



---

# **Recomendaciones para la inspección de seguridad vial de carreteras existentes**

Marco Dorado Pineda  
Wendy Alejandra Casanova Zavala  
María Cadengo Ramírez  
Alberto Mendoza Díaz

**Publicación Técnica No. 522  
Sanfandila, Qro, 2018**



---

**SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES**  
**INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE**

**Recomendaciones para la inspección de seguridad  
vial de carreteras existentes**

**Publicación Técnica No. 522**  
**Sanfandila, Qro, 2018**

---



Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Seguridad Vial y Operación del Transporte del Instituto Mexicano del Transporte, por el M. en I. Marco Dorado Pineda, la M. en I. Wendy Alejandra Casanova Zavala, la M. en I. María Cadengo Ramírez y el Dr. Alberto Mendoza Díaz.

Esta investigación es el producto final del proyecto de investigación interna SI – 01/17 “Recomendaciones para la inspección de seguridad vial de carreteras existentes”.



# Contenido

---

Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vii
Sinopsis.....	ix
Abstract.....	xi
Resumen ejecutivo.....	xiii
Introducción.....	1
1 Inspecciones de seguridad vial .....	5
1.1 Entorno internacional de las ASV e ISV .....	5
1.1.1 Reino Unido.....	6
1.1.2 Australia.....	7
1.1.3 Nueva Zelanda .....	7
1.1.4 Estados Unidos.....	7
1.1.5 Canadá .....	9
1.1.6 México .....	9
1.2 Auditorías de seguridad vial e inspecciones de seguridad vial .....	10
1.3 Beneficios al realizar ASV e ISV .....	11
1.3.1 ¿Qué carreteras existentes deben inspeccionarse?.....	12
1.3.2 ¿Cuándo debe realizarse una ISV en una carretera existente? .....	12
2 Etapas de una inspección de seguridad vial .....	13
2.1 Metodología para inspecciones de seguridad vial de carreteras existentes	14
2.2 Identificación de la carretera .....	15
2.3 Selección del equipo de inspección .....	17
2.3.1 Tareas del equipo .....	17
2.3.2 Certificaciones y habilidades del equipo de inspección .....	18
2.4 Recopilación y análisis de la información existente .....	19
2.5 Reunión inicial.....	20
2.6 Visitas en campo.....	21
2.6.1 Listas de verificación .....	21

---

2.7	Preparación del informe de inspección con los hallazgos .....	56
2.8	Presentación de los hallazgos de la ISV al propietario de la carretera ....	57
2.9	Preparación de una respuesta formal .....	58
2.10	Incorporación de mejoras dentro de la carretera .....	59
3	Ejemplos de ISV realizadas en México .....	63
3.1	ISV con el método tradicional.....	64
3.2	ISV con el método de video .....	64
3.3	ISV con apoyo de vuelos LIDAR y videograbación de la carretera .....	66
4	Conclusiones.....	71

---

# Índice de tablas

---

Tabla 1. Tendencias de la accidentalidad vial y sus víctimas en México (2011-2014)	2
--	---

---

# Índice de figuras

---

Figura 1.1. Vista aérea del entronque Marquette .....	8
Figura 2.1. Tipos de auditorías de seguridad vial agrupadas por fases y etapas..	16
Figura 2.2 Lista de verificación (1 de 2) .....	23
Figura 2.3 Lista de verificación (2 de 2) .....	24
Figura 2.4 Distancia de visibilidad .....	26
Figura 2.5 Encharcamiento debido a problemas en el drenaje .....	31
Figura 2.6. Principios de balance y continuidad de carriles en convergencias y divergencias .....	33
Figura 2.7. Ejemplo de una intersección a nivel .....	35
Figura 2.8. Ejemplo de una intersección a desnivel .....	35
Figura 2.9. Triángulo de visibilidad en una intersección.....	36
Figura 2.10. Impacto contra terminal de barrera metálica sin protección .....	43
Figura 2.11. Amortiguadores redireccionables .....	44
Figura 2.12. Amortiguador no redireccionable.....	45
Figura 2.13. Dispositivos reflejantes colocados en barrera metálica .....	46
Figura 2.14. Espaciamiento entre la calzada vehicular y la zona de paso de peatones .....	48
Figura 2.15. Señalamiento previniendo el paso de peatones.....	49
Figura 2.16. Separación de ciclistas y peatones .....	50
Figura 2.17. Ángulos recomendados para las intersecciones a nivel.....	51
Figura 2.18. Detalle de guarniciones de perfil vertical .....	52
Figura 2.19. Intersección canalizada con guarnición de perfil bajo .....	52
Figura 2.20. Taludes y alcantarillas recomendables en intersecciones a nivel. ....	53
Figura 2.21. Protección metálica para alcantarillas .....	53
Figura 3.1. Pasos de la metodología para ISV en México.....	63
Figura 3.2. Plantilla para codificar los 17 atributos revisados durante la inspección de seguridad vial en gabinete.....	65
Figura 3.3. Discontinuidad de puente peatonal detectado desde una vista aérea	69
Figura 3.4. Reconstrucción de geometría a partir escaneo con vuelo LIDAR .....	70
Figura 3.5. Detección y dimensionamiento de accesos directos a la carretera .....	70

---

## **Sinopsis**

---

En todo el mundo se busca disminuir los índices de accidentalidad vial mediante la implementación de medidas de mejora en la infraestructura. Una importante herramienta para la determinación de estas medidas de mejora son las auditorías e inspecciones de seguridad vial. Con el propósito fundamental de reforzar la seguridad en las carreteras mexicanas, en este trabajo se proponen recomendaciones para la inspección de seguridad vial de carreteras existentes, de tal manera que se garantice un alto nivel de seguridad para todos los usuarios del camino. Asimismo, servirá a los profesionales y practicantes encargados de identificar condiciones de riesgo, fallas y deficiencias en la infraestructura vial, que puedan conducir a colisiones graves. Este documento abordará temas como las fases para elaborar una inspección de seguridad vial, recomendaciones para la realización de las visitas de campo y para la elaboración del informe de inspección, en el cual se presentarán beneficios relacionados con el mejoramiento de la seguridad vial de la infraestructura carretera existente.



# Abstract

---

Throughout the world, the aim is to reduce accident rates through the implementation of improvement measures on infrastructure. An important tool for the determination of these improvement measures are road safety inspections and audits. With the fundamental purpose of strengthening the safety of Mexican roads, this paper proposes recommendations for road safety inspection of existing roads, in such a way that a high level of safety is guaranteed for all road users. Likewise, it will serve professionals and practitioners in charge of identifying risk conditions, faults and deficiencies in the road infrastructure that can lead to serious collisions. This document will address issues such as the phases to develop a road safety inspection, recommendations for conducting field visits and for the preparation of the inspection report, which will show benefits derived from enhancing safety in existing road infrastructure.



## Resumen ejecutivo

---

En la actualidad, los índices de accidentalidad vial van en aumento, es por ello que, a través de las auditorías de seguridad vial (ASV) e inspecciones de seguridad vial (ISV), se pretende incentivar una movilidad más segura para todos los usuarios de carreteras y vialidades urbanas. Una de las metas es “reducir un 50% las muertes, así como reducir al máximo posible las lesiones y discapacidades por accidentes de tránsito en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos”, meta derivada de los acuerdos para el *Decenio de Acción por la Seguridad Vial* impulsada por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

El Instituto Mexicano del Transporte (IMT), como parte de su labor a través de la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte (CSOT), tiene la responsabilidad de coadyuvar con diferentes entidades públicas y privadas (la Secretaría de Salud, la OMS, concesionarios y permisionarios del sector transporte, entre otros) para reducir la accidentalidad vial. La prevención de las muertes y lesiones graves causadas por accidentes viales en vías públicas es una responsabilidad básica del gobierno, sus organismos y las empresas del sector privado involucradas.

El objetivo general de este trabajo es proponer recomendaciones para las ISV de carreteras existentes con varios años en operación, que sirvan a los profesionales y practicantes encargados de identificar condiciones de riesgo, fallas y deficiencias en la infraestructura vial.

Con la aplicación de estas recomendaciones, se generarán beneficios relacionados con el mejoramiento de la seguridad vial de la infraestructura carretera. Por lo tanto, se busca que las ISV realizadas a nivel nacional cumplan con procedimientos y requisitos estandarizados, en aras de una mejor calidad en las mismas, y que los profesionales y practicantes cuenten con una guía metodológica que los oriente en la realización de un mejor trabajo.

Es así como, por medio de las herramientas de las ISV, se pueden identificar las medidas de mejora necesarias que se traducirán en un beneficio a largo plazo al implantarse en carreteras e infraestructura vial existente. El objetivo primordial de las ISV está encaminado a reducir el número de víctimas de accidentes viales mediante la incorporación de un enfoque proactivo.

Las ISV buscan prevenir los problemas de seguridad vial mediante un análisis de riesgos, por lo que éstas se definen como una evaluación formal de un proyecto vial existente, donde al final el equipo inspector informa sobre el riesgo de ocurrencia de accidentes y el comportamiento que presenta la vía en cuanto a seguridad vial.

Una ISV es un procedimiento sistemático en el que personal independiente y calificado revisa una infraestructura vial con varios años en operación, donde el equipo encargado de su diseño ha dejado de tener responsabilidad sobre la misma, con el fin de identificar las condiciones de seguridad para todos los usuarios, tales como peligros, deficiencias y aspectos susceptibles de ocasionar un accidente, con el objetivo de proponer medidas de mejora adecuadas para eliminar o disminuir los problemas detectados.

De carácter preventivo, las ISV son un procedimiento complementario a la gestión de tramos de concentración de accidentes, esquema de carácter paliativo. Asimismo, las ISV permiten detectar aspectos peligrosos como la presencia de obstáculos laterales en la vía, lugares con visibilidad deficiente, ausencia de equipamiento vial y elevada cantidad de accesos, entre otros factores.

Existen diferentes mecanismos para llevar a cabo una ISV que, en términos generales, consiste de los siguientes pasos:

- 1. Identificación del proyecto.** En esta etapa se determinan los sitios a inspeccionar y se fijan los parámetros para realizar la ISV.
- 2. Seleccionar el equipo inspector.** Se selecciona el equipo de expertos que será independiente, multidisciplinario y debidamente calificado para realizar la ISV.
- 3. Recopilar y analizar la información disponible.** Toda la información referente a la infraestructura vial a revisarse se entrega al equipo inspector para su análisis, búsqueda de información complementaria y planteamiento de dudas al respecto.
- 4. Llevar a cabo una reunión inicial.** Esta reunión tendrá como propósito reunir al propietario de la infraestructura vial con el equipo que realizará la ISV, a fin de definir los alcances de la inspección, revisar la información entregada, resolver dudas y, en su caso, solicitar información adicional.
- 5. Realizar visitas de campo bajo diferentes circunstancias.** El objetivo de estas visitas es obtener más información sobre la carretera, para así poder identificar las áreas de mayor preocupación en materia de seguridad vial. En este paso se utilizan las listas de verificación, mismas que proveen a los miembros del equipo inspector de una herramienta eficaz para poder investigar aspectos que cotidianamente causan deficiencias en cuanto a la seguridad de la vía.

- 6. Preparar el informe de inspección con los hallazgos.** Como resultado de este punto, se identifican los problemas de seguridad y se priorizan. Asimismo, se agregan las recomendaciones para reducir el nivel de riesgo existente.
- 7. Presentar los hallazgos de la ISV al propietario del proyecto.** En esta etapa, el equipo inspector reporta los hallazgos clave al propietario del proyecto, con el objetivo de resolver cualquier duda que se tenga con el informe de inspección.
- 8. Preparar una respuesta formal.** La respuesta formal se convierte en una etapa fundamental, ya que en este documento se enumeran las acciones que los encargados de la operación o mantenimiento de la infraestructura realizarán derivadas de cada una de las observaciones que el equipo inspector incluyó en el informe de inspección, así como las razones por las cuales no es posible atender alguna de dichas observaciones.
- 9. Incorporar las mejoras propuestas si se considera apropiado.** El paso final de la ISV es recibir retroalimentación por parte del equipo encargado de la operación o mantenimiento de la infraestructura, con el fin de asegurarse de que los acuerdos realizados respecto a las medidas de mejora se hayan cumplido en tiempo y forma.

Cabe mencionar que se han realizado ISV en México de manera tradicional y mediante video, las cuales se detallarán en los capítulos posteriores. En cuanto a los beneficios de una ISV, se tienen la prevención de accidentes, el ahorro en costos de construcción, carreteras más seguras y la reducción de los costos de vida del proyecto.

Finalmente, es importante que los responsables de la ejecución de ISV comprendan los grandes beneficios obtenidos al diseñar carreteras perdonadoras, evitando accidentes en donde existan víctimas mortales o lesionados de gravedad.



# Introducción

---

Actualmente México enfrenta uno de los más grandes desafíos sociales: el mejoramiento sustancial de la seguridad vial, ya que los índices de accidentalidad van en aumento día con día. Aunque, si bien es cierto que los índices relacionados con el número de accidentes y lesionados por vehículo-kilómetro son muy similares a los de algunos países desarrollados (Estados Unidos, Alemania, Inglaterra, entre otros), el de muertos resulta bastante preocupante: de cuatro a cinco veces mayor para el caso de México (International Road Federation, 1999).

Una estrategia que se ha venido utilizando en los últimos años para tratar de reducir la accidentalidad y sus costos asociados ha sido la aplicación de medidas correctivas en la infraestructura. Éstas han demostrado un alto grado de eficiencia de acuerdo con su relación costo-beneficio, lo que ha impulsado —dentro de cualquier política de seguridad vial— que los recursos asignados a la aplicación de este tipo de medidas se consideren prioritarios.

En este contexto, el Gobierno de la República Mexicana, con la proclamación del *Decenio de Acción para la Seguridad Vial* y la puesta en marcha de la Estrategia Nacional de Seguridad Vial 2011-2020 (DOF, 2011), desarrollada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y la Secretaría de Salud (SS), busca aplicar medidas de seguridad vial en los tres niveles de gobiernos, en ejes como la gestión de la seguridad vial, el desarrollo de infraestructura, la concientización de los usuarios y la mejora en la atención médica, entre otros.

Es por ello que, a través de las inspecciones de seguridad vial (ISV), se pretende incentivar una movilidad más segura para todos los usuarios de carreteras y vialidades urbanas, ya que una de las metas del *Decenio de Acción por la Seguridad Vial* es “reducir un 50% las muertes, así como reducir al máximo posible las lesiones y discapacidades por accidentes de tránsito en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos”.

La Estrategia Nacional guarda consonancia con el formato establecido para el Decenio de Acción, planteándose acciones en los mismos cinco pilares establecidos en el Plan Global para el *Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011-2020*:

1. gestión de la seguridad vial
2. movilidad y vías más seguras
3. vehículos más seguros
4. usuarios de las vías más seguros
5. respuesta después de una colisión

México ha emprendido diversas acciones en torno a los cinco pilares anteriores para lograr las metas comprometidas en la Estrategia (SCT, 2012).

El Instituto Mexicano del Transporte (IMT), como parte de su labor a través de la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte (CSOT), tiene la responsabilidad de coadyuvar con diferentes entidades públicas y privadas (Secretaría de Salud, Organización Mundial de la Salud, concesionarios y permisionarios del sector transporte, entre otros) para reducir la accidentalidad vial. La prevención de las muertes y lesiones graves causadas por los accidentes viales en las vías públicas es una responsabilidad básica del gobierno, sus organismos y las empresas del sector privado involucradas.

La tabla 1 muestra las tendencias en México de la accidentalidad vial y sus víctimas para el periodo comprendido entre 2011 y 2014, según cifras del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Los accidentes viales son la principal causa de muerte para niños entre 5 y 14 años, y la segunda para jóvenes entre 15 y 29 años (CONAPRA, 2015). Los peatones, ciclistas y motociclistas son los que corren mayor riesgo.

**Tabla 1. Tendencias de la accidentalidad vial y sus víctimas en México (2011-2014)**

Año	Accidentes	Muertos <sup>1</sup>	Lesionados <sup>1</sup>	Muertos <sup>2</sup> (CIE-10)
2011	412,090	12,392	161,791	17,154
2012	414,627	10,017	153,685	17,653
2013	406,508	8,957	141,754	16,407
2014	396,254	8,563	134,815	15,886

1) Muertos y lesionados reportados en el sitio del accidente. Las personas que fallecieron en el lugar del accidente se contabilizan dentro de los muertos, mientras que los lesionados son todas aquellas personas que fueron retiradas del lugar del accidente con vida, sin importar si fallecieron en el trayecto o en el hospital (CNS, 2014), (INEGI, 2015).

2) Los datos relacionados con el número de muertos considerados en la columna 5 de esta tabla se obtienen a partir de las actas de defunción, mismas que se llenan con apego a la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE) en su 10ª revisión (INEGI, 2015).

Aunque entre 2011 y 2014 se obtuvo una tasa de crecimiento media anual (TCMA) en las muertes por accidentes viales de -2.06%, según las cifras en la tabla 1, ésta es demasiado baja para la meta comprometida dentro de la Estrategia Nacional de Seguridad Vial, misma que plantea reducir en 50% el número de muertos al final del Decenio (o una cifra máxima de 8,600 muertos anuales para el año 2020).

Además de reconocer el notable potencial que las mejoras en la infraestructura suelen tener en la seguridad vial, y con el fin de reforzar el logro de resultados de cara a las metas del Decenio, en este trabajo se proponen recomendaciones para la inspección de seguridad vial de carreteras existentes, que serán de utilidad para los profesionales y responsables de identificar condiciones de riesgo, fallas y deficiencias en la infraestructura vial.

Esta acción cae dentro de las correspondientes al Pilar núm. 2 del Plan Global referente a “Movilidad y vías más seguras”. Para este pilar, la Estrategia Nacional establece específicamente participar en la revisión de la modernización de la infraestructura vial y de transporte más segura, a fin de impulsar:

1. La creación o mejora de la normatividad relacionada con el establecimiento de los criterios de seguridad vial en la infraestructura para las etapas de planeación, diseño y construcción de nuevos proyectos y vías en funcionamiento, tanto en carreteras como en vialidades urbanas.
2. La mejora de la seguridad de la infraestructura vial urbana e interurbana.
3. La aplicación de tecnología para la mejora de la gestión del tránsito en vías urbanas e interurbanas.
4. El desarrollo de una movilidad segura y equitativa para los usuarios vulnerables.

Este documento contribuye al cumplimiento del Objetivo 6: “Desarrollar integralmente a largo plazo al sector con la creación y adaptación de tecnologías y la generación de capacidades nacionales” (SCT, 2013). Este objetivo guarda consonancia con el Objetivo 4.9: “Contar con una infraestructura de transporte que se refleje en menores costos para realizar la actividad económica” de la Meta Nacional 4. México Próspero” (Gobierno de la República, 2013).

## **Objetivos**

El objetivo general de este trabajo es proponer recomendaciones para la inspección de seguridad vial de carreteras existentes con varios años en operación, donde los encargados del diseño y la construcción ya no tienen responsabilidad sobre las mismas, con la finalidad de reducir las condiciones de riesgo en ellas.

## **Alcances**

Entre los alcances de este documento se cubren los siguientes aspectos:

- Funciones de la vía y su cambio a través del tiempo.
- Sección transversal.
- Alineamiento.
- Intersecciones.

- Servicios públicos y privados y área de descanso.
- Necesidades de los usuarios vulnerables.
- Señalamiento vertical y horizontal y alumbrado.
- Características de las zonas laterales y dispositivos de protección pasiva.

Asimismo, se abarcan los siguientes pasos del proceso de ISV de vías existentes:

- Trabajo de preparación en la oficina.
- Estudio de inspección de campo.
- Informe de inspección.
- Medidas correctivas y seguimiento.

Se incluyen recomendaciones y herramientas suplementarias, tales como:

- Definiciones.
- ¿Qué vías deberán inspeccionarse?
- ¿Cuándo deberá realizarse una ISV (tiempo específico, estación del año, frecuencia de realización)?
- Mecanismo institucional sugerido.
- Listas de verificación.
- Requisitos de formación y acreditación para los inspectores de seguridad vial.
- Ejemplos de ISV realizadas en el medio mexicano.

Al aplicar estas recomendaciones, se generarán beneficios relacionados con el mejoramiento de la seguridad vial de la infraestructura carretera existente. Se busca que las ISV practicadas a nivel nacional cumplan con procedimientos y requisitos estandarizados, en aras de una mejor calidad en las mismas, y que los profesionales y responsables de ejecutarlas cuenten con una guía metodológica que los oriente en la realización de un mejor trabajo de ISV.

# 1 Inspecciones de seguridad vial

---

Por medio de las inspecciones de seguridad vial (ISV) se pueden identificar las mejoras necesarias que resultarán en un beneficio a largo plazo al implantarse en carreteras e infraestructura vial existentes. Las medidas de mejora y recomendaciones que resulten de una ISV se pueden evaluar y priorizar mediante un análisis costo-beneficio.

El análisis costo-beneficio es una herramienta indispensable reconocida por apoyar directamente la formulación de normas y toma de decisiones en diversas aplicaciones. En el ámbito de la construcción de infraestructura vial, esta herramienta es fundamental para poder llevar a cabo la construcción de grandes obras viales que benefician social y económicamente al sector en donde impacta la obra vial. Sin embargo, estos estudios deben considerar aspectos que no sólo repercutan como un beneficio económico directo a los usuarios al permitir ahorros en tiempo de viaje, combustible y mantenimiento vehicular; sino también en aspectos que permitan ahorros indirectos al evitar costos por fallecimiento, discapacidad, pérdida de la productividad y costos médicos, entre otros. A este respecto, existen metodologías que permiten evaluar económicamente las pérdidas por las lesiones producidas en siniestros viales (Corso *et al*, 2006).

Por otro lado, los accidentes ocurridos alimentan las bases de datos para evaluar las instalaciones viales en donde se requieren modificaciones (puntos negros). Sin embargo, de acuerdo con Killi y Vedagiri (2014), este enfoque es totalmente impráctico y carente de ética por parte de los investigadores.

Así pues, es posible aplicar la herramienta del costo-beneficio a análisis que permitan identificar mejoras en las carreteras y las diversas infraestructuras viales para poder reducir el riesgo de muerte y lesiones graves, utilizando referencias internacionales que cuantifiquen la efectividad de las medidas propuestas contra el costo de cada medida contemplada a instalar.

## 1.1 Entorno internacional de las ASV e ISV

El objetivo primordial de las ASV y las ISV está encaminado hacia la reducción de las víctimas por accidentes viales mediante la incorporación de un enfoque proactivo. Austroads, que es la Asociación Nacional de Transporte por Carretera y Autoridades de Tránsito en Australia, define las ASV como: “Una revisión formal de un proyecto existente o futuro de carreteras, o cualquier proyecto que interactúe con usuarios de las vías, en donde un equipo capacitado e independiente examina los potenciales accidentes y el desempeño de la seguridad vial”.

### **1.1.1 Reino Unido**

El concepto de ASV tiene su origen en el Reino Unido en la década de 1980, cuando el Departamento de Transporte del Reino Unido formuló estrategias para reducir en un tercio el número de muertes anuales para el año 2000.

Asimismo, en los años de 1980, ingenieros británicos fueron los primeros en concebir la idea de las ASV como una revisión de seguridad para los nuevos y mejorados arreglos de carreteras. Sin embargo, la idea de realizar una revisión de seguridad en el ámbito del transporte ha existido por más de 150 años.

Un estudio realizado sobre la integración de la red ferroviaria en Gran Bretaña en el año de 1830 muestra que los ingenieros responsables de la construcción ferroviaria, junto con los encargados de la regulación en la materia, asieron el concepto de auditorías de seguridad como la clave para un sistema de transporte seguro. En las tempranas etapas de este tipo de transporte los accidentes fueron muy comunes, ya que se desconocían las velocidades pertinentes para su operación.

El proceso de las ASV en el Reino Unido empezó a adquirir impulso cuando los ingenieros encargados de la seguridad se dieron cuenta de que estaban realizando esquemas de remediación de accidentes en carreteras relativamente nuevas. Así, adoptando el principio de “la prevención es mejor que la cura”, decidieron utilizar parte del trabajo realizado en auditorías de seguridad en la red ferroviaria y la experiencia adquirida en realizar adecuaciones para mejorar la seguridad, para diseñar un panorama seguro dentro de los nuevos esquemas de carreteras.

Años más tarde, con este mismo enfoque, el Instituto de Carreteras y Transporte del Reino Unido, en una publicación realizada en 1980 cuyo título es: “Guías para la investigación y prevención de accidentes”, enfatiza el concepto de “revisión de la seguridad” como un mecanismo de prevención de accidentes. En una revisión posterior realizada a estas guías en 1986 se utilizó la frase “auditoría de seguridad”.

Un caso práctico de éxito de las ASV en el Reino Unido se menciona en un estudio donde se exploraron los resultados post implementación de este procedimiento en el condado británico de Surrey. Dichos resultados mencionan que después de la implementación de las ASV el promedio de accidentes fatales y con lesionados graves en los sitios auditados disminuyó en 1.25 accidentes por año, es decir, de 2.08 a 0.83 accidentes anuales (Ward, 2006).

Sin embargo, de acuerdo con Proctor, Belcher y Cook (2001), las ASV no se realizan en carreteras nuevas en el Reino Unido, tal y como se llevan a cabo en otros países como Dinamarca, Australia o Alemania.

## 1.1.2 Australia

La introducción del concepto de ASV en Australia comenzó en el año de 1990, con un extenso intercambio de experiencias y visitas de ingenieros del Reino Unido. Las primeras guías australianas para las ASV e ISV se elaboraron en 1994; sin embargo, con el paso de los años y las nuevas experiencias, estas guías se sometieron a revisiones para volverse a publicar en 2002. En Australia se aplicaron inspecciones y auditorías a carreteras existentes y al diseño de nuevos proyectos, respectivamente. Aun cuando las ISV en carreteras existentes se realizan con regularidad en varias jurisdicciones, se ha reconocido ampliamente que el mayor aporte de este tipo de procedimientos se da cuando se realizan en los diseños de la infraestructura vial en la etapa de proyecto, en el cual toma el nombre de ASV.

A pesar del esfuerzo de los gobiernos y las autoridades locales, prevalecen vacíos en las ASV e ISV llevadas a cabo en Australia:

- Se omiten los riesgos de seguridad obvios en la red carretera: no se realizan las auditorías e inspecciones suficientes o éstas se realizan demasiado tarde.
- Es difícil para los practicantes obtener experiencia dentro de los grupos de auditorías e inspecciones.
- Algunas auditorías e inspecciones corren a cargo de personas no acreditadas ni entrenadas para tal efecto.
- Los encargados de proyectos de infraestructura vial enfrentan dificultades para dar respuesta a los informes de auditoría o inspección.

## 1.1.3 Nueva Zelanda

Similarmente a Australia, Nueva Zelanda realizó intercambios de experiencias y visitas provenientes del Reino Unido. Así, los lineamientos para la realización de ASV e ISV en Nueva Zelanda se publicaron en 1993. Una vez que las auditorías e inspecciones se comenzaron a realizar, se aplicaron en proyectos existentes y en etapa de diseño. El documento nombrado “Política y procedimientos para auditorías de seguridad vial” establecía que todos los proyectos cuyo costo fuera mayor que cinco millones de dólares neozelandeses (el equivalente a nueve millones de dólares estadounidenses en 1993) tendrían que someterse a auditorías desde su concepción hasta la culminación de la construcción. Además de esto, la Dirección de Tránsito de Nueva Zelanda ordenó que se realizaran auditorías al 20% de la muestra de los proyectos de carreteras en ese entonces; sin embargo, este documento no establecía una metodología para elegir los proyectos a incluir en dicha muestra.

## 1.1.4 Estados Unidos

Estados Unidos, observando los procedimientos de Australia y Nueva Zelanda, envió un grupo de exploración para evaluar el proceso de las ASV e ISV en dichos países. Este grupo multidisciplinario de expertos se integraba de ingenieros de carreteras, especialistas en seguridad y educadores. Esta visita tuvo como resultado la creación de un reporte titulado “Viaje de estudio para auditorías de seguridad vial”

(Trentacoste *et al.*, 1997). El grupo de expertos, a través de las experiencias recabadas, concluyó que las ASV e ISV pueden maximizar la seguridad dentro del diseño y la operación de las carreteras.

En 1998 la Administración Federal de Carreteras (FHWA, por sus siglas en inglés) comenzó un proyecto piloto de auditorías e inspecciones de seguridad vial, cuyo objetivo era determinar la factibilidad de su implementación a nivel nacional dentro del proceso de desarrollo del proyecto, construcción y operación de carreteras. Como consecuencia, se agregaron 14 estados al proyecto piloto.

Desde entonces, la FHWA ha tenido bastante presencia en la ejecución de las ASV e ISV, además de haber producido la “Guía para auditorías de seguridad vial” (Ward, 2006). En esta guía, se estructura el proceso para llevar a cabo las auditorías e inspecciones y se proveen herramientas, como las listas de verificación, las cuales facilitan el trabajo del auditor o inspector en campo.

Uno de los proyectos más emblemáticos de ASV en Estados Unidos fue el del entronque Marquette en el año 2003 (Figura 1.1), en el marco del cual se auditaron las mejoras realizadas a dicho entronque. Ubicado en Milwaukee y punto de convergencia de las autopistas I-94, I-794 e I-43, dicho entronque consta de cuatro niveles para realizar los movimientos direccionales y se considera piedra angular del sistema vial del sureste de Wisconsin.



**Figura 1.1. Vista aérea del entronque Marquette**

Por otro lado, el Instituto de Ingenieros de Transporte (ITE, por sus siglas en inglés) ha apoyado el trabajo realizado por la FHWA en materia de ASV e ISV. Dicho instituto se encarga de facilitar la aplicación de la tecnología y los principios científicos a la investigación, planeación, diseño funcional, implementación, operación y formulación de políticas para cualquier modo de transporte.

El Reporte núm. 336 del Programa Nacional de Autopistas Cooperativas (NCHPR, por sus siglas en inglés) es un resumen de las auditorías e inspecciones de seguridad vial alrededor del mundo, con énfasis en las experiencias dentro de las carreteras de Estados Unidos.

### **1.1.5 Canadá**

Entre las jurisdicciones de las provincias de Canadá se observa un incremento en la necesidad de orientar los esfuerzos de las instituciones encargadas de la seguridad vial hacia un enfoque proactivo. La Asociación de Transporte de Canadá creó un programa educacional que incrementó de manera radical el número de auditores e inspectores calificados.

El enfoque canadiense hacia las ASV e ISV, además de incluir la identificación de los problemas de seguridad de las carreteras, incluye una clasificación subjetiva del riesgo y soluciones sugeridas. La clasificación subjetiva de riesgos fue requerida por quienes solicitaban las auditorías e inspecciones, con el fin de poder jerarquizar y priorizar las medidas de mejoras necesarias.

Dentro de algunas provincias de Canadá, como Columbia Británica, Nuevo Brunswick y Alberta, las ASV se han utilizado de manera satisfactoria en proyectos públicos aprobados. Los proyectos evaluados se han examinado desde la concepción del diseño hasta su construcción. Estas intervenciones por parte de los auditores han permitido añadir mejoras a los proyectos que los concesionarios de las carreteras podrían haber considerado como fuera del alcance del proyecto.

### **1.1.6 México**

En México se han realizado ISV en carreteras existentes principalmente. Dichas inspecciones se realizan por solicitud de las autoridades responsables de la operación de la vía. Los esfuerzos se han enfocado en incluir las ASV como parte integral del proyecto desde su concepción, además de incluir políticas para poder realizar ISV de manera obligatoria en carreteras en operación.

Cabe señalar que en el ámbito internacional las ISV también se conocen como auditorías de seguridad vial de carreteras en operación, tema medular de este documento. En el siguiente apartado se abordarán las diferencias entre las auditorías e inspecciones de seguridad vial y los alcances de cada una de éstas.

## 1.2 Auditorías de seguridad vial e inspecciones de seguridad vial

En primer lugar, se definirán las auditorías de seguridad vial (ASV) en los términos aceptados internacionalmente: una auditoría de seguridad vial es una revisión formal e independiente del desempeño de la seguridad de un proyecto de infraestructura vial, realizada por un grupo de especialistas y dirigida a la seguridad de todos los usuarios de la vía (Ho, Zein y de Leur, 2001).

La ASV busca prevenir los problemas en las carreteras mediante un análisis de riesgos, por lo que se define como una evaluación formal de un proyecto vial, existente o futuro, donde al final el equipo auditor informa sobre el riesgo de ocurrencia de accidentes y el comportamiento que presenta la vía en cuanto a seguridad vial.

Por su parte, una inspección de seguridad vial es un procedimiento sistemático por el que personal calificado e independiente revisa *in situ* y de manera periódica una carretera en servicio o tramo de la misma, con el fin de identificar condiciones que suponen un riesgo para la seguridad, tales como peligros, deficiencias y aspectos susceptibles de ocasionar un accidente, para plantear medidas de mejora adecuadas y eliminar o disminuir los problemas encontrados. Una ISV es una evaluación de una carretera existente por un equipo independiente, cuya atención se centra únicamente en aspectos de seguridad (Lipinski y Wilson, 2003).

Las ISV son preventivas, son un procedimiento complementario a la gestión de tramos de concentración de accidentes, de carácter paliativo.

Asimismo, las ISV permiten detectar aspectos peligrosos como la presencia de obstáculos laterales en la vía, lugares con visibilidad deficiente, ausencia de equipamiento vial y elevada cantidad de accesos, entre otros. Las ISV tienen el objetivo de detectar deficiencias de seguridad en la infraestructura viaria para que se adopten las medidas preventivas oportunas.

Tanto las ASV como las ISV son procedimientos donde se revisan las condiciones de seguridad de una infraestructura vial tomando en cuenta a todos los usuarios; sin embargo, la diferencia entre estos dos procedimientos radica en la etapa del proyecto en que se aplican: las ASV se practican en todas las etapas de diseño del proyecto (planeación y viabilidad, anteproyecto y proyecto ejecutivo), previo a su apertura (para comprobar que la construcción corresponde con el diseño autorizado en el proyecto ejecutivo) y en sus primeros años de operación, hasta que el equipo encargado de su diseño deja de tener injerencia y responsabilidad sobre el proyecto. Las ISV, en cambio, se practican en infraestructura vial existente con varios años en operación, donde su función y las condiciones de su entorno pueden haber cambiado respecto a las consideradas en el diseño original. En las ISV el equipo encargado del diseño de la infraestructura ya no interviene, al haber sido construidas tiempo atrás.

Desafortunadamente, existe confusión alrededor del mundo en gran parte de las entidades dedicadas a los proyectos de transporte con respecto a estas herramientas proactivas de la seguridad vial. La importancia de incorporar este tipo de procedimientos en la revisión de proyectos de infraestructura vial obedece a que, aunque los proyectos se diseñen con apego a las normas vigentes y las especificaciones requeridas por las entidades reguladoras, eso no garantiza que estén contemplando cuestiones de seguridad vial que involucren a todos los usuarios de la vía. Muchas entidades gubernamentales y privadas encargadas de la ejecución de los proyectos de infraestructura vial afirman que se toman en cuenta prácticas equivalentes a las auditorías e inspecciones de seguridad vial; sin embargo, a la luz de la definición de lo que es una ASV y una ISV, no se agregan las consideraciones de seguridad que estas herramientas proporcionan. Un problema que suele presentarse comúnmente es que los mismos equipos que realizan el diseño u operación de la carretera son los encargados de realizar la revisión de las posibles deficiencias de seguridad, usualmente apoyados por las normas de diseño vigentes. Este tipo de revisiones no es recomendable pues el personal, al conocer en detalle el diseño u operación del proyecto, pierde de vista el factor seguridad. En ese sentido, es necesario tener una visión fresca y objetiva para la revisión de las posibles deficiencias o riesgos en la seguridad de la infraestructura, a través de un equipo independiente y calificado para ello.

Una característica importante tanto de las ASV como de las ISV es su naturaleza proactiva, la cual no requiere de una base de datos exhaustiva de los accidentes ocurridos en el tramo de estudio, sino que se enfoca en las deficiencias de seguridad observables, mayormente por las condiciones de operación predominantes para todos los tipos de usuarios de la vía.

Los beneficios de las ASV e ISV se encuentran documentados alrededor del mundo, en donde se especifican aquellos que ha adquirido la infraestructura vial a través de la aplicación de éstas, así como estudios que realizan comparaciones de tramos en donde se realizaron y en donde no.

### **1.3 Beneficios al realizar ASV e ISV**

Los beneficios de las ASV e ISV se han reportado en algunas publicaciones (Zein y Mairs, 2002; Datta y Schattler, 2003), en las cuales los resultados han arrojado que el costo-beneficio al realizar este tipo de procedimientos suele ser positivo. Los beneficios suelen estar enfocados en los siguientes aspectos (Ward, 2006):

- Los costos adicionales para la reconstrucción de un sitio en operación para mejorar la seguridad vial se reducen sustancialmente al ser identificados desde la etapa de diseño.
- Los costos de mantenimiento del proyecto se reducen, ya que por lo general los diseños más seguros producen costos de mantenimiento menores.
- Los costos sociales de los accidentes se reducen al contar con carreteras más seguras, al presentarse menos accidentes y de condiciones menos severas.

- Los reclamos por responsabilidad, de los afectados hacia el gobierno o las entidades concesionarias, se reducen al contar con carreteras más seguras.

Uno de los estudios más citados acerca de los beneficios de estas herramientas es el realizado en el condado de Surrey, en el Reino Unido, en donde se compararon las reducciones en accidentes fatales y con lesionados en autopistas donde se realizaron estos procedimientos contra otros proyectos existentes en donde no se llevaron a cabo.

### **1.3.1 ¿Qué carreteras existentes deben inspeccionarse?**

Se debe inspeccionar todo tipo de carreteras existentes en operación, incluso sin problemas aparentes. Sin embargo, es especialmente recomendable practicar inspecciones en carreteras en las que se están realizando trabajos de refuerzo, renovación o acondicionamiento, así como en tramos de concentración de accidentes o donde se registra un número elevado de accidentes de forma aleatoria.

Asimismo, las ISV son necesarias en carreteras existentes cuando se presentan situaciones como las siguientes:

- Cambios en la función de la vía.
- Evolución del entorno.
- Incorporación de sistemas inteligentes de transporte.

### **1.3.2 ¿Cuándo debe realizarse una ISV en una carretera existente?**

Se recomienda realizar inspecciones de seguridad vial en carreteras con varios años en operación con una frecuencia de entre tres y ocho años. En el caso de carreteras recientes, se recomienda realizar la primera ISV transcurridos dos años de su apertura y posteriormente con la misma frecuencia que la señalada.

## 2 Etapas de una inspección de seguridad vial

---

Es importante mencionar los aspectos fundamentales de una ISV, por lo que se comenzarán a describir los elementos de esta herramienta. Cabe mencionar que el enfoque se realizará sobre las ISV de carreteras existentes en operación.

Como primer punto, es adecuado mencionar que las ISV suelen tener etapas similares a otro tipo de revisiones; sin embargo, una ISV suele diferenciarse por tratarse de un análisis formal de los componentes de diseño y los efectos operacionales de una carretera existente, desde el punto de vista de la seguridad.

Otro elemento clave de las ISV es que se llevan a cabo por un equipo. De acuerdo con recomendaciones internacionales, debe ser un equipo de al menos tres personas, de preferencia multidisciplinario y con la experiencia suficiente para poder complementar el trabajo desde diferentes puntos de vista. Un buen equipo multidisciplinario para realizar las ISV está formado por especialistas en: diseño geométrico, ingeniería de tránsito, conservación y mantenimiento de vialidades, construcción de carreteras, seguridad y operación del transporte y factor humano, así como por encargados de vigilar el cumplimiento de las normas de tránsito, entre otras disciplinas de gran valor para el enriquecimiento de la inspección. Cabe mencionar que todos los integrantes deberán tener alguna certificación, idealmente una otorgada por algún organismo internacional, que sirva de constancia de su debido entrenamiento. De gran importancia es también que los integrantes del equipo de inspección tengan un punto de vista independiente; es decir, deben ser ajenos a la entidad encargada de la operación o el mantenimiento de la vía.

El objetivo de las ISV es identificar problemas potenciales que afecten la seguridad de todos los usuarios de la vía, incluyendo a usuarios vulnerables, ya sea por el diseño de la vía o por condiciones de operación prevalecientes. Por otro lado, las ISV no deben enfocarse en el cumplimiento de normas, a menos que su incumplimiento afecte negativamente la seguridad vial.

La naturaleza de las ISV debe ser proactiva y no reactiva. Una de las principales motivaciones por las cuales se decide realizar una ISV es por tenerse un registro de un alto número de accidentes ocurridos en el sitio en cuestión, aunque ello no debe ser el motivo principal para realizarla; las ISV, por el contrario, buscan establecer una relación en donde la causa y el efecto no sean claros. Estos problemas en potencia tienen que ver con el día y la época del año, o situaciones que puedan existir dadas las condiciones geométricas y las expectativas del conductor.

## **2.1 Metodología para inspecciones de seguridad vial de carreteras existentes**

Como se comentó anteriormente, una ISV es una revisión formal del desempeño en la seguridad de una carretera o intersección existente, realizada por un equipo independiente. La ISV considera la seguridad de todos los usuarios de la vía, estima cualitativamente los riesgos y reporta los hallazgos identificados, para luego presentar un informe con las medidas de mejora propuestas.

Existen diferentes mecanismos o procesos para llevar a cabo una ISV. A continuación, de manera general, se presentan los pasos para realizarla:

- 1. Identificación de la carretera.** En esta etapa se determinan los sitios a inspeccionar y se fijan los parámetros para realizar la ISV.
- 2. Selección del equipo de inspección.** Se selecciona el equipo de expertos, que será independiente, multidisciplinario y debidamente calificado para realizar la ISV.
- 3. Recopilación y análisis de la información existente.** Se hace entrega de toda la información referente a la carretera seleccionada al equipo de inspección para su análisis y búsqueda de información complementaria.
- 4. Reunión inicial.** Esta reunión tendrá como propósito congregarse al propietario de la carretera, el responsable de su operación y mantenimiento y el equipo encargado de realizar la ISV, a fin de definir los alcances de la inspección, establecer las líneas de comunicación, revisar la información entregada, resolver dudas y, en su caso, solicitar información adicional.
- 5. Visitas en campo bajo diferentes circunstancias.** El objetivo de estas visitas es obtener más información sobre la carretera existente, para así poder identificar las áreas de mayor preocupación en materia de seguridad.
- 6. Preparación del informe de inspección con los hallazgos.** Como resultado de este punto, se identifican y priorizan los problemas de seguridad. Asimismo, se presentan las recomendaciones para reducir el riesgo existente mediante la implementación de medidas de mejora en la infraestructura.
- 7. Presentación de los hallazgos de la ISV al propietario de la carretera.** En esta etapa, el equipo encargado de realizar la ISV reporta los hallazgos clave al propietario de la carretera, con el objetivo de resolver cualquier duda que se tenga con el informe de inspección.
- 8. Preparación de una respuesta formal.** En esta etapa, la respuesta formal se convierte en una etapa fundamental, ya que en este documento se enlistan las acciones que los encargados de la operación y el mantenimiento

de la carretera realizarán sobre cada observación que el equipo de inspección incluyó en el informe de inspección, así como las razones por las cuales no es posible atender alguna de las observaciones antes enlistadas.

- 9. Incorporación de mejoras en la carretera.** El paso final de la ISV es recibir retroalimentación por parte del equipo encargado de la operación y el mantenimiento de la carretera, con el fin de asegurarse de que los acuerdos realizados respecto a las medidas de mejora se hayan cumplido en tiempo y forma.

En los siguientes apartados se detallará cada una de las etapas antes descritas, con la finalidad de proveer un panorama más amplio y proporcionar ejemplos en los casos que apliquen.

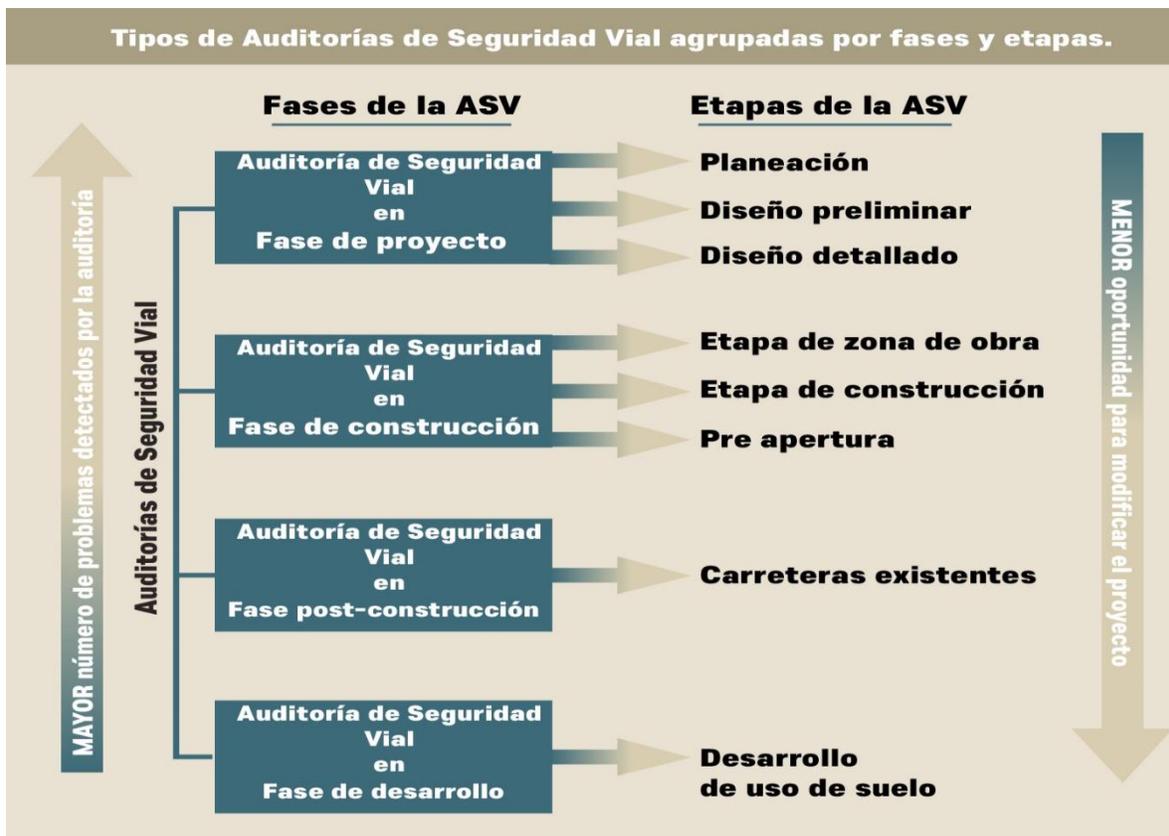
## 2.2 Identificación de la carretera

Las agencias gubernamentales o privadas encargadas de mejorar la seguridad vial en las carreteras a su cargo pueden contar con puntos ya preestablecidos, debido a una política de selección de sitios para ISV, o identificarlos mediante un estudio previo. Es importante que se manifieste por escrito que los sitios a inspeccionar han sido seleccionados por el organismo encargado de la administración de dichas carreteras. Por otra parte, se tiene que considerar que estos organismos poseen recursos limitados y deben ser cuidadosos al momento de considerar las carreteras o puntos de interés a inspeccionar. Algunos de los criterios utilizados en el ámbito internacional para decidir si una carretera debe o no ser inspeccionada son el tránsito diario promedio anual o el número de accidentes presentados.

Al elegir sitios con alta accidentalidad, es necesario hacerlo con las herramientas estadísticas adecuadas, ya que es muy común jerarquizar los puntos a inspeccionar con la frecuencia media de los accidentes presentados en años anteriores. Sin embargo, debido a la naturaleza de la ocurrencia de los accidentes, la frecuencia media futura de los accidentes no puede conocerse, únicamente puede estimarse. Siempre que se observa un siniestro vial y se utiliza para estimar la frecuencia media de los accidentes, las observaciones subsecuentes tenderán a ocurrir con una frecuencia cercana, pero con una media desconocida para el sitio específico. Este efecto que ocurre muy frecuentemente es conocido como regresión a la media. Una consecuencia inmediata de este efecto es que sitios seleccionados para una ISV debido a la observación de una frecuencia media de accidentes bastante alta, tenderán a presentar una menor frecuencia de accidentes, aún sin que se haya realizado en el sitio ningún trabajo de mejora. El efecto que se presenta cuando se utiliza un alto número de observaciones como base para jerarquizar los puntos se conoce como selección por sesgo. Debido a este problema, las investigaciones se han enfocado en considerar no sólo los registros de accidentes del sitio, sino también los flujos de tránsito y las características geométricas de las intersecciones, a través de modelos estadísticos bayesianos. Con base en estos modelos estadísticos se puede realizar un análisis combinando evidencias de las observaciones de sistemas que se consideran estocásticos con los de otras fuentes.

De estudios como los de Heydecker y Wu (2001), Robert (2007) y Hauer (1997) emanan modelos de análisis de tipo bayesiano para poder estimar las frecuencias medias relativas de manera óptima. Se recomienda llevar a cabo este tipo de análisis si no se cuenta con un programa establecido de sitios para realizar ISV.

Es importante mencionar que los mayores beneficios de este tipo de procedimientos se presentan cuando se practican en proyectos en fase de diseño (ASV), pues se está evitando que situaciones de riesgo lleguen a presentarse, con sus respectivas consecuencias en la ocurrencia de accidentes. A este respecto, en el esquema de la Figura 2.1 se muestran las fases y etapas de un proyecto de infraestructura vial en las que se pueden practicar auditorías e inspecciones de seguridad vial. Cabe mencionar que en alguna literatura técnica se identifican lo mismo ISV que ASV en fase de operación (carreteras existentes).



Fuente: FHWA Road Safety Audits Guidelines.

**Figura 2.1. Tipos de auditorías de seguridad vial agrupadas por fases y etapas**

## 2.3 Selección del equipo de inspección

Para poder ser un inspector de seguridad vial se necesita trabajar en equipo, además de tener experiencia, estar calificado y ser pluridisciplinar con conocimientos en: señalización vial, tránsito, diseño geométrico, sistemas de contención, balizamiento, seguridad vial, sistemas informáticos, entre otros conocimientos requeridos por tratarse de una inspección. También es recomendable la inclusión de un experto con conocimientos sobre factor humano.

Asimismo, es indispensable que el equipo que realizará la ISV sea totalmente independiente del equipo de administración, operación y mantenimiento de la carretera, con el fin de poder analizar la infraestructura “con una mirada fresca”.

De acuerdo con Ward (2006), el punto clave para verificar que el equipo de profesionales escogidos sea en verdad autónomo es cuando los inspectores pueden actuar en forma independiente del equipo administrador de la infraestructura vial y no se ven afectados por las decisiones internas o externas de dicho equipo. La libertad, habilidad y confort de los inspectores de manifestar su opinión respecto de puntos controversiales de seguridad de la vía son elementos cruciales para el éxito de la inspección. Igualmente, es indispensable establecer el número de inspectores que estarán realizando la ISV en función de la magnitud del proyecto a analizar.

Con base en Zealand (1998), para las inspecciones de vialidades urbanas debe disponerse de un mínimo de cuatro personas, mientras que en ámbitos interurbanos el mínimo son tres personas.

### 2.3.1 Tareas del equipo

#### *Líder del equipo de inspección*

El inspector líder deberá cumplir con las siguientes tareas:

- Coordinar el programa de inspección.
- Encabezar las reuniones del equipo.
- Asegurarse de que el equipo de inspección cuente con las herramientas y documentos necesarios para realizar el trabajo asignado.
- Asegurarse de que el equipo complete las tareas a su cargo.
- Apoyar la selección de las carreteras a inspeccionar (en caso de que el cliente no cuente con un plan de ISV).
- Preparar el informe de inspección.

### **Inspector de seguridad vial**

En lo concerniente a los miembros elegidos para integrar el equipo de inspección, sus tareas son las siguientes:

- Cumplir con el rol asignado.
- Asistir a las reuniones y visitas de campo, así como dar su opinión en cuanto a las conclusiones del equipo.
- Revisar el borrador del informe de inspección.

Tanto el inspector líder como los inspectores de seguridad vial deben de tener bien en claro sus roles, así como asegurarse de no interferir en los roles de los otros miembros del equipo, para asegurar que el trabajo se lleve a cabo de la mejor manera.

### **2.3.2 Certificaciones y habilidades del equipo de inspección**

Un aspecto fundamental es que los conocimientos y habilidades que deben tener los miembros del equipo de inspección deben ser comprobables.

Si bien, los miembros del equipo de inspección pueden ser personas altamente calificadas, es necesario que posean los conocimientos y que éstos puedan estar certificados ante una institución debidamente autorizada para tal efecto.

Los siguientes puntos son certificaciones y habilidades recomendadas por la FHWA y Transfund New Zealand (1998).

#### **Líder del equipo de inspección:**

- Debe ser un experimentado ingeniero con conocimiento en seguridad vial y experiencia en estudios sobre accidentalidad, en particular sobre los principales factores causantes de accidentes y los tratamientos que efectivamente mitigan la ocurrencia de dichos accidentes. Debe tener conocimientos reconocidos sobre diseño geométrico, así como estar activamente involucrado en inspecciones de seguridad vial.
- Debe tener experiencia sobre el tipo de carretera que se esté inspeccionando (urbana, suburbana o interurbana).
- Debe haber estado involucrado en al menos dos inspecciones previas.

**Miembro 1 del equipo:** Debe ser un profesional experimentado en ingeniería de tránsito, en particular en el tema de seguridad vial, y enfocado en el tipo de carretera a inspeccionar. Debe tener al menos experiencia con un proyecto previo de ISV.

**Miembro 2 del equipo:** Debe tener la misma experiencia que el miembro 1 del equipo; sin embargo, debe ser nuevo en el proceso de las ISV, de manera que puede ganar experiencia en el procedimiento.

Asimismo, se recomienda que se busquen los siguientes perfiles para los candidatos a integrar el equipo de inspección:

**Ingeniero en operaciones de tránsito:** Debe estar calificado en el ámbito de las operaciones de tránsito y conocer los principios del flujo de éste; la relación entre la capacidad y la demanda, así como las principales variables que indican la congestión del tránsito. También deberá conocer la correcta colocación de las señales de tránsito, marcas en el pavimento y los impactos que tienen los distintos dispositivos que se puedan colocar en las carreteras.

**Ingeniero experto en diseño geométrico:** Debe tener una gran experiencia en el diseño de carreteras y estar familiarizado con las normas de proyecto geométrico a nivel federal, estatal y municipal. También debe entender cómo los diferentes elementos a lo largo del camino impactan en la seguridad de todos los usuarios, incluidos los usuarios vulnerables.

**Otras áreas del conocimiento:** Especialistas en factor humano, conservación, encargados de la aplicación de las normas en carreteras, operaciones del tránsito, diseñadores de ciclovías e instalaciones peatonales, ingenieros expertos en el uso de los sistemas de transporte inteligente, entre otros. Todos estos especialistas pueden proveer una visión mucho más amplia para complementar las ISV.

Si bien contar con un equipo de inspección multidisciplinario supone una gran ventaja, no se debe tratar de alcanzar este objetivo con la incorporación de un número excesivo de integrantes. Con base en la experiencia de Ward (2006), un equipo de inspección con más integrantes de los recomendados resulta ser menos eficiente. La mejor práctica es tener un equipo pequeño que reúna la experiencia y el conocimiento adecuados, y que pueda consultar a las personas apropiadas en caso de requerirse.

## 2.4 Recopilación y análisis de la información existente

Antes de la reunión inicial se debe proporcionar al equipo encargado de la ISV toda la información pertinente del tramo a inspeccionar, con el fin de facilitar un panorama más amplio sobre el sitio.

Como parte de la información que se debe entregar al equipo de inspección está el funcionamiento de la carretera, junto con su clasificación, vías de acceso principales y auxiliares, planos, aforos, registros de velocidad, características del tránsito, registros de accidentes de al menos los últimos tres años y detalles en cuanto a su localización, tipo y severidad, así como fotografías aéreas (de gran utilidad durante la inspección en campo).

De gran aporte a la ISV, el registro de accidentes es un elemento a utilizar con discreción, ya que la finalidad de incluirlo como parte del análisis en la inspección es identificar los patrones de los accidentes que ocurren con mayor frecuencia, y no

la de hacer una investigación al respecto. Por ejemplo, es posible realizar un análisis con el registro de accidentes y verificar las condiciones climatológicas al momento del percance. Con este análisis es posible determinar si las condiciones meteorológicas prevaletientes (lluvia, nieve o neblina) influyen en la ocurrencia de cierto tipo de accidente, como el denominado choque por alcance. Con esta información, se verifica la presencia y buen estado de las medidas necesarias para minimizar los efectos adversos del clima; de lo contrario, se trataría de un hallazgo a incluir en el informe de inspección.

De igual manera, es posible identificar deficiencias en el sitio al revisar los planos de alineamiento vertical y horizontal, ya que en ellos se pueden detectar problemas de visibilidad. No obstante, esta información debe verificarse en campo, de manera que exista una base sólida para poder emitir las recomendaciones pertinentes.

## **2.5 Reunión inicial**

Debe realizarse una reunión inicial, con la presencia de los integrantes del equipo de inspección y el equipo de la agencia que administra, opera y mantiene la carretera a inspeccionar. En el marco de esta reunión, se define el objetivo de la ISV y se revisa toda la información pertinente respecto a la carretera en estudio.

En esta reunión, las actividades a cubrir son las siguientes:

- Definir alcances de la ISV.
- Delegar responsabilidades.
- Establecer y consensuar una agenda para la realización de los trabajos de la ISV.
- Establecer las líneas de comunicación entre el inspector líder, los administradores, operadores y mantenedores de la infraestructura y su equipo.
- Comunicar asuntos relevantes al equipo de inspección.

Es pertinente abordar los requerimientos por parte del equipo encargado de la inspección, así como el tema del informe de inspección, el cual tendrá que exponer los hallazgos, junto con las mejoras a las que se les debe dar mayor énfasis por parte de los administradores de la carretera.

Es necesario comunicar al equipo de inspección si en el tramo en cuestión se están realizando trabajos de mantenimiento o si requieren credenciales que los identifiquen para realizar la inspección. Asimismo, debe informarse al equipo de inspección si existen tramos en donde el acceso solamente es por intervalos de tiempo o donde el flujo pueda ser reversible.

En esta etapa también se le indicará al propietario de la carretera la clasificación usual de los riesgos de seguridad que pueden hallar en el tramo, a fin de presentar

el panorama de actuación ante los riesgos que se consideran de bajo, medio y alto impacto.

## 2.6 Visitas en campo

Una de las fases del procedimiento de inspección son las visitas de campo, ya que proporcionan información de las condiciones existentes. Las visitas de campo son la tarea clave que el equipo de inspección realiza dentro de los trabajos a desempeñar. Debe realizarse al menos una visita de campo y máximo las que el equipo de inspección considere necesarias, debiendo ser cuidadosamente planeadas con anticipación. Durante estas visitas es importante utilizar los elementos de seguridad necesarios para evidenciar la presencia del equipo de inspección en el tramo y permitir una circulación segura en el sitio.

Un procedimiento habitual es que cada integrante del equipo realice una inspección de manera independiente, de manera que se haga un recorrido preliminar con ayuda de un odómetro de rueda, cámara fotográfica, flexómetro y grabadora de voz, utilizando un chaleco de seguridad con visibilidad de 360°. Una vez que cada integrante revisó por separado el sitio, se procede a realizar el recorrido en equipo, de manera que puedan discutir los elementos que cada uno identificó en el tramo en cuestión. Este método ayuda a que todos los miembros del equipo participen y no se inclinen más por la opinión de otro integrante que pueda tener más experiencia. Al revisar el tramo de manera conjunta por segunda vez en equipo, se obtiene retroalimentación, que servirá a los miembros menos experimentados para adquirir mayor experiencia.

Durante la revisión en campo, el equipo de inspección debe considerar todos los posibles movimientos de tránsito, además de analizar los movimientos de cada rama en las intersecciones, junto con las rampas de aceleración y desaceleración y los puntos de intercambio dentro del entronque. Asimismo, se deben revisar los tramos en donde existan instalaciones para ciclistas o peatones.

Cabe mencionar que se recomienda llevar a cabo estas visitas también en periodo nocturno para identificar posibles problemas bajo dichas condiciones. Además, se debe estudiar la interacción de los usuarios con la instalación vial, así como el horario con las condiciones más pesadas de tránsito.

A fin de indicar los elementos específicos de la carretera a revisar, Ward (2006) diseñó listas de verificación que facilitan el trabajo de los inspectores una vez en campo. En el siguiente apartado se hablará sobre las listas de verificación y cómo y cuándo utilizarlas.

### 2.6.1 Listas de verificación

Las listas de verificación son herramientas que los inspectores pueden utilizar en campo para cerciorarse de que se están considerando todos los elementos críticos de la carretera. El equipo de inspección deberá familiarizarse con estas listas para

asegurar la calidad de la recopilación de datos y recoger los aspectos relevantes que serán productivos a futuro.

Asimismo, las listas de verificación son de utilidad al inspector líder para la redacción del informe de inspección; sin embargo, no se recomienda que se anexasen a dicho informe, ya que éste solamente deberá contener una explicación sobre los problemas identificados en la carretera. Al ser un apoyo, las listas de verificación no sustituyen el juicio, conocimiento y experiencia del inspector.

Aunque las listas de verificación cubren la mayoría de los elementos que se podrían encontrar en una carretera, es necesario que los inspectores hagan uso de sus habilidades y las tomen únicamente como una guía que puede ajustarse a la mayoría de los elementos de la vialidad, a pesar de poder identificarse dentro del tramo en estudio elementos no contemplados en estas listas.

**Para el caso de carreteras existentes, la FHWA ha desarrollado listas de verificación, como las mostradas en las** Fuente: Ward (2006).

**Figura 2.2 y** Fuente: Ward (2006).

Figura 2.3.

LISTA DE VERIFICACIÓN (1 DE 2)

Inspección de Seguridad Vial								
<b>Función de la vía, clasificación, ambiente</b>	<b>Alineamiento de la carretera y sección transversal</b>	<b>Carriles auxiliares</b>	<b>Intersecciones</b>	<b>Señalamiento</b>	<b>Marcas y delinación</b>	<b>Barreras y Zonas Libres</b>	<b>Semáforos</b>	<b>Peatones y ciclistas</b>
	1 Distancia de visibilidad	1 Convergencias y divergencias	1 Localización	1 Iluminación	1 Problemas generales	1 Zonas libres	1 Operaciones	1 Problemas generales
	2 Velocidad de diseño	2 Acotamientos	2 Visibilidad, distancia de visibilidad	2 Problemas generales de señales	2 Líneas centrales, líneas laterales y de carriles	2 Defensas	2 Visibilidad	2 Peatones
	3 Límite de velocidad	3 Señalamiento vertical y horizontal	3 Señalamiento	3 Legibilidad de las señales	3 Postes guía y reflejantes	3 Terminales / Amortiguadores de impacto	3 Colocación de semáforos	3 Ciclistas
	4 Zonas de Rebase	4 Carriles auxiliares de giro o retorno	4 "Legibilidad" (percepción) de los conductores	4 Postes de señales	4 Advertencia de curvas y delineación	4 Barreras peatonales		4 Transporte público
	5 "Legibilidad" (percepción) del alineamiento por los conductores		5 Velocidad en intersecciones a nivel			5 Visibilidad de defensas y barreras		
	6 Factor humano		6 Iluminación y dispositivos de delineación					
	7 Ancho de la carretera							
	8 Acotamientos							
	9 Pendientes transversales							
	10 Pendiente del terraplén							
	11 Drenaje							
	12 Combinación de elementos							

Fuente: Ward (2006).

Figura 2.2 Lista de verificación (1 de 2)

LISTA DE VERIFICACIÓN (2 DE 2)

<b>Inspección de Seguridad Vial</b>				
<b>Conductores de la tercera edad</b>	<b>Puentes y alcantarillas</b>	<b>Pavimento</b>	<b>Provisión para vehículos pesados</b>	<b>Otros problemas de seguridad</b>
1 Movimientos de giro	1 Diseño de características	1 Defectos del pavimento	1 Problemas de diseño	1 Medio ambiente
2 Canalización	2 Barreras	2 Resistencia al deslizamiento	2 Pavimento/Calidad del acotamiento	2 Zonas de Obra
		3 Acumulación de agua, hielo o nieve		3 Deslumbramiento de luces de vehículos
		4 Piedras o material suelto		4 Actividades a los costados de la vía
		5 Tapas de alcantarilla		5 Áreas de descanso
				6 Entorno

Fuente: Ward (2006).

Figura 2.3 Lista de verificación (2 de 2)

Como parte de los procedimientos generados por Ward (2006) para utilizar las listas de verificación, se recomienda lo siguiente:

- Antes de comenzar con la ISV, el equipo de inspección debe decidir en conjunto si se requiere usar las listas de verificación, y de ser así, cuáles listas utilizar y cómo usarlas.
- Las listas de verificación están diseñadas para ayudar a los miembros de la brigada de inspección a pensar inicialmente en problemas más amplios (“tópicos generales”), y ahondar en los detalles de cada uno de los puntos considerados.
- El equipo de inspección deberá anotar en las listas de verificación cualquier problema que represente un riesgo de seguridad para algún usuario de la vía, o que necesite mayor investigación y requiera una revisión posterior por parte del equipo. También es útil referenciar los problemas de seguridad preocupantes con fotografías y croquis para posteriormente poder anexarlos al informe de inspección.

En el siguiente apartado se detallan los puntos que se encuentran en las listas de verificación, con el fin de ampliar su conocimiento.

### **2.6.1.1 Alineamiento de la carretera y sección transversal**

En este punto se engloban los aspectos que más comúnmente representan problemas en las carreteras.

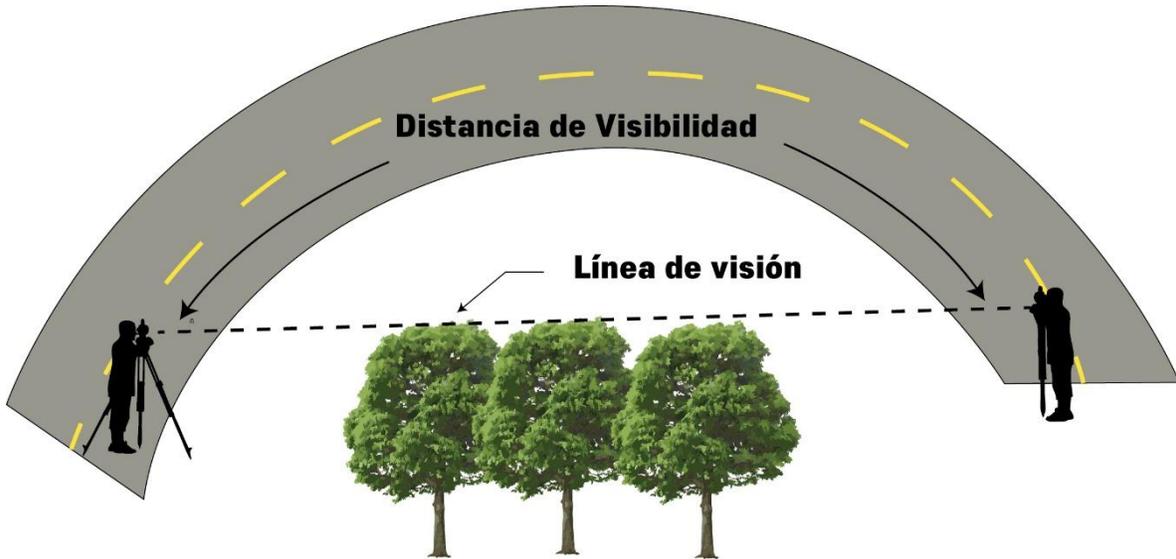
#### **1. Distancia de visibilidad**

Para mejorar la seguridad de la infraestructura vial existente es fundamental remover las obstrucciones a la visibilidad. Éstas incluyen árboles, arbustos, vallas, barreras, edificaciones o muros dentro del derecho de vía, que interfieran con la visión del conductor.

En el caso de las intersecciones, el conductor de un vehículo que se aproxima o sale de la intersección debe tener una visión despejada de ella (ello incluye todos los dispositivos de control de tránsito) y las longitudes suficientes a lo largo de la misma para prever y evitar posibles conflictos. Estas líneas de visión forman triángulos visuales —de dos tipos: de acceso y de salida—, los cuales deben estar libres de obstáculos que puedan bloquear la visión del conductor.

En ocasiones puede requerirse un realineamiento horizontal o vertical (en las curvas en cresta, en columpio o en el interior de las curvas horizontales), si la distancia de visibilidad requerida no puede facilitarse a través de la reubicación o eliminación de obstrucciones. También pueden aplicarse medidas de control de la velocidad o restricciones a movimientos vehiculares —tales como los giros a la derecha y los rebases— conjuntamente con señales de advertencia apropiadas. En la figura 2.4

se muestra un croquis de cómo se mide la distancia de visibilidad en una curva horizontal.



**Figura 2.4 Distancia de visibilidad**

## **2. Velocidad de diseño**

Un requisito fundamental para que las vías existentes sean seguras es que su velocidad de operación (percentil 85) sea congruente con sus características de diseño —intersecciones, control de accesos, curvas verticales y horizontales, sección transversal, entre otras—. Esto es un grave problema en las carreteras existentes más antiguas de nuestro país, dado que las velocidades vehiculares al paso del tiempo han ido aumentando, por lo que actualmente se exceden con frecuencia las velocidades para las que dichas vías fueron diseñadas. Al respecto, es esencial la instalación de la señalización necesaria que informe sobre los límites de velocidad, particularmente en aquellos casos en los que la velocidad de operación diverja de la que la infraestructura vial permite.

En el caso de las curvas horizontales, el valor máximo de velocidad segura puede obtenerse mediante dispositivos como el “indicador de velocidad segura en curva”. Este dispositivo se instala en un vehículo ligero y a través de su paso por la curva permite determinar la velocidad segura máxima, considerando radio, deflexión y sobreelevación de la misma. Hay que tener cuidado con las curvas en las que la velocidad de operación supera el valor máximo que indican dichos dispositivos.

## **3. Límite de velocidad**

Como un requisito de seguridad vial en las carreteras existentes, es indispensable verificar que en éstas no se tenga un problema de exceso de velocidad. Esto se refiere al acto de conducir un vehículo a gran velocidad, ya sea por encima del límite máximo señalado o demasiado rápido para las condiciones prevalecientes, aunque dentro de los límites. El exceso de velocidad es un factor de riesgo clave que influye

no sólo en la ocurrencia de siniestros viales, sino también en la severidad de las lesiones resultantes a los usuarios.

Se puede disuadir a los conductores de viajar a exceso de velocidad a través de la acción policial o mediante el uso de tecnología, como las cámaras de velocidad. También se pueden utilizar medidas ingenieriles, tales como los reductores de velocidad o las plataformas que atraviesan la vía, el angostamiento o “puntos de estrechamiento” de ésta, glorietas, líneas de señalización, señales, entre otras. A más largo plazo, puede buscarse un cambio de actitud social mediante campañas de educación para crear conciencia sobre el tema.

Es importante que los límites de velocidad se fijen de manera coherente con el diseño de la carretera, condición y uso, con el fin de dar a los conductores información correcta y creíble sobre la velocidad máxima aceptable. El cambio de actitud ante el exceso de velocidad también hace que la vigilancia policial respecto a los límites sea más efectiva y aceptable.

#### **4. Zonas de rebase**

En carreteras de dos carriles es indispensable que se cumplan ciertos requisitos para que existan condiciones favorables de rebase. En estas vías se debe cumplir por norma con al menos el 40% de posibilidades de rebase, es decir, que exista línea discontinua. Sin embargo, es necesario realizar una revisión para verificar la necesidad de ampliar dicho porcentaje o si es posible incorporar zonas 2+1 para asegurar que el rebase se haga de manera segura. Asimismo, se deben revisar las longitudes provistas para el rebase de uno y otro sentido, así como sus pendientes.

Las deficiencias en oportunidades de rebase suelen manifestarse en concentración de accidentes y bajos niveles de servicio —elevado porcentaje del tiempo de recorrido consumido en seguimiento—. En estas circunstancias, en terreno plano o en lomerío se pueden construir carriles adicionales en longitudes cortas de la carretera (de 1 a 3 km), con el fin de mejorar el flujo vehicular y proporcionar oportunidades seguras de rebase.

Para niveles moderados de tránsito, la incorporación de carriles adicionales en longitudes cortas de la carretera puede proporcionar, con un bajo costo, la mayoría de los beneficios de la duplicación de la calzada. Los carriles de rebase se utilizan generalmente en carreteras de alta velocidad donde hay mezcla de vehículos lentos y tránsito que se mueve más rápidamente. Cuando se implementan este tipo de medidas, ambos sentidos de circulación pueden separarse mediante marcas en el pavimento o a través de algún tipo de barrera física, siendo más efectivo esto último.

#### **5. “Legibilidad” (percepción) del alineamiento por los conductores**

Un requisito fundamental para la seguridad vial de las carreteras existentes es que su alineamiento y entorno sean legibles para los conductores. En este sentido, es importante verificar que, en la secuencia automatizada de las operaciones, la carretera no contenga elementos que introduzcan interrupciones y cambios de

lógica que puedan generar errores de conducción, y como consecuencia siniestros viales.

Algunos ejemplos de tales elementos son curvas consecutivas con radios discontinuos; sitios en los que hay un cambio de función de la vía (por ejemplo, de interurbana a urbana) pero cuyas características se mantienen haciendo que los conductores tiendan a ignorar el cambio de función; sitios en los que el curso de la carretera es contrario a la dirección que los conductores perciben que deben seguir (o en los que dicho curso no es claro); cambios súbitos contrarios al comportamiento normal de conducción; cambios repentinos en la tensión del conductor a causa de una avalancha de información o de exigencias de conducción (acumulación de puntos críticos), y ubicación inusual, irregular o ilógica de señales y otras instalaciones en el borde y zonas laterales de la vía.

La detección de fallas como las anteriores debe detonar la adopción de las medidas correctivas pertinentes.

## **6. Factor humano**

Un camino seguro es aquel que reconoce las realidades y limitaciones de la toma de decisiones humana. Esto significa que el diseño y operación de la carretera y su entorno deben asegurar que las diversas características del camino (incluidos su geometría, superficie, sección transversal, zonas laterales, fajas separadoras centrales, delineación, señalamiento, dispositivos de control del tránsito, guía de ruta, iluminación, disposiciones de acceso, etc.) individualmente y en combinación, proporcionen un medio a través del cual el conductor pueda viajar con seguridad. En otras palabras, el entorno de la carretera no debe imponer exigencias al conductor que estén más allá de las que su habilidad le permita manejar, o que estén fuera de sus expectativas normales.

Un camino seguro puede definirse como uno diseñado y operado de manera que:

- Advierta al conductor sobre cualquier característica inusual o de calidad inferior.
- Informe al conductor sobre las condiciones que va a encontrar.
- Guíe al conductor a través de secciones inusuales.
- Controle el paso del conductor a través de puntos de conflicto y vías de conexión.
- Perdone el comportamiento irregular o inadecuado al conducir.

Consideraciones análogas son igualmente aplicables a otros usuarios viales tales como peatones, ciclistas y motociclistas.

## **7. Ancho de la carretera**

Una característica importante de las carreteras que influye en el comportamiento del conductor es el ancho de la corona, especialmente el ancho del carril y de los acotamientos.

En general, los conductores prefieren carriles y acotamientos amplios. Los carriles estrechos son incómodos para los conductores de camiones de carga, especialmente si están obligados a circular por el carril de la derecha, pues ello conlleva una menor posibilidad de ver el borde de una barrera o un acotamiento adyacente.

El ancho de carril afecta también la velocidad debido a que influye en la dificultad de la tarea de conducción; es decir, los carriles más estrechos requieren correcciones de dirección más pequeñas y frecuentes, lo que corresponde a un mayor esfuerzo. Por lo tanto, disminuir la velocidad reduce el esfuerzo requerido en la conducción.

El *Manual de proyecto geométrico de carreteras* de la SCT (DGST, 2018) recomienda un ancho de carril de 3.50 m para todo tipo de carreteras; señala, asimismo, que son recomendables los acotamientos de 3.00 m en carreteras importantes —autopistas de cuatro o más carriles—. En carreteras de dos carriles o con velocidad de proyecto de 70 km/h o más, se recomiendan acotamientos de 2.50 m y en las demás se permiten más angostos, pero no menores que 1.0 m.

## 8. Acotamientos

Es de especial importancia que los acotamientos tengan el ancho apropiado tanto para los conductores que requieren realizar una parada por algún desperfecto en el automóvil, como para los ciclistas y peatones que circulan por dicho espacio. Éstos también deberán estar en buenas condiciones y no se recomienda que tengan escalonamiento con la vía principal.

## 9. Pendientes transversales

Un requisito fundamental para la seguridad vial en carreteras existentes es que éstas cuenten con una pendiente transversal con respecto a la horizontal que sea suficiente para que el agua que llegue a la superficie del pavimento escurra hacia los sistemas de drenaje, tales como cunetas y alcantarillas. Las pendientes transversales insuficientes contribuyen al acuaplaneo.

En tramos rectos del alineamiento horizontal, a la pendiente transversal hacia los lados de la corona se le denomina bombeo. El *Manual de proyecto geométrico de carreteras* de la SCT (DGST, 2018) señala que en México un bombeo de 2% da buenos resultados en los pavimentos de alto y regular desempeño, mientras que para los de desempeño pobre (revestimiento) el bombeo adecuado está entre 3 y 6 por ciento.

En curvas horizontales, a la pendiente transversal se le denomina “sobreelevación”, cuyo valor máximo es de 10% hacia el centro de la curva, excepto en lugares con heladas y nevadas frecuentes, en donde la sobreelevación máxima se limita al 8%. En este caso, toda el agua drena hacia el interior de la curva.

El cambio de la sección transversal, desde el bombeo en tangente a la sobreelevación en curva, se hace en la espiral de transición o, si no la hubiera, en un tramo sobre las tangentes aledañas (tangente de transición). Si el cambio entre bombeo y sobreelevación se realiza en menos de 25 m, los vehículos pesados pueden experimentar una fuerte propensión hacia la volcadura.

## 10. Pendiente del terraplén

Uno de los principios del enfoque de sistema seguro en carretera es proporcionar una infraestructura vial que sea indulgente ante el error humano, incluidas las zonas laterales —que son parte de la sección transversal de los caminos—. Los taludes de las zonas laterales tienen un efecto significativo en los siniestros viales, particularmente en donde se involucra un solo vehículo como el de “salida del camino”.

Bajo este precepto, las zonas laterales deben estar libres de obstáculos y sus taludes deben ser de 4:1 (desplazamiento horizontal a vertical) o más planos. Los taludes laterales con inclinación mayor a 4:1 son demasiado empinados para permitir a un vehículo que sale del camino recuperar el control, siendo muy probable que éstos terminen volcándose. El *Manual de proyecto geométrico de carreteras* de la SCT (DGST, 2018) señala que la inclinación del talud interior no debe ser mayor que 4:1. Asimismo, la pendiente del talud exterior no debe ser mayor que 3:1. En caso de utilizarse taludes con inclinaciones mayores que las anteriores, pudiera ser necesaria la construcción de muros de contención o barreras para detener los vehículos fuera de control, dependiendo de la estabilidad del suelo o de consideraciones referentes a la seguridad del tránsito.

## 11. Drenaje

Los sistemas de drenaje que remueven el agua pluvial de las carreteras son un aspecto integral de un sistema seguro.

Los bordillos, cunetas, canales, lavaderos, rejillas de desagüe y alcantarillas que llevan la escorrentía lejos de la vía pueden tener un efecto grave en los conductores y ciclistas fuera de control cuando no se diseñan correctamente ni reciben el mantenimiento adecuado. Ejemplo de lo anterior son los elementos que no logran remover la escorrentía debido a que son muy pequeños o están obstruidos, lo que provoca estancamientos del agua sobre la calzada, como el que se muestra en la figura 2.5. Estos sistemas de drenaje en mal estado pueden también causar acuaplaneo y hacer que los vehículos abandonen su carril.

Por otra parte, los elementos del sistema de drenaje pueden no causar una colisión, pero sí contribuir a la severidad del accidente —por ejemplo, un vehículo descontrolado que golpea un muro de brocal—. Al respecto, el *Manual de proyecto geométrico de carreteras* de la SCT (DGST, 2018) señala que es deseable que al proyectar el drenaje de las carreteras se consideren su seguridad, apariencia, control de emisiones y aspectos económicos, tanto en su construcción como en su mantenimiento.

En general, todos los aspectos anteriores se ven beneficiados con el uso de taludes planos y tendidos, cunetas amplias y secciones alabeadas o redondeadas. Las características de las cunetas y taludes se definen considerando la seguridad de posibles vehículos fuera de control que se salgan del camino. Es también recomendable que permitan su limpieza mediante maquinaria.



**Figura 2.5 Encharcamiento debido a problemas en el drenaje**

## **12. Combinación de elementos**

Muchos siniestros viales se producen en sitios particulares de las carreteras donde se presentan combinaciones de características riesgosas. Ejemplos de tales sitios son curvas horizontales cerradas después de largos segmentos de alineamiento recto, curvas compuestas (curvas horizontales contiguas con giro en el mismo sentido) o sitios inesperados de bajo estándar —incluidas curvas cerradas, pendientes pronunciadas y otras características como intersecciones en entornos interurbanos aislados—. La peor situación se produce cuando se presentan simultáneamente dos o más de tales características, o en estrecha proximidad entre sí. Algunas de las medidas que se recomiendan en tales situaciones son las siguientes:

- Transiciones geométricas graduales apropiadas a la velocidad de operación vehicular.
- En curvas horizontales, proporcionar transiciones que conecten la recta con el arco circular, especialmente en carreteras con elevada proporción de

camiones articulados. Una apropiada sobreelevación también contribuye a la seguridad vial.

- Mejoramiento de la distancia de visibilidad para la detección temprana de la presencia de características críticas.
- Provisión de pendientes y taludes transversales suaves, eliminando obstáculos fijos en las zonas laterales de sitios críticos.
- Instalación de dispositivos de control de tránsito adecuados para la situación.

En todos los casos anteriores el problema básicamente se refiere a la violación de las expectativas del conductor.

### **2.6.1.2 Carriles auxiliares**

De acuerdo con el *Manual de diseño y planificación vial* (Department of Transport and Main Roads, 2013), los carriles auxiliares son aquellos que están adyacentes a las vías principales para mejorar el flujo de tránsito y mantener un buen nivel de servicio. Usualmente son de una longitud relativamente corta y pueden funcionar como carriles de cambio de carril, de aceleración y desaceleración, así como de descenso y bahías de rebase. A continuación, se presentan los puntos relevantes a revisar de los carriles auxiliares.

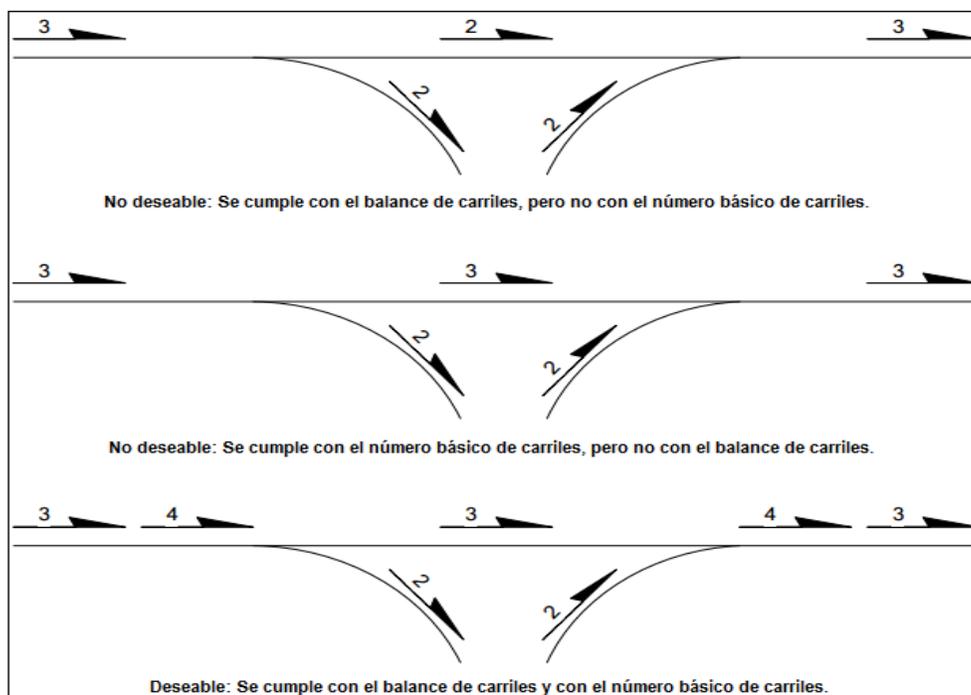
#### **1. Convergencias y divergencias**

Para evitar causar confusión, operaciones erráticas del tránsito y la ocurrencia de siniestros viales en las entradas y salidas de las carreteras, entre el antes y el después de las mismas se deben cumplir los principios de balance de carriles y continuidad en el número básico de carriles.

El principio de balance de carriles requiere que: 1) el número de carriles después de la convergencia de dos corrientes de tránsito no sea menor que la suma de los carriles de los flujos que convergen menos uno, y 2) el número de carriles antes de la divergencia sea igual a la suma de los carriles de los flujos divergentes menos uno. Por otro lado, el principio de continuidad en el número básico de carriles se refiere a que el número de carriles debe ser constante sobre el flujo en la vía principal.

En este sentido, en la figura 2.6 se presentan tres casos. En el primer diagrama se cumple con el principio de balance de carriles pero no con el principio de número básico de carriles; en el segundo, se cumple con el principio del número básico de carriles pero no con el de balance de carriles, y finalmente el tercer diagrama corresponde a un caso en el que los principios de balance y número básico de carriles se encuentran en armonía al modificarse el número de carriles en la vía principal con la adición de un carril auxiliar antes de la divergencia (de tres a cuatro carriles) y su remoción después de la convergencia (de cuatro a tres carriles).

Otro requisito fundamental es que el señalamiento vertical y horizontal en estas zonas ayude a los usuarios a transitar por ellas con seguridad.



**Figura 2.6. Principios de balance y continuidad de carriles en convergencias y divergencias**

## 2. Acotamientos

De acuerdo con el *Manual de diseño y planeación de vialidades* (Department of Transport and Main Roads, 2013), las recomendaciones indican que los anchos de los acotamientos de las vías cercanas a los carriles auxiliares deberán ser de 1.0 m, ampliándose a 2.0 m cuando se encuentren adyacentes a una barrera de seguridad y hasta 3.0 m en zonas de convergencia. Asimismo, se debe considerar la operación de los vehículos en estas zonas de la vía para determinar si los anchos son suficientes para una operación adecuada.

## 3. Señalamiento vertical y horizontal

El señalamiento en los carriles auxiliares, tanto horizontal como vertical, debe indicar a los usuarios la existencia de los movimientos donde se requerirá mayor precaución ante la incorporación de vehículos a la vialidad. Las marcas en el pavimento deben mostrar a los conductores la delineación de los carriles por los cuales pueden circular, así como las zonas libres dentro del carril auxiliar.

## 4. Carriles auxiliares de giro o retorno

Los carriles auxiliares para dar vuelta a la derecha, a la izquierda o para retornar son carriles adyacentes a la calzada que se colocan para que los vehículos desaceleren y realicen el giro correspondiente, evitando perturbar el tránsito que sigue de frente. Al retirar el tránsito que desea realizar un movimiento de los carriles que siguen de frente, la seguridad vial mejora y se reducen las demoras.

Los principales requerimientos en relación con estos carriles son: 1) que tengan la capacidad de almacenamiento necesaria, 2) que tengan el ancho y geometría adecuados para permitir el giro del vehículo de proyecto con seguridad y 3) que desde ellos haya buena visibilidad sobre los flujos vehiculares a atravesar o a los que vaya uno a incorporarse.

Su instalación suele reducir las colisiones por alcance. Por otro lado, en zonas con presencia de peatones debe considerarse que el uso de este tipo de carriles incrementa las distancias de cruce para estos usuarios, aumentando la exposición del peatón al riesgo.

### **2.6.1.3 Intersecciones**

Una intersección es un área donde dos o más vías se unen o cruzan (éstas pueden ser a nivel o a desnivel). En las Figura 2.7 y Figura 2.8 se muestran dos ejemplos de intersecciones de acuerdo con su geometría.

#### **1. Localización**

Una gran proporción de las colisiones ocurren en intersecciones, particularmente en áreas urbanas y suburbanas debido a la mayor frecuencia de tránsito en estos lugares y por el mayor número de conflictos entre vehículos y peatones.

Los puntos clave a considerar en la revisión de la seguridad vial de las intersecciones de carreteras existentes son los siguientes:

- i. ¿Es segura la ubicación de todas las intersecciones con respecto al alineamiento horizontal y vertical, de manera que se tengan las distancias de visibilidad requeridas?
- ii. Donde hay intersecciones al final de tramos de alta velocidad (por ejemplo, en el acceso a ciudades), ¿hay dispositivos de control de tránsito para alertar a los conductores?

Por otro lado, entre los factores que afectan la seguridad vial de las intersecciones se incluyen:

- El número de ramales de acceso.
- El número de puntos de conflicto.
- El tipo de control del tránsito y el señalamiento anticipado.
- La distancia de visibilidad en todos los accesos.
- El ángulo de esviaje de la intersección.
- Si la intersección se encuentra en curva.
- La gestión de los accesos.
- Los radios de la intersección y las canalizaciones.

El diseño de las intersecciones puede afectar en gran medida el comportamiento y la seguridad de los peatones y demás usuarios vulnerables.



**Figura 2.7. Ejemplo de una intersección a nivel**



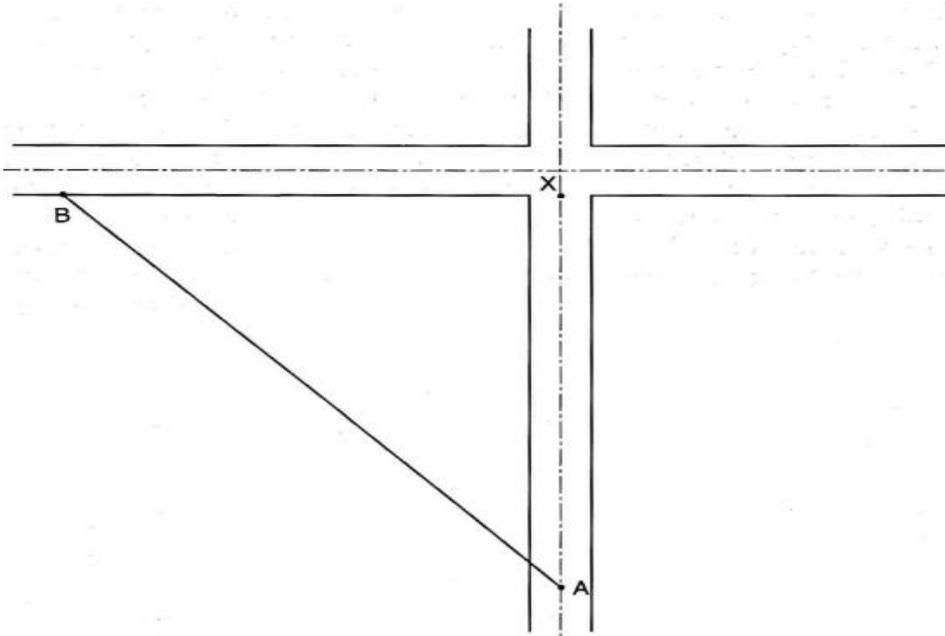
**Figura 2.8. Ejemplo de una intersección a desnivel**

## 2. Visibilidad y distancia de visibilidad

Proporcionar la distancia de visibilidad apropiada para el tipo de intersección es esencial para dar a los conductores tiempo para percibir la necesidad de una respuesta y reaccionar.

Mantener los triángulos de visibilidad, ya sea en intersecciones no controladas o con control de prioridad mediante señales de “alto” o “ceda el paso”, es una medida de seguridad vial importante. En la figura 2.9 se ilustra una intersección no controlada, en la cual los conductores de los vehículos A y B deben poder verse entre sí, debiendo haber por lo tanto un área libre o triángulo de visibilidad ABX en cada cuadrante de la intersección. Mantener este triángulo de visibilidad libre de maleza y otras obstrucciones es esencial para que la intersección funcione como una no controlada de manera segura. El tamaño del triángulo ABX debe aumentar

a medida que la velocidad de los vehículos que se aproximan se incrementa, ya que se requiere que uno o ambos vehículos frenen, e incluso se detengan, antes de llegar a la intersección. Los triángulos de visibilidad que permiten esta situación son grandes, recomendándose por ejemplo para una velocidad de 100 km/h que el tránsito en los accesos conflictivos sea mutuamente visible al menos 90 m antes de que los vehículos lleguen a la intersección. El triángulo de visibilidad debe estar despejado y mantenerse con esta dimensión a lo largo de ambos accesos de la intersección.



**Figura 2.9. Triángulo de visibilidad en una intersección.**

En las intersecciones a nivel controladas mediante señales de “alto”, “ceda el paso” o semáforos, es fundamental que los conductores que se aproximan por la vía de menor importancia cuenten como mínimo con la distancia de visibilidad de parada hacia la intersección, así como con los respectivos dispositivos de control. Es también esencial que los conductores que ya se encuentran en la intersección o cerca de ésta, tengan la visibilidad necesaria a lo largo de cada acceso de la vía principal que les permita ver hacia ambas direcciones y tomar una decisión acertada. Preferentemente debe existir una distancia de visibilidad que les permita acelerar hacia la intersección y completar la maniobra de cruce o giro sin interferir con otro vehículo circulando por la vía principal, o con un peatón o ciclista. Cuando menos, debe cumplirse la distancia de visibilidad requerida para que un conductor sobre la vía principal pueda ver a un vehículo proveniente de la vía secundaria moviéndose hacia una posición de riesgo, y desacelerar hasta detenerse antes de alcanzar el punto de colisión.

Evitar la colocación de objetos artificiales o el crecimiento de la vegetación que obstruyan tales distancias y áreas de visibilidad suele ser la medida de seguridad de menor costo en estas intersecciones.

### 3. Señalamiento

Comúnmente se prefiere utilizar algún señalamiento en lugar de un diseño apropiado como un intento por resolver un problema real o aparente. Antes de querer colocar un señalamiento, se recomienda lo siguiente:

- Determinar la necesidad del señalamiento, revisando las justificaciones y usos apropiados en las normas o manuales que se apliquen. Si no existen señalamientos se tendrán que realizar las preguntas ¿por qué? ¿es necesario usar uno en esta situación?
- Asegurarse de que el señalamiento comunique un mensaje claro a todos los usuarios bajo cualquier condición. La habilidad de escoger un señalamiento efectivo y apropiado es una habilidad excepcional. Los señalamientos en las normas y manuales se han diseñado con dicha habilidad y deberán colocarse en situaciones que lo ameriten. Se deberá asegurar que los señalamientos sean compatibles con los mensajes de la carretera, tal como la delineación de las marcas en el pavimento. Asimismo, el señalamiento debe estar colocado en donde la información sea recibida antes del encuentro con dicha situación.
- Cerciorarse de que los señalamientos o sus soportes no son un peligro. Se deberán mantener las estructuras de soporte lejos de la orilla del camino. En la parte externa de curvas y otros lugares vulnerables para los conductores se debe evitar la colocación de postes de señalamiento, o si son necesarios, deberán protegerse. De la misma manera, debe asegurarse de que los señalamientos o sus soportes no obstruyan la visibilidad de otros dispositivos (semáforos u otros señalamientos) o la vista entre usuarios de la carretera que puedan entrar en conflicto.

### 4. “Legibilidad” (percepción) de los conductores

Alrededor de 40% de las colisiones viales ocurre en intersecciones. El nivel de información a suministrar a los conductores en las intersecciones debe ser proporcional a la complejidad y legibilidad de la intersección.

Algunas recomendaciones para los conductores en intersecciones son conducir a la defensiva; ser paciente; evitar distracciones; no acelerar en la intersección; observar las luces verdes y ámbar parpadeantes que alertan para ser cauteloso al acercarse; dar paso a peatones y vehículos que cruzan por el camino; no seguir otros vehículos muy de cerca, dado que pueden detenerse repentinamente; tener cuidado con los peatones, ciclistas y motociclistas (los peatones siempre tienen el derecho de paso, incluso si están cruzando ilegalmente); utilizar las luces

direccionales apropiadamente y tener especial precaución con los vehículos de carga de grandes dimensiones, tales como los camiones articulados, dado que tienen el potencial de causar daños extensos a vehículos y otras propiedades.

Por otro lado, los conductores de camiones de carga de grandes dimensiones deben tener suficiente espacio y tiempo para despejar toda la intersección, de manera que la parte trasera del vehículo no interfiera con el demás tránsito que cruza. Asimismo, los conductores de tractocamiones transportando carga sobre plataformas o “camas bajas” deben asegurarse de que las luces direccionales y los dispositivos reflectantes funcionen adecuadamente después de descargar la carga, ya que pueden ser más difíciles de ver cuándo ya no la llevan.

## **5. Velocidad en intersecciones a nivel**

El organismo humano es muy vulnerable ante la disipación de energía que se suscita durante un accidente vial, por esta razón se debe evitar que los usuarios vulnerables (peatones, ciclistas y motociclistas) sean expuestos a una colisión con vehículos que viajen a velocidades superiores a 30 km/h. Deben separarse estos vehículos de los usuarios vulnerables por medios físicos o reducir la velocidad de todo el tránsito en la intersección a máximo 30 km/h. Algunas situaciones a tener en cuenta son las siguientes:

- Los motociclistas no deben ser expuestos a otros vehículos que viajen a velocidades superiores a 40 km/h entrando lateralmente en las intersecciones.
- Los ocupantes de automóviles no deben ser expuestos a tránsito en sentido contrario que resulten en suma de velocidades de los dos sentidos superior a 70 km/h.
- Los ocupantes de automóviles y motociclistas no deben ser expuestos a tránsito de vehículos pesados en sentido contrario que viajen a más de 30 km/h.
- Los motociclistas no deben mezclarse con vehículos pesados viajando a más de 40 km/h.
- Los ocupantes de vehículos no deben ser expuestos a objetos fijos en las zonas laterales cuando viajen a velocidades mayores a 50 km/h (usar barreras).

Debe trabajarse en el establecimiento y cumplimiento de los límites de velocidad, así como en mejorar la protección de los diferentes tipos de usuarios. En este sentido, en intersecciones a nivel y dependiendo del flujo de peatones que se afore, es recomendable evaluar la colocación de un paso peatonal o el uso de isletas de refugio.

## **6. Iluminación y dispositivos de delineación**

Debido a que una intersección a nivel representa un punto de decisión, es recomendable la colocación de luminarias que faciliten la visibilidad durante los

periodos sin luz natural. Por otra parte, es importante considerar las necesidades de la población de conductores de edad avanzada, mismos que usualmente tienen visibilidad reducida, lo que les dificulta leer señalamientos y disminuye su percepción respecto a los anchos y distancias durante la noche o en condiciones pobres de iluminación. En este sentido, es recomendable evaluar la necesidad de iluminación artificial o dispositivos de delineación en donde se utilicen los anchos mínimos o existan isletas que reduzcan la calzada.

## **2.6.1.4 Señalamiento**

### **1. Iluminación**

La capacidad de poder apreciar el mensaje que se pretende transmitir a través del señalamiento colocado depende de que se hayan contemplado todas las situaciones de iluminación que puedan presentarse en una carretera. Las siguientes preguntas ayudarán a cerciorarse que el señalamiento sea visible en todo momento:

- ¿Cumplen los señalamientos verticales y horizontales con la retrorreflectividad requerida?
- ¿Son visibles las marcas en el pavimento para cualquier condición de iluminación?
- ¿Se les ha colocado iluminación a los señalamientos que lo requieran en horario nocturno?
- ¿Existen lugares donde la iluminación pueda estar obstruyendo algún señalamiento?
- ¿Se han colocado señales donde la salida o puesta del sol pueda ser un problema?

### **2. Problemas generales de señalización**

Existen problemas comunes en el señalamiento de las carreteras existentes. Las siguientes preguntas pueden ayudar a identificar si existe algún problema de carácter general con el señalamiento:

- ¿Existe coherencia entre las especificaciones de la carretera y el señalamiento colocado?
- ¿Están colocadas las señales a la altura requerida para todas las configuraciones de vehículos que circulan por la carretera?
- ¿Es adecuada la velocidad reportada en el señalamiento antes de las curvas?
- ¿Son congruentes las marcas en el pavimento con el alineamiento general de la carretera?
- ¿Existen marcas viejas en el pavimento que podrían confundir a los conductores?
- ¿Existe señalamiento para indicar los gálibos libres antes de pasar por debajo de alguna estructura?
- ¿Es suficiente el número de señalamientos colocados?

- ¿Es adecuada la localización del señalamiento?
- ¿Es conveniente la operación de los paneles de mensaje variable?
- ¿Existe señalamiento en zonas de paso de animales?
- ¿Existe señalamiento para las actividades que realizan los vehículos pesados o de transporte público?

### **3. Legibilidad de las señales**

De acuerdo con el *Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad* (DGST, 2014), dependiendo del tipo de carretera de que se trate se consideran diferentes dimensiones para los tableros de las señales verticales. Estas dimensiones se deben verificar durante la ISV para asegurar que la señal pueda ser legible con base en las características de operación de la carretera. Asimismo, es importante asegurar que las señales no tengan grafitis o estén obstruidas por algún otro elemento.

### **4. Postes de señales**

Es importante revisar la altura de los postes de señalamiento de acuerdo con las normas y manuales aplicables, así como comprobar que los postes de las señales elevadas estén debidamente protegidos.

## **2.6.1.5 Marcas y delineación**

### **1. Problemas generales**

Dentro de los problemas generales que pueden encontrarse se incluyen los siguientes:

- Calidad deficiente de las marcas de señalamiento (poco visibles, inexistentes, o con poca o nula retrorreflectividad).
- Marcas sobrepuestas en el pavimento. Muchas veces al ampliar la calzada de la carretera es necesario realizar una nueva delineación de los carriles y colocar nuevas marcas en el pavimento. Sin embargo, si no se cubren las marcas antiguas completamente, esto puede crear confusión en los usuarios, provocando que su concentración esté más en qué líneas seguir en lugar de prestar atención a su entorno.
- Marcas incongruentes con el señalamiento vertical. Se debe prestar atención a los señalamientos verticales que existen en la carretera y verificar que no existan discrepancias con el señalamiento horizontal. Por ejemplo, en el caso de carreteras de dos carriles, si existe un señalamiento de “prohibido rebasar” (SR-18), no puede existir sobre el pavimento una raya discontinua que indique la posibilidad de realizar dicha maniobra.

En intersecciones, es necesario que las marcas sean congruentes con lo que señala el *Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad* (DGST, 2014), ya que en estos puntos es necesario que el usuario sepa qué movimientos están permitidos para evitar entrecruzamientos en zonas de alto riesgo.

## **2. Líneas centrales, líneas laterales y de carriles**

El Instituto Australiano de Planificación y Gestión del Tránsito (AITPM, por sus siglas en inglés) describe el marcado de línea como “un elemento esencial de un sistema de carreteras moderno”, además de ser la medida de seguridad vial más rentable. Según publicaciones de este Instituto, el marcado de líneas horizontales en el pavimento puede reducir los accidentes de vehículos ligeros hasta en un 60%, y con los niveles correctos de contraste y brillo de las líneas se pueden evitar accidentes en curvas por la noche en carreteras interurbanas.

Es imprescindible que las marcas sean visibles en cualquier condición climática. Por ello, es conveniente el uso de pintura retrorreflectiva en condiciones de lluvia, en donde las microesferas retrorreflejantes sobresalgan del espejo de agua formado sobre el pavimento.

Asimismo, debido a que la visibilidad de la superficie de la carretera se puede ver afectada por la lluvia, es conveniente colocar marcadores que sobresalgan del pavimento en las zonas curvas de la carretera para una mejor visibilidad nocturna.

## **3. Postes guía y reflejantes**

De acuerdo con el *Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad* (DGST, 2014), los indicadores de alineamiento son señales bajas que se usan para delimitar la orilla de la carretera, en cambios de alineamiento horizontal, para marcar estrechamientos de la carretera, y señalar los extremos de muros de cabeza de las alcantarillas.

Estos elementos deben tener el reflejante en buen estado y cumplir con las disposiciones del capítulo V de dicho manual.

## **4. Advertencia de curvas y delineación**

Es necesario revisar que se encuentren presentes todos los señalamientos verticales que señalan la presencia de una curva y verificar que el símbolo sea el adecuado con base en el grado de curvatura. Asimismo, las curvas cerradas deberán estar debidamente demarcadas con postes guía y banderas tipo OD-12.

## 2.6.1.6 Barreras y zonas libres

### 1. Zonas libres

Destinadas a permitir que los conductores puedan frenar con seguridad o recobrar el control del vehículo que ha abandonado la calzada, las zonas laterales de la carretera deben estar libres de obstáculos (permanentes o temporales). El ancho libre de esta zona estará basado en el riesgo a la exposición, ya que se considera que los objetos fijos y las pendientes del terreno son los principales factores para los accidentes tipo volcadura.

El *Manual de diseño de zonas laterales* de la AASHTO (AASHTO, 2011) recomienda los siguientes puntos, en orden de preferencia, para evitar riesgos en las zonas laterales de la carretera:

1. Remover el obstáculo.
2. Rediseñar el obstáculo para que éste no oponga resistencia al ser impactado y pueda ser fácilmente atravesado.
3. Colocar el obstáculo en donde sea menos probable que sea impactado.
4. Reducir la severidad al utilizar elementos que disipen la energía liberada al ser impactados por algún vehículo.
5. Cubrir el obstáculo con una barrera metálica longitudinal diseñada para redirigir el vehículo.
6. Señalizar el obstáculo si las alternativas previas no pueden ser realizadas.

En este mismo manual se encuentran tablas con ayudas para poder determinar la distancia de las zonas laterales libres.

### 2. Defensas

La recomendación de colocar barreras metálicas se basa en la premisa de que éstas deben instalarse para reducir la severidad de un accidente; sin embargo, la simple instalación de las barreras metálicas puede propiciar una tasa mayor de accidentes debido a su proximidad con la carretera. Asimismo, las consideraciones tradicionales para colocar una barrera metálica se basan en comparar si las consecuencias de chocar contra un objeto o salir del camino son más severas que chocar contra dicha barrera. De igual forma, la instalación de una barrera metálica puede justificarse a través de relaciones costo-beneficio, en donde se involucran variables tales como la velocidad de diseño y el volumen de tránsito, entre otras. En el *Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad* (DGST, 2014), se recomienda colocar estas barreras en donde exista un peligro potencial, como puede ser una curva cerrada, un terraplén con altura excesiva o la cercanía de estructuras u objetos fijos.

Un aspecto fundamental para que las barreras funcionen es su correcta instalación. Se debe verificar que el elemento no haya sido impactado anteriormente y que el traslape entre los segmentos de la barrera sea el adecuado y en la dirección

correcta. De igual manera, es importante que los postes no estén anclados al terreno con concreto, ya que de esta manera los elementos de sujeción se rigidizan demasiado, ocasionando que la barrera no trabaje adecuadamente al ser impactada por un vehículo, pues se trata de un sistema semiflexible para la disipación de energía y el redireccionamiento del vehículo hacia la calzada vehicular.

### 3. Terminales o amortiguadores de impacto

Las terminales de las barreras metálicas tienen gran impacto en la seguridad vial si se omite su instalación o ésta se efectúa de manera incorrecta. El impacto de un vehículo con una terminal de barrera no protegida puede dar lugar a un accidente mucho más grave, como se puede apreciar en la figura 2.10.



**Figura 2.10. Impacto contra terminal de barrera metálica sin protección**

Estas terminales deben cumplir los siguientes propósitos: no penetrar, enganchar o catapultar el vehículo.

Por otro lado, recomendaciones internacionales establecen el uso de amortiguadores de impacto en todas las divergencias de una carretera. Estos pueden ser redireccionables o no redireccionables. Ejemplos de los amortiguadores redireccionables se muestran en la figura 2.11. Estos amortiguadores, al ser impactados lateralmente, funcionan de manera similar a las barreras de contención, redirigiendo el vehículo hacia las secciones subsecuentes y disminuyendo su velocidad. Si el amortiguador es impactado de frente, de igual manera disipa la energía hacia las secciones posteriores, disminuyendo la velocidad del vehículo en forma gradual y no intempestiva.



**Figura 2.11. Amortiguadores redireccionables**

Los amortiguadores no redireccionables —como el mostrado en la



figura **2.12**—disipan la energía cinética del choque a través de dispositivos específicamente diseñados para frenar el movimiento del vehículo en forma paulatina. En esta figura se muestra un arreglo que utiliza contenedores rellenos de arena en diferentes proporciones. Dicho sistema de amortiguamiento se utiliza para proteger divergencias en el flujo de una carretera, misma que representa una sección crítica susceptible a ser impactada por algún usuario y que resultaría en un accidente de graves consecuencias.



**Figura 2.12. Amortiguador no redireccionable**

#### **4. Barreras peatonales**

Cuando un peatón cruza una sección de carretera éste se expone a un gran riesgo debido a su nula protección física frente a una posible colisión con un vehículo de motor. Esta situación se agrava en áreas pobladas, donde la presencia de peatones se incrementa. En carreteras donde existe presencia peatonal es necesario realizar tratamientos a los alrededores para brindar a los usuarios la posibilidad de cruzar la vía; sin embargo, en algunos casos dichas adecuaciones no son posibles, por lo cual es necesario prohibir el cruce peatonal. Debido a la nula efectividad de los señalamientos de “no cruce”, las barreras deben considerarse para impedir el cruce a nivel por donde se considera sumamente peligroso.

Las justificaciones para instalar una barrera peatonal son las siguientes:

- Zonas en donde exista un alto volumen de vueltas a la derecha a altas velocidades, en particular donde haya flujo de peatones especialmente vulnerables, como niños y adultos de edad avanzada.
- En zonas urbanas, donde exista un alto volumen de vehículos circulando a altas velocidades.
- Lugares en donde dichas barreras puedan encauzar a los peatones para usar un paso a desnivel o un cruce peatonal seguro.
- Otros lugares de peligro.

#### **5. Visibilidad de defensas y barreras**

La visibilidad de las barreras en condición diurna y nocturna es un aspecto importante para garantizar la seguridad de los usuarios. Si bien la barrera impide la

salida del vehículo o su impacto contra algún objeto más peligroso, cuando dicha barrera no es visible puede ocasionar que los vehículos se impacten contra ella sin algún motivo aparente. Por esto, es indispensable asegurar que la barrera tenga elementos que destaquen del entorno, para indicarle al usuario que se encuentran dispositivos de contención a los costados de la carretera.

En la figura 2.13 se muestra la colocación de dispositivos reflejantes en las defensas metálicas para aumentar su visibilidad en horario nocturno.



**Figura 2.13. Dispositivos reflejantes colocados en barrera metálica**

## **2.6.1.7 Semáforos**

### **1. Operaciones**

Es necesario verificar las condiciones de operación de los semáforos, en especial los que regulan el flujo de los vehículos y sus movimientos direccionales. Es de especial importancia que la operación de los semáforos contemple los movimientos de todo tipo de usuarios (conductores, motociclistas, ciclistas y peatones).

### **2. Visibilidad**

Los semáforos deberán ser visibles y estar funcionando en todo momento. De preferencia, se deberá revisar cotidianamente la intensidad de la luz de dichos dispositivos.

### **3. Colocación de semáforos**

La colocación de los semáforos deberá contemplar las condiciones de iluminación diurna y nocturna, de manera que sean visibles en ambas situaciones. Además, se debe asegurar que dicho semáforo no esté obstruido por algún elemento aledaño a la carretera.

## 2.6.1.8 Peatones y ciclistas

### 1. Problemas generales

Es muy frecuente que los diseños de las carreteras se centren solamente en acomodar vehículos motorizados en la calzada; sin embargo, los diseños deben incluir en lo posible áreas destinadas a la circulación de otro tipo de usuarios, como peatones y ciclistas.

En este punto se pueden formular las siguientes preguntas para realizar la ISV:

- ¿Existen elementos de resguardo para los peatones como isletas o barreras de seguridad?
- ¿Son adecuadas las dimensiones para el aforo de peatones existente?
- ¿Existen señalamientos que alerten de la presencia de peatones en el punto?
- ¿Están colocados dichos señalamientos en puntos visibles para los conductores?
- ¿Existen elementos que restrinjan la velocidad de los vehículos en estos puntos?
- ¿Existen elementos que dividan el tránsito de bicicletas de vehículos motorizados?
- ¿Los señalamientos y los elementos de seguridad son visibles en condiciones de poca luz?

### 2. Peatones

De acuerdo con Mendoza y Dorado (2016), 20% de las muertes que ocurre en accidentes viales corresponden a peatones atropellados. Un factor importante en relación con los accidentes de peatones es que éstos tienden a desplazarse en trayectorias que representan la menor distancia entre dos puntos, lo que origina que a menudo no caminen por las aceras o la infraestructura suministrada para ellos. Para reducir las muertes y lesiones ocurridas en peatones, sus necesidades deben ser objeto de atención especial por parte del proyectista de la infraestructura.

Para el caso de las ISV, es necesario realizar aforos peatonales e inspeccionar que la infraestructura sea la adecuada para que las maniobras que realicen los peatones sean con seguridad.

Nabors *et al.* (2008) explica que existen acciones que pueden llevar a cabo las agencias responsables de proveer soluciones, concretamente sobre tres rubros principales: soluciones ingenieriles (infraestructura), educación y esfuerzos en la aplicación de normas. Estos tres elementos combinados suelen resultar en estrategias eficaces para resolver los problemas comunes de los usuarios vulnerables.

En cuanto a las acciones ingenieriles, se encuentran las aceras y caminos peatonales, que contribuyen a una percepción de seguridad de los peatones que

circulan por dichas instalaciones. Asimismo, los diseños deben considerar las necesidades de todos los usuarios potenciales de la infraestructura, de manera que pueda ser un “diseño universal”. Por ejemplo, dichos diseños deben contemplar los flujos esperados de peatones y tener el ancho necesario para acomodar tanto peatones como personas en sillas de ruedas y estar en buen estado para que los usuarios puedan circular cómodamente por tales zonas, ya que en caso contrario pueden preferir caminar por la superficie de rodamiento de los vehículos. De igual manera, experiencias internacionales señalan que es conveniente colocar un espacio entre la zona de paso de los peatones y la zona de paso de los vehículos (figura 2.14), de manera que pueda proveerse un espacio adicional para proteger a los peatones del ruido, salpicaduras por charcos y posibles impactos de vehículos que hayan desviado su ruta hacia la acera.



**Figura 2.14. Espaciamento entre la calzada vehicular y la zona de paso de peatones**

Asimismo, es necesario asegurarse de que los cruces de peatones estén debidamente señalizados, para que los usuarios de vehículos de motor puedan estar atentos al cruce de éstos, como se muestra en la figura 2.15.



**Figura 2.15. Señalamiento previniendo el paso de peatones**

En el rubro de educación, es conveniente realizar programas dentro de las escuelas para poder incentivar a los jóvenes desde edades tempranas a utilizar correctamente las instalaciones destinadas para los usuarios vulnerables. Al demostrar y reforzar el buen uso que debe hacerse de estas instalaciones—desde los niveles más básicos de la enseñanza hasta niveles de preparatoria—, se pueden asegurar resultados satisfactorios dentro de la población de generaciones venideras.

Como complemento de las medidas antes descritas, es necesario aplicar la norma correspondiente tanto para que se respeten los diseños realizados como para infraccionar a los usuarios que no respeten las normas establecidas para la protección de los usuarios, a fin de asegurar que los usuarios respeten los lineamientos establecidos.

### **3. Ciclistas**

La infraestructura debe estar diseñada para facilitar la interacción de manera segura entre ciclistas, peatones y vehículos (figura 2.16). De acuerdo con el número de vehículos, el número de bicicletas esperado dentro del área en inspección, las condiciones geométricas del tramo y el espacio disponible, se deberá colocar una instalación especial para las bicicletas. Deberá asegurarse que cualquier instalación destinada al uso de bicicletas y peatones evite poner en peligro o impida el libre tránsito de los peatones.



**Figura 2.16. Separación de ciclistas y peatones**

#### **4. Transporte público**

Dentro de los aspectos a inspeccionar en una carretera existente, es necesario contemplar los movimientos de personas dentro del tramo analizado.

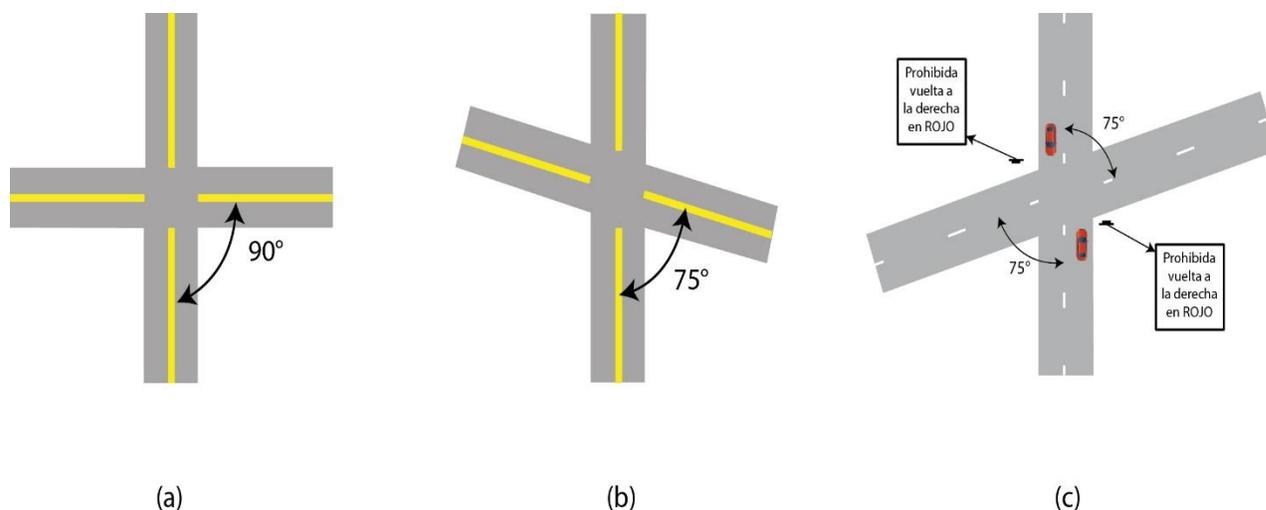
Un sistema de transporte público con infraestructura adecuada disminuye los desplazamientos a pie o en bicicleta sobre la carretera, en el caso de que no exista infraestructura especialmente dedicada para este tipo de usuarios. De esta manera, los desplazamientos de las personas se realizan de manera más segura y rápida, a través del sistema de transporte público provisto.

### **2.6.1.9 Conductores de la tercera edad**

#### **1. Movimientos de giro**

Existen prácticas internacionales que ayudan a que los conductores mayores puedan tener mayores oportunidades para realizar sus movimientos de manera segura. Estas recomendaciones van desde intersecciones, segmentos de autopistas, zonas de construcción y cruces de ferrocarril.

Para el caso de intersecciones donde no existe restricción de la preferencia de paso, todas las ramas deben converger en un ángulo de  $90^\circ$ , como se muestra en la figura 2.17(a). Donde sí exista restricción, las ramas deberán converger en un ángulo no menor de  $75^\circ$ , como se muestra en la figura 2.17 (b). En intersecciones sesgadas semaforizadas, en donde la rama de aproximación izquierda interseca la rama de aproximación del conductor en un ángulo menor de  $75^\circ$ , se recomienda prohibir la vuelta a la derecha con el semáforo en rojo, como se muestra en la figura 2.17 (c).



**Figura 2.17. Ángulos recomendados para las intersecciones a nivel**

## 2. Canalización

De la misma manera, en intersecciones con velocidades de operación menores que 70km/h donde existe vuelta derecha e izquierda a nivel, se recomienda que existan guarniciones en vez de marcas sobre el pavimento solamente ya que, al existir este tipo de instalaciones, los usuarios suelen ser más precavidos y en el caso de los conductores de la tercera edad se construyen de esta manera para ser más notorios. Este tipo de tratamiento se muestra en la figura 2.18. Para las intersecciones canalizadas en donde se manejan velocidades mayores a 70km/h, se recomienda colocar guarniciones de tipo perfil bajo (como se muestra en la figura 2.19), ya que de esta manera no se ocasionan daños o se desestabiliza el vehículo en su recorrido si los conductores llegan a impactar con este tipo de guarniciones.



**Figura 2.18** ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.. **Detalle de guarniciones de perfil vertical**



**Figura 2.19. Intersección canalizada con guarnición de perfil bajo**

Un manual que detalla más a fondo las recomendaciones para los conductores de edad avanzada es el “Handbook for Designing Roadways for the Aging Population” (Brewer, Murillo y Pate, 2014), editado por la FHWA.

## 2.6.1.10 Puentes y alcantarillas

### 1. Diseño de características

Es importante revisar que las obras de drenaje estén protegidas. En intersecciones, es recomendable que exista un talud adecuado y que las obras de drenaje no representen un riesgo mayor si se presenta un impacto contra ésta (véase el ejemplo en la figura 2.20).



**Figura 2.20. Taludes y alcantarillas recomendables en intersecciones a nivel.**

En el caso de las obras que se encuentran a lo largo de la carretera, un tratamiento eficaz para disminuir el impacto si un vehículo sale del camino es colocar una protección metálica; con esto se pretende que el vehículo pase por encima de la alcantarilla sin el riesgo que supondría una alcantarilla sin protección. Este tratamiento se puede apreciar en la figura 2.21.



**Figura 2.21. Protección metálica para alcantarillas**

## **2. Barreras**

Las barreras de protección para las obras de drenaje deben contar con el traslape adecuado, así como con amortiguadores de impacto, sin importar su longitud.

### **2.6.1.11 Pavimento**

#### **1. Defectos del pavimento**

Se recomienda revisar que el pavimento esté libre de defectos, tales como baches o roderas, los cuales impactan en la seguridad vial.

#### **2. Resistencia al deslizamiento**

Es importante revisar que se tenga la resistencia adecuada al deslizamiento, especialmente en curvas, aproximaciones a intersección y pendientes pronunciadas.

#### **3. Acumulación de agua, hielo o nieve**

Debe cerciorarse que la superficie del pavimento esté libre de depresiones en donde se puedan presentar acumulaciones de agua, hielo o nieve, ya que esto puede producir el efecto de acuaplano en algún vehículo que pase por dicho punto o desestabilizar el vehículo al impactar con un banco de nieve acumulado sobre el pavimento.

#### **4. Piedras o material suelto**

La carretera deberá estar libre de material producto de algún reencarpetamiento o tratamiento con material granular. Asimismo, debe asegurarse que no exista desprendimiento del material granular del pavimento.

#### **5. Tapas de alcantarilla**

Es necesario asegurar que las tapas estén en buen estado y que no exista algún pozo de visita sin tapa de alcantarilla.

### **2.6.1.12 Provisión para vehículos pesados**

#### **1. Problemas de diseño**

Generalmente, los problemas de diseño se centran en los anchos de los carriles, los cuales deben tener anchura suficiente para el vehículo de mayor dimensión permisible, de acuerdo con la clasificación de la carretera. Asimismo, las pendientes deben estar diseñadas para que los camiones de carga puedan circular a cierta velocidad al subir por éstas.

## **2. Pavimento y calidad del acotamiento**

Generalmente los autobuses de pasajeros utilizan los acotamientos de la carretera para el descenso de los usuarios. Se debe verificar que las condiciones del pavimento en los acotamientos sean aceptables, así como revisar que estén libres de obstáculos.

### **2.6.1.13 Otros problemas de seguridad**

#### **1. Medio ambiente**

Se deben verificar las condiciones del entorno y considerar los efectos que puedan tener lluvias, nevadas, ventarrones, etc.

#### **2. Zonas de obra**

Las zonas de obra deben estar debidamente anunciadas y señalizadas, para que las expectativas del conductor se acoplen a lo que pueda esperar al transitar por dicho tramo.

#### **3. Deslumbramiento de luces de vehículos**

En carreteras de dos o más carriles por sentido y con barrera central, se deberá colocar malla antideslumbrante sobre dicha barrera en toda su longitud, ya que el efecto de deslumbramiento incrementa la fatiga en los conductores.

#### **4. Actividades a los costados de la vía**

Existen puntos en donde se concentra actividad comercial a lo largo de la vía. Estos puntos deberán analizarse y, en caso de encontrar peligros para los usuarios debido a la cercanía con la carretera, es necesario aplicar las recomendaciones que se pueden llevar a cabo, como colocar reductores de velocidad para poder ejecutar las maniobras sin peligro o reubicar la zona de operación de dichos establecimientos.

#### **5. Áreas de descanso**

Estas áreas son de vital importancia, ya que dan a los conductores espacio para descansar de largos trayectos y recuperar la concentración a fin de continuar el camino. Se deben establecer puntos estratégicos para colocar estas áreas, dependiendo de la longitud de la carretera, mismas que se deberán señalar adecuadamente.

#### **6. Entorno**

Se pueden investigar las preocupaciones en cuanto a otros factores del entorno no considerados en la lista de verificación y de importancia para los miembros del equipo en aras de mayor seguridad del tramo. En este caso se deberá trabajar con el equipo que opera y mantiene la infraestructura para poder acordar si existen situaciones peligrosas que se den cotidianamente en el tramo o aquellas que

puedan reducir la seguridad de los usuarios (por ejemplo, grupos de ciclistas que circulen cotidianamente por la vía o durante un intervalo de tiempo en específico en el año).

## **2.7 Preparación del informe de inspección con los hallazgos**

Una vez identificados los problemas de seguridad vial presentados en la carretera, el equipo de inspección describirá los hallazgos redactando el informe de inspección. Dentro de este informe también se presentan soluciones a la medida de los problemas encontrados. Las recomendaciones internacionales señalan que el informe de inspección debe realizarse tan pronto se terminen las visitas de campo.

En esta etapa, el equipo de inspección debe indicar al equipo encargado de la administración, operación y mantenimiento de la carretera del nivel de riesgo con el cual se asocian las observaciones realizadas (bajo, medio o alto), de conformidad con los lineamientos establecidos en la reunión inicial. El equipo de inspección realiza la valoración de los riesgos encontrados y los prioriza.

De esta manera, una vez realizado el análisis de los problemas identificados, asignadas las categorías a los riesgos exhibidos y jerarquizados éstos, el líder del equipo de inspección redactará el informe de inspección.

Además de ser conciso, el informe de inspección deberá contener ilustraciones o croquis de los problemas encontrados en los casos que se amerite realizar una explicación más detallada. Se deberá numerar cada problema de seguridad encontrado e identificar en un mapa los datos requeridos para localizarlos fácilmente (coordenadas, cadenamamiento o referencias con otros puntos). Se pueden incluir referencias a reportes previamente realizados, normas, artículos y recomendaciones, y utilizarlas como sustento.

En la introducción del informe de inspección se incluye una breve descripción del proyecto, incluidos el enfoque, el objetivo y cualquier problema particularmente especial encontrado por el equipo de inspección. Asimismo, se deben mencionar los elementos y aspectos operacionales analizados y no analizados.

Además de esto, debe integrarse un apartado en donde se presente la experiencia, referencias, afiliaciones y acreditaciones de los integrantes del equipo de inspección, así como las fechas y objetivos de las juntas previamente realizadas. También se deberá hacer referencia a los datos que la dependencia encargada de la gestión de la infraestructura analizada entregó al equipo de inspección. Se recomienda incluir observaciones generales en cuanto a las visitas del sitio, como el día y las condiciones climáticas en el momento, las condiciones del tránsito, la iluminación y alguna otra situación atenuante. De la misma forma, el equipo de inspección deberá enumerar los elementos que contribuyen a la seguridad vial del tramo analizado.

El cuerpo principal del informe de inspección debe contener todos los puntos deficientes encontrados en cuanto a la seguridad vial; el equipo de inspección podrá englobar dichos problemas en temas con base en el tipo de problema (general, de diseño, intersecciones y usuarios vulnerables, entre otros).

De acuerdo con Ward (2006), un informe de inspección debería contener al menos los siguientes puntos:

1. Introducción
  - a. Enfoque y objetivo de la ISV.
  - b. Identificación de la carretera existente, elementos revisados y no revisados.
  - c. Alcances de la ISV.
2. Antecedentes
  - a. Integrantes del equipo de inspección, afiliaciones y certificaciones.
  - b. Comentarios relativos a la información proporcionada por el administrador u operador de la carretera.
  - c. Observaciones generales con base en la visita de campo.
3. Hallazgos y recomendaciones
  - a. Deficiencias de seguridad. Descripción del problema, clasificación del riesgo y recomendaciones.
4. Conclusiones: Pronunciamento del equipo de inspección en cuanto a los hallazgos y las conclusiones a las que se llegaron con base en la inspección.

En el apartado donde se enumeren los problemas de seguridad identificados, por cada deficiencia en términos de seguridad deberá incluirse una descripción del por qué ésta representa un riesgo en sí. Esta descripción deberá ser específica: deberá detallar la ubicación, la explicación del problema y las alternativas de solución. Se hace hincapié en que se deberá omitir mencionar los siguientes términos: “inseguro”, “desestandarizado”, “inaceptable” o “deficiente”.

Al final del informe, el líder del equipo de inspección podrá considerar incluir algún pronunciamiento firmado por cada uno de los integrantes del equipo. Este pronunciamiento deberá declarar que todos los integrantes del equipo de inspección participaron en la ISV y están de acuerdo con los hallazgos y las recomendaciones realizadas.

## **2.8 Presentación de los hallazgos de la ISV al propietario de la carretera**

Se deberá concertar una reunión en la cual se realizará una exposición sobre los hallazgos, preferentemente de manera presencial, a los integrantes del equipo encargado de la administración, operación y mantenimiento de la carretera inspeccionada.

Durante esta reunión el equipo de inspección comenzará mencionando los puntos positivos que observaron durante la ISV. Asimismo, se debe resaltar que la intención

de la ISV es identificar oportunidades de mejora para reforzar la seguridad vial, y no criticar los elementos de diseño.

Cuando se discutan las inquietudes de seguridad, los comentarios deberán mantenerse lo más específicos posible; por ejemplo, respecto a los problemas de seguridad, deberá describirse en qué punto se localizan y por qué representan un riesgo de seguridad. Se podrán presentar fotos o videos para ilustrar de mejor manera el problema descrito. Con esta exposición se pretende motivar una retroalimentación para clarificar los hallazgos y emitir recomendaciones.

## **2.9 Preparación de una respuesta formal**

Después de obtener el informe de inspección con las recomendaciones enumeradas, el equipo encargado de la administración, operación y mantenimiento de la carretera deberá emitir una respuesta formal a dicho informe. El objetivo de este paso es que el responsable de la carretera documente su respuesta a las recomendaciones de la inspección. La respuesta formal es una parte esencial, ya que describe las acciones que el administrador, operador o mantenedor de la infraestructura tomará en cuenta para cada problema de seguridad encontrado.

El proceso a llevar a cabo en esta etapa consiste en que el equipo responsable de la carretera revise el informe de inspección y prepare una respuesta por escrito a las recomendaciones, describiendo qué acciones se tomarán en relación con cada problema de seguridad mencionado en el informe. Esta respuesta deberá contener las firmas de los responsables de la administración, operación y mantenimiento de la vía.

En ocasiones, por motivos de inviabilidad económica o de diseño no es posible dar respuesta a todas las observaciones de seguridad vial presentadas en el informe de inspección, debido a lo cual también debe documentarse la razón por la que no se tomarán las medidas correspondientes para subsanar dichas observaciones. A continuación, se presenta un listado para facilitar la tarea de decidir si la recomendación propuesta procede o no:

- ¿Entra el informe de inspección dentro del alcance del proyecto?
- ¿Aborda la recomendación el problema de seguridad, reduciendo la probabilidad de ocurrencia o la gravedad resultante?
- ¿La adopción de la recomendación emitida ocasionará problemas de movilidad, ambientales o de otro tipo no relacionado con la seguridad?
- ¿Cuál sería el costo de la implementación de la recomendación? ¿Existen alternativas más rentables e igual de efectivas?

Con base en el resultado, el equipo responsable de la carretera identificará los problemas de seguridad válidos. En este caso, se podría proceder con lo siguiente:

- Aceptar la recomendación propuesta por el equipo de inspección y comprometerse a implementarla, diseñando un cronograma para llevarla a cabo.
- En caso de no estar de acuerdo con la recomendación propuesta, el equipo responsable de la infraestructura busca una alternativa de solución, proponiendo un cronograma y proporcionando una razón válida de por qué no se adopta la sugerencia presentada en el informe de inspección.
- Si se opta por no implementar ninguna mejora debido a limitaciones, se tendrá que documentar la razón detrás de tal decisión.

Para cada carretera en particular, la documentación sobre las acciones a seguir deberá estar acompañada de la firma de la persona clave con autoridad sobre la infraestructura.

Si existieran controversias con el diseño de las mejoras o con el informe de inspección, éstas se deben resolver sin comprometer la independencia del equipo de inspección. En su caso, se debe hacer llegar al responsable de la carretera un escrito para que tome una decisión al respecto, dando éste su respuesta también por escrito.

Como se mencionó, pudiera darse el caso de que las restricciones financieras y presupuestarias influyan en la aceptación, forma y tiempo de implementación de las recomendaciones, sin que corresponda al equipo de inspección establecer el equilibrio entre la seguridad vial y estas restricciones; esta responsabilidad recae en el responsable de la infraestructura.

Si como resultado de la ISV se acuerda hacer cambios importantes al diseño de la carretera, se recomienda realizar una ASV sobre el diseño revisado, en lugar de esperar hasta la aplicación de una nueva ISV.

## **2.10 Incorporación de mejoras dentro de la carretera**

Una vez que se ha dado respuesta formal al informe de inspección, debe asegurarse que todos los acuerdos descritos se hayan ejecutado conforme a lo acordado y dentro del tiempo convenido.

El equipo responsable de la carretera, al observar todo el proceso relativo a la ISV, puede utilizar este proceso como una oportunidad de aprendizaje. Con base en las observaciones realizadas, se pueden identificar elementos perjudiciales a la

seguridad vial en otras carreteras. Las preguntas clave que se pueden realizar los responsables de la infraestructura carretera son:

- ¿Recibieron los inspectores todos los datos necesarios para realizar la ISV?
- ¿Se asignó el suficiente tiempo para realizar la ISV?
- ¿Fue oportuno en su respuesta el equipo de inspección?
- ¿Satisfizo el equipo de inspección los requisitos de la ISV?
- ¿Se identificaron problemas de seguridad y se respondieron las sugerencias del equipo de inspección de manera adecuada y oportuna?
- ¿Hay alguna evidencia de que se haya mejorado la seguridad en el lugar objeto del estudio?





### **3 Ejemplos de ISV realizadas en México**

---

La metodología utilizada de manera general en México para la realización de una ISV incluye los siguientes pasos:

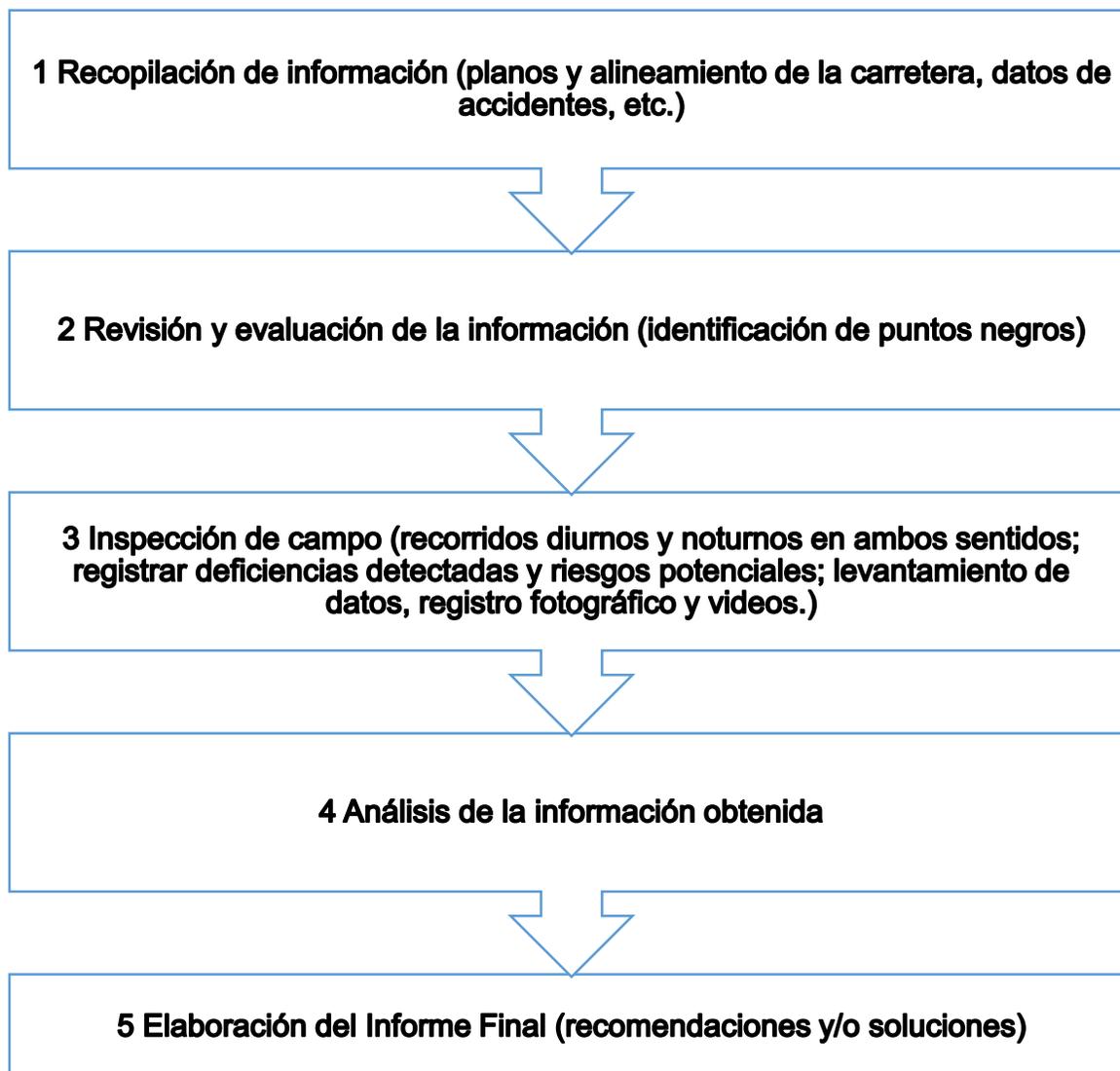


Figura 3.1. Pasos de la metodología para ISV en México

### **3.1 ISV con el método tradicional**

En México se han llevado a cabo ISV mediante el método tradicional, el cual se aplica siguiendo los pasos enumerados a continuación:

- I. Recopilación de información base (obtención de planos de localización, alineamientos, información de accidentes, tránsito, etc.).
- II. Revisión y evaluación de la información base para ubicar sitios potencialmente peligrosos y prestar especial atención al momento de la inspección.
- III. Inspección de campo mediante recorridos diurnos y nocturnos en ambos sentidos. Se levanta con GPS el trazo de la carretera, ubicando con el “indicador de velocidad segura en curva” aquellas curvas en las que, para la velocidad marcada en el camino, el indicador abandonaba la zona de seguridad. En esta etapa de la inspección, se lleva a cabo un registro fotográfico de los atributos de la carretera que representan un riesgo a la seguridad de los usuarios. Mediante las listas de verificación o de chequeo, se revisa el señalamiento horizontal y vertical, sección transversal, zonas laterales, etc. Otra actividad adicional y de gran ayuda es el levantamiento de velocidades de punto a lo largo de la carretera para conocer, mediante el análisis de datos, la velocidad de operación de los vehículos que circularon al momento de la inspección. Dicha velocidad de operación se obtiene mediante el percentil 85.
- IV. Análisis de la información obtenida producto de la inspección. Se determinan las observaciones y riesgos a la seguridad, haciendo las recomendaciones necesarias para cada situación que representa un riesgo para el usuario, así como un breve análisis de accidentes viales.
- V. Preparación del informe de inspección.

En el IMT se han realizado varias inspecciones con éxito siguiendo este método. Los hallazgos alcanzados se han tomado en cuenta mediante la implementación de programas de acciones prioritarias, tales como reforzamiento de señalamiento vertical y horizontal y de seguimiento de puntos negros.

### **3.2 ISV con el método de video**

Otro método utilizado en México para realizar ISV se basa en el levantamiento en video de la carretera y el procesamiento de las imágenes en gabinete. Los sistemas para la filmación de la carretera incorporan el uso de tecnología que permite la recopilación de información de forma dinámica, como en el caso del equipo Hawkeye 2000. Dichos equipos se instalan en un vehículo para poder circular dentro de la carretera a inspeccionar sin interferir en su operación. Los pasos a seguir son los siguientes:

- I. Se recolectan los datos mediante video, utilizando un vehículo de inspección equipado con cámaras alineadas para obtener una vista panorámica, las

- cuales deben calibrarse para obtener mediciones de los elementos de la carretera. Cabe mencionar que el vehículo debe estar equipado con un GPS y un odómetro para proporcionar las características geométricas de la vía y conocer la ubicación real.
- II. Un equipo capacitado revisa y codifica la información para registrar todos los elementos de la vía con repercusiones en la seguridad vial. Esto se logra con ayuda de un software especializado.
  - III. Poniendo el software “Hawkeye Processing Toolkit” como ejemplo, se describe este paso. Se observan los marcos fotográficos de las cámaras del equipo de video a cada 10 m, para después codificar los atributos encontrados. Las opciones de codificación seleccionadas para los atributos se especifican previamente en una plantilla, ejemplo de la cual se muestra en la figura 3.2. La codificación de dichos atributos se efectúa de acuerdo con lo observado en las fotografías y atañe a la persona encargada del trabajo de gabinete.
  - IV. Una vez concluida la codificación de los 17 atributos referentes a la ISV, se obtiene una tabla donde se presentan para cada una de las observaciones una breve descripción y las propuestas de medidas de mejoramiento. Algunos ejemplos de medidas de mejoramiento propuestas son la instalación de sistemas de contención, el mejoramiento del señalamiento horizontal y vertical, y la eliminación de objetos fijos, entre otras. Una vez implementadas, estas medidas minimizarán la frecuencia y severidad de las colisiones y, por lo tanto, incrementarán la seguridad vial en las carreteras inspeccionadas.

**Figura 3.2. Plantilla para codificar los 17 atributos revisados durante la inspección de seguridad vial en gabinete**

Como ejemplo de aplicación de la metodología de video se tienen los siguientes tramos inspeccionados:

**Carretera Querétaro-San Luis Potosí.** Se realizó la inspección a través de video de los 196.3 kilómetros que tiene esta carretera y se analizaron los accidentes reportados, los datos del tránsito diario promedio anual (TDPA) y el índice de rugosidad internacional (IRI). Los problemas detectados fueron la presencia de accesos y retornos irregulares, peligros en zonas laterales debido a objetos fijos, riesgos en las barreras de contención y falta de alumbrado en las intersecciones. Para los usuarios vulnerables, como peatones y ciclistas, la falta de infraestructura diseñada para ellos, aunada a la poca iluminación y señalización, incrementa el riesgo de atropellamiento.

Las medidas de mejoramiento propuestas son, entre otras, la remoción de los peligros o la protección de los mismos si no se pueden reubicar, conectar adecuadamente las barreras, implementar programas de monitoreo y mantenimiento periódico de barreras impactadas, colocación y mantenimiento de las señales horizontales y verticales, ampliación o pavimentación de acotamientos, colocación de luminarias, construcción de infraestructura para peatones y ciclistas, eliminación de accesos irregulares y revisión de intersecciones.

**Carretera Santa María del Río (SLP)- San Luis Potosí (MEX-57, km 150+000- km 160+000).** Como primer paso se detectaron los puntos negros de la carretera; en este caso, fueron los lugares donde se registró un número elevado de accidentes. Se realizó la inspección mediante video y se detectaron varias anomalías y riesgos, entre los cuales están los accesos irregulares, las intersecciones y retornos no canalizados adecuadamente, poca visibilidad y falta de iluminación.

Como medidas de seguridad recomendadas se encuentran la colocación de barreras de seguridad a lo largo de la vía, la regularización y canalización de accesos y retornos, el rediseño de intersecciones, la colocación de iluminación artificial, así como la instalación de puentes peatonales en las paradas de autobuses y zonas pobladas.

### **3.3 ISV con apoyo de vuelos LIDAR y videograbación de la carretera**

Cuando se proyecta y construye una carretera, incluso a pesar de seguir toda normativa aplicable al diseño y equipamiento, pueden aparecer situaciones de riesgo que ponen en peligro la seguridad de los usuarios. Este tipo de eventualidades pueden detectarse al aplicar una ISV con el método tradicional o de videograbación. Dichos métodos, descritos en los apartados anteriores, permiten analizar la carretera desde una perspectiva a nivel, es decir, desde la vista que tienen los usuarios al transitar por la misma. Sin embargo, en algunas ocasiones esta perspectiva no es suficiente para determinar los problemas de raíz que provocan conflictos de seguridad en la vía. Es por ello que, cuando la complejidad

que presenta la carretera lo amerita, se requieren otros niveles de análisis a mayor escala desde una perspectiva aérea.

Gracias a los avances tecnológicos, actualmente es posible realizar el escaneo de la carretera mediante vuelos LIDAR (siglas en inglés para: detección y localización de imágenes por láser). Estos vuelos brindan una vista aérea de la carretera y su entorno, mediante la cual es posible reconstruir la geometría del camino, como el alineamiento horizontal, vertical y sección transversal. De esta manera, se complementa la vista a nivel del usuario con la interacción que existe en sus alrededores, y las posibles deficiencias en la geometría del camino.

Este tipo de herramientas se vuelven particularmente útiles en carreteras existentes con una larga historia de operación, pues es usual que los caminos diseñados y construidos hace varios años sean incompatibles con su actual operación. En este sentido, cuando una carretera se construye, el medio por el cual se desarrolla sufre una importante modificación. Esta transformación del entorno sigue evolucionando a lo largo de la vida de servicio de la vía, más aún cuando existen localidades en sus cercanías, pues la conectividad que proporciona la carretera incita el cambio del uso de suelo a sus costados al ser una potencial fuente de ingresos económicos para la población circundante. Este fenómeno multifactorial de alteración al entorno de la carretera y su función provoca, si no se aplican medidas de mejora que actualicen la infraestructura conforme a sus requerimientos actuales, la aparición de serios problemas de operación e incompatibilidad diseño-función, con lo que se desencadena una indeseable siniestralidad vial.

Entre los problemas más comunes detectados por medio del escaneo aéreo de la carretera están las deficiencias en el diseño geométrico (horizontal, vertical, sección transversal y congruencia entre éstos), problemas de drenaje y detección de potenciales zonas de inundación, cambios en la función de la vía y usos de suelo, desarrollo de accesos irregulares, salidas e incorporaciones peligrosos, entre otros.

La metodología para realizar una ISV incorporando este tipo de tecnologías es similar a la aplicada en una ISV con el método tradicional, pues en realidad es un complemento a ésta para detectar los factores que originan los problemas de seguridad en la carretera. De esta manera, se obtiene una visión completa del camino, lo que permite analizar la carretera desde todos sus ángulos y explorar la evolución de su entorno.

### ***Ejemplo de aplicación***

A la fecha en México se ha realizado una ISV utilizando esta tecnología, siendo analizado el tramo comprendido del kilómetro 12+000 al 52+000 de la carretera libre México-Toluca (MEX 015). Este tramo tiene una complejidad muy particular que provoca que una ISV a nivel, desde la perspectiva del usuario, resulte insuficiente. Cada año a lo largo de este tramo ocurren alrededor de 100 colisiones viales severas, 20 fallecimientos y 60 lesionados de gravedad, con un costo anual que asciende a 285 millones de pesos.

El diseño y construcción de la carretera data del año 1952, y esta vía forma parte de un eje de transporte que conecta la capital mexicana con Estados Unidos a través de la ciudad fronteriza de Nogales, en el estado de Sonora. El primer tramo de este eje de transporte comunica la Ciudad de México con Toluca, mismas que se han convertido en dos de las más importantes zonas metropolitanas del país, al ser la primera y la quinta zonas más pobladas de México, respectivamente.

En lo referente al tránsito, por este tramo carretero circulan diariamente entre 54 y 127 mil vehículos, dependiendo de la ubicación del punto aforado. Además, se tiene una importante participación de vehículos de carga, que representan aproximadamente 15% del tránsito diario.

Actualmente, de manera paralela a este tramo carretero, se desarrolla la autopista México-Toluca (opción de cuota para conectar estos dos destinos), y se construye el tren interurbano México-Toluca, lo cual restringe cualquier posibilidad de ampliación o modificación de la geometría de la carretera libre. Aunado a lo anterior, el dinamismo económico entre estas dos zonas urbanas ha generado la construcción de desarrollos a los costados de la vía, por lo que ha desaparecido en ciertas secciones el espacio reservado al derecho de vía y se ha multiplicado la cantidad de accesos directos desde la carretera.

La complejidad de la problemática descrita en los párrafos anteriores hizo necesario analizar la carretera desde todos sus ángulos, pues su actual operación en definitiva no se corresponde al diseño inicial considerado. Además de la incompatibilidad entre el diseño y el servicio que hoy en día presta este tramo carretero, al ser un camino proyectado de acuerdo con normas, estándares y vehículos de hace poco más de 60 años, la geometría de la carretera presenta una diversidad de problemas que no son posibles de detectar mediante una revisión desde la perspectiva del usuario con una ISV tradicional o apoyada solamente en la videograbación de su recorrido.

Los hallazgos realizados a través de este procedimiento identificaron una serie de medidas de mejora a corto plazo como: instalación de barreras de protección de orilla y central, colocación de terminales de barrera adecuadas, dispositivos de amortiguamiento en divergencias, eliminación de peligros en zonas laterales, mejoramiento e instalación de paraderos de transporte público, mejoramiento y construcción de infraestructura peatonal (puentes, cruces y banquetas), replanteo y mantenimiento al señalamiento vertical, mantenimiento al señalamiento horizontal, instalación de luminarias en puntos de decisión y conflicto y mejoramiento de la rugosidad y fricción del pavimento. Asimismo, se identificaron medidas de mejora que, al requerir mayor inversión económica, se clasifican como medidas a largo plazo como: correcciones a la sobreelevación en curvas, ampliación del acotamiento interno para lograr la distancia de visibilidad de parada requerida, modificación de zonas de entrecruzamiento, corrección de curvas horizontales y verticales, mejoramiento de la conectividad con la autopista y predios particulares, instalación de carriles de aceleración y desaceleración, entre otros.

En la figura 3.3 se presenta un ejemplo que ilustra la utilidad de la información generada a partir del escaneo de la carretera con vuelos LIDAR, mismos que proporcionan una vista aérea de gran detalle de la vialidad. En esta figura se observa la discontinuidad en la conectividad de un puente peatonal, pues deja a los usuarios peatones en la isleta formada entre la rama principal de la carretera y el ramal de salida de vuelta derecha, con lo que se expone a los peatones a un gran riesgo al no dejarles otra posibilidad que cruzar dicho ramal de vuelta derecha a nivel y en una curva, entrando en conflicto directo con los vehículos de motor.



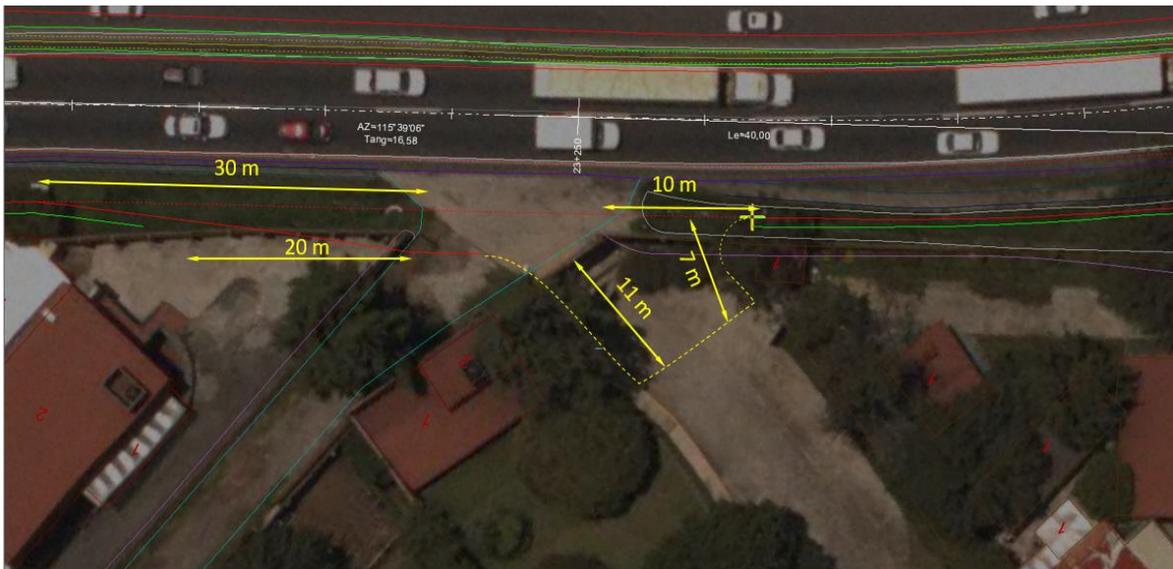
**Figura 3.3. Discontinuidad de puente peatonal detectado desde una vista aérea**

En la figura 3.4 se muestra un tramo de la carretera con su reconstrucción geométrica, a partir de la cual es posible determinar si el diseño geométrico, tanto en su desarrollo horizontal como vertical, cumple con lo requerido de acuerdo con el tipo de camino y la velocidad de operación. En esta misma figura se observa a la izquierda una conexión geoméricamente inadecuada que comunica la carretera con desarrollos al costado, lo que ocasiona maniobras riesgosas por parte de los usuarios y un peligro latente hacia la ocurrencia de siniestros viales.



**Figura 3.4. Reconstrucción de geometría a partir escaneo con vuelo LIDAR**

Finalmente, en la figura 3.5 se ilustra un ejemplo respecto a la detección de accesos irregulares, donde se puede analizar su geometría y posibilidades de mejora para reducir el riesgo que representa esta conexión directa.



**Figura 3.5. Detección y dimensionamiento de accesos directos a la carretera**

## 4 Conclusiones

---

Los gobiernos alrededor del mundo empiezan a reconocer cada vez más la importancia de las ISV, debido al alto beneficio que resulta de aplicarlas en los proyectos de infraestructura vial.

El enfoque proactivo de las ISV tiene los siguientes beneficios:

- **Prevención de accidentes:** No es necesario que los accidentes ocurran para poder justificar la implementación de dispositivos o medidas de seguridad.
- **Carreteras más seguras:** Los usuarios experimentan un confort adicional al transitar por carreteras con los elementos de seguridad necesarios, que hacen efectivo el concepto de seguridad vial.
- **Menores costos de operación:** Al tener un diseño seguro, los gastos correspondientes a mantenimiento por colisiones se reducen drásticamente.

En carreteras existentes el uso de listas de verificación, también conocidas como listas de chequeo, provee a los miembros del equipo de inspección de una herramienta eficaz para investigar aspectos que cotidianamente causan deficiencia en cuanto a la seguridad de la vía.

Es importante que se realicen ISV de manera periódica con la finalidad de determinar el impacto de las medidas de seguridad adoptadas.

Los practicantes de las ISV deben ser partícipes en el entendimiento de los grandes beneficios obtenidos al diseñar carreteras perdonadoras, evitando accidentes que provoquen víctimas o lesionados de gravedad.



## Bibliografía

---

American Associations of State Highway & Transportation Officials (2011). *Roadside Design Guide*. Washington, DC. ISBN: 978-1-56051-509-8.

Brewer, M., Murillo, D. y Pate, A. (2014). *Handbook for Designing Roadways for the Aging Population* (No. FHWA-SA-14-015).

Corso, P., Finkelstein, E., Miller, T., Fiebelkorn, I. y Zaloshnja, E. (2006). "Incidence and lifetime costs of injuries in the United States". *Injury Prevention*, vol. 12, núm. 4, pp. 212-218.

Datta, T. K. y Schattler, K. L. (2003). *Evaluation Studies for the AAA Road Improvement Demonstration Program in Michigan*. Final Report, prepared for the Automobile Association of America.

DGST, Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2014). *Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad*.

DGST, Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2018). *Manual de proyecto geométrico de carreteras de la SCT*.

Gobierno de la República (2013). Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, Gobierno de la Republica, Ciudad de México.

Hauer, E. (1997). *Observational before-after studies in road safety: Estimating the effects of highway and traffic engineering measures on road safety*. Pergamon, Tarrytown, NY, Estados Unidos, 9, 10.

Heydecker, B. G. y Wu, J. (2001). "Identification of sites for road accident remedial work by Bayesian statistical methods: an example of uncertain inference". *Advances in Engineering Software*, vol. 32, núm. 10-11, pp. 859-869.

International Road Federation (1999): "World Road Statistics". Ginebra, Suiza (<https://worldroadstatistics.org/>).

Killi, D. V. y Vedagiri, P. (2014). "Proactive Evaluation of Traffic Safety at An Unsignalized Intersection Using Micro-Simulation". *Journal of Traffic and Logistics Engineering*, vol. 2, núm. 2.

Lipinski, M. E. y Wilson, E. M. (2003). *Road safety audits and road safety audit reviews*. FHWA National Highway Institute (NHI).

Mayoral, E., et al. (2001). *Auditorías en seguridad carretera: Procedimientos y prácticas*. Publicación técnica IMT núm. 183.

Mendoza, A. y M. Dorado (2016). *Desarrollos recientes en materia de seguridad vial*. Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres. ISBN: 978-607-9191-08-5.

Nabors, D., Schneider, R. J., Leven, D., Lieberman, K. y Mitchell, C. (2008). *Pedestrian safety guide for transit agencies* (No. FHWA-SA-07-017).

Proctor, Belcher, y Cook (2001). *Practical road safety auditing*. Thomas Telford.

Queensland Department of Transport and Main Roads (TMR), 2013. *Road Planning and Design Manual*, 2ª ed. Queensland Government, Brisbane.

Robert, C. P. (2007). *The Bayesian Choice: from Decision-Theoretic Motivations to Computational Implementation*.

SCT (2011). "Acuerdo por el que se da a conocer la Estrategia Nacional de Seguridad Vial 2011-2020". *Diario Oficial de la Federación*, vol. 693, núm. 4.

SCT (2012). *Acciones para el fortalecimiento de la seguridad vial*.

SCT (2013). "Programas Sectoriales de Comunicaciones y Transportes 2013-2018", Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Ciudad de México.

Trentacoste, M. F. (1997). "Road Safety Audits: Scanning for "Gold" Down Under". *Public Roads*, vol. 61, núm. 2.

Ward, L. (2006). *FHWA Road Safety Audit Guidelines*.

Wilson, E. M. y Lipinski, M. E. (2004). *NCHRP synthesis of highway practice 336: road safety audits*. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC.

Zealand, T. N. (1998). *Safety Audit Procedures for Existing Roads*. Transfund New Zealand.

Zein, S. y De Leur, P. (2001). Transportation Association of Canada. *The Canadian road safety audit guide*. TAC= ATC.

Zein, S. y Mairs, A. (2002). *AAA Michigan Road Improvement Demonstration Program Evaluation*.



Km 12+000 Carretera Estatal 431 “El Colorado-Galindo”  
Parque Tecnológico San Fandila  
Mpio. Pedro Escobedo, Querétaro, México  
CP 76703  
Tel +52 (442) 216 9777 ext. 2610  
Fax +52 (442) 216 9671

[publicaciones@imt.mx](mailto:publicaciones@imt.mx)

<http://www.imt.mx/>

Esta publicación fue desarrollada en el marco de un sistema de gestión de calidad  
certificada bajo la norma ISO 9001:2015