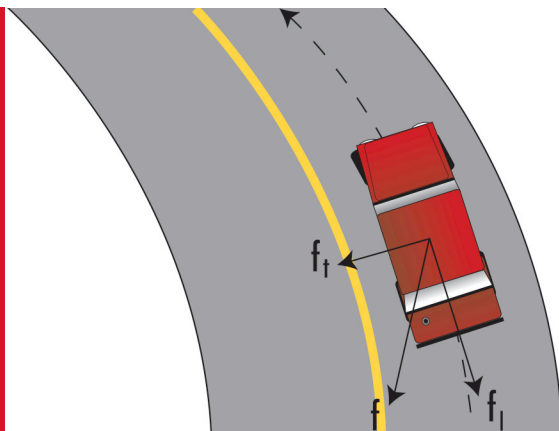
2.6 Fricción

La fricción puede ser definida como la resistencia al movimiento entre dos superficies en contacto. Su magnitud es expresada por el coeficiente de fricción, el cual fluctúa entre 0 (vía congelada) y un poco más de 1 (mejores condiciones). Se describe mediante dos fuerzas: una paralela a la superficie de contacto entre los dos cuerpos, que actúa en dirección opuesta a su movimiento (fuerza de fricción) y otra perpendicular a dicha superficie (fuerza normal). La superficie a la que se hace referencia en tema de transporte es la interacción entre la vía y la llanta.

La fricción se analiza mediante sus componentes longitudinal y transversal. El sentido longitudinal es el que lleva la misma dirección de movimiento del vehículo, así como el transversal mide la resistencia disponible en dirección perpendicular a la dirección de viaje del vehículo.

Un tema importante es la fricción transversal disponible en una curva, que tiene gran impacto en la velocidad a la que se puede circular. Los valores de fricción transversal de diseño son por lo general más pequeños que los valores de fricción que se logran en la realidad. Generalmente los valores de la fricción transversal de diseño van de 0.08 a 0.16 dependiendo de la de diseño como ya se mencionó. A la hora de diseñar, el coeficiente de fricción se escoge basándose en que se debe proveer una superficie capaz de mantener al vehículo en su lugar a pesar de condiciones especiales de clima, evitando cambios bruscos a la hora de transitar en una curva y brindando además de seguridad, eficiencia y confort.

La presencia de agua entre la superficie de rueda y las llantas disminuye la fricción entre las mismas, de aquí uno de los problemas más comunes derivados de la condición de la superficie: deficiencia de fricción que provoca que el conductor pierda el control del vehículo y éste “patine”, se salga de la vía o colisione. Esta condición sumada a otros problemas en la superficie tal como huecos o presencia de objetos o sustancias peligrosas agrava el problema y hace más probable las consecuencias fatales como los acciden-



NOTA:

- f** : coeficiente de fricción (total)
- f_l** : coeficiente de fricción longitudinal
- f_t** : coeficiente de fricción transversal

Figura II-12
Coeficiente de fricción y sus componentes longitudinal y transversal

tes viales.

Las medidas que normalmente se toman es revisar siempre la condición de la carretera por ejemplo existen algunos exámenes de fricción y también asegurarse de que esté libre de huecos y contaminantes que pongan en riesgo la seguridad de los que transitan.

3 Alineamiento horizontal

El alineamiento horizontal de una carretera comprende líneas rectas, curvas y en espiral. Cada una de estas curvas tiene un radio característico que cambia regularmente para permitir la unión entre distintos segmentos de carretera.

Según estudios realizados a nivel mundial entre un 25% y 30% de los accidentes ocurren en curvas y aproximadamente un 60% de estos eventos ocurren en curvas horizontales con un vehículo involucrado que se sale de la vía. Si la superficie de la curva se encuentra mojada la cantidad de accidentes ahí aumenta significativamente y los accidentes ocurren mayoritariamente en el inicio y final de la curva.

Algunas de las medidas que se han implementado con el fin de reducir los accidentes en curvas son:

- Alargar el radio de curvatura es por lo general la solución más planteada sin embargo es también muy costosa.
- Mejorando la señalización de advertencia de curvas, el delineamiento, la demarcación.
- Realizando modificaciones a los espaldones y lados de las curvas.

Las características más importantes de las curvas horizontales que se deben tomar en cuenta en diseño y análisis son:

- Radio de curvatura.
- Diferencial de velocidad.
- Condiciones de la superficie.
- Espaldones.
- Ancho de carril.
- Señalamiento.

- Distancia de visibilidad.
- Peralte.
- Vuelcos.
- Adelantamientos.

3.1 Radio de curvatura

Cuando los vehículos viajan por una curva, la fuerza centrífuga actúa de forma tal que los dirige hacia afuera de la curva, la fricción de las llantas del vehículo y la fuerza que produce el peralte contrarrestan a la fuerza centrífuga. Con el aumento de velocidad se aumenta la fuerza centrífuga, hasta un punto en el que la fricción y el peralte no son suficientes para mantener al vehículo en la vía y éste patina. Algunos vehículos se vuelcan bajo estas condiciones debido a su centro de gravedad.

En carreteras rurales la frecuencia de accidentes tiende a aumentar conforme disminuye el radio de curvatura. Dicha frecuencia no está influenciada solamente por las características propias de la curva como radio, ángulo de deflexión, fricción y peralte, sino también por las características de alineamiento de la carretera previas a la curva.

También es importante considerar el conjunto de cambios en dirección que crean expectativas en el conductor con respecto al alineamiento que vendrá a continuación, son más frecuentes los accidentes en curvas a las que les precede un segmento completamente horizontal que los que provienen de cambios en dirección que por decirlo así alistan al conductor ante el cambio que producirá una curva significativa.

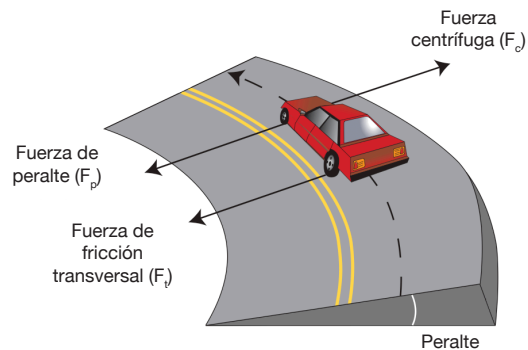


Figura II-13
Sistema de fuerzas en una curva horizontal

3.2 Ancho de la vía

Este aspecto es muy importante en el caso de vehículos pesados ya que las llantas de adelante siguen un radio de curvatura más grande que las de atrás por lo que se hace necesario ensanchar el carril en estas curvas y este cambio se hace basándose en el radio de curvatura, la velocidad de diseño, las características del vehículo y el volumen de tráfico esperado.

Los problemas que más se encuentran al no diseñar un ancho de vía adecuado son vehículos que derrapan y colisiones.

3.3 Espaldones

La importancia de un adecuado espacio de espaldones radica en que se debe tener un lugar libre de objetos en el caso de que haya un vehículo accidentado o que falló mecánicamente y pueda ser colocado en un lugar tal que no interrumpa el tráfico. La erosión de los espaldones es un problema común.

Los espaldones se deben mantener libres de objetos, plantas y otros obstáculos para que puedan ser utilizados en cualquier emergencia por los usuarios de la carretera.

4 Alineamiento vertical

El alineamiento vertical consta de secciones rectas conocidas como pendientes o tangentes que se unen mediante curvas verticales. El mayor impacto en el diseño de estas secciones lo tiene la topografía del terreno ya que el diseñador se debe adecuar a dichas condiciones o por el contrario modificar el terreno.

4.1 Pendientes ascendentes

La velocidad máxima de un vehículo depende del centro de masa del mismo. Para vehículos pequeños de pasajeros, por lo general el centro de masa es bastante pequeño y puede mantenerlo en la carretera a velocidad constante. Para vehículos más grande, pesados, algunas veces se hace más difícil que se mantengan en una pendiente ascendente y se “resbalan”. Se ha demostrado que los vehículos pesados disminuyen alrededor de un 7% la velocidad en pendientes ascendentes.

Se han establecido pendientes máximas con base en las características de operación del vehículo también dependiendo de la carretera. Es importante recalcar que las pendientes máximas no deben ser utilizadas

frecuentemente en especial cuando las pendientes son prolongadas y el tránsito incluye una gran cantidad de camiones.

La mayoría de los problemas en pendientes ascendentes son:

- Diferencias de velocidad entre un tramo y otro.
- Colisiones en la pendiente máxima o en el término de la pendiente.
- Maniobras inadecuadas de adelantamiento.
- Errores en los cálculos de velocidad máxima.

4.2 Pendientes descendentes

Los aspectos más importantes a considerar en pendientes descendentes son las distancias de frenado y la posibilidad de que se sobrecalienten los frenos de los vehículos.

La mayoría de problemas en pendientes descendentes son:

- Accidentes que involucran un vehículo pesado que pierde el control.
- Grandes diferencias de velocidad entre vehículos pesados y de pasajeros.
- Características inesperadas e inadecuadas de la superficie de ruedo.
- Exceso de velocidad.
- Pendientes que exceden los grados recomendados.
- Tiempo de frenado inadecuado.

4.3 Curvas verticales

Estas curvas se usan para que los cambios que se dan entre las tangentes se den gradualmente, se habla de longitud mínima de curva vertical y se utilizan las parábolas para los cálculos necesarios.

Para diseñar las curvas verticales se debe considerar que se proporcione al conductor una distancia de frenado adecuada así como comodidad y que sea estéticamente aceptable.

Las curvas verticales se clasifican en: curvas en cima

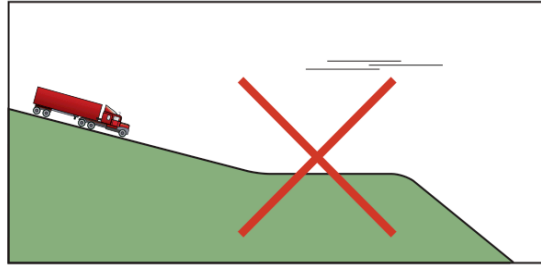
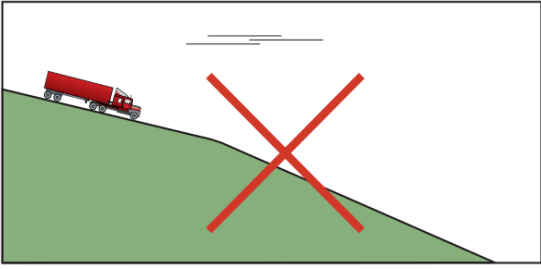


Figura II-14
Pendientes compuestas por tramos de distinta inclinación puede hacer que una pendiente de más adelante tome por sorpresa a los conductores

y en curvas en columpio. Para ambos tipos se deben hacer los cálculos respectivos basándose de igual manera en los criterios mencionados anteriormente. Además cada curva se caracteriza por tener un valor llamado K, conforme este valor disminuye, la distancia de visibilidad y la curva se hace más empinada. En el caso de curvas verticales la distancia de visibilidad debe ser igual o mayor que la distancia de frenado.

4.4 Carriles de ascenso

En tramos ascendentes de carreteras se recomienda añadir un carril adicional, a partir del momento en que la pendiente cause una reducción de la velocidad en 25 Km/h o más, en la operación de los camiones cargados. Se debe tener en cuenta el añadido del carril extra, siempre y cuando el volumen de tránsito y porcentaje de camiones justifiquen la inversión.

A pesar de que el principal impacto que producen los carriles de ascenso es incrementar la capacidad vial del tramo de ascendente de carretera, desde el punto de vista de la seguridad vial los carriles de ascenso también pueden producir un impacto positivo. En carreteras de montaña, y particularmente en aquellas con un alto volumen de tráfico pesado, es muy importante brindar a los usuarios de oportunidades de adelantamiento, ya que de lo contrario el transitar varios kilómetros en caravana puede llegar a desesperar a los conductores, e incentivarlos a realizar maniobras de adelantamiento en sitios con poca visibilidad y ocasionar mortales choques frontales.

La ampliación con un carril extra se debe realizar al lado derecho de la calzada existente, para el tránsito de vehículos de circulación lenta. No se debe modificar la continuidad y alineación de los carriles ya existentes. Además, siempre que se amplie una vía, añadiéndole un carril para circulación de tránsito lento, se debe diseñar con las mismas dimensiones de los carriles ya existentes.

En los tramos de carretera donde se construyan carriles de ascenso para tránsito lento, se debe prohibir

el adelantamiento de los vehículos que circulan en sentido contrario. Dichos tramos no se recomienda que sean menores de 250 m. de longitud. Deben evitarse tramos cortos de carretera entre tramos consecutivos que posean carriles de ascenso.

La transición antes de los carriles adicionales para circulación lenta, debe contar con una cuña que posea una longitud mínima de 70 m. Se deben extender una distancia igual a la longitud que requieren los vehículos de tránsito lento, para alcanzar el 85% de la velocidad de diseño de la vía.

A partir del momento en que desaparecen las condiciones que hicieron necesario el carril de ascenso, se debe adicionar una longitud de carril de ascenso dada por la siguiente expresión:

$$L=6(V+20)/5$$

Donde:

- L = Longitud de prolongación del carril (m).
- V = Velocidad de diseño (Km./h).

Al finalizar dicha longitud de extensión del carril de ascenso, se debe proveer una cuña de transición con una longitud mínima de 120 m.



Figura II-15
Ejemplo de carril de ascenso

5 Combinación curvas horizontales y curvas verticales

Las alineaciones horizontales y verticales no deben considerarse en forma independiente. Estas son complementarias entre sí, y un diseño deficiente puede confundir al conductor y conducir a situaciones potencialmente peligrosas. Una vez construida la vía, resulta extremadamente difícil y costoso corregir diferencias en la alineación. La evidencia sugiere que los ahorros iniciales en los costos desaparecen con las pérdidas económicas posteriores por los accidentes y demoras.

Una mala alineación entre los trazados verticales y horizontales puede provocar efectos visuales, los cuales contribuyen a causar accidentes y dañar la apariencia de la vía.

Una apariencia malinterpretada por el conductor se produce cuando aparecen curvas horizontales y verticales de diferente largo en el mismo lugar. Por ejemplo, un conductor que elija su velocidad de aproximación y ubicación lateral a la espera de una sola curva vertical de cima, puede ser sorprendido por la posterior aparición de una curva corta horizontal dentro de la curva vertical. Estas situaciones son sumamente peligrosas.

La presentación de información engañosa para el conductor puede evitarse haciendo coincidentes todos los puntos donde cambian las curvas horizontales y verticales. Donde esto no sea posible y las curvas no puedan separarse por completo, las curvas verticales deben estar completamente dentro de las curvas horizontales o completamente fuera de ellas. Además, las curvas horizontales y verticales deben ser del mismo largo y el encadenamiento de sus centros debe coincidir.

Un diseño lógico es un arreglo intermedio entre la alineación, que ofrece lo máximo en cuanto a seguridad, la capacidad, la facilidad y uniformidad de operación, y una apariencia agradable, dentro de los límites prácticos del terreno y del área que atraviesan.

- No se debe introducir una curvatura horizontal cerrada, ni en la cresta de una pronunciada curva vertical de cima, ni cerca de ella, ya que, especialmente de noche, los conductores no podrán percibir los cambios horizontales en la alineación.
- No se debe introducir una curvatura horizontal cerrada ni en el punto más bajo de una pronunciada curva vertical combada, ni cerca de él, ya que

acorta el campo visual del camino hacia adelante

- Es justificado el gasto de aumentar el radio de las curvas horizontales al final de una bajada pronunciada para ayudar a vehículos fuera de control. Las medidas alternativas incluyen pistas de escape en donde los vehículos que viajan a una velocidad demasiado alta para doblar pueden detenerse de manera segura.
- En lugares donde puede acumularse nieve o arena, el diseño debe considerar qué características reducen la probabilidad y cantidad de materiales que puedan depositarse en la vía, por ejemplo se deben evitar los cortes laterales de baja profundidad.
- En intercambios e intersecciones donde la distancia de visibilidad para ambas vías es importante, la alineación horizontal y el perfil deben ser lo más plano posible. Además, mientras se pueda, deben proporcionarse distancias visuales muy por encima de lo mínimo.
- En vías de dos pistas, donde es probable que existan combinaciones de curvas, deben proveerse secciones rectas con buena distancia de visibilidad de paso para dar la oportunidad de adelantamientos seguros.

6 Diseño de los márgenes de una carretera

6.1 Antecedentes

El diseño de los márgenes de una carretera, como un componente del diseño integral de una carretera, es un concepto relativamente reciente, y forma parte del concepto general conocido como “carreteras que perdonan” (“Forgiving Highways”). La mayoría de los componentes de diseño de una vía fueron establecidos a finales de los años 40 y en los años 50. Estos componentes incluyen el alineamiento horizontal, el alineamiento vertical, el diseño hidráulico, la distancia de visibilidad, entre otros.

El concepto básico de diseño de una carretera se ha mantenido por décadas. El diseño de seguridad vial de los márgenes de carreteras no comenzó sino hasta finales de los años 60, después de muchas discusiones, y fue en la década de los años 70 cuando este tipo de diseño se incorporó en los proyectos de carreteras a nivel mundial. En Costa Rica es hasta el año 2009

que el ingeniero y profesor de la Universidad de Costa Rica, Germán Valverde González, que inicia la elaboración de un manual técnico de análisis y diseño de márgenes de carreteras, que incorpora en esta guía el estado del arte sobre esta materia, y precisamente se adjunta como Anexo el borrador; en su versión actual, el borrador del manual titulado “Manual SCV: Guía para el Análisis y Diseño de Márgenes de Carreteras de Costa Rica”, del ingeniero Valverde. Se aclara que el documento en mención está aún en proceso de revisión, y aún no ha sido editado en su versión definitiva.

6.2 El concepto de carreteras que perdonan

Existen muchas razones por la cuales un vehículo se sale de la vía y sufre un accidente en el margen de la carretera, que incluyen:

- fatiga o inatención del conductor
- exceso de velocidad
- conducir bajo los efectos de drogas o alcohol
- evitar un choque
- condiciones de la superficie de ruedo como lluvia, presencia de materiales sueltos como grava, aceite, entre otros
- falla mecánica del vehículo
- pobre visibilidad

Independientemente de la causa por la cual un vehículo se sale de la vía, un margen de carretera libre de obstáculos fijos y taludes con pendientes suaves dan la oportunidad al conductor de reconducir su vehículo de vuelta a su carril de circulación. El concepto de “carreteras que perdonan” consiste en, permitir a los vehículos errantes abandonar involuntariamente la vía y, encontrarse con un margen de carretera cuyo diseño reduzca las consecuencias del accidente.

El concepto de “carretera que perdonan” ha sido refinado al punto de que el diseño de los márgenes de carreteras, en muchos países, ha sido incorporado como parte integral de los criterios de diseño de la infraestructura vial. Las opciones de diseño para reducir obstáculos y otros potenciales peligros en los márgenes de una carretera son, en orden de preferencia, los siguientes:

- remover o eliminar el obstáculo o peligro

- rediseñar o modificar el obstáculo para que sea traspasable de forma segura
- relocalizar el obstáculo a un sitio donde sea menos probable colisionar contra él.
- reducir la severidad de un potencial impacto usando un dispositivo colapsable apropiado
- proteger del obstáculo mediante un sistema de contención vial (como una barrera de seguridad o un amortiguador de impactos, entre otros) diseñada para contener y redireccionar a los vehículos.
- delinear o demarcar el obstáculo en caso de que las opciones anteriores no sean factibles o apropiadas.

6.3 Los sistemas de contención vehicular

Un 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.

Clasificación de los sistemas según su función y ubicación:

Barrera 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.

Barreras de seguridad especiales:

- Sistemas de valor estético: se utilizan en parques nacionales y zonas protegidas para realzar la belleza del paisaje.
- Sistemas de contención para motociclistas: son sistemas de seguridad que se diseñan para evitar que los motociclistas sufran lesiones graves si pierden el control y colisionan contra la barrera de seguridad.
- Sistemas para ciclistas y peatones: se utilizan en puentes peatonales o ciclovías.

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 resultan elementos más agresivos para los usuarios de las vías.

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: una sección de barrera cuya rigidez aumenta gradualmente para unir un sistema flexible o semi-rígido 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.

6.4 El Manual SCV

El “Manual SCV: Guía para el Análisis y Diseño de Márgenes de Carreteras de Costa Rica” recopila los criterios de diseño que rigen para las barreras de seguridad, los terminales de barrera y las transiciones.

Los criterios establecidos en esta guía son aplicables a proyectos nuevos de construcción o proyectos de conservación, rehabilitación y reconstrucción de carreteras que incluyan la intervención de los márgenes de las carreteras.

Esta guía establece como referencia para el diseño los niveles de contención que define la normativa EN 1317, y 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, el Manual SCV define las equivalencias entre los niveles de prueba de ambas normativas de ensayo.

El procedimiento de análisis y diseño del Manual SCV está orientado a determinar si el margen de una vía en una determinada sección presenta condiciones tales que las consecuencias de un accidente por salida de la vía no sean graves. Para que esta condición se cumpla es necesario que el margen esté libre de obstáculos potencialmente peligrosos y que el terreno posea una sección transversal relativamente plana.

La primer etapa consiste en determinar si hay disponible una zona libre de potenciales peligros en el margen de la carretera, para lo cual se debe:

- Realizar un inventario de los elementos que se ubican en los márgenes de la vía, medir sus dimensiones y localización respecto a los carriles de circulación de la carretera y establecer cuáles podrían ser potencialmente peligrosos (para los usuarios de la vía o terceros) debido a sus dimensiones y características.
- Medir anchos y pendientes del terreno en el margen de la carretera.
- Establecer la zona libre disponible.
- Calcular la zona libre necesaria para cada sección de la vía.
- Si la zona libre disponible es mayor o igual a la zona libre necesaria, el margen de la carretera se considera seguro y no es necesario implementar ninguna medida.

De ser necesario instalar un sistema de contención vehicular, el procedimiento de análisis y diseño permite establecer el nivel de contención necesario del sistema, así como diseñar el sistema, es decir, establecer los parámetros de disposición del sistema (longitud, esvía, disposición transversal, etc.).

Parte IV

Etapa de Construcción

1 Introducción

Las obras de infraestructura vial tienen como objetivo promover la movilidad de la población por medio de vías adecuadas que el ingeniero y los planificadores del diseño deben construir con conocimiento suficiente para definir la estructura, los materiales y la planificación necesarios.

La construcción de carreteras es una de las obras de ingeniería que puede presentar más dificultades ya que las condiciones del terreno, la población a la que se dirige, las consecuencias directas e indirectas, entre otros factores, varían no solo de un proyecto a otro, sino de un metro cuadrado a otro en una misma carretera. Es por esto que se debe preparar y coordinar un plan bastante detallado de los trabajos que involucran la construcción de estas obras.

A la hora de realizar construcciones de mantenimiento en carreteras ya existentes, se involucran muchos elementos en los que se puede ver implicada la seguridad de los usuarios. El conductor que transita normalmente por una vía, llega a tener un conocimiento de la misma, tal que se habitúa a ella y no espera encontrarse con elementos ajenos a la misma.

En la tarea de la conducción, el conductor se dedica a realizar una serie de tareas que le permiten cumplir con su objetivo de transportarse. En primer lugar, debe enfocarse en operar el vehículo en que transita, coordinar de manera adecuada todos los dispositivos que este posee, de tal manera que se permita el correcto funcionamiento del vehículo. Además de esto, debe tener en cuenta las condiciones de la carretera y el medio circundante al vehículo, así como la ruta de navegación que debe seguir para cumplir su objetivo.

Otro elemento son las posibles distracciones presentes en el interior de la cabina del vehículo, atención hacia los acompañantes, ingreso de llamadas telefónicas, entre otros.

Cuando se combinan los elementos anteriores, se establece un nivel de complejidad que no se percibe por el conductor al realizar la tarea de la conducción, ya que este la realiza de manera automática de acuerdo a su experiencia. Sin embargo, si a pesar de los elementos mencionados, se suma el factor de la existencia de elementos no habituales en la vía, pue-

de surgir un accidente.

Es, por lo tanto, que a la hora de realizar una construcción en vías ya existentes, debe de ser prioridad en las responsabilidades del encargado del proyecto, proveer una guía en la conducción del usuario, mediante el señalamiento adecuado que le indique cómo debe conducirse a través de la zona en que se realicen los trabajos.

Aun así, luego de que se le indique al conductor cómo realizar su tarea en la zona de trabajos, se debe contar con una previsión de seguridad en el caso de que algún usuario no perciba el cambio en las condiciones de la vía que transita.

Los elementos que intervienen en la seguridad vial en etapas de construcción de carreteras, así como el señalamiento y la continuidad de los flujos vehiculares, deben ser diseñados previamente a la ejecución de la obra. El personal que se involucre como parte del señalamiento y guía para los conductores, debe poseer la capacitación necesaria para desempeñar su tarea de manera óptima.

2 El proceso constructivo de una carretera

2.1 Generalidades

Se llama calzada a la superficie construida sobre suelo o sobre una obra para la circulación de personas y vehículos. El objetivo de la calzada es hacer posible la circulación de un punto a otro, brindando a los vehículos una superficie confortable y segura.

Construir una calzada involucra el usar normas que satisfagan las necesidades y que brinden soluciones numéricas para el diseño respectivo. Se supone que esas soluciones corresponden a cargas y efectos que se saben producirán un impacto sobre la superficie.

2.2 Características fundamentales de las carreteras

Existen características fundamentales que debe tener una carretera como lo son:

- Debe construirse de la manera más económica y eficiente.
- Debe conservarse durante el mayor tiempo posible sin necesidad de reparaciones.
- La seguridad del conductor se garantiza si puede frenar en cualquier momento manteniendo la adherencia entre las llantas y la calzada y si las señales a través del recorrido lo dirigen de manera segura, eficiente y por el camino correcto.
- La comodidad del usuario está ligada a la ausencia de imperfecciones que pueden ocasionar cambios de distinta índole durante el recorrido.
- Se debe deformar muy lentamente bajo el efecto de las cargas.
- El trazado geométrico debe cumplir con los parámetros establecidos y las normas.
- Las características de la carretera no deben desligarse de las características de los vehículos.

3 Control de tránsito en sitios de obra

3.1 Introducción

En zonas en las que se realizan trabajos de construcción o mantenimiento, la regulación del tránsito es parte esencial de las obras a realizar.

Es muy importante el control temporal de tránsito en las carreteras cuando se suspende el funcionamiento normal de la misma, ya que este provee la continuidad del movimiento de los vehículos, peatones y otros usuarios del sistema, así como la operación del tránsito y el acceso a las propiedades.

La función primordial del control temporal de tránsito es proveer seguridad y un efectivo movimiento de los usuarios de la vía a través o alrededor de zonas en las que se realizan trabajos de mantenimiento o construcción. Igualmente importante es la seguridad de los trabajadores que operan en el lugar. Debido a los cambios constantes en las condiciones de las zonas en que se realizan los trabajos, y a que estos cambios son inesperados por los usuarios de la vía, existe un elevado grado de vulnerabilidad para los trabajadores.

Mejoras en el desempeño de los usuarios de carreteras deben ser realizadas mediante programas que

abran la naturaleza de los trabajos, el tiempo de duración de su ejecución, efectos anticipados de los usuarios del sistema y posibles rutas alternas y modos de viaje. Dichos programas han resultado en una reducción significativa en el número de usuarios que transitan a través de las zonas de trabajos de construcción, con lo cual una posible reducción en el número de conflictos.

Mejoras operativas pueden ser realizadas mediante la utilización de Sistemas Inteligentes de Transporte en zonas de trabajo. El uso de esta tecnología, como lo son cámaras portátiles, asesoría de carreteras por medio de radio, límites variables de velocidad, rampas, información de viaje, entre otros, está asociado a una creciente tendencia a la seguridad, tanto para los trabajadores como para los usuarios; así como a asegurar un flujo del tráfico más eficiente. La aplicación de Sistemas Inteligentes de Transporte en zonas de trabajo ha demostrado su efectividad en proveer monitoreo del tráfico, así como manejo de datos recolectados e información de viajes.

Los planes y dispositivos de control temporal del tránsito deben ser responsabilidad de autoridades de un órgano público, que posea jurisdicción en la guía de los usuarios del sistema vial. Debe existir un adecuado reglamento o estatutos para la implementación de las regulaciones necesarias para los usuarios, controles de estacionamiento, zonificación por velocidades, y el manejo de los incidentes de tráfico. Dichos estatutos deben proveer la suficiente flexibilidad en la aplicación del control temporal del tránsito, para estar anuentes a las cambiantes condiciones en las zonas de trabajo.

El planeamiento para control temporal de tránsito debe iniciar en la etapa de planificación y continuar a través de las etapas de diseño, construcción y operación.

A pesar de que se asume que los usuarios deben tener precaución a la hora de hacer uso del sistema, es necesario especial cuidado en la aplicación de las técnicas del control temporal de tránsito. Durante las actividades de trabajos en carretera, en las que se aplica el control temporal de tránsito, se recomienda que vehículos comerciales sigan distintas rutas que los vehículos de pasajeros, debido al peso, visibilidad o restricciones geométricas. También los vehículos que cargan materiales peligrosos deben seguir rutas diferentes que el resto de los vehículos.

La seguridad de los usuarios de la vía y de los trabajadores, y la accesibilidad en las zonas de control temporal de tránsito deben ser un elemento integral y

de prioridad en cada proyecto desde la planificación hasta el diseño y construcción. De forma similar, el trabajo de mantenimiento debe ser planeado y realizado de manera que considere la seguridad y accesibilidad a todos los motociclistas, ciclistas, peatones (incluyendo discapacitados) y trabajadores.

Si la zona de control temporal de tránsito incluye un paso a desnivel, debe tomar lugar la coordinación con la compañía de ferrocarriles o agencia de tránsito correspondiente.

3.2 Zonas de control temporal del tránsito

Una zona de control temporal de tránsito es un área en la carretera donde las condiciones para los usuarios de la vía han sido modificadas debido a una zona de trabajo, un área de incidente o un evento especial, demarcada por el uso de dispositivos de control temporal de tránsito, oficiales uniformados o personal autorizado.

Una zona de trabajo es un área en la carretera en la cual hay construcción, trabajos de mantenimiento o actividades de trabajo en general. Es típicamente demarcada por señales, dispositivos de canalización, barreras, marcas en el pavimento o vehículos de trabajo. Se extiende desde la primera señal de prevención, o luces estroboscópicas, oscilantes, rotativas o de alta intensidad en un vehículo de trabajo, hasta la señal de final de trabajos en la vía o el último dispositivo de control temporal de tránsito.

Un área de incidente es un área en la carretera donde se imponen controles temporales de tránsito por oficiales autorizados en respuesta a un incidente de tránsito. Se extiende desde el primer dispositivo de precaución hasta el último dispositivo de control temporal de tránsito o el punto en que los usuarios de la vía regresan a la línea de alineamiento original.

Un evento especial previamente planeado a menudo crea la necesidad de establecer patrones alterados de tráfico para manejar el incremento de volumen de tráfico generado debido al evento. El tamaño de la zona de control temporal de tránsito asociada a un evento especial puede ser pequeño, a como puede extenderse a cerrar una calle por un festival, o hasta a través de todo un municipio por eventos aun mayores. La duración de la zona de control temporal de tránsito la determina la duración del evento mismo.

Una zona de control temporal de tránsito está dividida en cuatro secciones:

- Área de previo aviso: sección de la carretera en la que al usuario de la vía se le informa acerca de la zona de trabajo próxima, o área de incidente.
- Área de transición: sección en la carretera donde los usuarios son redireccionados fuera de su ruta normal. Usualmente éstas áreas involucran usos estratégicos de conos, señales portátiles, luces estroboscópicas, oscilantes, rotativas o de alta intensidad, o pizarras con flechas indicativas, como dispositivos de canalización, debido a lo poco práctico que resulta la canalización estacionaria en la redirección de la ruta normal.
- Área de actividad: es la zona en la carretera donde toman lugar las actividades de trabajo. La comprenden el espacio de trabajo, el espacio del tráfico y el espaciamiento necesario para separar y evitar accidentes entre el tráfico y los trabajadores.
- Área de terminación: sección en la carretera en la cual los usuarios de la vía retornan a su camino o ruta de conducción normal. Se extiende desde el final del área de trabajo hasta el último dispositivo de control temporal de tránsito indicativo del final de la zona de trabajo en la vía.

3.3 Planes de manejo de tránsito

Un plan de control temporal de tránsito describe medidas para el control temporal de tránsito destinadas a ser usadas para dirigir de forma segura a los usuarios de las vías a través de zonas de trabajo o un área de incidentes. Los planes de manejo de tránsito juegan un papel vital en proveer continuidad al flujo efectivo de usuarios de la vía cuando una zona de trabajo, un incidente u otro evento interrumpe temporalmente el flujo normal. Importantes provisiones auxiliares que no son convenientemente especificadas en los planes del proyecto, pueden ser incorporadas como Provisiones Especiales dentro de los planes



Figura III-1
Zona de control temporal del tránsito en una carretera de Estados Unidos

de control temporal de tránsito.

Los planes de control temporal de tránsito varían desde ser muy detallados hasta ser una simple referencia a típicas ilustraciones estandarizadas de manuales, o dibujos específicos contenidos en los documentos del contrato. El grado de detalle de los mismos depende enteramente de la naturaleza y complejidad de la situación.

Los planes de control temporal de tránsito deben ser preparados por personas con conocimiento acerca de los principios fundamentales del control temporal de tránsito y de las actividades del trabajo a realizar. El diseño, selección y ubicación de los dispositivos para un plan de control temporal de tránsito deben estar basados en criterios técnicos. Se debe coordinar entre proyectos adyacentes o traslapados, para verificar la compatibilidad del control del tráfico entre los mismos.

Los planes de control de tráfico deben ser elaborados para todas las construcciones en carretera, operaciones de mantenimiento y manejo de incidentes, incluyendo mantenimiento de menor importancia y trabajos generales destinados a ocupar la zona de control temporal de tránsito. De igual manera, debe ser tomada en cuenta la planificación para todo tipo de usuarios.

En el proceso de control temporal de tránsito deben ser incorporadas las provisiones necesarias para asegurar la efectiva continuidad de la superficie de circulación peatonal, así como para asegurar que esta sea accesible a personas con discapacidades. En las zonas en que las rutas peatonales existentes han sido bloqueadas o destruidas, debe proveerse información de las rutas alternas para uso de los peatones con discapacidades, particularmente los que poseen discapacidades visuales.

Acceso a paradas temporales de buses, pasos a través de intersecciones con señales accesibles para peatones, y otros elementos de rutas deben ser considerados en los lugares temporales habilitados para peatones. Además deben proveerse dispositivos de canalización y barreras para personas con discapacidades visuales.

Las provisiones para la efectiva continuidad del servicio de tránsito deben ser incorporadas en el proceso de planificación del control temporal de tránsito, puesto que a menudo los autobuses de servicio público no pueden ser desviados de la misma manera que otros vehículos (particularmente para proyectos de corta duración). Deben incluirse también provisiones

para la efectiva continuidad del servicio de ferrocarril y accesos aceptables a propietarios contiguos a las zonas de trabajos, tanto dueños de las propiedades como negociantes.

Límites de velocidad reducidos se deben utilizar únicamente en porciones específicas de la zona de control temporal de tránsito, donde existan las condiciones y rasgos restrictivos. Sin embargo, cambios frecuentes en los límites de velocidad deben ser evitados. Un plan de control temporal de tránsito debe estar diseñado de tal manera que los vehículos puedan circular a través de la zona de trabajos con una restricción del límite de velocidad no mayor a 10 mph (unos 16 km/h). Una reducción mayor a dicho valor en el límite de velocidad puede ser utilizada solamente cuando se requiera, por las restricciones en las zonas de control temporal de tránsito. En las zonas en que se justifique esta reducción de velocidades, se deben proveer dispositivos de seguridad adicionales para los conductores.

La zonificación de reducción de velocidades debe ser evitada debido a que los conductores reducirán sus velocidades únicamente si claramente perciben la necesidad de hacerlo. Investigaciones han demostrado que una gran reducción en el límite de velocidad, alrededor de 30 mph (unos 50 km/h), aumenta significativamente el potencial de choques viales. Reducciones menores en el límite, un tanto mayores a 16 km/h causan pequeños cambios en la variación de velocidades y disminuyen el potencial de accidentes.

3.4 Dispositivos de control temporal del tránsito

Los dispositivos de control de tránsito se definen como todas aquellas señales, marcas, signos y otros dispositivos utilizados para regular, advertir o guiar a los usuarios de las vías, colocados sobre o adyacente a la calle, carretera, camino privado, vía para peatones o ciclovía por una autoridad de un organismo público u oficiales jurisdicionados en el tema. Las señales en la zona de control temporal de tránsito comunican mensajes generales y específicos por medio de palabras, símbolos y flechas, y tienen las mismas tres categorías como los tipos de señales para distintos usuarios de las vías: regulación, advertencia y guía.

El diseño y aplicación de los dispositivos de control temporal de tránsito usados en zonas de trabajos en carretera deben considerar las necesidades de todos los usuarios de la vía, ya sean motociclistas, ciclistas, peatones o conductores, incluyendo aquellos que poseen discapacidades.

En referencia a los colores que deben utilizarse, se debe utilizar el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito.

Todas las señales utilizadas en la noche deben ser retrorreflectivas, con superficies reflectivas o iluminadas, de manera que los conductores logren su identificación en todo tipo de condiciones. Deben estar hechas de materiales rígidos, y poseer iluminación interna o externa.

La altura mínima, medida verticalmente desde la parte inferior de la señal, hasta la superficie de pavimento, de las señales instaladas en vías rurales, debe ser de 1.5 m.

Se debe proveer el mantenimiento adecuado a los dispositivos temporales de tránsito, en cuanto a claridad, visibilidad y correcta posición. Si un dispositivo ha perdido significativamente su legibilidad, debe ser reemplazado.

Si una zona de control temporal de tránsito requiere de regulación distinta de la existente en la vía, los dispositivos de regulación permanentes deben ser removidos o cubiertos, y sustituidos por los dispositivos de apropiada regulación temporal.

3.5 Técnicas de control

Es deseable que el diseño de la zona de control temporal de tránsito sea dimensionado y señalizado de tal forma que los usuarios puedan transitar a través de ella de forma ágil y segura sin necesidad de la guía o control de personal, sin embargo, en algunas situaciones esto no es posible y se hace necesario aplicar técnicas de control manuales.

La técnica de control mediante señales de mano tiene como función principal lograr que el movimiento, tanto de vehículos como de peatones, a través de las zonas de control temporal de tránsito, se realice de manera segura, y que a la vez sea eficiente y les brinde protección a los trabajadores y equipo utilizado en la construcción.

Los abanderados que realizan el control mediante señales de mano, deben poseer la capacitación necesaria para realizar el trabajo, puesto que son los responsables de proveer la seguridad vial necesaria, tanto para los trabajadores, como para los usuarios. Deben contar con el vestuario adecuado que los provea de alta visibilidad, con materiales retrorreflectivos de colores adecuados para su función de día o de noche.

Primordialmente, se deben utilizarse dispositivos de señales de mano con indicaciones de “ALTO” o “DESPACIO”. El uso de banderas se debe limitar solamente a situaciones de emergencia, o a sitios donde tanto el volumen de tránsito como la velocidad sean bajos.

Los puntos en que se utilice el abanderamiento deben localizarse con suficiente distancia de anticipación a las áreas de trabajo, tal que el tránsito posea de suficiente distancia de detención antes de su ingreso al espacio de trabajo.

Parte V

Etapa de Operación

1 Introducción

Toda obra de infraestructura vial que se realice, desde sus etapas iniciales de planificación y diseño, debe estar conformada para cumplir con ciertas especificaciones que la categorizan como una vía que cumple con brindar la seguridad vial necesaria para cada uno de los usuarios que la transiten, ya sea peatones o conductores. Además, en la etapa de construcción se deben brindar los lineamientos necesarios para que los usuarios perciban una continuidad en el servicio, tal que no les afecte en su tarea de conducción diaria.

Los parámetros e indicaciones contenidos en este manual deben ser revisados e incluidos en cada una de las etapas del proyecto. Al hacerlo, se estará asegurando que las condiciones en que operará la vía serán óptimas.

A pesar de lo anterior, aunque el funcionamiento de la vía sea tal que se le proporcione al usuario la seguridad vial necesaria para que utilice el sistema de manera óptima, y que no tenga contratiempos con respecto a su seguridad, existen factores aleatorios que no pueden ser tomados en cuenta a la hora de llevar a cabo la construcción del proyecto, y que pueden incurrir en errores fatales que involucren potencial accidentalidad.

En este capítulo se examinan las inspecciones que se deben realizar en la vía, luego de puesta en operación, así como el seguimiento que se les debe dar a las mismas. Por otro lado, se mencionan ciertas pautas a seguir, con respecto a los planes de manejo de accidentes de tránsito.

2 Inspecciones de seguridad vial

Se refiere con inspecciones de seguridad vial a la revisión de las carreteras, en campo, luego de que estas entran en servicio. El objetivo a cumplir con las inspecciones de seguridad vial, corresponde a la identificación de los aspectos peligrosos, deficiencias o carencias que posea la carretera, que sean susceptibles a desencadenar un accidente.

Se plantea como un objetivo primordial de las inspecciones de seguridad vial, la detección de problemas de seguridad en los puntos que representan potencial

peligro para los usuarios de la carretera, para que sean adoptadas las medidas correctas que permitan eliminar esos problemas.

Se suele inspeccionar, como parte de las inspecciones de seguridad vial, los siguientes aspectos: funcionalidad de la carretera, trazado, sección transversal, intersecciones, señalización, iluminación, márgenes, entorno y elementos de seguridad pasiva.

Luego de la inspección de dichos elementos, se continúa con la elaboración de trabajo preliminar de oficina, en el que se analizan datos de tráfico, accidentalidad, estadísticas disponibles y características de la vía.

A continuación se efectúa un trabajo de campo, en el que se comprueban los datos computados hasta el momento, se realizan inspecciones diarias y nocturnas, con recorrido de las vías a distintas velocidades, se analizan independientemente intersecciones, conexiones, enlaces y otros puntos de interés.

En la siguiente fase del proceso, se deben identificar los escenarios de potencial accidentalidad, así como elaborar una lista de los problemas de seguridad que se identificaron, con sus respectivas recomendaciones para brindarles solución.

Se deben establecer prioridades, luego de analizar los riesgos que presenta cada problemática, y con esto elaborar un informe de inspección, en el que se describe cada uno de los problemas encontrados en términos del riesgo de accidente que involucren, y sus respectivas recomendaciones o medidas a implementar para solventarlos.

Es importante, al finalizar la inspección de seguridad vial, que se ejecuten las medidas propuestas, y más aún, que se les dé un seguimiento adecuado a lo largo del tiempo, y así fiscalizar si están cumpliendo la función para la cual fueron implementadas.

3 Planes de manejo de accidentes de tránsito

Los accidentes de tránsito representan una de las mayores causas de muerte a nivel mundial, lo que genera una enorme carga económica y social. Es por esto,

que su impacto debe ser minimizado con medidas de prevención o guías prácticas para el manejo de los pacientes involucrados, ya sea en el sitio de ocurrencia del evento, o en sitios de atención de salud.

A la hora de un accidente de tránsito, las autoridades deben organizarse para contar con planes integrales de manejo del tránsito que, de la manera más eficientemente posible, resuelvan los conflictos generados por el accidente.

Se debe tener en cuenta los radios de acción de los centros médicos que se encuentren cercanos a la vía en cuestión, y con esto determinar las rutas óptimas para el traslado de pacientes a la hora de un siniestro.

Los vehículos de emergencia que se utilicen en la tarea de asistir involucrados en accidentes de tránsito, como lo son ambulancias, patrullas policiales, camiones de bomberos, entre otros, deben poseer información exacta, de primera mano, de dichas rutas, que conlleve a minimizar los tiempos de llegada desde su origen hasta el lugar del accidente.

Un ordenamiento de la red en función de minimizar los efectos de los accidentes de tránsito, contemplando los sitios de atención de salud cercanos a la vía en cuestión, mitigará el impacto económico y social provocado por los mismos, de manera significativa.

Anexo

Manual SCV

Resumen

En Costa Rica todavía no se dispone de una guía que oriente a los proyectistas y constructores en el diseño de los márgenes de una carretera, así como en la selección y colocación de sistemas de contención vehicular, los cuales incluyen barreras de seguridad, pretilas de puentes, atenuadores de impacto, terminales de barreras y transiciones entre sistemas.

Actualmente la normativa vigente es la disposición MN-06-2006 “Barrera de Acero Tipo Viga Flexible (Flex Beam)”, la cual reglamenta la selección de materiales e instalación de los guardavías en nuestro país. Ésta se enfoca en normalizar los aspectos técnicos para el suministro e instalación de barreras de acero tipo viga flexible, dejando por fuera otros tipos de sistemas de contención vehicular disponibles en el mercado.

Una revisión del instructivo permitió comprobar que éste es un resumen de algunos criterios expuestos en otros manuales extranjeros y no hace referencia a la evaluación y tratamiento de los obstáculos en los márgenes de la vía, el dimensionamiento de la zona libre y los criterios de selección del tipo de sistema así como del nivel de contención y deflexión de la barrera, en función de parámetros importantes de la vía, el flujo vehicular y la severidad de un potencial accidente.

Este artículo presenta el análisis y adaptación de criterios internacionales propuestos para el diseño de seguridad vial de márgenes de Costa Rica, que se incluyen en la primera versión del “Manual SCV: Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras de Costa Rica”. Este manual, elaborado por el autor, pretende ser una guía práctica oficial para la identificación de obstáculos, el tratamiento de los peligros y la selección y disposición de los sistemas de contención vial; la cual se ajuste a las necesidades de seguridad presentes actualmente en las carreteras costarricenses.

1. Antecedentes

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

Por esta razón, mejorar y acondicionar los márgenes de la red vial es una medida muy efectiva en la reducción de las víctimas de los accidentes de tránsito. Para realizar esta labor adecuadamente es necesario contar con criterios técnicos fundamentados y uniformes y por ello nace la iniciativa del autor de desarrollar un manual técnico para el análisis de márgenes de carretera y la disposición de sistemas de contención vehicular para Costa Rica.

El diseño de los márgenes de una carretera, como un componente del diseño integral de una carretera, es un concepto relativamente reciente, y forma parte del concepto general conocido como “carreteras que perdonan” (“Forgiving Highways”). La mayoría de los componentes de diseño de una vía fueron establecidos a finales de los años 40 y en los años 50. Estos componentes incluyen el alineamiento horizontal, el alineamiento vertical, el diseño hidráulico, la distancia de visibilidad, entre otros.

El diseño de seguridad vial de los márgenes de carreteras no comenzó sino hasta finales de los años 60, después de muchas discusiones, y fue en la década de los años 70 cuando este tipo de diseño se incorporó en los proyectos de carreteras a nivel mundial.

En Costa Rica es hasta el año 2007 que el ingeniero y profesor de la Universidad de Costa Rica, Germán Valverde González, inicia la elaboración de un manual técnico de análisis y diseño de márgenes de carreteras, que incorpora en esta guía el estado del arte sobre esta materia.

La elaboración de la guía inicia en el 2007 con la propuesta del Trabajo Final de Graduación titulado “Revisión de criterios para la disposición de los sistemas de contención vehicular en Costa Rica”, de la entonces estudiante Ing. Ruth Quesada, trabajo de investigación realizado bajo la dirección del Ing. Valverde (**Quesada, R., 2008**).

Posteriormente entre el 2008 y el 2009, se elabora un estudio de validación de los criterios y recomendaciones expuestos por **Quesada (2009)**, que consistió en analizar las condiciones de seguridad existentes en los márgenes de la Carretera Florencio del Castillo, a la luz de los criterios técnicos propuestos por el Ing. Valverde (**Valverde, G., 2009**). Este trabajo fue financiado por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme) de la Universidad de Costa Rica con los fondos generados por el I-CISEV. En la ejecución de

este trabajo participaron funcionarios de la Dirección General de Ingeniería de Tránsito (DGIT) y del Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) de Costa Rica.

Para finalizar la elaboración del manual, en julio del 2010 el Ing. Valverde inscribe ante la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, el proyecto de investigación denominado “Infraestructura y Seguridad Vial”, y es así como se elabora la primera versión del “Manual SCV: Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras de Costa Rica” (**Valverde, G., 2010**) — **Manual SCV** de ahora en adelante —.

Para elaborar este documento se hizo una revisión de diversos manuales técnicos internacionales, de los cuales se adoptó aquellas metodologías que mejor se adaptan a las condiciones de Costa Rica, o aquellas que se consideraron con mayor nivel de desarrollo técnico. Como parte de la investigación se adaptaron las metodologías y criterios adoptados. Así por ejemplo, los criterios para determinar si la sección transversal de una cuneta se considera traspasable, son una adaptación para Costa Rica de los criterios recomendados en **AASHTO (2002)**; los criterios para establecer el nivel de contención de las barreras de seguridad son una combinación de las metodologías de España, Italia y Alemania, con una adaptación a las condiciones de tráfico y velocidad de las vías nacionales; mientras que la metodología de diseño de rampas de escape han sido adaptadas de la norma mexicana **SCT (2007)**.

2. El concepto de carreteras que perdonan

Existen muchas razones por la cuales un vehículo se sale de la vía y sufre un accidente en el margen de la carretera, que incluyen: fatiga o inatención del conductor, exceso de velocidad, evitar un obstáculo en la vía, presencia de agua en la carretera, falla mecánica del vehículo, pobre visibilidad, entre otros.

Independientemente de la causa por la cual un vehículo se sale de la vía, si el margen de carretera está libre de obstáculos fijos y posee taludes con pendientes suaves, el conductor tendrá oportunidad de reconducir su vehículo de vuelta a su carril de circulación sin colisionar y sin sufrir daños.

El concepto de “carreteras que perdonan” consiste en, permitir a los vehículos errantes abandonar involuntariamente la vía y, encontrarse con un margen de carretera cuyo diseño reduzca las consecuencias del accidente.

3. Los accidentes por salida de la 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, pudiendo causar daños a los ocupantes del vehículo o a terceros.

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

Las estrategias para reducir los accidentes por salida de la vía se enfocan en alguno de los siguientes objetivos:

- Evitar que los vehículos salgan de la vía.
- Minimizar la probabilidad de que un vehículo colisione con un objeto fijo peligroso o se vuelque si desciende por un talud empinado.
- Reducir la severidad del accidente por medio de la instalación de dispositivos de seguridad.

Lo ideal es que el diseño de la vía se oriente a mantener el vehículo en el carril de circulación y proporcionar zonas seguras al margen de los carriles de circulación, donde el conductor pueda detenerse o reducir la velocidad y recuperar el control sin interceptar objetos o terceros vulnerables.

Si la zona al margen de la vía es un área plana, compactada y libre de objetos fijos, la probabilidad de que ocurra un accidente se minimiza, ya que en la mayoría de los casos el conductor es capaz de detener el vehículo o reconducirlo de manera segura.

Si un obstáculo o peligro no puede eliminarse, reubicarse o modificarse por razones técnicas, económicas o ambientales, se deben disponer sistemas de contención vehicular para reducir la severidad del accidente. El equipamiento vial como los postes y bases fusibles o quebradizas, las barreras de seguridad y sus terminales, los pretiles de puentes y los atenuadores de impacto son elementos que pretenden reducir la gravedad de las lesiones de los ocupantes del vehículo y las pérdidas materiales producto de la colisión, por lo tanto, se deben utilizar solamente si no es posible implementar ningún otro tratamiento, ya que los ocupantes del vehículo no están exentos de sufrir algún tipo de lesión o pérdidas materiales si colisionan contra el sistema.

4. Los sistemas de contención vehicular

Cuando no exista la posibilidad razonable, técnica o económica, de resolver las situaciones de riesgo a través de una intervención en el diseño; la eliminación, desplazamiento o modificación del obstáculo o la ampliación del espacio entre el borde exterior de la vía y el objeto de peligro; se deben proyectar, mediante normativas y recomendaciones específicas, todos los dispositivos de seguridad que se requieran para lograr el objetivo de prevenir y proteger a los usuarios de los peligros potenciales.

Los sistemas de contención vehicular son dispositivos que se instalan en los márgenes de una carretera, con la finalidad de retener y redireccionar los vehículos que se salen fuera de control de la vía, reduciendo los daños y lesiones, tanto para los ocupantes como para los otros usuarios de la carretera y personas u objetos situados en las cercanías.

La colisión con un sistema de contención de vehicular constituye un accidente sustitutivo del que tendría lugar en caso de no existir éste mecanismo, y de consecuencias más predecibles y menos graves; pero esto no significa que los ocupantes del vehículo estén exentos de riesgos.

El **Manual SCV** 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 es aquí utilizado como sinónimo de la selección del nivel de contención del sistema y la disposición de éste con respecto al obstáculo y la carretera.

Los criterios establecidos en esta guía son aplicables a proyectos nuevos de construcción o proyectos de conservación, rehabilitación y reconstrucción de carreteras que incluyan la intervención de los márgenes de las carreteras.

5. Ensayos de choque y el Manual SCV

5.1 Generalidades

Los ensayos de choque 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.

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.

Las normas de ensayo definen los siguientes parámetros para evaluar el comportamiento 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.

El nivel de contención es la energía cinética transversal que un sistema es capaz de retener de manera controlada, sin que el vehículo atravesase 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.

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.

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 1).

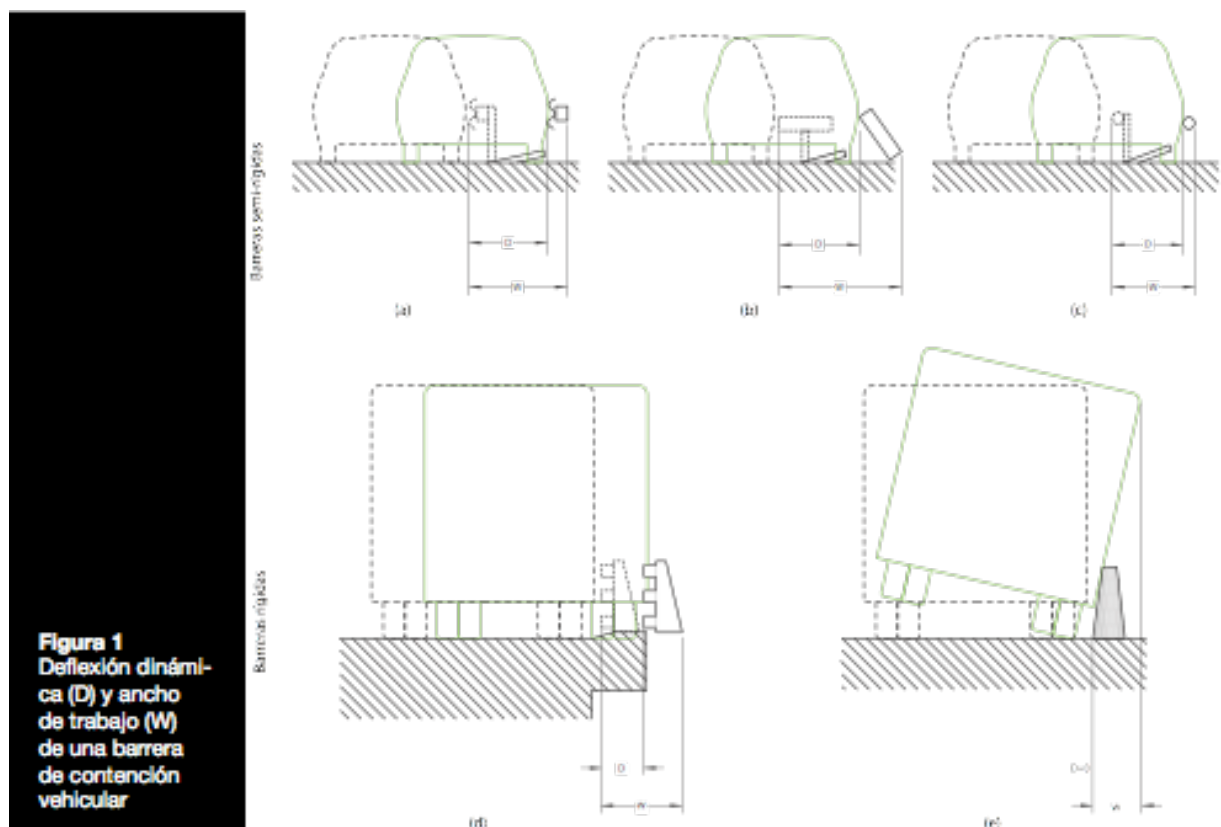


Figura 1
Deflexión dinámica (D) y ancho de trabajo (W) de una barrera de contención vehicular

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 lateral 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.

5.2 Comparación de las normas de ensayo y criterios adoptados por el Manual SCV

Existen diferencias importantes entre las características de los ensayos de la norma europea EN 1317 y la norma americana NCHRP Reporte 350, los cuales han sido analizados por **Valverde (2010)** y considerados en el **Manual SCV** para valorar el uso en Costa Rica de sistemas de contención ensayados bajo los criterios de ambas normativas.

Nivel de Contención

Los criterios de ensayo para barreras de seguridad que define la normativa europea EN 1317 se resumen en la Tabla 1, y la Tabla 2 muestra la clasificación que hace esta norma de las barreras de seguridad de acuerdo con los resultados de dichos ensayos.

| Ensayo | Velocidad de Impacto (Km/h) | Ángulo de Impacto (grados) | Masa del vehículo (Kg) | Tipo de vehículo |
|--------|-----------------------------|----------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| TB11 | 100 | 20 | 900 | automóvil |
| TB21 | 80 | 8 | 1300 | automóvil |
| TB22 | 80 | 15 | 1300 | automóvil |
| TB31 | 80 | 20 | 1500 | automóvil |
| TB32 | 100 | 20 | 1500 | automóvil |
| TB41 | 70 | 8 | 10000 | camión rígido de carga pesada |
| TB42 | 70 | 15 | 10000 | camión rígido de carga pesada |
| TB51 | 70 | 20 | 13000 | bus |
| TB61 | 80 | 20 | 16000 | camión rígido de carga pesada |
| TB81 | 65 | 20 | 38000 | camión articulado de carga pesada |

Tabla 1
Criterios de ensayo 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 |

Tabla 2
Niveles de contención según normativa EN1317

Los niveles de contención que establece la normativa americana NCHRP Reporte 350 para los sistemas de contención vehicular se resumen en la Tabla 3. Nótese que los ensayos difieren con respecto a los especificados en la norma EN 1317.

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 II-3). En la Tabla II-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.

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

Tabla 3
Criterios de ensayo según normativa NCHRP Reporte 350

| Nivel de prueba | Sección de la barrera | Designación del ensayo | Condiciones de Impacto | | |
|-----------------|-----------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | | | Vehículo | velocidad nominal (km/h) | Ángulo nominal (grados) |
| TL1 | LON | 1-10 | 820C | 50 | 20 |
| | | S1-10 (a) | 700C | 50 | 20 |
| | | 1-11 | 2000P | 50 | 25 |
| | T | 1-20 (d) | 820C | 50 | 20 |
| | | S1-20 (a) | 700C | 50 | 20 |
| | | 1-21 | 2000P | 50 | 25 |
| TL2 | LON | 2-10 | 820C | 70 | 20 |
| | | S2-10 (a) | 700C | 70 | 20 |
| | | 2-11 | 2000P | 70 | 25 |
| | T | 2-20 (d) | 820C | 70 | 20 |
| | | S2-20 (a) | 700C | 70 | 20 |
| | | 2-21 | 2000P | 70 | 25 |
| TL3 | LON | 3-10 | 820C | 100 | 20 |
| | | S3-10 (a) | 700C | 100 | 20 |
| | | 3-11 | 2000P | 100 | 25 |
| | T | 3-20 (d) | 820C | 100 | 20 |
| | | S3-20 (a) | 700C | 100 | 20 |
| | | 3-21 | 2000P | 100 | 25 |
| TL4 | LON | 4-10 | 820C | 100 | 20 |
| | | S4-10 (a) | 700C | 100 | 20 |
| | | 4-11 (d) | 2000P | 100 | 25 |
| | | 4-12 | 8000S | 60 | 15 |
| | T | 4-20 (d) | 820C | 100 | 20 |
| | | S4-20 (a) | 700C | 100 | 20 |
| | | 4-21 (d) | 2000P | 100 | 25 |
| | | 4-22 | 8000S | 60 | 15 |

Tabla 3 (Continuación)
Criterios de ensayo según normativa NCHRP Reporte 350

| Nivel de prueba | Sección de la barrera | Designación del ensayo | Condiciones de impacto | | |
|-----------------|-----------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | | | Vehículo | velocidad nominal (km/h) | Ángulo nominal (grados) |
| TL5 | LON | 5-10 | 820C | 100 | 20 |
| | | S5-10 (a) | 700C | 100 | 20 |
| | | 5-11 (d) | 2000P | 100 | 25 |
| | | 5-12 | 36000V | 80 | 15 |
| | T | 5-20 (d) | 820C | 100 | 20 |
| | | S5-20 (a) | 700C | 100 | 20 |
| | | 5-21 (d) | 2000P | 100 | 25 |
| | | 5-22 | 36000V | 80 | 15 |
| TL6 | LON | 6-10 | 820C | 100 | 20 |
| | | S6-10 (a) | 700C | 100 | 20 |
| | | 6-11 (d) | 2000P | 100 | 25 |
| | | 6-12 | 36000T | 80 | 15 |
| | T | 6-20 (d) | 820C | 100 | 20 |
| | | S6-20 (a) | 700C | 100 | 20 |
| | | 6-21 (d) | 2000P | 100 | 25 |
| | | 6-22 | 36000T | 80 | 15 |

NOTAS:

- **LON:** ensayo realizado a una barrera de seguridad en el cual el vehículo de ensayo se hace chocar dentro de la longitud mínima de la barrera.

- **T:** ensayo ejecutado a un sistema de transición entre barreras de distinto nivel de rigidez. El vehículo de prueba se hace chocar contra la transición.

- Tipos de vehículos:

- C Automóvil
- P Pick-up
- S Camión tipo van
- T Semi-trailer tipo tanque
- V Semi-trailer tipo van

- El número que aparece en el código del tipo de vehículo

corresponde al peso del vehículo de ensayo en kg.

- Criterios de evaluación: el código de letras corresponde a los criterios de evaluación que aparecen en la Tabla II-7.

- **(J):** Este factor de evaluación es opcional (Ver Tabla II-7).

En la Tabla 4 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.

| 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 |

Tabla 4
Niveles de prueba definidos en la normativa NCHRP Reporte 350

NOTAS:

Tipos de vehículos:

- C Automóvil
- P Pick-up
- S Camión tipo van
- T Semi-trailer tipo tanque
- V Semi-trailer tipo van

CG: centro de gravedad del vehículo.

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

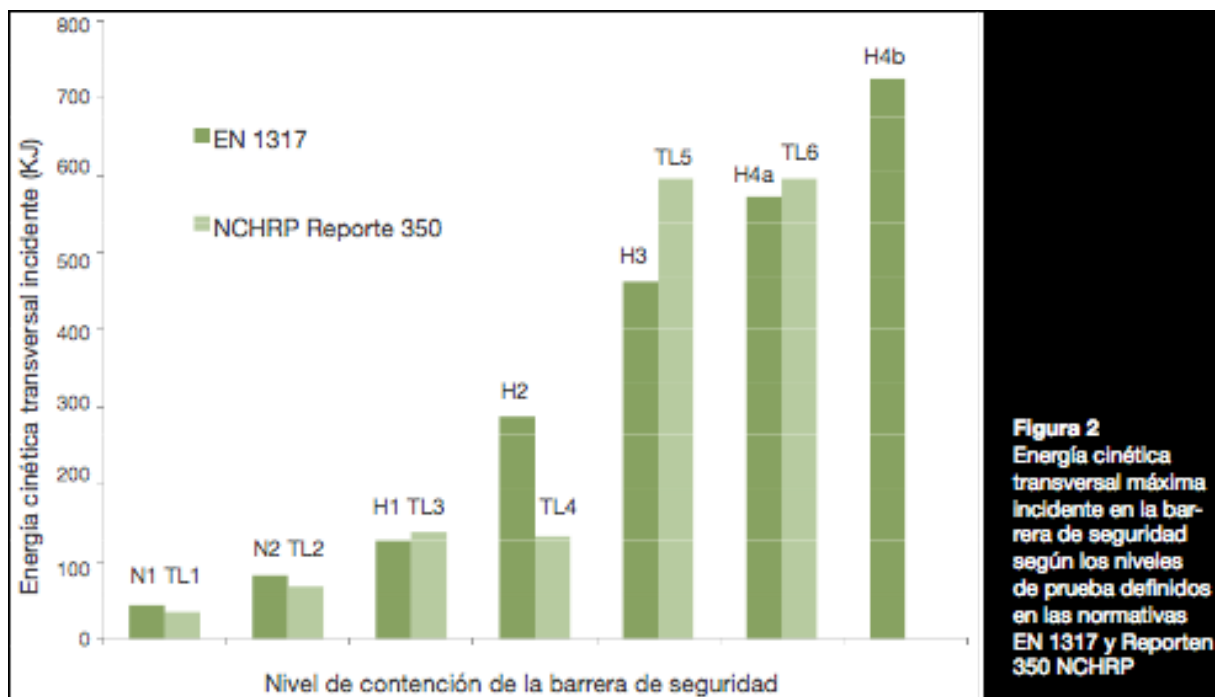


Figura 2
Energía cinética transversal máxima incidente en la barrera de seguridad según los niveles de prueba definidos en las normativas EN 1317 y Reporten 350 NCHRP

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 II-8 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.

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.

Por lo tanto 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 5.

| NCHRP Reporte 350 | EN 1317 | Tabla 5 Niveles de prueba definidos en la nor- mativa EN 1317 |
|------------------------------|----------------|--|
| TL2 | N2 | |
| TL3, TL4 | H1 | |
| - | H2 | |
| - | H3 | |
| TL5, TL6 | H4a | |
| - | H4b | |

Estas equivalencias 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.

Niveles de severidad

Bajo la normativa EN 1317 los ensayos de las barreras de seguridad con niveles de contención T3, N2, H1, H2, H3, H4a y H4b, además de determinar el nivel de contención

máximo del sistema, deben comprobar que el dispositivo no es una unidad tan rígida como para provocar lesiones severas a los ocupantes de un vehículo liviano.

Para evaluar el nivel de desaceleración del vehículo durante el impacto, se emplean indicadores obtenidos a partir de los registros de acelerómetros instalados en el interior del vehículo, próximos a su centro de gravedad. Éstos indicadores son:

- Velocidad Teórica de Choque de la Cabeza (THIV)
- Deceleración de la Cabeza tras el Choque (PHD)
- Índice de Severidad de la Aceleración (ASI)

Los índices de severidad deben conformarse a los requerimientos que se especifican en la Tabla 6. Se establecen tres niveles de severidad en función de los índices THIV, ASI y PHD.

| | Nivel de severidad | Valores de los índices | |
|---|--------------------|------------------------|------------------------------|
| Tabla 6 Niveles de severidad del Impacto según normativa EN1317 | A | ASI ≤ 1,0 | THIV ≤ 33 km/hr PHD ≤ 20g |
| | B | 1,0 ≤ ASI ≤ 1,4 | |
| | C | 1,4 ≤ ASI ≤ 1,8 | |

El nivel A ofrece un mayor grado de seguridad a los ocupantes del vehículo que el nivel B, y el nivel B ofrece un mayor grado de seguridad que el nivel C. En igualdad de condiciones, es preferible instalar un sistema de nivel A.

Por su parte, la normativa NCHRP Resporte 350 establece dos parámetros como criterios para evaluar el nivel de severidad para los ocupantes del vehículo, la velocidad de impacto de los ocupantes y la aceleración negativa experimentada durante los ensayos a escala real.

La Tabla 7 muestra los valores de velocidad máxima permitida durante los ensayos a escala real, mientras que la Tabla 8 indica los criterios correspondientes a la aceleración negativa.

Además, como medida adicional del potencial riesgo de los ocupantes del vehículo se pueden efectuar mediciones adicionales con un Dummy instrumentado del tipo Hybrid III Dummy (el cual es válido únicamente para medir impactos frontales y de cabeza, en los que el movimiento es esencialmente paralelo al eje longitudinal del vehículo). Para más detalles se sugiere revisar el Reporte 350 NCHRP y el Capítulo V del Code of Federal Regulations de los Estados Unidos.

| Tabla 7 Velocidades de impacto de los ocupantes permitidas según normativa NCHRP Reporte 350 | Componente | Velocidad de impacto de los ocupantes del vehículo (m/s) | |
|---|------------------------|--|--------------|
| | | Valor preferible | Valor máximo |
| | Longitudinal y lateral | 9 | 12 |
| Longitudinal | 3 | 5 | |

| Componente | Aceleración negativa de los ocupantes del vehículo (G) | | Tabla 8 Aceleración negativa permitida según normativa NCHRP Reporte 350 |
|------------------------|--|--------------|---|
| | Valor preferible | Valor máximo | |
| Longitudinal y lateral | 15 | 20 | |

El Reporte 350 NCHRP no requiere medir ni calcular los indicadores THIV, PHD y ASI. Sin embargo, para efectos de la aceptación de sistemas de contención vehicular en Costa Rica, el **Manual SCV** recomienda que esos indicadores debe ser reportados en los resultados de ensayo y cumplir con los criterios de la Tabla 6.

Deformación del sistema

De acuerdo con su anchura de trabajo, la normativa EN 1317 clasifica la deformación de las barreras de seguridad de acuerdo con los criterios que se muestran en la Tabla 9.

En la normativa EN 1317 se exige que la huella de las llantas del vehículo se mantenga en el interior de una zona denominada “Recinto CEN” o si el vehículo atraviesa ésta zona, lo haga a una velocidad inferior al 10% de la velocidad nominal del ensayo.

| | Clases de ancho de trabajo | Niveles de ancho de trabajo (m) |
|--|----------------------------|---------------------------------|
| Tabla 9 Clases de deformación según normativa EN1317 | 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 | $W \leq 3,5$ |

De acuerdo con la normativa NCHRP Reporte 350 el reporte de ensayo debe incluir el dato de la deflexión dinámica (máxima deformación lateral que sufre el sistema durante el impacto) y la deflexión permanente del sistema (deformación lateral que presenta el sistema después del choque). Sin embargo, esta normativa no hace una clasificación del sistema en función de la deformación del sistema.

Con el propósito de estandarizar y clasificar los sistemas de contención con base en su deformación, el **Manual SCV** ha adoptado la clasificación por anchura de trabajo de la normativa europea EN 1317.

Capacidad de redireccionamiento

La normativa EN 1317 evalúa la capacidad de redireccionamiento de un sistema mediante el Recinto CEN (“CEN Box”), que aparece representado en la Figura 3.

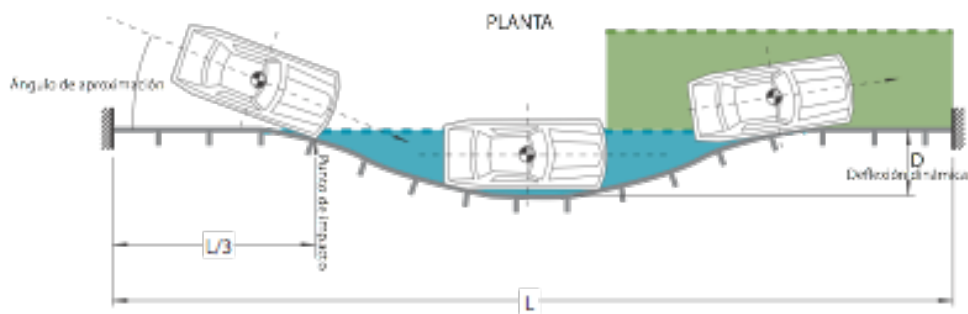


Figura 3
Deflexión dinámica (D), ángulo de aproximación y ángulo de salida

Si las ruedas del vehículo tras el impacto cortan un segmento teórico paralelo ubicado a una cierta distancia del sistema, entonces se considera que la barrera carece de capacidad de redireccionamiento y no es aceptable.

Los criterios sobre la capacidad de redireccionamiento del sistema en la normativa NCHRP Reporte 350 corresponden a los factores de evaluación K, M y N de la Tabla 10 (Trayectoria del vehículo).

Tabla 10
Criterios de evaluación de ensayo según normativa NCHRP Reporte 350

| Factores de evaluación | Criterios de evaluación |
|--------------------------|--|
| Trayectoria del vehículo | Preferiblemente, el vehículo no debe invadir otros carriles de circulación después del impacto. |
| | La componente longitudinal de la velocidad de impacto de los ocupantes del vehículo no debe ser superior a 12 m/s. La aceleración negativa longitudinal de los ocupantes del vehículo no debe ser mayor a 20G. |
| | El ángulo de salida del vehículo debe ser menor a $0,6\theta$ (θ es el ángulo de impacto de la prueba), medido en el momento en que el vehículo pierde contacto con el sistema. |
| | Se considera aceptable que la trayectoria del vehículo continúe detrás del dispositivo de prueba. |

Con respecto a este parámetro de comportamiento, el **Manual SCV** no ha adoptado ninguno de los criterios en particular, pero exige que el sistema de contención cumpla con los criterios correspondientes a la normativa de ensayo utilizada por el fabricante para evaluar el sistema de contención.

6. El procedimiento

En esta sección se resume el procedimiento de análisis y diseño de los márgenes de una vía desde el punto de vista de seguridad vial del **Manual SCV**.

El procedimiento general de análisis y diseño consiste en tres etapas:

- Análisis del margen.
- Mejoramiento del margen.
- Implementación de un sistema de contención vehicular.

6.1 Análisis del margen

El procedimiento está orientado a determinar si el margen de una vía en una determinada sección presenta condiciones tales que las consecuencias de un accidente por salida de la vía no sean graves. Para que esta condición se cumpla es necesario que el margen esté libre de obstáculos potencialmente peligrosos y que el terreno posea una sección transversal relativamente plana.

La primer etapa consiste en determinar si hay disponible una zona libre de potenciales peligros en el margen de la carretera, para lo cual se debe:

- Realizar un inventario de los elementos que se ubican en los márgenes de la vía, medir sus dimensiones y localización respecto a los carriles de circulación de la carretera y establecer cuáles podrían ser potencialmente peligrosos (para los usuarios de la vía o terceros) debido a sus dimensiones y características.
- Medir anchos y pendientes del terreno en el margen de la carretera.
- Establecer la zona libre disponible.
- Calcular la zona libre necesaria para cada sección de la vía.

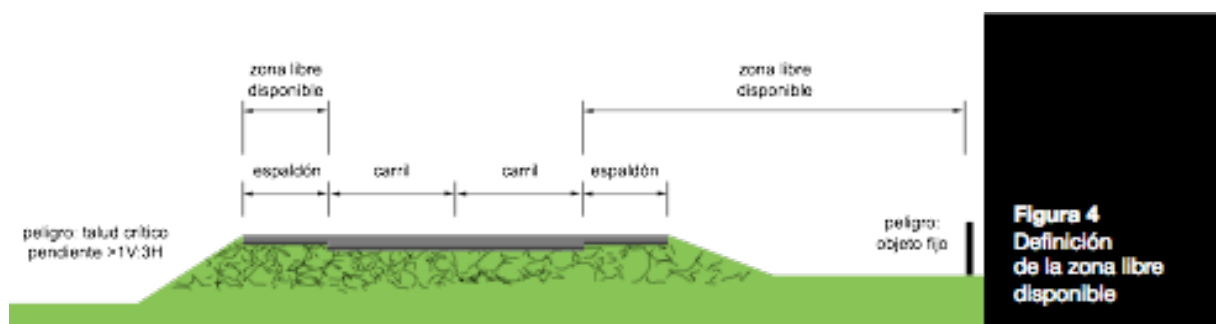
- Si la zona libre disponible es mayor o igual a la zona libre necesaria, el margen de la carretera se considera seguro y no es necesario implementar ninguna medida.

La zona libre

La zona libre es el espacio localizado en el margen de la carretera en el que, después de salirse de la vía, un conductor podría reconducir o detener su vehículo de manera segura, sin volcarse, colisionar contra algún obstáculo peligroso ni causar daño a un tercero.

La zona libre necesaria (ZLN) es la distancia medida desde uno de los bordes 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 (Ver Figura 4).



En las siguientes secciones se presentan los criterios técnicos que permiten establecer las zonas libres necesarias y disponibles.

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 11.

| Clasificación | Descripción | Pendiente (S) | Tabla 11 Clasificación de los taludes de terraplén según su pendiente |
|---------------|---------------------------------|------------------------|---|
| 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 | $S > 1V:3H$ | |

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 12. En este caso se consideran dos factores: la pendiente y la altura del talud.

| Clasificación | Descripción | Pendiente (S) | Altura (H) | Tabla 12 Clasificación de los taludes de terraplén según su pendiente |
|---------------|----------------|----------------|---------------|---|
| Seguro | Traspasable | $S \leq 1V:2H$ | - | |
| Aceptable | Traspasable | $S > 1V:2H$ | $H \leq 1,2m$ | |
| Crítica | No traspasable | $S > 1V:2H$ | $H \geq 1,2m$ | |

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:

$$ZLMN = ZLMN_0 * FC \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

ZLMN₀ = valor de ZLMN para tramos con alineamiento horizontal recto. Este el valor se obtiene de la Tabla 13, según la velocidad de diseño y el volumen de tráfico (TPDA en ambos sentidos de circulación) del tramo de carretera.

FC = es el factor de corrección debido al radio de curvatura de la vía. Se obtiene de la Tabla 14.

Los valores especificados en la Tabla III-3 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 III-4 según el radio de curvatura.

| | Velocidad (Km/h) | TPDA (vpd) | ZLMN ₀ (m) | |
|--|---------------------|---------------|-----------------------|----------|
| | | | Pendiente del talud | |
| | | | negativa | positiva |
| Table 13 Ancho de la zona libre mínima necesaria (ZLMN ₀) | <60 | < 2000 | 3,5 | 3,5 |
| | | 2000 - 10000 | 4,5 | 4,5 |
| | | > 10000 | 4,5 | 4,5 |
| 60-80 | < 2000 | 5,0 | 5,0 | |
| | 2000 - 10000 | 5,0 | 5,0 | |
| | > 10000 | 6,0 | 5,5 | |
| 80-100 | < 2000 | 6,5 | 5,0 | |
| | 2000 - 10000 | 7,5 | 5,5 | |
| | > 10000 | 8,0 | 6,0 | |

| Tabla 14 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 |

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 5 y la Tabla 15 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.

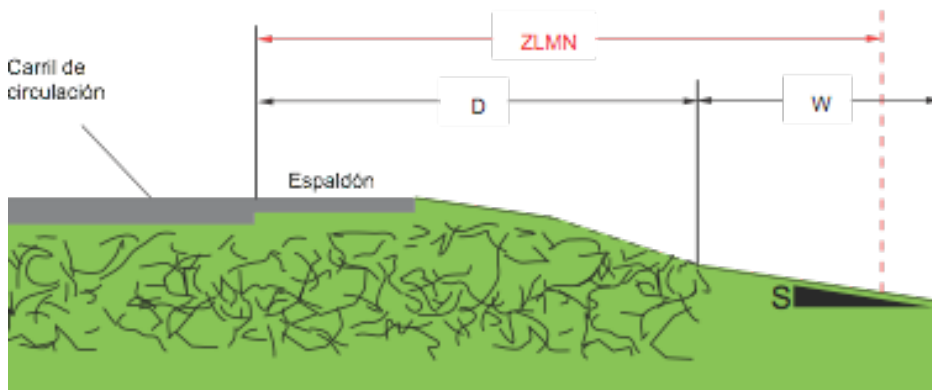


Figura 5
Taludes de relleno y la ZLN

NOTAS:

- D** = Ancho del talud con pendiente (s) ≤ 1:6 (V:H). Incluye el espaldón.
- W** = Ancho del talud con pendiente > 1:6 (V:H).
- S** = Pendiente del talud (V:H)

| S | ≤ 1:6 | 1:6 ≤ S ≤ 1:4 | | 1:4 ≤ S ≤ 1:3 | ≥ 1:3 | Tabla 15 Taludes de relleno y la ZLN |
|------|-------|-----------------|-----------------|---------------|-----------|--|
| Caso | - | ZLMN - D > 1/6W | ZLMN - D ≤ 1/6W | - | - | |
| ZLN | ZLMN | ZLMN + 1/6W | ZLMN + (ZLMN-D) | ZLMN + W | ZLO < ZLN | |

Cunetas y canales

Las cunetas y canales deben diseñarse para que evacuen la escorrentía superficial de diseño y el agua adicional en lluvias excesivas, con el mínimo de inundación o daño de los

carriles de circulación. Sin embargo, estos canales también deben ser diseñados, construidos, y mantenidos considerando su efecto sobre la seguridad de la vía.

La Figura 6 y la Figura 7 muestran las combinaciones de pendientes preferibles y pendientes aceptables para cunetas y canales triangulares y trapezoidales, respectivamente.

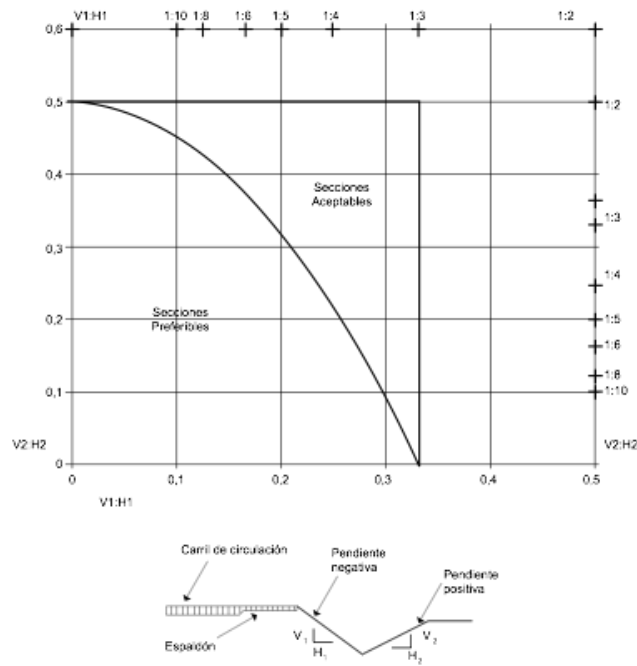


Figura 6
Secciones preferibles para canales de sección triangular

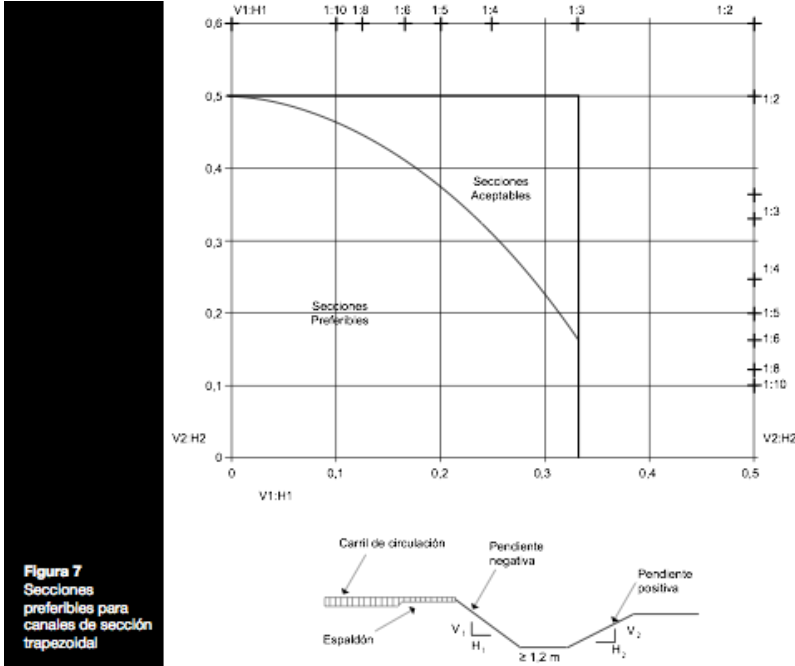
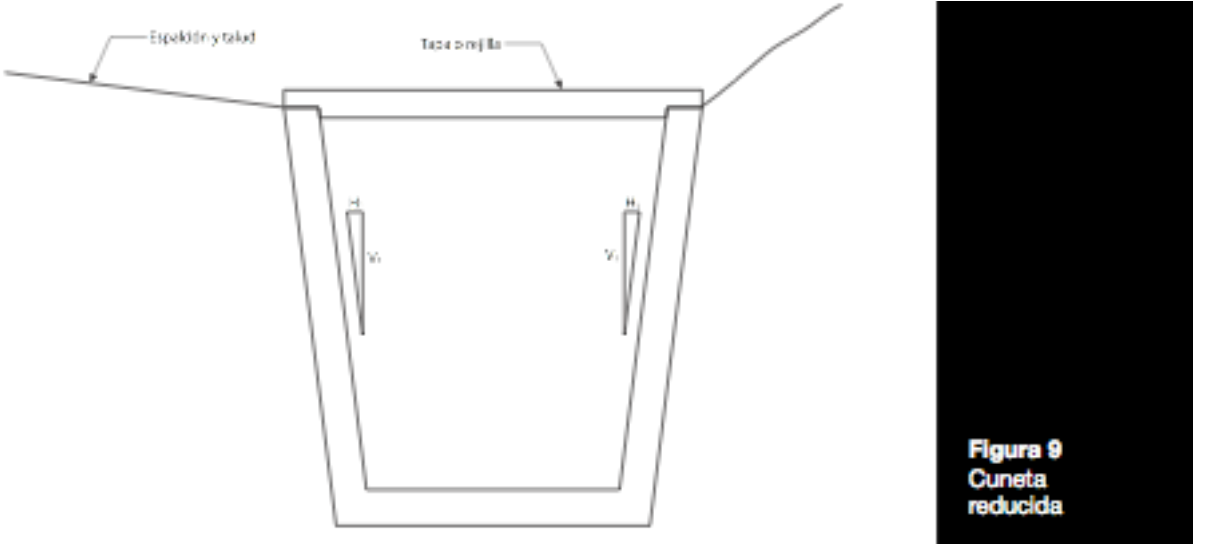
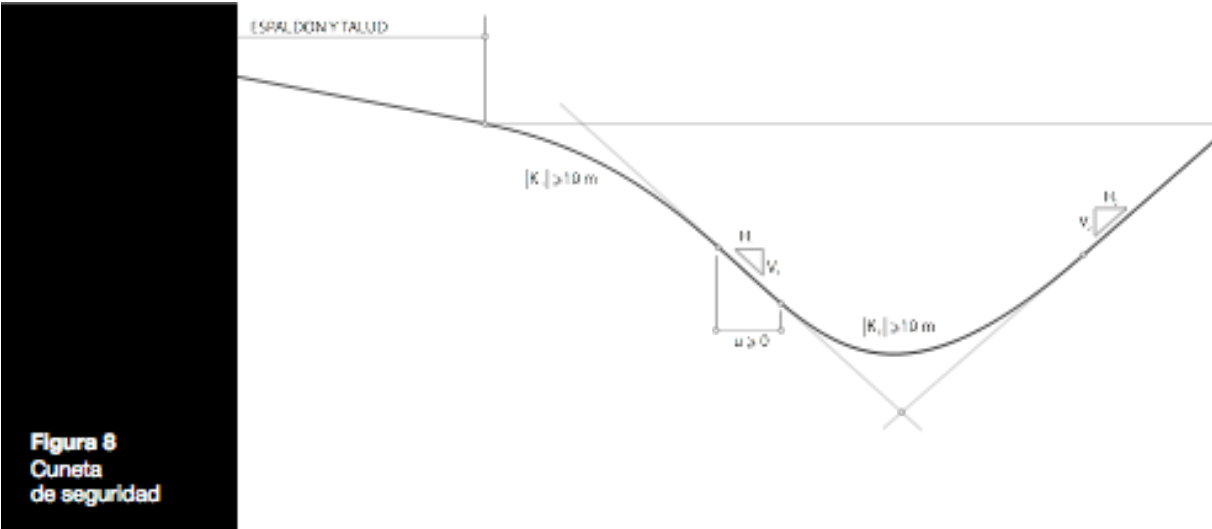


Figura 7
Secciones preferibles para canales de sección trapezoidal

Siempre y cuando consideraciones económicas o de espacio no lo impidan, la inclinación de las paredes de las cunetas debe ser igual o inferior a 1V:6H y sus aristas redondeadas con un radio mínimo de 10 m. Las cunetas que cumplen con estos criterios de diseño se denominan cunetas de seguridad. La Figura 8 muestra una cuneta de seguridad.

Las cunetas reducidas, similares a la que se muestra en la Figura 9 solo deben ser usadas cuando el terreno es accidentado y hay limitaciones de espacio, y deben cubrirse con una rejilla o tapa con ranuras, o ser protegidas por una barrera de seguridad.



6.2 Mejoramiento del margen

En caso de que el margen de la carretera no posea condiciones para considerarla segura (la zona libre no es suficientemente amplia), ya sea por la existencia de obstáculos, por la

pendiente del terreno u otro potencial peligro, en primer instancia debe mejorarse el margen eliminando o modificando los obstáculos para reducir el riesgo que producen, y tratar de ampliar la zona libre disponible.

En última instancia, si no fuera posible modificar el margen se debe considerar la posibilidad de instalar algún sistema de contención vehicular.

Identificación y tratamiento de peligros potenciales

El riesgo asociado con un elemento depende de la probabilidad de que éste sea impactado por un vehículo que sale de la vía y la severidad de la colisión (gravedad del accidente).

El procedimiento general de identificación de obstáculos se muestra en la Figura 10.

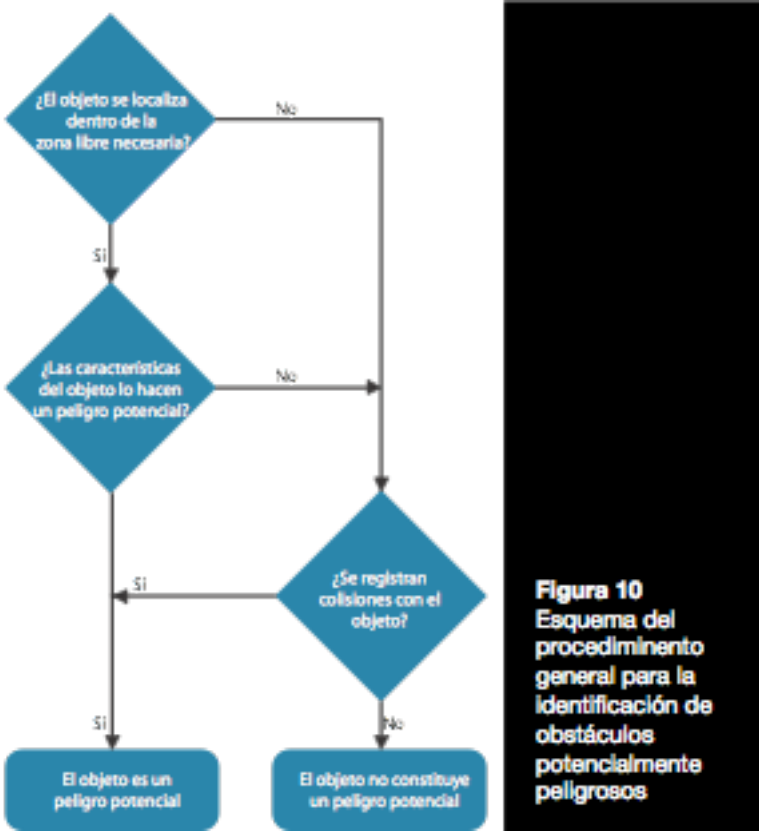


Figura 10
Esquema del procedimiento general para la identificación de obstáculos potencialmente peligrosos.

Los elementos que se clasifiquen como potencialmente peligrosos deben ser tratados para garantizar la seguridad de los usuarios de la vía y otros terceros vulnerables que se ubiquen en los márgenes de la carretera.

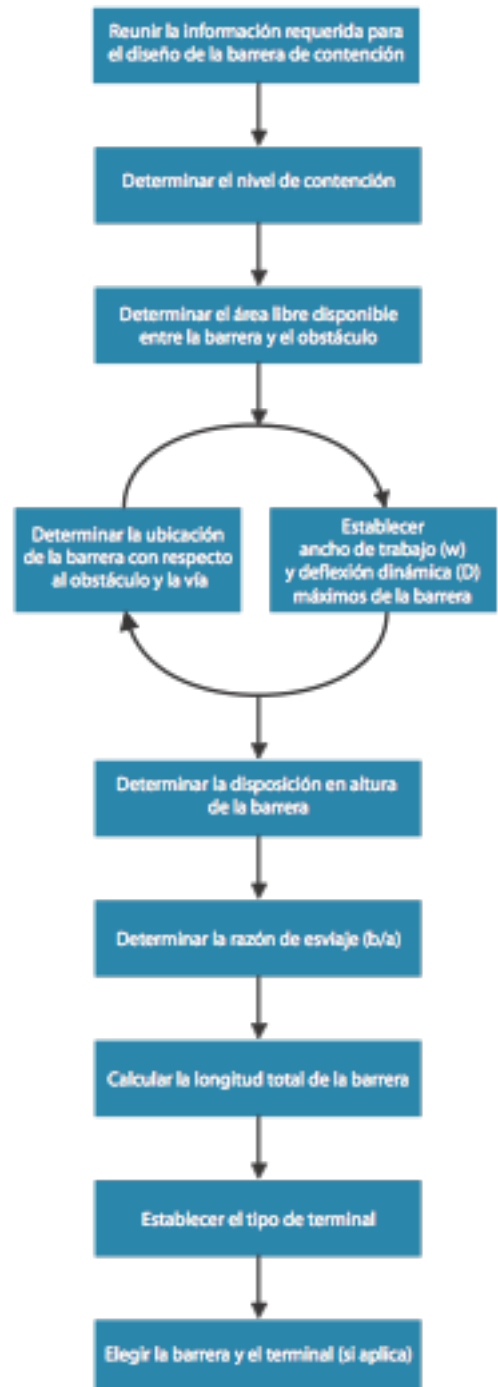
7. Procedimiento de diseño de las barrera de contención vehicular

Es importante tener claro que la implementación de un sistema de contención vehicular (SCV) no es necesaria en todos los casos, ya que se adopta como solución final cuando no se logra conseguir resolver el problema de seguridad con alguna medida de la etapa de mejoramiento del margen.

De ser necesario instalar un sistema de contención vehicular, el procedimiento de análisis y diseño permite establecer el nivel de contención necesario del sistema, así como diseñar el sistema, es decir, establecer los parámetros de disposición del sistema (longitud, esviaje, disposición transversal, etc.).

7.1 Resumen del procedimiento

Figura 11
Esquema del procedimiento general de diseño de una barrera de seguridad



La Figura 11 muestra el procedimiento general para el diseño de una barrera de seguridad vial, entendiéndose “diseño” como la metodología para determinar las características técnicas de la barrera –nivel de contención, anchura de trabajo (W), deflexión máxima (D), tipo de terminal– y el valor de los parámetros para su disposición –longitud, ubicación trasversal y en altura, esviaje–.

Este prodimiento puede ser aplicado para el diseño de barreras de seguridad que serán instaladas tanto en carreteras existentes como a carreteras en proyecto.

7.2 Selección del nivel de contención

La Tabla 16 muestra la clasificación de la gravedad de los accidentes de acuerdo a las condiciones del peligro potencial.

| Gravedad del accidente | Condiciones |
|-------------------------------|--|
| 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. |
| Accidente grave para terceros | <ul style="list-style-type: none"> • Invasión de otras vías paralelas (líneas férreas, carreteras, ciclo vías). • 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. |
| Accidente grave | <p>Caídas en masas de agua. Choque con pilares de puentes o entradas a túneles. Colisiones con laderas rocosas.</p> |
| Accidente normal. | <ul style="list-style-type: none"> • 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 anti-ruido. - Estructuras del sistema de drenaje. - Cunetas o canales de sección no traspasable. - Taludes transversales. • Vuelco (paso por taludes paralelos no traspasables). |

Tabla 16
Clasificación
de la gravedad
de los accidentes

Una vez definido el nivel de gravedad del posible accidente por salida de la vía, y en función de la velocidad del tramo de carretera (velocidad de diseño o V85, según corresponda a una carretera en proyecto o en operación), el tránsito promedio diario (TPD) y el tránsito promedio diario de vehículos pesados (TPDp), se elige el nivel de contención de la barrera de acuerdo a los criterios de la Tabla 17.

| | Accidente | Velocidad | TPD | TPDp | Nivel de contención |
|--|---------------------|-----------|-------|----------------------------|---------------------|
| Tabla 17 Niveles de contención | Muy grave | >60 | >2000 | >2000 | H4b, TL5, TL6 |
| | Muy grave | >60 | >2000 | 500<TPD _p <2000 | H3 |
| | Muy grave | >60 | >2000 | <500 | H2 |
| | Muy grave | >60 | <2000 | - | H1, TL3, TL4 |
| | Grave para terceros | 80-100 | >2000 | >2000 | H4b, TL5, TL6 |
| | Grave para terceros | 80-100 | >2000 | <2000 | H3 |
| | Grave para terceros | 80-100 | >2000 | >500 | H2 |
| | Grave para terceros | 80-100 | <2000 | <500 | H1, TL3, TL4 |
| | Grave para terceros | 60-80 | >2000 | >500 | H2 |
| | Grave para terceros | 60-80 | >2000 | <500 | H1, TL3, TL4 |
| | Grave para terceros | 60-80 | <2000 | - | N2, TL2 |
| | Grave | 80-100 | - | >2000 | H3 |
| | Grave | 80-100 | - | <2000 | H2 |
| | Grave | 60-80 | - | >2000 | H1, TL3, TL4 |
| | Grave | 60-80 | - | <2000 | N2, TL2 |
| | Normal | 80-100 | - | >500 | H1, TL3, TL4 |
| | Normal | 80-100 | - | <500 | N2, TL2 |
| | Normal | 60-80 | - | - | N2, TL2 |

7.3 Ubicación lateral de la barrera

Distancia al borde de la calzada

Las barreras de seguridad deben colocarse a separación mínima del borde la calzada de 0,50 m, y de ser posible, colocarse más allá de la distancia de preocupación (LS, ver Tabla 18).

| | Velocidad (km/hr) | Distancia entre el borde de la vía y la línea de preocupación (m) |
|---|-------------------|---|
| Tabla 18 Distancias de preocupación (L _p) | 50 | 1,1 |
| | 60 | 1,4 |
| | 70 | 1,7 |
| | 80 | 2,0 |
| | 90 | 2,2 |
| | 100 | 2,4 |
| | 110 | 2,8 |

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 19).

| 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 |

Tabla 19
Distancias máximas recomendadas entre el borde de la vía y la barrera de seguridad

Distancia a obstáculos y desniveles

Los siguientes criterios establecen las distancias mínimas entre una barrera de seguridad y el elemento potencialmente peligroso (Ver Figura 12):

- La distancia entre un objeto rígido y la barrera de seguridad debe ser mayor al ancho de trabajo (W) del sistema para evitar que los vehículos sean enganchados por el obstáculo.
- 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 (D) del sistema, y nunca menor a 0,5 m.
- Si el sistema de contención se coloca en la plataforma de un puente, sobre un muro de retención o al borde de un barranco, la barrera deberá ser rígida y ningún tipo de vehículo debe sobrepasarla o inclinarse de tal manera que se vuelque y caiga al precipicio. Por esta razón, en estos casos deben utilizarse barreras de seguridad del tipo “pretil de puente”.

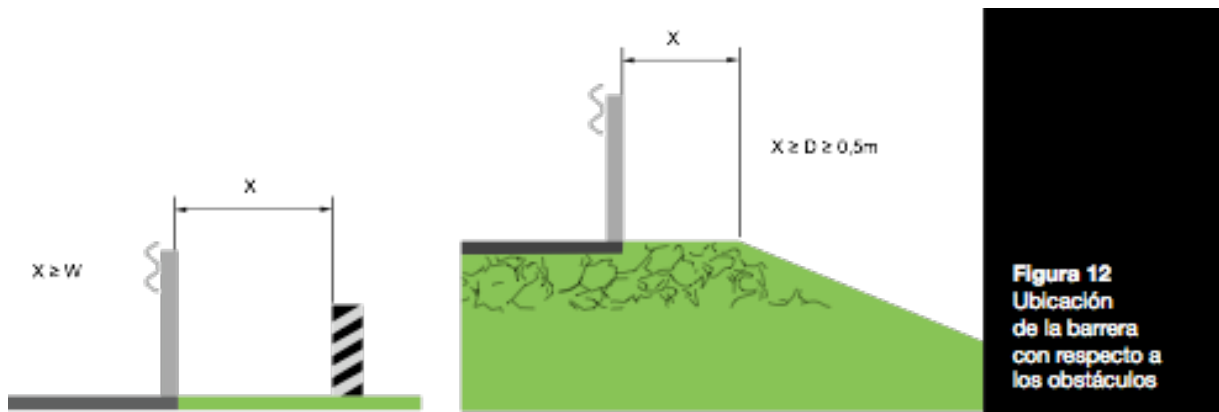


Figura 12
Ubicación
de la barrera
con respecto a
los obstáculos

Disposición en altura

La altura recomendada para cada sistema de contención vial, barreras de seguridad o pretilas de puentes, la establece el fabricante, de acuerdo con los prototipos ensayos a escala real de forma exitosa bajo la norma EN 1317 o la norma NCHRP Reporte 350, que se realizan para aprobar y clasificar un sistema de contención vehicular.

El punto de referencia con respecto al cual se debe medir la altura de la barrera se especifica en la Figura 13.

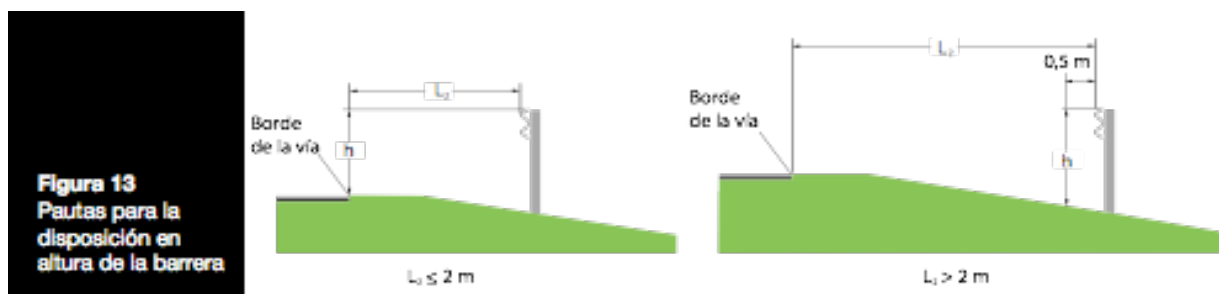


Figura 13
Pautas para la
disposición en
altura de la barrera

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 2,0m, 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.

Longitud de la barrera

Las variables que se consideran en la metodología para calcular la longitud de la sección de barrera anterior al obstáculo se muestran en la siguiente Figura 14 (sección de aproximación al obstáculo).

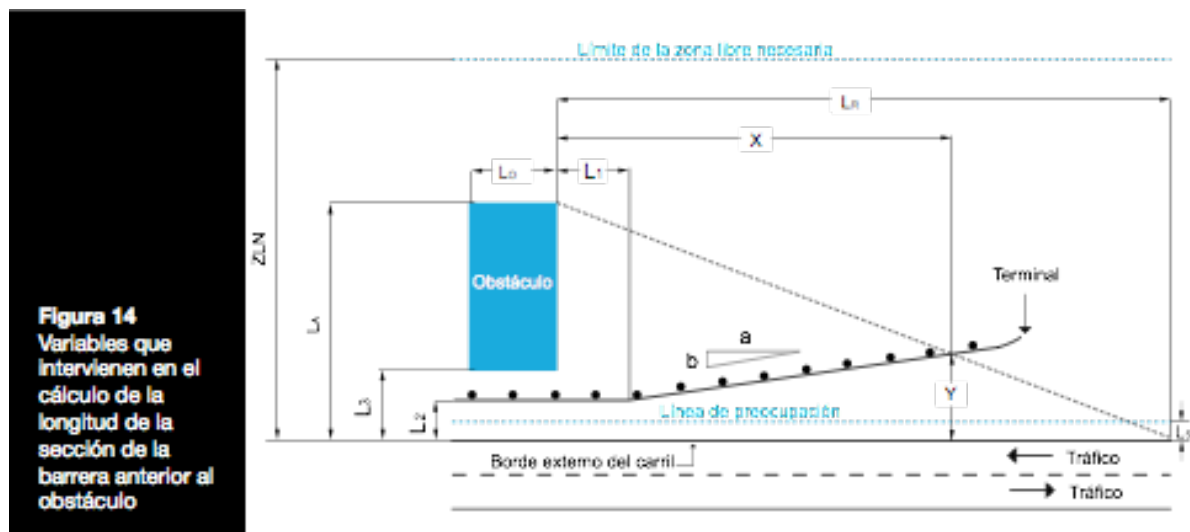


Figura 14
Variables que intervienen en el cálculo de la longitud de la sección de la barrera anterior al obstáculo

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 20 en función de la velocidad del tramo de carretera (velocidad de diseño o V_{85}) y de su TPD.

| Velocidad de la vía (Km/h) | L_R para cada rango de TPD | | | |
|----------------------------|------------------------------|-------------|------------|-------|
| | > 6000 | 2000 - 6000 | 800 - 2000 | < 800 |
| 50 | 50 | 50 | 45 | 40 |
| 60 | 70 | 60 | 55 | 50 |
| 70 | 80 | 75 | 65 | 60 |
| 80 | 100 | 90 | 80 | 75 |
| 90 | 110 | 105 | 95 | 85 |
| 100 | 130 | 120 | 105 | 100 |

Tabla 20
Valores de L_R

ZLN = es el ancho de la zona libre necesaria.

LA = 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), LA puede considerarse igual al ancho de de la zona libre necesaria (LC) para el cálculo de la longitud de la barrera de seguridad.

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

L1= es la longitud de la sección de barrera paralela a la vía antes del obstáculo, y su valor se determina de la siguiente manera:

L1 = 0 si el obstáculo no sobresale del terreno, por ejemplo: taludes no traspasables, cuerpos de agua.

L1 = 8 m si el obstáculo sobresale del terreno, por ejemplo: árboles, postes, pilares de puentes, estructuras del sistema de drenaje y otros.

L1 = 5 m como mínimo para pretilas de puente.

L2 = es la distancia transversal desde el borde de la vía hasta la sección de la barrera de seguridad paralela a la vía.

L3 = es la distancia transversal desde el borde de la vía hasta el obstáculo o zona peligrosa.

b:a = es la razón de esviaje, la cual se determina en función de la velocidad del tramo de vía (velocidad de diseño o V85), 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 21. La razón de esviaje, b:a se establece de acuerdo a los criterios de la Tabla 22.

| 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 |

Tabla 21
Clasificación de las barreras de seguridad según su rigidez

| 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 |

Tabla 22
Razones de esviaje (b:a)

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 2, y si la barrera se instalará con esviaje X se calcula mediante la Ecuación 3.

| | |
|--|---------------------------------|
| Ecuación 2 X: Barrera paralela | $X = \frac{L_A - L_2}{L_A/L_R}$ |
|--|---------------------------------|

| | |
|---|---|
| Ecuación 3 X: Barrera con esviaje | $X = \frac{L_A + (b/a) \cdot L_1 - L_2}{(b/a) + (L_A/L_R)}$ |
|---|---|

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 4.

| | |
|---|-------------------------------|
| Ecuación 4 Y: Barrera con esviaje | $Y = L_A - (L_A/L_R) \cdot X$ |
|---|-------------------------------|

La longitud de la sección de barrera posterior al obstáculo se calcula siguiendo la misma metodología planteada, pero las variables de diseño se miden con respecto al margen del carril de circulación en sentido contrario (ver la Figura 15).

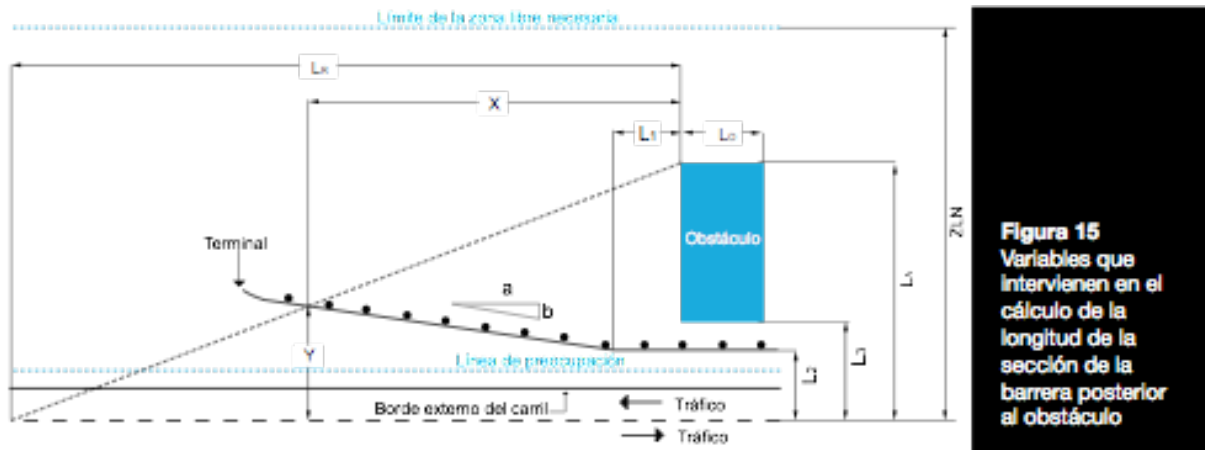


Figura 15
Variables que intervienen en el cálculo de la longitud de la sección de la barrera posterior al obstáculo

Barreras en tramos curvos de carretera

La longitud de la barrera en un tramo curvo de carretera se calcula por medio de una metodología gráfica. Se asume que la trayectoria de salida de la vía del vehículo es tangente a la curva. Este será el caso si la zona libre disponible en los márgenes de la vía es plana y traspasable (pendientes iguales a 1V:3H o más planas).

Se debe trazar una línea desde el borde externo del obstáculo o el límite de la zona libre hasta un punto de tangencia en la curva para determinar la longitud de la barrera, como se muestra en la Figura 16. Generalmente no se requiere alejar el terminal del borde de la vía (efecto de esviaje).

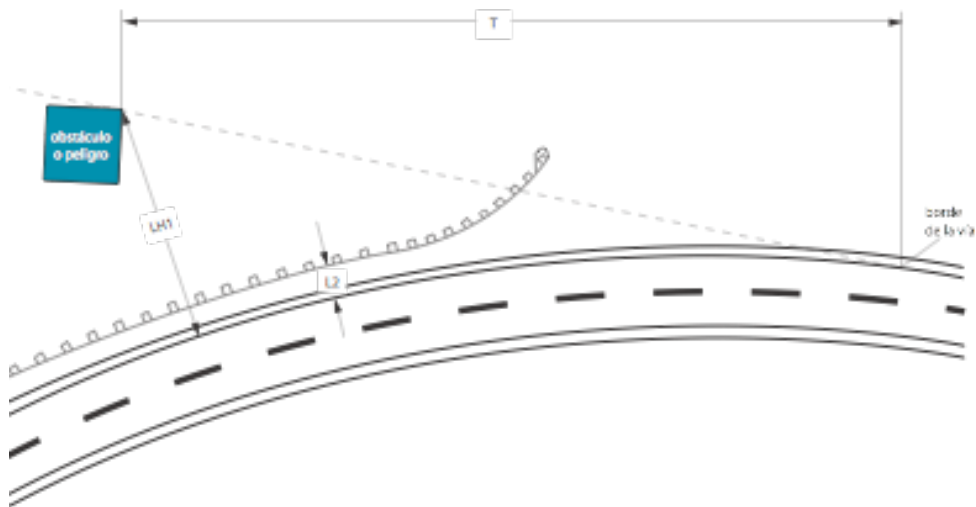


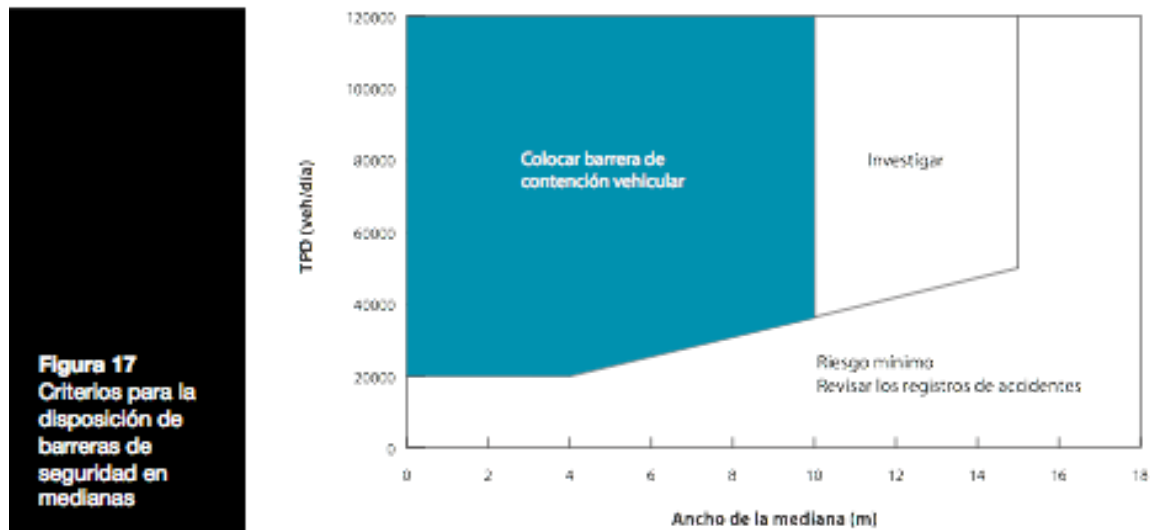
Figura 16
Barrera de seguridad ubicada en un tramo curvo de carretera

Barreras en medianas

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 (Figura 17) 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, de acuerdo con los criterios de la Sección 2 de este Capítulo III.
- Dentro de la ZLN en la mediana (ver criterios para definir la ZLN en la Sección 2 de este Capítulo III) 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—.

El gráfico de la Figura 17 es una pauta para determinar si existe un alto riesgo de que un vehículo cruce la mediana y sufra una colisión frontal con otro vehículo que circula en sentido contrario. A partir del TPD (valor promedio de tráfico diario en ambos sentidos de circulación) y el ancho de la mediana se establece cuál es el procedimiento que debe seguir el profesional encargado de la administración o diseño de una carretera.



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.

Si se indica que el riesgo es mínimo, la colocación de la barrera de seguridad es opcional, sin embargo, el diseño de la vía debe facilitar la instalación de la barrera en un futuro, si el volumen de tránsito se incrementa significativamente o se presenta una alta tasa de accidentalidad.

Si se requiere realizar una investigación, se debe hacer un análisis de beneficio-costos o una evaluación del riesgo, que considere factores como los volúmenes de tráfico, composición de la flota vehicular, historial de accidentes, topografía de la mediana y el alineamiento horizontal y vertical.

Si se debe colocar una barrera de contención vehicular, el nivel de contención se selecciona de acuerdo a los criterios de la Tabla 23.

| Tabla 23 Criteria 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 |

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

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 18, 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 18, 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 17), se debe colocar una barrera en centro de la mediana, a menos que se ubiquen otros objetos fijos potencialmente peligrosos. En la Figura 18, 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 (según el gráfico de la Figura 17), 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 18, 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 18, 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 (según el gráfico de la Figura 17), la barrera se debe colocar en el centro de la mediana, como se observa en la Figura 18, 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.

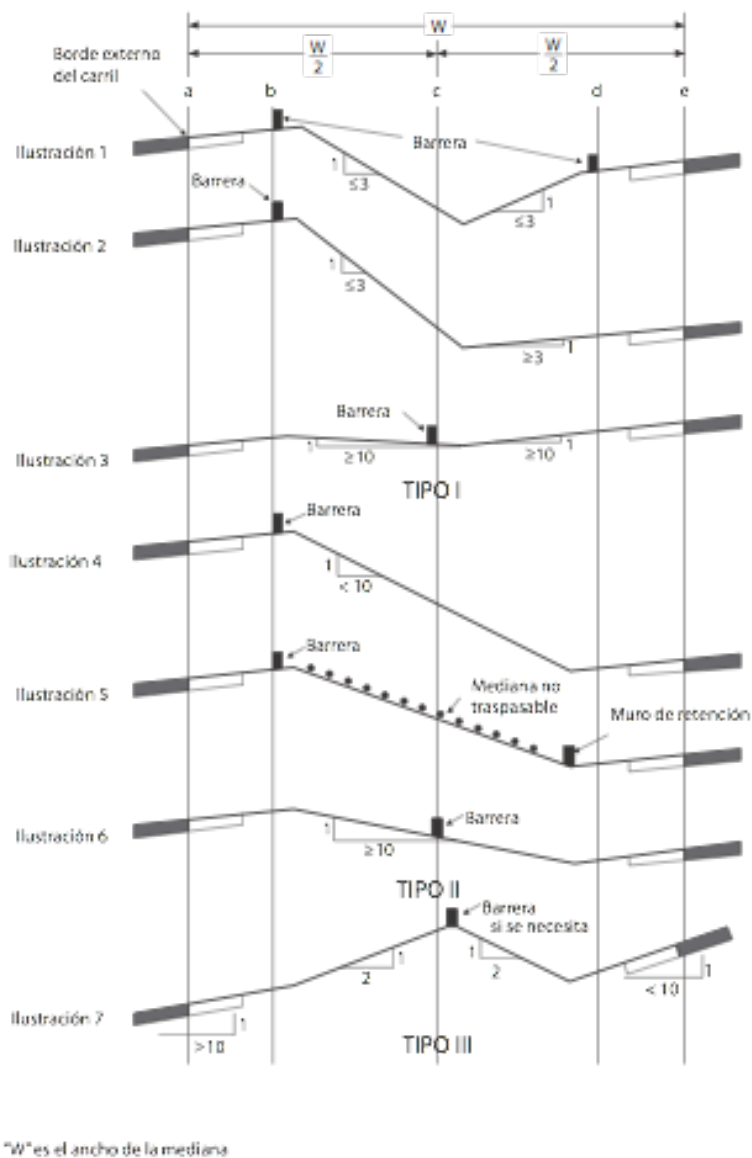


Figura 18
Ubicación correcta de una barrera de contención en la mediana de una carretera

8. Atenuadores de impacto

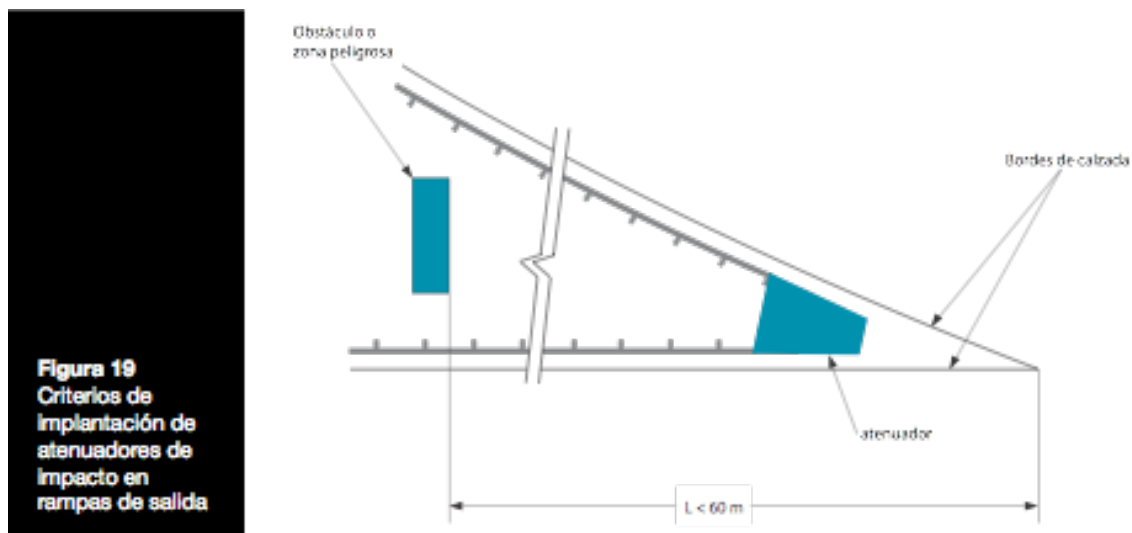
8.1 Criterios de implantación

La instalación de un atenuador de impactos está justificada siempre y cuando la distancia de un obstáculo rígido discontinuo al borde de la vía o cualquier otro punto de referencia de la misma, sea inferior a la recomendable en el margen o mediana de una carretera (según los

criterios para la ZLN de la Sección 2 de este Capítulo III) 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 19).



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 20).

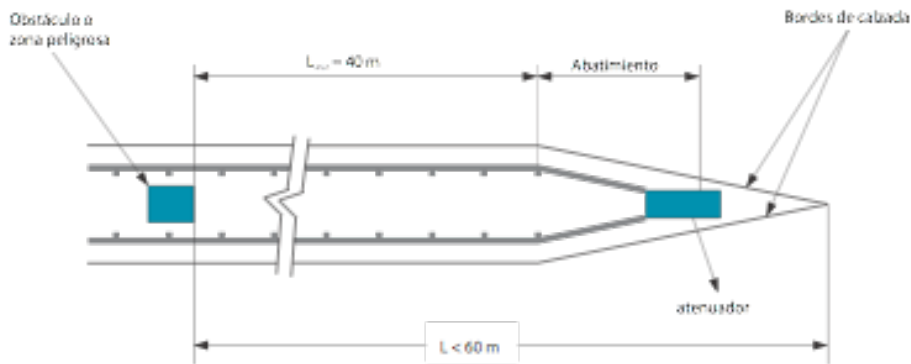


Figura 20
Criteria de
implantación de
atenuadores de
impacto en un
comienzo de
mediana

8.2 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/hr, 100 km/hr, 80 km/hr y 50 km/hr.

La Tabla 24 muestra los criterios para elegir la clase de contención de un atenuador de impacto.

| Tipo de vía | Velocidad, V (km/hr) | Clase de contención (km/hr) |
|--|----------------------|-----------------------------|
| Autopistas y carreteras separadas | $V > 100$ | 110 |
| | $65 < V \leq 100$ | 100 |
| | $V \leq 85$ | 80 |
| Carreteras interurbanas de calzada única | $65 < V \leq 100$ | 100 |
| | $65 < V \leq 85$ | 80 |
| | $V \leq 65$ | 50 |
| Carreteras en zonas urbanas y áreas de peaje | $V \leq 65$ | 50 |

Tabla 24
Criteria para
seleccionar la
clase de contención
de un amortiguador
de impacto

9. Terminales

9.1 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 (ver Figura 21).

El empotramiento de los extremos de la barrera deben 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 22.

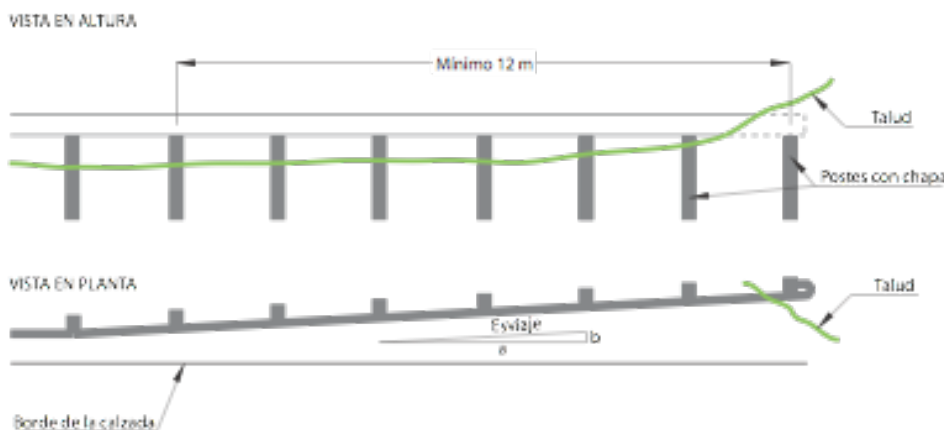


Figura 21
Empotramiento de
barrera metálica en
talud

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 pueden 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 (ver Figura 22), 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 de la vía (ver Figura 23). La Tabla 22 contiene las razones de esviaje ($b:a$) recomendadas.



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 24) o bien dos alineaciones de barrera de seguridad que convergen, una paralela a cada vía (Figura 25).

El caso de una única alineación de barrera (Figura 24) 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 (TAE).

El caso de dos alineaciones de barrera (Figura 25) 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.

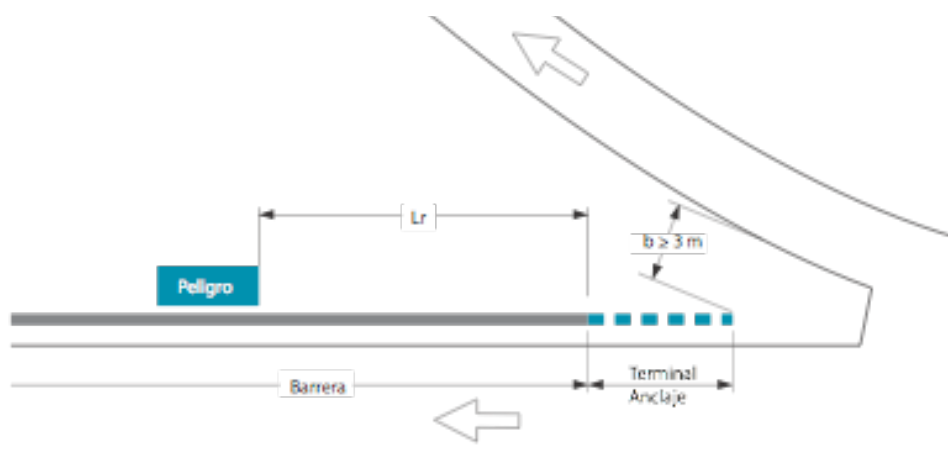


Figura 24
Terminal en ramal de salida o divergencia, caso de una única alineación de barrera

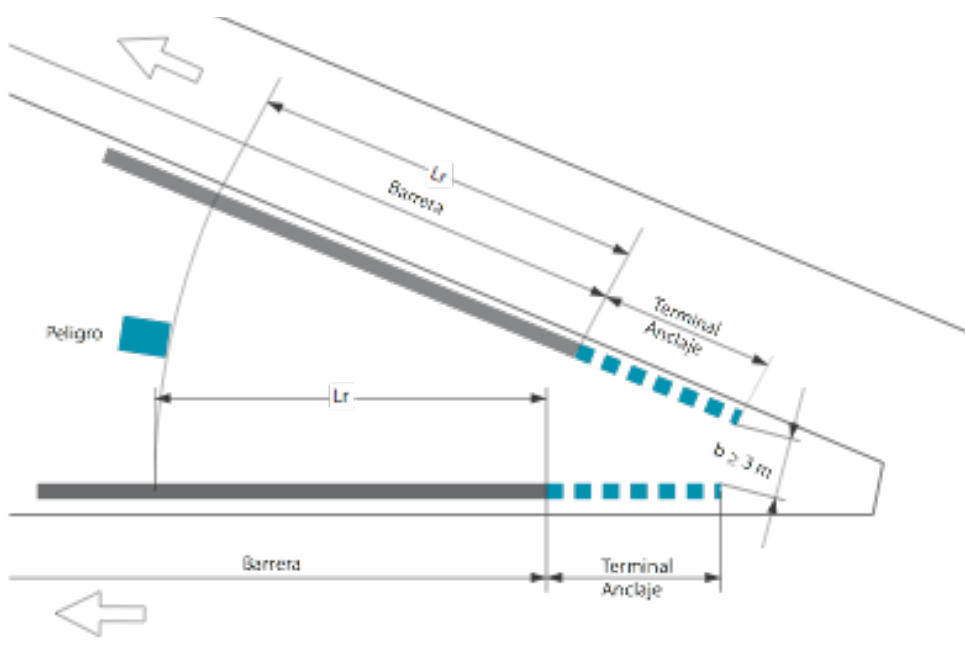


Figura 25
Terminal en ramal de salida o divergencia, caso de dos alineaciones de barrera

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.

9.3 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 25 muestra los criterios para elegir la clase de contención de un TAE.

| | Tipo de vía | Velocidad, V (km/hr) | Clase de contención (km/hr) |
|--|--|----------------------|-----------------------------|
| Tabla 25 Criterios para seleccionar la clase de contención de un terminal de barrera absorbente de energía (TAE) | 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 |

10. Transiciones

Cuando se conectan longitudinalmente dos tramos de barrera de distinto comportamiento (nivel de contención o clase de deformación), se debe proveer de un tramo intermedio o transición que, se considera una barrera de seguridad con algunas particularidades o reservas en relación con el punto crítico y dirección del impacto.

La Tabla 26 establece los criterios de selección del nivel de contención para la transición entre dos barreras de seguridad.

En los tramos de transición, tanto entre barreras del mismo como de distintos niveles de contención, no debe considerarse únicamente el nivel de contención sino también la diferencia de deformabilidad entre las barreras que se conectan longitudinalmente.

| Tabla 26 Criterios para seleccionar el nivel de contención de transiciones | Transición DE \ A | N2 | H1 | H2 | H4b |
|--|----------------------|----|----|-----|-----|
| | N2 | N2 | N2 | H1 | H2 |
| H1 | N2 | H1 | H1 | H2 | |
| H2 | H1 | H1 | H2 | H2 | |
| H4b | H2 | H2 | H2 | H4b | |

El paso de una barrera más deformable a otra más rígida según el sentido del impacto –que es el caso problemático–, puede producir el enganchamiento de un vehículo ligero en el punto de transición. El enganchamiento es un accidente de graves consecuencias. Para verificar que esta diferencia de deformabilidades no es peligrosa es preciso comparar la deflexión dinámica (D) de ambas barreras correspondiente al ensayo TB11 –excepto en el caso de que ambas barreras tengan un nivel de contención N2 en que compararían sus deflexiones dinámicas de los ensayos TB32–.

11. Conclusiones

- Existe una necesidad indiscutible de contar con una guía técnica que defina criterios uniformes, válidos y oficiales para el análisis de la seguridad vial en los márgenes de las carreteras nacionales.

- La única guía técnica que existente en el país relacionada con la seguridad de los márgenes de carretera es la contenida en la disposición MN-06-2006 “Barrera de Acero Tipo Viga Flexible (Flex Beam)”, la cual reglamenta la selección de materiales e instalación de los guardavías en nuestro país. Ésta se enfoca en normalizar los aspectos técnicos para el suministro e instalación de barreras de acero tipo viga flexible, dejando por fuera otros tipos de sistemas de contención vehicular disponibles en el mercado que atenderían las necesidades de mejora y tratamiento de los márgenes.
- La disposición MN-06-2006 incluye algunos criterios técnicos expuestos en otros manuales, pero no hace referencia a la evaluación y tratamiento de los obstáculos en los márgenes de la vía, el dimensionamiento de la zona libre y los criterios de selección del tipo de sistema como nivel de contención y deflexión de la barrera.
- La versión preliminar del “Manual para el análisis de la seguridad vial en los márgenes de carreteras y la disposición de sistemas de contención vial de Costa Rica” que elaboró el equipo técnico encargado de este estudio, es una buena guía que incluye los aspectos técnicos necesarios para hacer un buen análisis de las condiciones de seguridad vial en los márgenes de una carretera y, el diseño de soluciones (incluyendo la mejor de los márgenes y la selección y diseño de la disposición de los sistemas de contención vehicular).
- Con relación a los aspectos técnicos de la guía se concluye que los criterios y procedimientos del Manual SCV son en general apropiados y aplicables para las condiciones de la realidad nacional. Sin embargo, se determinó que los criterios de la AASHTO (2006) —que se incluyeron en la versión preliminar del Manual SCV para ser empleados en Costa Rica— para determinar si la sección transversal de una cuneta o canal es traspasable no son consistentes con los criterios que se aplican al caso de taludes con pendiente ascendente, y por otra parte, estos criterios de AASHTO (2006) tienden a clasificar como no traspasables algunas secciones de cunetas existentes en nuestras carreteras, cuyo diseño no resulta potencialmente peligroso según el criterio profesional del equipo profesional que participó en la ejecución de este estudio técnico.

12. Bibliografía

AASHTO (2004) *Run-off Road Collisions, Executive Summary of the Strategic Highway Safety Plan*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC.

AASHTO (2002) *Roadside Design Guide*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC.

AENOR (1999) *Norma UNE-EN 1317-1, Sistemas de Contención Para Carreteras, Parte 1: Terminología y Criterios Generales para los Métodos de Ensayo*. Asociación Española de Normalización y Certificación.

AENOR (1999) *Norma UNE-EN 1317-2, Sistemas de Contención Para Carreteras, Parte 2: Clases de Comportamiento, Criterios de Aceptación para el Ensayo de Choque y Métodos de Ensayo para Barreras de Seguridad*. Asociación Española de Normalización y Certificación.

EC (2003) *D05: Summary Of European Design Guidelines For Roadside Infrastructure*, European Community R&TD Project, 5th Framework Programme "Growth", Project "RISER", European Commission.

DFRD (2005) *Design Manual for Roads and Bridges TD 27/05, Cross-Sections and Headrooms*. The Highways Agency, Scottish Executive, Welsh Assembly Government Llywodraeth Cynulliad Cymru, The Department for Regional Development Northern Ireland.

DFRD (2006) *Design Manual for Roads and Bridges TD 19/06, Requirement for Road Restraint Systems*. The Highways Agency, Scottish Executive, Welsh Assembly Government Llywodraeth Cynulliad Cymru, The Department for Regional Development, Northern Ireland.

DOMR (2005) *Road Planning and Design Manual, Chapter 8: Safety Barriers and Roadside Furniture*, Department of Main Roads, Government of Queensland, Australia.

DOMR (2006) *Main Roads Western Australia Assessment of Roadside Hazards*. Department of Main Roads, Government of Western Australia.

EC (2006) *D06: European Best Practice for Roadside Design: Guidelines for Roadside Infrastructure on New and Existing Roads*, 5th Framework Programme "Growth", Project "RISER", European Commission.

ETSC (1998) *Forgiving Roadsides*. European Transport Safety Council, Road Infrastructure Working Party, Brussels.

FOMENTO (1995) *Recomendaciones sobre sistemas de contención vehicular*, Orden Circular 321/95, Ministerio de Fomento, España.

FOMENTO (2008) *Criterios de aplicación de pretilos metálicos en carretera*, Orden Circular 23/2008, Ministerio de Fomento, España.

Martínez, A.V. y A. Amengual (2007) *La Seguridad Vial y los Accidentes por Salida de Vía. Seminario Sobre Seguridad Vial Usuario e Infraestructura*, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

MOPT (2006) *Disposición MN-06-2006, Barrera de Acero Tipo Viga Flexible (Flex Beam)*. Ministerio de obras públicas y transportes, Costa Rica.

MOPT (1978) *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos Carreteras y Puentes (CR-77)*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Costa Rica.

MOP (2001) *Instructivo para Proyectos de Contención Vial. Departamento de Seguridad Vial, Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas*, Chile.

Orozco, C. (2008) *Obras a Implementar en el Diseño de una Carretera desde el Punto de Vista de la Seguridad Vial*. Informe de trabajo final de graduación para obtener el grado de licenciatura en ingeniería civil, Universidad de Costa Rica.

Picado, J., M.E., Rodríguez (2005) *Informe de Auditoría Técnica Externa de Seguridad Vial LM-PI-PV-AT-29-05, Análisis de la Seguridad Vial de los Guardavías en Carreteras Nacionales*. Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.

Quesada, R. (2008) *Revisión de los criterios propuestos para la disposición de los sistemas de contención vehicular en Costa Rica*. Informe de trabajo final de graduación para obtener el grado de licenciatura en ingeniería civil, Universidad de Costa Rica.

Valverde, G. (2003) *Informe de Auditoría Técnica de Seguridad Vial Carretera Florencio del Castillo*. Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.

Valverde, G. (2009) *Análisis de Seguridad Vial en los Márgenes de la Carretera Florencio del Castillo*. Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.

Valverde, G. (2010) *Manual SCV: Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras de Costa Rica*. Universidad de Costa Rica, Vicerrectoría de Investigación (documento de trabajo).

