



Certificación ISO 9001:2008 ‡

**Auscultación Dinámica de
Señalamiento y Dispositivos de
Seguridad Vial.
Caso de estudio: Ruta MEX-200
Manzanillo – Puerto Vallarta, Tramo
Manzanillo - Melaque**

Gilberto Chávez Cerna
Emilio Abarca Pérez
Alberto Mendoza Díaz
Gerardo Rios Quezada

**Publicación Técnica No. 487
Sanfandila, Qro, 2017**

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

**Auscultación Dinámica de Señalamiento y
Dispositivos de Seguridad Vial.**
**Caso de estudio: Ruta MEX-200 Manzanillo –
Puerto Vallarta, Tramo Manzanillo - Melaque**

Publicación Técnica No. 487
Sanfandila, Qro, 2017

Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte del Instituto Mexicano del Transporte, por el Ing. Gilberto Chávez Serna, el M. en I. Emilio Abarca Pérez, el Dr. Alberto Mendoza Díaz y el M. en I. Gerardo Ríos Quezada.

Se agradece el apoyo a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y a su Facultad de Ingeniería en la Maestría en Infraestructura del Transporte, en la rama de las Vías Terrestres.

Contenido

1	Introducción.....	1
1.1	Objetivo.....	3
1.2	Alcances.....	4
1.3	Metodología	4
1.4	Actividades.....	4
1.5	Beneficios Esperados.....	5
2	Antecedentes	7
2.1	Clasificación por Estrellas	9
2.2	Tipos de Inspecciones Viales.....	10
2.3	Puntaje de Protección Brinda por la Vía.....	11
2.4	Auscultación Dinámica de Señalización Horizontal y Vertical	12
3	Recopilación y Análisis de la Información	15
3.1	Mapas de Clasificación por Estrellas.....	15
3.2	Plan de Inversión Para Vías más Seguras.....	19
3.2.1	Medidas de mejoramiento	24
3.3	Accidentalidad de la Zona	32
3.4	Datos de Operación	36
3.4.1	Transito Diario Promedio Anual (TDPA)	36
3.4.2	Composición Vehicular	38
4	Auditoría de Seguridad Vial.....	43
4.1	Términos de Referencia.....	44
4.2	Análisis de la Información	45

4.3	Inspección del Terreno.....	45
4.4	Resultados de la Auditoria de Seguridad Vial	46
4.4.1	Señalamiento Horizontal y Vertical	46
4.4.2	Barreras.....	50
4.4.3	Zonas Laterales	56
4.4.4	Bandas Alertadoras	59
4.4.5	Alumbrado	61
4.4.6	Control de la Velocidad.....	63
5	Medidas de Mejoramiento	67
5.1	Señalamiento horizontal y vertical.....	67
5.2	Barreras	68
5.3	Zonas Laterales	70
5.4	Bandas Alertadoras.....	73
5.5	Alumbrado.....	74
5.6	Control de la Velocidad	75
6	Conclusiones y recomendaciones.....	79

Resumen

Una Auditoría de Seguridad Vial es un procedimiento sistemático donde un grupo de auditores, independientes al proyecto y calificados, revisan las condiciones de seguridad de la infraestructura vial, lo anterior puede efectuarse para una carretera nueva, una carretera existente o de cualquier proyecto que pueda afectar el nivel de seguridad vial o la integridad de los usuarios. Siguiendo el enfoque anterior, se han desarrollado diversas metodologías para medir el nivel de seguridad de la infraestructura vial empleando tecnología que permita recopilar información en campo de manera dinámica mediante vehículos automatizados facilitando obtener información detallada de la misma. Luego, la información recopilada es procesada para determinar el nivel de seguridad vial del segmento vial evaluado y para localizar las zonas de mayor conflicto dando lugar a proponer programas de mejora para dichos sitios.

Dicho lo anterior, el presente trabajo implementa una Auditoría de Seguridad Vial a partir del sistema de auscultación dinámica de señalamiento y dispositivos de seguridad vial AMAC (*Advanced Mobile Asset Collection*) y la metodología iRAP (*International Road Assessment Programme*) para la Ruta MEX-200 Manzanillo – Puerto Vallarta, en el tramo Manzanillo - Melaque. A partir de la evaluación del tramo con las metodologías anteriormente mencionadas se generaron una serie de recomendaciones que permitirán mejorar el nivel de seguridad vial del mismo. Dentro de los hallazgos más relevantes destacan numerosas debilidades del señalamiento vertical y horizontal respecto a lo establecido en la NOM-034-SCT2-2011 como son: incumplimiento en los niveles de reflexión, inconsistencia en los colores, formas y dimensiones, ausencia de señales, estado conservación deficiente, así como la ubicación inadecuada. A partir de estos hallazgos, se propone un programa detallado de mejoramiento para los sitios de mayor conflicto en relación al nivel de seguridad vial.

Abstract

A Road Safety Audit is a systematic procedure where a group of independent and highly qualified project auditors review the road infrastructure safety conditions, either for a new road, an existing road or any project that may affect the level Road safety or the integrity of users. Following the above approach, several methodologies have been developed to measure the level of safety of the road infrastructure using technology that allows the collection of information in the field in a dynamic way through automated vehicles, allowing detailed information to be obtained. The information collected is then processed to determine the level of road safety of the evaluated road segment and to locate the areas of greatest conflict, allowing proposing improvement programs for those sites.

With this in mind, the present work implements a Road Safety Audit based on the Advanced Mobile Asset Collection (AMAC) and the International Road Assessment Program (iRAP) methodology for the MEX-200 Route Manzanillo - Puerto Vallarta, in the section Manzanillo - Melaque. From the evaluation of the section with the above mentioned methodologies, a series of recommendations were generated that will allow to improve the level of road safety of the same. Among the most relevant findings, there are numerous weaknesses of the vertical and horizontal signaling compared to NOM-034-SCT2-2011, such as: failure to reflect, inconsistency in colors, shapes and dimensions, absence of signals, poor maintenance status as well as inadequate location. Based on these findings, a detailed program of improvement is proposed for the sites of greater conflict in relation to the level of road safety.

Resumen ejecutivo

Una auditoría de seguridad vial es un procedimiento sistemático donde un grupo de auditores independientes al proyecto y calificados revisan las condiciones de seguridad de la infraestructura vial, lo anterior puede efectuarse para una carretera nueva, una carretera existente o de cualquier proyecto que pueda afectar el nivel de seguridad vial o la integridad de los usuarios.

Siguiendo el enfoque de las auditorías, se han desarrollado diversas metodologías para medir el nivel de seguridad de la infraestructura, las cuales cuentan con tecnología que permite recopilar información en campo de manera dinámica con equipos automatizados como el Hawkeye 2000 o similares. Este tipo de vehículos cuentan con tecnología diseñada que, al circular por el tramo a evaluar, permite obtener información de la vía y hacer mediciones sin hacer interrupciones al tránsito cotidiano y sin afectar su velocidad de operación. A partir de esta tecnología se crearon los programas RAP que fueron diseñados aplicando la filosofía de salvar vidas mediante la inspección de vías de alto riesgo, identificando zonas de conflicto para la generación de propuestas de programas de mejoramiento de la seguridad vial en ámbitos nacional, regional y local, así como el rastreo del desempeño de medidas de seguridad implementadas en las vías terrestres

Otra metodología, denominada sistema de auscultación dinámica AMAC (*Advanced Mobile Asset Collection*), se realiza por medio de un equipo automatizado que mide las dimensiones y la reflexión del señalamiento vertical y horizontal de la vía, generando al mismo tiempo un inventario completo y georreferenciado de la misma. AMAC fue desarrollado por un equipo de ingenieros, físicos, psicólogos y estadísticos por CIDAUT Technologies, una asociación entre los Estados Unidos DBI Servicios y Fundación CIDAUT de España.

El presente trabajo implementa una Auditoría de Seguridad Vial a partir del sistema de auscultación dinámica de señalamiento y dispositivos de seguridad vial AMAC (*Advanced Mobile Asset Collection*) y la metodología iRAP (*International Road Assessment Programme*); considerando el estudio realizado por la Fundación CIDAUT (2015) y el estudio realizado por iRAP (2012 y 2015), ambos para la Ruta MEX-200 Manzanillo – Puerto Vallarta, en el tramo Manzanillo - Melaque.

La tecnología Hawkeye utilizada por iRAP emplea un vehículo de inspección especialmente equipado con cámaras alineadas que registran imágenes entre 5 y

10 metros de distancia, logrando obtener una vista panorámica pues registra imágenes frontales, de lateral derecha y lateral izquierda de la vía.

Por otro lado, el sistema de auscultación de carreteras AMAC (*Advanced Mobile Asset Collection*) es un sistema dinámico y alta precisión que mide la reflexión de la señalización vertical y horizontal generando al mismo tiempo un inventario completo de la misma. Evalúa de forma segura, rápida y efectiva el estado físico actual de las señales verticales contribuyendo a optimizar la conservación de la señalización vertical. Además de la reflexión y color de la señalización vertical, también mide su posición (absoluta y relativa a la vía) y dimensiones.

A partir de la evaluación del tramo con la metodología iRAP y AMAC se generaron una serie de recomendaciones que permitirán mejorar de la seguridad vial del mismo.

Dentro de los hallazgos más relevantes destacan numerosas debilidades del señalamiento vertical y horizontal respecto a lo estipulado en la NOM-034-SCT2-2011, como son: incumplimiento en los niveles de reflexión, inconsistencia en los colores, formas y dimensiones, ausencia de señales, estado conservación deficiente, así como la ubicación inadecuada.

A partir de lo anterior se plantearon los requerimientos del señalamiento vertical del tramo en estudio que permitirán garantizar el funcionamiento adecuado del señalamiento vertical y horizontal.

Los mayores requerimientos del señalamiento vertical son del tipo preventivo, posteriormente también se observó una necesidad de implementación de señales diversas de las cuales destaca la señal (OD-5) indicador de obstáculos, en total se encontraron que se deben mejorar e instalar 142 señales en todo el tramo en estudio.

En relación con el señalamiento horizontal, se encontró que el mejoramiento e implementación de las líneas a la orilla del arroyo vial (M-3.1) es la medida que requiere una mayor intervención seguido de las líneas separadoras de sentido de circulación (M-1).

Con el sistema de auscultación dinámica AMAC (*Advanced Mobile Asset Collection*), se logró evaluar la condición física actual del señalamiento vertical y horizontal en el tramo de estudio, se obtuvieron las dimensiones, la posición, la altura, ángulo de colocación y los niveles de reflexión de estos. También fue posible determinar los niveles de visibilidad de las señales y marcas dando información complementaria para valorar las señales que requieren mantenimiento o reemplazo de acuerdo a los parámetros que se deben cumplir en la normativa vigente NOM -034-SCT2-2011.

Asimismo, también se realizó la inspección mediante la observación de fotografías y apoyado del software especializado de donde se documentaron las

características a cada 20 m. Con dicho levantamiento se llevó a cabo el trabajo de gabinete, auditando las características más importantes para la seguridad vial del tramo, adicionales al señalamiento horizontal y vertical, mismas que se enlistan a continuación: barreras lateras, zonas laterales, bandas alertadoras, alumbrado (en tramos carreteros, en cruces peatonales y en intersecciones) y control de la velocidad.

A partir de los hallazgos encontrados en el punto anterior, se generaron los programas detallados de trabajo para los sitios que requieren instalar cada medida de mejoramiento. Estos programas serán de gran utilidad para elaborar los proyectos ejecutivos y términos de referencia de una futura licitación de obras.

1 Introducción

El tema de la seguridad vial nace de la necesidad de contrarrestar un problema de salud mediante la movilidad segura, equitativa y sustentable en beneficio de todos los usuarios de las vías públicas. Dentro de los factores que intervienen en los accidentes de tránsito, la infraestructura vial es la única que puede ser controlable bajo una adecuada gestión, planeación, diseño y construcción de las vías terrestres que incorporan una determinada red de transporte, naciendo así, la ingeniería de seguridad vial, ésta contribuye directamente al segundo pilar del decenio de la ONU (2011), cuyo objetivo es la reducción de muertes y lesiones ocurridas en las vías a través del diseño de soluciones de mitigación de riesgos en la infraestructura mediante una planeación estratégica de la misma (Pardillo, 2004).

Por otro lado, Justo-Sierra (2011) establece que aun cuando los tres factores (factor humano, factor vehículo y factor infraestructura) contribuyen a la ocurrencia de una colisión, el factor infraestructura está ligado mayormente a aquellos accidentes con consecuencias fatales. Este estudio confirma que el diseño apropiado de una infraestructura vial impacta de manera significativa en la reducción de accidentes donde las víctimas pierden la vida. Cabe mencionar que cuando el conductor y al automóvil no responden, lo único que queda como auxilio es la vía; de aquí la importancia del buen diseño de la misma, así como la incorporación de medidas aplicadas a la seguridad vial y la corrección de puntos de concentración de accidentes (Díaz-Pineda, 2008). De acuerdo a la experiencia que comparten países europeos como Suecia y España (Breen, Howard, & Bliss, 2008), se ha observado que aumentar la protección a los usuarios a través de la mejora de la infraestructura genera un impacto significativo en la reducción de la severidad del siniestro, no obstante que la ocurrencia misma de los accidentes puede permanecer sin grandes cambios.

Atendiendo esta situación, se crearon las auditorías de seguridad vial, las cuales se definen como procedimientos sistemáticos en donde un auditor independiente y calificado comprueba las condiciones de seguridad de la infraestructura vial, puede ser para una carretera nueva, una carretera existente o de cualquier proyecto que pueda afectar a la vía o a los usuarios (Díaz-Pineda, 2008). Dentro de los beneficios que se obtienen al realizar una auditoría de seguridad vial se encuentran:

- Reducción de la probabilidad y severidad de ocurrencia de accidentes.
- Reducción del costo social y económico que representan los accidentes.

Siguiendo el enfoque de las auditorías, se han desarrollado diversas metodologías para medir el nivel de seguridad de la infraestructura, las cuales cuentan con tecnología que permite recopilar datos en campo de manera dinámica con equipos automatizados como el Hawkeye 2000 o similares. Este tipo de vehículos cuentan con tecnología diseñada para recopilar información y hacer mediciones al circular dicho vehículo por el tramo a evaluar, sin hacer interrupciones al tránsito cotidiano y sin afectar su velocidad de operación. A partir de esta tecnología, se crearon los programas RAP que fueron diseñados aplicando la filosofía de salvar vidas mediante la inspección de vías de alto riesgo, identificación de situaciones de conflicto, capacitación y tecnología para el desarrollo de programas de mejoramiento de la seguridad vial en ámbitos nacional, regional y local, así como el rastreo del desempeño de medidas de seguridad implementadas en las vías terrestres (Centeno & Urzúa, 2014). Dentro de las características que se evalúan se encuentran:

- Separación de los sentidos de circulación. Los índices de accidentalidad suelen ser entre 2 y 4 veces mayores en carreteras de un carril por sentido.
- Sección transversal. Los aspectos más importantes son los anchos de carril y de acotamientos, así como el ancho de la mediana.
- Diseño geométrico de la vía. El alineamiento horizontal y vertical influyen de manera significativa en la frecuencia de los accidentes.
- Intersecciones y enlaces. Los conflictos entre diferentes flujos de tránsito pueden aumentar la frecuencia de los accidentes.
- Estado del pavimento. La resistencia al deslizamiento cuando el pavimento esté mojado o defectos graves de uniformidad en el pavimento.
- Estado de las zonas laterales. Es deseable que las zonas laterales a la calzada se encuentren libres de obstáculos susceptibles de ocasionar daños graves al ser colisionados por un vehículo.
- Señalización. Es importante que el usuario de la vía cuente con la información necesaria para modificar su comportamiento en la conducción ante situaciones que lo ameriten.

Otra metodología, denominada sistema de auscultación dinámica AMAC (*Advanced Mobile Asset Collection*), se realiza por medio de un equipo automatizado que mide las dimensiones y la reflexión del señalamiento vertical y horizontal de la vía, generando al mismo tiempo un inventario completo y georreferenciado de la misma. AMAC fue desarrollado por un equipo de ingenieros, físicos, psicólogos y estadísticos por Cidaut Technologies, una asociación entre los Estados Unidos DBI Servicios y Fundación CIDAUT de España. La metodología del sistema de auscultación AMAC se desarrolla en las siguientes tres etapas:

- Inspección de la vía por medio de un vehículo equipado con la tecnología AMAC para la adquisición de datos y recopilación de información. Este vehículo circula en período diurno y nocturno a la velocidad de la vía y sin

interrumpir el tráfico, adquiriendo todos los datos necesarios para evaluar la señalización.

- Análisis e interpretación de los datos para el cálculo de los parámetros necesarios para la evaluación de la vía. Este proceso es realizado con un conjunto de herramientas de software que también constituyen un desarrollo propio del sistema AMAC.
- Presentación de resultados, estos se presentan en una plataforma de visualización flexible que permite analizar el estado de la señalización y analizar las acciones correspondientes en cada caso.

La tecnología empleada permite inspeccionar las señales a la velocidad del tráfico sin provocar interrupciones en éste y proporciona información básica para la optimización del mantenimiento de la señalización (reflexión, tamaño, posición, altura). Los objetivos del sistema son asegurar los niveles de visibilidad adecuados de la señalización, así como optimizar las políticas de reemplazo y mantenimiento de la señalética.

Las ventajas de esta tecnología frente a los métodos clásicos (medida con reflectómetros manuales, inspecciones subjetivas o reemplazo en función de la garantía) son múltiples. En primer lugar, se evita la presencia de personal en la vía realizando mediciones con el riesgo que esto implica. También se consigue la medida de las señales y tableros sin necesidad de interrumpir el tráfico en el carril correspondiente. Además, en el caso de longitudes importantes se minimiza el tiempo de inspección. Esta tecnología se adapta a la normativa vigente del país donde se realiza la inspección, para este caso en particular se toma como base la normativa vigente para determinar el estado de la señalización con base en los niveles mínimos de reflexión y color requeridos en la NOM -034-SCT2-2011.

Ambas metodologías expresan sus resultados mediante indicadores que contribuyen a determinar el nivel de seguridad que ofrece la vía. A partir de estos resultados, en conjunto con estadísticas de siniestralidad, es posible realizar un análisis que permita identificar las situaciones de alto riesgo, así como proponer medidas de mejoramiento enfocadas a la prevención de accidentes de tránsito.

1.1 Objetivo

Realizar una auditoría de seguridad vial a partir del sistema de auscultación dinámica de señalamiento y dispositivos de seguridad vial AMAC (*Advanced Mobile Asset Collection*) y la metodología iRAP (*International Road Assessment Programme*); lo anterior en función a los levantamientos realizados con ambos sistemas para la Ruta MEX-200 Manzanillo – Puerto Vallarta, en el tramo Manzanillo - Melaque.

1.2 Alcances

Publicación Técnica con la descripción, resultados y conclusiones del estudio. A su vez, se obtendrán recomendaciones sobre la aplicación de sistemas de auscultación dinámica en auditorías de seguridad vial.

1.3 Metodología

Este estudio se realizará tomando en cuenta el estudio realizado por la Fundación Cidaut (2015) y el estudio realizado por iRAP (2012 y 2015), ambos en la Ruta MEX-200 Manzanillo – Puerto Vallarta, en el tramo Manzanillo - Melaque. El estudio se centrará en analizar los indicadores de seguridad para los usuarios de vehículos automotores.

1.4 Actividades

A continuación se presenta una descripción de cada una de las actividades que se desarrollan en este estudio:

- A. Recopilación y análisis de la información. Consiste en la recopilación de la información existente, como los resultados generados por el proyecto iRAP México Fase I y Fase II: mapas de clasificación por estrellas; gráficas de cadenamamiento versus a clasificación por estrellas y plan de inversión para vías más seguras; los resultados del proyecto de Auscultación Dinámica (AMAC) elaborado por la Fundación Cidaut; recorrido del tramo en vídeo; información de la accidentalidad del tramo y datos de operación de la vía tales como: Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) y la composición vehicular para la Ruta MEX-200 Manzanillo – Puerto Vallarta y para el tramo Manzanillo – Melaque.
- B. Auditoría de seguridad vial. A partir de los resultados obtenidos en la auscultación dinámica, el proyecto iRAP México, el recorrido del tramo en vídeo, la información de la accidentalidad del tramo y los datos de operación, se identificarán las situaciones que representen un alto riesgo a los usuarios de vehículos y se detallarán las recomendaciones pertinentes para atender la problemática en materia de seguridad vial.
- C. Medidas de Mejoramiento. Consiste en generar recomendaciones de las principales medidas de mejoramiento para mitigar los distintos problemas de seguridad vial detectados a partir de toda la información obtenida. En esta sección se proponen las medidas de mejoramiento que sean más factibles con base en su efectividad.
- D. Conclusiones y recomendaciones. Se realizarán las respectivas conclusiones sobre este estudio, así como las recomendaciones pertinentes

para el uso eficiente de la tecnología disponible en la actualidad para la elaboración de auditorías de seguridad vial.

1.5 Beneficios Esperados

Que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) cuente con un estudio sobre la aplicación de sistemas de auscultación dinámica que permita identificar condiciones de alto riesgo en la infraestructura de la Red Carretera Federal (RCF), así como valorar la eficiencia de la misma. Bajo estos conocimientos, la SCT podrá promover acciones con la finalidad de incrementar el nivel de seguridad vial en la RCF.

2 Antecedentes

En América Latina, iRAP ha realizado proyectos exitosos en países como Argentina, Perú, Paraguay, Chile, Panamá, Costa Rica, Colombia, entre otros y, desde luego, México no ha sido la excepción.

Como parte de un compromiso para mejorar la seguridad vial México firmó dentro del marco de la Semana de la Seguridad Vial, celebrada del 9 al 13 de mayo de 2011 en la Ciudad de México, el acuerdo mediante el cual se adhirió a la iniciativa de las Naciones Unidas para el Decenio de Acción por la Seguridad Vial 2011-2020 integrándose de esa forma al compromiso al establecer metas para la reducción y mitigación de las víctimas de accidentes de tránsito, siendo la principal el reducir en 50% el número esperado de muertos para el año 2020. (Mejoras de la Seguridad Vial de la Infraestructura de un Tramo Carretero, a partir de su Evaluación iRAP., 2015).

Como primera acción del Decenio de Acción por la Seguridad Vial 2011-2020, en México se elaboró la Estrategia Nacional de Seguridad Vial, misma que se estructura de acuerdo a los cinco pilares propuestos por la Naciones Unidas siendo de importancia para el presente trabajo el enfoque del segundo pilar: “Vías de Tránsito y Movilidad más Seguras”. Dado lo anterior, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), elaboró un convenio con el Programa Internacional de Evaluación de Carreteras (iRAP, *International Road Assessment Programme*), organización sin fines de lucro dedicada a salvar vidas buscando promover vías más seguras a través de la inspección de vías de alto riesgo, para implementar su metodología que permite obtener la Clasificación por Estrellas y Planes de Inversión.

El convenio que celebró la SCT, por medio de la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST), con iRAP se divide en dos fases:

1. El proyecto iRAP México Fase I, llevado a cabo en 2012, inspeccionó alrededor de 45,000 Kilómetros de carreteras de la Red Carretera Federal, en la cual se puede observar claramente que la mayoría del tramo cuenta con una clasificación de estrellas de 2 y 3 principalmente. Ver Figura 2.1
2. El proyecto iRAP México Fase II, del año 2013 que consistió en la inspección de 19,700 kilómetros de carreteras de la red secundaria, en la cual se observa que la mayor parte del tramo cuenta con una clasificación de 1 y 2 estrellas. Ver Figura 2.2.

En ambos proyectos se estimó el riesgo de seguridad vial que presenta la infraestructura vial del 17%, respecto al total de las carreteras nacionales, más una tercera parte de todas las vías pavimentadas en el país (Mejoras de la

Seguridad Vial de la Infraestructura de un Tramo Carretero, a partir de su Evaluación iRAP., (2015).

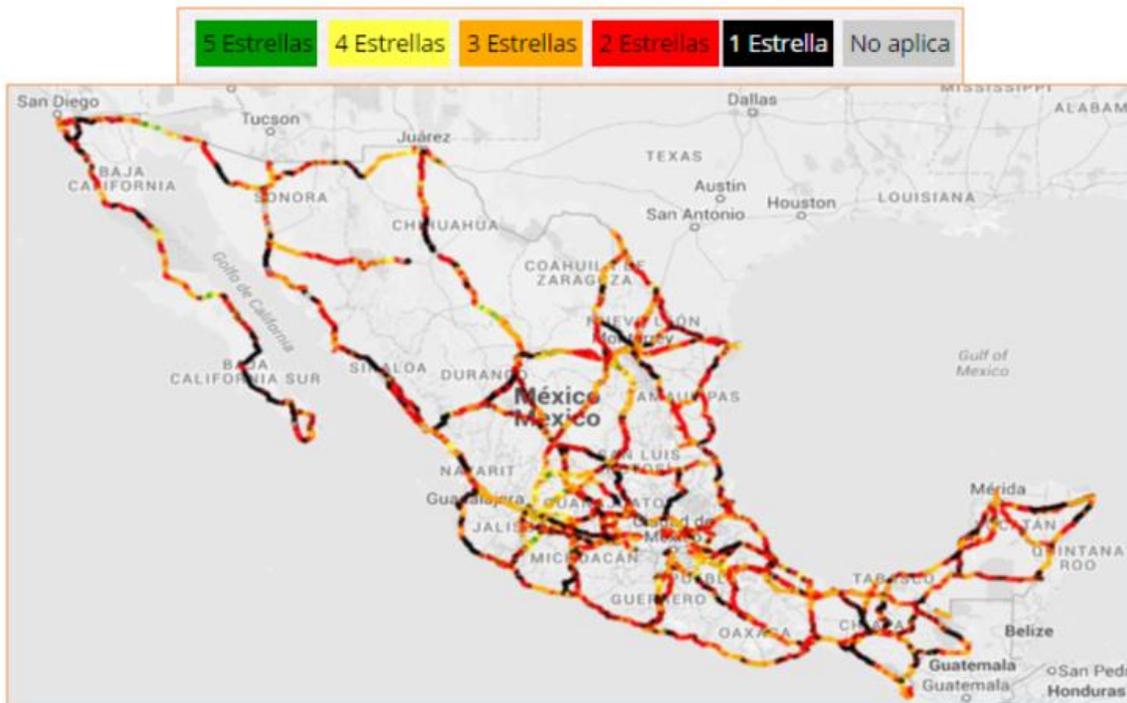


Figura 2.1: Clasificación por estrellas para usuarios de automóviles, proyecto iRAP México Fase I, 2012.

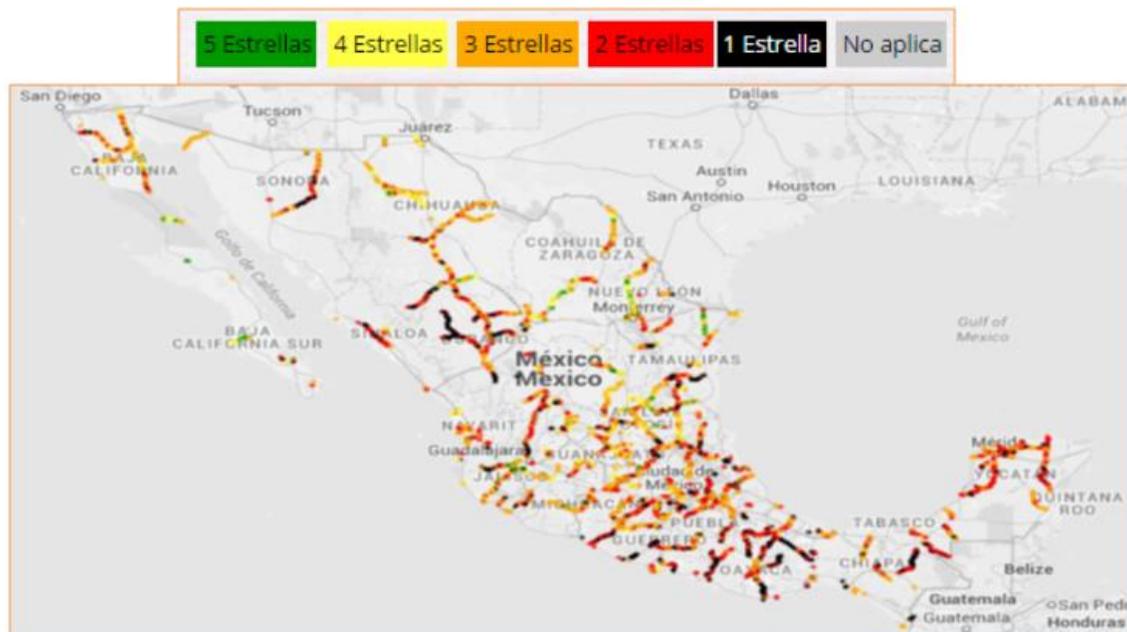


Figura 2.2: Clasificación por estrellas para usuarios de automóviles, proyecto iRAP México Fase II, 2013.

2.1 Clasificación por Estrellas

Para realizar la calificación por estrellas se debe hacer una inspección de los elementos de la infraestructura vial que se sabe tienen un impacto en la probabilidad de que ocurra una colisión y su nivel de gravedad. Se otorga entre 1 a 5 estrellas dependiendo del nivel de seguridad que posee una vía en conjunto con un código de colores que atiende dicho nivel de seguridad vial, (ver Figura 2.3) esto con la finalidad de hacerlo más representativo y fácil de visualizar en los mapas de clasificación por estrellas.

Las vías que cuentan con mayor seguridad tienen una calificación que va de 4 y 5 estrellas, tienen elementos de seguridad vial que son apropiados para la velocidad del actual del tráfico. Los elementos de la infraestructura vial en una carretera segura podrían incluir la separación del tráfico que viene en direcciones opuestas mediante barreras, una demarcación adecuada y diseño de intersecciones apropiado, carriles amplios, bordes de la carretera libres de peligros sin protección como postes y previsiones para ciclistas y peatones tales como vías y cruces diseñados especialmente para ellos.

Las vías que cuentan con una calificación de entre 1 y 2 estrellas se consideran como las menos seguras y no tienen elementos de seguridad vial que sean apropiados para la velocidad actual del tráfico. Los análisis del iRAP muestran que a menudo éstas son vías de un solo carril que registran límites de velocidad relativamente altos, con curvas e intersecciones frecuentes, carriles estrechos, demarcaciones deficientes, intersecciones ocultas y peligros laterales a las vías que no se encuentran debidamente protegidos tales como árboles, postes y terraplenes empinados cercanos al borde de la vía. Es muy probable que tampoco tengan las facilidades adecuadas para ciclistas y peatones (iRAP).



Figura 2.3: Clasificación por estrellas

2.2 Tipos de Inspecciones Viales

Cabe destacar que la calificación por estrellas se basa en una inspección visual detallada de los elementos que componen la infraestructura vial, para este procedimiento iRAP utiliza dos tipos de inspección, en donde el tipo de inspección a utilizar dependerá de la tecnología disponible, la complejidad de la red y el grado al cual se quiera desarrollar el proyecto.

- Inspección visual desde el vehículo: para realizar este tipo de inspección se requiere de personal capacitado, quien debe registrar los elementos de la infraestructura vial a medida que el vehículo se va desplazando, utilizando un dispositivo de inspección rápido (RAP). Esta inspección es de carácter técnico la cual se utiliza en situaciones donde la red vial no es demasiado compleja o toma mucho tiempo para transportar un vehículo que esté equipado para realizar inspecciones basadas en video.
- Inspección basada en video: para este tipo de inspección primero se recolectan los datos mediante un video usando un vehículo de inspección especialmente equipado (ver Figura 2.4) utilizando una serie de cámaras alineadas que registran imágenes entre 5 y 10 metros de distancia, logrando obtener una vista panorámica pues registra imágenes frontales, de lateral derecha y lateral izquierda de la vía. Para obtener lo anterior es necesario que la principal vista panorámica frontal sea calibrada y así poder realizar mediciones de los elementos clave de la infraestructura vial, el vehículo también está equipado con GPS que permite correlacionar las fotos con la ubicación real de la vía que se está analizando. Cabe destacar que el vehículo que realiza la medición puede desplazarse por la vía a la velocidad de operación de la misma. Posteriormente a la recopilación de información, un equipo de personal capacitado (calificadores) revisan la información en escritorio donde se registran todos los elementos de la vía que tienen influencia con la seguridad vial mediante un software especializado.



Figura 2.4: Vehículo equipado para la toma de imágenes por video de la red vial

2.3 Puntaje de Protección Brinda por la Vía

El puntaje de protección que brinda la vía (PPV) es un indicador que permite estimar la probabilidad de que ocurra una colisión y su gravedad basado en la evaluación de todos los datos de los elementos de la infraestructura que componen la vía. El PPV se generó a partir de un modelo de EuroRAP que evalúa la protección que ofrecen los elementos de la vía a los ocupantes del vehículo en caso de una colisión y a partir de un modelo de AusRAP que evalúa la protección ofrecida por la vía a los ocupantes de un vehículo y la probabilidad de que ocurra una colisión. También se toman en cuenta las investigaciones actuales sobre el riesgo relativo asociado con la infraestructura vial.

Otra característica muy importante del PPV es que puede predecir el número de muertos y lesionados graves que podrían ocurrir en una vía, lo cual ayuda a determinar las medidas de mejoramiento necesarias que deben aplicarse en la vía.

El PPV se estima para cuatro tipos de usuarios (automovilistas, motociclistas, ciclistas y peatones) que de manera general son los usuarios más comunes que utilizan las vías. Así pues, es posible analizar vías que pueden tener un buen PPV para automovilistas, pero muy deficiente para ciclistas o peatones, razón por lo cual es necesario considerar los cuatro tipos de usuarios.

El PPV de iRAP se basa en los principales tipos de colisiones para cada tipo de usuario, evaluando así la mayoría de las colisiones ocurridas en las vías, esto con la finalidad de aplicar la medida de mejoramiento adecuada para contrarrestar el efecto de la colisión.

Existen varios factores de riesgo que influyen en la probabilidad de que ocurra una colisión y en su gravedad. Estos incluyen factores conductuales, factores relacionados con el vehículo, factores de la infraestructura vial, entre otros. iRAP

se centra principalmente en los factores de riesgo de la infraestructura bajo el principio de que, en caso que ocurriera un accidente vial, su gravedad pueda reducirse al proveer elementos de infraestructura que protejan a los usuarios de las vías, disminuyendo la energía cinética de la colisión a un nivel tolerable para el ser humano.

2.4 Auscultación Dinámica de Señalización Horizontal y Vertical

El sistema innovador de auscultación de carreteras AMAC (*Advanced Mobile Asset Collection*) es un sistema dinámico de última generación y elevada precisión que mide la reflexión de la señalización vertical y horizontal generando al mismo tiempo un inventario completo de la misma. Evalúa de forma segura, rápida y efectiva el estado físico actual de las señales verticales contribuyendo a optimizar la conservación de la señalización vertical. Además de la reflexión y color de la señalización vertical, también mide su posición (absoluta y relativa a la vía) y dimensiones (*Advanced Mobile Asset Collection* (AMAC)).

AMAC fue desarrollado por un equipo de ingenieros, físicos, psicólogos y estadísticos por CIDAUT Technologies, una asociación entre los Estados Unidos DBI Servicios y Fundación CIDAUT de España.



Figura 2.5 Vehículo equipado para la toma de imágenes por video de la red vial

La tecnología empleada permite inspeccionar las señales a la velocidad del tráfico sin provocar interrupciones en el mismo y proporciona información básica para la optimización del mantenimiento de la señalización (reflexión, tamaño, posición, altura). Los objetivos últimos del sistema son asegurar los niveles de visibilidad adecuados de la señalización contribuyendo, al mismo tiempo, a optimizar las políticas de reemplazo y mantenimiento de la señalización.

Las ventajas de esta tecnología frente a los métodos clásicos (medida con reflectómetros manuales, inspecciones subjetivas o reemplazo en función de la garantía) son múltiples. En primer lugar, se evita la presencia de personal en la calzada realizando mediciones con el aumento de la seguridad que esto implica. También se consigue la medida de las señales y tableros sin necesidad de cortar el tráfico en el carril correspondiente. Además, en el caso de longitudes importantes se minimiza el tiempo de inspección. Permite aportar información individualizada sobre el estado de cada señal, con lo cual se puede maximizar la vida útil de la misma. De esta forma es posible abordar el reemplazo de una señal sólo cuándo es necesario.

Esta tecnología se adapta a la normativa vigente del país donde se realiza la inspección, para este caso en particular se toma como base la normativa vigente para determinar el estado de la señalización con base en los niveles mínimos de reflexión y color requeridos en la NOM -034-SCT2-2011.

3 Recopilación y Análisis de la Información

En esta parte se expondrá la información necesaria para llevar a cabo el proyecto.

3.1 Mapas de Clasificación por Estrellas

En las Figuras 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 se presenta la clasificación por estrellas para cada uno de los usuarios de la vía, respectivamente, para la carretera MEX-200 en el tramo Manzanillo-Melaque, que tiene una longitud de 42.10 km.

En la Figura 3.1 se puede observar la clasificación por estrellas que brinda la vía para ocupantes de vehículos en donde muestra que, solo el 19% tienen 5 y 4 estrellas, el 66% para 3 y 2 estrellas y el 15% para una estrella. Los resultados anteriores indican, de manera general, que la infraestructura carretera muestra un alto grado de inseguridad para ocupantes de vehículos.

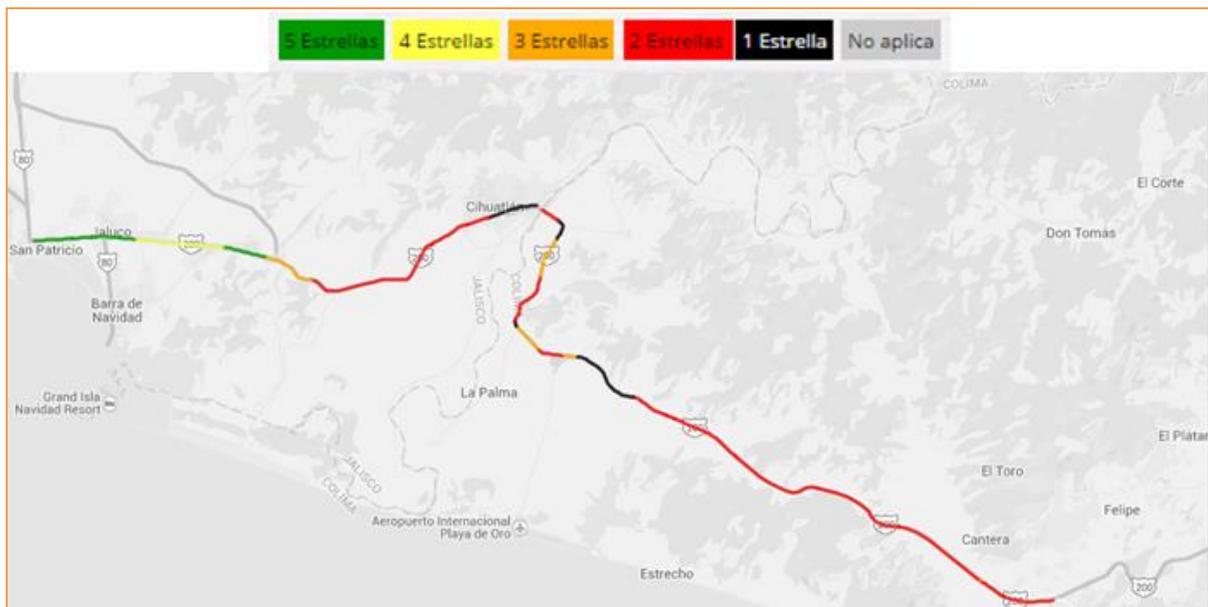


Figura 3.1: Clasificación por estrellas para ocupantes de vehículos de la carretera MEX-200 en el tramo Manzanillo-Melaque

Fuente: Elaboración propia con (Software VIDA de International Road Assessment Programme).

En la Figura 3.2 se muestra la clasificación por estrellas para ocupantes de motocicletas en la carretera MEX-200 en el tramo Manzanillo-Melaque, para la cual se puede observar que solo el 18% cuentan con clasificación de 5 y 4 estrellas, el 56% para clasificación de 3 y 2 estrellas y 26% para una estrella, estos porcentajes indican que la infraestructura de la vía cuenta con un nivel de seguridad muy bajo para ocupantes de motocicletas.

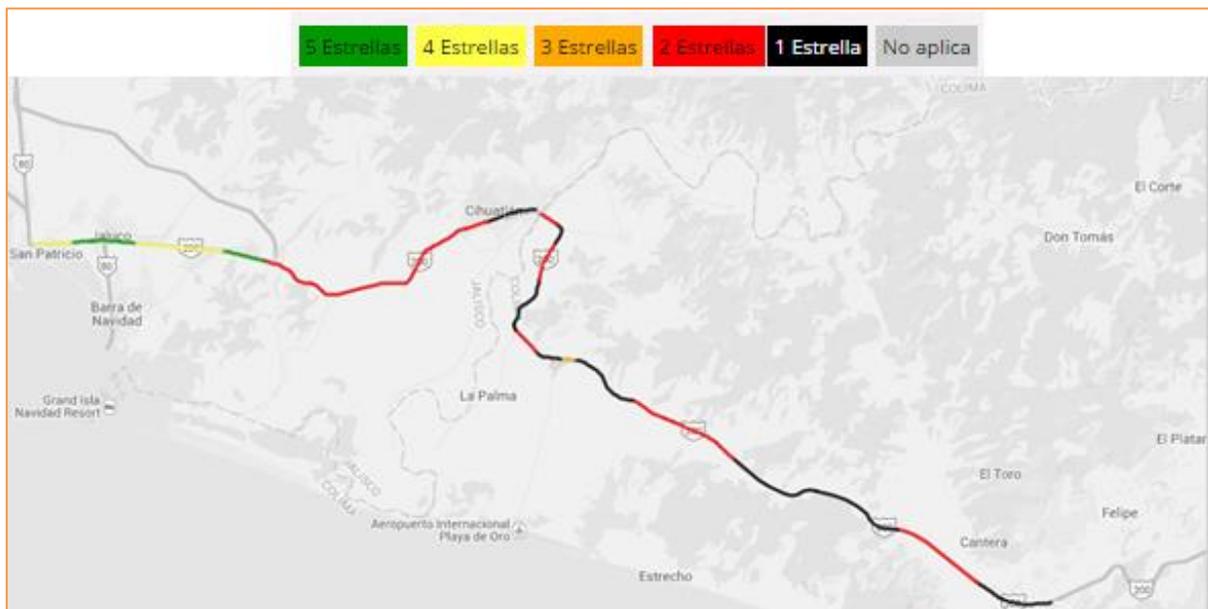


Figura 3.2: Clasificación por estrellas para ocupantes de motocicletas, en la carretera MEX-200 en el tramo Manzanillo-Melaque

Fuente: elaboración propia con (Software VIDA de International Road Assessment Programme)

En la Figura 3.3 se observa la clasificación por estrellas para ciclistas de la carretera MEX-200 en el tramo Manzanillo-Melaque, cabe destacar que en el 55% de la longitud de la vía no se registró presencia de ciclistas, el 11% cuenta con una clasificación de 5 y 4 estrellas, el 26% cuenta con 3 y 2 estrellas y el 8% con una estrella, revelando que la infraestructura de la vía cuenta con un nivel de riesgo muy alto para ciclistas.

En la Figura 3.4 se observa la clasificación por estrellas para peatones en la carretera MEX-200 en el tramo Manzanillo-Melaque, la cual muestra el 9% para 5 y 4 estrellas, 21% para 3 y 2 estrellas, no se registró presencia de peatones en un 62% de la longitud del tramo, estos datos indican que se requiere mejorar la infraestructura del tramo para brindar mejor protección a los peatones que son los usuarios más vulnerables en la vía.

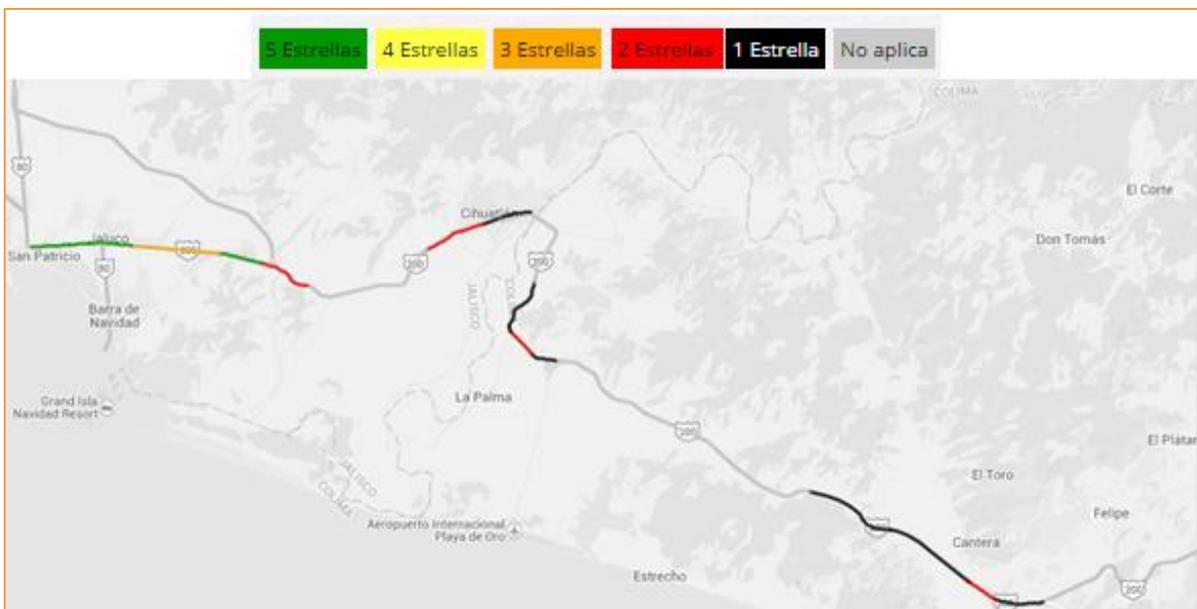


Figura 3.3: Clasificación por estrellas para ciclistas, en la carretera MEX-200 en el tramo Manzanillo-Melaque

Fuente: Elaboración propia con (Software VIDA de International Road Assessment Programme).

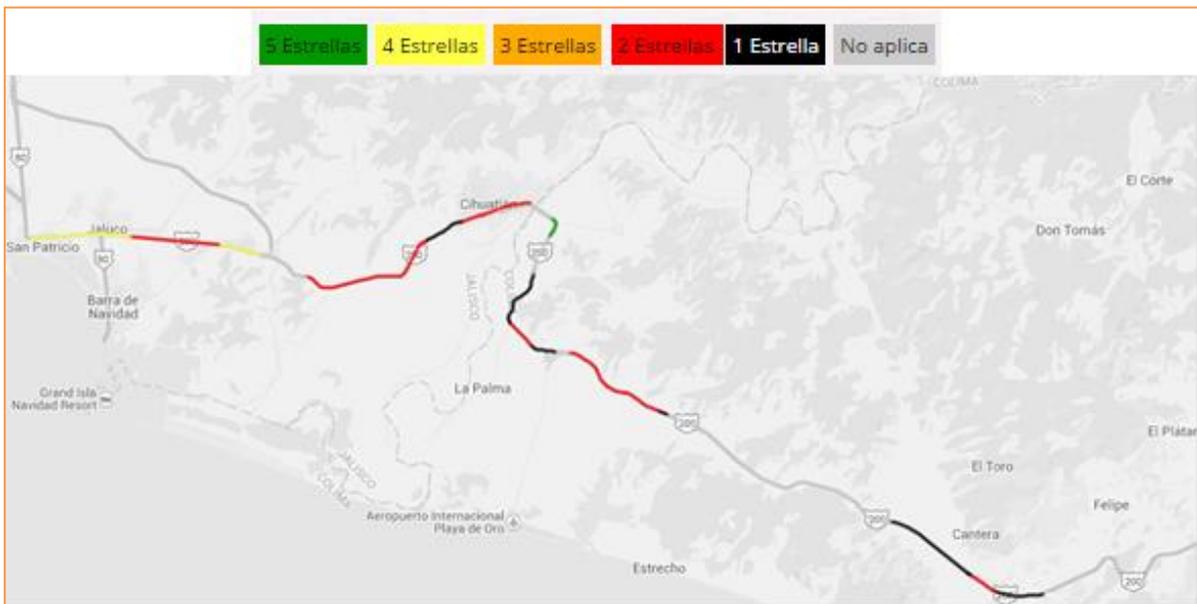


Figura 3.4: Clasificación por estrellas para peatones, en la carretera MEX-200 en el tramo Manzanillo-Melaque

Fuente: Elaboración propia con (Software VIDA de International Road Assessment Programme).

Para analizar y comprender los resultados de la clasificación por estrellas para la carretera MEX-200 en el tramo Manzanillo-Melaque, la Tabla 3.1 muestra un resumen de la clasificación por cada tipo de usuario, así como sus longitudes y porcentajes de la clasificación misma.

Tabla 3.1: Resultados de la clasificación por estrellas para la carretera MEX-200 en el tramo Manzanillo-Melaque

Clasificación por estrellas	Ocupantes de vehículo		Motocicletas		Ciclistas		Peatones	
	Longitud (km)	Porcentaje (%)	Longitud (km)	Porcentaje (%)	Longitud (km)	Porcentaje (%)	Longitud (km)	Porcentaje (%)
5	4.80	11	4.20	10	4.10	10	0.10	0
4	3.20	8	3.30	8	0.50	1	3.60	9
3	11.40	27	4.80	11	2.60	6	1.20	3
2	16.40	39	19.00	45	8.30	20	7.20	17
1	6.30	15	10.80	26	3.50	8	3.80	9
NA	0.00	0	0.00	0	23.10	55	26.20	62
Total	42.10	100	42.10	100	42.10	100	42.10	100

Fuente: elaboración propia de base de datos (Software VIDA de International Road Assessment Programme).

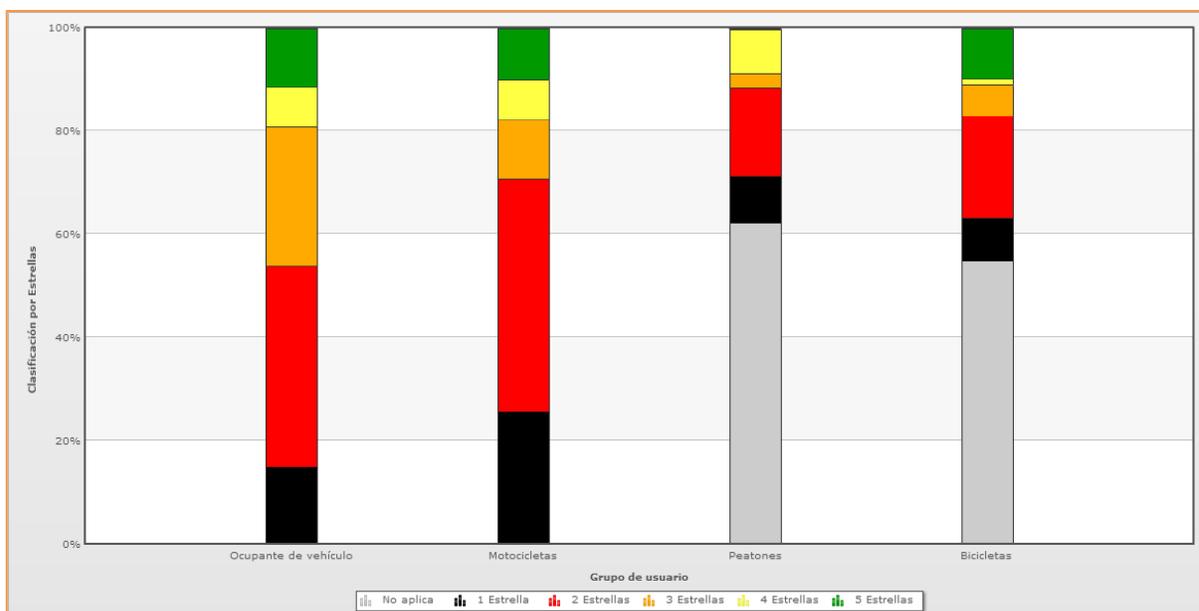


Figura 3.5: Gráfica de resultados de la clasificación por estrellas del tramo, Manzanillo-Melaque

Fuente: Elaboración propia con (*Software VIDA de International Road Assessment Programme*).

3.2 Plan de Inversión para Vías más Seguras

iRAP desarrolló cuatro protocolos que se usan de manera consistente en todo el mundo para evaluar y mejorar la seguridad de las vías:

- I. Mapas de riesgo.
- II. Clasificación por estrellas.
- III. Rastreo del desempeño.
- IV. Plan de inversión para vías más seguras.

El cuarto protocolo corresponde al Plan de Inversión para Vías más Seguras (PIVMS) basado en la calificación por estrellas para identificar e implementar medidas de mejoramiento que proporcionen mayor seguridad a los usuarios de las vías para incrementar la clasificación por estrellas, tomando en cuenta la relación costo-beneficio. Estos planes están basados en un análisis económico de todo un conjunto de medidas de mejoramiento establecidas por iRAP, dentro del cual se compara el costo de la implementación de las mismas, así como los ahorros en costos de accidentes que resultarían con su implementación (Planes de Inversión Para Vías más Seguras).

Los Planes de Inversión para Vías Más Seguras implican:

- Considerar las condiciones existentes de la vía.
- Estimar el número de muertes y lesiones graves que ocurren.
- Aplicar las medidas preventivas de ingeniería que han sido aprobadas.

Los planes consideran las condiciones actuales de la vía para posteriormente estimar el número de Muertos y Lesionados Graves (MLGs) que ocurren a raíz de estas condiciones iniciales; dicho resultado se obtiene a través del número de muertes y lesiones reportados en la red vial, así como con los porcentajes reportados de muertes de ocupantes de vehículos, motociclistas, ciclistas y peatones. A su vez, estas estimaciones están vinculadas directamente al volumen de tráfico vehicular y a la actividad de peatones y ciclistas, por lo que dichos datos se incluyen como información sin procesar y son recolectados durante las inspecciones de iRAP.

Una vez realizadas estas estimaciones, se analiza el potencial de reducción de muertes y lesiones graves a través de la aplicación de medidas de ingeniería de seguridad. Para esto, iRAP ha propuesto aproximadamente 90 medidas de mejoramiento en la infraestructura vial que han resultado efectivas para disminuir el riesgo. La Tabla 3.2 presenta las medidas de mejoramiento propuestas para el tramo en estudio. Para cada medida, se ha definido una serie de “gatilladores” (o prerequisites), los cuales deben cumplirse antes de que dicha medida se considere adecuada y generalmente están en función de la clasificación por estrellas, la condición de la vía y el volumen de tránsito. El modelo del iRAP incluye más de 300 gatilladores diferentes, además de estos indicadores, el modelo emplea una serie de reglas de aplicación, las cuales buscan garantizar que las recomendaciones se encuentren alineadas con prácticas de ingeniería. Por último, las medidas están sujetas a una jerarquía, siendo la medida más completa, la que tiene prioridad sobre todas las demás. Lo anterior, garantiza que no se produzca duplicación de tratamientos que tendrían un impacto sobre el mismo elemento vial.

Una vez seleccionadas las medidas de mejoramiento más adecuadas a las necesidades del proyecto, se estiman los MLGs prevenidos bajo la suposición de que dichas medidas hayan sido implementadas, comparándolos con el estimado original de víctimas. La siguiente fase del análisis es determinar el valor económico de las medidas y garantizar que generen beneficios que excedan sus costos. La Tablas 3.3 presenta la relación beneficio – costo para cada medida de mejoramiento propuesta para el tramo en estudio y la Tabla 3.4 presenta la relación beneficio – costo del total de las medidas implementadas (Mejoras de la seguridad vial de la infraestructura de un tramo carretero, a partir de su evaluación iRAP, 2015).

Tabla 3.2: Medidas de mejoramiento propuestas para la carretera MEX-200 tramo Manzanillo-Melaque

N° de Medida	Medida de mejoramiento	Longitud /Sitio
1	Colocación de barrera de orilla de corona del lado del conductor.	10.5 km
2	Implementación de barrera central en carreteras de un carril por sentido.	5.90 km
3	Bandas de alerta en acotamiento.	30.20 km
4	Colocación de barrera de orilla de acotamiento del lado del copiloto.	4.70 km
5	Eliminación de peligros (árboles, postes, estructuras) del lado del copiloto.	9.20 km
6	Eliminación de peligros (árboles, postes, estructuras) del lado del conductor.	6.00 km
7	Habilitación del tercer carril de ascenso, más barrera.	0.20 km
8	Alumbrado en intersección.	9 sitios
9	Mejorar delineación (señalamiento horizontal y vertical)	0.60 km
10	Construcción de acotamiento del lado del conductor (> 1m)	1.10 km
11	Pavimentación del acotamiento del lado del conductor mayor a 1 m.	0.70 km
12	Banda de estruendo/indicadores de alineamiento flexible en faja separadora.	0.10 km
13	Pavimentación del acotamiento del lado del copiloto hasta 1 m	0.20 km

Fuente: Elaboración propia con base en la información de iRAP-México Fase I

Tabla 3.3: Costos y beneficios para la carretera MEX-200 tramo Manzanillo-Melaque

N° de medida	MLGs salvados por periodo de análisis	Valor presente del beneficio en seguridad (USD)	Costo estimado por periodo de análisis (USD)	Costo por MLG salvado (USD)	Relación B/C
1	85	94,852,126	21,702,803	256,485	4
2	57	64,308,040	10,711,507	186,715	6
3	47	52,959,958	2,120,902	44,892	25
4	39	44,052,790	9,595,601	244,170	5
5	25	28,069,052	1,172,880	46,840	24
6	19	20,803,963	894,240	48,184	23
7	5	5,337,176	2,124,000	446,105	3
8	5	5,336,457	397,503	83,499	13
9	3	3,266,016	69,114	23,722	47
10	3	3,787,097	645,000	190,918	6
11	2	2,677,546	806,250	337,541	3
12	0	160,794	53,540	373,252	3
13	0	339,815	120,000	395,851	3

Fuente: Elaboración propia con base en la información de iRAP-México Fase I

Tabla 3.4: Total de Costos y beneficios para la carretera MEX-200 tramo Manzanillo-Melaque

Total de MLGs salvados por periodo de análisis	Valor presente total de los beneficios de seguridad (USD)	Total del Costo estimado por periodo de análisis (USD)	Total del Costo por MLG salvados (USD)	Relación B/C del programa
291	325,950,829	50,413,341	173,375	6

Fuente: Elaboración propia con base en la información de iRAP-México Fase I

Tabla 3.5: Tramos de la carretera MEX-200 Manzanillo-Melaque

N° de tramo	Entidad	Nombre	Km Inicial	Km Final	Long (km)
1	COL	T. Lib. Manzanillo Cuota – Lim. Edos. Col/Jal.	18+700.00	43+240.00	24,540
2	JAL	Lim. Edos. Col/Jal – T. Barra de Navidad	43+500.00	58+720.00	15,220

Fuente: Elaboración propia con base en la información de iRAP-México Fase I.

Tabla 3.6: Costos y Beneficios por tramo de la carretera MEX-200 tramo Manzanillo-Melaque

N° de tramo	MLGs salvados por periodo de análisis	Valor presente del beneficio en seguridad (USD)	Costo estimado por periodo de análisis (USD)	Costo por MLG salvado (USD)	Relación B/C
1	160	179,261,920	28,628,484	179,021	6
2	131	146,688,909	21,784,856	166,476	7

Fuente: Elaboración propia con base en la información de iRAP-México Fase I

El tramo en estudio se divide en dos sub-tramos, esto con la finalidad de realizar un análisis más detallado (Ver Tabla 3.5), se agruparon los costos y beneficios para identificar aquél que requeriría una mayor inversión, así como el que generaría mayores beneficios de acuerdo al modelo iRAP (Ver Tabla 3.6).

En la Tabla 3.6 se puede observar que el tramo 1 es el que requiere una inversión mayor y éste corresponde al estado de Colima; sin embargo, el tramo 2, correspondiente al estado de Jalisco, presenta una mayor relación beneficio-costos.

Posteriormente al análisis se presenta una breve descripción de cada una de las medidas de mejoramiento recomendadas por la metodología iRAP para el tramo en estudio. Dicha descripción fue obtenida a través de portal de iRAP dedicado a proveer información sobre las causas y la prevención de accidentes de tránsito. (toolkit.irap.org) y (Mejoras de Seguridad Vial de la Infraestructura del tramo carretero Querétaro-San Luis Potosí, a partir de su evaluación iRAP., 2015).

3.2.1 Medidas de mejoramiento

3.2.1.1 Señalamiento Horizontal y Vertical

El señalamiento ayuda a los conductores a juzgar su posición en la vía y los orientan sobre las condiciones que se aproximan. Estas medidas son particularmente útiles en casos donde la visibilidad es deficiente. Existen muchos tratamientos para la delineación de la vía y estos deben usarse de manera consistente a lo largo de la misma. Algunos ejemplos de tratamientos de delineación incluyen las demarcaciones pintadas sobre el pavimento, las cuales separan los sentidos de circulación, así como limitan el borde de la vía, evitando así que los conductores se confundan y desvíen su trayecto ocasionando la salida de su carril o inclusive del camino. A su vez, los postes indicadores ayudan al usuario a mostrar el alineamiento de la vía más adelante, especialmente en curvas verticales y horizontales. Estos no deberían constituir un peligro al costado de la vía y deberían estar hechos de material ligero, frágil y durable. Por último, el señalamiento vertical sirve para advertir a los conductores de la naturaleza de un peligro que se aproxima, incluyendo los límites de velocidad sugeridos para circular por zonas peligrosas.

- a) Beneficios: Reduce los choques frontales y salidas de la vía. Reduce el deterioro del pavimento del acotamiento causado por vehículos.
- b) Recomendaciones: El exceso de señales podría confundir a los conductores. El señalamiento tiene que ser consistente en toda una vía o red vial. Es importante considerar el uso de señales reflectoras para la operación del tránsito durante la noche y en condiciones húmedas.

El costo por implementar esta medida de mejoramiento es bajo con una duración de 1 a 5 años y su efectividad va de 10 al 25%.



Figura 3.6: Señalamiento horizontal y vertical

3.2.1.2 Señalamiento en Intersecciones

Es necesario que las intersecciones estén delineadas de manera clara para informar a los usuarios que hay una intersección y para proveer información sobre los tipos de maniobras que pueden ejecutarse en ella. De esta manera, se evita que los usuarios choquen contra otros vehículos o usuarios de las vías, a menudo a alta velocidad. Una delineación inadecuada podría ocasionar que los usuarios de las vías frenen a destiempo cuando desean detenerse o cuando desean realizar un giro. Las deficiencias en la demarcación se pueden remediar de manera fácil y a bajo costo, también se pueden colocar señales anticipadas de advertencia a los conductores sobre la proximidad de la intersección. Adicionalmente, se debe considerar mejorar o implementar la instalación de alumbrado público en esos lugares.

- a) Beneficios: Reduce los choques en intersecciones. Reduce la velocidad. Las islas medianeras pueden funcionar como una isla de refugio para los peatones que cruzan la vía, lo que reduce la posibilidad de colisiones de los peatones y de los vehículos.
- b) Recomendaciones: Se debe eliminar completamente la delineación anterior. Se deben colocar señalamiento de advertencia a suficiente distancia para asegurar que los automovilistas tengan tiempo de tomar la decisión correcta.

Esta medida de mejoramiento se considera de bajo costo con una duración que va de 1 a 5 años y una efectividad de 10 a 25%.



Figura 3.7: Señalamiento en intersecciones

3.2.1.3 Reflexión en el señalamiento

Las películas reflejantes son aquellas películas plásticas flexibles y autoadheribles que tienen la capacidad de reflexión, es decir, la propiedad de reflejar la luz que incide sobre ellas predominantemente en dirección a la fuente luminosa, se utiliza en las vialidades como parte integral del señalamiento vertical, así como en algunos elementos del señalamiento horizontal.

La reflexión se produce por partículas que forman parte integral de la película, normalmente son micro esferas de vidrio o micro prismas de policarbonato no metalizado.

- a) Beneficios: una reflectividad adecuada en la señalización de una carretera aumenta el nivel de seguridad y la comodidad de conducción en la misma, además de minimizar la fatiga y el cansancio del conductor.
- b) Recomendaciones: es importante que las señales estén colocadas de forma adecuada y no estén cubiertas por vegetación u otros obstáculos que puedan afectar su reflectividad.

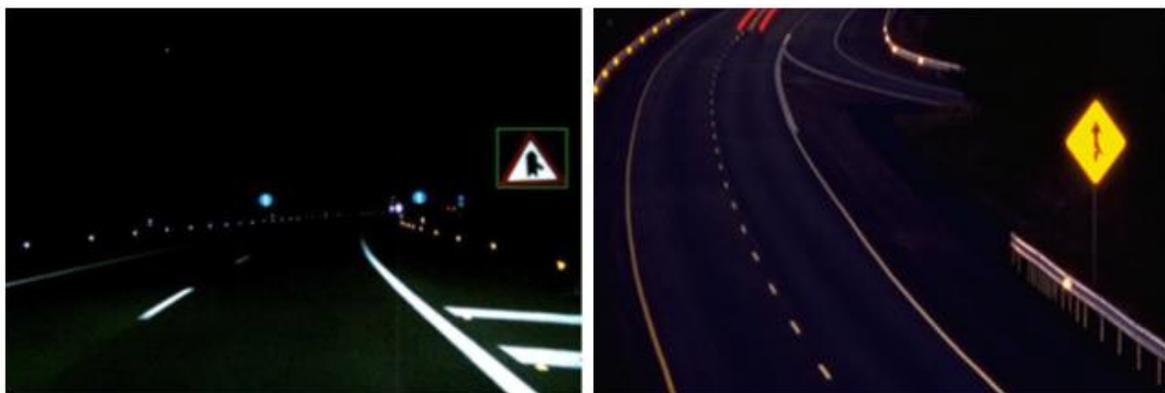


Figura 3.8: Reflectividad en señalización de carreteras

3.2.1.4 Advertencia en zona escolar

Las zonas escolares son áreas en los alrededores de las escuelas y otros establecimientos educativos donde es probable que haya presencia de un número importante de escolares y peatones jóvenes. Las zonas escolares con frecuencia incorporarán límites de velocidad reducidos para ciertas horas del día. Es deseable que las zonas escolares tengan señales de tránsito (que a menudo incorporan luces destellantes para hacerlas más llamativas) y demarcaciones apropiadas para que los automovilistas sean alertados de la presencia de usuarios vulnerables.

- a) Beneficios: Reducen el riesgo para los peatones. Reducen las velocidades de operación por lo que disminuye la severidad de las lesiones.
- b) Recomendaciones: Las señales de tránsito y las demarcaciones en las vías deben ser lo suficientemente claras como para que los automovilistas sepan que han ingresado a una zona escolar. Las horas de operación y cualquier cambio en el límite de velocidad deben estar claramente señalizados. Se debe considerar cuidadosamente la provisión de estacionamientos dentro de las zonas escolares con distancias de visibilidad adecuadas en los cruces peatonales.

Esta medida de mejoramiento se considera que tiene un costo de bajo a medio con una duración de 5 a 10 años y una efectividad de 10 a 25%.



Figura 3.9: Señalización de zona escolar

3.2.1.5 Alumbrado público

Una luminaria es una fuente de luz elevada que suele montarse en una columna o poste ya sea en el lado de la vía o en la faja separadora central, o suspendida en un cable por encima de la vía para proporcionar iluminación. Las luces en la mitad del tramo carretero permite ver determinadas características de la vía, como el alineamiento, los bordes, veredas, mobiliario urbano, estado de la superficie, así como otros usuarios de la carretera y objetos que pueden afectar el tráfico vehicular y peatonal, las áreas que se benefician con la instalación de alumbrado

en la mitad de la cuadra incluyen a las vías de acceso, carriles de divergencia y lugares con altos niveles de iluminación de fondo o gran volumen de tráfico nocturno. El alumbrado público en las intersecciones puede reducir las colisiones nocturnas al hacer visible las características de la intersección tanto para el tráfico vehicular como peatonal, también ayuda en la conducción y facilita que los conductores vean la vía transversal, el tráfico contrario, las colas de tráfico y a otros usuarios de la vía. Siempre se debe procurar que haya iluminación en las intersecciones señalizadas. Se recomienda al menos una luminaria en cada una de las vías del cruce para ayudar a que el tráfico proveniente de las vías secundarias identifique la intersección. La provisión de alumbrado público en los cruces peatonales ayudará a que tanto el cruce como los peatones que lo usan sean visibles para los automovilistas que se aproximan al cruce; también permite que los peatones localicen puntos de cruce seguros y detecten potenciales peligros nocturnos. Este tratamiento ha demostrado que disminuye el número de colisiones peatonales y también puede ayudar a disuadir la delincuencia en las calles.

- a) Beneficios: Reduce las colisiones nocturnas al mejorar la visibilidad. Reduce aproximadamente 50% de las colisiones peatonales. Ayudan a la conducción. Mejora la sensación de seguridad de las personas y reduce la delincuencia. Puede minimizar el resplandor de los faros de los vehículos.
- b) Recomendaciones: Los postes pueden constituir un obstáculo peligroso al lado de la vía, por lo que se podrán proteger con barreras de seguridad. Asegurar el espaciamiento adecuado entre los postes de luz para evitar que haya tramos sin iluminar. Se podrían considerar paneles solares como una fuente alternativa de energía.

Esta medida de mejoramiento se considera que tiene un costo medio con una duración de 10 a 20 años y su efectividad va de 10 al 25%.



Figura 3.10: Alumbrado público en carreteras e intersecciones

3.2.1.6 Bandas de alerta en acotamiento

Se forman comúnmente haciendo ranuras o acanalados en la superficie del pavimento. Éstas se utilizan para delinear el borde de las vías, justo en el límite

donde comienza el acotamiento. Además de brindar delineación visual, las bandas alertadoras también pueden ser escuchadas y sentidas por los conductores, ya que se produce un ruido y una vibración, indicándole al conductor distraído o somnoliento que su vehículo se está empezando a salir de la vía. Las bandas alertadoras longitudinales tienen el beneficio importante de permanecer visibles incluso cuando la superficie de rodado está húmeda y es difícil ver las demarcaciones en el borde.

- a) Beneficios: Reducen los choques frontales y las salidas del camino. Mejoran la visibilidad de las demarcaciones del acotamiento. Reducen los accidentes cuya causa es la fatiga del conductor. Advierten anticipadamente de un peligro.
- b) Recomendaciones: Pueden resultar peligrosas para los ciclistas y los motociclistas. Deberán permitir el drenaje de la superficie de la vía. No deberán utilizarse cerca de zonas urbanas debido al ruido que ocasionan. Preferentemente el acotamiento deberá ser mínimo de 1 metro de ancho.

El costo por la implementación de esta medida de mejoramiento se considera bajo y su duración va de 1 a 5 años con una efectividad de 10 a 25%.



Figura 3.11: Bandas de alerta en acotamientos

3.2.1.7 Implementación de barrera central

Las barreras en la faja separadora central dividen físicamente los flujos que vienen en sentido contrario y ayudan a detener vehículos que viajan en los carriles de sentido contrario. A menudo se utilizan en vías multicarril donde se pueden utilizar para evitar que los peatones crucen la vía en lugares poco seguros. También se pueden ser útiles para limitar las opciones de giro para vehículos y desviar estos movimientos a lugares más seguros. Este tipo de barreras se pueden fabricar de una variedad de materiales incluyendo concreto, acero y cables. Las decisiones sobre el tipo de barrera en la faja separadora central deben basarse en diversos factores, incluyendo el volumen del tránsito, la velocidad, el parque vehicular, ancho de la faja separadora central, número de carriles, alineamiento de la vía, estadística de accidentalidad, costos de instalación y mantenimiento.

- a) Beneficios: Reduce las colisiones frontales. Desvía los movimientos de retorno o giro a lugares más seguros.
- b) Recomendaciones: Los extremos de las barreras deberán estar bien diseñados a fin de que no constituyan un riesgo para la seguridad de los usuarios. Deberán contar con reflejantes en sus costados.

Esta medida de mejoramiento se considera que tiene un costo que va de medio a alto y su duración es de 10 a 20 años con una efectividad del 60% o más.



Figura 3.12: Barrera central en carreteras

3.2.1.8 Implementación de barrera lateral

Se usan barreras de seguridad para evitar que los vehículos fuera de control salgan de la vía y se impacten contra obstáculos peligrosos que se encuentran instalados a los costados de la vía, o se vuelquen por un cambio de pendiente. Están diseñadas para absorber la fuerza del impacto de manera que minimicen las lesiones. Las barreras flexibles generalmente se hacen con cables que se tienden entre postes removibles, éstas son la mejor opción para minimizar lesiones. Las barreras semirrígidas suelen hacerse con vigas de acero, éstas tienen menos deflexión que las barreras flexibles, por lo que se pueden colocar más cerca del peligro cuando el espacio es limitado. Por último, las barreras rígidas con frecuencia se hacen de concreto y no tienen deflexión, éstas deberán ser usadas sólo cuando no debe haber deflexión por una barrera semirrígida o flexible.

- a) Beneficios: Minimiza la gravedad de la lesión resultante del impacto contra algún objeto fijo fuera de la vía.
- b) Recomendaciones: Sólo se deberán utilizar cuando el peligro lateral existente no pueda ser eliminado. Se deberán diseñar terminales de las barreras de manera adecuada y que no constituyan un riesgo para los usuarios. Los daños menores en las barreras pueden reducir sus beneficios si no se instalan o reparan debidamente. Algunas barreras pueden constituir un peligro para motociclistas.

Se considera que esta medida de mejoramiento tiene un costo medio y su duración va de 10 a 20 años con una efectividad del 40 a 60%.



Figura 3.13: Barrera lateral en carreteras

3.2.1.9 Control de velocidad

Las técnicas de control de velocidad tienen el propósito de persuadir a los conductores para que adopten límites de velocidad seguros, estas técnicas incluyen acciones de cumplimiento por parte de la policía, educación del conductor, límites de velocidad y tratamientos de ingeniería. Dentro de los tratamientos de ingeniería que pueden ser aplicados a la infraestructura se encuentran los reductores de velocidad o plataformas elevadas, las cuales son estructuras elevadas de bajo perfil en la vía para calmar la velocidad de los vehículos, especialmente en áreas urbanas y en lugares donde podría haber presencia de peatones. A su vez, existe la implementación de rayas logarítmicas, las cuales son demarcaciones transversales sobre el pavimento que advierten a los conductores que van excedidos en su velocidad. Los cambios de paisaje también indican que se está cruzando un umbral.

- a) Beneficios: Reduce la gravedad de todo tipo de colisiones, así como la probabilidad de ocurrencia de accidentes de tránsito.
- b) Recomendaciones: La velocidad de operación y el límite de velocidad establecido deberán ser tomados en cuenta al momento de elegir la solución más apropiada. Algunos tipos de tratamientos pueden actuar como peligros al costado de la vía.

Esta medida de mejoramiento se considera que tiene un costo medio con una duración que va de 5 a 10 años y una efectividad del 25 al 40%.



Figura 3.14: Reductores de velocidad

3.3 Accidentalidad de la Zona

Una forma clara para poder identificar la problemática de seguridad vial en una carretera es conociendo su accidentalidad, partiendo de esta premisa se pueden buscar las soluciones más óptimas para mejorar la seguridad de sus usuarios. Esta información se puede obtener de la base de datos de accidentes del Instituto Mexicano del Transporte (Anuario estadístico de accidentes en carreteras federales) que se publican cada año. Para este caso de estudio en particular se tomó el análisis de cinco años que fueron del 2010 al 2014.

El análisis se muestra en la Tabla 3.7 donde la primera columna presenta los años que se consideraron para el análisis, en la segunda columna se observa el tránsito diario promedio anual del tramo en estudio (Datos Viales 2010 – 2014, Dirección General de Servicios Técnicos, DGST) de ésta se obtuvo un promedio ponderado por año del tránsito diario promedio anual del tramo en estudio, en la columna tres se muestran los accidentes por cada año, en los cuales se puede observar que para el año 2011 se tuvo un pequeño aumento pero a partir de éste se observa un comportamiento estable que decrece para el año 2014, en la cuarta columna se tiene el número de muertos por cada año analizado. Cabe destacar que los muertos que se registran son únicamente los que perecen en el lugar del accidente, es decir que no existe un seguimiento para poder obtener el número real de muertos ocasionado por los accidentes ya que por el efecto de los mismos muchas personas mueren en los hospitales o camino a ellos, también se puede apreciar en esta columna que el año 2011 fue el que tuvo la mayor cantidad de muertos; sin embargo, han decrecido para el año 2014 donde se registraron cero muertes. En la quinta columna se muestran los lesionados por cada año donde, al igual que en las columnas anteriores, en el año 2011 fue donde se registró el mayor número, con una tendencia decreciente para el 2014. En la sexta columna se tienen los daños materiales en miles de dólares (USD) por año que son los daños económicos causados por los accidentes, observando que en los años 2011 y 2013 se obtuvo un mayor costo, el cual disminuyó notablemente para el año 2014. La última columna de la tabla representa la cantidad de accidentes por kilómetro de cada año los cuales se obtienen dividiendo la longitud del tramo entre

la cantidad de accidentes registrados en el mismo y los resultados muestran un promedio de los accidentes por cada kilómetro del tramo.

Tabla 3.7: Evolución histórica del TDPA e índice de accidentalidad de la carretera MEX-200 en el tramo Manzanillo-Melaque

Año	Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA)	Accidentes	Muertos	Lesionados	Daños Materiales (miles de USD)	Accidentes por Kilometro
2010	8,161	26	1	28	43.58	0.65
2011	9,539	29	9	38	83.08	0.72
2012	9,981	20	2	29	48.38	0.50
2013	10,159	21	5	28	52.84	0.52
2014	10,373	15	0	15	35.16	0.37
	TOTAL	111	17	138	263.04	2.76

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.15 se puede observar el comportamiento de los accidentes durante los cinco años para los cuales se realizó el análisis y donde se tiene que el año más crítico fue el 2011, el cuál registró la mayor cantidad de accidentes lo que se ha ido normalizando y tendiendo a decrecer hasta el año 2014, que es donde se registra la mínima cantidad de accidentes de los cinco años analizados del tramo en estudio.

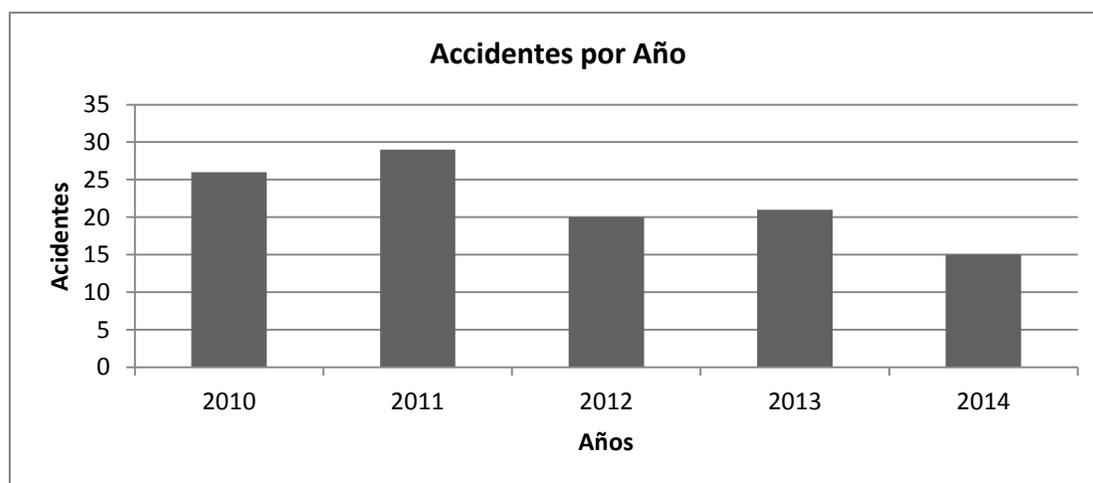


Figura 3.15: Índice de accidentalidad en la carretera MEX-200 tramo Manzanillo-Melaque

Fuente: Elaboración propia

La Figura 3.16 es la representación gráfica de los lesionados por año en donde se observa que en el año 2011 se tuvo la mayor cantidad de lesionados los cuales

tienen un decremento notable para el año 2014 el cual presenta la menor cantidad de lesiones de los cinco años analizados.

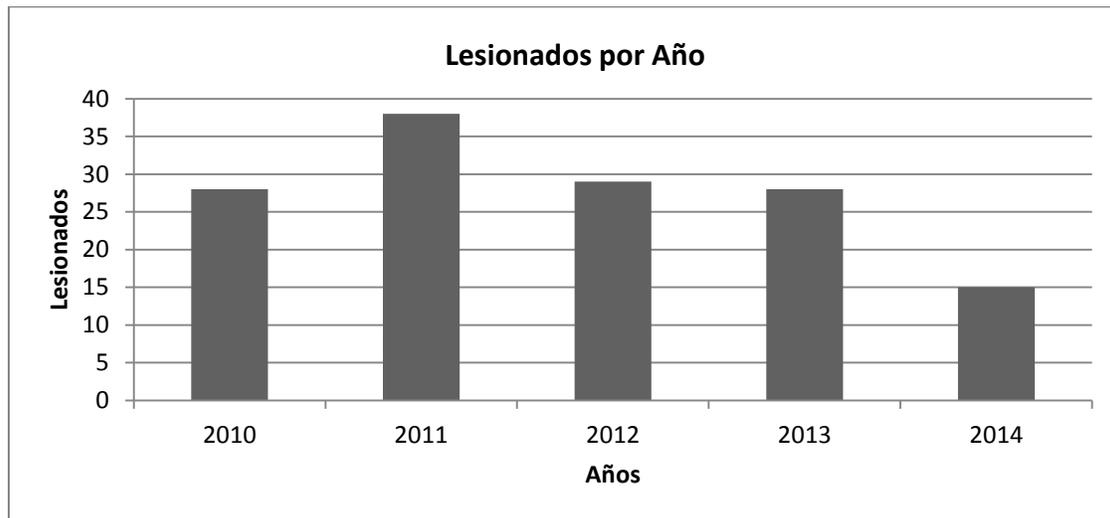


Figura 3.16: Índice de lesionados en la carretera MEX-200 tramo Manzanillo-Melaque

Fuente: Elaboración propia

La cantidad de muertes por año en una carretera es un factor determinante para conocer el nivel de seguridad vial de un camino, en la Figura 3.17 se muestra gráficamente este comportamiento durante los años analizados del tramo en estudio, cabe mencionar que para el año 2011 se tuvo un incremento importante el cual, posteriormente, disminuye hasta llegar a cero muertes en el año 2014. Es importante hacer referencia a lo que se ha mencionado anteriormente respecto a las muertes registradas por los accidentes viales que ocurren en el sitio del mismo, probablemente estos valores se modificarían con tendencia ascendente si hubiese un seguimiento de los lesionados en dichos accidentes.

La Figura 3.18 muestra el comportamiento de las pérdidas económicas para el tramo en estudio y donde es posible apreciar que, al igual que en las figuras anteriores, el año 2011 fue el más afectado respecto al resto, siendo el año 2014 en el que menos daños materiales se presentan.

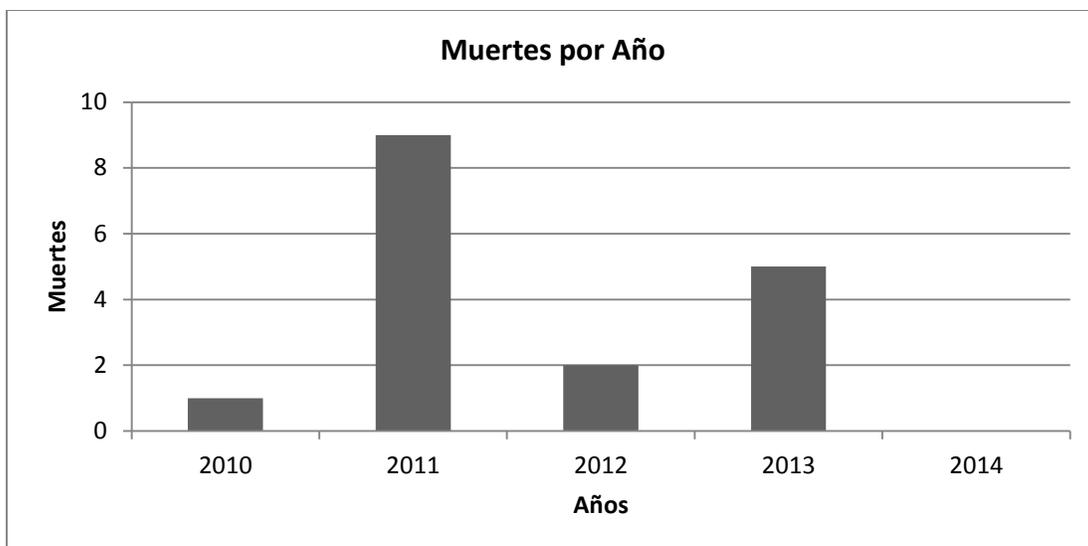


Figura 3.17: Índice de mortalidad en la carretera MEX-200 tramo Manzanillo-Melaque

Fuente: Elaboración propia

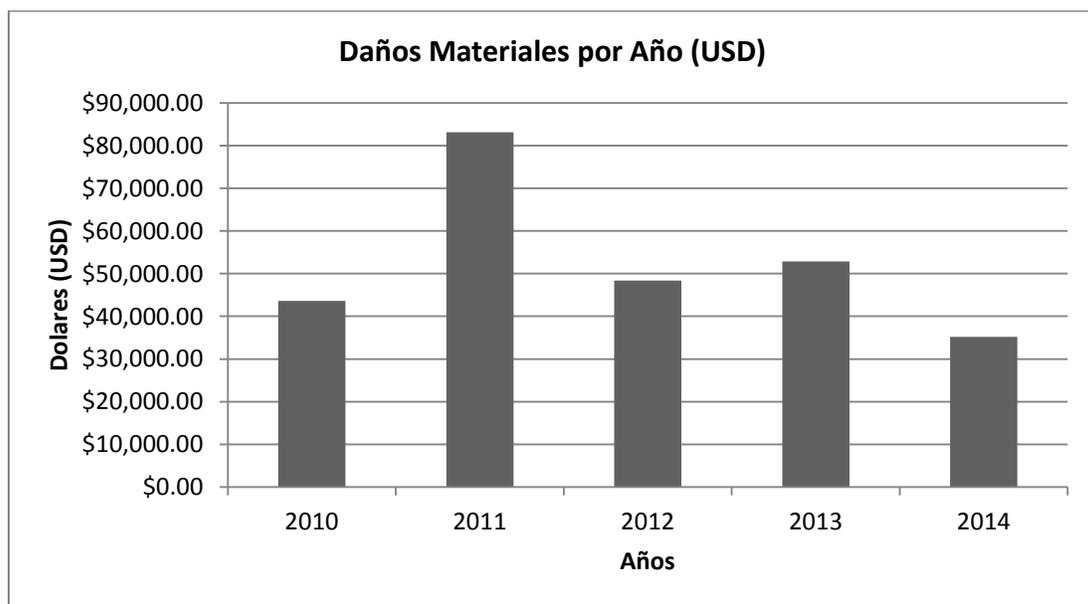


Figura 3.18: Análisis de daños materiales en la carretera MEX-200 tramo Manzanillo-Melaque

Fuente: Elaboración propia

3.4 Datos de Operación

En esta parte del proyecto se representa todo lo referente a la actividad vehicular del tramo en estudio, es decir los datos de operación de la carretera MEX-200 en el tramo Manzanillo-Melaque.

Estos datos incluyen:

- Tránsito diario promedio anual (TDPA).
- Composición vehicular.

La información fue proporcionada por la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST), quien realizó el levantamiento de la información en el tramo en estudio para poder tomar decisiones de conservación, mantenimiento y de seguridad vial de la carretera.

Posteriormente se hace el análisis y una interpretación de dicha información, lo cual se describe en los siguientes apartados.

3.4.1 Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA)

Uno de los elementos básico para el diseño de carreteras es el volumen de tránsito promedio diario anual, conocido en forma abreviada como (TDPA) que es una medida de volumen vehicular que representa el número promedio diario de vehículos que pasan por determinado lugar para un año de estudio (Cal y Mayor R. & Cárdenas G., 2007).

La forma de obtener dicha variable es por medio de conteos o aforos, ya sean manuales o automáticos. Esta información se puede consultar en la página de (DGST) en el apartado de datos viales (Datos Viales 2010-2014. Dirección General de Servicios Técnicos (DGST). La cual permite estudiar o evaluar la calidad del flujo vehicular de la Red Carretera Federal (RCF) en términos de TDPA, dicha información es publicada de manera anual.

La Figura 3.19 es una representación gráfica del proceso evolutivo del TDPA del tramo en estudio, durante los cinco años analizados se puede observar que hay una tendencia ascendente.

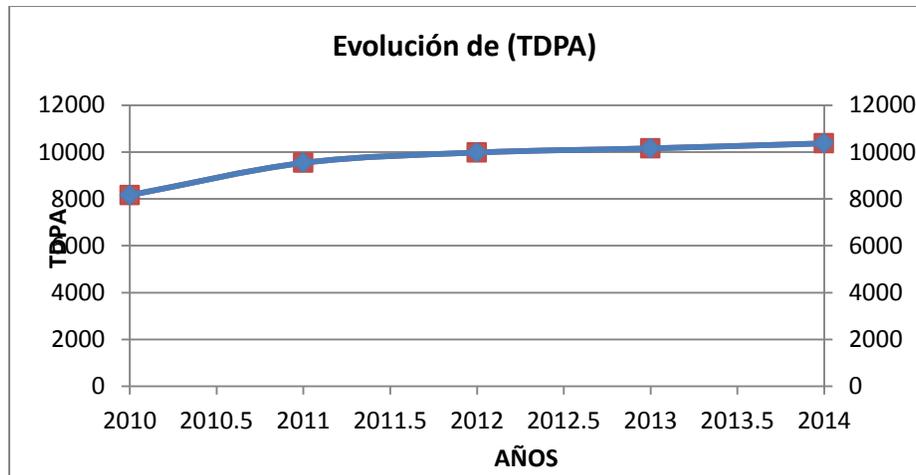


Figura 3.19: Análisis evolutivo del TDPA en la carretera MEX-200 tramo Manzanillo-Melaque

Fuente: Elaboración propia

En este trabajo se considera de suma importancia analizar la evolución del tránsito de vehículos pesados para el tramo en estudio ya que éste puede ser un detonante de accidentes, así como un factor importante en el deterioro de las carreteras. Los vehículos pesado afectan a la circulación por dos razones principalmente:

- Al ser de mayor tamaño, ocupan mayor espacio vial.
- Tienen capacidades operativas más limitadas que los vehículos ligeros, en relación con la aceleración, desaceleración, adelantamientos y la capacidad para mantener velocidades. Siendo éste el segundo impacto más crítico.

El desempeño de los vehículos pesados se puede ver afectado en segmentos viales donde se presenten pendientes ascendentes, especialmente en las más pronunciadas. En estos casos, los vehículos pesados circulan a velocidades menores que la de los vehículos livianos creando dificultades para circular más rápido en la vía.

En la Tabla 3.8 se ilustra cómo ha sido la variación de vehículos pesados durante los años analizados para el tramo en estudio.

Tabla 3.8: Análisis de vehículos pesados de la carretera MEX-200 en el tramo Manzanillo-Melaque

Año	Vehículos Pesados (%)
2010	29.24
2011	31.80
2012	31.35
2013	30.59
2014	19.62

Fuente: Elaboración propia con información de DGST

En la Figura 3.20 se puede observar que el año el 2011 muestra el mayor porcentaje de vehículos pesados, así como el año que mayor accidentalidad y mortalidad tuvo respecto a lo mencionado en el apartado 3.3, el 2014 fue el año que menor porcentaje de vehículos pesados presentó.

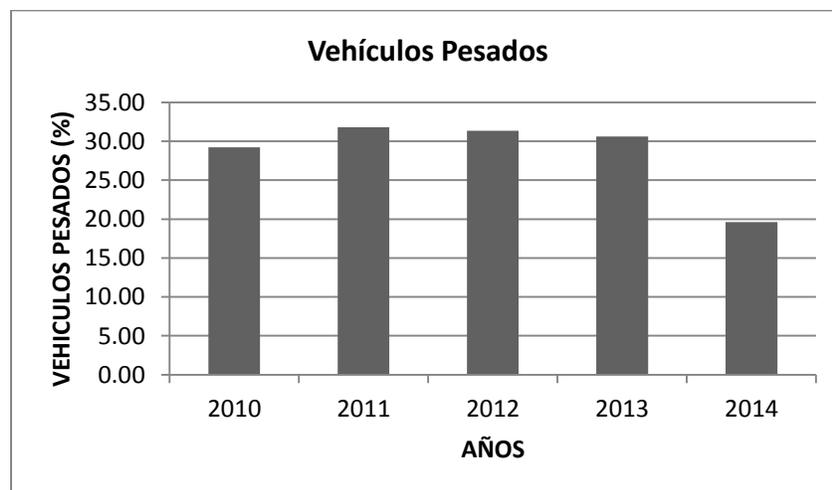


Figura 3.20 Porcentaje de vehículos pesados de la carretera MEX-200 en el tramo Manzanillo-Melaque.

Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Composición Vehicular

En lo que se refiere a la clasificación vehicular, la DGST considera el aforo para los vehículos más representativos del tránsito; es decir, los vehículos que circulan con mayor frecuencia en la RCF. La clasificación y descripción de los vehículos contabilizados se puede apreciar en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9: Clasificación vehicular considerada por DGST

Tipo de Vehículo	Descripción
A	Automóviles
B	Autobuses
C 2	Camiones Unitarios de 2 ejes
C 3	Camiones Unitarios de 3 ejes
T3S2	Tractor de 3 ejes con Semirremolque de 2 ejes
T3S3	Tractor de 3 ejes con Semirremolque de 3 ejes
T3S2R4	Tractor de 3 ejes con Semirremolque de 2 ejes y Remolque de 4 ejes
OTROS	Considera otro tipo de combinaciones de camiones de carga

Fuente: Elaboración propia con información de la DGST

De la Tabla 3.10 a la 3.14 se muestra la información del comportamiento del flujo vehicular para la carretera MEX-200 en el tramo Manzanillo-Melaque, la información se presenta con base en los datos viales de la DGST para el periodo de análisis del 2010 a 2014. La tabla está dividida de la siguiente forma: en la primera columna se presenta el número de tramo (ver Tabla 3.5); en la segunda columna se presenta el TDPA para cada tramo, el cual se obtuvo por medio de un promedio ponderado del mismo; de la columna 3 a la 10 se aprecia el porcentaje de vehículos que integran la composición vehicular del tramo indicado. En la columna 11 se muestra la relación de vehículos-kilómetro y, en la última columna, se muestra el porcentaje de vehículos pesados, siendo la sumatoria del porcentaje de los vehículos C2, C3, T3S2, T3S3 y T3S2R4.

Tabla 3.10: Datos de operación vehicular para el año 2010 de la carretera MEX-200 en el tramo Manzanillo-Melaque

Análisis Vehicular para la Carretera MEX-200 en el Tramo Manzanillo-Melaque										Año 2010	
N° de Tramo	TDPA	Composición Vehicular (%)								VEH-KM (millones)	Vehículos pesados (%)
		A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4	OTROS		
1	8446	82.47	2.55	9.18	4.33	0.87	0.50	0.00	0.10	93.29	14.88
2	7685	83.02	2.53	8.67	4.32	0.87	0.50	0.00	0.10	50.88	14.36

Fuente: Elaboración propia con base en la información de datos viales de la DGST

Tabla 3.11: Datos de operación vehicular para el año 2011 de la carretera MEX-200 en el tramo Manzanillo-Melaque

Análisis Vehicular para la Carretera MEX-200 en el Tramo Manzanillo-Melaque										Año 2011	
N° de Tramo	TDPA	Composición Vehicular (%)								VEH-KM (millones)	Vehículos pesados (%)
		A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4	OTROS		
1	10794	80.73	1.68	9.92	3.40	2.28	1.25	0.23	0.50	119.22	17.08
2	7520	82.05	2.68	7.85	4.32	1.40	1.00	0.15	0.55	49.79	14.72

Fuente: Elaboración propia con base en la información de datos viales de la DGST

Tabla 3.12: Datos de operación vehicular para el año 2012 de la carretera MEX-200 en el tramo Manzanillo-Melaque

Análisis Vehicular para la Carretera MEX-200 en el Tramo Manzanillo-Melaque										Año 2012	
N° de Tramo	TDPA	Composición Vehicular (%)								VEH-KM (millones)	Vehículos pesados (%)
		A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4	OTROS		
1	10948	81.02	2.65	9.73	2.13	2.60	1.33	0.17	0.37	120.92	15.96
2	8367	82.33	1.47	8.43	1.52	4.17	0.90	0.37	0.82	55.40	15.39

Fuente: Elaboración propia con base en la información de datos viales de la DGST

Tabla 3.13: Datos de operación vehicular para el año 2013 de la carretera MEX-200 en el tramo Manzanillo-Melaque

Análisis Vehicular para la Carretera MEX-200 en el Tramo Manzanillo-Melaque										Año 2013	
N° de Tramo	TDPA	Composición Vehicular (%)								VEH-KM (millones)	Vehículos pesados (%)
		A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4	OTROS		
1	11273	81.52	2.27	9.08	2.18	2.55	1.37	0.42	0.62	124.51	15.60
2	8302	82.22	1.97	7.87	1.50	4.17	0.97	0.48	0.83	54.97	14.99

Fuente: Elaboración propia con base en la información de datos viales de la DGST

Tabla 3.14: Datos de operación vehicular para el año 2014 de la carretera MEX-200 en el tramo Manzanillo-Melaque

Análisis Vehicular para la Carretera MEX-200 en el Tramo Manzanillo-Melaque										Año 2014	
N° de Tramo	TDPA	Composición Vehicular (%)								VEH-KM (millones)	Vehículos pesados (%)
		A	B	C2	C3	T3S2	T3S3	T3S2R4	OTROS		
1	11400	85.93	4.05	5.32	1.27	2.17	0.67	0.20	0.40	125.91	9.63
2	8659	86.95	1.70	6.13	1.50	1.53	0.58	0.25	1.35	57.33	9.99

Fuente: Elaboración propia con base en la información de datos viales de la DGST

4 Auditoría de Seguridad Vial

“Una Auditoría de Seguridad Vial (ASV) es un examen formal de un proyecto vial, o de tránsito, existente o futuro, o de cualquier proyecto que tenga influencia sobre una vía, en donde un equipo de profesionales calificado e independiente informa sobre el riesgo de ocurrencia de accidentes y del comportamiento del proyecto desde la perspectiva de la seguridad vial” (AUSTROADS 2002, en Dourthé Castellón & Salamanca Candia, 2003).

El desarrollo de las ASV se atribuye a Malcolm Bulpitt del Reino Unido. Él aplicó, a principios de los años 80's, el concepto de la ASV para mejorar el nivel de seguridad en los proyectos viales realizados por el Departamento de Carreteras y del Transporte del Consejo del Condado de Kent.

Para ello, Bulpitt utilizó conceptos introducidos originalmente en redes del ferrocarril durante el periodo Victoriano, época en la cual el Gobierno Británico designó a oficiales para que examinaran todos los aspectos de seguridad de una nueva línea ferroviaria antes de que fuera puesta en servicio.

A mediados de los años 80's, en el Condado de Kent, un equipo experto en investigación de accidentes, responsable de investigar lugares en donde existía una alta concentración de accidentes de tránsito (puntos negros), tuvo la idea de consultar sobre nuevos proyectos viales o de rediseños viales, que se localizarían en zonas donde se producían una alta frecuencia de accidentes. El equipo estimó que la seguridad vial podría ser mejorada si se inspeccionaban los diseños de los nuevos proyectos viales de modo que cualquier medida de seguridad faltante se pudiera incorporar antes de construirlos.

De este modo, el Condado de Kent desarrolló una política que requería que todos los nuevos diseños viales fueran inspeccionados y aprobados desde la perspectiva de la seguridad vial, antes de la construcción. Si el proyecto no era aprobado, no podía pasar a la siguiente etapa. Con el tiempo, este proceso se formalizó con el nombre de Auditoría de Seguridad Vial, y continúa utilizándose.

Procedimientos y políticas similares pronto emergieron en otros lugares. En Australia, por ejemplo, se empezó a aplicar regularmente la ASV a proyectos en su etapa de pre-apertura, de modo de evaluar la seguridad de la nueva vía antes de su apertura al tránsito. Rápidamente, los ingenieros responsables de esta tarea también reconocieron las ventajas de realizar estas ASV en las etapas previas, principalmente durante el diseño del proyecto vial.

En los años 90's se produjo un interés generalizado en la adopción del proceso de la ASV. Es así como las autoridades viales de Australia y Nueva Zelanda han

sistematizado el uso de estos procedimientos, adoptándose y utilizándose desde entonces por ingenieros, asociaciones profesionales y autoridades viales de otras partes del mundo.

En la actualidad la finalidad de una ASV es evaluar y comprobar que una vía cumple con el propósito para el cual se diseñó, proporcionando seguridad a todos los tipos de usuarios que por ella transitan. Las ASV se pueden realizar en cualquier etapa del proyecto (Planeación, Diseño, Construcción, Pre-apertura y Post-apertura), siendo más eficiente la realización de las mismas en las primeras etapas ya que en una carretera construida y en operación la mitigación es más costosa. En aquellas ASV realizadas a proyectos en operación, es fundamental observar el comportamiento de todos los usuarios en la vía para verificar si las condiciones de seguridad son apropiadas o deben mejorarse.

Para este proyecto en particular se realizará la ASV de la carretera MEX-200 del tramo Manzanillo-Melaque. Es un tramo carretero que actualmente se encuentra en operación por lo que es fundamental determinar las condiciones de seguridad vial para todos los usuarios de la vía.

Para realizar la ASV de este tramo se requiere hacer la recopilación de información para lo cual ya se cuenta con los siguientes antecedentes:

1. Flujo de los usuarios de la vía.
2. Información de accidentes.
3. Información de auditorías o estudios de seguridad vial anteriores.
4. Planos de construcción.

El proceso para llevar a cabo la ASV es el siguiente:

- Análisis de la información.
- Inspección del terreno.
- Identificación de problemas de seguridad vial.
- Proposición de alternativas de medidas de mitigación.
- Elaboración del informe final.

Para lo anterior se debe analizar la información de accidentalidad de la zona con el fin de identificar las áreas que tienen mayores problemas de seguridad vial y poner atención especial en esos sitios al momento de hacer la inspección del terreno, de esta manera proponer las medidas de mitigación pertinentes para solucionar los problemas observados.

4.1 Términos de Referencia

La Auditoría de Seguridad Vial de la carretera MEX-200 tramo Manzanillo-Melaque, considera los resultados obtenidos a partir de la evaluación del tramo con la metodología iRAP. Se toma la decisión de hacer la ASV para realizar un análisis detallado y generar recomendaciones que permitan la mejora de la

seguridad vial del mismo, luego será necesario comparar las recomendaciones que resulten de la evaluación iRAP frente a los hallazgos de la ASV y posteriormente proponer las medidas de mejoramiento con base en la relación costo-beneficio.

4.2 Análisis de la Información

Se realizó la recopilación de información a partir del año 2010 hasta el 2014 y se obtuvieron datos como la accidentalidad, la cual tiende a decrecer, con excepción del año 2011 en el cual presenta un incremento en la cantidad de accidentes; sin embargo, para el año 2014 se observa una reducción de los mismos. En esta parte también se analizó la mortalidad y morbilidad, así como los daños materiales resultado de accidentes, todos estos presentan una tendencia a la baja con la excepción del año 2011.

A partir de la información obtenida se infiere que el tramo en estudio tiene un índice importante de accidentalidad, hecho que hace evidente la importancia de proporcionar medidas de mejora desde el punto de vista de seguridad vial, especialmente atendiendo las adecuaciones que permitan reducir la severidad de las lesiones ocurridas tras los accidentes, misma que puede ser disminuida en gran parte a través del mejoramiento de la infraestructura vial.

Adicionalmente se obtuvo información de la operación del tramo carretero; por poner un ejemplo, el TDPA muestra una tendencia hacia el aumento en los años analizados. A partir del análisis de la información se puede estimar que el 50% del tramo en estudio requiere de algún tipo de tratamiento para mejorar su operatividad.

4.3 Inspección del Terreno

La inspección del terreno provee un conocimiento de las condiciones existentes de la vía, en el que se incluye la evaluación de la señalización, iluminación, demarcaciones, delineación y las características geométricas, entre otras. El objetivo es identificar los problemas que puedan afectar la percepción de los usuarios de la vía o restringir la visibilidad.

Para el análisis de la carretera MEX-200 tramo Manzanillo-Melaque, la inspección se realizó mediante la observación de fotografías y apoyado del software especializado se documentaron las características a cada 20 m, debido a que el tramo inspeccionado cuenta con un carril por sentido de circulación, en un solo cuerpo, solo se realizó el levantamiento en un solo sentido. Con dicho levantamiento se llevó a cabo el trabajo de gabinete, auditando las características más importantes para la seguridad vial del tramo, mismas que se enlistan a continuación: señalamiento horizontal y vertical, barreras lateras, zonas laterales, bandas alertadoras, alumbrado (en tramos carreteros, en cruces peatonales y en intersecciones) y control de la velocidad.

4.4 Resultados de la Auditoria de Seguridad Vial

En este apartado se describen aquellos factores que intervienen en la seguridad vial de la carretera MEX-200 tramo Manzanillo-Melaque. Para facilitar su análisis se dividen en apartados los cuales se explicarán posteriormente de una forma detallada.

4.4.1 Señalamiento Horizontal y Vertical

En un sistema vial es de suma importancia tomar en cuenta y respetar los dispositivos de señalización para que dicho sistema funcione de forma correcta y segura para todos los usuarios de la vía.

El objetivo de las señales horizontales y verticales en una vía es proporcionar información suficiente al usuario de forma que llegue a su destino y que realice un trayecto seguro, esto se logra mediante la colocación de diversas señales y marcas que orientan al usuario sobre el lugar donde se encuentra y la forma de llegar a su destino, informando y advirtiendo, también, de las condiciones prevalecientes del trayecto, además de fomentar la seguridad de todos los usuarios de la vía.

Para realizar esta parte de la ASV se utilizó la información proporcionada por el sistema de auscultación de carreteras AMAC (*Advanced Mobile Asset Collection*), el cual ayuda a determinar el estado actual de las señales y marcas en la vía y posteriormente determinar las marcas o señales que requieren mantenimiento o reemplazo de acuerdo a la normativa vigente del país, que para este caso, es la NOM -034-SCT2-2011, en dicha norma se estipulan los coeficientes de reflexión que debe cumplir la señalización.

El criterio utilizado para el análisis del señalamiento es el siguiente:

- Óptimo: cuando los valores de reflexión de todos los colores de cada señal superan los umbrales en al menos un 5%.
- Tolerable: cuando los valores de reflexión de todos los colores de cada señal superan los umbrales, pero al menos uno de los colores lo supera por menos de un 5%.
- No legible: cuando el valor de reflexión de alguno de los colores se encuentra por debajo del umbral correspondiente.
- Sin criterio: cuando la reflexión debido a la geometría de la vía en ese punto se ha medido en un ángulo de observación de 0.5° en lugar de 0.2°.
- N/A: la señal se ha podido inventariar, pero debido a su estado de conservación o que ha estado oculta por vegetación o por el trazo de la carretera se ha detectado a una distancia a la que no es posible medir valores de reflexión.

En la Figura 4.1 se observa la información que proporciona el equipo AMAC respecto a la reflexión del señalamiento vertical, así como de la correcta colocación de las señales en donde evalúa su altura y ángulo de colocación.

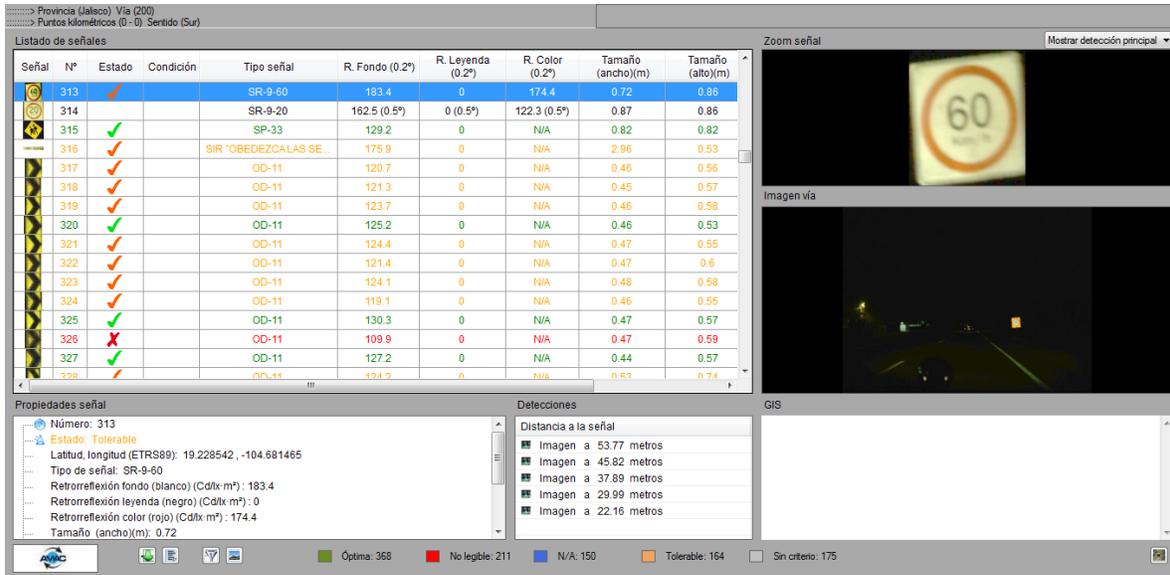


Figura 4.1: Informe de la reflexión del señalamiento vertical

En la Figura 4.2 se observa la valoración de la reflexión del señalamiento horizontal mediante el equipo AMAC, hace una evaluación del mismo y ayuda a determinar los principales tramos en donde éste requiere mantenimiento o es necesario el reemplazo.

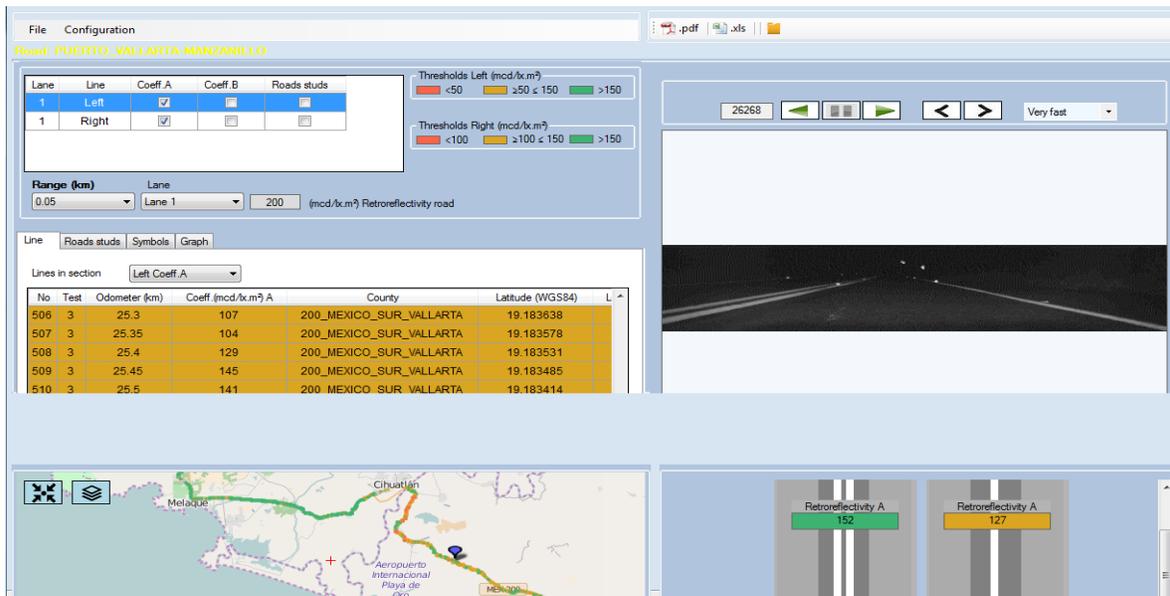


Figura 4.2: Informe de la reflexión del señalamiento horizontal

En esta parte del proyecto también se utilizó la visualización de imágenes en 360°, que es la captura de imágenes con las cámaras del equipo AMAC. Esta cámara se utilizó para determinar el señalamiento faltante y ubicar señales cubiertas con vegetación o zonas donde el señalamiento horizontal no tenía visibilidad. La Figura 4.3 muestra la visualización en 360° de las cámaras del equipo AMAC.

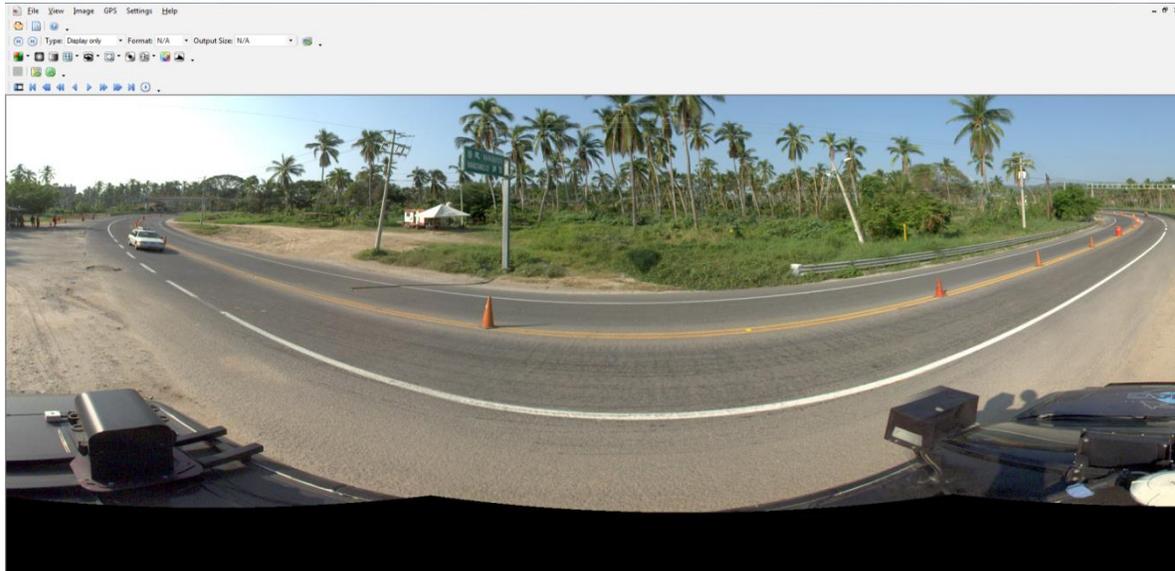


Figura 4.3: Visualización en 360° de las cámaras del equipo AMAC

Durante la auscultación del tramo se pudo detectar numerosos problemas del señalamiento vertical y horizontal con base en lo estipulado en la NOM-034-SCT2-2011, como son: incumplimiento en los niveles de reflexión, inconsistencia en los colores, formas y dimensiones, ausencia de señales, estado conservación deficiente, así como la ubicación inadecuada.

Con base en la auscultación realizada, en la Tabla 4.1 se presentan los requerimientos del señalamiento vertical del tramo en estudio que permiten garantizar el funcionamiento adecuado del señalamiento vertical. La tabla incluye la contabilización del señalamiento faltante para ambos lados de la vía y desglosado por entidad federativa (COL-Colima y JAL-Jalisco).

Analizando la Tabla 4.1 se puede apreciar que los mayores requerimientos del señalamiento vertical son del tipo preventivo, posteriormente también se observa una necesidad de implementación de señales diversas de las cuales destaca la señal (OD-5) indicador de obstáculos, en total se recomienda mejorar e instalar 142 señales.

En la Tabla 4.2 se enlistan las necesidades de mejoramiento detectadas para el señalamiento horizontal, por ambos lados de la vía y por entidad federativa. Destacando que el estado de Jalisco es el que tiene mayores requerimientos.

Según lo mostrado en la tabla, el mejoramiento e implementación de las líneas a la orilla del arroyo vial es la medida que requiere una mayor intervención seguida de las líneas separadoras de sentido de circulación.

Tabla 4.1: Requerimientos del señalamiento vertical

Tipo de Señal	Señal	Lado derecho del conductor		Lado izquierdo del conductor		Total lado derecho del conductor	Total lado izquierdo del conductor	TOTAL
		COL	JAL	COL	JAL			
Preventivas	SP-6	4	0	3	1	4	4	8
	SP-7	0	0	1	0	0	1	1
	SP-10	0	0	0	1	0	1	1
	SP-12	0	1	0	0	1	0	1
	SP-13	2	0	0	0	2	0	2
	SP-14	2	1	2	3	3	5	8
	SP-17	1	2	0	0	3	0	3
	SP-19	0	1	1	1	1	2	3
	SP-25	8	1	8	1	9	9	18
	SP-30	7	0	0	0	7	0	7
	SP-32	0	0	1	0	0	1	1
	SP-33	0	0	1	0	0	1	1
	SP-34	0	0	0	1	0	1	1
SP-41	0	0	4	1	0	5	5	
Restrictivas	SR-9	0	0	3	1	0	4	4
	SER-12	0	0	0	1	0	1	1
	SR-18	3	0	2	1	3	3	6
	SR-26	0	0	0	1	0	1	1
Informativas	SID-8	0	0	4	2	0	6	6
	SID-9	0	0	1	0	0	1	1
	SID-10	0	0	2	0	0	2	2
	SID-11	0	0	1	1	0	2	2
	SII-14	0	0	0	1	0	1	1
	SII-15	0	0	0	1	0	1	1
	SIG-8	0	0	1	1	0	2	2
SIR-6	0	0	0	1	0	1	1	
Turísticas y de Servicios	SIS-11	0	1	0	2	1	2	3
	SIS-19	3	0	5	1	3	6	9
	SIS-22	0	2	0	0	2	0	2
Diversas	OD-5	13	9	2	4	22	6	28
	OD-12	0	0	0	12	0	12	12
TOTAL		43	18	42	39	61	81	142
Preventivas		24	6	21	9	30	30	60
Restrictivas		3	0	5	4	3	9	12
Informativas		0	0	9	7	0	16	16
Turísticas y de Servicios		3	3	5	3	6	8	14
Diversas		13	9	2	16	22	18	40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.2: Requerimientos del señalamiento horizontal

Señal	Lado derecho del conductor		Lado izquierdo del conductor		Total lado derecho del	Total lado izquierdo del	TOTAL
	COL	JAL	COL	JAL			
Raya separadora de sentido de circulación (km)					3.54	3.17	6.71
M-1.3	0.06	0.3	0	0	0.36	0	0.36
M-1.4	0.04	0.03	0.04	0.02	0.07	0.06	0.13
M-1.5	0	1.72	0	1.72	1.72	1.72	3.44
M-1.6	0.03	1.36	0.03	1.36	1.39	1.39	2.78
Raya en la orilla del arrollo vial (km)					7.08	7.86	14.94
M-3.1	0.18	6.9	0.28	7.58	7.08	7.86	14.94
Raya guía en zonas de transición (km)					0.22	0	0.22
M-4	0.14	0.08	0	0	0.22	0	0.22
Rayas canalizadoras (km)					0.12	0	0.12
M-5	0.04	0.08	0	0	0.12	0	0.12
Rayas con espaciamiento logaritmico (km)					0.08	0	0.08
M-9	0	0.08	0	0	0.08	0	0.08
Rayas para establecer lugares de parada (km)					0.1	0.2	0.3
M-11.4	0.1	0	0.2	0	0.1	0.2	0.3
Marcas en estructuras y objetos adyacentes (km)					0.06	0.02	0.08
M-13.1	0.04	0.02	0.02	0	0.06	0.02	0.08
Marcas en reductores de velocidad (km)					0.05	0.05	0.1
OD-15	0.03	0.02	0.03	0.02	0.05	0.05	0.1

Fuente: Elaboración propia

4.4.2 Barreras

En lo que respecta a las barreras, se analizaron varias características, se verificó que éstas contaran con la longitud, altura y terminación adecuada, conexión en caso de ser necesario, el empalme de las láminas fuera el correcto, también se revisó que tuvieran el espacio adecuado para desarrollar su ancho de trabajo.

Fueron detectadas diversas bifurcaciones de la vía las cuales no contaban con dispositivos de amortiguamiento adecuados, ya que las secciones extremas en el caso de bifurcaciones deben ser secciones de amortiguamiento, de tal manera que cuando un vehículo se aproxima al extremo de la barrera, pueda impactarse de frente en la sección que permite absorber el impacto.

En la Figura 4.4 se muestra una bifurcación ubicada en el kilómetro 53+440 en donde se puede apreciar, del lado derecho del conductor, una bifurcación sin dispositivo de amortiguamiento, la cual representa un grave peligro si un vehículo se impactara en el sitio.



Figura 4.4: Bifurcación sin dispositivo de amortiguamiento representa un peligro para la vía

Se obtuvieron varias observaciones respecto a la falta de conexión entre barreras, además de la falta de transición de un sistema semirrígido a un rígido o viceversa.

En la Figura 4.5 se muestra un sitio ubicado en el kilómetro 27+820 donde se puede apreciar, del lado izquierdo del conductor, la falta de conexión entre una barrera metálica y el parapeto de un puente, lo cual representa un peligro en caso de que un vehículo se impactara en esa zona.



Figura 4.5: Falta de conexión entre una barrera metálica y el parapeto de un puente

En la Figura 4.6 se muestra un sitio ubicado en el kilómetro 40+180 donde se puede apreciar, del lado izquierdo del conductor, una falta de conexión entre barreras laterales, lo cual representa un peligro en la vía si un vehículo se impactara en esa zona.



Figura 4.6: Falta de conexión entre barreras

Para asegurar el correcto funcionamiento de cada barrera, se deben instalar dos terminales que permitan el amortiguamiento del impacto y deben localizarse a cada extremo de la barrera; es decir, una al inicio y otra al final de cada tramo según sea necesario. Durante la inspección fueron detectadas varias barreras tanto metálicas como de concreto con falta de terminales adecuadas.

En la Figura 4.7 se muestra un sitio ubicado en el kilómetro 27+000 en donde se observa, del lado derecho del conductor, la sección de inicio de una barrera sin terminal, la cual representa un alto riesgo para un vehículo que se impacte con esta.



Figura 4.7: Sección de inicio de barrera sin terminal

Durante la inspección del tramo también se lograron identificar varias secciones donde las barreras se encuentran en mal estado y requieren de mantenimiento para restaurar la funcionalidad para la cual fueron instaladas.

En la Figura 4.8 muestra un sitio ubicado en el kilómetro 36+850 en donde se puede apreciar, del lado derecho del conductor, una barrera que fue impactada, lo cual representa un riesgo para los usuarios si no es sustituida.



Figura 4.8: Barrera impactada

También se detectaron barreras instaladas que no tienen el espacio suficiente para que se desarrolle su ancho de trabajo en caso de un impacto, esto quiere decir que no cumplen con su función.

En la Figura 4.9 se muestra un sitio ubicado en el kilómetro 38+760 en donde se aprecia, del lado derecho del conductor, una barrera que no cumple con su ancho de trabajo necesario, por lo cual representa un peligro en caso de que un vehículo se impacte sobre ella, ya que no estaría cumpliendo con su función.

La inspección realizada se centró en revisar la continuidad de las barreras, que contaran con todos los aditamentos necesarios, con terminales y que los postes estuvieran instalados a la distancia correcta y con el espacio suficiente que permita reducir la severidad del impacto. Se detectaron casos de barreras colisionadas y en mal estado.



Figura 4.9: Barrera con ancho de trabajo insuficiente

A partir de los hallazgos encontrados en la inspección, la Tabla 4.3 enlista los principales requerimientos de barreras laterales, separados por entidad federativa, lado derecho o izquierdo del conductor y por el tipo de problema detectado.

En la Tabla 4.3 se observa que la entidad federativa que presenta la mayor cantidad de requerimientos es en Colima, estando la gran mayoría de ellos en el lado derecho del conductor. Los requerimientos más comunes que destacan son la instalación de barrera, conexiones entre barreras y terminales.

En la Tabla 4.4 se presenta las longitudes de barreras requeridas, destacando que dentro de estas cifras también se enlistan los sitios en donde se requiere el reemplazo de la barrera existente ya que, debido al mantenimiento de la vía, mala instalación o deterioros, más del 90% de las barreras laterales requiere ser reemplazada para que cumpla su funcionalidad como lo estipula la normativa vigente NOM-037-SCT2-2012, Barreras de protección en carreteras y vialidades urbanas.

Como se puede observar en la Tabla 4.4 la entidad federativa que requiere mayor cantidad de barreras laterales es Colima con un total de 30.636 km. La cantidad de barrera que se requiere instalar en el tramo en estudio en ambos sentidos es de 43.756 km.

Tabla 4.3: Principales requerimientos en barreras laterales

Deficiencias en Barreras	COL	JAL	Total
Lado derecho del conductor			
Ampliación del ancho de trabajo	2	0	2
Reposición de barreras impactadas	1	7	8
Sitios donde se requiere instalar barrera de concreto Longitud de barrera de concreto que se requiere	2 0.08 km	1 0.04 km	3 0.12 km
Sitios donde se requiere instalar barrera metálica Longitud de barrera metálica que se requiere	35 11.626 km	17 5.00 km	52 16.626 km
Instalación de conexiones entre barreras	10	4	14
Instalación de terminales	2	0	2
Total lado derecho del conductor	52	29	81
Lado izquierdo del conductor			
Ampliación del ancho de trabajo	1	0	1
Reposición de barreras impactadas	2	3	5
Sitios donde se requiere instalar barrera de concreto Longitud de barrera de concreto que se requiere	1 0.04 km	0	1 0.04 km
Sitios donde se requiere instalar barrera metálica Longitud de barrera metálica que se requiere	22 19.01 km	26 8.12 km	48 27.13 km
Instalación de conexiones entre barreras	6	1	7
Instalación de terminales	2	0	2
Total lado izquierdo del conductor	34	30	64
TOTAL	86	59	145

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.4: Cantidad de barrera faltante

Cantidad de Barrera faltante	COL	JAL	Total
Lado derecho del conductor			
Longitud de barrera de concreto que se requiere (km)	0.08	0.04	0.12
Longitud de barrera metálica que se requiere (km)	11.626	5	16.626
Lado izquierdo del conductor			
Longitud de barrera de concreto que se requiere (km)	0.04	0	0.04
Longitud de barrera metálica que se requiere (km)	19.01	8.12	27.13
Cantidad total de barrera de concreto requerida (km)	0.12	0.04	0.16
Cantidad total de barrera metálica requerida (km)	30.636	13.12	43.756

Fuente: Elaboración propia

4.4.3 Zonas Laterales

Cuando se realiza una Auditoria de Seguridad Vial es de suma importancia revisar minuciosamente las zonas laterales, las cuales juegan un papel muy importante dentro de la seguridad vial de un camino. Se debe inspeccionar que se encuentren despejadas, esto es, que se cuente con zonas laterales que son superables por los vehículos, en las cuales al salir éste de la vía pueda recuperarse, es decir, es necesario que dentro de los próximos 10 metros de la zona lateral a la carretera no haya presencia de pared vertical peligrosa, corte con pendiente ascendente, cuneta profunda, terraplén, precipicio, estructura o puentes rígidos, barrera de seguridad con punta no protegida, rocas grandes de 20 cm o más de alto y árboles, postes o señales con un diámetro mayor o igual a 10 cm, etc.

Para los casos en donde se observó lo mencionado con anterioridad, es decir, puntos duros, árboles, postes, entre otros, se proponen medidas de mejoramiento concretas que permitan que la carretera no sea riesgosa. Por ejemplo, se propone remover los peligros o proteger a los usuarios de ellos de tal manera que se incremente la seguridad de la vía. Para el caso donde ya existían dispositivos de seguridad en el tramo, éstos fueron evaluados para determinar si eran adecuados para proteger a los usuarios, si estaban colocados donde eran necesarios y además, se verificó que hubieran sido instalados adecuadamente.

4.4.3.1 Objetos en zonas laterales

En la Figura 4.10 se muestra un sitio ubicado en el kilómetro 53+080 donde del lado derecho del conductor se encontró un poste con más de 10 cm de diámetro situado a 1 m de la vía el cual corresponde a una señal elevada tipo bandera. Este poste representa un riesgo en la zona.



Figura 4.10: Señal elevada tipo bandera que representa un peligro en la vía

En el sitio ubicado en el kilómetro 32+270, que se observa en la Figura 4.11, se registraron postes de líneas eléctricas de más de 10 cm de diámetro situados muy cerca de la orilla del carril izquierdo, los cuales afectan seriamente la seguridad de la vía.



Figura 4.11: Postes de líneas eléctricas que representan un peligro para la vía

A lo largo del tramo carretero analizado se registraron varios árboles con diámetro mayor a los 10 cm dentro de una franja de 10 metros a los lados de la vía, los cuales representan un grave peligro, un ejemplo claro se presenta en la Figura 4.12, en donde se muestra un poste ubicado en el kilómetro 21+440 del lado izquierdo del conductor.



Figura 4.12: Árbol muy cercano a la vía con diámetro mayor a 10 cm

La Figura 4.13 muestra un sitio ubicado en el kilómetro 18+980 en donde se observan las estructuras de un paso superior vehicular muy cercanas a la vía del lado izquierdo del conductor, las cuales presentan un alto riesgo.



Figura 4.13: Pilas de paso superior vehicular que representan un peligro para la vía

Durante la inspección de las zonas laterales se revisó que no hubiera presencia de objetos que puedan representar un peligro en caso de salida del camino o pérdida de control del vehículo, estos objetos pueden ser: piedras con altura mayor a los 20 cm, postes cuyo diámetro sea mayor a 10 cm (alumbrado, señales, etc.), boquillas de drenaje, árboles con diámetro mayor a 10 cm, estos objetos representan un grave peligro de seguridad vial si se encuentran dentro de los 10 m de distancia de la vía.

En la Tabla 4.5 se enlista la cantidad de obstáculos encontrados en las zonas laterales que se recomienda sean retirados de la zona lateral; estos se presentan tanto por lado derecho como por el lado izquierdo del conductor.

De la Tabla 4.5 se puede destacar la entidad federativa que cuenta con más peligros en las zonas laterales: Colima. El lado derecho del conductor es en el que se enlistan la mayor cantidad de objetos laterales que representan un peligro para la seguridad vial de la vía, también se puede observar que el objeto más común detectado son los postes con diámetro mayor a 10 cm, que pueden ser de señales o alumbrado público. Es importante mencionar que algunas bifurcaciones y boquillas de drenaje no cuentan con dispositivo de protección, lo cual representa un peligro latente para los usuarios del vehículo de esta vía.

Tabla 4.5: Obstáculos encontrados en las zonas laterales detectados durante la ASV

Objetos en Zona Lateral	COL	JAL	Total
Lado derecho del conductor			
Árboles con diámetro mayor a 10 cm	4	1	5
Bifurcaciones sin protección	3	1	4
Boquilla de drenaje	5	0	5
Postes con diámetro mayor a 10 cm	11	11	22
Total lado derecho del conductor	23	13	36
Lado izquierdo del conductor			
Árboles con diámetro mayor a 10 cm	2	4	6
Bifurcaciones sin protección	1	1	2
Boquilla de drenaje	0	0	0
Postes con diámetro mayor a 10 cm	2	1	3
Total lado izquierdo del conductor	5	6	11
TOTAL	28	19	47

Fuente: Elaboración propia

4.4.4 Bandas Alertadoras

Las bandas alertadoras son un dispositivo de seguridad vial muy eficiente ya que proporcionan una alerta vibratoria y sonora a aquellos conductores que se salen del camino, evitando de esta forma la pérdida de control del vehículo o el impacto contra objetos u otros usuarios de la vía. Cabe destacar que para el buen funcionamiento de este dispositivo de seguridad es importante que éste sea instalado de forma correcta, es decir que solo se utilice en tangentes prolongadas donde el conductor pueda sufrir somnolencia, se debe evitar su instalación en accesos, curvas, zonas urbanas, o lugares donde el acotamiento sea muy limitado ya que este tipo de dispositivo de seguridad puede ser muy ruidoso y representa un peligro para ciclistas y motociclistas. Durante la ASV no se encontró presencia de bandas alertadoras en el tramo en estudio; sin embargo, existen zonas que requieren de su instalación.

La Figura 4.14 muestra el sitio ubicado en el kilómetro 32+060 en donde se muestra una zona adecuada para instalar las bandas alertadoras.

Los sitios que se muestran en la Figura 4.15 y 4.16, ubicadas en los kilómetros 22+580 y 39+960 respectivamente, se consideran zonas inapropiadas para la instalación de bandas alertadoras.



Figura 4.14: Zona apropiada para instalar bandas alertadoras



Figura 4.15: Zona inadecuada para instalar bandas alertadoras

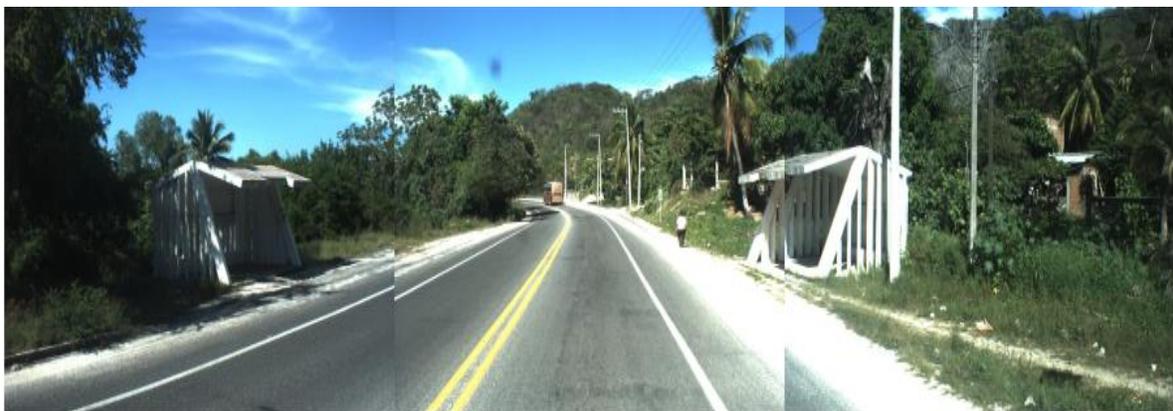


Figura 4.16: Zona inadecuada para instalar bandas alertadoras

En la Tabla 4.6 se presentan las propuestas de los sitios y la longitud del segmento carretero para la colocación de las bandas alertadoras, así como las distancias en kilómetros por cada entidad federativa por donde pasa el tramo en estudio.

Tabla 4.6: Bandas alertadoras que se recomienda colocar

Bandas Alertadoras	COL	JAL	Total
Lado derecho del conductor			
Sitios donde se requiere instalar bandas alertadoras	10	4	14
Longitud de banda alertadora que se requiere	7.15 km	2.04 km	9.19 km
Lado izquierdo del conductor			
Sitios donde se requiere instalar bandas alertadoras	8	4	12
Longitud de banda alertadora que se requiere	5.18 km	2.04 km	7.22 km
TOTAL	18 12.33 km	8 4.08 km	26 16.41 km

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.6 se puede apreciar que para Colima se recomienda colocar la mayor cantidad de bandas alertadoras. La cantidad total de bandas alertadoras que se recomienda colocar en todo el tramo en estudio es de 16.41 km.

4.4.5 Alumbrado

El alumbrado es una fuente de luz, frecuentemente colocada sobre columnas de lámparas o postes, ya sea al costado del camino o en la faja separadora central y su objetivo es proporcionar iluminación de forma que sean visibles otros usuarios de la vía desde peatones y ciclistas hasta otros conductores de vehículos.

Dentro de la ASV, en lo que respecta al alumbrado, se revisaron tres tipos de iluminación en el tramo carretero:

1. Alumbrado en tramo carretero: el objetivo de éste es que sean visibles los usuarios que transitan paralelamente a la vía ya sea en zonas de paradas de autobús o en pequeñas poblaciones a los costados de la vía.
2. Alumbrado en cruce peatonal: el objetivo de éste es proporcionar mayor seguridad a los peatones que cruzan la vía.
3. Alumbrado en intersecciones: el cual tiene como objetivo verificar que se tenga una buena iluminación en las intersecciones incrementando, de esta forma, la seguridad al poderse observar claramente si hay algún vehículo atravesando o incorporándose a la vía principal.

En el kilómetro 20+120 que se muestra en la Figura 4.17 se observa una zona habitacional de lado derecho de la vía la cual no cuenta con iluminación proporcionando un riesgo importante para los peatones y ciclistas que transitan paralelos a la vía principal, en horario nocturno es probable que puedan sufrir un atropellamiento.



Figura 4.17: Falta de iluminación en zona habitacional

En el kilómetro 38+720 que se muestra en la Figura 4.18 se observa un puente peatonal que no cuenta con iluminación. Este factor puede ocasionar sensación de inseguridad para los peatones provocando que estos crucen la vía a nivel, aumentando el riesgo de ser atropellados.



Figura 4.18: Puente peatonal sin iluminación

En el kilómetro 37+400 que se muestra en la Figura 4.19 se observa una intersección que no cuenta con iluminación, lo cual aumenta el riesgo de que exista una colisión por falta de visibilidad de vehículos cruzando o incorporándose a la vía principal.



Figura 4.19: Intersección sin iluminación

Después de realizada la inspección, en la Tabla 4.7 se reporta un resumen de los puntos donde se sugiere sea instalado o mejorado el alumbrado público.

Tabla 4.7: Requerimiento de alumbrado

Requerimiento en Alumbrado	COL	JAL	Total
Alumbrado en cruce peatonal	11	3	14
Alumbrado en intersección	7	10	17
Lado derecho del conductor			
Sitios que requieren alumbrado en tramo carretero	6	8	14
Longitud de alumbrado en tramo carretero	2.36 km	4.96 km	7.32 km
Lado izquierdo del conductor			
Sitios que requieren alumbrado en tramo carretero	3	5	8
Longitud de alumbrado en tramo carretero	1.32 km	4.32 km	5.64 km
TOTAL	27	26	53

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.7 se observa que en ambas entidades federativas la cantidad de sitios que requieren alumbrado es similar, destaca que el lado derecho del conductor es la zona donde hay más sitios con deficiencia de alumbrado, así mismo se aprecia la longitud que requiere alumbrado, donde el lado derecho del conductor es la zona que necesita la mayor cantidad.

4.4.6 Control de la Velocidad

El control de la velocidad en carreteras y vialidades urbanas, normalmente se aplica en zonas donde hay un índice elevado de probabilidad que exista un atropellamiento y esto puede ser en las entradas a zonas urbanas donde los vehículos deben disminuir su velocidad, en los pasos a nivel de peatones, cruces a nivel con vías férreas, intersecciones, en zonas escolares y zonas comerciales.

Durante la inspección se detectaron zonas donde los peatones cruzan las vías a nivel exponiéndose ampliamente a sufrir un atropellamiento, tal como se muestra en la Figura 4.20.

El sitio en la Figura 4.20 ubicado en el kilómetro 23+380 se observa un cruce escolar que demanda un dispositivo para el control de la velocidad el cual permita reducir el riesgo de que exista un atropellamiento en dicho sitio.



Figura 4.20: Cruce escolar con falta de infraestructura para disminuir velocidad

Durante la ASV se detectaron 4 zonas escolares, en donde se propone un mejoramiento para el señalamiento horizontal y vertical como lo estipula la normativa vigente NOM-034-SCT2-2011, lo anterior permitirá advertir a los conductores la presencia de peatones en la zona, que por lo general son niños y jóvenes. También es importante considerar el mejoramiento y la instalación de infraestructura para reducir la velocidad en esa zona y en las entradas a zonas urbanas en donde existe una interacción entre peatones y vehículos.

En la Tabla 4.8 se enlistan las zonas escolares detectadas durante la ASV en el tramo en estudio, en el estado de Colima se ubican tres y en el estado de Jalisco una. También se identificaron otros sitios donde se requiere el control de la velocidad, como es el caso de los accesos a zonas urbanas, intersecciones, cruces peatonales y zonas escolares. En total se detectaron 17 puntos que requieren esta mejora a la infraestructura, de los cuales, para el estado de Jalisco, se proponen 12 y el resto para el estado de Colima.

Tabla 4.8: Sitios que requieren control de velocidad

Sitios que requieren control de velocidad	COL	JAL	Total
Lado derecho del conductor			
Zonas escolares	1	0	1
Otros	6	3	9
Lado izquierdo del conductor			
Zonas escolares	2	1	3
Otros	6	2	8
Total de zonas escolares	3	1	4
Total de otros	12	5	17

Fuente: Elaboración propia

5 Medidas de Mejoramiento

En este capítulo se presentan una serie de recomendaciones propuestas mejorar el nivel de seguridad vial de la zona en estudio, dichas recomendaciones son propuestas a partir de las observaciones detectadas durante la Auditoría de Seguridad Vial.

5.1 Señalamiento horizontal y vertical

Mantener un señalamiento en buenas condiciones, apeándose a los lineamientos de las normas y manuales vigentes, en donde se garantice los patrones de las coordenadas cromáticas de los colores, los factores de luminancia, los coeficientes mínimos de reflexión, las formas, dimensiones y su ubicación longitudinal y lateral, así como su estado de conservación tiene beneficios rentables en cuanto a su efectividad de prevenir accidentes reduciendo sustancialmente los choques frontales y salidas de la vía, así como reducir el deterioro del pavimento del acotamiento causado por vehículos. Una correcta reflexión de las señales contribuye a que los conductores perciban con claridad la información expuesta en las señales en la condición nocturna.

La auscultación dinámica del señalamiento horizontal y vertical por medio de la tecnología AMAC (*Advanced Mobile Asset Collection*) ayuda a determinar el estado actual de las señales y marcas en la vía y con esto determinar cuáles marcas o señales requieren de mantenimiento o reemplazo de acuerdo a la normativa vigente. La tecnología AMAC determina de forma dinámica la correcta colocación de las señales en donde evalúa su altura, ángulo de colocación y el coeficiente de reflexión que debe cumplir medidos en candelas lux por metro cuadrado [(cd/lux)/m²], valorando su condición como óptima, tolerable, no legible, etc., permitiendo conocer de manera objetiva si la señal debe dejarse o sustituirse. La Tabla 5.1 muestra los valores de los coeficientes de reflexión de las películas reflejantes de las señales restrictivas. Todas las propuestas de mejoramiento del señalamiento horizontal y vertical del tramo en estudio están expuestas en el Anexo A.1 de este trabajo.

Tabla 5.1: Coeficientes mínimos de reflexión inicial para condición diurna para películas reflejantes en señales restrictivas

Color	Ángulo de observación [2] (°)	Tipo A [1]		Tipo B	
		Carreteras de dos carriles y Vías secundarias		Carreteras de cuatro o más carriles y Vías primarias	
		Ángulo de entrada [3] (°)			
		-4	30	-4	30
		Coeficientes de reflexión mínimos [(cd/lux) / m ²]			
Blanco	0.2	250	150	380	215
	0.5	95	65	240	135
	1.0			80	45
Rojo	0.2	45	25	76	43
	0.5	15	10	48	27
	1.0			16	9

[1] Para carreteras de dos carriles con accesos controlados se podrán utilizar películas reflejantes Tipo B.

[2] Ángulo relativo que existe entre el haz de luz incidente de una fuente luminosa y el haz de luz reflejado al centro del receptor. Mientras menor sea el ángulo de observación, mayor será la intensidad luminosa o reflexión.

[3] Ángulo formado entre un haz de luz incidente y una perpendicular imaginaria a la superficie del elemento reflejante. Mientras menor sea el ángulo de entrada, mayor será la intensidad luminosa o reflexión.

Fuente: Manual de Señalización Vial y Dispositivos de Seguridad, 2014.

5.2 Barreras

Las barreras son dispositivos de seguridad muy eficaces en las carreteras. Su correcta instalación es de vital importancia para que cumpla sus objetivos fundamentales de contener y redireccionar de manera segura a los vehículos que la impacten. En la NOM-037-SCT2-2012, Barreras de protección en carreteras y vialidades urbanas, se especifica la forma correcta de su instalación, que tengan libre su ancho de trabajo, que se les dé el mantenimiento adecuado y que cuente con las terminales adecuadas; es decir, que la barrera en sí no represente un peligro para el usuario. A continuación, se presentan las medidas de mejoramiento para los principales problemas encontrados durante la ASV al tramo en estudio.

Una medida de mejoramiento recomendada para aplicarse a las bifurcaciones se muestra en la Figura 5.1 donde se presentan dos ejemplos de amortiguadores de absorción de impacto.



Figura 5.1: Ejemplos de amortiguadores de absorción de impacto

Para aquellas barreras que tienen terminación tipo “cola de pescado” se recomienda reemplazar este tipo de terminales por otras más adecuadas para recibir impactos, tal y como se observa en la Figura 5.2, atendiendo también a la sugerencia de colocar todas las que hagan falta en los extremos de las barreras que no cuenten con una.



Figura 5.2: Ejemplos de terminales de impacto para barrera metálica

En lo que se refiere a conexión entre barreras metálicas de diferentes tipos, como barreras metálicas con diferente cantidad de crestas, barreras de concreto y parapetos de puentes, se recomienda hacerlo conforme a lo indicado en la normativa vigente NOM-037-SCT2-2012, Barreras de protección en carreteras y vialidades urbanas. La Figura 5.3 muestra un ejemplo de una transición de barrera metálica de dos y tres crestas y muro vertical de concreto.

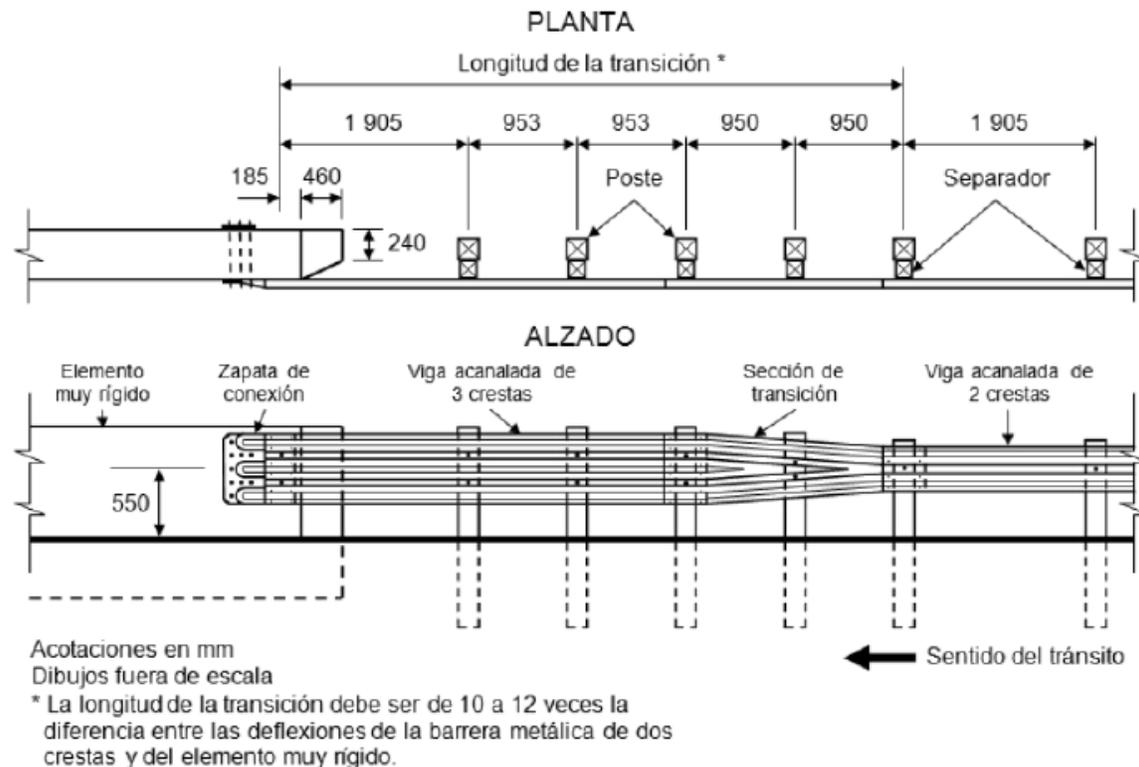


Figura 5.3: Transición de barrera metálica de dos y tres crestas y muro vertical de concreto

Fuente: NOM-037-SCT2-2012, Barreras de protección en carreteras y vialidades urbanas.

Para aquellos casos en donde se detectó la presencia de segmentos de barreras impactadas o en evidente mal estado, la medida de mejoramiento propuesta es el inmediato reemplazo.

Para los casos donde se observó la presencia de objetos adyacentes a la barrera que reducen el ancho de trabajo se recomienda valorar la eliminación de dicho objeto o de lo contrario protegerlo con una barrera rígida.

5.3 Zonas Laterales

Las zonas laterales de la vía deben estar despejadas para proporcionar una superficie traspasable por los vehículos de forma que si estos salen del camino puedan recuperarse. Se recomienda entre 9 y 10 m de zona lateral que no haya presencia de objetos peligrosos, cortes con pendiente ascendente, cunetas profundas, terraplenes, precipicios, estructuras rígidas, puntas de barreras desprotegidas, rocas de grandes dimensiones, árboles, postes, etc.

Después de haber realizado la auscultación del tramo en estudio se detectaron algunos de los elementos que se mencionaron anteriormente en las zonas laterales y que representan un peligro para los usuarios. En este apartado se efectúan propuestas de medidas de mejoramiento que eliminen o reduzcan el riesgo en las zonas laterales; es decir, se propone la reubicación o remoción o protección de los elementos que representan un peligro para evitar el accidente o reducir su severidad. En aquellos casos en los que ya existen dispositivos de seguridad, se evaluó su adecuada instalación y colocación.

La propuesta de mejoramiento para algunas señales elevadas tipo bandera consiste en cambiarla por una señal baja para que el poste no represente un riesgo, tal y como se muestra en la Figura 5.4.



Figura 5.4: Cambiar señal elevada por señal baja

Para algunos postes la medida de mejoramiento recomendada es proteger con barreras metálicas (considerando el ancho de trabajo de las mismas) y evitar que los vehículos que pierdan el control se impacten sobre éstos. En la Figura 5.5 se muestra un ejemplo de una línea de postes de la red eléctrica del tramo en estudio que requiere ser protegida por su cercanía al flujo vehicular.



Figura 5.5: Protección de postes

La medida de mejoramiento propuesta para los árboles que se encuentran ubicados en la zona lateral muy cerca de la vía (menor a 10 m) es la eliminación de éstos o de lo contrario su protección, de esta manera evitar que algún vehículo que pierda el control se impacte con ellos. La Figura 5.6 muestra un ejemplo de este caso en el tramo en estudio.



Figura 5.6: Eliminar o proteger árboles

Para el caso donde se tienen estructuras de puentes como estribos o pilas de concreto o de otros objetos fijos cercanos a la vía en donde el ancho de trabajo de las barreras metálicas no es suficiente para proteger dichas estructuras, se recomienda colocar una barrera de concreto para evitar la colisión de los vehículos errantes con las estructuras. La Figura 5.7 muestra un ejemplo de este caso en el tramo en estudio.



Figura 5.7: Ejemplo de estructura muy cercana a la vía

5.4 Bandas Alertadoras

Las bandas alertadoras son un dispositivo de seguridad vial muy eficiente ya que proporcionan una alerta vibratoria y sonora a aquellos conductores que se salen del camino, evitando de esta forma la pérdida de control del vehículo o la colisión contra objetos u otros usuarios de la vía.

La carretera MEX-200 en el tramo Manzanillo-Melaque, no cuenta con bandas alertadoras; por lo tanto, como medida de mejoramiento se propone la instalación de las mismas en los tramos donde se requiere, como son las tangentes largas, evitando su instalación en zonas urbanas, curvas o accesos. La Figura 5.8 muestra un ejemplo de un sitio en el tramo de estudio en donde se puede instalar las bandas alertadoras.



Figura 5.8: Zona apropiada para instalar bandas alertadoras

5.5 Alumbrado

El alumbrado contribuye en gran medida a mejorar las condiciones de seguridad en una vía en la condición nocturna, es por esto que durante la ASV se revisó el alumbrado en tres puntos importantes: los cruces peatonales para evitar atropellamientos, en las intersecciones, ya que si se encuentran bien iluminadas se reduce el riesgo de colisión por falta de visibilidad, y en tramos carreteros evitando de esta forma atropellamientos a peatones presentes a lo largo del camino.

La medida de mejoramiento propuesta para los tramos que no cuentan con iluminación y se encuentran urbanizados es instalar luminarias en los puntos requeridos para mejorar la visibilidad en la condición nocturna. En la Figura 5.9 se muestra un ejemplo de un sitio en el tramo de estudio en donde se requiere alumbrado.



Figura 5.9: Instalación de postes con luminarias en tramo carretero

En los sitios donde existen puentes peatonales que no cuentan con alumbrado, se recomienda instalar luminarias para mejorar la visibilidad durante la noche, con esta medida hacerlos más seguros y confiables para los peatones. La Figura 5.10 muestra un ejemplo de un puente peatonal en el tramo de estudio en donde se puede instalar luminarias.



Figura 5.10: Instalar alumbrado en puente peatonal

Para las intersecciones que no cuentan con alumbrado se recomienda colocar luminarias en los puntos requeridos para mejorar la visibilidad de la zona y reducir el riesgo de colisiones en la noche. La Figura 5.11 muestra el ejemplo de una intersección en el tramo en estudio que requiere la instalación de luminarias.



Figura 5.11: Colocar luminarias en intersecciones

5.6 Control de la Velocidad

La infraestructura para disminuir velocidad utilizada en carreteras y vialidades urbanas, normalmente se aplica en zonas donde existan evidencias o una gran probabilidad de atropellamientos. Esto puede ser en las entradas a zonas urbanas, pasos a nivel de peatones, cruces a nivel con vías férreas, intersecciones, zonas escolares, zonas comerciales, entre otras.

Se recomienda que la instalación de la infraestructura para disminuir la velocidad se apegue a la normativa vigente NOM-034-SCT2-2011. Para el caso específico del tramo en estudio, se propone la instalación de rayas logarítmicas con botones, que producen una ilusión óptica y auditiva que incita al conductor a reducir la velocidad. Es importante combinar este tipo de medida con las señales verticales adecuadas. Las rayas deben ser de color blanco reflejante de 60 cm de ancho y colocarse en forma transversal al eje de la carretera en el sentido de circulación como se muestra en la Figura 5.12. Dichas rayas deben ser realizadas, su longitud total, el número de rayas y la separación entre ellas se determinan conforme a lo señalado en la Figura 5.13 las cuales fueron extraídas del Manual de Señalización Vial y Dispositivos de Seguridad 2014.

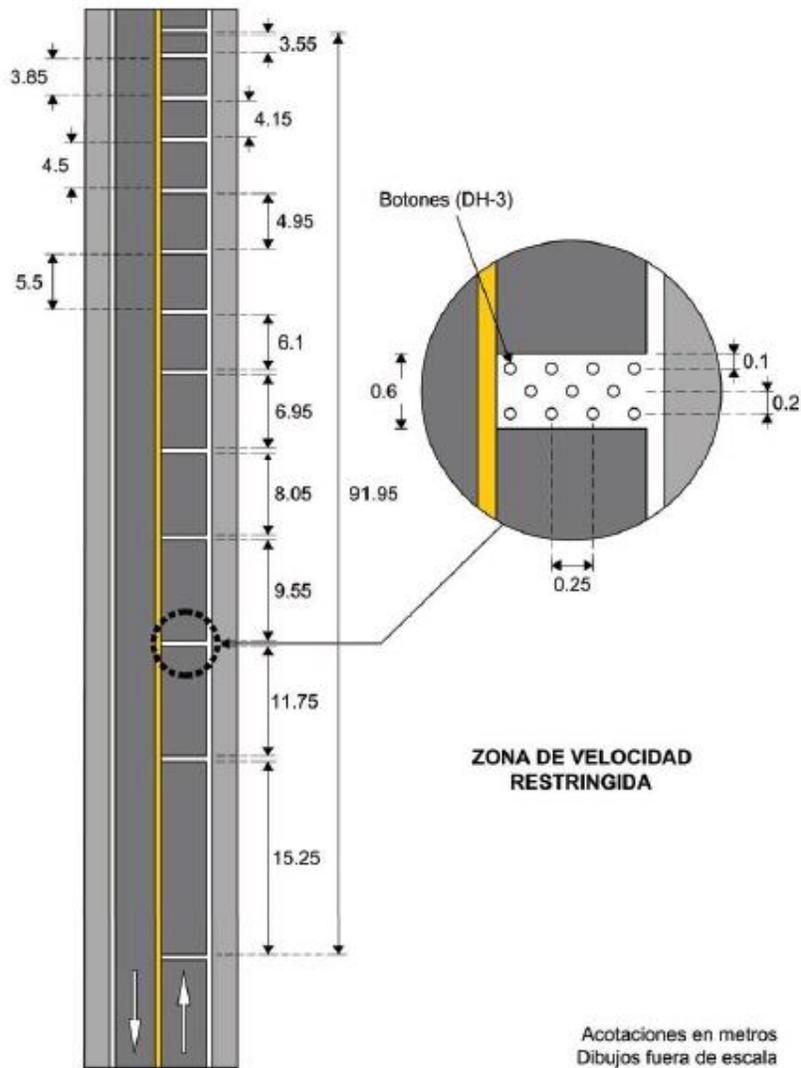


Figura 5.12: Ejemplo de colocación de rayas logarítmicas para velocidad de entrada de 50 km/h y velocidad de salida de 30 Km/h

Fuente: Manual de Señalización Vial y Dispositivos de Seguridad 2014.

	Diferencia de velocidades (km/h) / Número de líneas requeridas						
	20 / 13	30 / 20	40 / 26	50 / 32	60 / 38	70 / 44	80 / 51
Separación entre rayas (m)	15.25	15.25	15.25	15.25	15.25	15.25	15.25
	11.75	12.55	13.10	13.50	13.70	13.90	14.05
	9.55	10.70	11.50	12.05	12.50	12.80	13.05
	8.05	9.30	10.25	10.90	11.45	11.85	12.15
	6.95	8.25	9.25	10.00	10.80	11.05	11.40
	6.10	7.40	8.40	9.20	9.80	10.30	10.70
	5.50	6.70	7.70	8.50	9.15	9.70	10.10
	4.95	6.10	7.15	7.95	8.60	9.15	9.60
	4.50	5.65	6.60	7.40	8.10	8.65	9.10
	4.15	5.25	6.20	7.00	7.65	8.20	8.65
	3.85	4.85	5.80	6.60	7.25	7.80	8.25
	3.55	4.55	5.45	6.25	6.90	7.45	7.90
		4.30	5.15	5.90	6.55	7.10	7.55
		4.05	4.90	5.60	6.25	6.80	7.25
		3.85	4.65	5.35	6.00	6.55	7.00
		3.65	4.45	5.10	5.75	6.30	6.75
		3.45	4.25	4.90	5.50	6.05	6.50
		3.30	4.05	4.70	5.30	5.80	6.25
		3.15	3.90	4.50	5.10	5.60	6.05
			3.75	4.35	4.90	5.40	5.85
			3.60	4.20	4.75	5.25	5.65
			3.45	4.05	4.60	5.10	5.50
			3.30	3.90	4.45	4.95	5.35
			3.20	3.75	4.30	4.80	5.20
			3.10	3.65	4.20	4.65	5.05
				3.55	4.10	4.50	4.90
				3.45	4.00	4.35	4.75
				3.35	3.90	4.25	4.65
				3.25	3.80	4.15	4.55
				3.15	3.70	4.05	4.45
				3.10	3.60	3.95	4.35
					3.50	3.85	4.25
				3.40	3.75	4.15	
				3.30	3.65	4.05	
				3.20	3.55	3.95	
				3.10	3.45	3.85	
				3.05	3.35	3.75	
					3.30	3.65	
					3.25	3.55	
					3.20	3.45	
					3.15	3.40	
					3.10	3.35	
					3.05	3.30	
						3.25	
						3.20	
						3.15	
						3.10	
						3.05	
						3.00	
						2.95	
Σ_1	84.15	122.30	158.40	194.40	231.25	266.35	304.20
Σ_2	91.95	134.30	174.00	213.60	254.05	292.75	334.80

Σ_1 = Longitud de espaciamiento

Σ_2 = Longitud total (espaciamiento + anchura de la raya)

Figura 5.13: Separación entre rayas con espaciamiento logarítmico

Fuente: Manual de Señalización Vial y Dispositivos de Seguridad 2014.

6 Conclusiones y recomendaciones

Con el sistema de auscultación dinámica AMAC (*Advanced Mobile Asset Collection*), se logró evaluar la condición física actual del señalamiento vertical y horizontal en el tramo de estudio, se obtuvieron las dimensiones, la posición, la altura, ángulo de colocación y los niveles de reflexión de estos. También fue posible determinar los niveles de visibilidad de las señales y marcas dando información para valorar las señales que requieren mantenimiento o reemplazo de acuerdo a los parámetros estipulados que deben cumplir en la normativa vigente NOM -034-SCT2-2011.

Con base en la auscultación realizada fue posible obtener, para ambos lados de la vía y por entidad federativa, los principales requerimientos del señalamiento vertical y horizontal.

Por su parte, la metodología iRAP es de gran ayuda para identificar los principales puntos de riesgo en las carreteras, también resulta de gran utilidad como herramienta de planeación y guía para la implementación de acciones en el ámbito de la seguridad vial. Con fundamento en los valores de eficiencia propuestos por iRAP, para cada medida de mejoramiento, se puede concluir que tendrán un impacto directo en la disminución de muertos y lesionados graves durante la ocurrencia de un accidente.

El análisis de datos obtenidos para el tramo, demostró que el tramo Manzanillo-Melaque la carretera MEX-200 es de gran importancia ya que cuenta con un TDPA de aproximadamente 10,000 vehículos, de los cuales el 25% son vehículos pesados. Respecto al análisis de la accidentalidad se tiene un total de 111 accidentes, de los cuales se registran 17 muertos y 138 lesionados en un periodo de 5 años ubicándola como una de las carreteras que presentan más saldos de percances a nivel nacional. Dado la anterior se demuestra la importancia de atender dicho tramo carretero.

La ASV realizada por medio del recorrido en vídeo demostró ser una herramienta muy valiosa para garantizar que el tramo en estudio cumpla con criterios óptimos de seguridad vial, asimismo ayudó a ubicar los sitios y elementos de la vía que pudieran representar un riesgo a los usuarios. Como resultado de la ASV se encontraron un total de 11 deficiencias generales, presentes a lo largo de todo el tramo.

A partir de los hallazgos encontrados en el punto anterior, se generaron los programas detallados de trabajo para los sitios que requieren instalar cada medida de mejoramiento. Estos programas serán de gran utilidad para elaborar los proyectos ejecutivos y términos de referencia de una futura licitación de obras.

Las medidas y acciones sugeridas en este trabajo son, en su mayoría, de bajo costo y alto impacto pudiéndose obtener grandes beneficios, los cuales se verán reflejados en la disminución de accidentes, muertos y lesionados graves.

Con base en los conocimientos obtenidos al realizar este trabajo se puede concluir que un buen proyecto carretero que incorpore criterios de seguridad vial puede reducir la probabilidad de ocurrencia de accidentes o, en su defecto, minimizar el efecto de los mismos, ya que es más fácil diseñar y construir caminos más seguros, que modificar los existentes.

La Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT) invierte importantes recursos para el mejoramiento de la RCF. Los resultados de los trabajos realizados por iRAP y AMAC es información de gran valor pues permite contribuir a la mejora sustancial de la seguridad vial. Sin embargo, existe un “hueco técnico” entre los datos proporcionados y la materialización de las obras que mejoren el nivel de seguridad vial de la infraestructura para que funcione como una vía que sea indulgente ante el error humano y proporcione estándares de seguridad vial óptimos para todos los usuarios. Este trabajo pretende llenar ese “hueco técnico” al proporcionar una guía para la elaboración de los proyectos ejecutivos de conservación y mejoramiento de seguridad vial, partiendo de los resultados de los trabajos realizados por iRAP y AMAC, atendiendo todas las deficiencias encontradas de forma ordenada y priorizando aquellos problemas y puntos de mayor conflicto, contribuyendo de esa forma a la reducción de los accidentes de tránsito y sus consecuencias.

Bibliografía

- Abarca Pérez, E., Méndoza Díaz, A., & Pérez Castro, J. G. (2013). Proyecto de Mejoramiento de un Tramo Carretero a Partir de su Evaluación con el Modelo iRAP. Instituto Mexicano del Transporte(389), 17-146.
- Advanced Mobile Asset Collection (AMAC). (s.f.). Advanced Mobile Asset Collection. Recuperado el 15 de 04 de 2016, de <http://www.amacglobal.com>
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2009). Highway Safety Manual. AASHTO, Washington D.C., Estados Unidos de América.
- Arriaga Patiño, M., Garnica Anguas, P., & Rico Rodríguez, A. (1998). Índice Internacional de Rugosidad en la Red Carretera de México. Sanfandila, Qro.
- Australian Road Assessment Programme. (2005). Methodology. AusRAP and Australian Automobile Association, Canberra, Australia.
- Australian Road Assessment Programme. (2008). Comparing risk maps and star ratings. AusRAP Technical Working Paper, Grupo ARRB, Canberra, Australia.
- Breen, J., Howard, E., & Bliss, T. (2008). An independent review of road safety in Sweden. Publicación 2008:109, Swedish Road Administration, Estocolmo, Suecia.
- Cairney, P., & Bennett, P. (2013). An exploratory study of surface characteristics and crash occurrence on selected roads in Australia. Research Report ARR 382, ARRB Group Ltd, Victoria, Australia.
- Cal y Mayor R., R., & Cárdenas G., J. (2007). Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones . México: Alfaomega.
- Canadian Road Assessment Programme. (2009). Feasibility Study (CanRAP): Data Collection and Analysis. Transport Canada, Ottawa, Canadá.
- Centeno, A., & Urzúa, J. (2014). Resultados iRAP-México 2012. IV Congreso Ibero-Americano de Seguridad Vial, Cancún, México.
- Colucci, B., & Valle, D. (2014). Desarrollo de Modelos de Predicción de Choques Aplicables a Franjas Resonantes en Bermas en Autopistas. IV Congreso Ibero-Americano de Seguridad Vial (CISEV), Cancún, México.

- Cuevas Colunga, A. C., Pérez Castro, J. G., Mayoral Grajeda, E. F., & Mendoza Días, A. (2014). Anuario Estadísticos de Accidentes en Carreteras Federales. Sanfandila, Qro, 2015.
- Cuevas, C., Gómez, N., Villegas, N., Mayoral, E., & Mendoza, A. (2013). Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales (2010). Documento Técnico No. 51, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México.
- Cuevas, C., Gómez, N., Villegas, N., Mayoral, E., & Mendoza, A. (2013). Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales (2011). Documento Técnico No. 56, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México.
- Cuevas, C., Mayoral, E., & Mendoza, A. (2011). Definición de indicadores de seguridad vial en la red carretera federal. Publicación Técnica No. 345, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México.
- Cuevas, C., Villegas, N., Mayoral, E., & Mendoza, A. (2010). Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales (2009). Documento Técnico No. 46, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México.
- Cuevas, C., Villegas, N., Mayoral, E., & Mendoza, A. (2014). Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales (2012). Documento Técnico No. 57, Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México.
- Díaz-Pineda, J. (2008). Auditorías de Seguridad Vial, Experiencia en Europa. I CISEV, Instituto Ibero-Americano de Seguridad Vial, San José, Costa Rica.
- Dourthé Castellón, A., & Salamanca Candia, J. (2003). Guía Para Realizar una Auditoría de Seguridad Vial. Santiago, Chile.: CONASET.
- Elvik, R. (2007). State-of-the-art approaches to road accident black spot management and safety analysis of road networks. Institute of Transport Economics, Oslo, Noruega.
- Espinoza, R. (2014). Uso de bases de datos en el desarrollo de metodologías para evaluar la susceptibilidad de accidentes de tránsito en vías urbanas. IV Congreso Ibero-Americano de Seguridad Vial (CISEV), Cancún, México.
- European Road Assessment Programme. (2011). Crash Rate - Star Rating Comparisons. iRAP/EuroRAP Working Paper 504.2, Hampshire, Reino Unido.
- European Road Assessment Programme. (2013). RAP Road Risk Mapping Manual: Design Specification. EuroRAP RAP-RM-3.1, Hampshire, Reino Unido.

- European Road Assessment Programme. (2013). RAP Road Risk Mapping Manual: Technical Specification. EuroRAP RAP-RM-2.1, Hampshire, Reino Unido.
- Gómez González, N., Saucedo Rojas, M. G., Pérez Castro, J. G., Rios Quesada, G., Abarca Pérez, E., & Mendoza Díaz, A. (2015). Mejoras de Seguridad Vial de la Infraestructura del tramo carretero Querétaro-San Luis Potosí, a partir de su evaluación iRAP. Sanfandila, Qro.
- Gómez González, N., Saucedo Rojas, M. G., Pérez Castro, J. G., Rios Quesada, G., Abarca Pérez, E., & Mendoza Díaz, A. (2015). Mejoras de la Seguridad Vial de la Infraestructura de un Tramo Carretero, Apartir de su Evaluación iRAP. Sanfandila, Qro.
- Harwood, D., Gilmore, D., & Bauer, K. (2010). usRAP Pilot Program: Phase III. MRI Project No. 310537.1.021, AAA Foundation for Traffic Safety, Washington D.C., E.U.A.
- Hauer, E. (2001). La seguridad vial de las normas del trazado. Revista RUTAS No. 83, Asociación Técnica de Carreteras, Madrid, España.
- Hauer, E., Harwood, D., Council, F., & Griffith, M. (2002). Estimating safety by the empirical bayes method: a tutorial. Statistical Methodology: Applications to design, data analysis and evaluation, Journal of the Transportation Research Board No. 1784, TRB, Washington D.C., E.U.A.
- INEGI. (2009). Síntesis Metodológica de la Estadística de Accidentes de Tránsito Terrestre en Zonas Urbanas y Suburbanas. Aguascalientes: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). Anuario estadístico y geográfico de los Estados Unidos Mexicanos 2014. ISBN 978-607-739-409-9, INEGI, Aguascalientes, México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015). Anuario estadístico y geográfico de los Estados Unidos Mexicanos. Aguascalientes México: ISBN 978-607-739-733-5.
- International Road Assessment Programme (iRAP). (2012). Software VIDA de International Road Assessment Programme. Recuperado el 10 de 04 de 2016, de <https://vida.irap.org>
- International Road Assessment Programme (iRAP). (2012). toolkit.irap.org. Recuperado el 25 de 04 de 2016, de <http://www.toolkit.irap.org>
- INTERNATIONAL ROAD ASSESSMENT PROGRAMME, iRAP. (2012). Planes de Inversion Para Vias mas Seguras. Hampshire, Reino Unidos.

International Road Assessment Programme. (20 de Julio de 2014). Proyecto iRAP-México 2012. Obtenido de ViDA: www.vida.irap.org

International Road Assessment Programme. (2014). Methodology. iRAP Fact Sheets 1-14, Hampshire, Reino Unido.

iRAP. (s.f.). Calificación por Estrellas para Vías Más Seguras.

Justo-Sierra, F. (2011). Ingeniería de seguridad vial: relación entre los caminos y la gente que muere en y por ellos. Documento No. 3, Instituto del Transporte, Academia Nacional de Ingeniería, Buenos Aires, Argentina.

Lynam, D. (2012). Development of Risk Models for the Road Assessment Programme. iRAP y Transport Research Laboratory (TRL), Londres, Reino Unido.

MaMahon, K., & Dahdah, S. (2010). El verdadero costo de las colisiones viales: el valor de una vida y el costo de una lesión grave. iRAP y Fundación FIA para el Automóvil y la Sociedad, Hampshire, Reino Unido.

Martín, O., Diez, F., Pedrero, D., & Molinero, A. (2012). Identificación y caracterización de los objetos de los márgenes de la carretera que son impactados en accidentes por salidas de la vía. Cod. 0100.DGT21356 v3, Fundación CIDAUT, Valladolid, España.

Mendoza Díaz, A., Abarca Pérez, E., & Saucedo Rojas, M. G. (2011). Prácticas para evaluar la calidad de infraestructura carretera de cuota. Sanfandila, Qro.

OMS. (2013). Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial 2013. Departamento de Prevención de la Violencia, los Traumatismos y la Discapacidad (VIP), OMS, Ginebra, Suiza.

ONU. (2011). Plan Mundial para el Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011-2020. Ginebra, Suiza.

Organización de Naciones Unidas. (2011). Plan Mundial para el Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011-2020. ONU, Ginebra, Suiza.

Organización Mundial de la Salud. (2011). Salvemos millones de vidas. OMS, Ginebra, Suiza.

Organización Mundial de la Salud. (2013). Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial 2013. Departamento de Prevención de la Violencia, los Traumatismos y la Discapacidad (VIP), OMS, Ginebra, Suiza.

Pardillo, J. (2004). Procedimientos de Estudio, Diseño y Gestión de Medidas de Seguridad Vial en las Infraestructuras. 1era Edición, Fundación Agustín de Betancourt, ISBN: 84-609-3331-8, Madrid, España.

- Poong Hung, C., & Ramírez Culebro, J. A. (2016). Identificación de puntos de riesgo en las carreteras de México. *AMIVTAC VÍAS TERRESTRES*, 22-24.
- Real Academia Española. (2001). *Diccionario de la Lengua Española*. 22a Edición, Madrid, España.
- Secretaría de Comunicaciones y transportes (SCT). (s.f.). Datos Viales 2010-2014. Dirección General de Servicios Técnicos (DGST). Recuperado el 10 de 05 de 2016, de <http://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/datos-viales/>
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2014). Estrategias de mejora para la seguridad de la infraestructura en México. IV congreso Ibero-Americano de Seguridad Vial. Cancún, México.
- Xumini, L. (2009). La seguridad vial y las infraestructuras. *Revista RUTAS* No. 130, Asociación Técnica de Carreteras, Madrid, España.



Carretera Querétaro-Galindo km 12+000
CP 76700, Sanfandila
Pedro Escobedo, Querétaro, México
Tel +52 (442) 216 9777 ext. 2610
Fax +52 (442) 216 9671

publicaciones@imt.mx

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