Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ingeniería de Vías Terrestres

NOMBRE DE LA TESIS

**Validación del impacto de la infraestructura en la accidentalidad en carreteras federales**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Ingeniería de Vías Terrestres

**Presenta:**
Jaime Guillermo Pérez Castro

**Dirigido por:**
M. en I. Emilio Abarca Pérez

SINODALES

M. en I. Emilio Abarca Pérez
Presidente

Firma

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza
Secretario

Firma

Dr. Alberto Mendoza Díaz
Vocal

Firma

Dr. Saúl Antonio Obregón Biosca
Suplente

Firma

M. en I. Rubén Ramírez Jiménez
Suplente

Firma

Dr. Aurelio Domínguez González
Director de la Facultad

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Directora de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Julio 2015
México

REPOSITORIO INSTITUCIONAL DGBSDI-UAQ

**La presente obra está bajo la licencia:**
**https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es**

# CC BY-NC-ND 4.0 DEED

## Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

### Usted es libre de:

**Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

### Bajo los siguientes términos:

**Atribución** — Usted debe dar crédito de manera adecuada , brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios . Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.

**NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales .

**SinDerivadas** — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, no podrá distribuir el material modificado.

**No hay restricciones adicionales** — No puede aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

### Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una excepción o limitación aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como publicidad, privacidad, o derechos morales pueden limitar la forma en que utilice el material.

**RESUMEN**

La infraestructura vial es uno de los factores que influyen directamente en la ocurrencia de colisiones de tránsito, la cual es altamente controlable bajo una adecuada gestión, planeación, diseño y construcción de las vías terrestres, naciendo así, la ingeniería de seguridad vial cuyo objetivo es la reducción de las muertes y lesiones ocurridas en las vías a través del diseño de soluciones de mitigación de riesgos en la infraestructura.

Actualmente, existen metodologías para evaluar la seguridad de la infraestructura, tales como los Programas de Evaluación de Carretera conocidos como RAP (Road Assessment Programme), siendo la versión internacional (iRAP) la que se aplicó en México, inspeccionando 45 mil km de la Red Carretera Federal durante 2012. A raíz de este proyecto surge la iniciativa de verificar si la seguridad de la infraestructura se encuentra vinculada con la seguridad real medida a través de los saldos de accidentes, validando la aplicación de la metodología de iRAP como una herramienta para la identificación de sitios de alta siniestralidad. Dado lo anterior, esta investigación tiene por objetivo realizar un análisis estadístico que arroje un grado de correlación entre la clasificación por estrellas de iRAP, obtenida a través del puntaje de protección de la vía (PPV), y los índices de siniestralidad en carreteras federales en base a registros de la Policía Federal.

Como resultado de este estudio se espera avanzar en el conocimiento de la relación infraestructura-accidentalidad, así como en la aplicación y mejoras en la precisión de nuevas metodologías que evalúen la seguridad vial. Lo anterior se considera relevante dado que en México se continúa utilizando la metodología iRAP, para lo cual es importante establecer una estrategia que atienda los sitios de conflicto en función no solo del riesgo obtenido por iRAP sino también considerando las estadísticas de siniestralidad, contribuyendo a la generación de un sistema vial seguro.

(Palabras clave: seguridad vial, infraestructura, accidentalidad)

**SUMMARY**

The road infrastructure is one of the main factors that strongly influence in road crashes; however it is also highly manageable by the proper management, planning, design and construction of roadways, leading to the foundations of road safety engineering which is aimed to reduce fatalities and serious injuries through the design of risk mitigation solutions in road infrastructure.

Nowadays, there are several methodologies developed to assess the safety provided by the infrastructure, such as the Road Assessment Programme, also known as RAP, being the international version (iRAP) the one applied in México to assess 45 thousand km of the Federal Roadway Network during 2012. Following this project, an initiative was taken to verify whether the infrastructure safety is linked to road crashes outcomes, leading to a validation of the RAP methodology as a tool for black spots management; therefore, this research is aimed to perform statistical analysis to achieve a certain degree of correlation between the iRAP star rating, obtained through the star rating score (SRS), and the crash rates in federal roadways based on records of the Federal Police.

As a result of this research, it is hoped to move forward in the knowledge of the relationship between infrastructure and road crashes, as well as in the performance and improvement of new methodologies that assess the road safety. Since México has adopted the iRAP methodology for a continuous assessment, it is important to stablish a strategy that addresses black spots in terms not only of the risk estimated by iRAP but also involving crash statistics, aiming to develop a safe system.

(Key words: road safety, infraestructure, crash rates)

**AGRADECIMIENTOS**

A mis familiares, les agradezco el apoyo incondicional que siempre me han brindado.

A mis compañeros y amigos, les agradezco las experiencias compartidas durante esta travesía.

A mis maestros de yoga, les agradezco sus enseñanzas para mantener el equilibrio en mi vida.

A mis asesores de tesis, les agradezco su guía durante todo el proceso, especialmente a la M. en C. Cecilia Cuevas por sus sabios consejos.

Esta investigación fue financiada con fondos de la Red Temática de Accidentes Viales (Número 253411), como parte del programa de Redes Temáticas 2015 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT).

## ÍNDICE

**RESUMEN** **I**
**SUMMARY** **II**
**AGRADECIMIENTOS** **III**
**ÍNDICE DE CUADROS** **VI**
**ÍNDICE DE FIGURAS** **IX**
**1. INTRODUCCIÓN** **1**
1.1 OBJETIVO 11
1.2 HIPÓTESIS 12
**2. REVISIÓN DE LA LITERATURA** **13**
2.1 TÉCNICAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD EN LA INFRAESTRUCTURA 17
2.2 TÉCNICAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE SITIOS DE ALTA CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO 25
2.3 EL ROL DE LA VÍA EN LA ACCIDENTALIDAD 35
**3. METODOLOGÍA** **41**
3.1 RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN 41
3.2 GENERACIÓN DE BASES DE DATOS 42
3.3 SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA DE ESTUDIO 43
3.4 ANÁLISIS DE LA CLASIFICACIÓN POR ESTRELLAS Y EL PUNTAJE DE PROTECCIÓN DE LA VÍA (PPV) 44
3.5 ANÁLISIS DE LA ACCIDENTALIDAD 44
3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENTRE EL PPV Y LA ACCIDENTALIDAD 45
**4. GENERACIÓN DE BASES DE DATOS Y SELECCIÓN DE MUESTRA** **47**
4.1 BASE DE DATOS DE IRAP-MÉXICO FASE I 49
4.2 BASE DE DATOS DE ACCIDENTALIDAD 51
4.3 SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE MUESTRA 52
4.3.1 Datos de iRAP 52
4.3.2 Datos de accidentes 56
**5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y COMPARATIVO: RESULTADOS** **59**
5.1 ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LA CLASIFICACIÓN POR ESTRELLAS Y EL PUNTAJE DE PROTECCIÓN DE LA VÍA (PPV) 59

5.2 ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LA ACCIDENTALIDAD Y LAS VÍCTIMAS 73
5.3 RELACIÓN ENTRE LA CLASIFICACIÓN POR ESTRELLAS Y LA ACCIDENTALIDAD 78
5.3.1 Índice de accidentalidad 83
5.3.2 Daños materiales equivalentes únicos (EPDO) 89
5.3.3 Costo de accidentes 94
5.3.4 Mapas de riesgo RAP 99
5.3.5 Tránsito Diario Promedio Anual 108
5.3.6 Aplicación de la metodología iRAP en sitios de conflicto 117
**6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 128**
6.1 LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN 132
**7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 134**
**A. APÉNDICES 140**

## ÍNDICE DE CUADROS


| Cuadro | | Página |
|---|---|---|
| 1.1 | Evolución de la accidentalidad en zonas urbanas y suburbanas | 6 |
| 1.2 | Evolución de la accidentalidad en la RCF | 7 |
| 1.3 | Indicadores de accidentalidad en la RCF, por entidad federativa | 9 |
| 2.1 | Clasificación por estrellas RAP | 23 |
| 2.2 | Resultados del proyecto iRAP-México Fase I (2012) | 24 |
| 2.3 | Bandas de riesgo estandarizas para mapas de riesgo RAP | 34 |
| 3.1 | Indicadores de accidentalidad utilizados para el análisis | 45 |
| 4.1 | Longitud inspeccionada para análisis (Muestra) | 53 |
| 4.2 | Número de elementos de la muestra con PPV | 55 |
| 4.3 | Número de elementos de la muestra, por grupos de estudio | 55 |
| 4.4 | Saldos de accidentes en la RCF, por año | 57 |
| 4.5 | Número de elementos de la muestra con accidentes con víctimas, por periodo | 58 |
| 5.1 | Bandas de clasificación por estrellas y PPV | 63 |
| 5.2 | Estadísticos descriptivos del PPV, por tipo de segmentación y grupo (longitud total) | 66 |
| 5.3 | Estadísticos descriptivos del PPV, por grupo y clasificación de estrellas para las segmentaciones de iRAP (longitud total) | 67 |
| 5.4 | Estadísticos descriptivos del PPV, por grupo y clasificación de estrellas para los segmentos agrupados (longitud total) | 69 |
| 5.5 | Estadísticos descriptivos del PPV, por tipo de segmentación y grupo (segmentos que reportaron accidentes durante el periodo de estudio) | 73 |

5.6 Estadísticos descriptivos de los accidentes con víctimas, por tipo de segmentación y grupo 74

5.7 Estadísticos descriptivos de las víctimas, por tipo de segmentación y grupo 75

5.8 Distribución de longitud, accidentes con víctimas y víctimas, por tipo de segmentación y grupo 77

5.9 Distribución de longitud, accidentes con víctimas y víctimas, por grupo, clasificación de estrellas y tipo de segmentación 78

5.10 Índice de accidentalidad, por grupo y para los tipos de segmentación 86

5.11 EPDO, por grupo y para los tipos de segmentación 91

5.12 Valor histórico del PIB/cápita (USD) 94

5.13 Costo de accidentes, por C.E. 96

5.14 Bandas de riesgo normalizadas para mapas de riesgo RAP 100

5.15 Comparación entre clasificación por estrellas y el mapa de riesgo del índice de accidentalidad (número de segmentos) 101

5.16 Comparación entre clasificación por estrellas y el mapa de riesgo de la densidad de accidentes anual (número de segmentos) 102

5.17 Distribución porcentual de bandas de riesgo, por C.E. 106

5.18 Clases de TDPA, por grupo 108

5.19 Indicadores de accidentalidad para el grupo 2CL, por clases de TDPA 109

5.20 Número de segmentos con accidentes con vehículos pesados (de carga), por clases de TDPA 116

5.21 Accidentes promedio (con vehículos pesados), por C.E. y por clases de TDPA 116

5.22 Segmentos con altos niveles de accidentalidad (catálogo IMT) 118

5.23 Indicadores de accidentalidad, por segmento 118

5.24 Sitios de conflicto 123

5.25 Velocidades en los sitios de conflicto 123

5.26 Saldos de accidentes en los sitios de conflicto 124

A.1 Lista de carreteras dentro del estudio 141

A.2 Diccionario de datos 146

## ÍNDICE DE FIGURAS


| Figura | | Página |
|---|---|---|
| 1.1 | Población, muertes por accidentes de tránsito y vehículos motorizados registrados, en función de los ingresos de los países | 2 |
| 1.2 | Muertes por accidentes de tránsito por cada 100,000 habitantes, en función de regiones de la OMS | 2 |
| 1.3 | Proyecciones de las defunciones para 2020 | 4 |
| 2.1 | Sistema de gestión de la seguridad vial | 13 |
| 2.2 | Esquema de la metodología de iRAP | 22 |
| 2.3 | Clasificación por estrellas vs costo de accidentes por vehículo-kilómetro recorrido (Resultados AusRAP) | 39 |
| 3.1 | Clasificación de la muestra de estudio (grupos de estudio) | 43 |
| 3.2 | Metodología (diagrama de flujo) | 46 |
| 4.1 | Distribución de elementos en cada grupo de estudio, por tipo de base | 56 |
| 5.1 | Ecuación para el cálculo del PPV (ocupantes de vehículos) | 62 |
| 5.2 | Distribución de la longitud y clasificación por estrellas, para cada tipo de segmentación | 65 |
| 5.3 | Histogramas del PPV para carreteras de cuota | 72 |
| 5.4 | Histogramas del PPV para carreteras libres | 72 |
| 5.5 | Distribución de accidentes con víctimas, por grupo | 76 |
| 5.6 | Porcentaje de longitud, accidentes y víctimas, para la segmentación de 100 m y suavizado | 77 |
| 5.7 | Distribución porcentual de longitud, accidentes con víctimas y víctimas para el grupo 2CL, por C.E. (segmentos de iRAP) | 81 |

5.8 Distribución porcentual de longitud, accidentes con víctimas y víctimas para el grupo 2CL, por C.E. (segmentos agrupados) 81

5.9 Distribución del valor de la media de accidentes con víctimas para el grupo 2CL, por C.E. (segmentos de iRAP) 82

5.10 Distribución del valor de la media de accidentes con víctimas para el grupo 2CL, por C.E. (segmentos de iRAP con accidentes) 83

5.11 Distribución del valor de la mediana del índice de accidentalidad para el grupo 2CL, por C.E. (segmentos de iRAP) 85

5.12 Distribución del valor de la mediana del índice de accidentalidad para el grupo 2CL, por C.E. (segmentos de iRAP con accidentes) 85

5.13 Distribución del valor de la mediana del índice de accidentalidad, por grupo (segmentos de iRAP con accidentes) 88

5.14 Distribución del valor de la mediana del índice de accidentalidad, por grupo (segmentos agrupados con accidentes) 89

5.15 Distribución del valor de la media/mediana del EPDO para el grupo 2CL, por C.E. (segmentos de iRAP con accidentes) 90

5.16 Distribución del valor de la media/mediana del EPDO por veh-km para el grupo 2CL, por C.E. (segmentos de iRAP con accidentes) 90

5.17 Distribución del valor de la media/mediana del EPDO por veh-km, por grupo (segmentos de iRAP con accidentes) 93

5.18 Distribución del valor de la media del EPDO por veh-km, por grupo (segmentos agrupados con accidentes) 93

5.19 Distribución del valor de la media/mediana del costo de accidentes para el grupo 2CL, por C.E. (segmentos de iRAP con accidentes) 95

5.20 Distribución del valor de la media del costo de accidentes por veh-km para el grupo 2CL, por C.E. (segmentos de iRAP con accidentes) 95

5.21 Distribución del valor de la media del costo de accidentes en millones de USD, por grupo (segmentos de iRAP con accidentes) 98

5.22 Distribución del valor de la media del costo de accidentes en millones de USD, por grupo (segmentos agrupados con accidentes) 98

5.23 Bandas de riesgo, por C.E. 103

5.24 Bandas de riesgo para el grupo 2CL, por C.E. 104

5.25 Mapa de riesgo del índice de accidentalidad 106

5.26 Mapa de riesgo de la densidad de accidentes 107

5.27 Mapa de la clasificación por estrellas (segmentos de 5000 m) 107

5.28 Valor de la media de accidentes con víctimas para el grupo 2CL, por clases de TDPA 112

5.29 Valor de la media del EPDO para el grupo 2CL, por clases de TDPA 113

5.30 Valor de la media del costo de accidentes en millones de USD para el grupo 2CL, por clases de TDPA 114

5.31 Accidentes promedio (con vehículos pesados) en segmentos con un porcentaje de vehículos pesados mayor al 15% del TDPA, por C.E. 117

5.32 Distribución del PPV y accidentalidad del segmento 1, por km 119

5.33 Distribución del PPV y accidentalidad del segmento 2, por km 120

5.34 Distribución del PPV y accidentalidad del segmento 3, por km 121

5.35 Distribución del PPV y accidentalidad del segmento 4, por km 122

5.36 Ubicación geográfica y descripción del segmento 1 125

5.37 Ubicación geográfica y descripción del segmento 2 125

5.38 Ubicación geográfica y descripción del segmento 3 126

5.39 Ubicación geográfica y descripción del segmento 4 126

# 1. INTRODUCCIÓN

Un accidente se define como un suceso eventual que altera el orden regular de las cosas y que resulta en daños para las personas o cosas, mientras que un accidente de tránsito se define como aquél que tiene lugar en una vía pública de transporte e involucra por lo menos un vehículo en movimiento (Real Academia Española, 2001). Por otro lado, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2014) define al accidente de tránsito como un percance vial que se presenta súbita e inesperadamente, determinado por condiciones y actos irresponsables potencialmente previsibles, los cuales ocasionan pérdidas prematuras de vidas humanas y/o lesiones, así como secuelas físicas o psicológicas, perjuicios materiales y daños a terceros.

Los accidentes de tránsito son uno de los principales problemas de salud pública a nivel mundial, de acuerdo a cifras generadas por la Organización Mundial de Salud (OMS) a través de su “Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial” (2013), donde anualmente se contabilizan 1.24 millones de personas que pierden la vida y 50 millones de personas que resultan gravemente heridas como consecuencia de haber estado involucrado en un accidente de tránsito. De igual manera, los accidentes de tránsito son la octava causa mundial de muerte y la primera causa de muerte entre jóvenes de 15 y 29 años de edad. Las tendencias actuales indican que para el 2030, los accidentes de tránsito pasarán a ser la quinta causa mundial de muerte de no tomar las medidas pertinentes. Cabe mencionar que el 80% de estas muertes ocurren en países en vías de desarrollo o de ingresos medios que abarcan el 72% de la población mundial, tal como lo muestra la Figura 1.1, donde se destaca a su vez el 52% del parque vehicular mundial, es decir, la problemática de la mortalidad por causa de accidentes de tránsito recae principalmente en los países de ingresos medios como México. Por otra parte, la Figura 1.2 establece la relación entre las tasas de mortalidad de las diferentes regiones del mundo, donde se observa que la región

de las Américas presenta la segunda tasa de mortalidad más baja, no obstante que pueden existir grandes variaciones entre países de una misma región, para el caso de México se tiene una tasa de mortalidad de 15 aproximadamente.

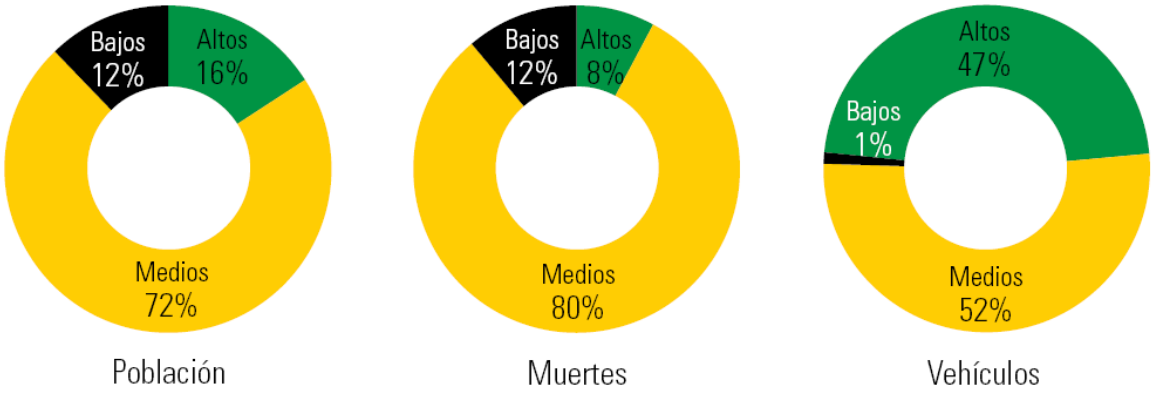


Figura 1.1 Población, muertes por accidentes de tránsito y vehículos motorizados registrados, en función de los ingresos de los países

Fuente (Organización Mundial de la Salud, 2013)

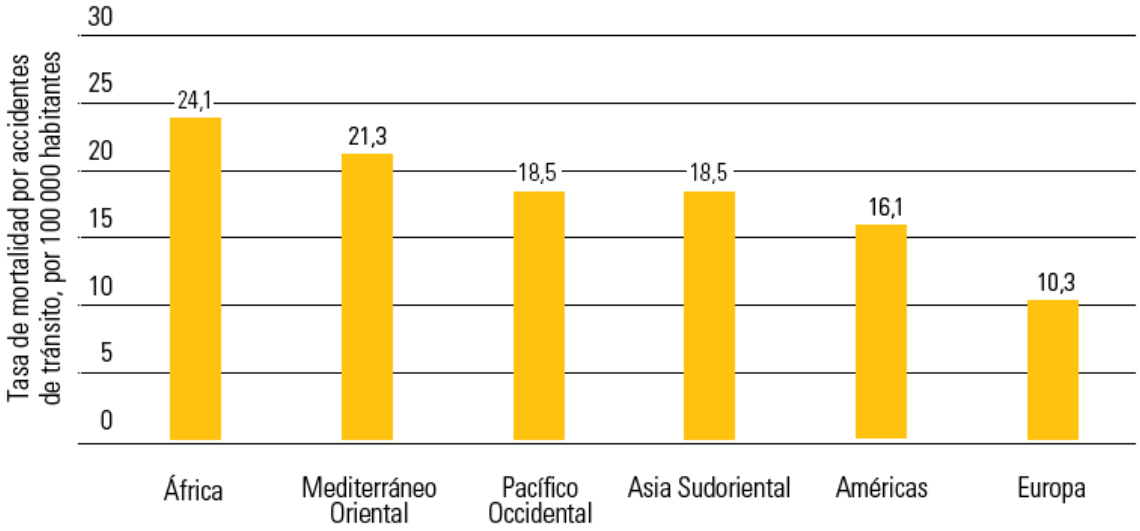


Figura 1.2 Muertes por accidentes de tránsito por cada 100,000 habitantes, en función de regiones de la OMS

Fuente (Organización Mundial de la Salud, 2013)

Mientras se espera que las muertes producto de accidentes de tránsito decrezcan en los países desarrollados, éstas aumentarán en el orden de un 80% en el resto del mundo de acuerdo a proyecciones de la misma OMS. Ante esta problemática, se ha ido desarrollando una tendencia de exigencia social de mejorar los niveles de seguridad vial. De aquí nace el tema de Seguridad Vial como una política pública que busca garantizar e impulsar la movilidad de una forma segura, equitativa, saludable y sustentable para cada uno de los usuarios que comparten la vía pública. A su vez, como reflejo de las importantes repercusiones sociales y económicas de la seguridad vial, la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en su Asamblea General Ginebra 03/2010, declaró el periodo 2011-2020 como el Decenio para la Acción en Seguridad Vial donde se espera que importantes esfuerzos se lleven a cabo para mejorar la seguridad vial bajo la planeación estratégica en cinco pilares expuestos en el Plan Mundial de la ONU (2011) de la siguiente manera:

1. Gestión de la seguridad vial. Fortalecer la capacidad de gestión de la seguridad vial a través de la creación de alianzas interinstitucionales y designación de organismos coordinadores con la capacidad de elaborar estrategias, planes y metas nacionales en materia de seguridad vial.
2. Vías de tránsito y movilidad más seguras. Promover la planeación, diseño y construcción de infraestructura más segura que incremente la protección de los usuarios, especialmente de aquellos más vulnerables.
3. Vehículos más seguros. Alentar el desarrollo de tecnologías más seguras en los vehículos, así como fomentar la renovación y/o mantenimiento del parque vehicular que transita por las vías terrestres.
4. Usuarios de vías de tránsito más seguros. Implementación de programas integrales para mejorar el comportamiento de los usuarios de la vía, así como sensibilización sobre los distintos riesgos que representa la conducción.

5. Respuesta tras los accidentes. Mejorar la capacidad de atención tras la ocurrencia de algún accidente de tránsito, así como mejorar los sistemas de salud para darle un adecuado seguimiento a las personas involucradas.

Dicha estrategia emprendida por la ONU, en colaboración con la OMS, pretende lograr una reducción del 50% de las muertes a través de la implementación de medidas orientadas a los cinco pilares previamente descritos; de lograrse esta meta, se podrían salvar alrededor de 5 millones de vidas, evitando aproximadamente 50 millones de traumatismos graves tal como lo muestra la Figura 1.3.

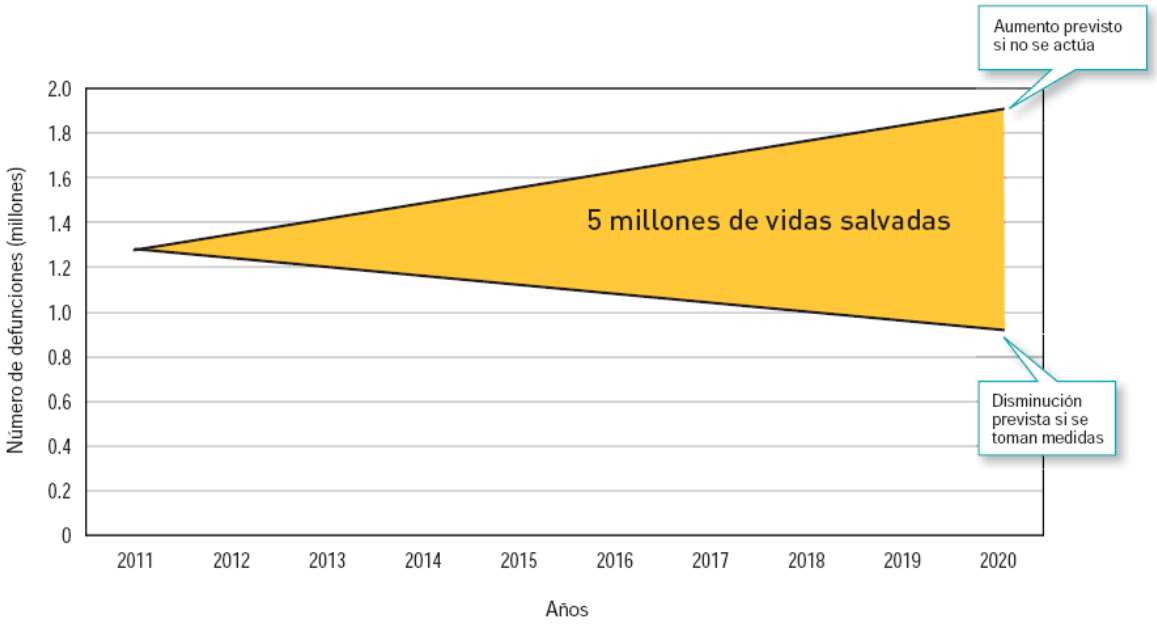


Figura 1.3 Proyecciones de las defunciones para 2020

Fuente (Organización Mundial de la Salud, 2011)

De igual manera, el INEGI genera estadísticas acerca de la seguridad vial en México a partir de información obtenida de la totalidad de certificados de defunciones ocurridas en el país, los cuales están controlados por la Secretaría de Salud. A partir de esa base de datos, el INEGI contabiliza los accidentes de tránsito ocurridos dentro de la red nacional de infraestructura para el transporte,

generando una tasa de mortalidad propia para accidentes de tránsito. Es pertinente señalar que el registro del evento se realiza en el lugar del suceso, por lo que si una persona herida fallece posteriormente, queda registrada como lesionada. Sumado a esto, las muertes ocurridas dentro de los 30 días posteriores al accidente como resultado de las lesiones sufridas en el mismo, se registran frecuentemente en los certificados de defunción como "ocasionadas por otras causas diferentes". Para tomar en cuenta esta situación, la ONU recomienda utilizar un factor de actualización de 1.3 con lo que se obtiene un estimado de muertes reales atribuibles a esa causa.

Dentro de los accidentes, el INEGI establece la siguiente clasificación:

- Accidente fatal. Aquél en el que resultan pérdidas de vidas humanas (muertos), puede incluir además, lesionados y daños materiales.
- Accidente no fatal. Aquél en el que no se presenta pérdida de vidas humanas, pero sí lesionados (heridos) y daños materiales.
- Accidente con solo daños. Aquél en el que no hubo muertos y heridos, únicamente daños materiales a vehículos y/o propiedades del estado y de particulares.

De acuerdo a estadísticas del INEGI, el Cuadro 1.1 muestra el historial de la accidentalidad en zonas urbanas y suburbanas de México, donde se destaca un aumento del 48% en la ocurrencia de accidentes, mientras que el número de accidentes fatales y no fatales han aumentado 7.8% y 19.8% respectivamente. De igual manera, la última fila presenta la tasa media de crecimiento anual donde se observa un crecimiento anual entre 1 y 3%, mismos que pueden ser explicados por el crecimiento del parque vehicular. No obstante, es importante hacer mención que a partir de los años 2008 y 2009, las cifras indican reducciones en el número de accidentes, aproximadamente entre el 10 y 20% respecto al último año analizado dentro del cuadro.

Cuadro 1.1 Evolución de la accidentalidad en zonas urbanas y suburbanas

| Año | Accidentes fatales | Accidentes no fatales | Accidentes con solo daños | Total |
|---|---|---|---|---|
| **1998** | 4,276 | 69,033 | 189,378 | 262,687 |
| **1999** | 4,726 | 70,025 | 210,743 | 285,494 |
| **2000** | 4,558 | 79,246 | 228,134 | 311,938 |
| **2001** | 4,217 | 87,420 | 273,232 | 364,869 |
| **2002** | 4,320 | 90,470 | 304,212 | 399,002 |
| **2003** | 4,607 | 94,825 | 325,058 | 424,490 |
| **2004** | 4,439 | 88,046 | 351,122 | 443,607 |
| **2005** | 4,381 | 100,962 | 346,890 | 452,233 |
| **2006** | 4,744 | 101,171 | 365,357 | 471,272 |
| **2007** | 5,456 | 107,732 | 363,091 | 476,279 |
| **2008** | 5,777 | 104,207 | 356,451 | 466,435 |
| **2009** | 5,960 | 100,078 | 322,432 | 428,470 |
| **2010** | 5,671 | 94,334 | 327,262 | 427,267 |
| **2011** | 5,716 | 87,769 | 293,700 | 387,185 |
| **2012** | 4,737 | 86,269 | 299,405 | 390,411 |
| **2013** | 4,612 | 82,738 | 297,122 | 384,472 |
| **TMCA** | 0.81% | 1.45% | 3.34% | 2.79% |

Fuente (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2014)

A su vez, el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), quién a través de su Sistema de Adquisición y Administración de Datos de Accidentes (SAADA), ha recopilado información principalmente de los registros de los accidentes ocurridos en la Red Carretera Federal (RCF), que realiza la Policía Federal (PF). En el Cuadro 1.2 se muestra la evolución de los saldos de accidentalidad en carreteras federales de 2000 a 2012 reportados oficialmente por la Policía Federal (PF). A lo largo de estos años, se refleja una disminución en cuanto a los accidentes de tránsito ocurridos en la RCF de poco más del 60%; sin embargo, el número de muertos y lesionados sólo han disminuido en un 13% y 35% respectivamente. En otras palabras, a pesar de que el número de accidentes registrados disminuyó considerablemente en 12 años, la gran mayoría de personas involucradas siguen

teniendo consecuencias fatales o severas. De igual manera, se observa una tasa media de crecimiento anual negativa de 7% en los accidentes, así como de 3.4 y 1% en el número de muertos y lesionados respectivamente. No obstante, es importante hacer mención que a partir del año 2004, las cifras oficiales disminuyeron significativamente debido a un cambio en el procedimiento para levantar los accidentes por parte de la PF, especialmente aquellos que no reportaban víctimas; haciendo énfasis en lo anterior y considerando únicamente del año 2004 a la fecha, se observa una reducción del 20% aproximadamente en el número de accidentes, así como en el número de lesionados, mientras que el número de muertos ha decrecido un 10%.

Cuadro 1.2 Evolución de la accidentalidad en la RCF

| Año | Accidentes | Lesionados | Muertos | Daños materiales (Miles de pesos) |
|---|---|---|---|---|
| **2000** | 61,146 | 38,434 | 5,224 | 1,835,571 |
| **2001** | 57,426 | 38,676 | 5,147 | 1,940,906 |
| **2002** | 42,616 | 35,480 | 4,960 | 1,565,178 |
| **2003** | 33,046 | 31,477 | 4,652 | 1,285,618 |
| **2004** | 30,669 | 31,274 | 4,603 | 1,248,401 |
| **2005** | 29,463 | 32,275 | 4,710 | 1,303,088 |
| **2006** | 29,050 | 33,082 | 5,008 | 1,511,259 |
| **2007** | 30,536 | 33,571 | 5,398 | 1,514,577 |
| **2008** | 30,379 | 32,769 | 5,379 | 1,581,620 |
| **2009** | 29,596 | 31,659 | 4,870 | 1,519,428 |
| **2010** | 27,847 | 28,275 | 4,966 | 1,484,949 |
| **2011** | 24,905 | 26,056 | 4,398 | 1,477,831 |
| **2012** | 24,216 | 24,736 | 4,548 | 1,383,149 |
| **TMCA** | -7.01% | -3.48% | -0.98% | -1.87% |

Fuente (Cuevas, Villegas, Mayoral, & Mendoza, 2014)

Por otro lado, el Cuadro 1.3 muestra la situación de la seguridad vial para cada uno de los 31 estados y el Distrito Federal durante el año 2012, resaltando

que se registraron en total 24,085 accidentes en toda la RCF, dentro de los cuales murieron 4,548 personas y 24,364 resultaron gravemente heridas como consecuencia del accidente. Dado lo anterior, y tomando en cuenta tanto el flujo vehicular como la longitud de la red carretera, se obtuvo un índice de 14.99 accidentes por cada cien millones de vehículos-kilómetro. A su vez, se destaca que los estados que mayor número de accidentes registraron en el año 2012 son Veracruz, Jalisco y el Estado de México, mientras que los estados que registraron menos accidentes son Aguascalientes, Durango y el Distrito Federal. Si bien los estados que presentan pocos accidentes no necesariamente son los más seguros, ya que se debe tomar en consideración la longitud de carretera existente bajo su jurisdicción y su parque vehicular principalmente, es por eso que la relación de accidentes por cada cien millones de vehículo-kilómetro refleja mejor la problemática de los estados, obteniendo así un importante nivel de riesgo en los estados de Colima, Baja California Sur y Tabasco, mientras que los estados con menor índice son el Tamaulipas, el Distrito Federal y Nuevo León. Es importante señalar que las entidades federativas con más daños materiales son: Veracruz, Jalisco y Guanajuato. A su vez, la cantidad de fallecidos y lesionados es considerablemente mayor para estas tres entidades que para el resto del país. Por otro lado, las entidades que menos daños materiales registran son: Aguascalientes, Colima y el Distrito Federal, contabilizando además el menor número de muertos y lesionados junto con Campeche, Baja California Sur y Quintana Roo.

Ante este panorama, el Gobierno Federal emprendió una estrategia nacional (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2014) que tiene como objetivo general reducir un 50% las muertes, así como reducir al máximo posible las lesiones y discapacidades por accidentes de tránsito en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos, tal como lo demanda el Decenio de Acción para la Seguridad Vial de la ONU a través de los cinco pilares previamente descritos.

Cuadro 1.3 Indicadores de accidentalidad en la RCF, por entidad federativa

| | Accidentes | Muertos | Lesionados | Daños materiales (Miles de dólares) | Longitud (km) | Índice de accidentes por cada $10^8$ de veh-km | Jerarquización |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Aguascalientes** | 256 | 49 | 268 | 699.62 | 445 | 16.57 | 16 |
| **Baja California** | 737 | 106 | 627 | 2,292.57 | 2,136 | 16.89 | 13 |
| **Baja California Sur** | 546 | 60 | 409 | 2,031.15 | 1,431 | 27.21 | 2 |
| **Campeche** | 359 | 59 | 291 | 2,023.91 | 1,298 | 21.28 | 4 |
| **Chiapas** | 513 | 134 | 505 | 3,457.27 | 2,018 | 10.51 | 29 |
| **Chihuahua** | 402 | 34 | 356 | 1,109.60 | 438 | 30.15 | 1 |
| **Coahuila** | 776 | 173 | 929 | 3,022.86 | 2,649 | 16.94 | 12 |
| **Colima** | 637 | 160 | 647 | 3,284.20 | 2,967 | 13.15 | 23 |
| **Distrito Federal** | 200 | 26 | 189 | 858.44 | 166 | 9.55 | 31 |
| **Durango** | 348 | 145 | 450 | 1,993.29 | 2,736 | 11.9 | 27 |
| **Guanajuato** | 1,438 | 249 | 1,314 | 6,223.56 | 1,691 | 16.7 | 15 |
| **Guerrero** | 732 | 152 | 888 | 2,776.66 | 2,523 | 14.18 | 19 |
| **Hidalgo** | 618 | 120 | 581 | 2,393.53 | 1,320 | 12.46 | 26 |
| **Jalisco** | 1,605 | 331 | 1,825 | 7,155.17 | 3,117 | 14.27 | 18 |
| **México** | 1,526 | 287 | 1,555 | 5,504.39 | 1,767 | 10.53 | 28 |
| **Michoacán** | 1,036 | 229 | 1,294 | 3,914.19 | 3,148 | 13.21 | 22 |
| **Morelos** | 532 | 75 | 389 | 1,364.74 | 499 | 13.85 | 20 |
| **Nayarit** | 485 | 121 | 590 | 2,705.19 | 1,121 | 20.14 | 7 |
| **Nuevo León** | 811 | 139 | 704 | 4,355.88 | 1,764 | 10.1 | 30 |
| **Oaxaca** | 811 | 122 | 973 | 3,064.36 | 3,327 | 16.79 | 14 |
| **Puebla** | 1,147 | 226 | 1,174 | 5,361.90 | 1,662 | 16.07 | 17 |
| **Querétaro** | 555 | 71 | 459 | 3,132.54 | 614 | 13.57 | 21 |
| **Quintana Roo** | 539 | 65 | 381 | 1,842.70 | 1,378 | 12.82 | 25 |
| **San Luis Potosí** | 916 | 128 | 844 | 4,263.92 | 1,806 | 18.27 | 9 |
| **Sinaloa** | 576 | 124 | 627 | 2,761.94 | 1,535 | 13.06 | 24 |
| **Sonora** | 963 | 195 | 1,243 | 4,957.39 | 2,483 | 17.69 | 11 |
| **Tabasco** | 794 | 133 | 627 | 2,906.12 | 659 | 25.81 | 3 |
| **Tamaulipas** | 570 | 123 | 525 | 2,845.75 | 2,718 | 8.86 | 32 |
| **Tlaxcala** | 603 | 80 | 599 | 2,228.09 | 764 | 20.55 | 5 |
| **Veracruz** | 1,978 | 413 | 2,031 | 9,493.83 | 3,738 | 18.18 | 10 |
| **Yucatán** | 452 | 65 | 388 | 1,573.58 | 1,568 | 20.23 | 6 |
| **Zacatecas** | 624 | 154 | 682 | 3,185.34 | 1,579 | 19.79 | 8 |
| **TOTAL** | **24,085** | **4,548** | **24,364** | **104,784** | **57,065** | **14.99** | |

Fuente (Cuevas, Villegas, Mayoral, & Mendoza, 2014)

Atendiendo esta problemática, Ogden (1996) establece que existen tres factores que influyen directamente en la ocurrencia de accidentes: el humano, el vehículo y el entorno (la infraestructura y agentes naturales). Dentro de estos factores, 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 la cual contribuye directamente al segundo pilar del decenio de la ONU, y cuyo objetivo es la reducción de las 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). Los conocimientos sobre seguridad vial en cuestiones de infraestructura evolucionaron desde principios del siglo XX cuando surgieron los primeros ingenieros proyectistas viales que provinieron del campo ferroviario; al notar diferencias entre el ferrocarril y los caminos, surgieron las primeras normas de diseño vial. Lo anterior generó conciencia de la íntima relación entre el diseño de las características físicas y la seguridad vial (Justo-Sierra, 2011), estableciendo lo siguiente:

- Los errores humanos que ocasionan accidentes de tránsito son una característica de la naturaleza humana y difícilmente controlable.
- Aun siendo un factor importante el comportamiento del usuario, existen dos factores más que están siendo involucrados directamente en la accidentalidad, tal como el vehículo y el entorno.

Por otro lado, Justo-Sierra (2011) establece que aun cuando los tres factores 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). En la actualidad, existen varias metodologías o procesos enfocados a medir la seguridad de la infraestructura que básicamente atienden los objetivos de las auditorías de seguridad vial, tal es el caso de la NZTA ("*New Zealand Transport Agency*", por sus siglas en inglés) quien implementó un procedimiento llamado Evaluación de la Seguridad en la Infraestructura Carretera (RISA, por sus siglas en inglés), el cual monitorea el desempeño de la infraestructura en el tiempo. Lynam (2012), por su parte, desarrolló un modelo de riesgo para la asignación de probabilidades de ocurrencia a cada uno de los elementos de la carretera, mismos que sirvieron como base para la implementación de los Programas de Evaluación de Carretera que hoy en día se conocen como RAP ("*Road Assessment Programme*", por sus siglas en inglés), siendo la versión internacional (iRAP, "*International Road Assessment Programme*"), el que ha sido aplicado en múltiples ocasiones en México.

El reto de encontrar la relación entre la infraestructura y la accidentalidad de una vía, se puede lograr a través de un análisis estadístico de los indicadores de accidentalidad expuestos con indicadores que evalúen la seguridad de la infraestructura. Dado que los saldos de accidentes representan la seguridad real de la vía, dichos análisis estadísticos han demostrado la validación de diversas metodologías que buscan la localización de puntos de conflicto, garantizando que efectivamente identifique los puntos de mayor accidentalidad.

## 1.1 Objetivo

Los temas a tratar dentro de esta investigación hacen referencia a la seguridad vial, específicamente en la administración de bases de datos de accidentalidad y en la contribución del factor infraestructura como causante de los

accidentes de tránsito. A su vez, se tocarán temas relacionados a métodos probabilísticos y estadísticos, así como sistemas de información geográficos.

**Objetivo.** Realizar un análisis estadístico que arroje el grado de correlación entre la clasificación por estrellas, producto de la aplicación de la metodología iRAP, y los índices de accidentalidad en la Red Carretera Federal (RCF) de México. Dado lo anterior y con la finalidad de cumplir con el objetivo principal, se establecieron cuatro objetivos particulares, los cuales serán fundamentales para desarrollar una investigación de calidad que satisfaga la hipótesis y el objetivo principal establecidos.

- Procesar la información obtenida del proyecto iRAP-México para la clasificación por estrellas de la RCF, así como la información obtenida del historial de accidentes tomando en cuenta los registros de los últimos cuatro años disponibles.
- Seleccionar una muestra representativa de las carreteras inspeccionadas en el proyecto iRAP-México dependiendo el tipo de carretera, el número de carriles y que sean vigiladas por la Policía Federal, así como establecer secciones homogéneas en cuanto a las características físicas de las vías.
- Demostrar la existencia y la magnitud de la relación entre la clasificación por estrellas y los índices de accidentalidad, a través de métodos estadísticos y probabilísticos.
- Generar los mapas de riesgo de la muestra representativa con base en los registros de accidentes de la Policía Federal para la identificación de puntos de concentración de accidentes.

## 1.2 Hipótesis

El método para la evaluación de la seguridad vial a través del puntaje de protección de la vía de iRAP está relacionado directamente con la ocurrencia y severidad de los accidentes de tránsito en las carreteras federales de México.

## 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Actualmente existen países como Suecia que han adoptado una Visión Cero (Breen, Howard, & Bliss, 2008), la cual consiste en eliminar por completo la posibilidad de muerte o de sufrir un traumatismo grave por causa de un accidente de tránsito. Para llevar a cabo lo anterior, se requiere de un alto desempeño y responsabilidad por parte de las autoridades, los ingenieros que diseñan las vialidades y los usuarios de las mismas, lo cual se traduce en un sistema de gestión de seguridad vial, tal como lo muestra la Figura 2.1, donde se resalta que la base de un sistema seguro radica en la gestión institucional de la misma por parte de los proveedores de la infraestructura, en este caso, las autoridades. Por lo tanto, los esfuerzos de la ingeniería de seguridad vial deben enfocarse en el segundo nivel en cuanto a las intervenciones que se pueden realizar en el entorno, es decir, en la infraestructura vial con el fin de disminuir los saldos y costos sociales y económicos que tienen como consecuencia los accidentes de tránsito.

Figura 2.1 Sistema de gestión de la seguridad vial

Fuente (Breen, Howard, & Bliss, 2008)

Por otro lado, Elvik (2007) establece dos clases de seguridad, la nominal o legal, y la sustantiva o real, destacando las siguientes diferencias:

- Seguridad nominal o legal. Condición de seguridad de una vía según el grado de cumplimiento de las normas, términos de referencia, órdenes, guías y procedimientos de diseño generales del organismo vial.
- Seguridad sustantiva o real. Condición de seguridad de una vía medida a través del número y gravedad de los accidentes reales, o previstos.

En otras palabras, la seguridad sustantiva refleja el problema real en cuanto a la infraestructura, es decir que hay una tendencia de subestimar el problema de la accidentalidad al momento de diseñar una vía. Es por eso que la ingeniería de seguridad vial debe atender ambos principios. A su vez, Elvik (2008) establece que la seguridad vial es multidimensional y, por lo tanto, puede ser vista o analizada desde diferentes enfoques, estableciendo nueve dimensiones las cuales se describen a continuación:

1. Magnitud. Tamaño de la aportación al número de accidentes y víctimas. A mayor magnitud, mayores requerimientos de inversión o cambios para resolver el problema.
2. Severidad. Grado del riesgo asociado a los niveles de lesión de las víctimas. Entre mayor sea la severidad, el nivel de lesión en los usuarios se incrementa.
3. Externalidad. La influencia de algún grupo de usuarios determinado sobre otros más vulnerables. Entre mayor sea esta variable, se obtiene un mayor número de usuarios afectados por la actuación o influencia de otro grupo de usuarios.
4. Inequidad. La falta de proporcionalidad entre los beneficios del transporte y sus riesgos asociados. Entre mayor sea esta inequidad, la proporción se incrementa.

5. Complejidad. La identificación de los factores específicos que afectan a los usuarios de manera individual y colectiva. Entre más complejo sea el problema, se involucra un mayor número de pequeñas contribuciones difícilmente de conocer.
6. Dispersión espacial. El grado de concentración geográfica de accidentes. Entre más disperso se encuentre el problema, el tratamiento deberá requerir una mayor cobertura.
7. Estabilidad temporal. Variación con respecto al tiempo. Entre más estable se encuentre con el paso del tiempo, las consecuencias del problema pueden ser percibidos como “normales”.
8. Urgencia percibida. Relevancia a través del apoyo social por implementar acciones que solucionen el problema. Entre menor sea este apoyo social, los tratamientos serán menos frecuentes y efectivos.
9. Susceptibilidad de tratamiento. Nivel de eficiencia esperada en la implementación de medidas que busquen reducir el problema.

Por último, Elvik (2010) reconoce que algunos problemas de la seguridad vial son más difíciles de resolver que otros. En estos casos, el autor establece que pudieran existir cuatro posibles razones:

1. El esfuerzo o atención es prácticamente nulo en algunos problemas ya que se ha establecido cierta tolerancia al conflicto, y por lo tanto deja de ser visto como tal.
2. La solución involucra cambios sociales importantes, lo cual puede crear conflictos o dilemas en los usuarios, tal es el caso del control de la velocidad. Estos dilemas normalmente surgen cuando los costos y beneficios vistos desde la perspectiva del usuario difieren de aquellos vistos desde una perspectiva de sociedad.
3. La raíz del problema, o al menos parte de él, se encuentra en factores biológicos que difícilmente pueden ser modificados, tal es el caso de la

conducción de jóvenes adolescentes cuya madurez mental y emocional aún no les permite percibir el problema real.

4. Las dimensiones físicas de los vehículos, así como la energía cinética que producen pueden estar muy ligadas con la ocurrencia de accidentes. A raíz de esto, se tendría que considerar factores económicos involucrados en el movimiento de carga, dado que las características de sus vehículos están consideradas dentro de un esquema de transporte que represente el menor costo

Existen a su vez, otras clasificaciones para la identificación de las deficiencias en la seguridad de las carreteras que pueden corregirse con acciones de ingeniería, establecidas por Ogden (1996), el cual se basa en dos enfoques:

- Reactivo. A partir de la ocurrencia de accidentes, lo que implica la ubicación de “puntos negros” (puntos de alta accidentalidad o peligrosos) en un red carretera.
- Proactivo. A partir del análisis de las características físicas y operativas de la carretera existente o en proyecto. Este enfoque corresponde a lo que comúnmente se conoce como auditoría de seguridad vial.

Mientras que la ingeniería de seguridad vial se encarga de medir la seguridad de la infraestructura de la vía desde un enfoque proactivo, también es posible identificar las deficiencias de seguridad con un enfoque reactivo, denominado así porque se emplea información sobre la ocurrencia de accidentes de tránsito. Ogden, a su vez, destaca que los accidentes no se distribuyen uniformemente a lo largo de los caminos, éstos tienden a concentrarse en tramos específicos, regularmente menores a 10 kilómetros. En los próximos subcapítulos se describirán las principales técnicas que atienden el enfoque proactivo, así como las técnicas de evaluación desde el enfoque reactivo, con la finalidad de establecer las posibles relaciones que existen entre ellos.

## 2.1 Técnicas para la evaluación de la seguridad en la infraestructura

De acuerdo a la experiencia que comparten países europeos como Suecia (Breen, Howard, & Bliss, 2008), se ha observado que el 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. A través de estos estudios, se hace notar la existencia de una determinada influencia de las características de una vialidad urbana o carretera en los accidentes de tránsito. Es importante hacer mención que el servicio que presta la carretera es un componente esencial donde tanto los responsables de la gestión de la vía como los profesionistas encargados del diseño, planificación, construcción y conservación están obligados a responder a la demanda social de altos niveles de seguridad vial.

Los proyectistas viales y abogados tienden a creer que aquellas carreteras construidas según las normas son seguras, no obstante que la seguridad de una carretera debe ser medida en términos de resultados o saldos de accidentes, siendo así un asunto de grado, pudiendo ser más o menos segura (Hauer, 2001). Lo anterior demuestra que la relación entre las normas de diseño de una carretera y la seguridad vial no es clara, por lo que el nivel de seguridad diseñado es impremeditado. A su vez, la geometría (en espacio y forma) es determinante en la seguridad vial (Xumini, 2009), por lo que el diseño de la infraestructura representa un factor importante en la accidentalidad, es decir, en el riesgo y el peligro del sistema. Es por eso que el autor establece que aquellos factores relacionados con la infraestructura son los que tienen mayor energía y mayor capacidad para hacer o causar, dado que interactúan con todos los usuarios de la vía. De igual manera, Martín et al (2012) identificaron los peligros que existen en las zonas laterales de la vía, destacando tres tipos principalmente:

las cunetas y los taludes que provocan volcaduras, las barreras de protección no restauradas o sin terminales y los objetos fijos como árboles, postes y estructuras.

Una vez establecida la importancia de la infraestructura, se ha investigado sobre cada uno de los elementos que la conforman y a partir de la adopción del acotamiento como uno de los elementos más importantes de la seguridad vial junto con la separación física de las calzadas, se elaboraron conclusiones que sirvieron de base para las principales medidas mitigadoras de los accidentes de tránsito, tal como el Manual de Seguridad Vial de AASHTO (2009), el cual fue un salto en la búsqueda de estimaciones cuantitativas sobre el desempeño de seguridad del diseño de la vía. El caso particular (alineamientos o secciones transversales) se analiza y compara con diseños básicos establecidos; de esta comparación se obtienen coeficientes que miden la eficiencia del diseño propuesto, mejorando gran parte de la práctica actual y complementando las normas de diseño. Dado lo anterior, el nivel de seguridad de la infraestructura vial no se debe al valor de un solo parámetro, sino a la combinación de varios parámetros y a sus variaciones entre un tramo y otro. Por tanto, es necesario contar con una medición simple y objetiva que tome en cuenta dichas variaciones para establecer un indicador confiable sobre la seguridad presente en la infraestructura carretera.

Atendiendo esta demanda, se crearon las auditorías de seguridad vial, las cuales fueron definidas como procedimientos sistemáticos en el que un auditor independiente y calificado comprueba las condiciones de seguridad de un proyecto para una carretera nueva, una carretera existente o de cualquier proyecto que pueda afectar a la vía o a los usuarios (Díaz-Pineda, 2008). Mediante estas auditorías se pretende garantizar que las carreteras, desde su planeación, se diseñen con criterios óptimos de seguridad para todos sus usuarios. Dentro de los beneficios de la realización de auditorías de seguridad vial se encuentran:

- Reducción de la probabilidad de ocurrencia de accidentes.
- Reducción de la severidad de las accidentes.
- Reducción del costo de medidas de mejoramiento en fase de planeación.
- Reducción del costo social y económico que representan las accidentes.

Siguiendo el enfoque de las auditorías, se han desarrollado diversas metodologías para medir la seguridad de la infraestructura, tal es el caso de la NZTA quien implementó la Evaluación de la Seguridad en la Infraestructura Carretera, como se comentó anteriormente, cuya inspección se realiza de manera visual por tres personas transitando en un vehículo tanto a la velocidad de operación como la velocidad máxima permitida. De aquí se registran las características del alineamiento vertical, horizontal, señalamiento, zonas laterales, entre otros (Appleton, 2009). Por otra parte, los programas RAP son 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 aplicando una metodología basada en una inspección visual con video donde se registran imágenes digitales a cada 10 metros de la vía para su posterior análisis en la codificación de características de seguridad vial (Centeno & Urzúa, 2014). Con lo anterior, se busca promover la implementación de carreteras que perdonen el error humano, y por lo tanto, minimicen las lesiones al máximo e inclusive logren evitar la ocurrencia misma del accidente. Dentro de los objetivos principales de estos programas se encuentran:

- Identificar las diferencias en la consistencia del diseño entre los tramos de una carretera, lo cual tiende a generar accidentes.
- Proveer una calificación de seguridad a través de una inspección visual grabada en video, así como promover medidas de mejoramiento.

La creación de los programas RAP ha sido el producto de más de una década de trabajo, los cuales tuvieron sus inicios en 1999, a raíz del éxito del EuroNCAP (*European New Car Assessment Programme*) en la medición e incremento del nivel de seguridad que brindan los automóviles a los usuarios; naciendo así, EuroRAP (*European Road Assessment Programme*) con el mismo fin pero aplicado a la infraestructura y, posteriormente, se crearon diversas adaptaciones bajo la misma metodología, tal como AusRAP (Australia), usRAP (Estados Unidos de América), KiwiRAP (Nueva Zelanda), CanRAP (Canadá), ChinaRAP (China) y finalmente iRAP, siendo este último el que ha sido aplicado en carreteras mexicanas en tres ocasiones (International Road Assessment Programme, 2014).

La metodología inicial de EuroRAP fue aplicada desde 2004 a 2010, principalmente en Suecia y Alemania, para los conductores de vehículos; posteriormente en otros 10 países europeos en 2011. Por otro lado, AusRAP utilizó su metodología de 2006 a 2008, implementando tanto factores de probabilidad de ocurrencia de accidentes como de severidad, evaluando alrededor de 25,000 kilómetros de la red australiana de carreteras, mientras que usRAP evaluó alrededor de 10,000 kilómetros de 2009 a 2012. En paralelo a la creación de iRAP, se creó el KiwiRAP en 2010, adaptando básicamente los criterios de AusRAP a la red neozelandesa de carreteras. A través de la implementación de estos programas en países desarrollados (EuroRAP y AusRAP principalmente) y con la experiencia de centros de investigación en seguridad vial tales como el ARRB Group (Australia), TRL (Reino Unido), MRI Global (Estados Unidos) y MIROS (Malasia), se creó en 2006, la versión RAP estandarizada internacionalmente, conocido como iRAP (*International Road Asssessment Programme*), con el objetivo de homogeneizar criterios que pudieran ser aplicables a cualquier país en cuestión, especialmente aquellos de bajos y medianos ingresos, realizando pruebas piloto en Chile, Malasia y Perú. Para el año 2012, se

mejoró la versión iRAP (Versión 3), adicionando la evaluación de la seguridad tanto para ocupantes de vehículos como para peatones, ciclistas y motociclistas; cabe destacar que esta última versión también ha sido adoptada por EuroRAP y AusRAP hasta la actualidad. Esta última versión de iRAP contempla cuatro protocolos los cuales se describen a continuación:

1. Mapas de riesgo. Basado en el historial de accidentalidad para la visualización de los accidentes en una red, de manera gráfica.
2. Clasificación por estrellas. Provee una medida simple y objetiva del nivel de seguridad que ofrece una vía.
3. Planes de inversión. Conjunto de medidas de mejoramiento enfocadas a salvar vidas y seleccionadas a través de indicadores económicos de beneficios y costos de implementación.
4. Monitoreo del desempeño. Seguimiento de los mapas de riesgo y la clasificación por estrellas en un determinado periodo con el objetivo de establecer políticas en seguridad vial.

La Figura 2.2 muestra la metodología aplicada por los programas RAP, los cuales parten de la inspección de la vía. La clasificación por estrellas implica una inspección visual de 60 elementos de la infraestructura vial que se sabe tienen un impacto en la probabilidad de que ocurra una colisión y en su nivel de severidad, generando un puntaje de protección de la vía el cual determina este indicador. La parte esencial del proceso radica en la codificación de los datos, durante el cual se catalogan todas las características físicas de la vía de acuerdo a su tipo. Dentro de estas características 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 puede 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 el volante ante situaciones que lo ameriten.

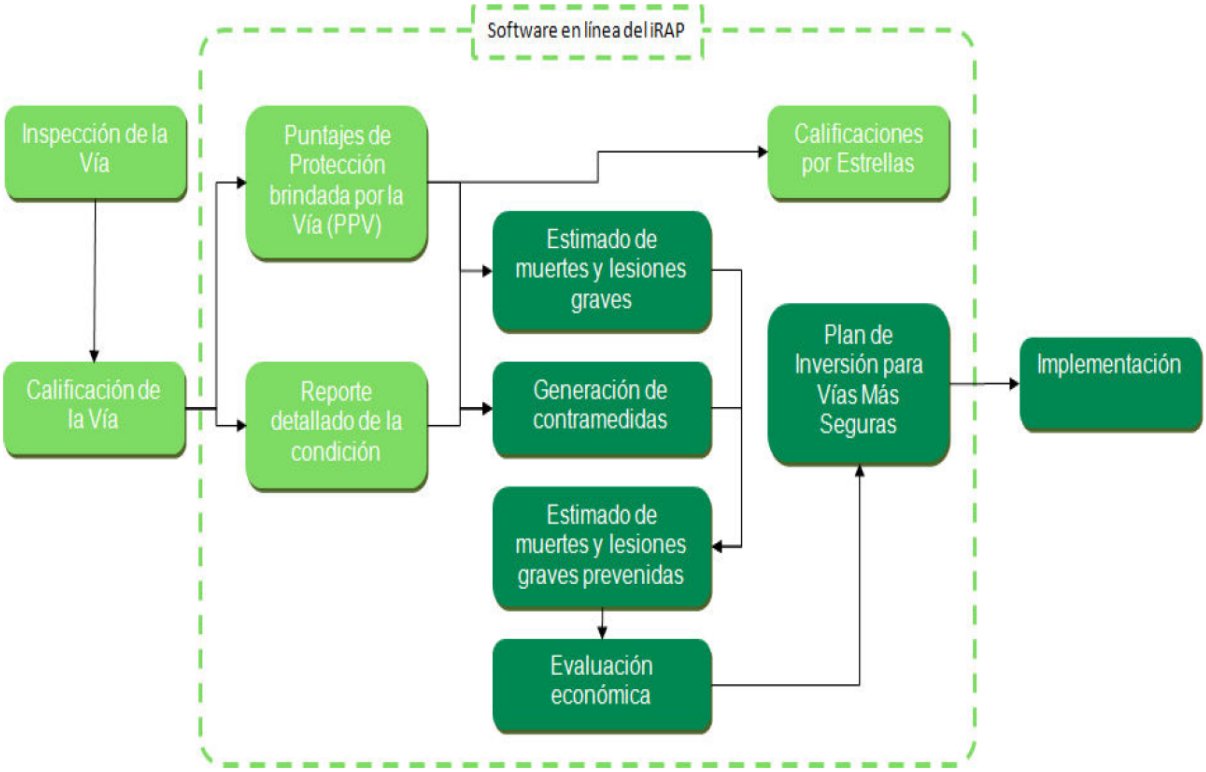


Figura 2.2 Esquema de la metodología de iRAP

Fuente (International Road Assessment Programme, 2014)

El sistema otorga entre 1 a 5 estrellas dependiendo del nivel de seguridad que posee una vía, al mismo tiempo que identifica cada nivel con un color específico como se muestra en el Cuadro 2.1. La clasificación prevé una escala diferente para cada tipo de usuario; es decir, una vía puede tener cinco estrellas para el ocupante de un vehículo pero una estrella para un peatón, nivel que representa un riesgo muy alto en la infraestructura de ser atropellado. En general, se espera que para un nivel de cinco estrellas (muy segura), la carretera cuente con separación del tránsito en direcciones opuestas mediante algún tipo de mediana o faja separadora, una delineación adecuada, un diseño de intersecciones apropiado, carriles y acotamientos amplios, márgenes libres de obstáculos, entre otras; por otro lado, una carretera de una estrella (muy insegura), se esperan condiciones totalmente adversas. No obstante cabe reiterar que la etapa de codificación representa una parte fundamental del proceso de clasificación, siendo de vital importancia que se lleve a cabo un control de calidad rígido sobre los criterios a seguir, ya que a partir de esta información se generará el puntaje de protección de la vía, así como la clasificación por estrellas correspondiente.

Cuadro 2.1 Clasificación por estrellas RAP

| **Clasificación por estrellas** |
|---|
| 5 |
| 4 |
| 3 |
| 2 |
| 1 |

Fuente (International Road Assessment Programme, 2014)

En México, la primera participación de iRAP se realizó en el 2010 con el proyecto “Corredor Mesoamericano”, en el cual se llevó a cabo la inspección carretera de alrededor de 4 mil km, específicamente el corredor carretero que une

la Ciudad de Puebla con la Ciudad de Panamá en su distancia más corta. La segunda participación de México fue en el 2012 con el proyecto denominado iRAP-México Fase I el cual contempló la inspección de 45 mil km de la Red Carretera Federal (RCF), dicho proyecto fue liderado por la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y sus resultados se encuentran en el Cuadro 2.2, donde se destaca que la mayoría de la longitud inspeccionada obtuvo entre una y dos estrellas (62%) para ocupantes de vehículo, lo cual indica una situación de alto riesgo en la infraestructura vial, no obstante que existe una proporción significativa con tres estrellas (32%) la cual iRAP establece como el estándar mínimo a lograr; escenarios similares se visualizan para los motociclistas, ciclistas y peatones. Posteriormente, se realizó la Fase II del proyecto iRAP-México, donde se adiciona la inspección de 20 mil km de la red secundaria, esta vez integrando algunos tramos de carreteras estatales susceptibles a altos índices de accidentalidad. Es importante precisar que esta investigación está centrada en el proyecto iRAP México Fase I (2012).

Cuadro 2.2 Resultados del proyecto iRAP-México Fase I (2012)

| | **Ocupantes de vehículo** | | **Motocicletas** | | **Ciclistas** | | **Peatones** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Clasificación por estrellas** | **Longitud (km)** | **Porcentaje (%)** | **Longitud (km)** | **Porcentaje (%)** | **Longitud (km)** | **Porcentaje (%)** | **Longitud (km)** | **Porcentaje (%)** |
| 5 | 393.7 | 1 | 165.0 | 0 | 143.6 | 0 | 157.3 | 0 |
| 4 | 2,123.7 | 5 | 1,139.6 | 3 | 253.3 | 1 | 395.6 | 1 |
| 3 | 14,496.1 | 32 | 9,578.6 | 21 | 2,113.1 | 5 | 3,478.1 | 8 |
| 2 | 17,096.7 | 38 | 16,520.6 | 36 | 8,019.4 | 18 | 5,738.6 | 13 |
| 1 | 10,709.8 | 24 | 17,076.8 | 38 | 7,945.6 | 18 | 4,938.0 | 11 |
| **NA** | **558.5** | **1** | **897.9** | **2** | **26,903.5** | **59** | **30,670.9** | **68** |
| **Total** | **45,378.5** | **100** | **45,378.5** | **100** | **45,378.5** | **100** | **45,378.5** | **100** |

Fuente (Centeno & Urzúa, 2014)

## 2.2 Técnicas para la identificación de sitios de alta concentración de accidentes de tránsito

Ogden (1996) define a la accidentalidad vial como una disciplina, llamada ocasionalmente como accidentología, que estudia las causas y efectos de los accidentes de tránsito con la finalidad de proponer medidas orientadas a la disminución de éstos y proveer datos estadísticos a través de indicadores que reflejen la magnitud del problema en una determinada carretera o red carretera. Estos indicadores usualmente se definen a través de la relación de los saldos de accidentes (muertos, lesionados y daños materiales) con la población, los vehículos y/o con el kilometraje generado; éste último representado en vehículos-kilómetro, cuyo valor representa la cantidad de recorridos generados por los vehículos que transitan en un determinado tramo carretero. De esta manera, los sitios de alta concentración de accidentes pueden ser definidos como aquellos puntos donde se generan o se esperan un número elevado de colisiones en comparación con otros sitios de condiciones similares, en estos puntos usualmente se concentran la mayor cantidad de muertos y lesionados graves (Bham & Manepalli, 2009). Dentro de los índices más utilizados, se encuentran los siguientes (Cuevas, Mayoral, & Mendoza, 2011):

- Frecuencia de accidentes. Criterio más simple el cual consiste en la sumatoria de los accidentes registrados (*Acc*) en un determinado tramo durante un cierto periodo. Para el caso de México, el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) recomienda utilizar registros de 3 años como mínimo.

$$F_{Acc} = \sum_{i=0}^{n} Acc_i \qquad (1)$$

- Densidad de accidentes. Consiste en la relación de la frecuencia de accidentes entre una longitud determinada (*Longitud*), usualmente de 1 kilómetro, y puede obtenerse por segmentos, tramos, carreteras o corredores, buscando que las características sean homogéneas.

$$D_{Acc} = \frac{\sum_{i=0}^{n} Acc_i}{\sum_{j=0}^{n} Longitud_j} \quad (2)$$

- Índice de Accidentalidad. Relaciona la frecuencia de accidentes ($F_{Acc}$) y la exposición al riesgo. El kilometraje generado (*vehkm*) constituye una medida de exposición al riesgo de sufrir un accidente, y se calcula a través de la multiplicación del Tránsito Diario Promedio Anual (*TDPA*) por la longitud (*Longitud*) del tramo o segmento, por los 365 días al año; lo anterior usualmente se divide entre $1x10^8$, es decir, se utiliza la información en términos de cien millones de vehículos-kilómetro con el objetivo de establecer una mejor visualización del problema y una mayor practicidad en los cálculos. Posteriormente, el índice de accidentalidad se calcula tal como lo muestra la ecuación 3.

$$vehkm = \frac{TDPA \times Longitud\ (km) \times 365}{1x10^8} \quad (3)$$

$$I_{Accidentalidad} = \frac{F_{Acc}}{vehkm} \quad (4)$$

- Índice de Mortalidad y Morbilidad. Corresponden a la relación entre la sumatoria de víctimas mortales (*Muertos*) o víctimas con lesiones graves (*Lesionados*) como consecuencia de los accidentes de tránsito, y los vehículos-kilómetros generados en el tramo o por cada 100 accidentes. También puede establecerse en términos de población o parque vehicular.

$$I_{Mortalidad} = \frac{\sum_{i=0}^{n} Muertos_i}{vehkm\ ó\ F_{Acc} \times 100} \quad (5)$$

$$I_{Morbilidad} = \frac{\sum_{i=0}^{n} Lesionados_i}{vehkm\ ó\ F_{Acc} \times 100} \quad (6)$$

- Índice de Seguridad Vial. Dado que no es conveniente juzgar la seguridad de un tramo tomando en cuenta una sola variable, este índice combina tres indicadores: frecuencia de accidentes (*Acc*), muertos (*M)* y lesionados (*L*); dándoles un peso (*Z*) a cada uno de ellos, logrando una calificación integral, tal como lo muestra la ecuación 7 establecida por Cuevas et al (2011), cuyos valores de Z fueron obtenidos a través de un análisis de sensibilidad para la RCF de México. Dicha ecuación fue propuesta para análisis de tramos de longitud variable por lo que se obtienen los saldos de accidentes por unidad de longitud (1 km), no obstante, de contarse con tramos de longitud homogénea, se pueden utilizar valores absolutos.

$$Is=\frac{1}{Z_1\left(\frac{Acc}{km}\right)+Z_2\left(\frac{M}{km}\right)+Z_3\left(\frac{L}{km}\right)} \qquad (7)$$

Dónde:

*Is* = Índice de seguridad vial.

*Acc* = Frecuencia de accidentes con víctimas por kilómetro

*M* = Número de muertos por kilómetro.

*L* = Número de lesionados por kilómetro.

$Z_1$ = 0.3

$Z_2$ = 0.5

$Z_3$ = 0.2

A su vez, Bham et al (2009) identifica algunos de los indicadores en su meta para establecer un análisis de la seguridad vial en carreteras del estado de Arkansas en los Estados Unidos de América, generando lo siguiente:

- Métodos de mapeo de sitios. Estos métodos muestran de manera gráfica y visual aquellos sitios dónde se concentran la mayor cantidad de accidentes o donde se espera que éstos ocurran en mayor

proporción. Tienen la ventaja de identificar fácil y rápidamente aquellos sitios considerados de alto riesgo, no obstante, establecen estimados menos confiables y dificultan el establecimiento de algún tipo de jerarquización entre los tramos analizados.

- Métodos de accidentalidad. Aquí se encuentran aquellos previamente expuestos los cuales evalúan el número total de accidentes y se jerarquizan de acuerdo a la frecuencia, densidad o el flujo vehicular, sin embargo, éstos no consideran la severidad de los accidentes. Por un lado, la frecuencia de accidentes permite establecer, de manera inicial, un listado de los posibles sitios más peligrosos, mientras que la densidad de accidentes permite identificar aquellos puntos con un gran volumen de accidentes por unidad de longitud. Por último, el involucramiento del TDPA dentro de estos indicadores permite que visualizar el riesgo relativo del usuario conforme el número de vehículos se incrementa; es decir, tomando en cuenta que entre mayor número de vehículos exista, se espera un mayor número de accidentes.
- Métodos estadísticos de control de calidad. Dentro de éstos, la jerarquización de sitios peligrosos se determina comparando los diferentes métodos de accidentalidad con el valor de la media de todos los sitios con características similares; es decir, los valores por encima de la media se pueden catalogar como peligrosos, aumentando ésta condición conforme se aleja más de la media. Esta ecuación, inicialmente propuesta por Stokes (1996), calcula el valor crítico (*Fc*) de un determinado sitio a través de la ecuación 8, no obstante, la definición de la constante de probabilidad (*k*) no es clara, por lo que el método se puede considerar ambiguo.

$$F_c = F_a + k\sqrt{\frac{F_a}{M}} + \frac{1}{2M} \qquad (8)$$

Dónde:

*Fc* = Valor crítico de un sitio en particular.

*Fa* = Valor promedio (frecuencia /densidad / índice de accidentalidad) para todos los sitios de características similares.

*k* = Factor de probabilidad determinado por el nivel estadístico de significancia deseado para *Fc*.

*M* = Número de vehículos transitando por el sitio analizado.

- Métodos de severidad de accidentes. Estos métodos establecen una diferencia entre los accidentes cuyas consecuencias fueron fatales y los accidentes cuyos usuarios sufrieron lesiones leves o graves, otorgándoles pesos diferentes a cada uno de éstos (coeficientes *W*), enfatizando el valor que representa la pérdida de vidas humanas por consecuencia de un accidente. Uno de los métodos más ampliamente utilizados es el llamado daños materiales equivalentes ("*Equivalent Property-Damage Only*", EPDO por sus siglas en inglés), el cual se calcula a partir de la índice de severidad establecido por Campbell y Knapp (2005):

$$SI=\frac{W_K K+W_A A+W_B B+W_C C+P}{T} \tag{9}$$

Dónde:

*SI* = Índice de severidad del sitio

*W* = Valor correspondiente del coeficiente

*K* = Frecuencia de accidentes fatales

*A* = Frecuencia de accidentes con lesiones del tipo A

*B* = Frecuencia de accidentes con lesiones del tipo B

*C* = Frecuencia de accidentes con lesiones del tipo C

*P* = Frecuencia de accidentes con daños materiales

T = Total de accidentes en el sitio

Por lo tanto, el EPDO se calcula de la siguiente manera, pudiendo estar en términos de vehículos-kilómetro:

$$EPDO=W_K K+W_A A+W_B B+W_C C+P \quad (10)$$

$$I_{EPDO}=\frac{W_K K+W_A A+W_B B+W_C C+P}{vehkm} \quad (11)$$

El valor de los coeficientes puede variar dependiendo del país o la red carretera a evaluar a través de análisis de sensibilidad; para el caso particular de Arkansas, Estados Unidos, el autor recomienda valores de los coeficientes *W* de $W_K$=0.35, $W_A$=0.25, $W_B$=0.20, $W_C$=0.15 y $W_P$=0.05. No obstante, el Departamento de Transporte de Estados Unidos de América utiliza los valores mostrados en la ecuación 12, sin hacer distinción alguna en el tipo de lesión, ya que al igual que México, únicamente se cuenta con información de accidentes con lesionados (*I*), sin especificar su tipo de lesión.

$$EPDO=10\times K+5\times I+P \quad (12)$$

A su vez, otros autores han definido el valor de estos coeficientes, tal es el caso de Espinoza (2014), quien destaca valores para países de América Latina establecidos por la Asociación Mundial de Carreteras, los cuales otorgan el valor de 1 para accidentes con daños materiales, 3.5 para accidentes con lesiones y 9.5 para accidentes con muertos, tal como lo muestra la ecuación 13. Cabe destacar que el análisis

realizado por Espinoza se enfoca en tramos de 1 km con características de seguridad vial homogéneas.

$$EPDO=9.5\times K+3.5\times I+P \quad (13)$$

Otra manera de establecer un indicador que mida la severidad es a través de la inclusión del costo que representan los diferentes tipos de accidentes, o a través del costo que representa la pérdida de una vida humana o sus lesiones. La ecuación 14 muestra el índice de costo de accidentes (*C_Acc*) para un país en vías de desarrollo como México, en la cual se otorga un valor de 70 veces el PIB per cápita a cada usuario que fallece (*M*) y un valor de 17 veces el PIB per cápita (25% del valor de una muerte) a cada usuario que resulta gravemente lesionado (*L*) a causa de un accidente de tránsito, estableciendo una relación de 10 lesionados graves por cada muerto (MaMahon & Dahdah, 2010); por último se adiciona el valor de los daños materiales (*D*).

$$C_Acc=D+M\times 70\times PIB/cápita+L\times 17\times PIB/cápita \quad (14)$$

- Métodos combinados. Generados a partir de la inclusión de dos o más métodos previamente mencionados, especificando un coeficiente de aportación para cada uno de ellos. Dentro de estos métodos se pueden incluir hasta cinco tipos de indicadores (frecuencia, densidad, severidad, número de carriles, entre otros) y se determinan otorgándoles un determinado peso a cada uno de ellos o estableciendo una sumatoria de la jerarquización de los sitios. Esta combinación de métodos puede resultar altamente efectiva de acuerdo a estudios realizados por Bham (2009).

Existe además, el método de Bayes, el cual fue desarrollado por Hauer et al (2002), enfocándose en la estimación de futuros accidentes dado el historial de accidentalidad de un determinado segmento o tramo de carretera. Dicha estimación se genera a partir de una Función de Desempeño de Seguridad ("Safety Performance Function", SPF por sus siglas en inglés). La versión más común y utilizada de este método se conoce como método Bayes empírico, el cual genera un estimado de accidentes a partir de un historial que normalmente consta de un periodo de 2 a 4 años, con el objetivo de reducir la variación anual que pudiera presentarse.

Este método se ha convertido en uno de los más utilizados a nivel internacional, siendo utilizado en el Modelo Interactivo de Diseño de la Seguridad en Carreteras ("Interactive Highway Safety Improvement Model", IHSDM por sus siglas en inglés) de AASHTO (2009) y, últimamente, ha sido adoptado por varios autores como uno de los mejores métodos para la identificación de sitios de concentración de accidentes. Tal es el caso de Agüero-Valverde (2014) quien cataloga al método de Bayes empírico como apropiado para realizar un análisis de tramos de concentración de accidentes viales dado que es preciso, confiable y toma en cuenta tanto el sesgo de regresión a la media como el umbral de desempeño, estableciendo que los accidentes viales presentan una mayor dispersión de la que una distribución de Poisson puede explicar, dado que la varianza está restringida; a partir de lo anterior, el autor utiliza una distribución binomial la cual presenta un mayor ajuste dado que permite que la varianza sea mayor al promedio, a diferencia de la distribución de Poisson. A su vez, el autor señala que las variables que resultaron significativas para los modelos de estimación fueron el TDPA, el número de carriles y la densidad de accesos, así como la importancia de integrar un concepto de accidentes equivalentes el cual se utilice para equiparar o comparar las distintas severidades del accidente, en función de las lesiones ocasionadas en los usuarios. Por otro lado, Colucci (2014)

sugiere que la SPF puede ser construida en función de diversas variables a través de una regresión binomial negativa, realizando un análisis de sensibilidad para las variables de longitud y TDPA de los tramos o segmentos analizados, obteniendo que un buen ajuste en términos de aumentar el número de accidentes esperados con un incremento en la exposición del tránsito y la longitud del segmento. Elvik (2008) establece que los sitios peligrosos deberán ser identificados en función del número esperado de accidentes, no en función del número de accidentes actuales, eligiendo además, la distribución binomial negativa sobre la distribución de Poisson. Existen otras versiones del método de Bayes, tales como el Bayes jerárquico, el cual considera de manera adicional el número de muertos y lesionados, generando la SPF en función de estas tres variables y determinando, de manera jerárquica, los costos de accidentes con el objetivo de determinar un peso mayor a los accidentes con consecuencias fatales. Al igual que en los métodos de severidad, los valores de aportación asignados a cada tipo de accidente puede llegar a ser subjetivo. A su vez, existe el método Bayes completo, el cual requiere de una mayor cantidad de información, generalmente utilizando periodos de estudio mayores a los cinco años.

Por último, EuroRAP (2013) introdujo un diseño de mapas de riesgo basado en reglas simples establecidas de manera internacional con el objetivo de que el resultado pueda ser comparable en diferentes países. Dentro de las consideraciones básicas para el diseño se tienen las siguientes:

- Longitud del tramo. Se recomienda utilizar tramos de 5 km como mínimo para definir las secciones de una red, dado que minimiza la variación año con año de la accidentalidad según estudios realizados por el Laboratorio de Investigación del Transporte (TRL) del Reino Unido.
- Accidentes de tránsito. De igual manera, se establece que al comparar accidentes en diferentes periodos de tiempo, la variación es significativa al comparar tramos con menos de 20 accidentes, de manera que es

recomendable establecer secciones con cantidad mínima de 20 accidentes al año. Cabe destacar que cada accidente deberá contar con la ubicación exacta registrada en la base de datos, así como contabilizar únicamente accidentes que causaron lesiones graves en los usuarios.

- Datos de operación. Como se ha mencionado anteriormente, el tránsito constituye una exposición al riesgo, por lo que esta información será igualmente necesaria para este tipo de mapeo. De acuerdo a experiencias en mapas de riesgo RAP, en España y Reino Unido, se observó que en tramos con TDPA menores a los 2,000 vehículos se registraba una gran variación en la accidentalidad, de manera que es recomendable excluir dichos tramos de la red.
- Periodo de evaluación. Dicho periodo establece que se deberán tomar en cuenta información de la accidentalidad de mínimo tres años de manera que se minimicen posibles variaciones año con año y obtener una base de datos más confiable.

A partir de estos criterios, la red carretera debe ser dividida en secciones a las cuales se les asigna un tránsito esperado y un historial de accidentalidad. Una vez calculados los indicadores de accidentalidad, cada sección se identifica con una de las bandas estandarizadas, tal como lo muestra el Cuadro 2.3, en donde el color negro representa el riesgo más alto.

Cuadro 2.3 Bandas de riesgo estandarizas para mapas de riesgo RAP

| Banda | Acc/veh-km | Acc/km |
|---|---|---|
| Bajo | 0.0 a < 2.4 | 0 a < 0.05 |
| Bajo - Medio | 2.4 a < 9.7 | 0.05 a < 0.11 |
| Medio | 9.7 a < 16.7 | 0.11 a < 0.16 |
| Medio – Alto | 16.7 a < 28.4 | 0.16 < 0.21 |
| Alto | > 28.4 | > 0.21 |

Fuente (European Road Assessment Programme, 2013)

Por otro lado, organizaciones como AusRAP también adoptaron la implementación de mapas de riesgo; no obstante, éstos han sido adecuados conforme a sus necesidades particulares. Ejemplo de ello fue la inclusión adicional de accidentes con lesiones leves, el incremento a cinco años en el periodo de evaluación y la definición de los límites para cada banda de riesgo, garantizando que se encuentre el 20% de la longitud total en cada banda (Australian Road Assessment Programme, 2005). A su vez, CanRAP optó por contabilizar todos los tipos de accidentes, independientemente si fueran o no con consecuencias fatales y graves, dado que la definición de accidente grave varía conforme las diferentes jurisdicciones en Canadá; de igual manera, CanRAP únicamente se enfocó en tramos rurales cuyos límites de velocidad excedieran los 90 km/h, agrupando tramos con longitudes variables entre los 10 y 100 km (Canadian Road Assessment Programme, 2009). Por último, usRAP establece que se deberán considerar accidentes con víctimas, salvo que la información fuera insuficiente o poco confiable, a su vez, recomiendan que el periodo de estudio deberá incrementarse a cinco años, así como el establecimiento de límites de bandas de acuerdo a las necesidades locales, garantizando únicamente que el 40% se ubique en la banda de bajo riesgo y el 5% en la banda de alto riesgo (Harwood, Gilmore, & Bauer, 2010).

## 2.3 El rol de la vía en la accidentalidad

El reto de encontrar la relación entre la vía y su accidentalidad se puede lograr a través de un análisis estadístico de los indicadores previamente discutidos con algunas de las variables que miden la seguridad y operación de la vía. A la fecha, existen numerosos estudios que buscan encontrar la relación que existe entre la accidentalidad y variables como el TDPA, el número de carriles, ancho de carriles y/o acotamientos, alineamiento horizontal, velocidad, entre otros. Dentro de esta sección se mostrarán algunos de los estudios previamente mencionados.

Agüero-Valverde (2014) obtuvo resultados en Costa Rica que sugieren que a medida que el TDPA, el número de carriles, ancho de carriles y ancho de acotamiento aumentan, la probabilidad de accidentes disminuye, estableciendo además, que la severidad de los mismos se disminuye en mayor proporción. A su vez, Cairney (2013) indica que la accidentalidad no se encuentra fuertemente ligada a las condiciones físicas del pavimento en zonas urbanas del estado de Victoria en Australia; no obstante, en zonas rurales se observa lo contrario, estableciendo una fuerte relación entre el pavimento y la accidentalidad, junto con variables como la curvatura, pendiente y rugosidad de la vía. Lee (2002), por su parte, realizó un estudio en el que incluía segmentos de 800 metros de longitud y cuyos resultados indicaron que los accidentes de tránsito por salida de la vía se pueden reducir drásticamente evitando los taludes de corte, ampliando el acotamiento y eliminando árboles y postes cercanos a la vía.

Por otro lado, Karlaftis et al (2002) destaca el efecto de las características geométricas de la vía sobre los volúmenes de tránsito y la accidentalidad de la misma; lo anterior lo logra a través de regresiones negativas binomiales, así como lineales múltiples, obteniendo resultados que catalogan al TDPA como la variable que más influye en la accidentalidad, seguido del ancho de la mediana y el control de accesos. De igual manera, Cuevas et al (2011) establecen una relación entre el TDPA y la accidentalidad en carreteras federales de México, suponiendo un deterioro en la capacidad vial de la infraestructura dada la presencia elevada de vehículos, y en función de ello, se espera una reducción de la velocidad y por lo tanto, un decremento en el número de accidentes con víctimas. Para llevar a cabo este análisis, la autora estableció tramos de características homogéneas y de longitud variable cuyo TDPA no excediera los 60 mil vehículos, además de utilizar únicamente registros de accidentes con víctimas. Dentro de esta investigación, se demostró que a mayor grado de exposición mayor riesgo; sin embargo, es importante considerar que la infraestructura tiene una capacidad limitada; de tal

manera que el número de accidentes con víctimas llega a un punto máximo para después decrecer siguiendo una trayectoria parabólica analógica al comportamiento descrito en la teoría de flujo vehicular para circulación continua. La misma conclusión fue hecha por Kononov (2008) quien realizó un análisis de la congestión vial en carreteras del Estado de California y Texas en los Estados Unidos de América. Por último, Cuevas destaca un mejor ajuste en los modelos que integraban más de una variable de accidentalidad, siendo los modelos para muertos y lesionados por kilómetro los que mostraron una mayor variabilidad ya que dependen del tipo de vehículo siniestrado, por lo tanto no resultaron estadísticamente confiables al analizarlos por separado.

Si bien existen diferentes estudios que se enfocan en una o varias características de la vía, existen muy pocos que relacionan metodologías que evalúen la seguridad de la infraestructura de manera integral, tales como los programas de evaluación carretera RAP. Dado que la clasificación por estrellas describe el nivel de riesgo de la infraestructura de una vía, se espera que exista el mismo riesgo conforme al historial de accidentalidad de la misma; es decir, de aquellas carreteras con cinco estrellas, se esperan índices bajos de accidentalidad, mientras que se espera lo contrario en carreteras con una estrella. EuroRAP (2011) señala que pueden existir imprecisiones al momento de buscar esta relación, dado que la clasificación por estrellas únicamente toma en cuenta la aportación que tiene la infraestructura en la accidentalidad, no obstante, ésta pudiera estar altamente influida por el factor humano y/o las características físico-mecánicas del parque vehicular. Al momento, se han realizado algunos esfuerzos en establecer la relación entre la clasificación por estrellas, haciendo énfasis en la importancia que este indicador puede tener en el diseño seguro de una carretera, así como en la severidad de las lesiones ante la ocurrencia de accidentes Utilizando tramos entre los 10 y 20 km de longitud e información de accidentalidad y operación de la vía de un periodo de 3 años, EuroRAP ha realizado una

comparación estadística donde se identifican relaciones entre la clasificación por estrellas y la accidentalidad, específicamente con el índice de accidentes por veh-km recorridos (Stigson, 2009), no obstante, esta relación es más clara en algunos países que en otros, tal como se muestra a continuación:

- Inglaterra. Se realizó la comparación visual entre los mapas de riesgo y la clasificación por estrellas, notando que la mayoría de las secciones analizadas apuntaban al mismo nivel de riesgo.
- Islandia. De manera similar a Inglaterra, secciones con dos o menos estrellas probaron tener los índices más altos de accidentalidad (secciones con bandas de alto riesgo).
- Suecia. Existe una correlación entre el puntaje de protección de la vía y el índice de accidente por veh-km, variando entre los diferentes tipos de carretera, pero demostrando la misma tendencia descrita.
- Holanda. De igual manera se encontró una correlación, aunque se destaca que la muestra era muy pequeña para establecer conclusiones más confiables.
- España. Específicamente en la región de Murcia, se encontraron dificultades para encontrar una correlación dado que existían muchos segmentos en zonas urbanas e incluía clasificaciones de una y dos estrellas únicamente.
- Alemania. A través de estudios realizados en Bavaria y Rheinland-Pfalz, los resultados obtenidos no arrojaron ningún tipo de correlación entre la clasificación por estrellas y la accidentalidad, destacando la inexistencia de datos confiables en los registros de accidentes, entre otras cosas.

Por su parte, AusRAP (2008) realizó su propia investigación, obteniendo mejores resultados al involucrar el costo de accidente en función del kilometraje generado, tal como se muestra a continuación:

- Costo de accidentes por veh-km en una vía de 4 estrellas ($0.027 AUD).

- Costo de accidentes por veh-km en una vía de 3 estrellas ($0.050 AUD).
- Costo de accidentes por veh-km en una vía de 2 estrellas ($0.101 AUD).

Dicho análisis fue generado a partir de información de volúmenes de tránsito y registros de accidentes correspondientes a un periodo de seis años (1999-2004), asignándoselos a tramos con condiciones físicas homogéneas, pero de longitud variable (entre los 200 m y 20 km). A su vez, se realizaron análisis particulares en cuanto al tipo de accidente que se pudiera generar (salidas de la vía, choque frontal y choque en intersecciones). Finalmente, los resultados indican que el costo de accidentes por vehículo-kilómetro se incrementa conforme la clasificación por estrellas disminuye, tal como lo muestra la siguiente figura.

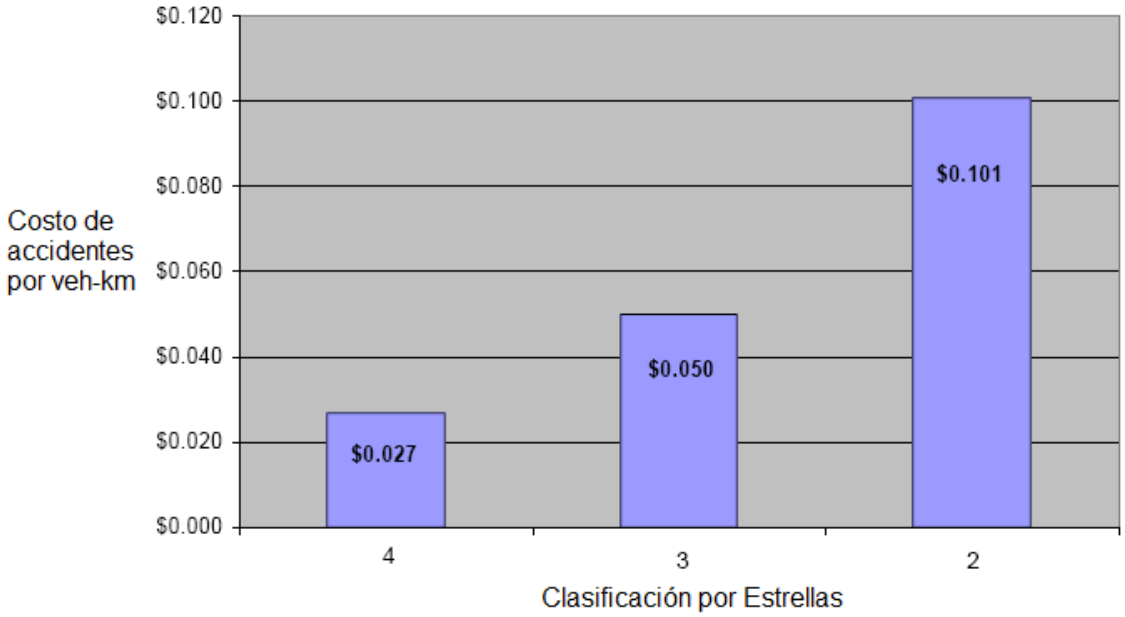


Figura 2.3 Clasificación por estrellas vs costo de accidentes por vehículo-kilómetro recorrido (Resultados AusRAP)

Fuente (Australian Road Assessment Programme, 2008)

UsRAP en sus inicios, no encontró una relación notable entre los mapas de riesgo y la clasificación por estrellas a partir de su proyecto piloto en el Estado de Iowa, así como tampoco una relación lo suficientemente confiable con indicadores de accidentalidad. Posteriormente, Harwood et al (2010), quien a través de un análisis de segmentos de 100 metros de longitud, señala que existe una fuerte evidencia (significancia $p<0.05$) de que la accidentalidad se reduce conforme la clasificación por estrellas se incrementa, validando el protocolo de usRAP como una herramienta apropiada para la gestión de la seguridad vial. Cabe destacar que el objetivo de los programas de evaluación carretera no es la predicción de accidentes dado que se enfoca exclusivamente en la infraestructura (excluyendo el comportamiento humano, así como las características físico-mecánicas de los vehículos), sin embargo, los resultados hasta la fecha obtenidos, han dado muestras de que sí está relacionado con la accidentalidad de las carreteras.

Este trabajo busca aterrizar esa relación para el caso específico de iRAP y su aplicación en México, estableciéndose que los estudios más robustos que cuentan con una mayor cantidad de información confiable, indican que existe una relación entre la ocurrencia de accidentes y la metodología RAP, ubicándose como una medida válida del riesgo para la gestión de la seguridad vial. Finalmente, es importante destacar que en cualquier análisis de accidentalidad se deberá tomar en cuenta la longitud de los segmentos o tramos a analizar, dada su alta influencia en la generación de modelos de accidentalidad, por lo que se recomiendan segmentos a partir de 500 metros hasta tramos de 30 kilómetros, dependiendo del análisis a realizar, así mismo garantizar que las características físicas y de operación sean lo más homogéneas posibles (Resende & Benekohal, 1997).

# 3. METODOLOGÍA

Dentro de este capítulo se expondrán los distintos pasos para llevar a cabo esta investigación. A su vez, al final de este capítulo se presenta el diagrama de flujo correspondiente a la metodología aquí presentada.

## 3.1 Recopilación de información

Consistió en la compilación de la información existente relativa a las mejores prácticas a nivel internacional en materia de seguridad vial tanto para evaluar la infraestructura carretera como la accidentalidad, estableciendo las siguientes etapas:

1. Revisión bibliográfica. Se procuró contar con información sobre la temática a nivel nacional e internacional, identificando las mejores prácticas o investigaciones similares a la que se realizó. Las líneas de investigación que se lograron identificar fueron las siguientes:
   - El estado de la seguridad vial a nivel nacional e internacional.
   - Metodologías de evaluación carretera.
   - Indicadores de accidentalidad.
   - Administración y manejo de bases de datos.
   - Sistemas de información geográficas.
   - Métodos estadísticos y probabilísticos para correlación de variables.
2. Proyecto iRAP-México Fase I. Obtención de la información correspondiente a la clasificación por estrellas del proyecto iRAP-México Fase I, realizado a finales del año 2012, el cual se encuentra publicado en el portal de internet “ViDA” (2014). En esta fase se obtuvo lo siguiente:
   - Archivo en Excel (con extensión .csv) con la clasificación por estrellas, el puntaje de protección de la vía y la codificación de atributos en segmentos de 100 metros en 45,378.50 km de la Red Carretera Federal (RCF).

- Archivos de Google Earth (con extensión .kml) con la clasificación por estrellas georreferenciada de los 45,378.50 km de la RCF.

3. Historial de accidentalidad. Se recopiló información sobre el historial de accidentalidad en la RCF correspondiente a un periodo de cuatro años, el cual fue obtenido a través del Sistema de Adquisición y Administración de Datos de Accidentes (SAADA) del Instituto Mexicano del Transporte (IMT) para el año 2010 y la Policía Federal (PF) para los años 2011-2013. A su vez, se hace referencia a la estadística de accidentalidad en carreteras federales publicados a la fecha, por el IMT.
   - Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales 2010 (Cuevas, Gómez, Villegas, Mayoral, & Mendoza, 2013).
   - Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales 2011 (Cuevas, Gómez, Villegas, Mayoral, & Mendoza, 2013).
   - Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales 2012 (Cuevas, Villegas, Mayoral, & Mendoza, 2014).
   - Anuario Estadístico de Accidentes en Carreteras Federales 2013 (Pendiente por publicar).

## 3.2 Generación de bases de datos

En esta etapa se administraron las bases de datos con ayuda del software Visual Fox Pro de manera que se obtuviera información confiable y de esta manera poder identificar aquellos registros que podrán ser utilizados en el análisis. Inicialmente, se trabajó con 2 bases de datos:

1. Proyecto iRAP-México Fase I (453,785 registros).
2. Saldos de accidentes 2010-2013 (98,187 registros).

Finalmente, se agrupó la información en segmentos de 100 m, 1000 m, 5000 m, de longitud variable considerando el catálogo de tramos del IMT y de longitud variable de acuerdo a las secciones suavizadas de iRAP, generando

cinco bases de datos correspondientes al proyecto iRAP-México Fase I y a los saldos de accidentes.

## 3.3 Selección y clasificación de la muestra de estudio

Para los fines de este trabajo, la muestra fue seleccionada considerando exclusivamente la clasificación por estrellas obtenida para los ocupantes de vehículos, así como en función de la vigilancia y jurisdicción de la Policía Federal (PF). Por lo tanto, se descartaron los segmentos de 100 metros inspeccionados por iRAP que cumplieran con alguna de las siguientes características:

- No eran de jurisdicción federal (SCT, CAPUFE o concesionarias).
- No eran vigilados por la Policía Federal (PF).
- Zonas urbanas.
- Tramos en obras.
- Tramos repetidos.

A su vez, se realizó la clasificación en cuatro grupos; dicha clasificación obedece al tipo de carretera, cuota o libre, y al número de carriles tal como se muestra en la Figura 3.1.

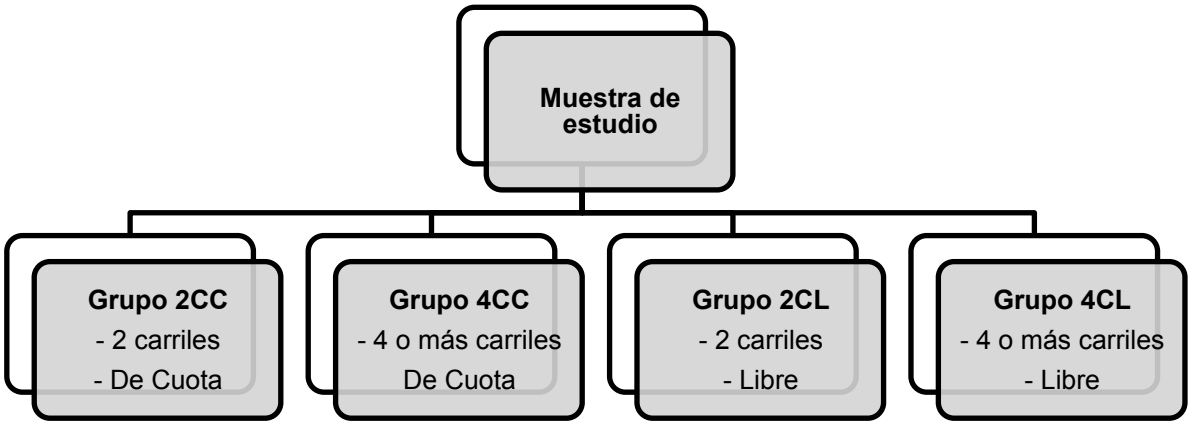


Figura 3.1 Clasificación de la muestra de estudio (grupos de estudio)

Fuente: Elaboración propia

## 3.4 Análisis de la clasificación por estrellas y el puntaje de protección de la vía (PPV)

A partir de la base de datos de iRAP, una vez seleccionada la muestra, se seleccionaron las características principales que fueran pertinentes para el análisis; es decir, aquellas que influyeran en la clasificación por estrellas para los ocupantes de vehículos exclusivamente. Dado que la información de accidentes no permite identificar el sentido de circulación en el que ocurrieron, se tuvieron que combinar las características en aquellos segmentos donde se habían codificado y calculado el PPV en ambos sentidos. Algunas de las características que se combinaron fueron:

- Diseño geométrico de la vía. Alineamiento horizontal y vertical, sección trasversal, pendiente transversal y longitudinal.
- Señalamiento horizontal y vertical. Presencia o no del señalamiento, así como la calidad del mismo.
- Diseño de zonas laterales de la vía. Tipos de objetos peligrosos (árboles, postes, rocas, etc.) a los costados de la vía, así como su distancia.
- Operación de la vía. Flujos de tránsito y velocidades de operación.

Cada una de estas características tiene un valor de PPV, por lo tanto para asignar un valor a cada segmento, se obtuvo el promedio de ambos sentidos.

## 3.5 Análisis de la accidentalidad

De acuerdo a la base de accidentes de 2010 a 2013, se hizo un análisis para la obtención de los índices de accidentalidad de la muestra previamente seleccionada. Es importante destacar que únicamente se utilizaron accidentes con víctimas, es decir, cuyas consecuencias hayan ocasionado la muerte o lesiones en los involucrados; este criterio ha sido utilizado ampliamente a nivel internacional dado que la información es más confiable. A su vez, se realizaron dos grandes análisis, el primero considerando todos los segmentos previamente seleccionados

y el segundo utilizando únicamente segmentos que reportaron accidentes. Los indicadores de accidentalidad mostrados en el Cuadro 3.1, los cuales fueron brevemente descritos en el capítulo anterior, se determinaron con el objetivo de establecer la relación que existe entre el PPV y la accidentalidad.

Cuadro 3.1 Indicadores de accidentalidad utilizados para el análisis

| Indicador | Ecuación | Fuente |
|---|---|---|
| Frecuencia de accidentes | Ecuación 1 | Cuevas et al (2011) |
| Densidad de accidentes | Ecuación 2 | Cuevas et al (2011) |
| Índice de accidentalidad | Ecuación 4 | Cuevas et al (2011) |
| EPDO | Ecuación 13 | Espinoza (2014) |
| Costo de accidentes | Ecuación 14 | MaMahon et al (2010) |
| Mapas de riesgo RAP | Variable | EuroRAP (2013) |

Fuente: Elaboración propia.

### 3.6 Análisis estadístico entre el PPV y la accidentalidad

Con ayuda del software IBM SPSS Statistics, se realizó un análisis estadístico que correlacionara el puntaje de protección de la vía generado (PPV) y los índices de accidentalidad mostrados en el Cuadro 3.1. En esta parte se definió la relación que existe entre la clasificación por estrellas de la metodología iRAP y la accidentalidad para cada grupo de la muestra seleccionada. A su vez se realizó un análisis comparativo entre la clasificación por estrellas y los mapas de riesgo, relacionando nuevamente la infraestructura con su nivel de accidentalidad, esto con el objetivo de definir patrones y establecer su aplicación en la vida real.

Finalmente, se realizaron las respectivas conclusiones sobre el estudio, así como las recomendaciones pertinentes para el uso eficiente de los mapas de riesgo y la clasificación por estrellas en la RCF.

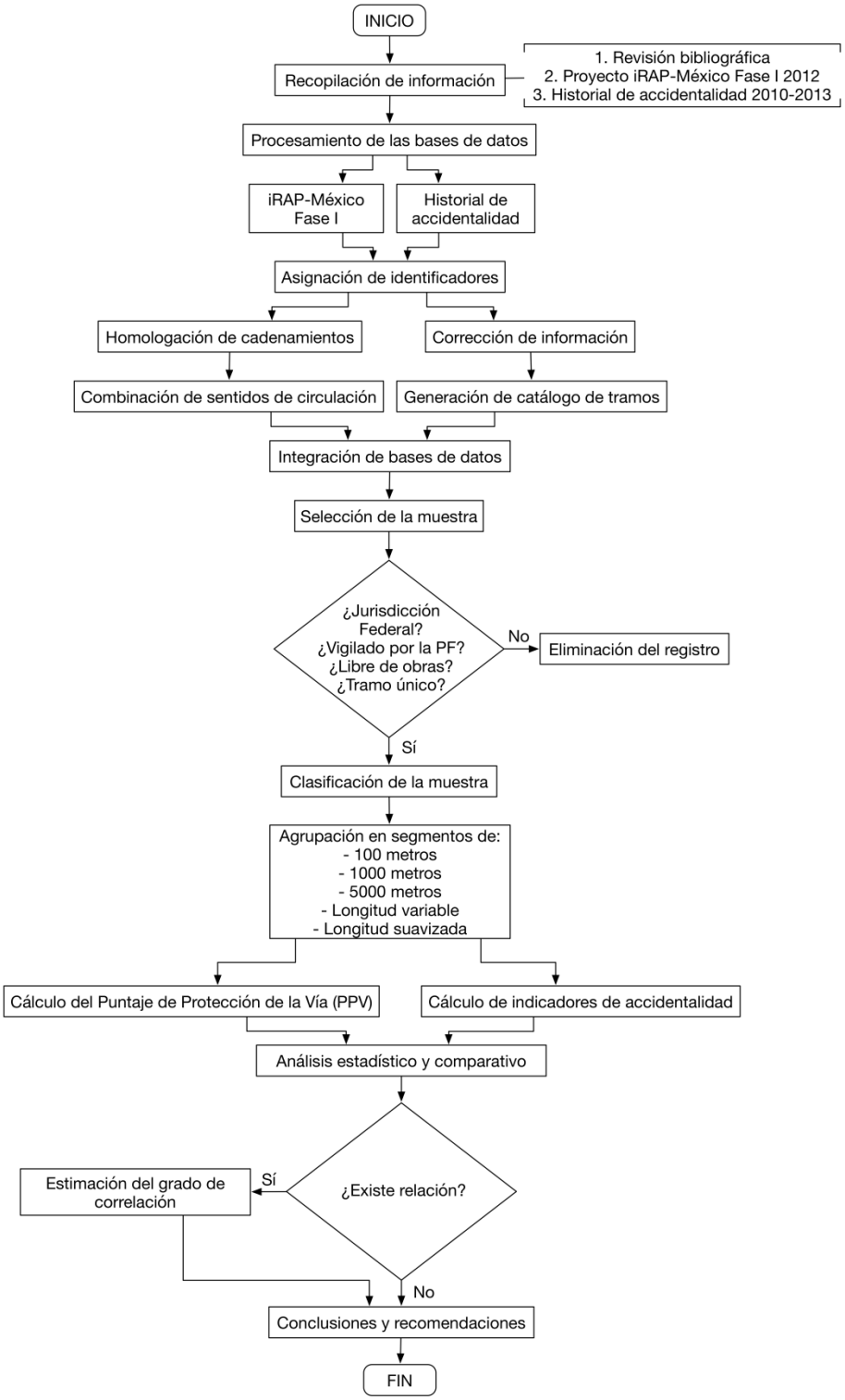


Figura 3.2 Metodología (diagrama de flujo)

Fuente: Elaboración propia

## 4. GENERACIÓN DE BASES DE DATOS Y SELECCIÓN DE MUESTRA

En esta etapa se procesó toda la información recopilada tanto del proyecto iRAP-México Fase I como del historial de accidentalidad 2010-2013 en carreteras federales, con el objetivo de identificar los segmentos en ambas bases y de esta manera, poder realizar el análisis estadístico.

Con base en la información de la Dirección General de Conservación de Carreteras (DGCC) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y la Policía Federal (PF), se realizó una revisión exhaustiva del catálogo de tramos del Instituto Mexicano del Transporte (IMT) vigente al 2012, siendo esta actualización un producto para la asignación de identificadores a los registros en las distintas bases, así como el modelo para la segmentación de los mismos. Por una parte, la información de la DGCC sirvió para definir la longitud de las carreteras de jurisdicción federal, estableciendo el cadenamiento inicial y final a su cargo, así como el número de carriles con los que cuenta; cabe aclarar que esta información se limita a carreteras libres de peaje. Por otro lado, la PF brindó información respecto a la longitud de carretera vigilada, es decir, donde el acceso a información de accidentes fuera posible. Considerando ambas fuentes, se logró definir un catálogo de tramos que establece nuevos límites en todos los tramos, eliminando aquellos estatales y municipales, así como aquellos cuyos registros de accidentes no son responsabilidad de la PF. Dentro de los problemas identificados como resultado de esta revisión, se encuentran:

- Inconsistencia en la continuidad del cadenamiento, especialmente cuando se unen carreteras de cuota con carreteras libres. A su vez, se encontraron discontinuidades en el cadenamiento entre entidades federativas.
- Inconsistencia en el número de ruta, es decir, se desconoce la ruta oficial dado que la SCT y la PF les asignan diferente nomenclatura.

- Cadenamientos invertidos con respecto a la versión anterior del catálogo de tramos del IMT.
- Ubicación de postes de cadenamiento desfasados, obteniendo una longitud de carretera diferente a la real.
- La longitud de los tramos en el catálogo de tramos anterior era muy variable, por lo que se establecieron tramos más uniformes, aproximadamente entre 20 y 40 km. Cabe mencionar que se respetaron los límites de estado, por lo que la longitud de algunos tramos no pudo mantenerse entre este rango.
- Tramos carreteros cuyo control y mantenimiento han pasado a cargo de estados o municipios (zonas urbanas especialmente).
- Tramos carreteros federales (a cargo de la SCT) pero que no se encuentran vigilados por la PF y viceversa.
- Tramos carreteros federales y bajo el control de la PF que no reportan accidentes, dado que no eran vigiladas realmente por ninguna comisaría.
- En algunos casos, la PF no hace distinción en el nombre de una carretera de cuota y una libre.
- El tipo de carretera de acuerdo a la clasificación de la SCT ya no era vigente, por lo que se actualizó de acuerdo a la actualización de la NOM-012-SCT-2-2014 sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal.
- De igual manera, se actualizó el número de carriles.

Cabe hacer mención que esta revisión fue producto de un gran esfuerzo realizado en conjunto con integrantes del IMT quienes utilizan esta herramienta para generar otros estudios como los Anuarios Estadísticos de Accidentes y Costos de Operación, por lo que se puede considerar como un producto adicional, el cual podrá ser utilizado para cualquier otro tipo de investigación que lo requiera.

## 4.1 Base de datos de iRAP-México Fase I

Este trabajo se enfocó específicamente en los resultados obtenidos de la clasificación por estrellas para ocupantes de vehículos del proyecto iRAP-México Fase I. Para cada uno de los segmentos de 100 m, se asignaron identificadores que permitieran establecer con exactitud la ruta, carretera, tramo y el cadenamiento al cual hace referencia la clasificación por estrellas dado que estos atributos fueron establecidos por iRAP y no necesariamente coinciden con aquellos empleados por la SCT.

La base de datos original de iRAP fue recibida en un archivo en formato Excel con 453,785 registros, los cuales contaban con 114 columnas o campos de información; este archivo fue migrado al software Visual Fox Pro para facilitar el manejo de la base de datos y posteriormente se realizaron los procesos que se describen a continuación:

1. Considerando los campos de “nombre de carretera” y “nombre de la sección”, generados por iRAP, se asignó un identificador de carretera (*id_carr*) previamente establecido en el nuevo catálogo del IMT para la generación del anuario estadístico de accidentes. Dicha asignación se generó con gran detalle dado que estos campos no necesariamente correspondían a los nombres oficiales de las carreteras o dados de alta en el catálogo del IMT, sino que podían hacer referencia a alguna localidad o monumento cercano. Cabe mencionar que todo aquel registro sin identificador de carretera establecido en el catálogo del IMT, fue eliminado; dichos registros correspondían a carreteras estatales y municipales dentro de las cuales no se cuenta con información de accidentalidad.
2. Una vez identificados los registros, se realizó una homologación del cadenamiento (*km_homo*). Esta actividad requirió un mayor tiempo, dado que el cadenamiento establecido en la base de datos de iRAP únicamente hace referencia al inicio y término de la sección de carretera recorrida, así como al

sentido de circulación en el que se realizó el levantamiento; de tal manera, que una vez que existe un cambio en la sección o sentido de circulación, el cadenamiento reinicia en cero, no obstante que formen parte de la misma carretera, y por tanto el cadenamiento real (impuesto por la SCT) debiera ser continuo; a su vez, hubo casos donde los recorridos de iRAP se hicieron en el sentido contrario al cadenamiento, por ejemplo: una carretera que va del kilómetro 10+000 al 200+000, siendo el kilómetro 200+000 el cero para iRAP, es decir donde se inició el recorrido. Dado lo anterior, se ubicaron geográficamente todos los registros de manera que se visualizara el cadenamiento iRAP y con la ayuda de una capa con datos georreferenciados de algunas señales reales de cadenamiento en toda la RCF, se realizó la homologación correspondiente. Posteriormente, se corroboró la homologación con datos de la DGCC, así como de la PF. Cabe destacar que se utilizaron herramientas como ArcGIS, Google Maps Street View y Google Earth.

3. Dado que existen carreteras cuya inspección se realizó en ambos sentidos, generando dos registros para un mismo segmento de 100 metros lineales de carretera, se optó por combinar dichos registros en uno solo, de manera que se obtuvieran características físicas homogéneas y un valor de PPV único promedio para cada segmento, independientemente del sentido de circulación. El proceso anterior fue realizado dado que la información de accidentes proporcionada no permite determinar el sentido de circulación en el que ocurrieron los mismos.
4. Posteriormente, con base en el nuevo catálogo del IMT, se seleccionaron todos aquellos segmentos que no eran vigilados por la PF y/o que no eran de jurisdicción federal, entendiendo por ello, que eran segmentos de jurisdicción estatal o municipal cuya información de accidentes era inexistente. Dichos segmentos fueron también excluidos del estudio.

5. Se identificaron aquellos segmentos que se encontraban en obras de construcción mayores al momento de realizar la inspección por iRAP. Dichos segmentos fueron excluidos dado que el valor de PPV no es confiable de acuerdo a la metodología de iRAP ya que considera características temporales de la vía más no definitivas.
6. De esta manera, se obtuvieron 316,580 registros los cuales representan un total de 31,658 kilómetros inspeccionados por iRAP, que equivalen al 70% de la RCF. Dado que solo se consideró el PPV generado para ocupantes de vehículos, se seleccionaron únicamente 18 campos de los 114 disponibles. Para mayor información sobre la longitud efectiva de carreteras analizadas, así como los campos considerados, consulte el Anexo 1 y 2.
7. Finalmente, los registros se agruparon en segmentos de 1000 metros, 5000 metros, de longitud variable de acuerdo al catálogo de tramos del IMT y de longitud variable de acuerdo a las secciones suavizadas de iRAP; dicha segmentación se pudo realizar a través de un algoritmo que tomó como base el nuevo catálogo de tramos del IMT; cabe hacer mención que el PPV de cada registro de 100 m fue promediado según cada agrupación de segmentos.

## 4.2 Base de datos de accidentalidad

Las bases de datos de accidentes fueron proporcionadas por el IMT. Dichas bases correspondían a un periodo de estudio de cuatro años, desde 2010 a 2013. Una vez conjuntadas las cuatro bases en un solo archivo de 98,187 registros, se realizó lo siguiente:

1. Inicialmente se contaba con información depurada e identificada de los años 2010, 2011 y 2012. No obstante, los identificadores correspondían a la versión anterior del catálogo de tramos del IMT, por lo que se realizó la actualización del *id_carr* para cada registro de accidente. A su vez, una

vez obtenida la información correspondiente al año 2013, se le asignó su correspondiente *id_carr* a cada registro.

2. Dadas las anomalías encontradas en la revisión del catálogo de tramos del IMT con respecto al cadenamiento, este dato fue corregido en los registros que lo requirieran, así como el *id_carr* erróneamente asignado en algunos de ellos.
3. Finalmente, se agruparon los registros en segmentos de 1000 metros, 5000 metros, de longitud variable y de longitud variable suavizada. De igual manera, la segmentación se realizó a través de un algoritmo que tomó como base el nuevo catálogo de tramos del IMT.

Es importante destacar que el manejo de base de datos significó una parte fundamental para esta investigación, siendo además, la etapa que más tiempo requirió. En el Anexo 2 se encuentra el diccionario de datos utilizado en esta etapa el cual describe todos los campos contenidos en las bases de datos.

## 4.3 Selección y clasificación de muestra

### 4.3.1 Datos de iRAP

Como se mencionó en el capítulo anterior, la muestra fue seleccionada a partir de la información del proyecto iRAP-México Fase I, exclusivamente la clasificación por estrellas obtenida para los ocupantes de vehículos. El Cuadro 4.1 muestra la selección de la muestra de estudio para el proyecto iRAP-México Fase I, dicha selección se definió en función de todo aquel segmento de 100 metros inspeccionado por iRAP que pudiera ser utilizado dentro de este análisis, por lo tanto la longitud total inspeccionada disminuyó debido a las siguientes premisas:

a) Se excluyeron del análisis 3,345 segmentos de 100 metros dado que no cuentan con identificador dentro del catálogo de tramos del IMT.
b) Esta premisa no obedece a una eliminación sino a aquellos segmentos en los que fue necesario promediar para obtener un PPV combinado ya que

la inspección se realizó en ambos sentidos; bajo este esquema existen 235,816 segmentos que una vez combinados se convierten en 117,908 elementos de 100 metros.

c) Eliminación de segmentos que no son vigilados por la PF; en este rubro se identificaron 1,153.1 km de carretera.

d) Eliminación de segmentos que durante el recorrido de inspección se encontraban en obras de mantenimiento los cuales ascendían a 442.1 km.

Cuadro 4.1 Longitud inspeccionada para análisis (Muestra)

| Longitud inicial (km) | Premisa | Longitud final (km) |
|---|---|---|
| 45,378.5 (100%) | a) Eliminación de segmentos por no tener identificador del catálogo de tramos. 3,345 segmentos = 334.5 km | 45,044.0 (99.3%) |
| 45,044.0 (99.3%) | b) Combinación de segmentos para obtener el PPV en ambos sentidos. 117,908 segmentos = 11,790.8 km | 33,253.2 (73.3%) |
| 33,253.2 (73.3%) | c) Eliminación de segmentos que no son vigilados por la PF. 11,531 segmentos = 1,153.1 km | 32,100.1 (70.7%) |
| 32,100.1 (70.7%) | d) Eliminación de segmentos con obras de mantenimiento. 4,421 segmentos = 442.1 km | 31,658.0 (69.8%) |

Fuente: Elaboración propia en base a la información de iRAP

La longitud final de 31,658 km queda distribuida en 424,516 segmentos de 100 metros, lo cual representa el 93.6% de todos los segmentos inspeccionados; posteriormente al combinar los segmentos tal como se describe en la premisa del inciso “b”, la base de segmentos de 100 metros queda constituida por 316,580 elementos. A partir de esta base de datos se realizaron agrupaciones generando segmentos de longitud mayor tal como se describe a continuación:

- Agrupación de segmentos de 100 m para formar tramos de 1,000 m. Es importante mencionar que no fue posible agrupar la totalidad de los

segmentos de 100 m en tramos de 1,000 m dada la existencia de discontinuidades a lo largo de la RCF que obedecen a cualquiera de las siguientes razones:

- Tramos cuyas longitudes no eran múltiplos de 1,000.
- Exclusión de segmentos por encontrarse en obras.
- No fueron inspeccionados por iRAP.

De tal forma que la longitud agrupada en segmentos de 1,000 m se reduce de 31,658.0 km a 30,950.0 km, conformando una base de datos con 30,950 elementos.

- Agrupación de segmentos de 100 m para formar tramos de 5,000 m. En este caso nuevamente las discontinuidades expuestas anteriormente no permitieron agrupar la totalidad de los segmentos de 100 m, por lo tanto también se redujo la longitud de 31,658.0 km a 27,660.0 km para conformar una base de datos con 5,532 elementos.
- Agrupación de segmentos de 100 m para formar tramos de longitud variable según el nuevo catálogo del IMT. Para esta variante se logró la agrupación de los 31,658 km ya que desde un inicio los segmentos corresponden en su totalidad al catálogo de tramos del IMT, integrando una base de datos con 1,120 elementos los cuales son de una longitud variable que oscila entre los 20 y 40 km.
- Agrupación de segmentos de 100 m para formar tramos de longitud variable según los tramos suavizados de iRAP. Para lograr esta agrupación, iRAP identifica segmentos continuos con valores de codificación similares y los agrupa a través de un proceso llamado “suavizado”, que se define con mayor detalle en el capítulo 5, y cuya longitud oscila entre los 100 m y 10 km. Para efectos de este análisis solo se consideraron los tramos dentro de un rango de longitud entre 500 y 5,000 metros, por lo tanto la longitud se redujo de 31,658.0 km a 29,713.8 km integrando una base de datos con 16,796 elementos.

Evidentemente cada elemento de las agrupaciones antes descritas tiene un valor de PPV que se obtuvo promediando el PPV de cada segmento de 100 m que lo integra, y adicionalmente cada elemento se encuentra identificado con una clave que es única e irrepetible. El Cuadro 4.2 muestra para cada agrupación el número de elementos que integran las bases de datos, así como la longitud.

Cuadro 4.2 Número de elementos de la muestra con PPV

| Base de datos | N° de elementos | Longitud (km) | Porcentaje (%) |
|---|---|---|---|
| **1. 100 m** | 316,580 | 31,658.0 | 100.0 |
| **2. 1000 m** | 30,950 | 30,950.0 | 97.8 |
| **3. 5000 m** | 5,532 | 27,660.0 | 87.4 |
| **4. Variable** | 1,120 | 31,658.0 | 100.0 |
| **5. Suavizado** | 16,796 | 29,713.8 | 93.9 |

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, el Cuadro 4.3 muestra la clasificación de los segmentos de acuerdo a los grupos de estudio establecidos en la Figura 3.1.

Cuadro 4.3 Número de elementos de la muestra, por grupos de estudio

| Grupo | 100 m. | 1000 m. | 5000 |
|---|---|---|---|
| **2CC – 2 carriles cuota** | 18,311 | 1,792 | 320 |
| **4CC – 4 o más carriles cuota** | 49,525 | 4,825 | 844 |
| **2CL – 2 carriles libre** | 191,409 | 18,796 | 3,415 |
| **4CL – 4 o más carriles libre** | 57,335 | 5,537 | 953 |
| **Total** | **316,580** | **30,950** | **5532** |
| **Grupo** | **Variable** | **Suavizado** | |
| **2CC – 2 carriles cuota** | 73 | 752 | |
| **4CC – 4 o más carriles cuota** | 169 | 3,112 | |
| **2CL – 2 carriles libre** | 651 | 8,935 | |
| **4CL – 4 o más carriles libre** | 227 | 3,997 | |
| **Total** | **1,120** | **16,796** | |

Fuente: Elaboración propia

De la misma manera, la Figura 4.1 muestra el porcentaje correspondiente de segmentos de 100 m ubicados en cada grupo de estudio; de aquí se destaca un número mayor de segmentos de carretera libre, siendo aquellas con dos carriles las que mayor presencia tienen. Por otro lado, las carreteras de dos carriles cuota representan el menor número de registros por lo que habrá de considerarse al momento de realizar el análisis estadístico.

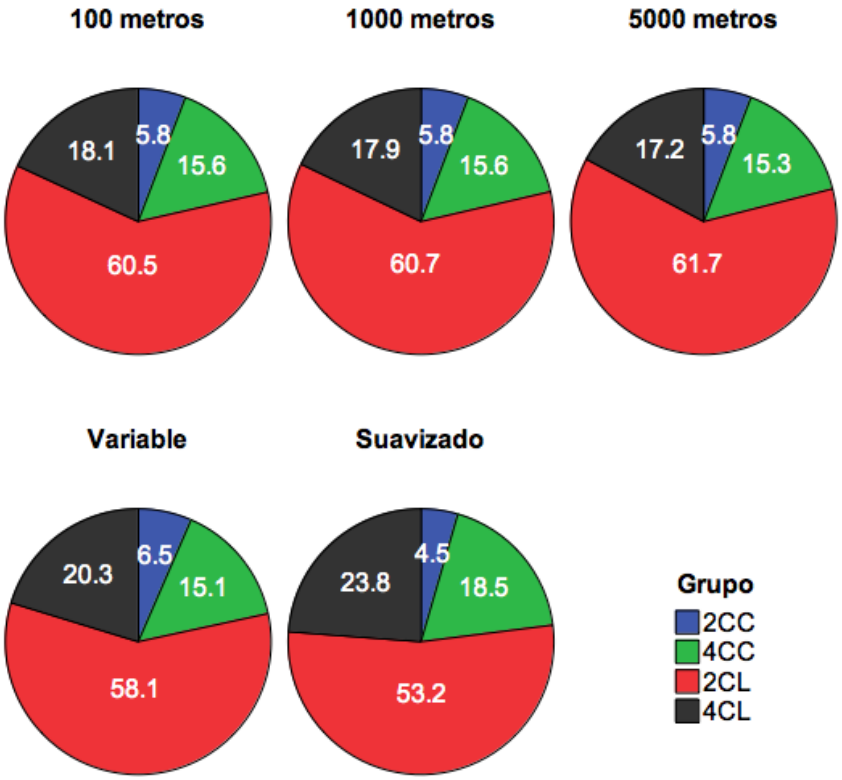


Figura 4.1 Distribución de elementos en cada grupo de estudio, por tipo de base

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.2 Datos de accidentes

El historial de accidentalidad de 2010 a 2013 se muestra en el Cuadro 4.4. En la parte superior del cuadro, destacan los saldos de los 98,183 accidentes

ocurridos en la RCF, mientras que la parte inferior muestra únicamente los saldos de los 51,760 accidentes con víctimas; es decir, donde se reportó al menos una persona herida o muerta en el sitio; resultando que el 52.5% de las colisiones de tránsito tuvieron consecuencias de carácter humano.

Cuadro 4.4 Saldos de accidentes en la RCF, por año

| Accidentes | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Año** | **N° de accidentes** | **N° de muertos** | **N° de lesionados** | **Daños materiales (millones de pesos)** |
| **2010** | 27,241 | 4,822 | 27,929 | 1,442.2 |
| **2011** | 24,855 | 4,376 | 25,636 | 1,359.9 |
| **2012** | 24,085 | 4,548 | 24,364 | 1,379.6 |
| **2013** | 22,002 | 3,688 | 20,577 | 1,330.6 |
| **Total** | **98,183** | **17,434** | **98,506** | **5,512.3** |
| **Accidentes con víctimas** | | | | |
| **Año** | **N° de accidentes** | **N° de muertos** | **N° de lesionados** | **Daños materiales (millones de pesos)** |
| **2010** | 14,400 | 4,822 | 27,929 | 780.9 |
| **2011** | 13,199 | 4,376 | 25,636 | 733.9 |
| **2012** | 12,860 | 4,548 | 24,364 | 752.5 |
| **2013** | 11,301 | 3,688 | 20,577 | 673.4 |
| **Total** | **51,760** | **17,434** | **98,506** | **2,940.7** |

Fuente: Elaboración propia en base a información del SAADA y la PF

Como se había comentado en el capítulo anterior, para este análisis se consideraron únicamente los accidentes con víctimas; de tal forma que en primera instancia el universo de datos para el análisis es de 51,760 colisiones las cuales se conjuntaron en una sola base de datos y por medio de un programa informático se les asignó la clave que identifica a cada uno de los elementos que conforman las agrupaciones descritas en el apartado 4.3.1. Después de este proceso se agruparon los saldos de las colisiones de acuerdo a los identificadores y evidentemente no todos los accidentes quedaron dentro de alguna agrupación como tampoco todos los elementos de las agrupaciones tuvieron registros de

colisiones con víctimas; por ejemplo, en la base de datos 1 que contiene los 316,580 segmentos de 100 m, solo en el 11% se tienen colisiones con víctimas, es decir en 33,487 elementos, mientras que para los elementos de longitud variable (base de datos 4) la proporción es de 98%, es decir 1,092 de los 1,120 tramos tienen accidentes con víctimas. El Cuadro 4.5 describe para cada agrupación el número de elementos que reportan accidentes con víctimas, así como sus saldos.

Cuadro 4.5 Número de elementos de la muestra con accidentes con víctimas, por periodo

| | **N° de elementos con** | | | **Saldos de accidentes con víctimas** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Base de datos** | **PPV** | **Accidentes** | **%** | **N° de accidentes** | **N° de muertos** | **N° de lesionados** | **Daños materiales (millones de pesos)** |
| **1. 100 m.** | 316,580 | 33,487 | 11 | 40,687 | 13,748 | 77,533 | 2,433.5 |
| **2. 1000 m.** | 30,950 | 16,388 | 53 | 39,376 | 13,379 | 75,106 | 2,357.8 |
| **3. 5000 m.** | 5,532 | 4,846 | 88 | 33,866 | 11,793 | 64,772 | 2,050.1 |
| **4. Variable** | 1,120 | 1,092 | 98 | 40,687 | 13,748 | 77,533 | 2,433.5 |
| **5. Suavizado** | 16,796 | 11,249 | 67 | 36,317 | 12,540 | 69,641 | 2,208.6 |

Fuente: Elaboración propia

# 5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y COMPARATIVO: RESULTADOS

Dentro de este capítulo se exponen los resultados obtenidos en este trabajo. Primeramente, se describe tanto la información de iRAP como la del historial de accidentalidad por separado; posteriormente, se muestran los resultados al relacionar ambas variables.

## 5.1 Estadísticos descriptivos de la clasificación por estrellas y el puntaje de protección de la vía (PPV)

Tal como se hizo mención en el capítulo 2, iRAP es una organización no gubernamental y sin fines de lucro la cual se encarga de inspeccionar la infraestructura de vías de alto riesgo con el objetivo de minimizar el impacto social y económico que representan los accidentes de tránsito. Dado lo anterior, aquí se describe, con mayor detalle, el protocolo 2 correspondiente a la clasificación por estrellas y el puntaje de protección de la vía (International Road Assessment Programme, 2014). La clasificación por estrellas (C.E.) es un indicador el cual se obtiene a través de la inspección de las características físicas y de operación de una carretera las cuales se conoce que tienen impacto en la probabilidad de que ocurra un accidente, así como en la severidad del mismo. Dicho indicador se establece en una escala de 1 a 5 estrellas, siendo las carreteras con 5 estrellas las más seguras o de menor riesgo cuyas características son apropiadas para las velocidades de operación que prevalecen.

Para llevar a cabo el cálculo de este indicador es necesario una recolección de información en campo; en México, lo anterior se logró a través de un levantamiento con un vehículo equipado, calibrado y aprobado por iRAP el cual graba imágenes a cada 20 metros de recorrido para su posterior análisis en gabinete y así, dar inicio al proceso de codificación. Sin duda alguna, la codificación de los tramos levantados en campo es la etapa que requiere un mayor tiempo, así como un mayor control de la calidad de la información. Dado que la

codificación se realiza en segmentos de 100 metros, el codificador tiene la responsabilidad de establecer las condiciones más adversas dentro de esos 100 metros de longitud analizados, es decir, codificar las condiciones que comprometan más la seguridad de los usuarios; para ello, existe un Manual de Codificación (2014) el cual establece una serie de criterios a seguir.

Finalizada la etapa de codificación, se calcula el puntaje de protección de la vía (PPV), el cual está basado en la probabilidad y severidad de ocurrencia de los tipos de accidente que incrementan mayoritariamente el número de muertos y lesionados a nivel internacional. Dado que únicamente se analizó el PPV para los ocupantes de vehículos, se describen a continuación los tipos de accidentes considerados:

- Salidas de la vía (lado del conductor y lado del pasajero). Se presenta cuando el vehículo sale de la calzada, invadiendo los acotamientos y posteriormente, ocupa las zonas laterales al camino. Normalmente este tipo de accidentes únicamente involucran un vehículo.
- Choques frontales. Se presenta cuando dos vehículos que circulan en dirección contraria se colisionan. Normalmente se presenta en carreteras cuyos flujos de tránsito no se encuentran divididos por una mediana o franja separadora. A su vez, pueden ocasionarse por una pérdida total del control del vehículo o al realizar maniobras de rebase.
- Choques en intersecciones y puntos de acceso. Se presenta cuando la colisión se da entre vehículos circulando en diferentes direcciones, es decir, en accesos y cruces con otras carreteras.

Posteriormente, a cada variable codificada se le asigna un factor de probabilidad y un factor de severidad conocidos como factores de riesgo, los cuales generan un PPV parcial para cada tipo de accidente previamente descrito (*PTA*), tal como lo indican las siguientes ecuaciones:

$$PPV = \sum PTA \quad (15)$$

$$PTA = P \times S \times V_O \times IE_T \times CM \quad (16)$$

Dónde:

PTA = Puntaje por tipo de accidente

P = Probabilidad de ocurrencia del accidente

S = Severidad del accidente

$V_O$ = Velocidad de operación

$IE_T$ = Influencia del tránsito

CM = Cruzamiento de mediana

A su vez, la Figura 5.1 hace referencia a la misma ecuación para el cálculo del PPV para ocupantes de vehículos, destacando todos los atributos requeridos para ello. De esta manera, a cada uno de los atributos de la infraestructura se le asigna un factor de probabilidad y un factor de severidad, obteniendo un factor integral de cada uno de éstos para cada tipo de accidente; dicho factor integral se logra a través de la multiplicación de todos los atributos. Posteriormente, se obtiene el PPV parcial a través de la multiplicación nuevamente de los factores integrales de probabilidad y severidad, en conjunto con los factores de la velocidad de operación, la influencia del tránsito y el cruzamiento de la mediana. Por un lado, la velocidad de operación se codifica de acuerdo a estadísticas oficiales, o bien, recopiladas durante estudios de medición en campo, mientras que los factores de influencia del tránsito se establecen a partir de una relación de grado de saturación por carril con la probabilidad de ocurrencia de accidentes del tipo salida de la vía y choque frontal, o bien, dependiendo del tránsito codificado para accidentes en intersecciones y la existencia de vías laterales para accidentes en puntos de acceso; por último, el factor cruzamiento de la mediana se establece a partir del tipo de mediana.

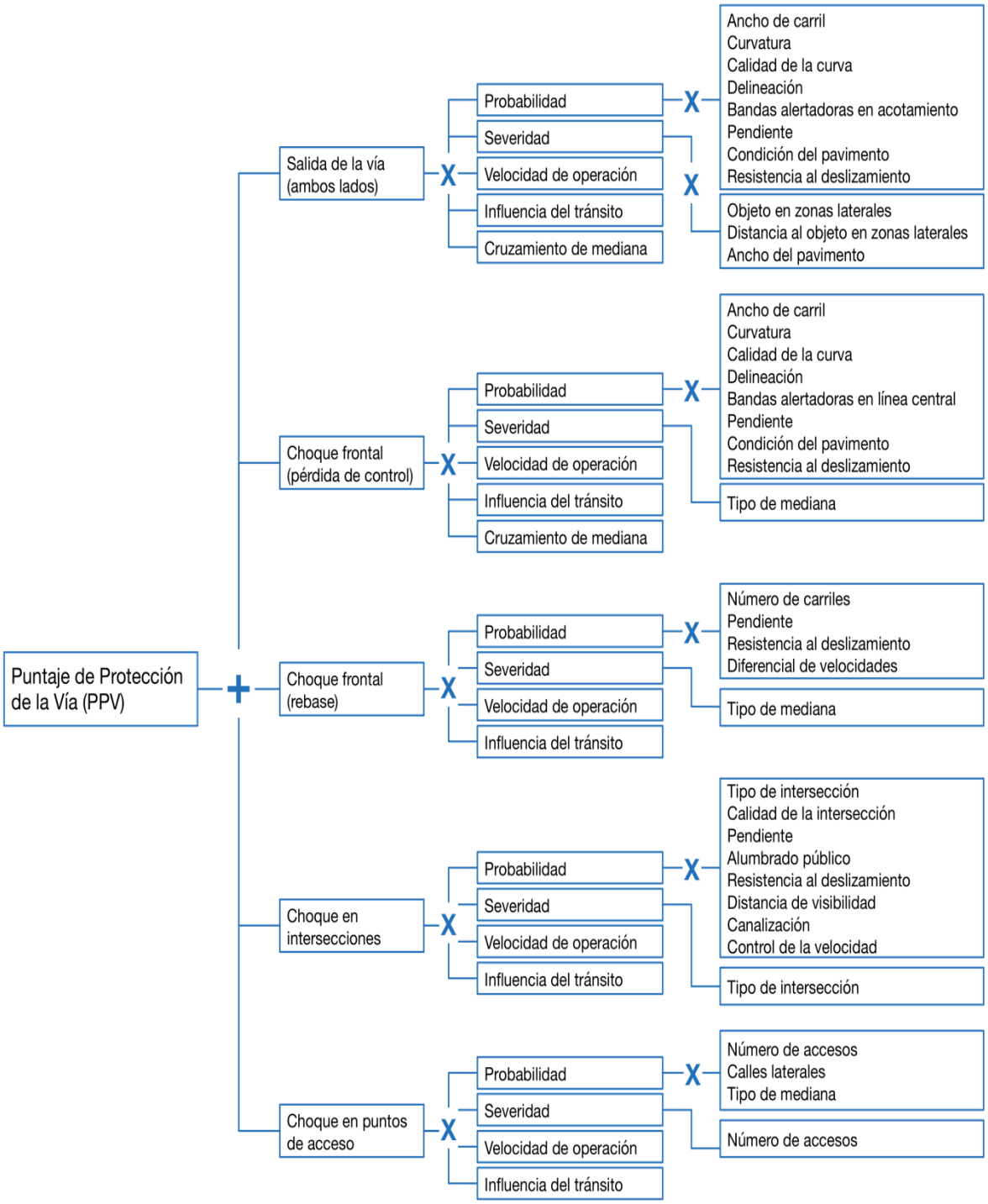


Figura 5.1 Ecuación para el cálculo del PPV (ocupantes de vehículos)

Fuente (International Road Assessment Programme, 2014)

Es importante hacer mención que el cálculo del PPV no se realiza cuando hay obras mayores en proceso o cuando no se detecta el tipo de usuario presente en la infraestructura (peatones, ciclistas, motociclistas). Una vez calculado el PPV parcial correspondiente a cada tipo de accidente, la sumatoria da como resultado el PPV final para cada segmento de 100 metros, el cual se encuentra en una escala de cero a infinito, donde el cero significa una situación segura, es decir, conforme se incrementa el PPV, el riesgo aumenta, tal como lo muestra el Cuadro 5.1. Dependiendo del PPV calculado, los segmentos se asignan a cada una de las bandas mostradas en el mismo cuadro, obteniendo así, la clasificación por estrellas. Dichas bandas fueron establecidas bajo los siguientes criterios:

- El contexto del "Sistema Seguro" y el rol de la velocidad.
- La severidad de las lesiones esperadas.
- El rol de la clasificación por estrellas en el establecimiento de políticas.
- La relación entre la clasificación por estrellas y la accidentalidad.
- La distribución de la clasificación por estrellas dentro de una red carretera.

Cuadro 5.1 Bandas de clasificación por estrellas y PPV

| Clasificación por estrellas | Puntaje de protección de la vía |
|---|---|
| 5 | 0 a < 2.5 |
| 4 | 2.5 a < 5.0 |
| 3 | 5.0 a < 12.5 |
| 2 | 12.5 a < 22.5 |
| 1 | > 22.5 |

Fuente (International Road Assessment Programme, 2014)

Dado que la información a nivel de 100 metros resulta de mucho detalle y gran variación entre segmentos contiguos, iRAP realiza un proceso llamado "suavizado" (*smoothing* en inglés) el cual consiste en agrupar segmentos de mayor longitud, promediando el PPV calculado. Los criterios para realizar el suavizado de describen a continuación:

1. Orden de los registros de acuerdo a:
    a. Nombre de carretera.
    b. Nombre de sección.
    c. Tipo de carretera (dividida o no dividida).
    d. Cadenamiento.
2. Segmentos adyacentes de 100 metros se combinan para formar secciones suavizadas.
3. Cada sección suavizada se forma cuando:
    a. El nombre de carretera cambia.
    b. El nombre de sección cambia.
    c. El tipo de carretera cambia.
    d. El atributo de obras mayores en proceso se codifica.
    e. El tipo de área (urbana o rural) cambia.
    f. El límite de velocidad cambia.
    g. La longitud de la sección suavizada es mayor a 3 km en zonas rurales y mayor a 1 km en zonas urbanas.
    h. El cadenamiento es mayor a 150 m que el del registro anterior (discontinuidades en el levantamiento).
    i. El cadenamiento es menor que el del registro anterior.
4. Una sección suavizada se agrega a la anterior si:
    a. La longitud de la sección suavizada es menor a la longitud máxima para zonas rurales (3 km) y zonas urbanas (1 km).
    b. Todos los atributos previamente descritos son iguales.
5. El PPV suavizado es calculado a través del promedio del PPV de cada segmento de 100 metros.

Cabe mencionar que el suavizado se utiliza al momento de presentar los resultados finales en los mapas de clasificación por estrellas, así como para darles

el seguimiento a mediano y largo plazo. Siguiendo el mismo principio de gran variación en los segmentos de 100 metros, este trabajo buscó realizar otro tipo de agrupaciones además del suavizado de iRAP, tales como segmentos de longitud homogénea de 1 y 5 km, así como segmentos de longitud variable en función del catálogo de tramos del IMT (entre 20 y 40 km). De esta manera, se generaron cinco bases de datos dependiendo la agrupación de los segmentos tal como se describió en el capítulo anterior. La Figura 5.2 muestra la variación en la clasificación por estrellas dependiendo el nivel de agrupación, destacando que la proporción es relativamente igual salvo la agrupación de tramos variable (catálogo IMT), entendiendo que en tramos muy largos, el promedio del PPV modifica significativamente el resultado final.

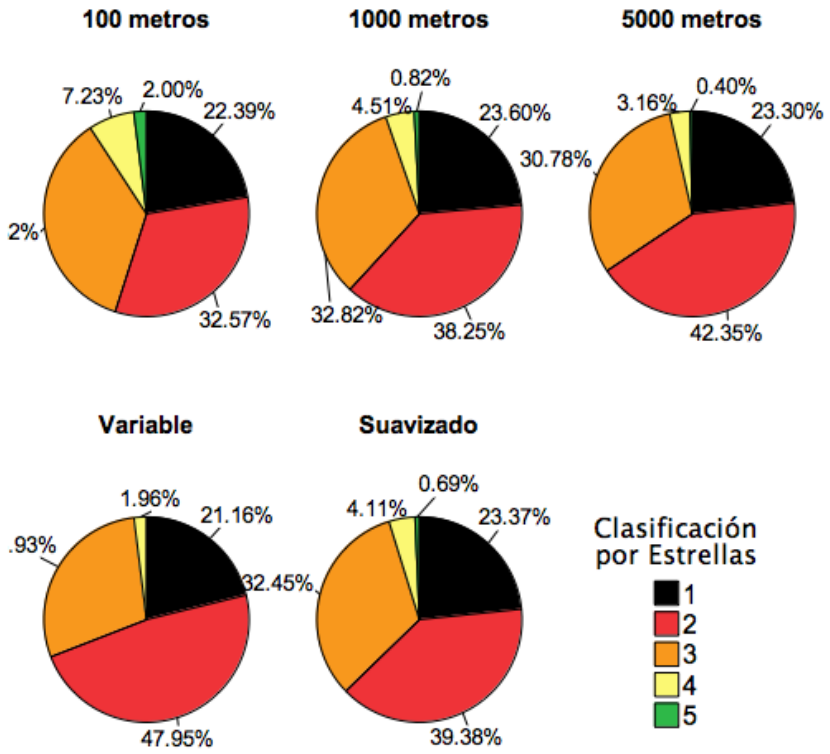


Figura 5.2 Distribución de la longitud y clasificación por estrellas, para cada tipo de segmentación

Fuente: Elaboración propia

De igual manera, el Cuadro 5.2 muestra los estadísticos descriptivos de la variable del PPV, donde se destaca que existe una gran variación en la misma, teniendo valores superiores a 600. El nivel de variabilidad disminuye conforme se incrementa la longitud de agrupación, salvo en los segmentos suavizados donde la variación es similar a la obtenida en segmentos de 1,000 m. Es importante hacer mención que la media del PPV en el caso de carreteras de cuatro carriles es mayor en las libres que en las de cuota, así como mayor en carreteras de dos carriles que en carreteras de cuatro carriles; la anterior situación resulta coherente dado que las carreteras de dos carriles representan un riesgo mayor, así como se espera que las carreteras de cuota sean más seguras. No obstante, la media en carreteras de dos carriles cuota (2CC) se encuentra por encima de los otros grupos, situación que pudiera resultar alarmante, sin embargo también es el grupo con el menor número de segmentos inspeccionados; siendo una variable estadísticamente menos confiable.

Cuadro 5.2 Estadísticos descriptivos del PPV, por tipo de segmentación y grupo (longitud total)

| Tipo | Grupo | Longitud (km) | | Puntaje de Protección de la Vía (PPV) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Suma | % | Máximo | Mínimo | Media | Desv.E. | Var |
| 100 m | 2CC | 1,831.1 | 5.8 | 300.3 | .2 | 20.1 | 15.9 | 253.3 |
| | 4CC | 4,952.5 | 15.6 | 483.8 | .4 | 15.6 | 11.4 | 129.0 |
| | 2CL | 19,140.9 | 60.5 | 636.8 | .3 | 18.9 | 22.2 | 494.1 |
| | 4CL | 5,733.5 | 18.1 | 471.3 | .6 | 17.5 | 15.5 | 240.5 |
| | Total | 31,658.0 | 100.0 | 636.8 | .2 | 18.2 | 19.5 | 378.8 |
| 1000 m | 2CC | 1,792.0 | 5.8 | 116.0 | .7 | 20.1 | 11.4 | 129.4 |
| | 4CC | 4,825.0 | 15.6 | 182.6 | .7 | 15.6 | 8.7 | 76.1 |
| | 2CL | 18,796.0 | 60.7 | 233.7 | .9 | 18.9 | 15.9 | 252.0 |
| | 4CL | 5,537.0 | 17.9 | 140.0 | .9 | 17.3 | 10.7 | 115.3 |
| | Total | 30,950.0 | 100.0 | 233.7 | .7 | 18.1 | 14.0 | 194.7 |
| 5000 m | 2CC | 1,600.0 | 5.8 | 72.7 | 1.1 | 20.2 | 10.5 | 109.7 |
| | 4CC | 4,220.0 | 15.3 | 75.1 | 2.1 | 15.6 | 7.2 | 51.5 |
| | 2CL | 17,075.0 | 61.7 | 168.9 | 1.3 | 18.9 | 13.9 | 192.3 |
| | 4CL | 4,765.0 | 17.2 | 89.9 | 2.2 | 17.1 | 8.9 | 80.0 |
| | Total | 27,660.0 | 100.0 | 168.9 | 1.1 | 18.2 | 12.2 | 148.5 |
| Variable (IMT) | 2CC | 1,831.1 | 5.8 | 55.7 | 6.6 | 19.7 | 9.1 | 82.4 |
| | 4CC | 4,952.5 | 15.6 | 38.9 | 3.9 | 15.7 | 6.6 | 43.4 |
| | 2CL | 19,226.5 | 60.7 | 96.8 | 2.7 | 18.4 | 11.3 | 126.6 |
| | 4CL | 5,647.9 | 17.8 | 96.7 | 3.5 | 17.8 | 10.0 | 99.8 |
| | Total | 31,658.0 | 100.0 | 96.8 | 2.7 | 18.0 | 10.3 | 106.6 |

| Tipo | Grupo | Longitud (km) | | Puntaje de Protección de la Vía (PPV) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Suma | % | Máximo | Mínimo | Media | Desv.E. | Var |
| Suavizado | 2CC | 1,780.4 | 6.0 | 82.7 | .4 | 19.7 | 10.7 | 114.0 |
| | 4CC | 4,621.2 | 15.6 | 161.1 | .8 | 15.6 | 8.5 | 73.1 |
| | 2CL | 18,301.3 | 61.6 | 201.5 | 1.1 | 19.0 | 15.4 | 235.9 |
| | 4CL | 5,010.9 | 16.9 | 219.3 | 1.0 | 17.6 | 11.2 | 124.4 |
| | Total | 29,713.8 | 100.0 | 219.3 | .4 | 18.0 | 13.2 | 175.4 |

Fuente: Elaboración propia.

El Cuadro 5.3 muestra para las segmentaciones de 100 m y de tramos suavizados los estadísticos descriptivos de la variable del PPV según la clasificación por estrellas (C.E.) para cada grupo de estudio. De lo anterior se destacan porcentajes de longitud equivalentes en cada una de las estrellas, independientemente del grupo de estudio, así como ligeras variaciones conforme a la agrupación hecha por iRAP, es decir, los segmentos de 100 metros y los segmentos suavizados. Estos dos tipos de segmentación fueron considerados para los primeros análisis de correlación dado que es la manera original en la que se presentan los resultados por parte de iRAP, es decir, sin ningún tipo de alteración por parte de los procesos hechos en este trabajo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que a pesar de que la muestra es mayor en los segmentos de 100 metros, la variación es bastante considerable, la cual se vio reflejada en los análisis posteriores que se encuentran descritos más adelante; a su vez, se hace mención nuevamente que el grupo 2CC registra la menor longitud inspeccionada de iRAP.

Cuadro 5.3 Estadísticos descriptivos del PPV, por grupo y clasificación de estrellas para las segmentaciones de iRAP (longitud total)

| Tipo de segmentación – 100 m | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Grupo | C. E. | Longitud (km) | | Puntaje de Protección de la Vía (PPV) | | | | |
| | | Suma | % | Máximo | Mínimo | Media | Desv.E. | Var. |
| 2CC | 1 | 549.2 | 30.0 | 300.3 | 22.5 | 36.2 | 20.5 | 418.8 |
| | 2 | 705.5 | 38.5 | 22.5 | 12.5 | 17.1 | 2.9 | 8.3 |
| | 3 | 538.7 | 29.4 | 12.5 | 5.0 | 9.0 | 2.2 | 4.8 |
| | 4 | 29.8 | 1.6 | 5.0 | 2.6 | 4.0 | .6 | .4 |
| | 5 | 7.9 | 0.4 | 2.4 | .2 | 1.3 | .6 | .4 |
| | Total | 1,831.1 | 100 | 300.3 | .2 | 20.1 | 15.9 | 253.3 |

| Grupo | C.E. | Longitud (km) | | Puntaje de Protección de la Vía (PPV) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Suma | % | Máximo | Mínimo | Media | Desv.E. | Var. |
| 4CC | 1 | 884.4 | 17.9 | 483.8 | 22.5 | 31.8 | 16.4 | 269.6 |
| | 2 | 1,856.4 | 37.5 | 22.5 | 12.5 | 17.1 | 2.8 | 7.7 |
| | 3 | 1,805.0 | 36.4 | 12.5 | 5.0 | 8.9 | 2.1 | 4.6 |
| | 4 | 320.7 | 6.5 | 5.0 | 2.5 | 3.8 | .8 | .6 |
| | 5 | 86.0 | 1.7 | 2.5 | .4 | 1.9 | .4 | .2 |
| | Total | 4,952.5 | 100 | 483.8 | .4 | 15.6 | 11.4 | 129.0 |
| 2CL | 1 | 4,363.2 | 22.8 | 636.8 | 22.5 | 45.2 | 34.2 | 1,172.3 |
| | 2 | 5,809.1 | 30.3 | 22.5 | 12.5 | 16.8 | 2.8 | 8.0 |
| | 3 | 6,859.6 | 35.8 | 12.5 | 5.0 | 8.7 | 2.1 | 4.5 |
| | 4 | 1,638.1 | 8.6 | 5.0 | 2.5 | 3.9 | .7 | .5 |
| | 5 | 470.9 | 2.5 | 2.5 | .3 | 1.8 | .5 | .2 |
| | Total | 19,140.9 | 100 | 636.8 | .3 | 18.9 | 22.2 | 494.1 |
| 4CL | 1 | 1,290.2 | 22.5 | 471.3 | 22.5 | 36.5 | 22.6 | 509.0 |
| | 2 | 1,939.1 | 33.8 | 22.5 | 12.5 | 16.8 | 2.8 | 8.1 |
| | 3 | 2,137.0 | 37.3 | 12.5 | 5.0 | 8.9 | 2.1 | 4.4 |
| | 4 | 300.1 | 5.2 | 5.0 | 2.5 | 4.0 | .7 | .4 |
| | 5 | 67.1 | 1.2 | 2.5 | .6 | 1.8 | .5 | .2 |
| | Total | 5,733.5 | 100 | 471.3 | .6 | 17.5 | 15.5 | 240.5 |
| **Tipo de segmentación - Suavizado** | | | | | | | | |
| 2CC | 1 | 490.5 | 27.5 | 82.7 | 22.5 | 33.0 | 11.4 | 130.2 |
| | 2 | 936.0 | 52.6 | 22.5 | 12.5 | 17.1 | 2.9 | 8.1 |
| | 3 | 342.9 | 19.3 | 12.5 | 5.2 | 10.1 | 1.9 | 3.5 |
| | 4 | 3.9 | 0.2 | 4.9 | 2.7 | 3.8 | 1.2 | 1.5 |
| | 5 | 7.1 | 0.4 | 1.9 | .4 | 1.1 | .7 | .5 |
| | Total | 1,780.4 | 100 | 82.7 | .4 | 19.7 | 10.7 | 114.0 |
| 4CC | 1 | 688.4 | 14.9 | 161.1 | 22.5 | 29.7 | 11.0 | 121.4 |
| | 2 | 2,082.1 | 45.1 | 22.5 | 12.5 | 17.0 | 2.7 | 7.6 |
| | 3 | 1,713.4 | 37.1 | 12.5 | 5.0 | 9.2 | 2.1 | 4.2 |
| | 4 | 122.8 | 2.7 | 5.0 | 2.6 | 4.1 | .7 | .5 |
| | 5 | 14.5 | 0.3 | 2.3 | .8 | 1.7 | .6 | .3 |
| | Total | 4,621.2 | 100 | 161.1 | .8 | 15.6 | 8.5 | 73.1 |
| 2CL | 1 | 4,662.6 | 25.5 | 201.5 | 22.5 | 37.6 | 19.0 | 361.6 |
| | 2 | 6,852.6 | 37.4 | 22.5 | 12.5 | 17.0 | 2.8 | 7.9 |
| | 3 | 5,653.5 | 30.9 | 12.5 | 5.0 | 8.9 | 2.1 | 4.4 |
| | 4 | 963.8 | 5.3 | 5.0 | 2.5 | 3.9 | .7 | .5 |
| | 5 | 168.8 | 0.9 | 2.5 | 1.1 | 2.0 | .4 | .2 |
| | Total | 18,301.3 | 100 | 201.5 | 1.1 | 19.0 | 15.4 | 235.9 |
| 4CL | 1 | 1,157.6 | 23.1 | 219.3 | 22.5 | 32.0 | 13.1 | 172.4 |
| | 2 | 2,047.2 | 40.9 | 22.5 | 12.5 | 17.0 | 2.9 | 8.2 |
| | 3 | 1,684.5 | 33.6 | 12.5 | 5.0 | 9.2 | 2.1 | 4.4 |
| | 4 | 104.9 | 2.1 | 5.0 | 2.5 | 4.1 | .7 | .5 |
| | 5 | 16.7 | 0.3 | 2.4 | 1.0 | 1.7 | .5 | .2 |
| | Total | 5,010.9 | 100 | 219.3 | 1.0 | 17.6 | 11.2 | 124.4 |

Fuente: Elaboración propia.

De la misma manera, el Cuadro 5.4 muestra los estadísticos descriptivos del PPV según la clasificación de estrellas y grupo de estudio, para los segmentos

agrupados por el autor (en 1000 m, 5000 m y de longitud variable) donde se destaca primordialmente una situación similar en porcentajes de longitud en cada estrella, medias y desviaciones estándar con respecto a los segmentos suavizados de iRAP, salvo los segmentos de longitud variable. Dado lo anterior, se consideró que los segmentos conforme al catálogo de tramos del IMT (variable), no resultan apropiados para este análisis ya que se altera significativamente el PPV y acota la posibilidad de ubicar segmentos en cada una de las estrellas, tal es el caso de la banda de 5 estrellas donde ya no se tiene contabilizado ningún segmento. Por esta razón, que los segmentos variables ya no fueron considerados para los análisis posteriores, no obstante, los segmentos de 1000 metros sí serán considerados dado que los resultados resultan muy similares a los suavizados, así como los segmentos de 5000 metros que a pesar de que muestran ligeras diferencias en el PPV, se consideran óptimos para el análisis contra los mapas de riesgo RAP de accidentalidad que posteriormente serán definidos.

Cuadro 5.4 Estadísticos descriptivos del PPV, por grupo y clasificación de estrellas para los segmentos agrupados (longitud total)

| Tipo de segmentación – 1000 m | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Grupo** | **C. E.** | **Longitud (km)** | | **Puntaje de Protección de la Vía (PPV)** | | | | |
| | | **Suma** | **%** | **Máximo** | **Mínimo** | **Media** | **Desv.E.** | **Var.** |
| 2CC | 1 | 494.0 | 27.6 | 116.0 | 22.5 | 33.9 | 12.7 | 161.1 |
| | 2 | 926.0 | 51.7 | 22.5 | 12.5 | 16.9 | 2.8 | 8.0 |
| | 3 | 364.0 | 20.3 | 12.5 | 5.2 | 10.0 | 1.8 | 3.3 |
| | 4 | 3.0 | 0.2 | 4.5 | 3.9 | 4.3 | .3 | .1 |
| | 5 | 5.0 | 0.3 | 1.3 | .7 | 1.1 | .3 | .1 |
| | Total | 1,792.0 | 100 | 116.0 | .7 | 20.1 | 11.4 | 129.4 |
| 4CC | 1 | 758.0 | 15.7 | 182.6 | 22.5 | 29.8 | 10.8 | 115.7 |
| | 2 | 2,080.0 | 43.1 | 22.5 | 12.5 | 17.0 | 2.7 | 7.5 |
| | 3 | 1,800.0 | 37.3 | 12.5 | 5.0 | 9.2 | 2.1 | 4.2 |
| | 4 | 172.0 | 3.6 | 5.0 | 2.5 | 3.9 | .7 | .5 |
| | 5 | 15.0 | 0.3 | 2.4 | .7 | 1.7 | .6 | .3 |
| | Total | 4,825.0 | 100 | 182.6 | .7 | 15.6 | 8.7 | 76.1 |
| 2CL | 1 | 4,766.0 | 25.4 | 233.7 | 22.5 | 38.3 | 20.1 | 403.6 |
| | 2 | 6,696.0 | 35.6 | 22.5 | 12.5 | 17.0 | 2.8 | 7.7 |
| | 3 | 6,043.0 | 32.2 | 12.5 | 5.0 | 8.9 | 2.1 | 4.5 |
| | 4 | 1,078.0 | 5.7 | 5.0 | 2.5 | 3.9 | .7 | .5 |
| | 5 | 213.0 | 1.1 | 2.5 | .9 | 2.0 | .4 | .2 |
| | Total | 18,796.0 | 100 | 233.7 | .9 | 18.9 | 15.9 | 252.0 |

| Grupo | C.E. | Longitud (km) | | Puntaje de Protección de la Vía (PPV) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Suma | % | Máximo | Mínimo | Media | Desv.E. | Var. |
| 4CL | 1 | 1,287.0 | 23.2 | 140.0 | 22.5 | 32.1 | 11.6 | 134.6 |
| | 2 | 2,135.0 | 38.6 | 22.5 | 12.5 | 16.9 | 2.9 | 8.2 |
| | 3 | 1,950.0 | 35.2 | 12.5 | 5.0 | 9.2 | 2.1 | 4.3 |
| | 4 | 143.0 | 2.6 | 5.0 | 2.6 | 4.1 | .6 | .4 |
| | 5 | 22.0 | 0.4 | 2.5 | .9 | 1.9 | .6 | .3 |
| | Total | 5,537.0 | 100 | 140.0 | .9 | 17.3 | 10.7 | 115.3 |
| **Tipo de segmentación – 5000 m** | | | | | | | | |
| 2CC | 1 | 440.0 | 27.5 | 72.7 | 22.5 | 33.2 | 11.4 | 130.7 |
| | 2 | 885.0 | 55.3 | 22.4 | 12.6 | 16.9 | 2.5 | 6.2 |
| | 3 | 270.0 | 16.9 | 12.5 | 5.5 | 10.4 | 1.7 | 3.0 |
| | 4 | . | 0.0 | . | . | . | . | . |
| | 5 | 5.0 | 0.3 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | . | . |
| | Total | 1,600.0 | 100 | 72.7 | 1.1 | 20.2 | 10.5 | 109.7 |
| 4CC | 1 | 585.0 | 13.9 | 75.1 | 22.6 | 28.5 | 6.5 | 41.9 |
| | 2 | 2,000.0 | 47.4 | 22.5 | 12.5 | 17.0 | 2.7 | 7.3 |
| | 3 | 1,550.0 | 36.7 | 12.5 | 5.1 | 9.4 | 2.0 | 4.1 |
| | 4 | 75.0 | 1.8 | 5.0 | 2.7 | 4.1 | .7 | .5 |
| | 5 | 10.0 | 0.2 | 2.5 | 2.1 | 2.3 | .3 | .1 |
| | Total | 4,220.0 | 100 | 75.1 | 2.1 | 15.6 | 7.2 | 51.5 |
| 2CL | 1 | 4,400.0 | 25.8 | 168.9 | 22.5 | 36.1 | 16.5 | 272.6 |
| | 2 | 6,715.0 | 39.3 | 22.5 | 12.5 | 17.1 | 2.8 | 7.8 |
| | 3 | 5,135.0 | 30.1 | 12.5 | 5.0 | 9.0 | 2.1 | 4.4 |
| | 4 | 735.0 | 4.3 | 5.0 | 2.6 | 4.0 | .7 | .4 |
| | 5 | 90.0 | 0.5 | 2.4 | 1.3 | 2.1 | .4 | .1 |
| | Total | 17,075.0 | 100 | 168.9 | 1.3 | 18.9 | 13.9 | 192.3 |
| 4CL | 1 | 1,020.0 | 21.4 | 89.9 | 22.6 | 30.2 | 8.5 | 72.8 |
| | 2 | 2,115.0 | 44.4 | 22.5 | 12.5 | 17.0 | 2.9 | 8.3 |
| | 3 | 1,560.0 | 32.7 | 12.4 | 5.1 | 9.3 | 2.0 | 3.9 |
| | 4 | 65.0 | 1.4 | 4.9 | 2.7 | 4.0 | .8 | .6 |
| | 5 | 5.0 | 0.1 | 2.2 | 2.2 | 2.2 | . | . |
| | Total | 4,765.0 | 100 | 89.9 | 2.2 | 17.1 | 8.9 | 80.0 |
| **Tipo de segmentación – Variable (IMT)** | | | | | | | | |
| 2CC | 1 | 444.4 | 24.3 | 55.7 | 23.0 | 33.6 | 9.4 | 88.5 |
| | 2 | 1,122.3 | 61.3 | 21.9 | 12.5 | 17.1 | 2.2 | 5.0 |
| | 3 | 264.4 | 14.4 | 12.3 | 6.6 | 10.5 | 1.7 | 2.9 |
| | 4 | . | 0.0 | . | . | . | . | . |
| | 5 | . | 0.0 | . | . | . | . | . |
| | Total | 1,831.1 | 100 | 55.7 | 6.6 | 19.7 | 9.1 | 82.4 |
| 4CC | 1 | 642.7 | 13.0 | 38.9 | 22.6 | 28.1 | 5.1 | 25.8 |
| | 2 | 2,583.6 | 52.2 | 22.3 | 12.5 | 16.9 | 2.6 | 7.0 |
| | 3 | 1,683.9 | 34.0 | 12.5 | 5.3 | 9.6 | 1.9 | 3.6 |
| | 4 | 42.3 | 0.9 | 4.1 | 3.9 | 4.0 | .2 | .0 |
| | 5 | . | 0.0 | . | . | . | . | . |
| | Total | 4,952.5 | 100 | 38.9 | 3.9 | 15.7 | 6.6 | 43.4 |
| 2CL | 1 | 4,766.6 | 24.8 | 96.8 | 22.5 | 33.8 | 12.3 | 150.5 |
| | 2 | 8,807.2 | 45.8 | 22.5 | 12.6 | 17.4 | 2.8 | 7.9 |
| | 3 | 5,191.5 | 27.0 | 12.5 | 5.1 | 9.0 | 2.1 | 4.3 |
| | 4 | 461.2 | 2.4 | 5.0 | 2.7 | 3.9 | .7 | .5 |
| | 5 | . | 0.0 | . | . | . | . | . |
| | Total | 19,226.5 | 100 | 96.8 | 2.7 | 18.4 | 11.3 | 126.6 |

| Grupo | C.E. | Longitud (km) | | Puntaje de Protección de la Vía (PPV) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Suma | % | Máximo | Mínimo | Media | Desv.E. | Var. |
| 4CL | 1 | 1,139.8 | 20.2 | 96.7 | 22.5 | 31.4 | 12.9 | 166.5 |
| | 2 | 2,674.6 | 47.4 | 22.5 | 12.5 | 17.2 | 3.0 | 8.8 |
| | 3 | 1,789.6 | 31.7 | 12.4 | 5.3 | 9.8 | 1.9 | 3.8 |
| | 4 | 43.9 | 0.8 | 4.5 | 3.5 | 4.0 | .5 | .3 |
| | 5 | . | 0.0 | . | . | . | . | . |
| | Total | 5,647.9 | 100 | 96.7 | 3.5 | 17.8 | 10.0 | 99.8 |

Fuente: Elaboración propia.

Una vez mencionada la importancia de trabajar con los datos originales de iRAP, se realizaron histogramas para conocer el comportamiento de la variable del PPV. Dentro de la Figura 5.3 y la Figura 5.4 se muestra una mayor proporción de segmentos en los umbrales de una, dos y tres estrellas, tal como se mostraron al inicio en los resultados de la inspección de iRAP. De igual manera, se observó una mayor definición de la curva del histograma en las carreteras libres, dado que se cuenta con un mayor número de segmentos. Considerando lo anterior, se realizaron las correlaciones enfocadas inicialmente al grupo 2CL correspondiente a las carreteras libres de dos carriles dado que tiene el mayor número de segmentos y, por lo tanto, el análisis estadístico resultaría más confiable; una vez establecida la relación, se trabajó con los grupos restantes. Es importante destacar que la escala se acotó de 0 a 50 de manera que se visualizara mejor la distribución, no obstante, los valores continúan hasta un máximo de 600 puntos en el PPV, tal como se hizo mención anteriormente; a su vez, se observó una mejor distribución en los segmentos suavizados que en los segmentos de 100 metros.

La información de las estadísticas descriptivas del PPV mostradas anteriormente contemplan todos los elementos de las diferentes segmentaciones; el siguiente paso fue analizar el PPV de los segmentos que registraron accidentes y los resultados se muestran en el Cuadro 5.5. Cabe destacar que los valores del porcentaje de longitud, la media, la desviación estándar y la varianza por grupo permanecen prácticamente igual a los obtenidos para todos los segmentos (véase Cuadro 5.2), al igual que las desviaciones estándar y varianzas.

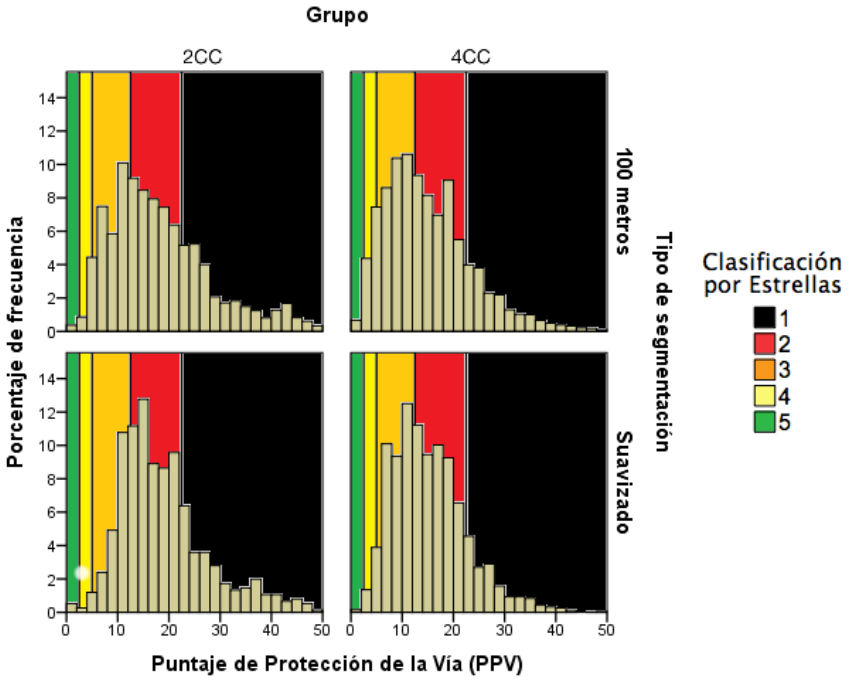


Figura 5.3 Histogramas del PPV para carreteras de cuota

Fuente: Elaboración propia

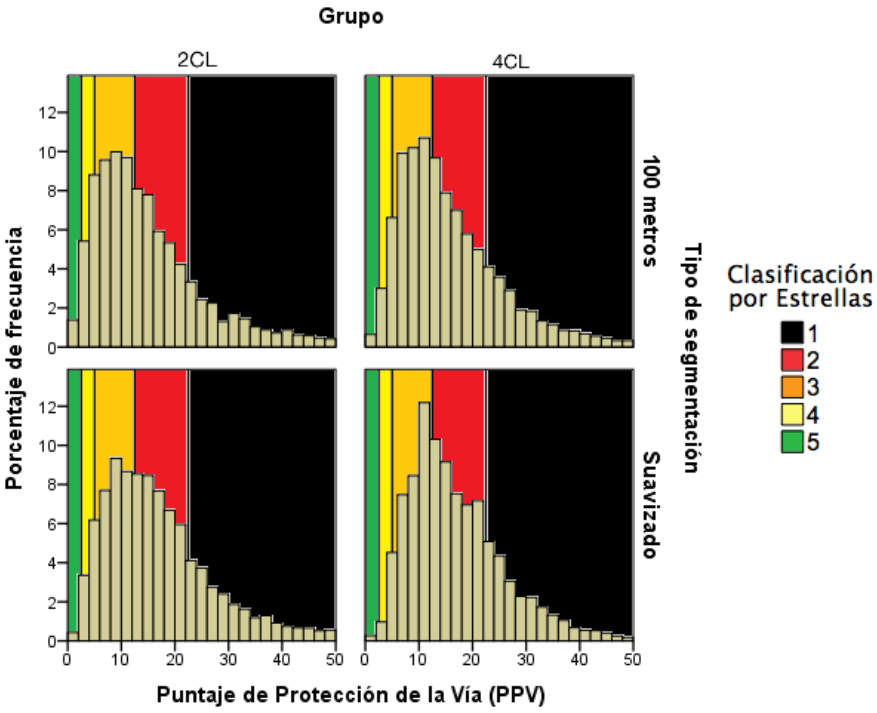


Figura 5.4 Histogramas del PPV para carreteras libres

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, dentro de estos análisis se consideró tanto el valor de la media como de la mediana a fin de generar los mejores ajustes posibles en los resultados, eliminando en algunos casos los valores atípicos en los extremos y obteniendo un valor más representativo del grupo en estudio; de igual manera, aquí ya no se consideraron los segmentos de longitud variable con base al catálogo de tramos del IMT como se mencionó anteriormente.

Cuadro 5.5 Estadísticos descriptivos del PPV, por tipo de segmentación y grupo (segmentos que reportaron accidentes durante el periodo de estudio)

| Tipo de Seg | Grupo | Longitud (km) | | Puntaje de Protección de la Vía (PPV) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Suma | % | Máximo | Mínimo | Media | Mediana | Desv.E. | Var. |
| 100 m | 2CC | 145.1 | 4.3 | 259.0 | 1.3 | 20.2 | 16.7 | 15.2 | 231.5 |
| | 4CC | 664. | 19.9 | 483.8 | .5 | 15.9 | 13.1 | 12.9 | 165.8 |
| | 2CL | 1,452.7 | 43.4 | 636.8 | .6 | 18.6 | 12.6 | 23.0 | 528.6 |
| | 4CL | 1,086.1 | 32.4 | 471.3 | .6 | 17.9 | 14.1 | 16.3 | 265.0 |
| | Total | 3,348.7 | 100.0 | 636.8 | .5 | 17.9 | 13.3 | 19.0 | 359.4 |
| 1000 m | 2CC | 865.0 | 5.3 | 108.7 | 1.3 | 20.2 | 17.3 | 11.2 | 124.9 |
| | 4CC | 3,140.0 | 19.2 | 182.6 | 1.2 | 15.6 | 14.2 | 8.8 | 77.9 |
| | 2CL | 8,290.0 | 50.6 | 185.9 | .9 | 18.2 | 14.6 | 14.8 | 219.2 |
| | 4CL | 4,093.0 | 25.0 | 140.0 | .9 | 17.5 | 15.2 | 10.8 | 116.4 |
| | Total | 16,388.0 | 100.0 | 185.9 | .9 | 17.6 | 14.9 | 12.8 | 162.7 |
| 5000 m | 2CC | 1,415.0 | 5.8 | 72.7 | 1.1 | 20.4 | 17.1 | 10.6 | 112.6 |
| | 4CC | 4,040.0 | 16.7 | 75.1 | 2.5 | 15.4 | 14.4 | 7.1 | 50.3 |
| | 2CL | 14,065.0 | 58.0 | 126.6 | 1.3 | 18.5 | 15.7 | 13.0 | 169.0 |
| | 4CL | 4,710.0 | 19.4 | 89.9 | 2.2 | 17.1 | 15.4 | 9.0 | 80.4 |
| | Total | 24,230.0 | 100.0 | 126.6 | 1.1 | 17.8 | 15.5 | 11.4 | 130.4 |
| Suavizado | 2CC | 1,322.4 | 4.5 | 82.7 | 1.3 | 20.2 | 17.2 | 10.9 | 118.5 |
| | 4CC | 3,560.3 | 20.0 | 89.4 | .8 | 15.5 | 14.2 | 7.8 | 60.9 |
| | 2CL | 11,985.8 | 48.2 | 171.5 | 1.1 | 18.1 | 14.9 | 13.9 | 192.9 |
| | 4CL | 4,111.3 | 27.3 | 111.3 | 1.1 | 17.6 | 15.5 | 10.4 | 107.3 |
| | Total | 20,979.8 | 100.0 | 171.5 | .8 | 17.5 | 15.1 | 11.9 | 141.1 |

Fuente: Elaboración propia.

## 5.2 Estadísticos descriptivos de la accidentalidad y las víctimas

Como ya se hizo mención anteriormente, para el análisis de la accidentalidad se tomó un periodo de cuatro años de 2010 a 2013 y dentro de este subcapítulo se muestran los estadísticos descriptivos de la variable del número de accidentes, así como el número de víctimas donde se incluyen muertos y lesionados.

El Cuadro 5.6 muestra los estadísticos descriptivos de la variable de accidentes con víctimas donde se destaca un mayor número de siniestros en las carreteras libres que en las de cuota, y para el grupo de carreteras libres, las de dos carriles concentran un mayor número de siniestros. Nuevamente, las carreteras de cuota, especialmente el grupo de 2 carriles, cuentan con menor número de registros de accidentes, dada la corta longitud inspeccionada. Al contrario del PPV, la variación de número de accidentes tiende a incrementarse conforme aumenta la longitud de agrupación de los segmentos, no obstante, éstas son menores que la variación del PPV. Por último, es importante considerar el valor de la media dado que existen varios segmentos que no reportaron accidentes.

Cuadro 5.6 Estadísticos descriptivos de los accidentes con víctimas, por tipo de segmentación y grupo

| Tipo de Seg | Grupo | Accidentes con víctimas | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Suma | Máximo | Mínimo | Media | Mediana | Desv.E. | Var. |
| 100 m | 2CC | 1,622 | 5 | 0 | .1 | .0 | .3 | .1 |
| | 4CC | 8,067 | 14 | 0 | .2 | .0 | .5 | .2 |
| | 2CL | 16,748 | 9 | 0 | .1 | .0 | .3 | .1 |
| | 4CL | 14,250 | 15 | 0 | .3 | .0 | .6 | .4 |
| | Total | 40,687 | 15 | 0 | 1.2 | 1.0 | .6 | 0.4 |
| 1000 m | 2CC | 1,576 | 14 | 0 | .9 | .0 | 1.3 | 1.7 |
| | 4CC | 7,828 | 31 | 0 | 1.6 | 1.0 | 2.1 | 4.4 |
| | 2CL | 16,382 | 30 | 0 | .9 | .0 | 1.5 | 2.2 |
| | 4CL | 13,590 | 27 | 0 | 2.5 | 2.0 | 2.9 | 8.5 |
| | Total | 39,376 | 31 | 0 | 2.4 | 2.0 | 2.2 | 4.8 |
| 5000 m | 2CC | 1,372 | 22 | 0 | 4.3 | 3.0 | 3.8 | 14.3 |
| | 4CC | 6,556 | 62 | 0 | 7.8 | 6.0 | 7.3 | 53.4 |
| | 2CL | 14,563 | 78 | 0 | 4.3 | 3.0 | 5.2 | 26.7 |
| | 4CL | 11,375 | 62 | 0 | 11.9 | 8.0 | 10.9 | 119.2 |
| | Total | 33,866 | 78 | 0 | 7.0 | 5.0 | 7.5 | 56.2 |
| Suavizado | 2CC | 1,543 | 19 | 0 | 2.1 | 1.0 | 2.5 | 6.3 |
| | 4CC | 7,289 | 30 | 0 | 2.3 | 1.0 | 2.9 | 8.4 |
| | 2CL | 15,601 | 41 | 0 | 1.8 | 1.0 | 2.5 | 6.2 |
| | 4CL | 11,884 | 37 | 0 | 3.0 | 2.0 | 3.5 | 12.1 |
| | Total | 36,317 | 41 | 0 | 3.2 | 2.0 | 3.0 | 8.9 |

Fuente: Elaboración propia.

A su vez, el Cuadro 5.7 hace referencia a los estadísticos descriptivos de las víctimas, las cuales incluyen muertos y lesionados como consecuencia de los accidentes de tránsito. Al igual que el cuadro anterior, se destacan los mismos escenarios, sin embargo es importante hacer mención que en ambos cuadros no se considera aún el tránsito, por lo que los números absolutos mayores en carreteras de cuatro carriles pueden estar asociados directamente a que existe un mayor número de vehículos circulando por las mismas.

Cuadro 5.7 Estadísticos descriptivos de las víctimas, por tipo de segmentación y grupo

| Tipo de Seg | Grupo | Víctimas (muertos y lesionados) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Suma | Máximo | Mínimo | Media | Mediana | Desv.E. | Var. |
| 100 m | 2CC | 4,245 | 35 | 0 | .2 | .0 | 1.1 | 1.2 |
| | 4CC | 19,974 | 64 | 0 | .4 | .0 | 1.5 | 2.3 |
| | 2CL | 37,592 | 56 | 0 | .2 | .0 | .9 | .9 |
| | 4CL | 29,470 | 42 | 0 | .5 | .0 | 1.6 | 2.4 |
| | Total | 91,281 | 64 | 0 | .3 | .0 | 1.2 | 1.4 |
| 1000 m | 2CC | 4,154 | 53 | 0 | 2.3 | .0 | 4.3 | 18.5 |
| | 4CC | 19,306 | 76 | 0 | 4.0 | 2.0 | 5.9 | 34.6 |
| | 2CL | 36,847 | 59 | 0 | 1.9 | .0 | 3.7 | 13.7 |
| | 4CL | 28,178 | 65 | 0 | 5.1 | 3.0 | 6.5 | 41.7 |
| | Total | 88,485 | 76 | 0 | 2.9 | 1.0 | 4.9 | 23.9 |
| 5000 m | 2CC | 3,703 | 70 | 0 | 11.6 | 8.0 | 12.1 | 145.4 |
| | 4CC | 16,273 | 158 | 0 | 19.3 | 13.0 | 18.5 | 342.7 |
| | 2CL | 32,981 | 116 | 0 | 9.7 | 6.0 | 11.8 | 139.8 |
| | 4CL | 23,608 | 147 | 0 | 24.8 | 18.0 | 22.0 | 484.1 |
| | Total | 76,565 | 158 | 0 | 13.8 | 9.0 | 16.3 | 266.5 |
| Suavizado | 2CC | 4,069 | 67 | 0 | 5.4 | 3.0 | 7.9 | 62.2 |
| | 4CC | 18,148 | 73 | 0 | 5.8 | 3.0 | 8.1 | 64.7 |
| | 2CL | 35,208 | 76 | 0 | 3.9 | 2.0 | 6.2 | 37.9 |
| | 4CL | 24,756 | 66 | 0 | 6.2 | 4.0 | 7.8 | 60.9 |
| | Total | 82,181 | 76 | 0 | 4.9 | 2.0 | 7.1 | 50.5 |

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 5.5 muestra, en porcentajes, la distribución de los accidentes de tránsito donde se observa una mayor proporción de accidentes en carreteras de dos carriles libre, seguida del grupo de cuatro carriles libre y por último las carreteras de cuota; independientemente del nivel de agrupación de los

segmentos, la distribución se mantiene prácticamente igual. De lo anterior, se observa un mayor número de datos en el grupo 2CL, considerándose nuevamente como el grupo piloto para realizar las primeras correlaciones.

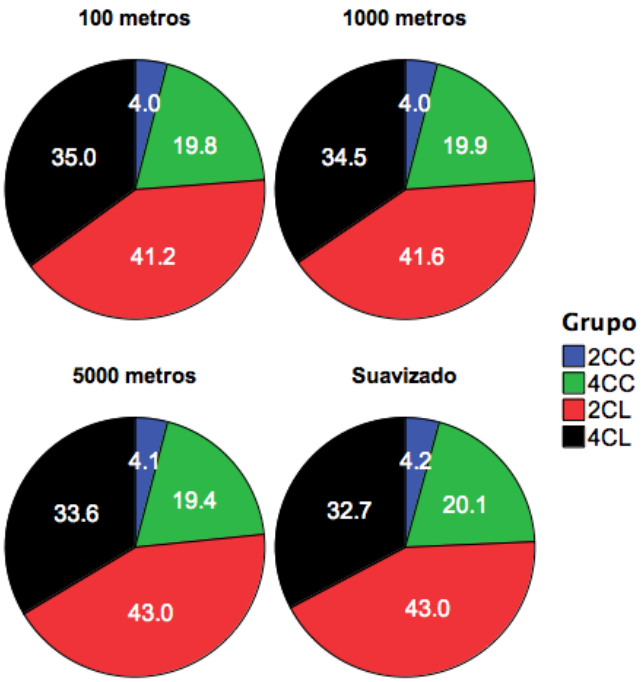


Figura 5.5 Distribución de accidentes con víctimas, por grupo

Fuente: Elaboración propia

El Cuadro 5.8 se expone para realizar una comparación entre la longitud, los accidentes y las víctimas. Dado que a mayor longitud carretera, se espera un mayor número de accidentes y víctimas, la siguiente comparación se hizo con el objetivo de establecer una primera relación de la accidentalidad conforme a la longitud inspeccionada. Dentro del cuadro, se aprecian porcentajes similares para las carreteras de cuota, mientras que las carreteras libres presentan una mayor variación, tal como lo muestra la Figura 5.6 la cual refleja una mayor proporción de accidentes y víctimas en las carreteras libres de cuatro carriles en comparación con la proporción de longitud inspeccionada del mismo grupo, lo cual pudiera indicar una mayor concentración de accidentes dentro del mismo.

Cuadro 5.8 Distribución de longitud, accidentes con víctimas y víctimas, por tipo de segmentación y grupo

| Tipo de Seg | Grupo | Longitud (km) | | Accidentes con víctimas | | Víctimas | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Suma | % | Suma | % | Suma | % |
| 100 m | 2CC | 1,831.1 | 5.8 | 1,622 | 4.0 | 4,245 | 4.7 |
| | 4CC | 4,952.5 | 15.6 | 8,067 | 19.8 | 19,974 | 21.9 |
| | 2CL | 19,140.9 | 60.5 | 16,748 | 41.2 | 37,592 | 41.2 |
| | 4CL | 5,733.5 | 18.1 | 14,250 | 35.0 | 29,470 | 32.3 |
| 1000 m | 2CC | 1,792.0 | 5.8 | 1,576 | 4.0 | 4,154 | 4.7 |
| | 4CC | 4,825.0 | 15.6 | 7,828 | 19.9 | 19,306 | 21.8 |
| | 2CL | 18,796.0 | 60.7 | 16,382 | 41.6 | 36,847 | 41.6 |
| | 4CL | 5,537.0 | 17.9 | 13,590 | 34.5 | 28,178 | 31.8 |
| 5000 m | 2CC | 1,600.0 | 5.8 | 1,372 | 4.1 | 3,703 | 4.8 |
| | 4CC | 4,220.0 | 15.3 | 6,556 | 19.4 | 16,273 | 21.3 |
| | 2CL | 17,075.0 | 61.7 | 14,563 | 43.0 | 32,981 | 43.1 |
| | 4CL | 4,765.0 | 17.2 | 11,375 | 33.6 | 23,608 | 30.8 |
| Suavizado | 2CC | 1,780.4 | 6.0 | 1,543 | 4.2 | 4,069 | 5.0 |
| | 4CC | 4,621.2 | 15.6 | 7,289 | 20.1 | 18,148 | 22.1 |
| | 2CL | 18,301.3 | 61.6 | 15,601 | 43.0 | 35,208 | 42.8 |
| | 4CL | 5,010.9 | 16.9 | 11,884 | 32.7 | 24,756 | 30.1 |

Fuente: Elaboración propia.

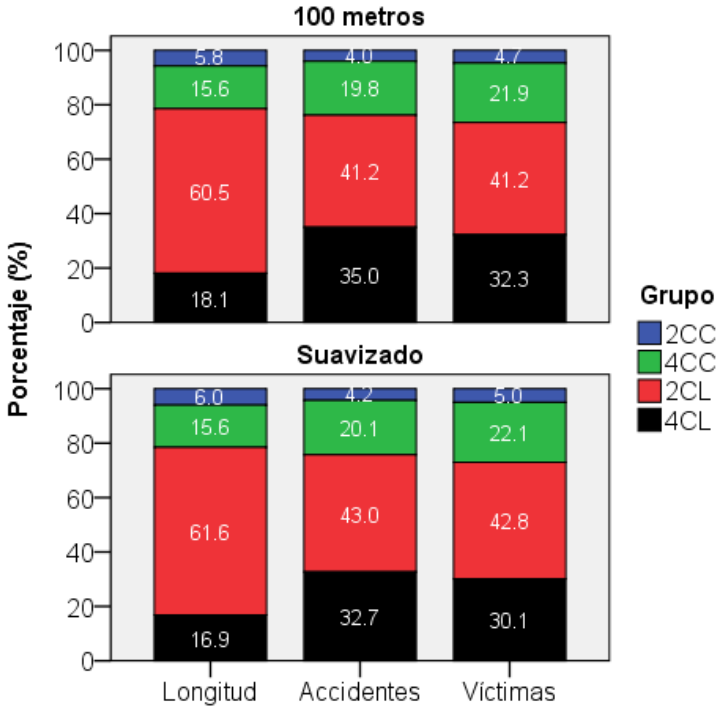


Figura 5.6 Porcentaje de longitud, accidentes y víctimas, para la segmentación de 100 m y suavizado

Fuente: Elaboración propia

## 5.3 Relación entre la clasificación por estrellas y la accidentalidad

Primeramente, se analizaron los porcentajes de longitud, accidentes y víctimas para el grupo 2CL, tal como lo muestra el Cuadro 5.9 donde se observa que los porcentajes permanecen similares, independientemente de la clasificación por estrellas. De lo anterior se pudo establecer que los accidentes no están concentrados significativamente en tramos con una clasificación en particular; por un lado, existe una proporción menor en segmentos de una estrella lo cual pudiera dar indicios de la teoría de homeostasis, la cual establece un cambio en el comportamiento del conductor (estado de alerta) al observar condiciones de alto riesgo, reduciendo la probabilidad de accidentes. Por otro lado, se nota una concentración ligeramente mayor de accidentes en carreteras de tres estrellas, mientras que carreteras con cuatro y cinco permanecen muy similares. Como se comentó en un inicio, estas variaciones no resultaron significativas para poder establecer una primera relación entre la clasificación por estrellas y la accidentalidad.

Cuadro 5.9 Distribución de longitud, accidentes con víctimas y víctimas, por grupo, clasificación de estrellas y tipo de segmentación

| Tipo de segmentación – 100 m | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Grupo | C. E. | Longitud (km) | | Accidentes con víctimas | | | Víctimas | | |
| | | Suma | % | Suma | Media | % | Suma | Media | % |
| 2CC | 1 | 549.2 | 30.0 | 482 | .09 | 29.7 | 1,250 | .23 | 29.4 |
| | 2 | 705.5 | 38.5 | 601 | .09 | 37.1 | 1,596 | .23 | 37.6 |
| | 3 | 538.7 | 29.4 | 509 | .09 | 31.4 | 1,326 | .25 | 31.2 |
| | 4 | 29.8 | 1.6 | 27 | .09 | 1.7 | 62 | .21 | 1.5 |
| | 5 | 7.9 | 0.4 | 3 | .04 | 0.2 | 11 | .14 | 0.3 |
| | Total | 1,831.1 | 100.0 | 1,622 | .7 | 100.0 | 4,245 | .21 | 100.0 |
| 4CC | 1 | 884.4 | 17.9 | 1,540 | .17 | 19.1 | 3,666 | .41 | 18.4 |
| | 2 | 1,856.4 | 37.5 | 2,753 | .15 | 34.1 | 6,701 | .36 | 33.5 |
| | 3 | 1,805.0 | 36.4 | 3,128 | .17 | 38.8 | 7,946 | .44 | 39.8 |
| | 4 | 320.7 | 6.5 | 563 | .18 | 7.0 | 1,463 | .46 | 7.3 |
| | 5 | 86.0 | 1.7 | 83 | .10 | 1.0 | 198 | .23 | 1.0 |
| | Total | 4,952.5 | 100.0 | 8,067 | .15 | 100.0 | 19,974 | .38 | 100.0 |
| 2CL | 1 | 4,363.2 | 22.8 | 3,581 | .08 | 21.4 | 8,115 | .19 | 21.6 |
| | 2 | 5,809.1 | 30.3 | 4,849 | .08 | 29.0 | 11,006 | .19 | 29.3 |
| | 3 | 6,859.6 | 35.8 | 6,347 | .09 | 37.9 | 14,266 | .21 | 37.9 |
| | 4 | 1,638.1 | 8.6 | 1,543 | .09 | 9.2 | 3,287 | .20 | 8.7 |
| | 5 | 470.9 | 2.5 | 428 | .09 | 2.6 | 918 | .19 | 2.4 |
| | Total | 19,140.9 | 100.0 | 16,748 | .08 | 100.0 | 37,592 | .19 | 100.0 |

| Grupo | C.E. | Longitud (km) | | Accidentes con víctimas | | | Víctimas | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Suma | % | Suma | Media | % | Suma | Media | % |
| 4CL | 1 | 1,290.2 | 22.5 | 3,392 | .26 | 23.8 | 7,049 | .55 | 23.9 |
| | 2 | 1,939.1 | 33.8 | 4,825 | .25 | 33.9 | 9,861 | .51 | 33.5 |
| | 3 | 2,137.0 | 37.3 | 5,043 | .24 | 35.4 | 10,595 | .50 | 36.0 |
| | 4 | 300.1 | 5.2 | 835 | .28 | 5.9 | 1,665 | .55 | 5.6 |
| | 5 | 67.1 | 1.2 | 155 | .23 | 1.1 | 300 | .45 | 1.0 |
| | Total | 5,733.5 | 100.0 | 14,250 | .25 | 100.0 | 29,470 | .51 | 100.0 |
| **Tipo de segmentación – 1000 m** | | | | | | | | | |
| 2CC | 1 | 494.0 | 27.6 | 435 | .88 | 27.6 | 1,067 | 2.16 | 25.7 |
| | 2 | 926.0 | 51.7 | 809 | .87 | 51.3 | 2,216 | 2.39 | 53.3 |
| | 3 | 364.0 | 20.3 | 328 | .90 | 20.8 | 852 | 2.34 | 20.5 |
| | 4 | 3.0 | 0.2 | 3 | 1.00 | 0.2 | 18 | 6.00 | 0.4 |
| | 5 | 5.0 | 0.3 | 1 | .20 | 0.1 | 1 | .20 | 0.0 |
| | Total | 1,792.0 | 100.0 | 1,576 | .77 | 100.0 | 4,154 | 2.62 | 100.0 |
| 4CC | 1 | 758.0 | 15.7 | 1,280 | 1.69 | 16.4 | 3,062 | 4.04 | 15.9 |
| | 2 | 2,080.0 | 43.1 | 3,190 | 1.53 | 40.8 | 7,705 | 3.70 | 39.9 |
| | 3 | 1,800.0 | 37.3 | 3,074 | 1.71 | 39.3 | 7,795 | 4.33 | 40.4 |
| | 4 | 172.0 | 3.6 | 265 | 1.54 | 3.4 | 695 | 4.04 | 3.6 |
| | 5 | 15.0 | 0.3 | 19 | 1.27 | 0.2 | 49 | 3.27 | 0.3 |
| | Total | 4,825.0 | 100.0 | 7,828 | 1.5 | 100.0 | 19,306 | 3.87 | 100.0 |
| 2CL | 1 | 4,766.0 | 25.4 | 3,667 | .77 | 22.4 | 8,275 | 1.74 | 22.5 |
| | 2 | 6,696.0 | 35.6 | 5,948 | .89 | 36.3 | 13,547 | 2.02 | 36.8 |
| | 3 | 6,043.0 | 32.2 | 5,572 | .92 | 34.0 | 12,436 | 2.06 | 33.8 |
| | 4 | 1,078.0 | 5.7 | 988 | .92 | 6.0 | 2,130 | 1.98 | 5.8 |
| | 5 | 213.0 | 1.1 | 207 | .97 | 1.3 | 459 | 2.15 | 1.2 |
| | Total | 18,796.0 | 100.0 | 16,382 | .89 | 100.0 | 36,847 | 1.98 | 100.0 |
| 4CL | 1 | 1,287.0 | 23.2 | 3,348 | 2.60 | 24.6 | 6,936 | 5.39 | 24.6 |
| | 2 | 2,135.0 | 38.6 | 5,557 | 2.60 | 40.9 | 11,357 | 5.32 | 40.3 |
| | 3 | 1,950.0 | 35.2 | 4,222 | 2.17 | 31.1 | 8,903 | 4.57 | 31.6 |
| | 4 | 143.0 | 2.6 | 414 | 2.90 | 3.0 | 898 | 6.28 | 3.2 |
| | 5 | 22.0 | 0.4 | 49 | 2.23 | 0.4 | 84 | 3.82 | 0.3 |
| | Total | 5,537.0 | 100.0 | 13,590 | 2.50 | 100.0 | 28,178 | 5.08 | 100.0 |
| **Tipo de segmentación – 5000 m** | | | | | | | | | |
| 2CC | 1 | 440.0 | 27.5 | 362 | 4.11 | 26.4 | 934 | 10.61 | 25.2 |
| | 2 | 885.0 | 55.3 | 770 | 4.35 | 56.1 | 2,126 | 12.01 | 57.4 |
| | 3 | 270.0 | 16.9 | 239 | 4.43 | 17.4 | 642 | 11.89 | 17.3 |
| | 4 | . | 0.0 | . | . | 0.0 | . | . | 0.0 |
| | 5 | 5.0 | 0.3 | 1 | 1.00 | 0.1 | 1 | 1.00 | 0.0 |
| | Total | 1,600.0 | 100.0 | 1,372 | 2.78 | 100.0 | 3,703 | 7.10 | 100.0 |
| 4CC | 1 | 585.0 | 13.9 | 896 | 7.66 | 13.7 | 2,271 | 19.41 | 14.0 |
| | 2 | 2,000.0 | 47.4 | 3,043 | 7.61 | 46.4 | 7,367 | 18.42 | 45.3 |
| | 3 | 1,550.0 | 36.7 | 2,507 | 8.09 | 38.2 | 6,348 | 20.48 | 39.0 |
| | 4 | 75.0 | 1.8 | 108 | 7.20 | 1.6 | 279 | 18.60 | 1.7 |
| | 5 | 10.0 | 0.2 | 2 | 1.00 | 0.0 | 8 | 4.00 | 0.0 |
| | Total | 4,220.0 | 100.0 | 6,556 | 6.31 | 100.0 | 16,273 | 16.18 | 100.0 |
| 2CL | 1 | 4,400.0 | 25.8 | 3,273 | 3.72 | 22.5 | 7,625 | 8.66 | 23.1 |
| | 2 | 6,715.0 | 39.3 | 5,963 | 4.44 | 40.9 | 13,467 | 10.03 | 40.8 |
| | 3 | 5,135.0 | 30.1 | 4,562 | 4.44 | 31.3 | 10,174 | 9.91 | 30.8 |
| | 4 | 735.0 | 4.3 | 707 | 4.81 | 4.9 | 1,600 | 10.88 | 4.9 |
| | 5 | 90.0 | 0.5 | 58 | 3.22 | 0.4 | 115 | 6.39 | 0.3 |
| | Total | 17,075.0 | 100.0 | 14,563 | 4.12 | 100.0 | 32,981 | 9.17 | 100.0 |

| Grupo | C.E. | Longitud (km) | | Accidentes con víctimas | | | Víctimas | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Suma | % | Suma | Media | % | Suma | Media | % |
| 4CL | 1 | 1,020.0 | 21.4 | 2,476 | 12.14 | 21.8 | 5,158 | 25.28 | 21.8 |
| | 2 | 2,115.0 | 44.4 | 5,547 | 13.11 | 48.8 | 11,261 | 26.62 | 47.7 |
| | 3 | 1,560.0 | 32.7 | 3,173 | 10.17 | 27.9 | 6,771 | 21.70 | 28.7 |
| | 4 | 65.0 | 1.4 | 161 | 12.38 | 1.4 | 390 | 30.00 | 1.7 |
| | 5 | 5.0 | 0.1 | 18 | 18.00 | 0.2 | 28 | 28.00 | 0.1 |
| | Total | 4,765.0 | 100.0 | 11,375 | 13.16 | 100.0 | 23,608 | 26.32 | 100.0 |
| **Tipo de segmentación – Suavizado** | | | | | | | | | |
| 2CC | 1 | 490.5 | 27.5 | 443 | 2.19 | 28.7 | 1,096 | 5.43 | 26.9 |
| | 2 | 936.0 | 52.6 | 821 | 2.16 | 53.2 | 2,241 | 5.90 | 55.1 |
| | 3 | 342.9 | 19.3 | 274 | 1.69 | 17.8 | 718 | 4.43 | 17.6 |
| | 4 | 3.9 | 0.2 | 3 | .75 | 0.2 | 5 | 1.25 | 0.1 |
| | 5 | 7.1 | 0.4 | 2 | .50 | 0.1 | 9 | 2.25 | 0.2 |
| | Total | 1,780.4 | 100.0 | 1,543 | 2.35 | 100.0 | 4,069 | 3.85 | 100.0 |
| 4CC | 1 | 688.4 | 14.9 | 1,095 | 2.36 | 15.0 | 2,695 | 5.81 | 14.9 |
| | 2 | 2,082.1 | 45.1 | 3,207 | 2.31 | 44.0 | 7,716 | 5.56 | 42.5 |
| | 3 | 1,713.4 | 37.1 | 2,784 | 2.40 | 38.2 | 7,156 | 6.16 | 39.4 |
| | 4 | 122.8 | 2.7 | 187 | 2.10 | 2.6 | 536 | 6.02 | 3.0 |
| | 5 | 14.5 | 0.3 | 16 | 1.60 | 0.2 | 45 | 4.50 | 0.2 |
| | Total | 4,621.2 | 100.0 | 7,289 | 2.15 | 100.0 | 18,148 | 5.61 | 100.0 |
| 2CL | 1 | 4,662.6 | 25.5 | 3,438 | 1.49 | 22.0 | 7,787 | 3.37 | 22.1 |
| | 2 | 6,852.6 | 37.4 | 5,956 | 1.83 | 38.2 | 13,506 | 4.14 | 38.4 |
| | 3 | 5,653.5 | 30.9 | 5,120 | 1.84 | 32.8 | 11,522 | 4.15 | 32.7 |
| | 4 | 963.8 | 5.3 | 927 | 1.85 | 5.9 | 2,027 | 4.04 | 5.8 |
| | 5 | 168.8 | 0.9 | 160 | 1.86 | 1.0 | 366 | 4.26 | 1.0 |
| | Total | 18,301.3 | 100.0 | 15,601 | 1.77 | 100.0 | 35,208 | 3.99 | 100.0 |
| 4CL | 1 | 1,157.6 | 23.1 | 2,963 | 3.11 | 24.9 | 6,130 | 6.44 | 24.8 |
| | 2 | 2,047.2 | 40.9 | 5,062 | 3.20 | 42.6 | 10,417 | 6.58 | 42.1 |
| | 3 | 1,684.5 | 33.6 | 3,559 | 2.64 | 29.9 | 7,616 | 5.64 | 30.8 |
| | 4 | 104.9 | 2.1 | 258 | 2.72 | 2.2 | 525 | 5.53 | 2.1 |
| | 5 | 16.7 | 0.3 | 42 | 2.63 | 0.4 | 68 | 4.25 | 0.3 |
| | Total | 5,010.9 | 100.0 | 11,884 | 2.86 | 100.0 | 24,756 | 5.69 | 100.0 |

Fuente: Elaboración propia

Las siguientes figuras muestran de forma gráfica las distribuciones porcentuales mostradas en el Cuadro 5.9 para las carreteras de dos carriles libre.

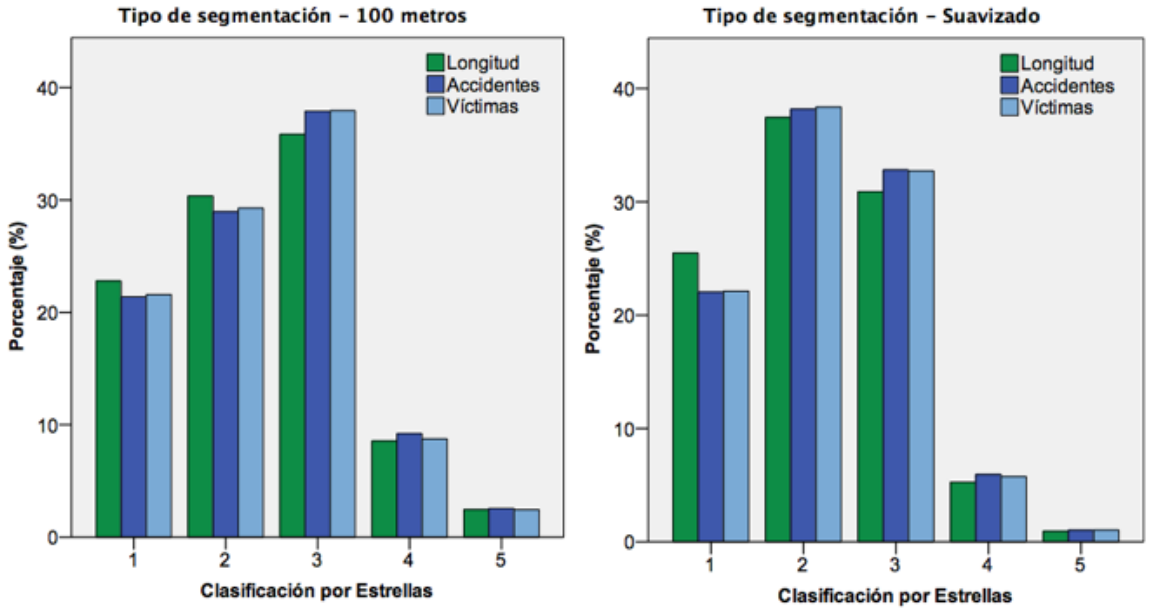


Figura 5.7 Distribución porcentual de longitud, accidentes con víctimas y víctimas para el grupo 2CL, por C.E. (segmentos de iRAP)

Fuente: Elaboración propia

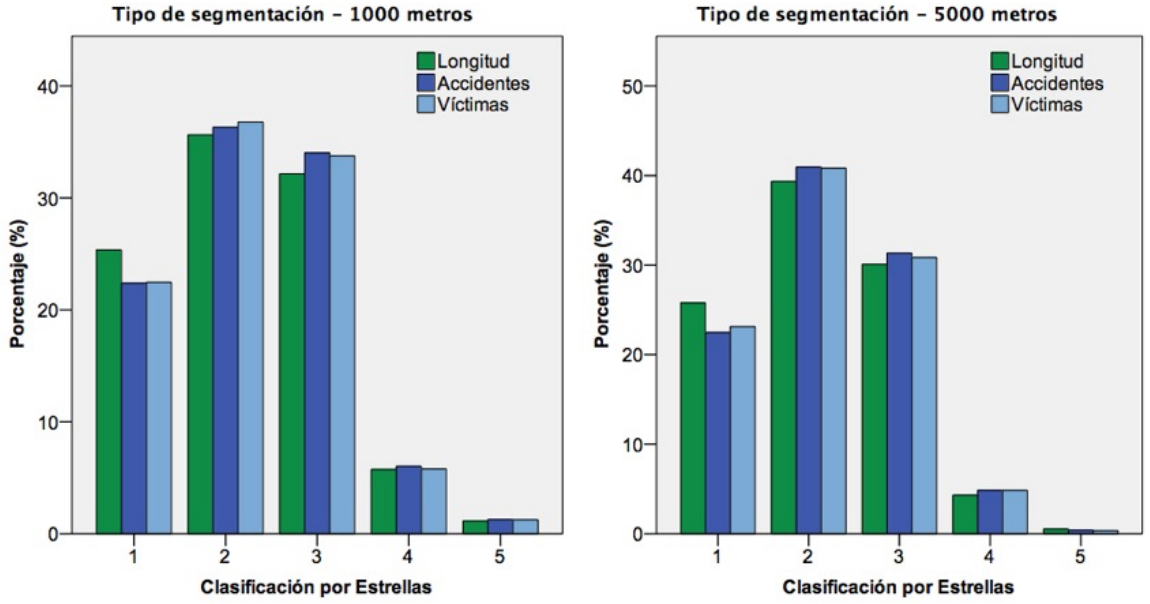


Figura 5.8 Distribución porcentual de longitud, accidentes con víctimas y víctimas para el grupo 2CL, por C.E. (segmentos agrupados)

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se graficó el valor de la media del número de accidentes con víctimas por cada estrella utilizando todos los segmentos, incluyendo aquellos que no reportaron accidentes (véase Figura 5.9); en valores absolutos, los segmentos de tres y cuatro estrellas obtienen un valor de la media más alto, a diferencia de una y dos estrellas que muestran valores más bajos no obstante que el riesgo de la infraestructura es mayor. Resultados similares se encontraron independientemente del nivel de agrupación, segmentos de iRAP y segmentos agrupados por el autor; es importante señalar que aquí no se considera aún el TDPA, únicamente se considera la longitud al tener segmentos homogéneos a excepción de los segmentos suavizados donde se utilizó la frecuencia en función la unidad de longitud (1 km) dado que la longitud de estos segmentos es variable.

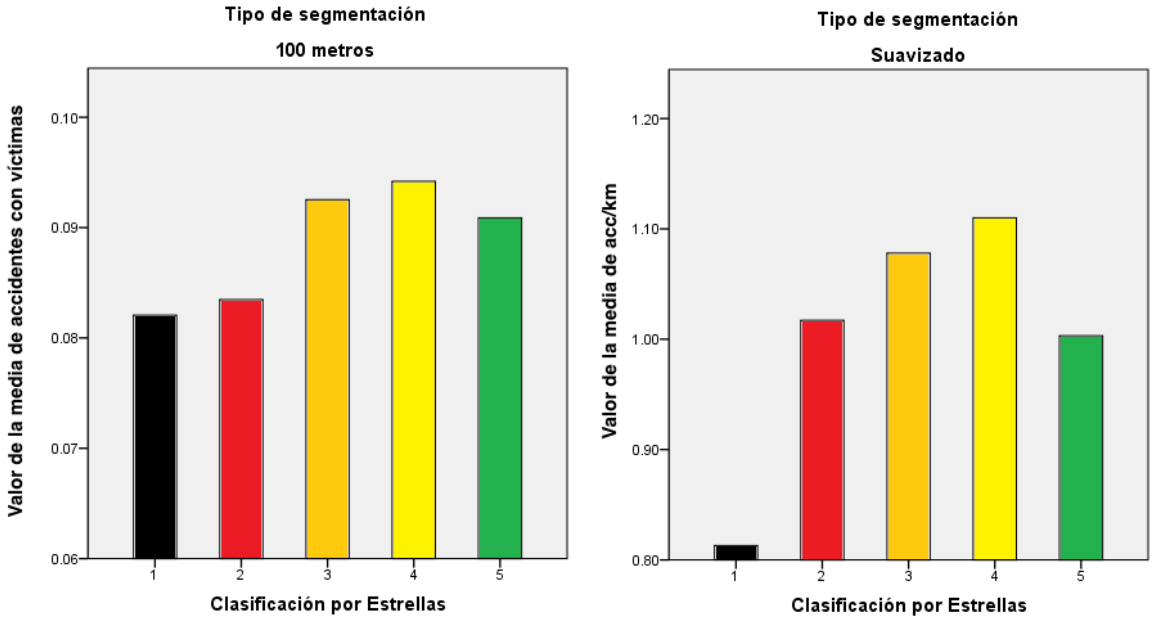


Figura 5.9 Distribución del valor de la media de accidentes con víctimas para el grupo 2CL, por C.E. (segmentos de iRAP)

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Figura 5.9, pareciera no existir una relación entre la siniestralidad y la clasificación por estrellas; por lo tanto se optó por realizar otro análisis considerando únicamente los segmentos que reportaron accidentes (véase Figura 5.10). Los resultados reflejan que para la segmentación de 100 m pudiese haber una tendencia respecto a que las condiciones favorables de la infraestructura tienen un impacto positivo en el número de accidentes; sin embargo, esta conclusión no es contundente ya que en la segmentación suavizada esta aseveración queda descartada.

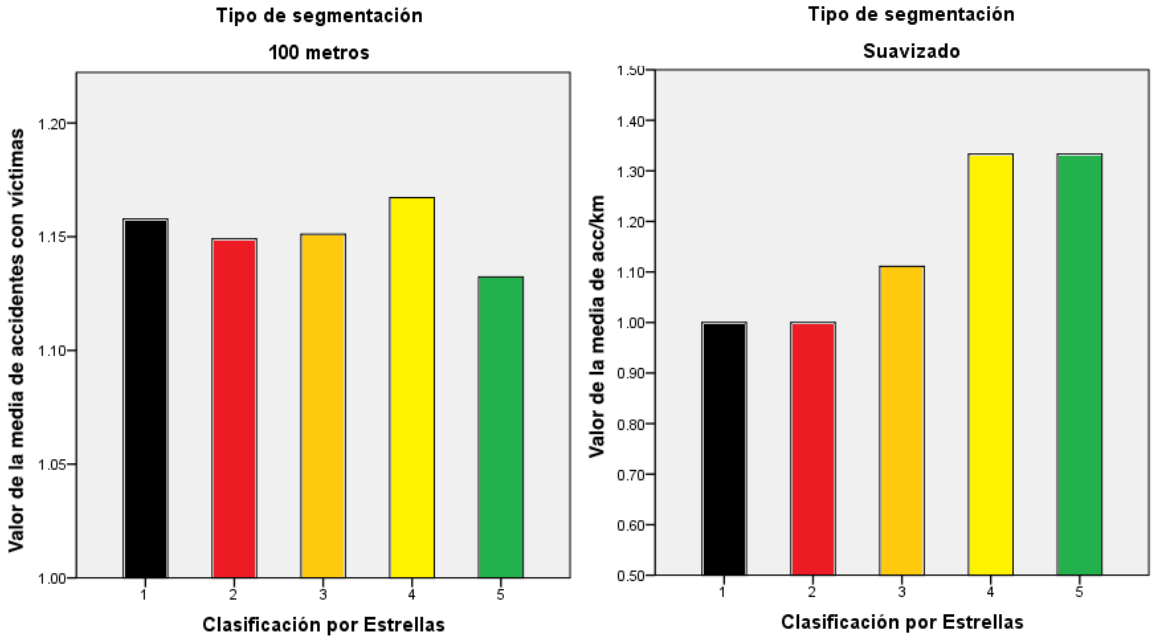


Figura 5.10 Distribución del valor de la media de accidentes con víctimas para el grupo 2CL, por C.E. (segmentos de iRAP con accidentes)

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.1 Índice de accidentalidad

Dentro de esta sección, se expondrán los resultados encontrados al relacionar la clasificación por estrellas y el puntaje de protección de la vía con los

indicadores de accidentalidad previamente expuestos en el capítulo 3. Tal como se hizo mención anteriormente, se realizaron los primeros análisis sobre el grupo 2CL (carreteras de dos carriles libres) dado que existe un mayor número de segmentos; una vez establecida alguna correlación, se trabajaron los grupos restantes. Inicialmente se utilizaron valores absolutos de accidentes y costos; posteriormente, se analizaron los indicadores con una medida de exposición al riesgo el cual se calculó a través de la multiplicación del Tránsito Diario Promedio Anual (*TDPA*) por la longitud del segmento, por los 365 días al año; lo anterior dividido entre $1x10^8$, obteniendo cifras por cada cien millones de vehículos, tal como se muestra a continuación:

$$\text{vehkm}=\frac{(\text{TDPA}_{2010}+\text{TDPA}_{2011}+\text{TDPA}_{2012}+\text{TDPA}_{2013})\times\text{Longitud}\times 365}{1x10^8} \qquad (17)$$

Una vez establecido que el número absoluto de accidentes con víctimas no apuntaba a una relación clara, se introdujo la variable de vehículos-kilómetro recorridos. Posteriormente, se calculó el índice de accidentalidad utilizando la ecuación 17 para los segmentos analizados y se graficó utilizando el valor de la mediana para cada estrella clasificada, tal como lo muestra la Figura 5.11. Dentro de esta figura, se destaca una tendencia de incremento en el índice de accidentalidad conforme disminuye la clasificación por estrellas, no obstante que se presenta una excepción en ambas agrupaciones; cuatro estrellas para segmentos de 100 metros y una estrella para segmentos suavizados.

En la búsqueda de resultados, la Figura 5.12 analiza el valor de la mediana del índice de accidentalidad únicamente de la longitud que registró accidentes con víctimas; se puede observar una tendencia que para ambos tipos de segmentación (100 m y suavizados) reflejaría que las buenas condiciones de la vía tienen efectos positivos en la seguridad.

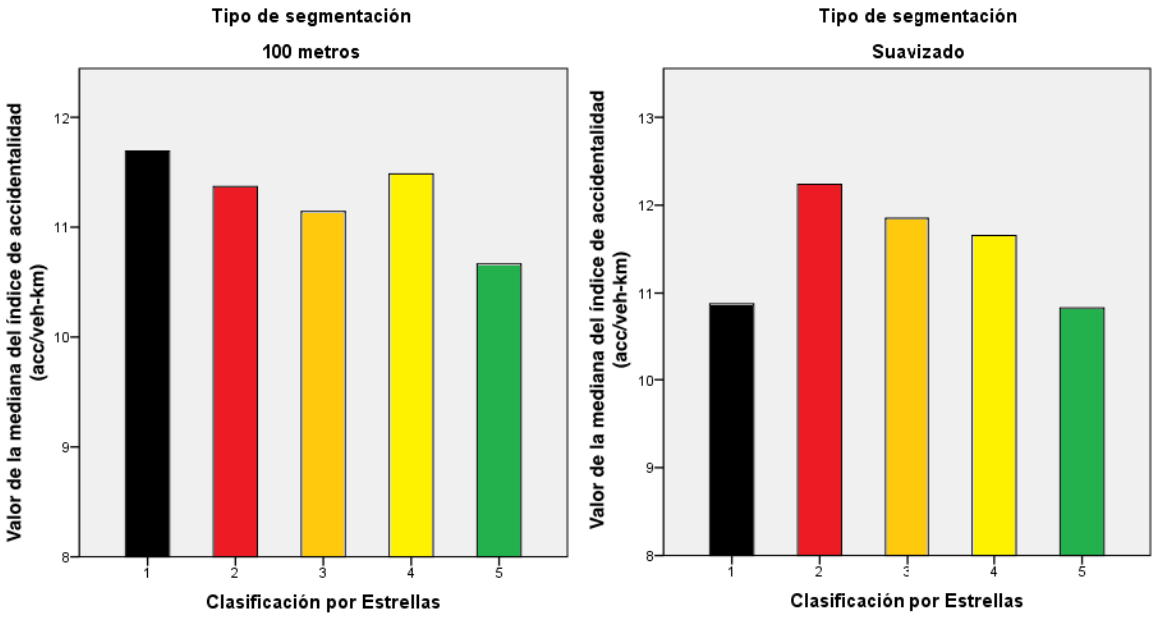


Figura 5.11 Distribución del valor de la mediana del índice de accidentalidad para el grupo 2CL, por C.E. (segmentos de iRAP)

Fuente: Elaboración propia

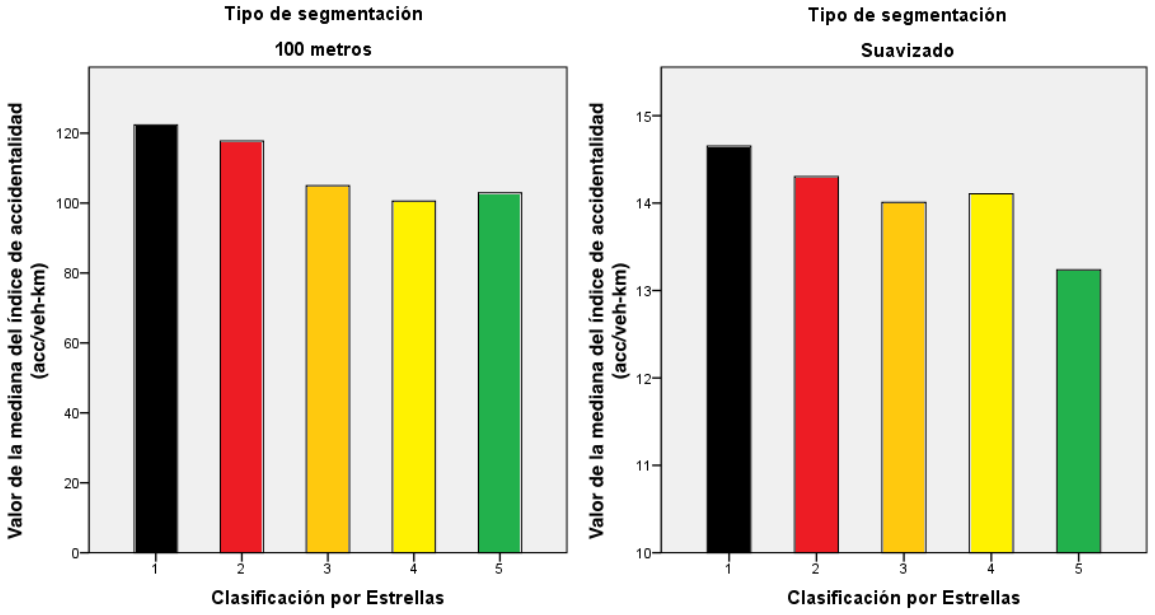


Figura 5.12 Distribución del valor de la mediana del índice de accidentalidad para el grupo 2CL, por C.E. (segmentos de iRAP con accidentes)

Fuente: Elaboración propia

Es importante destacar que el rango del índice de accidentalidad en segmentos de 100 m considerablemente mayor dado que la longitud es muy pequeña; situación diferente a los segmentos suavizados cuyo rango es menor. A raíz de encontrar mejores y más confiables hallazgos considerando únicamente segmentos con accidentes, se optó por seguir este criterio para los siguientes indicadores, utilizando además el valor de la mediana dado un mejor ajuste al eliminar valores atípicos, salvo en números absolutos, específicamente los segmentos de 100 metros.

Posteriormente, el Cuadro 5.10 muestra los índices de accidentalidad obtenidos para cada uno de los grupos de estudio, según su clasificación por estrellas y para los diferentes tipos de segmentación. A partir de este cuadro, se observó que el grupo de dos carriles libre es, sin duda, el único que presentó una relación clara entre la clasificación por estrellas y el índice de accidentalidad, mientras que los grupos de carreteras de cuatro carriles (cuota y libre) presentan una relación menos fuerte, siendo las carreteras de dos carriles (cuota) las que no presentan alguna relación definida, posiblemente debido a los pocos segmentos analizados. De igual manera se observa que los segmentos de 100 m y suavizados presentan mejores resultados a los obtenidos en los segmentos de 1000 y 5000 m donde se observó una mayor variación en los valores de la mediana en cada estrella, obteniendo valores muy altos de accidentalidad en carreteras con cinco estrellas.

Cuadro 5.10 Índice de accidentalidad, por grupo y para los tipos de segmentación

| Tipo de segmentación – 100 m | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Grupo | C. E. | TDPA | PPV | Acc/veh-km | |
| | | Media | Media | Media | Mediana |
| 2CC | 1 | 5,398 | 36.68 | 174.65 | 154.95 |
| | 2 | 6,766 | 17.18 | 150.85 | 137.50 |
| | 3 | 6,114 | 9.21 | 165.67 | 129.99 |
| | 4 | 6,495 | 4.35 | 231.20 | 143.47 |
| | 5 | 7,656 | 1.82 | 106.78 | 71.73 |
| 4CC | 1 | 16,518 | 33.28 | 91.63 | 74.56 |
| | 2 | 15,659 | 16.93 | 91.38 | 71.27 |
| | 3 | 19,937 | 8.85 | 69.55 | 62.22 |
| | 4 | 22,268 | 3.89 | 71.73 | 56.05 |
| | 5 | 17,012 | 1.86 | 114.35 | 64.47 |

| Grupo | C.E. | TDPA Media | PPV Media | Acc/veh-km Media | Acc/veh-km Mediana |
|---|---|---|---|---|---|
| 2CL | 1 | 7,425 | 46.92 | 164.95 | 122.37 |
| | 2 | 7,565 | 16.60 | 156.51 | 117.77 |
| | 3 | 8,265 | 8.79 | 138.62 | 104.99 |
| | 4 | 8,489 | 3.90 | 142.31 | 100.55 |
| | 5 | 7,977 | 1.83 | 132.87 | 102.95 |
| 4CL | 1 | 26,130 | 37.10 | 57.33 | 42.56 |
| | 2 | 24,276 | 16.89 | 58.48 | 45.97 |
| | 3 | 22,699 | 8.96 | 60.96 | 47.65 |
| | 4 | 24,956 | 3.90 | 55.55 | 42.88 |
| | 5 | 19,363 | 1.80 | 63.85 | 49.75 |
| **Tipo de segmentación – 1000 m** | | | | | |
| 2CC | 1 | 4,952 | 33.53 | 27.18 | 20.51 |
| | 2 | 6,276 | 16.87 | 25.70 | 18.31 |
| | 3 | 5,641 | 9.95 | 26.92 | 20.20 |
| | 4 | 9,548 | 4.34 | 21.52 | 21.52 |
| | 5 | 3,873 | 1.33 | 17.69 | 17.69 |
| 4CC | 1 | 13,812 | 30.04 | 19.52 | 14.91 |
| | 2 | 13,122 | 17.00 | 17.72 | 13.12 |
| | 3 | 15,970 | 9.16 | 14.73 | 11.70 |
| | 4 | 17,460 | 3.97 | 17.04 | 12.12 |
| | 5 | 13,390 | 1.89 | 22.07 | 22.42 |
| 2CL | 1 | 6,296 | 37.58 | 27.89 | 21.11 |
| | 2 | 6,715 | 16.85 | 26.02 | 19.90 |
| | 3 | 7,385 | 8.90 | 23.91 | 17.95 |
| | 4 | 7,461 | 3.92 | 25.42 | 19.27 |
| | 5 | 6,788 | 1.89 | 24.61 | 21.46 |
| 4CL | 1 | 21,052 | 32.08 | 14.87 | 11.79 |
| | 2 | 19,400 | 16.88 | 15.02 | 11.72 |
| | 3 | 17,906 | 9.16 | 14.78 | 10.94 |
| | 4 | 21,354 | 4.07 | 14.94 | 12.62 |
| | 5 | 18,203 | 1.82 | 17.14 | 14.73 |
| **Tipo de segmentación – 5000 m** | | | | | |
| 2CC | 1 | 5,030 | 33.20 | 13.95 | 12.61 |
| | 2 | 5,513 | 16.93 | 14.09 | 12.68 |
| | 3 | 4,626 | 10.62 | 15.28 | 13.48 |
| | 4 | . | . | . | . |
| | 5 | 3,873 | 1.09 | 3.54 | 3.54 |
| 4CC | 1 | 11,887 | 28.69 | 13.57 | 11.04 |
| | 2 | 10,612 | 17.03 | 11.91 | 10.22 |
| | 3 | 13,057 | 9.42 | 9.87 | 8.28 |
| | 4 | 15,774 | 4.07 | 9.59 | 9.27 |
| | 5 | 2,789 | 2.48 | 9.82 | 9.82 |
| 2CL | 1 | 5,323 | 35.28 | 13.74 | 10.84 |
| | 2 | 5,696 | 17.11 | 14.23 | 11.55 |
| | 3 | 6,295 | 8.97 | 12.73 | 10.37 |
| | 4 | 5,926 | 4.07 | 14.57 | 12.23 |
| | 5 | 5,264 | 2.07 | 10.44 | 8.24 |
| 4CL | 1 | 18,878 | 30.28 | 10.73 | 9.77 |
| | 2 | 17,393 | 16.96 | 11.86 | 9.56 |
| | 3 | 15,139 | 9.31 | 10.37 | 9.13 |
| | 4 | 14,933 | 4.00 | 10.95 | 5.66 |
| | 5 | 14,968 | 2.24 | 16.47 | 16.47 |
| **Tipo de segmentación – Suavizado[1]** | | | | | |
| 2CC | 1 | 4,734 | 33.64 | 20.61 | 14.54 |
| | 2 | 6,095 | 16.99 | 17.30 | 13.47 |
| | 3 | 4,955 | 10.24 | 20.21 | 17.33 |
| | 4 | 4,472 | 3.38 | 75.59 | 15.54 |
| | 5 | 6,711 | 1.64 | 6.21 | 6.21 |

| Grupo | C.E. | TDPA Media | PPV Media | Acc/veh-km Media | Acc/veh-km Mediana |
|---|---|---|---|---|---|
| 4CC | 1 | 13,385 | 29.06 | 18.42 | 13.29 |
| | 2 | 12,700 | 17.07 | 16.89 | 12.01 |
| | 3 | 16,599 | 9.22 | 13.11 | 10.15 |
| | 4 | 18,923 | 4.07 | 14.84 | 10.36 |
| | 5 | 17,902 | 1.79 | 10.67 | 10.75 |
| 2CL | 1 | 6,225 | 36.31 | 19.58 | 14.65 |
| | 2 | 6,495 | 16.98 | 19.65 | 14.30 |
| | 3 | 7,200 | 8.96 | 18.76 | 14.01 |
| | 4 | 7,540 | 3.98 | 19.18 | 14.11 |
| | 5 | 6,896 | 1.94 | 18.26 | 13.24 |
| 4CL | 1 | 22,433 | 31.55 | 14.43 | 11.06 |
| | 2 | 19,942 | 17.10 | 15.05 | 11.66 |
| | 3 | 18,629 | 9.33 | 14.43 | 10.73 |
| | 4 | 22,794 | 4.10 | 15.20 | 9.11 |
| | 5 | 15,224 | 1.58 | 13.78 | 9.72 |

Fuente: Elaboración propia.

Las siguientes figuras muestran los gráficos del valor de la mediana para el índice de accidentalidad para cada grupo de estudio donde se destaca lo establecido en el cuadro anterior, haciendo énfasis en la obtención de mejores resultados en las segmentaciones de iRAP.

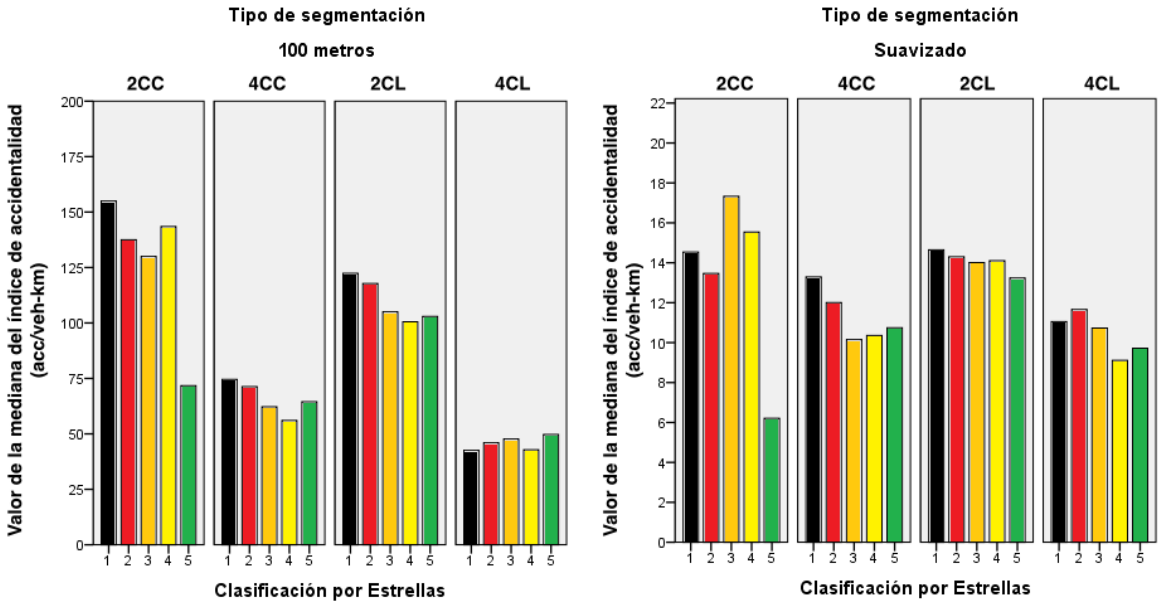


Figura 5.13 Distribución del valor de la mediana del índice de accidentalidad, por grupo (segmentos de iRAP con accidentes)

Fuente: Elaboración propia

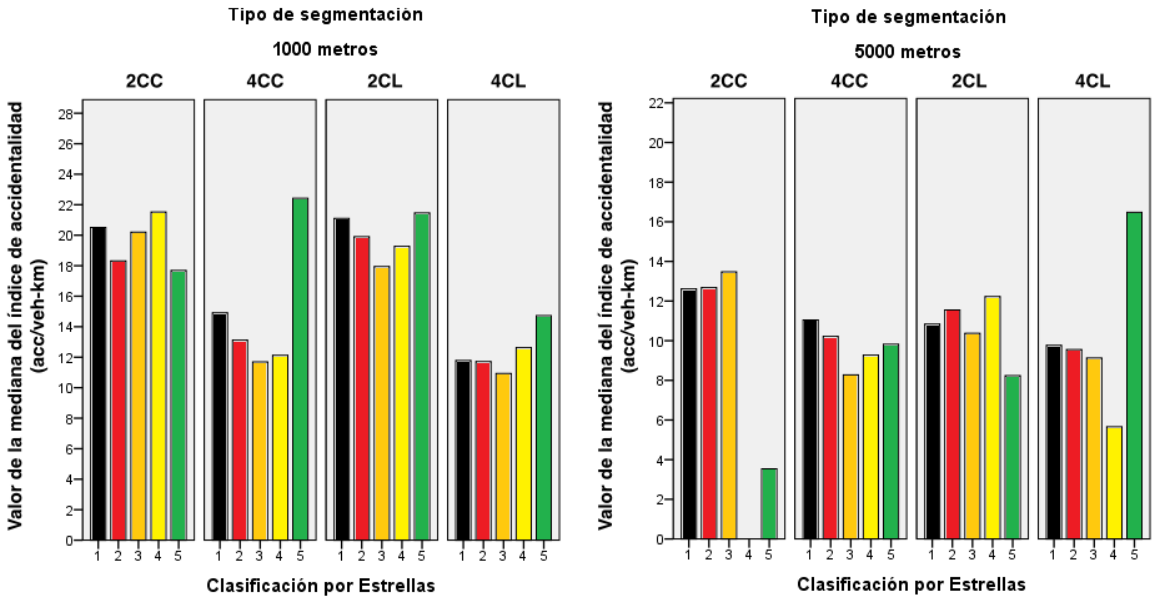


Figura 5.14 Distribución del valor de la mediana del índice de accidentalidad, por grupo (segmentos agrupados con accidentes)

Fuente: Elaboración propia

Dado lo anterior, se optó por trabajar únicamente con segmentos de 100 m, 1000 m y suavizados para posteriores análisis; no obstante, los segmentos de 5000 m fueron utilizados para los mapas de riesgo descritos posteriormente.

### 5.3.2 Daños materiales equivalentes únicos (EPDO)

Este indicador fue calculado con la ecuación 13 con el objetivo de otorgarle un mayor peso a los accidentes que tuvieron consecuencias fatales, los cuales comúnmente se encuentran relacionados con la infraestructura. Por los resultados obtenidos anteriormente, se analizaron valores absolutos, así como la relación con la longitud y los vehículos-kilómetro para los segmentos de 100 m, 1000 m y suavizados, considerando únicamente segmentos con accidentes.

De igual manera, se tomó el grupo de carreteras dos carriles libre como grupo piloto, el cual se muestra en la Figura 5.15 y la Figura 5.16.

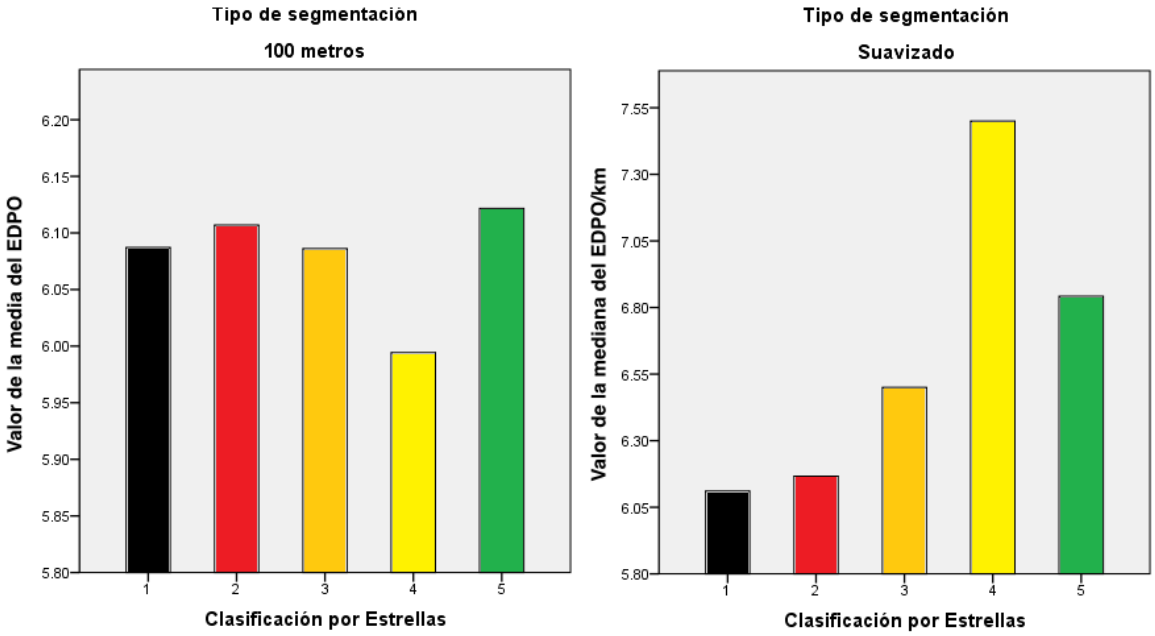


Figura 5.15 Distribución del valor de la media/mediana del EPDO para el grupo 2CL, por C.E. (segmentos de iRAP con accidentes)

Fuente: Elaboración propia

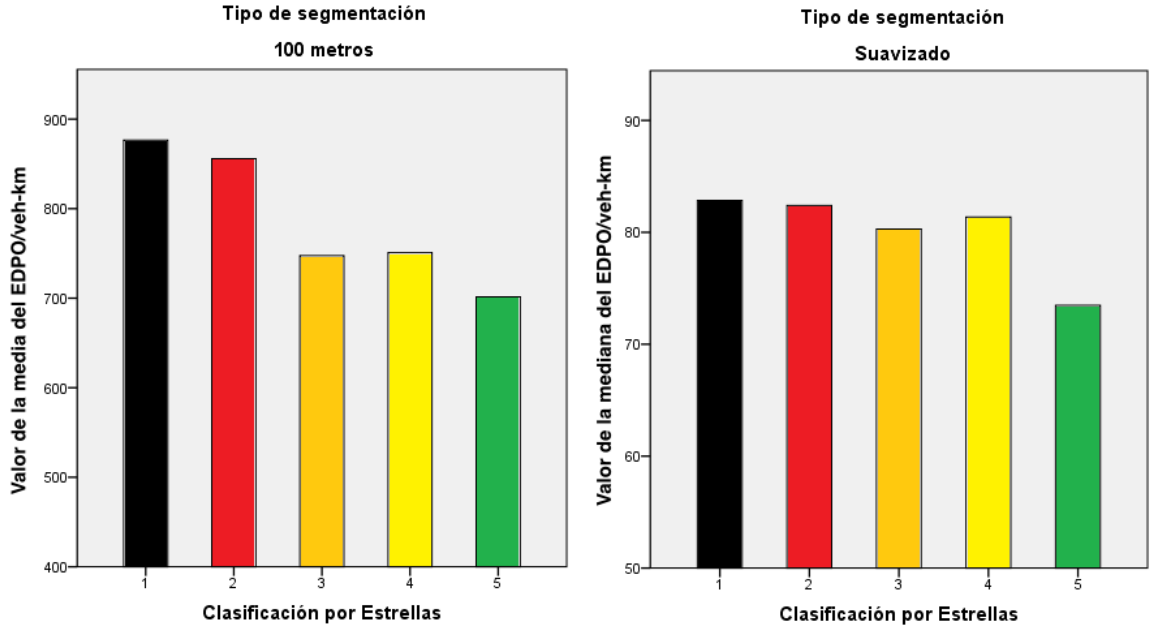


Figura 5.16 Distribución del valor de la media/mediana del EPDO por veh-km para el grupo 2CL, por C.E. (segmentos de iRAP con accidentes)

Fuente: Elaboración propia

De aquí se nota nuevamente que el valor absoluto y su relación con la longitud presentan comportamientos atípicos. Sin embargo, al relacionar la variable EPDO con los vehículo-kilómetro recorridos se observó que el número de accidentes equivalentes disminuye conforme se incrementa la clasificación por estrellas; es decir, se mostró que existen menos accidentes por cada cien millones de vehículos-kilómetro en carreteras de cinco estrellas (véase Figura 5.16).

A su vez, el Cuadro 5.11 muestra todos los valores para los grupos restantes que posteriormente se grafican en la Figura 5.17 y la Figura 5.18 donde se observa que las carreteras libres de dos y cuatro carriles, el EPDO es inversamente proporcional a la clasificación por estrellas en cualquier tipo de segmentación, mientras que las carreteras de cuota no presentan una tendencia que nos permita hacer conclusiones contundentes, específicamente las carreteras de dos carriles donde se observó un mayor número de accidentes equivalentes en segmentos clasificados con tres y cuatro estrellas. Para este indicador se obtuvieron mejores resultados en los segmentos suavizados de iRAP que en los segmentos brutos de 100 m; de igual manera, los segmentos de 1000 m presentaron resultados menos consistentes.

Cuadro 5.11 EPDO, por grupo y para los tipos de segmentación

| Tipo de segmentación – 100 m | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Grupo | C. E. | TDPA | PPV | EPDO | | EPDO/veh-km | |
| | | Media | Media | Media | Mediana | Media | Mediana |
| 2CC | 1 | 5,398 | 36.68 | 6.19 | 3.50 | 934.38 | 697.29 |
| | 2 | 6,766 | 17.18 | 6.01 | 3.50 | 854.86 | 615.87 |
| | 3 | 6,114 | 9.21 | 6.47 | 3.50 | 965.06 | 681.47 |
| | 4 | 6,495 | 4.35 | 6.83 | 3.50 | 1,013.06 | 717.85 |
| | 5 | 7,656 | 1.82 | 5.50 | 3.50 | 517.20 | 619.05 |
| 4CC | 1 | 16,518 | 33.28 | 6.68 | 4.50 | 490.19 | 311.04 |
| | 2 | 15,659 | 16.93 | 6.55 | 4.50 | 485.15 | 313.60 |
| | 3 | 19,937 | 8.85 | 6.58 | 4.50 | 372.14 | 254.53 |
| | 4 | 22,268 | 3.89 | 6.81 | 4.50 | 400.61 | 232.78 |
| | 5 | 17,012 | 1.86 | 6.26 | 4.00 | 620.39 | 298.98 |
| 2CL | 1 | 7,425 | 46.92 | 6.09 | 3.50 | 876.58 | 576.49 |
| | 2 | 7,565 | 16.60 | 6.11 | 3.50 | 855.70 | 568.71 |
| | 3 | 8,265 | 8.79 | 6.09 | 3.50 | 747.58 | 497.82 |
| | 4 | 8,489 | 3.90 | 5.99 | 3.50 | 750.88 | 494.91 |
| | 5 | 7,977 | 1.83 | 6.12 | 3.50 | 701.42 | 550.61 |

| Grupo | C. E. | TDPA | PPV | EPDO | | EPDO/veh-km | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Media | Media | Media | Mediana | Media | Mediana |
| 4CL | 1 | 26,130 | 37.10 | 7.18 | 4.50 | 303.73 | 208.64 |
| | 2 | 24,276 | 16.89 | 7.03 | 4.50 | 307.61 | 214.91 |
| | 3 | 22,699 | 8.96 | 6.92 | 4.50 | 328.88 | 217.38 |
| | 4 | 24,956 | 3.90 | 7.28 | 5.50 | 293.30 | 200.91 |
| | 5 | 19,363 | 1.80 | 6.53 | 4.50 | 337.43 | 226.77 |
| **Tipo de segmentación – 1000 m** | | | | | | | |
| 2CC | 1 | 4,952 | 33.53 | 10.25 | 7.00 | 160.25 | 113.22 |
| | 2 | 6,276 | 16.87 | 10.83 | 9.50 | 149.96 | 114.91 |
| | 3 | 5,641 | 9.95 | 12.05 | 9.50 | 168.05 | 141.09 |
| | 4 | 9,548 | 4.34 | 24.50 | 24.50 | 175.75 | 175.75 |
| | 5 | 3,873 | 1.33 | 3.50 | 3.50 | 61.90 | 61.90 |
| 4CC | 1 | 13,812 | 30.04 | 14.70 | 11.50 | 108.09 | 79.61 |
| | 2 | 13,122 | 17.00 | 14.32 | 10.50 | 103.34 | 72.14 |
| | 3 | 15,970 | 9.16 | 15.12 | 11.00 | 84.90 | 65.01 |
| | 4 | 17,460 | 3.97 | 16.76 | 11.00 | 114.99 | 85.95 |
| | 5 | 13,390 | 1.89 | 15.21 | 16.00 | 108.07 | 89.68 |
| 2CL | 1 | 6,296 | 37.58 | 10.75 | 9.50 | 162.14 | 116.25 |
| | 2 | 6,715 | 16.85 | 11.33 | 9.50 | 149.90 | 109.14 |
| | 3 | 7,385 | 8.90 | 11.31 | 9.50 | 136.60 | 98.93 |
| | 4 | 7,461 | 3.92 | 11.57 | 9.50 | 144.83 | 97.89 |
| | 5 | 6,788 | 1.89 | 12.28 | 10.50 | 139.69 | 120.68 |
| 4CL | 1 | 21,052 | 32.08 | 20.71 | 15.00 | 87.48 | 66.12 |
| | 2 | 19,400 | 16.88 | 20.14 | 14.50 | 86.83 | 67.19 |
| | 3 | 17,906 | 9.16 | 17.89 | 13.25 | 86.83 | 64.55 |
| | 4 | 21,354 | 4.07 | 22.13 | 19.50 | 86.44 | 73.39 |
| | 5 | 18,203 | 1.82 | 18.82 | 18.75 | 90.04 | 91.29 |
| **Tipo de segmentación – Suavizado[1]** | | | | | | | |
| 2CC | 1 | 4,734 | 33.64 | 7.74 | 5.00 | 122.62 | 85.93 |
| | 2 | 6,095 | 16.99 | 7.71 | 5.83 | 106.02 | 79.23 |
| | 3 | 4,955 | 10.24 | 8.39 | 6.00 | 132.49 | 99.71 |
| | 4 | 4,472 | 3.38 | 3.62 | 3.18 | 264.56 | 54.39 |
| | 5 | 6,711 | 1.64 | 4.90 | 4.90 | 41.29 | 41.29 |
| 4CC | 1 | 13,385 | 29.06 | 13.46 | 10.00 | 106.15 | 70.24 |
| | 2 | 12,700 | 17.07 | 13.90 | 9.77 | 98.35 | 69.86 |
| | 3 | 16,599 | 9.22 | 14.43 | 10.22 | 78.09 | 58.48 |
| | 4 | 18,923 | 4.07 | 18.10 | 12.31 | 91.82 | 67.97 |
| | 5 | 17,902 | 1.79 | 11.42 | 14.00 | 64.09 | 65.49 |
| 2CL | 1 | 6,225 | 36.31 | 8.37 | 6.11 | 113.59 | 82.85 |
| | 2 | 6,495 | 16.98 | 9.14 | 6.17 | 113.64 | 82.39 |
| | 3 | 7,200 | 8.96 | 9.62 | 6.50 | 108.18 | 80.30 |
| | 4 | 7,540 | 3.98 | 10.49 | 7.50 | 110.62 | 81.36 |
| | 5 | 6,896 | 1.94 | 9.39 | 6.84 | 100.95 | 73.48 |
| 4CL | 1 | 22,433 | 31.55 | 21.55 | 16.10 | 82.98 | 62.66 |
| | 2 | 19,942 | 17.10 | 20.75 | 14.14 | 86.27 | 67.29 |
| | 3 | 18,629 | 9.33 | 19.15 | 13.13 | 85.45 | 64.43 |
| | 4 | 22,794 | 4.10 | 23.12 | 18.50 | 90.43 | 57.45 |
| | 5 | 15,224 | 1.58 | 14.45 | 12.00 | 68.01 | 49.61 |

Fuente: Elaboración propia

[1]EPDO está dividido por la unidad de longitud (EPDO/km)

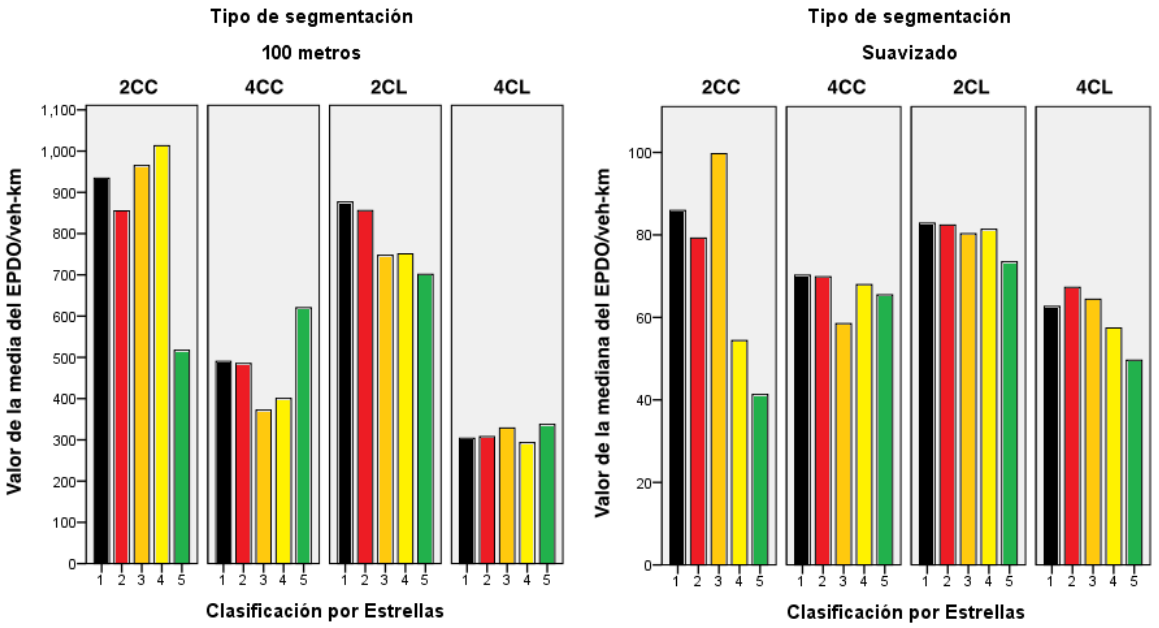


Figura 5.17 Distribución del valor de la media/mediana del EPDO por veh-km, por grupo (segmentos de iRAP con accidentes)

Fuente: Elaboración propia

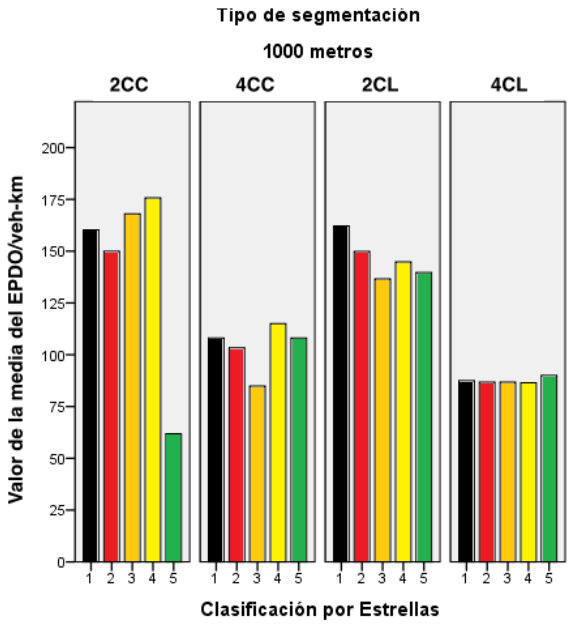


Figura 5.18 Distribución del valor de la media del EPDO por veh-km, por grupo (segmentos agrupados con accidentes)

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.3 Costo de accidentes

Como tercer indicador, se utilizó el costo de accidentes el cual otorga un valor económico a la pérdida de la vida humana, así como aquellos que resultan lesionados. Lo anterior se logró a partir de la ecuación 14 donde el costo se calcula a partir del PIB per cápita nacional. El Cuadro 5.12 muestra el valor promedio del PIB per cápita utilizado para calcular este indicador, así como la tasa promedio de cambio para convertir los daños materiales de pesos mexicanos a dólares americanos.

Cuadro 5.12 Valor histórico del PIB/cápita (USD)

| Año | Valor Dólar (MXN) | PIB/Cápita (USD) |
|---|---|---|
| **2010** | 12.6462 | 8,730 |
| **2011** | 12.4457 | 9,000 |
| **2012** | 13.1665 | 9,720 |
| **2013** | 12.7645 | 9,940 |
| **Promedio** | **12.7557** | **9,348** |

Fuente: Banco de Información Económica del INEGI y Banco Mundial (2015)

De igual manera, se consideraron valores absolutos y valores en función de la longitud y de los vehículos-kilómetro generados para el grupo de carreteras de dos carriles libre, acotando la muestra de estudio a segmentos que registraron accidentes con víctimas. Por un lado, la Figura 5.19 muestra el costo por clasificación de estrellas donde no se observó alguna relación en los segmentos de 100 m, no obstante que los segmentos suavizados sí presentaron un relación directamente proporcional donde se establece que el costo aumenta conforme se incrementa el número de estrellas; lo anterior puede relacionarse con la teoría de homeostasis del riesgo previamente discutida, donde el conductor al observar mejores condiciones en la infraestructura, aumenta la velocidad de operación incrementando la probabilidad de sufrir una colisión, así como la severidad de la misma. La Figura 5.20 muestra que una vez descontado el efecto de la movilidad existe una relación entre la calidad de la infraestructura y la seguridad vial.

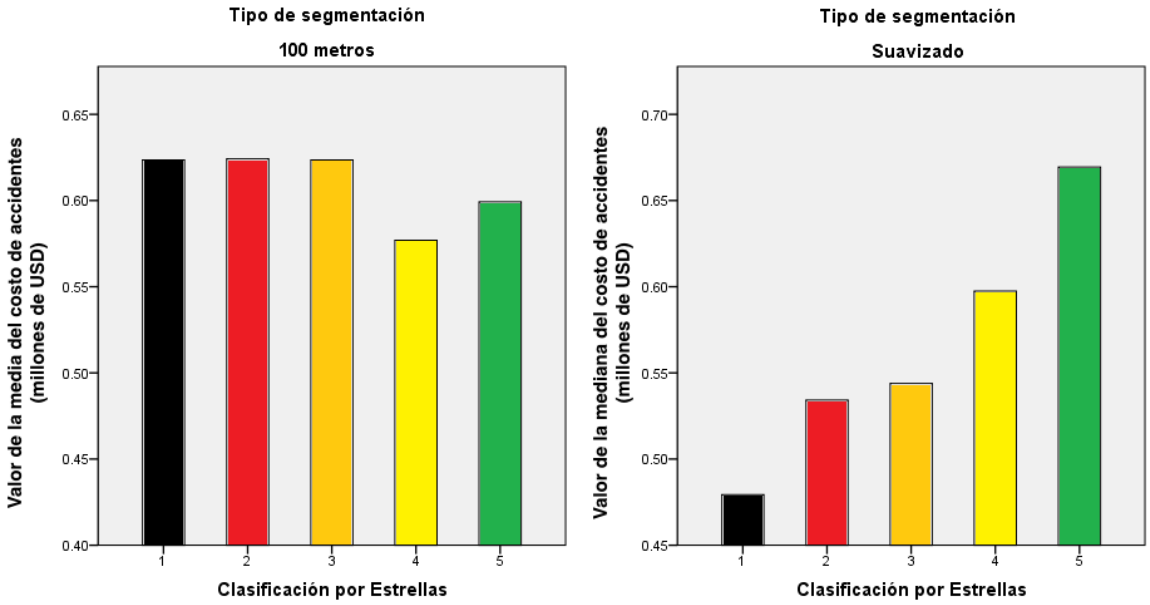


Figura 5.19 Distribución del valor de la media/mediana del costo de accidentes para el grupo 2CL, por C.E. (segmentos de iRAP con accidentes)

Fuente: Elaboración propia

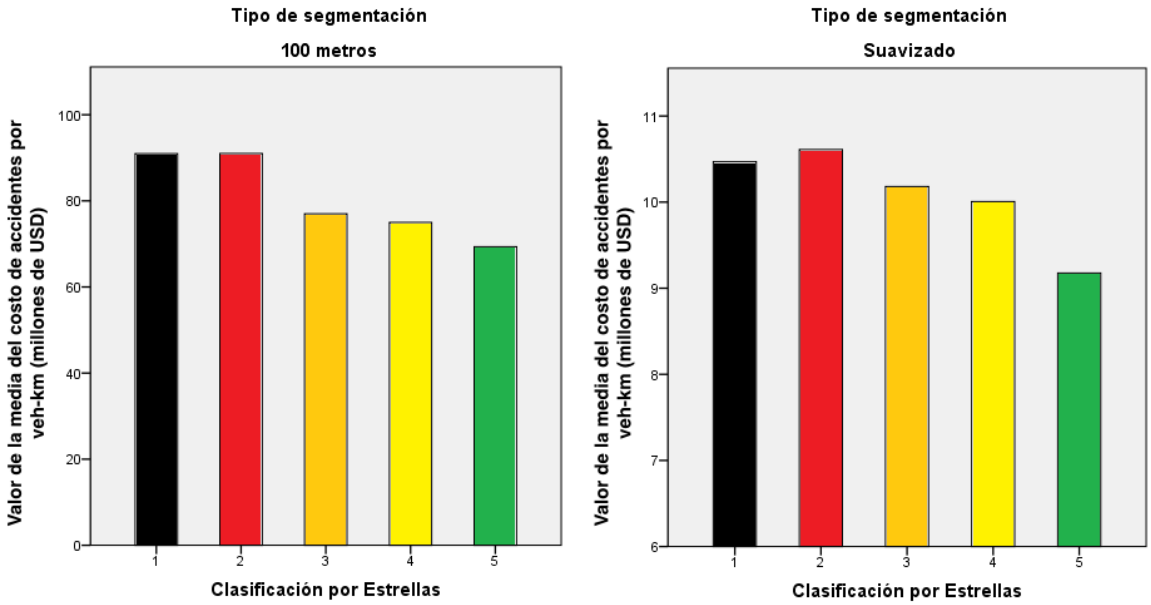


Figura 5.20 Distribución del valor de la media del costo de accidentes por veh-km para el grupo 2CL, por C.E. (segmentos de iRAP con accidentes)

Fuente: Elaboración propia

Por último, el Cuadro 5.13 muestra los resultados obtenidos para los distintos grupos de estudio donde se observa nuevamente que las carreteras de cuota presentaron resultados menos precisos, especialmente el grupo de carreteras de dos carriles, mientras que las carreteras de cuatro carriles libre presentaron resultados constantes; es decir que el costo no presenta variación en relación con la clasificación por estrellas.

Cuadro 5.13 Costo de accidentes, por C.E.

| Grupo | C. E. | TDPA | PPV | Costo (millones de USD) | | Costo/veh-km (millones de USD) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Media | Media | Media | Mediana | Media | Mediana |
| **Tipo de segmentación – 100 m** | | | | | | | |
| 2CC | 1 | 5,398 | 36.68 | .74 | .49 | 114.71 | 70.73 |
| | 2 | 6,766 | 17.18 | .71 | .48 | 99.42 | 55.05 |
| | 3 | 6,114 | 9.21 | .79 | .58 | 119.08 | 63.79 |
| | 4 | 6,495 | 4.35 | .66 | .33 | 92.75 | 65.83 |
| | 5 | 7,656 | 1.82 | .76 | .33 | 60.09 | 29.04 |
| 4CC | 1 | 16,518 | 33.28 | .70 | .48 | 51.44 | 27.94 |
| | 2 | 15,659 | 16.93 | .68 | .48 | 52.40 | 29.25 |
| | 3 | 19,937 | 8.85 | .71 | .48 | 42.24 | 21.77 |
| | 4 | 22,268 | 3.89 | .75 | .49 | 46.31 | 22.61 |
| | 5 | 17,012 | 1.86 | .61 | .48 | 63.28 | 38.03 |
| 2CL | 1 | 7,425 | 46.92 | .62 | .48 | 90.97 | 49.65 |
| | 2 | 7,565 | 16.60 | .62 | .48 | 91.01 | 47.94 |
| | 3 | 8,265 | 8.79 | .62 | .48 | 77.01 | 42.51 |
| | 4 | 8,489 | 3.90 | .58 | .34 | 75.02 | 38.25 |
| | 5 | 7,977 | 1.83 | .60 | .48 | 69.36 | 44.31 |
| 4CL | 1 | 26,130 | 37.10 | .64 | .48 | 28.40 | 15.23 |
| | 2 | 24,276 | 16.89 | .62 | .48 | 28.76 | 15.34 |
| | 3 | 22,699 | 8.96 | .62 | .48 | 31.77 | 16.16 |
| | 4 | 24,956 | 3.90 | .63 | .48 | 26.90 | 15.41 |
| | 5 | 19,363 | 1.80 | .56 | .32 | 33.35 | 16.01 |
| **Tipo de segmentación – 1000 m** | | | | | | | |
| 2CC | 1 | 4,952 | 33.53 | 1.06 | .66 | 16.49 | 9.91 |
| | 2 | 6,276 | 16.87 | 1.24 | .82 | 17.87 | 10.49 |
| | 3 | 5,641 | 9.95 | 1.38 | .91 | 19.42 | 13.00 |
| | 4 | 9,548 | 4.34 | 6.92 | 6.92 | 49.61 | 49.61 |
| | 5 | 3,873 | 1.33 | .16 | .16 | 2.90 | 2.90 |
| 4CC | 1 | 13,812 | 30.04 | 1.44 | .98 | 10.66 | 6.75 |
| | 2 | 13,122 | 17.00 | 1.37 | .95 | 10.32 | 6.39 |
| | 3 | 15,970 | 9.16 | 1.48 | .99 | 8.80 | 5.52 |
| | 4 | 17,460 | 3.97 | 1.61 | 1.11 | 12.04 | 7.01 |
| | 5 | 13,390 | 1.89 | 1.42 | 1.14 | 11.40 | 5.89 |
| 2CL | 1 | 6,296 | 37.58 | 1.01 | .66 | 15.53 | 9.53 |
| | 2 | 6,715 | 16.85 | 1.08 | .66 | 15.00 | 9.28 |
| | 3 | 7,385 | 8.90 | 1.08 | .80 | 13.18 | 8.15 |
| | 4 | 7,461 | 3.92 | 1.07 | .66 | 13.51 | 8.19 |
| | 5 | 6,788 | 1.89 | 1.17 | .97 | 14.03 | 9.90 |

| Grupo | C. E. | TDPA | PPV | Costo (millones de USD) | | Costo/veh-km (millones de USD) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Media | Media | Media | Mediana | Media | Mediana |
| 4CL | 1 | 21,052 | 32.08 | 1.66 | 1.13 | 7.35 | 4.82 |
| | 2 | 19,400 | 16.88 | 1.62 | 1.14 | 7.47 | 5.17 |
| | 3 | 17,906 | 9.16 | 1.47 | .99 | 7.73 | 4.93 |
| | 4 | 21,354 | 4.07 | 1.95 | 1.45 | 8.38 | 5.12 |
| | 5 | 18,203 | 1.82 | 1.39 | 1.62 | 6.75 | 6.47 |
| **Tipo de segmentación – Suavizado[1]** | | | | | | | |
| 2CC | 1 | 4,734 | 33.64 | 1.89 | 1.13 | 11.72 | 8.03 |
| | 2 | 6,095 | 16.99 | 2.15 | 1.46 | 12.09 | 7.83 |
| | 3 | 4,955 | 10.24 | 1.97 | 1.14 | 13.63 | 9.13 |
| | 4 | 4,472 | 3.38 | .27 | .32 | 23.41 | 2.71 |
| | 5 | 6,711 | 1.64 | .97 | .97 | 6.28 | 6.28 |
| 4CC | 1 | 13,385 | 29.06 | 1.94 | 1.14 | 10.12 | 6.16 |
| | 2 | 12,700 | 17.07 | 1.83 | 1.28 | 9.67 | 6.15 |
| | 3 | 16,599 | 9.22 | 1.93 | 1.29 | 8.10 | 4.95 |
| | 4 | 18,923 | 4.07 | 2.03 | 1.41 | 9.21 | 6.63 |
| | 5 | 17,902 | 1.79 | 1.25 | .81 | 5.95 | 6.10 |
| 2CL | 1 | 6,225 | 36.31 | 1.45 | .97 | 10.47 | 6.65 |
| | 2 | 6,495 | 16.98 | 1.58 | 1.12 | 10.61 | 6.94 |
| | 3 | 7,200 | 8.96 | 1.59 | 1.12 | 10.18 | 6.71 |
| | 4 | 7,540 | 3.98 | 1.63 | .98 | 10.01 | 6.55 |
| | 5 | 6,896 | 1.94 | 1.72 | 1.14 | 9.18 | 7.81 |
| 4CL | 1 | 22,433 | 31.55 | 1.94 | 1.30 | 6.77 | 4.64 |
| | 2 | 19,942 | 17.10 | 1.93 | 1.30 | 7.32 | 4.98 |
| | 3 | 18,629 | 9.33 | 1.73 | 1.14 | 7.50 | 4.91 |
| | 4 | 22,794 | 4.10 | 1.90 | 1.32 | 7.46 | 4.92 |
| | 5 | 15,224 | 1.58 | 1.49 | .72 | 4.72 | 2.90 |

Fuente: Elaboración propia
[1]El costo está dividido por la unidad de longitud (Costo/km)

La Figura 5.21y la Figura 5.22 muestran el valor de la media del costo de accidentes obtenido para cada grupo de estudio. El único grupo que presentó una relación evidente fueron las carreteras de dos carriles libre donde se establece que el costo de accidentes disminuye conforme las condiciones de la carretera se ven mejoradas; es decir, conforme el riesgo de la infraestructura disminuye. Es importante hacer mención que las carreteras de cuota nuevamente no reflejan ningún tipo de relación al demostrarse que el costo es independiente de la clasificación por estrellas obtenida, es decir, los accidentes siguen ocurriendo, y por lo tanto, sigue habiendo un número considerable de víctimas en los mismos. Por último, se observó que los segmentos de longitud homogénea de 1000 metros presentaron resultados menos precisos que los segmentos de iRAP; lo anterior

ayuda a comprender una mayor eficacia en análisis de segmentos de características homogéneas sobre aquellos con longitud homogénea.

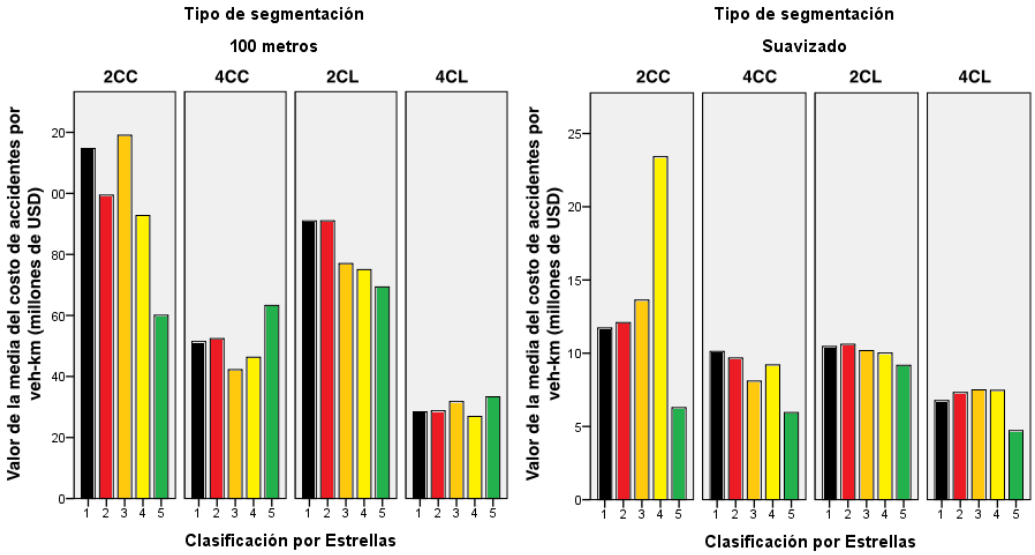


Figura 5.21 Distribución del valor de la media del costo de accidentes en millones de USD, por grupo (segmentos de iRAP con accidentes)

Fuente: Elaboración propia

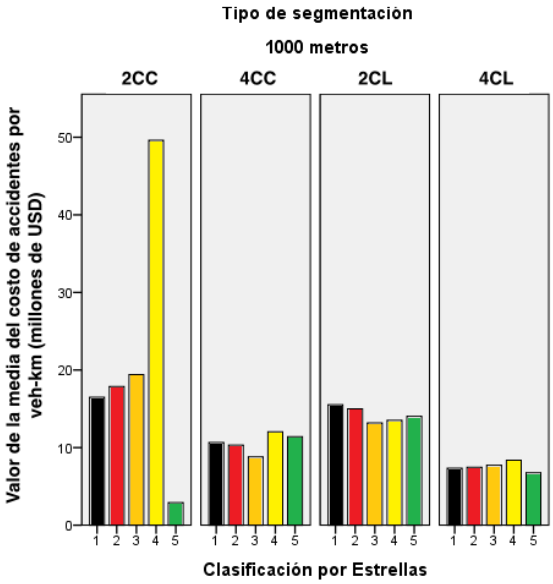


Figura 5.22 Distribución del valor de la media del costo de accidentes en millones de USD, por grupo (segmentos agrupados con accidentes)

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.4 Mapas de riesgo RAP

Mientras que la clasificación por estrellas mide la seguridad de la infraestructura vial, los mapas de riesgo miden e identifican la seguridad real en términos de accidentes, muertes y lesionados dentro de una red carretera, los cuales a su vez se relacionan con los flujos de tránsito de la misma. Tal como se hizo mención en el capítulo 2, EuroRAP (2013) también ha establecido un diseño de mapas de riesgo basado en la accidentalidad de una red carretera, con el objetivo de que el resultado pueda ser comparable en diferentes países.

El objetivo principal para el diseño de mapas de riesgo, yace en la definición de secciones, de manera que se busque que las condiciones sean similares entre éstas evitando variaciones indeseables que pudieran afectar un análisis estadístico. A partir de estos criterios y las recomendaciones hechas por EuroRAP, se tomaron los segmentos de 5000 m para la elaboración de los mapas de riesgo, considerando únicamente los segmentos homogéneos, así como segmentos con TDPA mayores a los 2,000 vehículos, a los cuales se les asignó un tránsito y un historial de accidentalidad. Básicamente, el procedimiento consiste de las siguientes fases:

- Definir la red carretera a evaluar.
- Definir los datos de operación y características de la vía.
- Definir la ubicación exacta de los accidentes.
- Definir bandas normalizadas a partir de la accidentalidad del país
- Definir índices de accidentalidad.
- Clasificar cada sección en la banda de riesgo correspondiente.

De igual manera, la medida de exposición al riesgo utilizada en los mapas de riesgo es el kilometraje generado, es decir, los vehículos-kilómetro, el cual se determina al multiplicar el tránsito vehicular (TDPA) por la longitud de la sección.

El primer paso para la aplicación de este protocolo fue definir las bandas normalizadas que aplicarán para la red carretera de este trabajo, es decir, la muestra de estudio. A partir de estos límites establecidos internacionalmente (véase Cuadro 2.3), se realiza un ajuste para establecer el rango de riesgo para cada país en específico; dicho rango se obtiene al multiplicar estas bandas estandarizadas por un factor escala el cual proviene de la relación entre el número de accidentes con víctimas (muertos y lesionados) y el número de accidentes con muertos en la red carretera analizada, tal como lo muestra la ecuación 18.

$$\text{Factor Escala} = \frac{\text{Accidentes con muertos y lesionados totales}}{\text{Accidentes con muertos totales}} \tag{18}$$

De acuerdo al Cuadro 4.5 y acotando los saldos a los segmentos con un TDPA mayor a 2,000 vehículos, se obtiene que durante el periodo de estudio se registraron 33,107 accidentes con víctimas en los segmentos de 5000 m. Dentro de estos accidentes, 8,757 tuvieron consecuencias fatales, por lo que el factor de escala obtenido para esta muestra es de 3.78, aplicando la ecuación previamente expuesta. De esta manera, se establecen los diferentes niveles de riesgo de acuerdo al sistema compuesto por cinco niveles de riesgo (bandas de riesgo) identificados con diferentes colores, tal como lo muestra el Cuadro 5.14 donde el color negro identifica a los segmentos de alto riesgo, mientras que el color verde aquellos de bajo riesgo.

Cuadro 5.14 Bandas de riesgo normalizadas para mapas de riesgo RAP

| Banda | Acc/veh-km | Acc/km |
|---|---|---|
| Bajo | 0.0 a < 9.07 | 0 a < 0.19 |
| Medio - Bajo | 9.07 a < 36.66 | 0.19 a < 0.42 |
| Medio | 36.66 a < 63.13 | 0.42 a < 0.60 |
| Medio – Alto | 63.13 a < 107.35 | 0.60 < 0.79 |
| Alto | > 107.35 | > 0.79 |

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se calculó tanto el índice de accidentalidad (accidentes por veh-km), como la densidad de accidentes anual (accidentes por km entre el número de años del periodo de estudio) para los segmentos de 5000 metros. Cabe hacer mención que el índice de accidentalidad es calculado por cada billón de vehículo-kilómetro dado que así fueron establecidos los límites estandarizados por EuroRAP. Una vez calculados los índices correspondientes, el Cuadro 5.15 muestra la matriz con el número de segmentos asignados a cada banda de riesgo, así como a cada estrella de tal forma que de los 1,094 segmentos clasificados con una estrella, el 43.1% se encuentra en la banda de riesgo alto y dentro de esta banda representa el 22.6%; dentro de este primer análisis no se hizo la distinción por el grupo de estudio.

Cuadro 5.15 Comparación entre clasificación por estrellas y el mapa de riesgo del índice de accidentalidad (número de segmentos)

| Clasificación por estrellas | Concepto | Bandas de riesgo para el índice de accidentalidad (acc/bveh-km) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Alto | Medio Alto | Medio | Medio Bajo | Bajo | Total |
| 1 | N° de seg | 471 | 270 | 150 | 89 | 114 | 1,094 |
| | % por estrella | 43.1% | 24.7% | 13.7% | 8.1% | 10.4% | 100.0% |
| | % por banda | 22.6% | 23.0% | 20.2% | 19.1% | 30.2% | 22.6% |
| 2 | N° de seg | 924 | 481 | 304 | 188 | 139 | 2,036 |
| | % por estrella | 45.4% | 23.6% | 14.9% | 9.2% | 6.8% | 100.0% |
| | % por banda | 44.3% | 41.0% | 41.0% | 40.3% | 36.9% | 42.1% |
| 3 | N° de seg | 615 | 393 | 256 | 173 | 101 | 1,538 |
| | % por estrella | 40.0% | 25.6% | 16.6% | 11.2% | 6.6% | 100.0% |
| | % por banda | 29.5% | 33.5% | 34.5% | 37.0% | 26.8% | 31.8% |
| 4 | N° de seg | 68 | 24 | 29 | 15 | 17 | 153 |
| | % por estrella | 44.4% | 15.7% | 19.0% | 9.8% | 11.1% | 100.0% |
| | % por banda | 3.3% | 2.0% | 3.9% | 3.2% | 4.5% | 3.2% |
| 5 | N° de seg | 6 | 4 | 2 | 2 | 6 | 20 |
| | % por estrella | 30.0% | 20.0% | 10.0% | 10.0% | 30.0% | 100.0% |
| | % por banda | 0.3% | 0.3% | 0.3% | 0.4% | 1.6% | 0.4% |
| Total | Suma | 2,084 | 1,172 | 741 | 467 | 377 | 4,841 |
| | % por estrella | 43.0% | 24.2% | 15.3% | 9.6% | 7.8% | 100.0% |
| | % por banda | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |

Fuente: Elaboración propia

A su vez, el Cuadro 5.16 muestra la matriz con el número de segmentos asignados a cada banda de riesgo, así como a cada estrella, para la densidad de accidentes anual calculada y sin distinción del grupo de estudio.

Cuadro 5.16 Comparación entre clasificación por estrellas y el mapa de riesgo de la densidad de accidentes anual (número de segmentos)

| Clasificación por estrellas | Concepto | Bandas de riesgo para la densidad de accidentes (acc/km) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Alto | Medio Alto | Medio | Medio Bajo | Bajo | Total |
| 1 | Suma | 90 | 47 | 122 | 354 | 481 | 1,094 |
| | % por estrella | 8.2% | 4.3% | 11.2% | 32.4% | 44.0% | 100.0% |
| | % por banda | 18.7% | 21.3% | 21.8% | 21.8% | 24.6% | 24.5% |
| 2 | Suma | 233 | 97 | 230 | 699 | 777 | 2,036 |
| | % por estrella | 11.4% | 4.8% | 11.3% | 34.3% | 38.2% | 100.0% |
| | % por banda | 48.3% | 43.9% | 41.1% | 43.1% | 39.7% | 42.1% |
| 3 | Suma | 142 | 68 | 184 | 531 | 613 | 1,538 |
| | % por estrella | 9.2% | 4.4% | 12.0% | 34.5% | 39.9% | 100.0% |
| | % por banda | 29.5% | 30.8% | 32.9% | 32.7% | 31.3% | 31.8% |
| 4 | Suma | 16 | 7 | 23 | 34 | 73 | 153 |
| | % por estrella | 10.5% | 4.6% | 15.0% | 22.2% | 47.7% | 100.% |
| | % por banda | 3.3% | 3.2% | 4.1% | 2.1% | 3.7% | 3.2% |
| 5 | Suma | 1 | 2 | 0 | 4 | 13 | 20 |
| | % por estrella | 5.0% | 10.0% | 0.0% | 20.0% | 65.0% | 100.0% |
| | % por banda | 0.2% | 0.9% | 0.0% | 0.2% | 0.7% | 0.4% |
| Total | Suma | 482 | 221 | 559 | 1,622 | 1,957 | 4,841 |
| | % por estrella | 10.0% | 4.6% | 11.5% | 33.5% | 40.4% | 100.0% |
| | % por banda | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |

Fuente: Elaboración propia

La Figura 5.23 muestra los resultados obtenidos a partir del porcentaje obtenido por cada estrella; se observó que los segmentos de cinco estrellas presentaron una mayor proporción de segmentos catalogados en la banda de bajo riesgo, lo cual puede indicar que a mayor número de estrellas, le corresponde un menor riesgo en cuanto a la accidentalidad medida a través de estos dos mapas de riesgo; situación similar ocurre con la banda de alta riesgo donde se destacan porcentajes menores en segmentos de cinco estrellas que en estrellas inferiores. Es importante destacar que las diferencias principales ocurrieron para las bandas en los extremos (de alto y bajo riesgo), obteniendo valores similares en las bandas intermedias, sin embargo, se puede observar la misma tendencia previamente descrita. De igual manera, se nota que aquí se incluyen todos los grupos de estudio dado que los segmentos de 5000 m cuentan con un menor número de elementos lo cual puede influenciar en los análisis particulares.

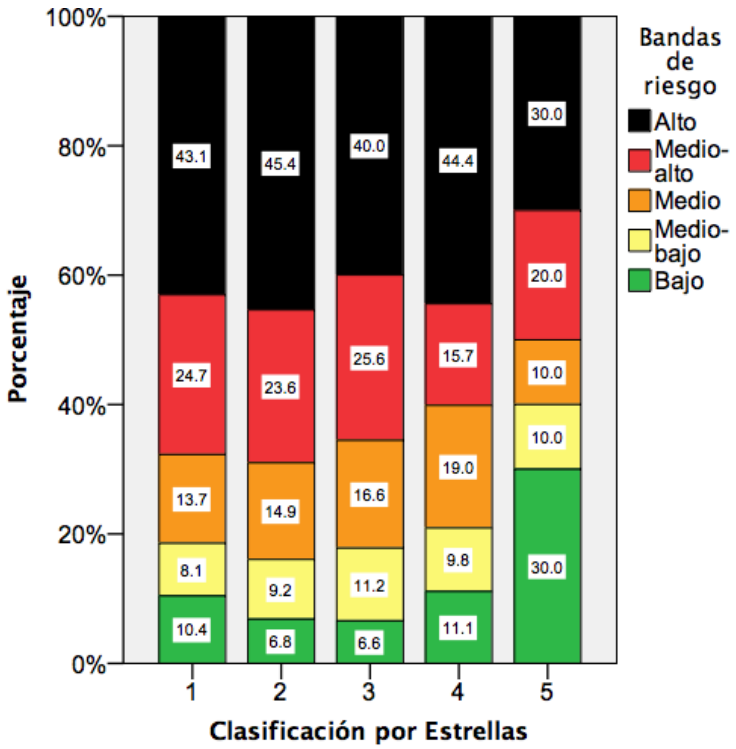


Figura 5.23 Bandas de riesgo, por C.E.

Fuente: Elaboración propia

No obstante, considerando que el grupo de carreteras de dos carriles libre representa el grupo con mayor número de segmentos, así como el grupo sobre el cual se han basado todos los análisis de este trabajo, la Figura 5.24 muestra los resultados obtenidos para este tipo de carreteras, donde se aprecia nuevamente una mayor proporción de segmentos de bajo riesgo en los segmentos de cinco estrellas, así como una mayor proporción de segmentos de alto riesgo en los segmentos de estrellas inferiores. Al igual que la figura anterior, las bandas intermedias obtienen valores similares en las bandas, sin embargo, se puede observar la misma tendencia previamente descrita. De igual manera, se nota que los otros grupos establecidos en la metodología no presentaron resultados precisos dado que el número de segmentos era muy pequeño, específicamente para las carreteras de cuota; no obstante, las carreteras de cuatro carriles libre presentaron resultados más similares a los presentados en la siguiente figura.

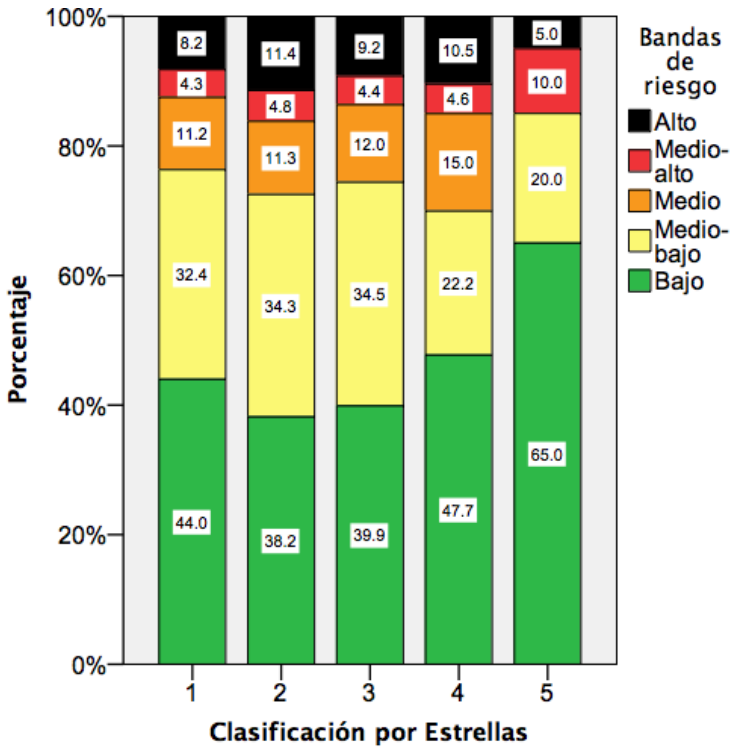


Figura 5.24 Bandas de riesgo para el grupo 2CL, por C.E.

Fuente: Elaboración propia

Este análisis comparativo entre los segmentos sugiere que existe un indicio de una relación entre la infraestructura y la accidentalidad real de los tramos, aunque no es del todo precisa y evidente. De lo anterior, es necesario contar con mayor información a un nivel de agrupación mayor en longitud, de manera que brinde una relación estadísticamente confiable y por lo tanto obtener alguna evidencia de correlación más clara entre los mapas de riesgo y la clasificación por estrellas del método iRAP. Ante esta situación, el Cuadro 5.17 muestra el porcentaje del número total de segmentos analizados, de lo cual se destaca un porcentaje mayor en una, dos y tres estrellas tal como se expresó en los resultados originales de iRAP; sin embargo, es importante destacar que estos segmentos se ubicaron en su mayoría en bandas de medio-alto y alto riesgo; por otro lado, los segmentos con cuatro estrellas tuvo un número significativo en

bandas de alto riesgo lo cual pudiera dar indicios de la teoría de homeostasis del riesgo. Ante estos resultados, se tienen cuatro panoramas básicos, los cuales se describen a continuación:

1. Nivel de Alto Riesgo – Nivel Bajo de Estrellas. En esta relación se esperaría que las condiciones de la infraestructura sean muy ineficientes y que están ocasionando una ocurrencia alta de accidentes, por lo que deberán ser aplicados programas de mejoramiento de la infraestructura.
2. Nivel de Riesgo Bajo – Nivel Alto de Estrellas. Esto, sin duda, es el panorama que valida la aplicación del método iRAP para evaluar la seguridad vial dado que se espera que aquellas carreteras con las mejores condiciones de infraestructura vial registren el número más bajo de accidentes, validando los programas de mejoramiento de la infraestructura.
3. Nivel de Bajo Riesgo – Nivel Bajo de Estrellas. Por otro lado, a pesar de que las condiciones de la vía sean pobres, esto pudiera no verse reflejado en la accidentalidad, lo cual indicaría una cierta conciencia del usuario al mejorar su comportamiento al transitar por vías en muy malas condiciones y donde el usuario consideraría que su vida corre gran riesgo (teoría de homeostasis del riesgo).
4. Nivel de Riesgo Alto – Nivel Alto de Estrellas. En estos casos, es muy probable que la infraestructura no sea el causante principal de los accidentes, por lo que se deberán enfocar los análisis tanto en el factor humano como en el vehículo.

Dentro de los segmentos analizados en este trabajo, se observó una relación del tipo 1 principalmente, aunque se establece una tendencia del tipo 3 al concentrarse más accidentes en carreteras con dos y tres estrellas que en aquellas clasificadas como las más ineficientes con una estrella.

Cuadro 5.17 Distribución porcentual de bandas de riesgo, por C.E.

| C.E. | Índice de accidentalidad | | | | | Densidad de accidentes | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Alto | Medio Alto | Medio | Medio Bajo | Bajo | Alto | Medio Alto | Medio | Medio Bajo | Bajo |
| **1** | 10.4% | 5.7% | 3.5% | 2.0% | 3.3% | 25.0% | 0.5% | 0.6% | 2.3% | 8.1% |
| **2** | 17.7% | 8.4% | 5.5% | 3.3% | 4.0% | 39.0% | 2.1% | 1.3% | 3.1% | 13.1% |
| **3** | 12.7% | 7.5% | 4.7% | 3.3% | 2.9% | 31.0% | 1.4% | 0.8% | 3.2% | 10.4% |
| **4** | 2.1% | 0.7% | 0.7% | 0.4% | 0.6% | 4.5% | 0.3% | 0.3% | 0.6% | 1.1% |
| **5** | 0.2% | 0.1% | 0.1% | 0.0% | 0.2% | 0.6% | 0.0% | 0.1% | 0.0% | 0.1% |

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se crearon los mapas de riesgo correspondientes a cada indicador, los cuales se pueden apreciar en la Figura 5.25 y Figura 5.26 donde se observa un concentración de accidentes en la zona centro del país, no obstante que esta zona también registra los mayores niveles de tránsito. Por último, la Figura 5.27 muestra la clasificación por estrellas en segmentos de 5000 m.

Figura 5.25 Mapa de riesgo del índice de accidentalidad

Fuente: Elaboración propia

Figura 5.26 Mapa de riesgo de la densidad de accidentes

Fuente: Elaboración propia

Figura 5.27 Mapa de la clasificación por estrellas (segmentos de 5000 m)

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.5 Tránsito Diario Promedio Anual

Como se mencionó anteriormente, el tránsito diario promedio anual (TDPA) influye en la determinación del puntaje de protección de la vía, siendo los indicadores que consideran los vehículo-kilómetro recorridos aquellos que presentan una relación más clara con la clasificación por estrellas. Dado lo anterior, en esta sección se describirán los análisis realizados considerando diferentes niveles de tránsito. El Cuadro 5.18 muestra los anchos de clase para cada grupo de estudio, así como los valores de tránsito máximos y mínimos considerados; dichos valores fueron establecidos a partir de un estudio donde se evalúa la relación del TDPA con los accidentes, observando que el número de accidentes se incrementa conforme el número de vehículos aumenta hasta un determinado punto y posterior a ello el número de accidentes comienza a disminuir debido a los niveles de servicio alcanzados (Mayoral, Cuevas, & Gómez, 2012).

Cuadro 5.18 Clases de TDPA, por grupo

| Grupo | 1 estrella | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **N° de segmentos dentro del rango** | **Máximo** | **Mínimo** | **Rango** | **N° de clases** | **N° segmentos por clase** |
| 2CC | 5,007 | 12,000 | 2,000 | 10,000 | 14 | 358 |
| 4CC | 8,025 | 60,000 | 2,000 | 58,000 | 14 | 573 |
| 2CL | 34,323 | 25,000 | 2,000 | 23,000 | 17 | 2,019 |
| 4CL | 12,472 | 60,000 | 2,000 | 58,000 | 17 | 734 |
| | **2 estrellas** | | | | | |
| 2CC | 5,923 | 18,000 | 2,000 | 16,000 | 14 | 423 |
| 4CC | 17,365 | 60,000 | 2,000 | 58,000 | 17 | 1,021 |
| 2CL | 47,362 | 25,000 | 2,000 | 23,000 | 17 | 2,786 |
| 4CL | 19,107 | 60,000 | 2,000 | 58,000 | 17 | 1124 |
| | **3 estrellas** | | | | | |
| 2CC | 4,437 | 18,000 | 2,000 | 16,000 | 14 | 317 |
| 4CC | 17,902 | 60,000 | 2,000 | 58,000 | 17 | 1,053 |
| 2CL | 56,818 | 25,000 | 2,000 | 23,000 | 17 | 3,342 |
| 4CL | 21,057 | 60,000 | 2,000 | 58,000 | 17 | 1,239 |
| | **4 estrellas** | | | | | |
| 2CC | 278 | 18,000 | 2,000 | 16,000 | 10 | 28 |
| 4CC | 3,180 | 60,000 | 2,000 | 58,000 | 14 | 227 |
| 2CL | 13,962 | 25,000 | 2,000 | 23,000 | 17 | 821 |
| 4CL | 2,889 | 60,000 | 2,000 | 58,000 | 14 | 206 |

| | 5 estrellas | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2CC | 73 | 10,000 | 2,000 | 8,000 | 7 | 10 |
| 4CC | 855 | 40,000 | 2,000 | 38,000 | 10 | 86 |
| 2CL | 4,094 | 25,000 | 2,000 | 23,000 | 14 | 292 |
| 4CL | 660 | 60,000 | 2,000 | 58,000 | 10 | 66 |

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se buscó en la medida posible que en cada clase se contabilizara el mismo número de segmentos aproximadamente con el objetivo de que la información estuviera menos dispersa. De esta manera, el Cuadro 5.19 muestra los indicadores de accidentalidad obtenidos en cada una de las clases de TDPA para las carreteras de dos carriles libres, estableciendo en todos los casos el valor de la media; cabe destacar que en este análisis se consideraron nuevamente todos los segmentos, es decir, tanto los que reportaron accidentes como aquellos que no lo hicieron.

Cuadro 5.19 Indicadores de accidentalidad para el grupo 2CL, por clases de TDPA

| Clase | 1 estrella | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Límite Inferior** | **Límite superior** | **N° de segmentos** | **TDPA (media)** | **Accidentes con víctimas (media)** | **EPDO (media)** | **Costo de accidentes (media)** |
| 1 | 2000 | 2300 | 2028 | 2104 | 0.042 | 0.267 | 0.020 |
| 2 | 2300 | 2400 | 1911 | 2362 | 0.046 | 0.293 | 0.027 |
| 3 | 2400 | 2750 | 2186 | 2546 | 0.036 | 0.221 | 0.019 |
| 4 | 2750 | 3100 | 2054 | 2917 | 0.041 | 0.281 | 0.032 |
| 5 | 3100 | 3350 | 1852 | 3221 | 0.060 | 0.370 | 0.033 |
| 6 | 3350 | 3650 | 2164 | 3441 | 0.051 | 0.309 | 0.030 |
| 7 | 3650 | 3950 | 1981 | 3776 | 0.090 | 0.514 | 0.039 |
| 8 | 3950 | 4250 | 1888 | 4138 | 0.062 | 0.385 | 0.028 |
| 9 | 4250 | 4700 | 2185 | 4448 | 0.079 | 0.461 | 0.041 |
| 10 | 4700 | 5300 | 2147 | 4993 | 0.070 | 0.430 | 0.041 |
| 11 | 5300 | 5800 | 1932 | 5510 | 0.093 | 0.516 | 0.050 |
| 12 | 5800 | 6500 | 2150 | 6102 | 0.109 | 0.660 | 0.059 |
| 13 | 6500 | 7150 | 2110 | 6834 | 0.111 | 0.668 | 0.069 |
| 14 | 7150 | 8000 | 1906 | 7525 | 0.128 | 0.797 | 0.065 |
| 15 | 8000 | 9400 | 2050 | 8894 | 0.171 | 0.977 | 0.092 |
| 16 | 9400 | 12400 | 2011 | 10994 | 0.199 | 1.085 | 0.098 |
| 17 | 12400 | 25000 | 1768 | 16387 | 0.283 | 1.651 | 0.146 |

| Clase | Límite Inferior | Límite superior | N° de segmentos | TDPA (media) | Accidentes con víctimas (media) | EPDO (media) | Costo de accidentes (media) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **2 estrellas** | | | | | | |
| 1 | 2000 | 2350 | 2970 | 2171 | 0.029 | 0.208 | 0.021 |
| 2 | 2350 | 2700 | 2353 | 2499 | 0.039 | 0.259 | 0.024 |
| 3 | 2700 | 3000 | 2669 | 2832 | 0.054 | 0.359 | 0.033 |
| 4 | 3000 | 3150 | 2959 | 3051 | 0.032 | 0.230 | 0.021 |
| 5 | 3150 | 3400 | 2575 | 3299 | 0.052 | 0.321 | 0.029 |
| 6 | 3400 | 3750 | 2738 | 3528 | 0.067 | 0.425 | 0.040 |
| 7 | 3750 | 4000 | 2888 | 3863 | 0.083 | 0.475 | 0.043 |
| 8 | 4000 | 4400 | 2891 | 4210 | 0.071 | 0.435 | 0.038 |
| 9 | 4400 | 4800 | 2803 | 4617 | 0.075 | 0.442 | 0.040 |
| 10 | 4800 | 5300 | 2836 | 4998 | 0.068 | 0.434 | 0.042 |
| 11 | 5300 | 6000 | 2929 | 5592 | 0.084 | 0.495 | 0.045 |
| 12 | 6000 | 6510 | 2820 | 6251 | 0.118 | 0.676 | 0.064 |
| 13 | 6510 | 7300 | 2833 | 6897 | 0.130 | 0.766 | 0.068 |
| 14 | 7300 | 8600 | 2832 | 7938 | 0.144 | 0.804 | 0.071 |
| 15 | 8600 | 9900 | 2873 | 9267 | 0.160 | 0.912 | 0.084 |
| 16 | 9900 | 12000 | 2748 | 10957 | 0.188 | 1.127 | 0.092 |
| 17 | 12000 | 25000 | 2645 | 16083 | 0.240 | 1.353 | 0.125 |
| | **3 estrellas** | | | | | | |
| 1 | 2000 | 2300 | 3097 | 2125 | 0.031 | 0.203 | 0.016 |
| 2 | 2300 | 2650 | 3179 | 2439 | 0.042 | 0.271 | 0.023 |
| 3 | 2650 | 3050 | 3503 | 2820 | 0.047 | 0.295 | 0.025 |
| 4 | 3050 | 3450 | 3566 | 3289 | 0.054 | 0.340 | 0.031 |
| 5 | 3450 | 3900 | 3459 | 3711 | 0.069 | 0.459 | 0.043 |
| 6 | 3900 | 4200 | 3380 | 4018 | 0.062 | 0.396 | 0.037 |
| 7 | 4200 | 4500 | 3278 | 4321 | 0.068 | 0.437 | 0.035 |
| 8 | 4500 | 4850 | 3456 | 4683 | 0.060 | 0.359 | 0.031 |
| 9 | 4850 | 5500 | 3182 | 5225 | 0.087 | 0.518 | 0.049 |
| 10 | 5500 | 6150 | 3464 | 5861 | 0.102 | 0.584 | 0.062 |
| 11 | 6150 | 6800 | 3207 | 6472 | 0.123 | 0.673 | 0.065 |
| 12 | 6800 | 7310 | 3084 | 7055 | 0.127 | 0.773 | 0.071 |
| 13 | 7310 | 7950 | 3080 | 7616 | 0.169 | 0.918 | 0.087 |
| 14 | 7950 | 9050 | 3435 | 8433 | 0.146 | 0.838 | 0.086 |
| 15 | 9050 | 10600 | 3251 | 9659 | 0.158 | 0.951 | 0.087 |
| 16 | 10600 | 13942 | 3836 | 11663 | 0.199 | 1.127 | 0.101 |
| 17 | 13942 | 25000 | 3361 | 17208 | 0.250 | 1.398 | 0.123 |
| | **4 estrellas** | | | | | | |
| 1 | 2000 | 2300 | 853 | 2164 | 0.022 | 0.167 | 0.017 |
| 2 | 2300 | 2650 | 836 | 2467 | 0.035 | 0.214 | 0.016 |
| 3 | 2650 | 2900 | 803 | 2792 | 0.064 | 0.346 | 0.027 |
| 4 | 2900 | 3200 | 873 | 3033 | 0.047 | 0.296 | 0.025 |
| 5 | 3200 | 3550 | 735 | 3397 | 0.041 | 0.257 | 0.023 |
| 6 | 3550 | 3850 | 858 | 3681 | 0.063 | 0.361 | 0.038 |
| 7 | 3850 | 4000 | 865 | 3929 | 0.045 | 0.307 | 0.031 |
| 8 | 4000 | 4550 | 815 | 4288 | 0.081 | 0.486 | 0.056 |
| 9 | 4550 | 5050 | 844 | 4716 | 0.050 | 0.320 | 0.027 |
| 10 | 5050 | 6100 | 787 | 5503 | 0.102 | 0.583 | 0.044 |
| 11 | 6100 | 6600 | 797 | 6250 | 0.093 | 0.545 | 0.044 |
| 12 | 6600 | 7400 | 832 | 6889 | 0.121 | 0.766 | 0.063 |

| Clase | Límite Inferior | Límite superior | N° de segmentos | TDPA (media) | Accidentes con víctimas (media) | EPDO (media) | Costo de accidentes (media) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 13 | 7400 | 8400 | 857 | 7953 | 0.196 | 1.023 | 0.090 |
| 14 | 8400 | 9700 | 755 | 8927 | 0.138 | 0.715 | 0.059 |
| 15 | 9700 | 10650 | 870 | 10174 | 0.139 | 0.833 | 0.075 |
| 16 | 10650 | 15000 | 782 | 11934 | 0.288 | 1.508 | 0.113 |
| 17 | 15000 | 25000 | 800 | 17971 | 0.241 | 1.262 | 0.111 |
| | | | | **5 estrellas** | | | |
| 1 | 2000 | 2210 | 287 | 2180 | 0.042 | 0.265 | 0.014 |
| 2 | 2210 | 2400 | 236 | 2261 | 0.013 | 0.066 | 0.005 |
| 3 | 2400 | 2900 | 350 | 2707 | 0.043 | 0.236 | 0.022 |
| 4 | 2900 | 3200 | 235 | 3017 | 0.055 | 0.394 | 0.031 |
| 5 | 3200 | 3600 | 225 | 3533 | 0.053 | 0.444 | 0.072 |
| 6 | 3600 | 3750 | 329 | 3657 | 0.049 | 0.228 | 0.021 |
| 7 | 3750 | 4400 | 288 | 4092 | 0.049 | 0.295 | 0.017 |
| 8 | 4400 | 5500 | 291 | 5004 | 0.069 | 0.426 | 0.037 |
| 9 | 5500 | 6350 | 246 | 6100 | 0.085 | 0.514 | 0.040 |
| 10 | 6350 | 6600 | 270 | 6388 | 0.148 | 0.811 | 0.075 |
| 11 | 6600 | 7500 | 319 | 7025 | 0.182 | 0.997 | 0.087 |
| 12 | 7500 | 9500 | 300 | 8225 | 0.130 | 0.782 | 0.065 |
| 13 | 9500 | 11300 | 345 | 10178 | 0.194 | 1.187 | 0.116 |
| 14 | 11300 | 25000 | 373 | 13632 | 0.212 | 1.218 | 0.106 |

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos anteriores, la Figura 5.28 muestra los accidentes con víctimas en promedio conforme a los distintos niveles de tránsito; de lo anterior se observa que los accidentes aumentan conforme el número de vehículos aumenta. A su vez, se destaca que la clasificación por estrellas se relaciona hasta niveles de tránsito de hasta 4,000 vehículos dado que el número de accidentes por víctimas es mayor en carreteras con una estrella, así como menor en carreteras con cuatro y cinco estrellas (gráfico inferior); no obstante, esta relación únicamente se cumple en niveles bajos de tránsito, mientras que en carreteras con niveles de tránsito por encima de los 4,000 vehículos, la condición de la infraestructura en cuanto a su clasificación por estrellas resulta independiente.

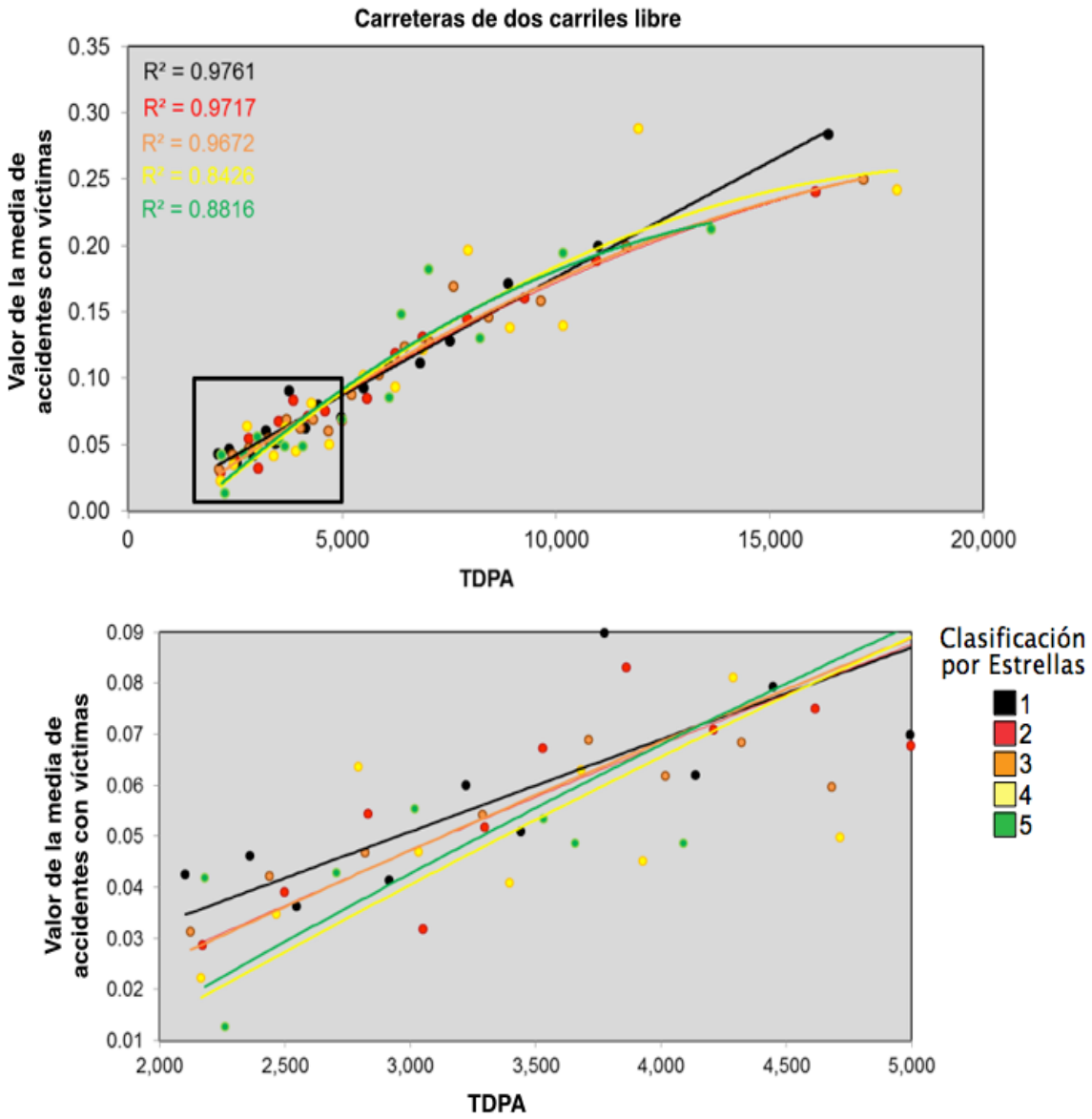


Figura 5.28 Valor de la media de accidentes con víctimas para el grupo 2CL, por clases de TDPA

Fuente: Elaboración propia

De igual manera, la Figura 5.29 muestra el EPDO promedio obtenido para los distintos niveles de tránsito donde se observa nuevamente una relación de este indicador con la clasificación por estrellas en niveles bajos de tránsito, de

manera que el comportamiento es similar al indicador anterior. No obstante, es importante señalar que las líneas de tendencia polinómicas de segundo orden tuvieron un ajuste adecuado para estos análisis, obteniendo valores de $R^2$ cercanos a 1.

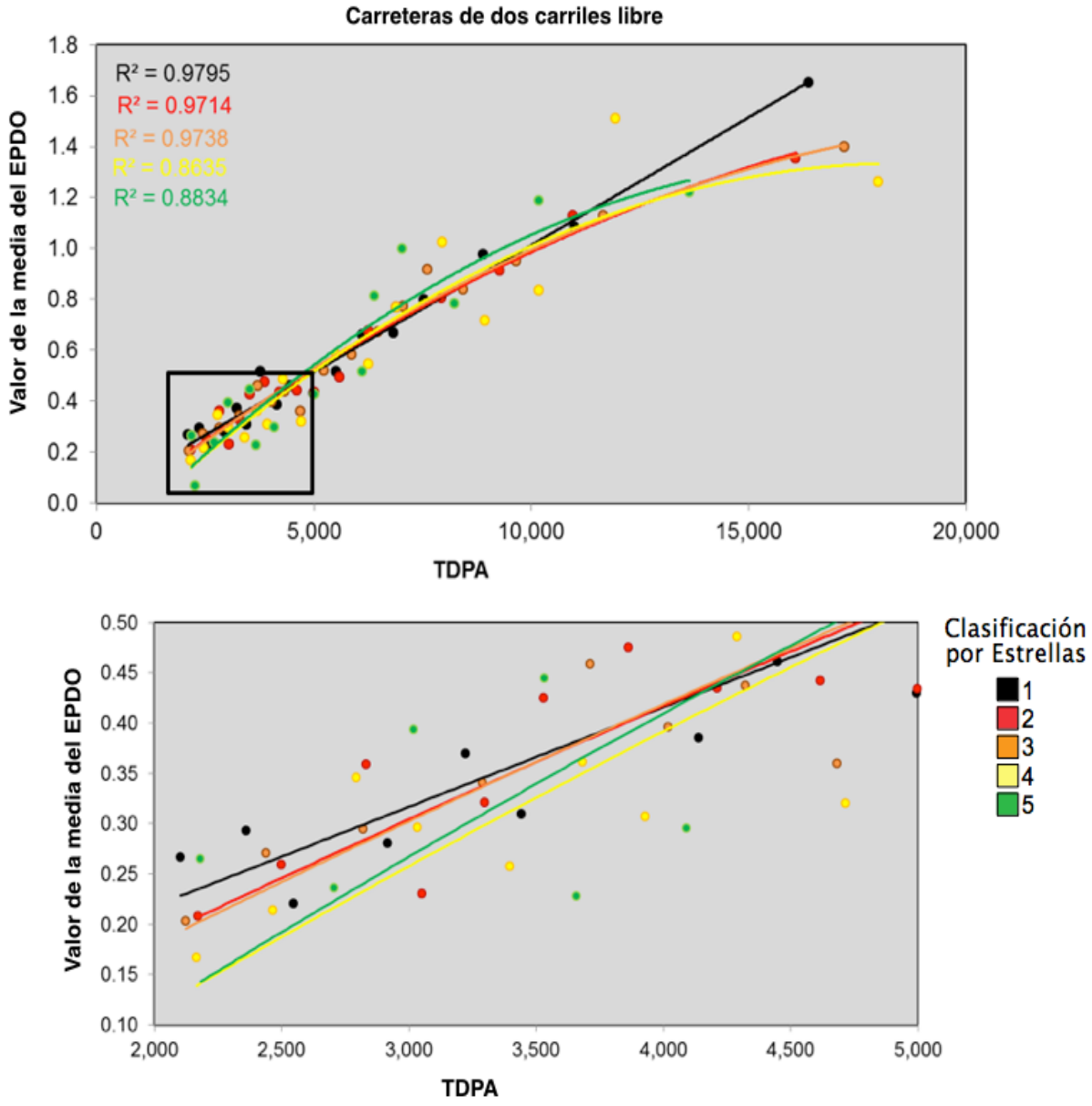


Figura 5.29 Valor de la media del EPDO para el grupo 2CL, por clases de TDPA

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la Figura 5.30 muestra el costo de accidentes para los distintos niveles de tránsito en carreteras de dos carriles libre donde se destaca la misma tendencia que los indicadores anteriores.

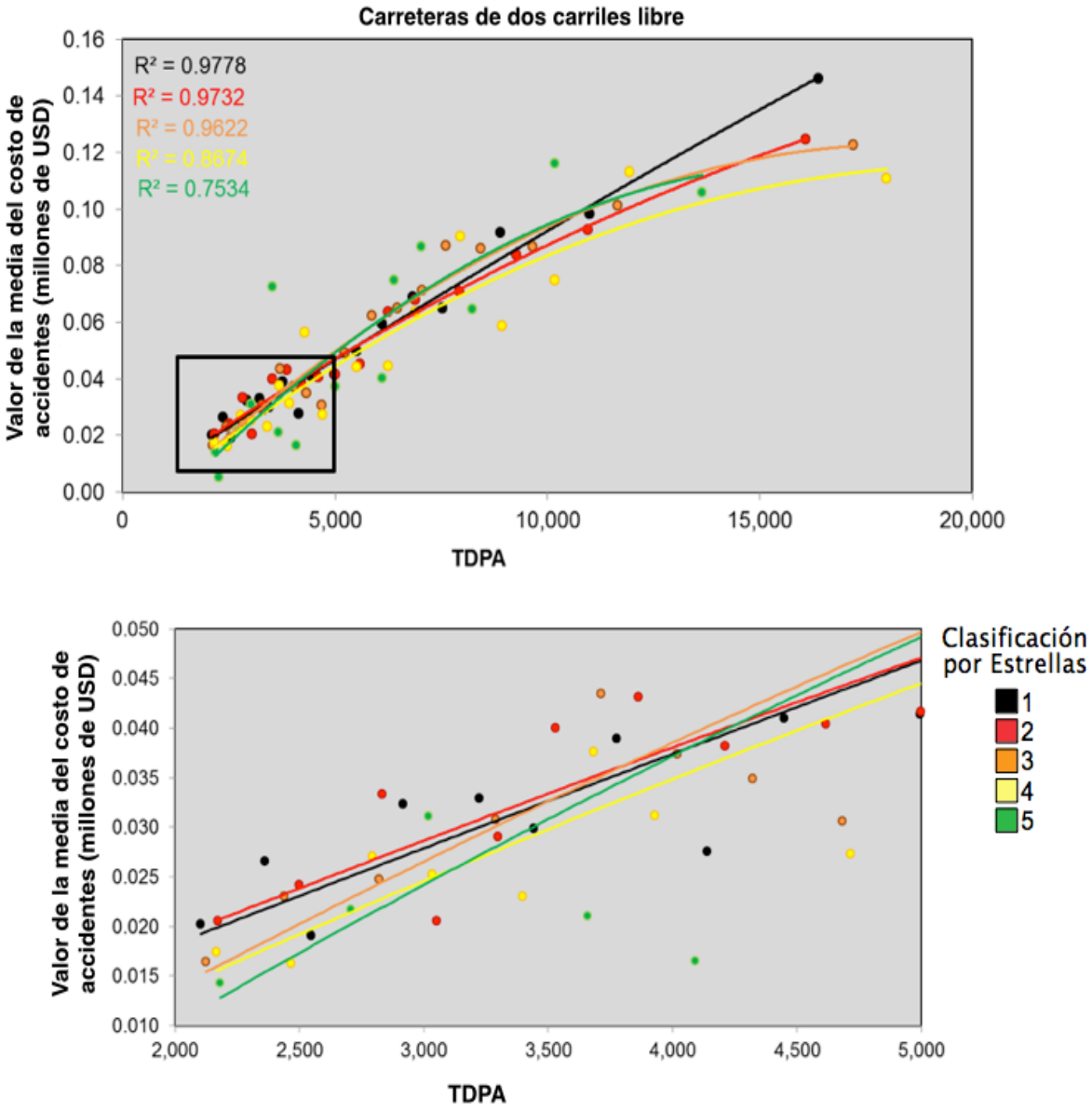


Figura 5.30 Valor de la media del costo de accidentes en millones de USD para el grupo 2CL, por clases de TDPA

Fuente: Elaboración propia

Nuevamente, las carreteras de dos carriles libre presentaron los mejores resultados en cuanto a la búsqueda de alguna relación de la clasificación por estrellas con el tránsito. Referente a los otros grupos de estudios, se observó que el número de datos en carreteras de dos carriles cuota eran insuficientes para realizar un ajuste estadísticamente confiable por lo que se excluyeron de este análisis. Para el caso de carreteras de cuatro carriles cuota se observó una congruencia de los indicadores de accidentalidad con la clasificación por estrellas hasta un rango de 8,000 a 10,000 vehículos aproximadamente, no obstante que el número de segmentos con cinco estrellas fue muy reducido lo cual se vio reflejado en el ajuste para generar una línea de tendencia confiable ($R^2$=0.5). Por último, las carreteras de cuatro carriles libre presentaron ajustes menos aceptables para segmentos de cuatro y cinco estrellas ($R^2$<0.5), no obstante los indicadores de accidentalidad resultaron mayores en segmentos de tres estrellas para niveles de tránsito por debajo de los 8,000 vehículos, mientras que en un rango de 8,000 a 25,000 vehículos se observó que los indicadores de accidentalidad aumentan conforme el número de estrellas es menor (considerando exclusivamente segmentos de hasta tres estrellas). De lo anterior se puede establecer que se encontraron algunos indicios de la influencia del TDPA en la clasificación por estrellas, no obstante los hallazgos encontrados no fueron lo suficientemente consistentes para afirmar que la relación existe mientras que la relación del TDPA con los indicadores de accidentalidad sí fue estadísticamente confiable.

Por último, se realizó un análisis considerando la influencia del tránsito pesado (vehículos de carga) en la accidentalidad; para este análisis se consideraron exclusivamente los segmentos donde se registraron accidentes de tránsito donde al menos hubo un vehículo pesado involucrado, obteniendo un total de 3,869 segmentos tal como lo muestra el Cuadro 5.20. Posteriormente, el Cuadro 5.21 muestra los accidentes con víctimas promedio dependiendo el nivel de tránsito y conforme la clasificación por estrellas cambia. De este cuadro se destaca que el número de accidentes con vehículos pesados aumenta conforme la

clasificación por estrellas disminuye, únicamente cuando el porcentaje de vehículos pesados es superior al 15% del TDPA. Para los otros casos, no se observó ninguna tendencia en cuanto al porcentaje de vehículos pesados y la clasificación por estrellas, considerándola como una variable totalmente independiente y que no se encuentra vinculada a la clasificación obtenida en los segmentos analizados, situación que se encuentra reflejada desde la ecuación para el cálculo del puntaje de protección de la vía.

Cuadro 5.20 Número de segmentos con accidentes con vehículos pesados (de carga), por clases de TDPA

| **Clases** | **Porcentaje de vehículos pesados respecto al TDPA** | | | |
|---|---|---|---|---|
| **TDPA** | **<10%** | **10-15%** | **>15%** | **Total** |
| 0 a <5,000 | 35 | 202 | 496 | 733 |
| 5,000 a <10,000 | 57 | 170 | 999 | 1226 |
| >=10,000 | 50 | 170 | 1690 | 1910 |
| Total | 142 | 542 | 3185 | 3869 |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 5.21 Accidentes promedio (con vehículos pesados), por C.E. y por clases de TDPA

| **Accidentes promedio** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **<10% de vehículos pesados** | | | | | | |
| **TDPA** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **Promedio** |
| 0 a <5,000 | 0.0020 | 0.0019 | 0.0015 | 0.0031 | 0.0045 | 0.0131 |
| 5,000 a <10,000 | 0.0077 | 0.0061 | 0.0080 | 0.0000 | 0.0038 | 0.0257 |
| >=10,000 | 0.0068 | 0.0079 | 0.0070 | 0.0077 | 0.0000 | 0.0295 |
| Promedio | 0.0055 | 0.0053 | 0.0055 | 0.0036 | 0.0028 | |
| **10 a 15% de vehículos pesados** | | | | | | |
| **TDPA** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **Promedio** |
| 0 a <5,000 | 0.0052 | 0.0033 | 0.0036 | 0.0025 | 0.0000 | 0.0145 |
| 5,000 a <10,000 | 0.0086 | 0.0084 | 0.0052 | 0.0040 | 0.0071 | 0.0333 |
| >=10,000 | 0.0117 | 0.0126 | 0.0136 | 0.0171 | 0.0189 | 0.0738 |
| Promedio | 0.0085 | 0.0081 | 0.0075 | 0.0078 | 0.0086 | |
| **>=15% de vehículos pesados** | | | | | | |
| **TDPA** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **Promedio** |
| 0 a <5,000 | 0.0117 | 0.0081 | 0.0081 | 0.0071 | 0.0080 | 0.0429 |
| 5,000 a <10,000 | 0.0186 | 0.0162 | 0.0186 | 0.0142 | 0.0227 | 0.0903 |
| >=10,000 | 0.0464 | 0.0368 | 0.0313 | 0.0308 | 0.0184 | 0.1637 |
| Promedio | 0.0256 | 0.0204 | 0.0193 | 0.0174 | 0.0164 | |

Fuente: Elaboración propia

La Figura 5.31 muestra el último caso del cuadro anterior donde el porcentaje de vehículos pesados es mayor al 15% del TDPA; de aquí se destaca una tendencia en la disminución de los accidentes conforme la infraestructura es más segura de acuerdo a la estrellas de iRAP, salvo para los segmentos entre los 5,000 y 10,000 vehículos; cabe reiterar que los demás casos no presentaron la misma tendencia por lo que no se puede considerar como una variable que se encuentre relacionada directamente al nivel de estrellas obtenidas.

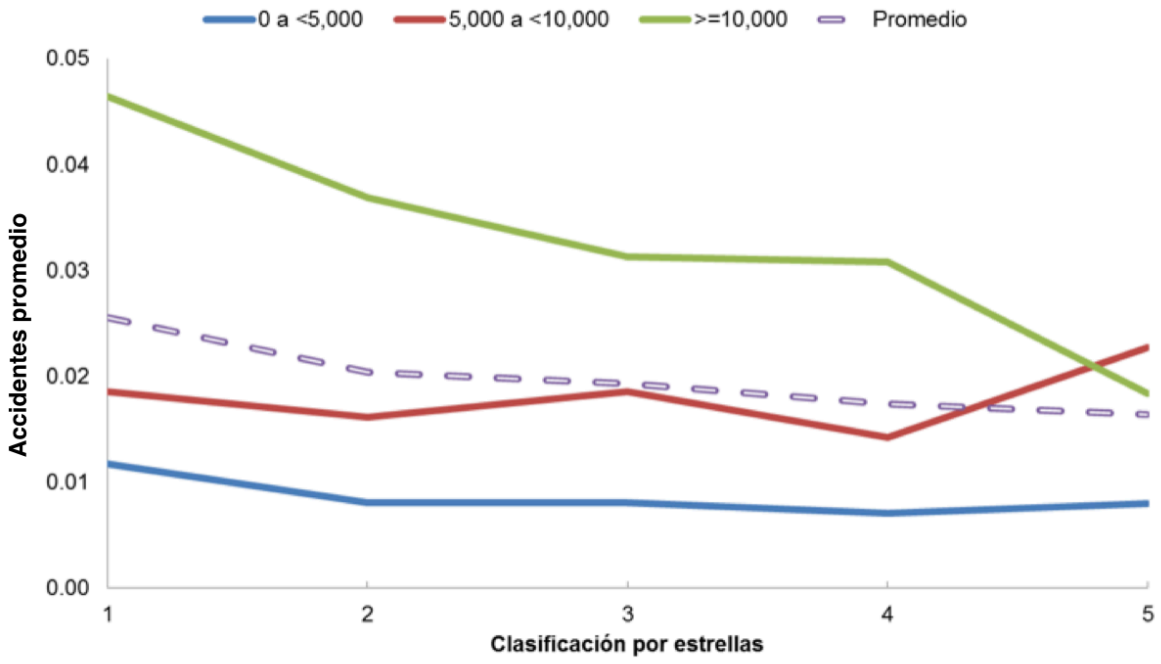


Figura 5.31 Accidentes promedio (con vehículos pesados) en segmentos con un porcentaje de vehículos pesados mayor al 15% del TDPA, por C.E.
Fuente: Elaboración propia

### 5.3.6 Aplicación de la metodología iRAP en sitios de conflicto.

Como parte final de este estudio, se incluyó un análisis puntual sobre cuatro sitios de conflicto los cuales reportaron altos niveles de accidentalidad de acuerdo a los indicadores utilizados. Para identificar los cuatro sitios se realizó una

jerarquización de segmentos de acuerdo al catálogo del IMT en función de los tres indicadores de accidentalidad aquí expuestos: índice de accidentalidad (acc/veh-km), EPDO (EPDO/veh-km) y costo de accidentes (Costo/veh-km). En base a lo anterior se seleccionó un segmento para cada grupo de estudio; dichos segmentos se ubicaron dentro de los 10 primeros con más accidentes registrados en función de los veh-km generados. El Cuadro 5.22 y Cuadro 5.24 muestran la descripción de los segmentos seleccionados, así como los indicadores de accidentalidad obtenidos.

Cuadro 5.22 Segmentos con altos niveles de accidentalidad (catálogo IMT)

| Segmento | Grupo | Carretera | Km inicial | Km final |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 carriles cuota | Las Choapas - Ocozocoautla | 134.0 | 163.0 |
| 2 | 4 carriles cuota | Puebla - Córdoba | 225.4 | 264.4 |
| 3 | 2 carriles libre | Ent. Playa Azul - Manzanillo | 292.1 | 313.4 |
| 4 | 4 carriles libre | Querétaro - San Luis Potosí | 124.7 | 155.7 |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 5.23 Indicadores de accidentalidad, por segmento

| Segmento | Accidentes con víctimas | Muertos | Lesionados | Acc / veh-km | EPDO / veh-km | Costo / veh-km (millones de USD) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 61 | 32 | 134 | 40.2 | 256.6 | 28.4 |
| 2 | 120 | 37 | 220 | 21.9 | 157.4 | 11.0 |
| 3 | 66 | 10 | 99 | 34.1 | 172.3 | 11.6 |
| 4 | 110 | 32 | 163 | 12.8 | 80.3 | 5.5 |

Fuente: Elaboración propia

Una vez seleccionados los segmentos, se analizó la distribución de los accidentes a lo largo del segmento haciendo una comparativa con el puntaje de protección de la vía, tal como lo muestran las siguientes cuatro figuras donde se observan coincidencias en los puntos de inflexión.

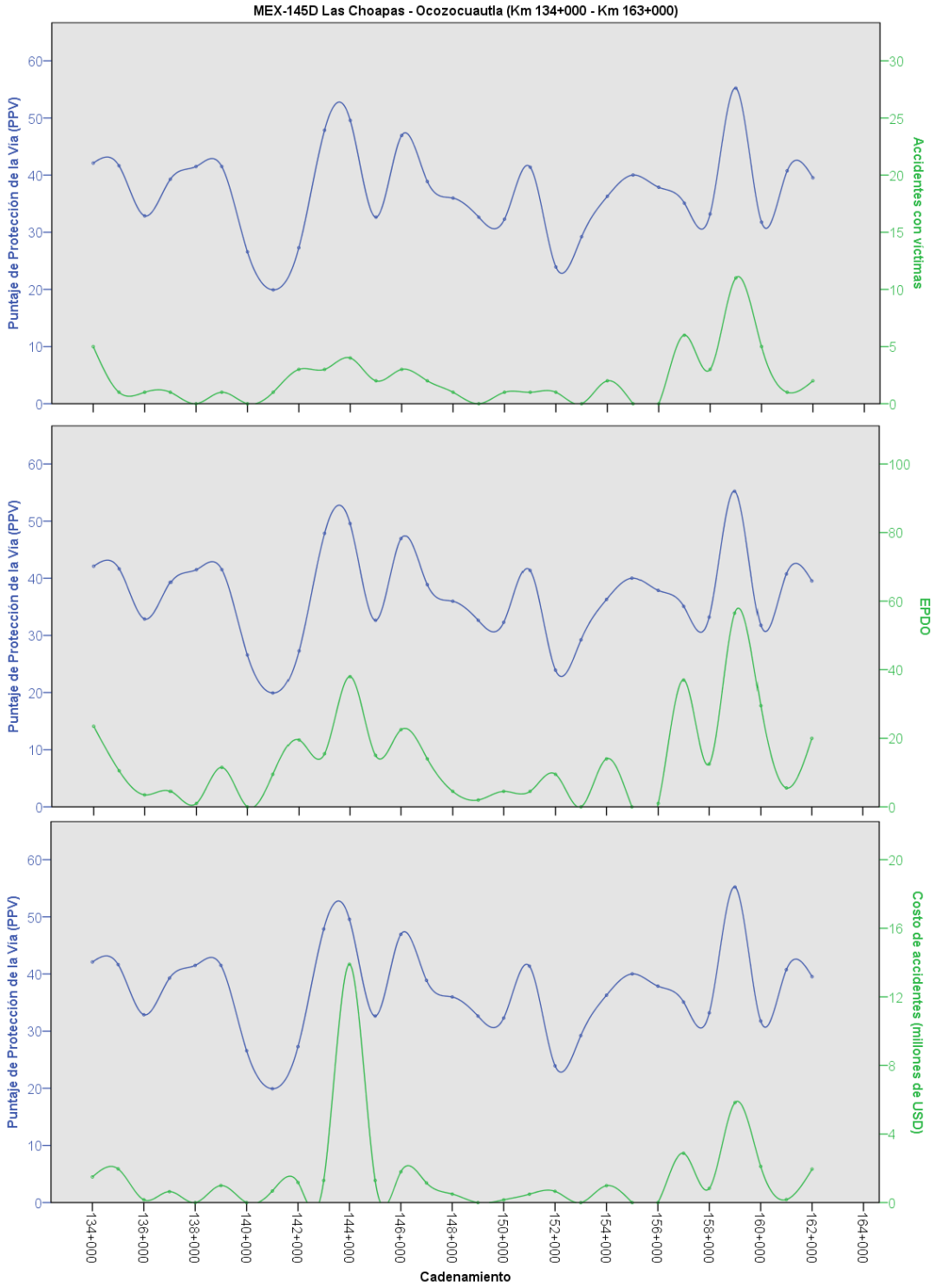


Figura 5.32 Distribución del PPV y accidentalidad del segmento 1, por km

Fuente: Elaboración propia

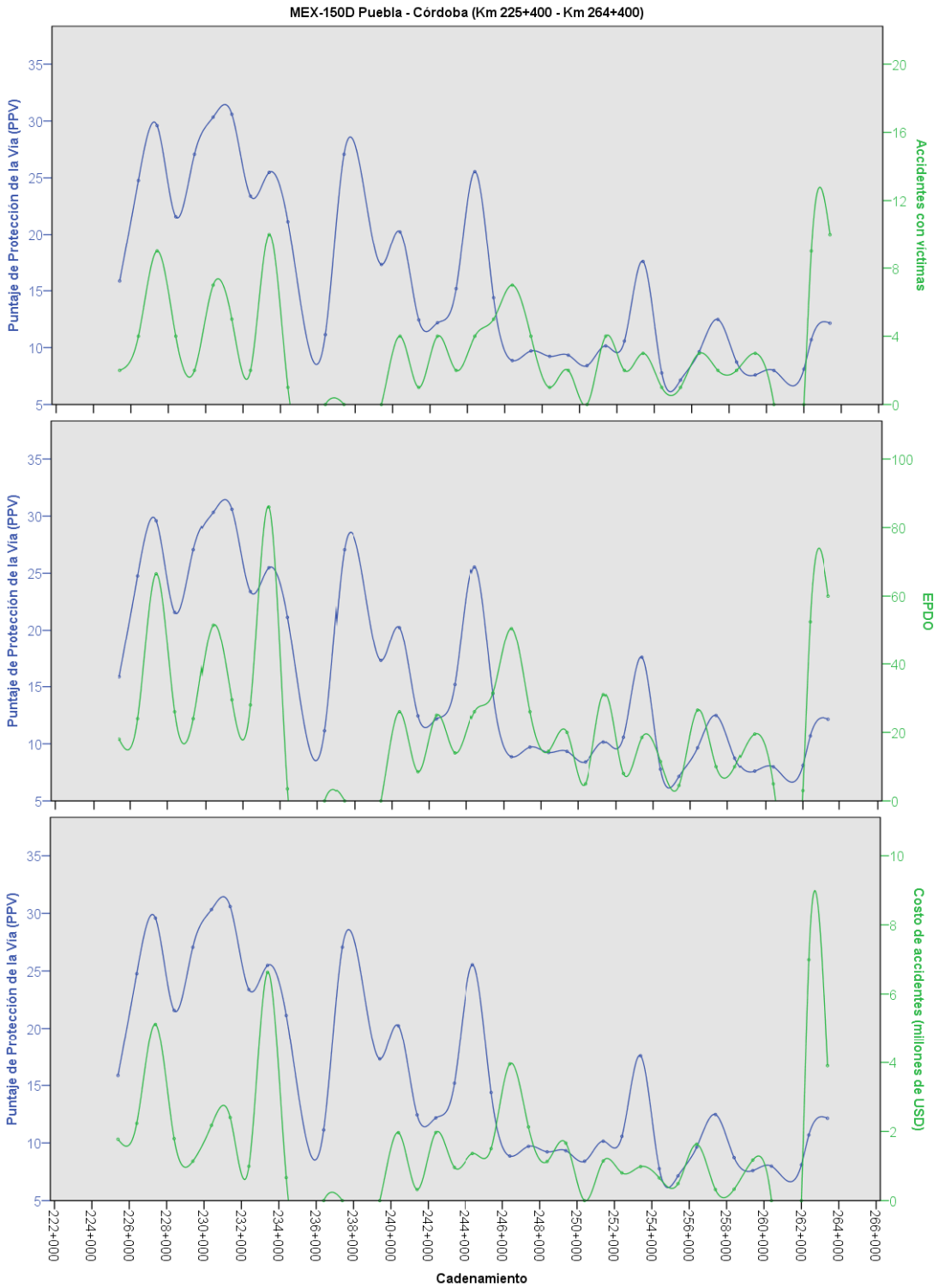


Figura 5.33 Distribución del PPV y accidentalidad del segmento 2, por km

Fuente: Elaboración propia

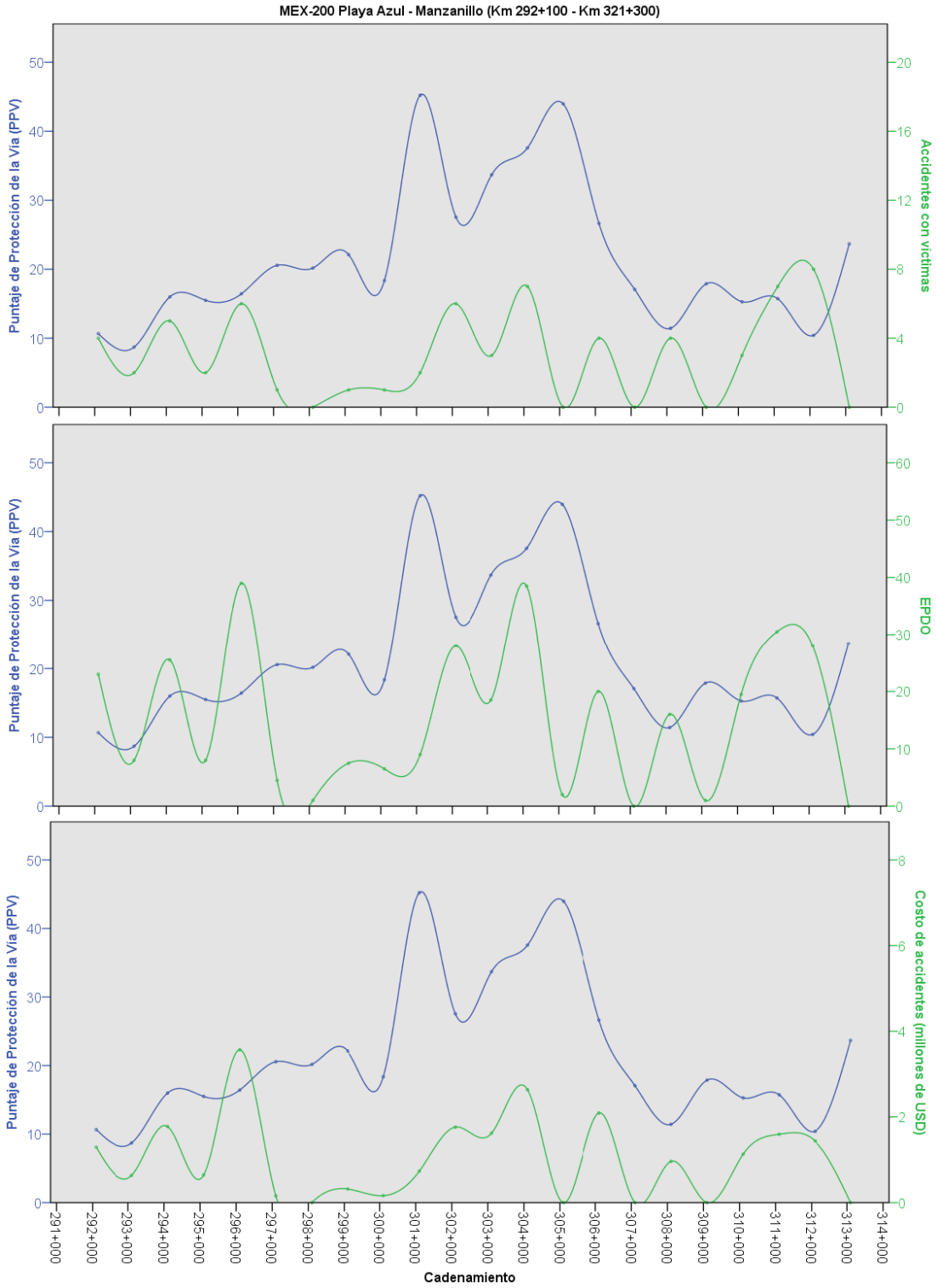


Figura 5.34 Distribución del PPV y accidentalidad del segmento 3, por km

Fuente: Elaboración propia

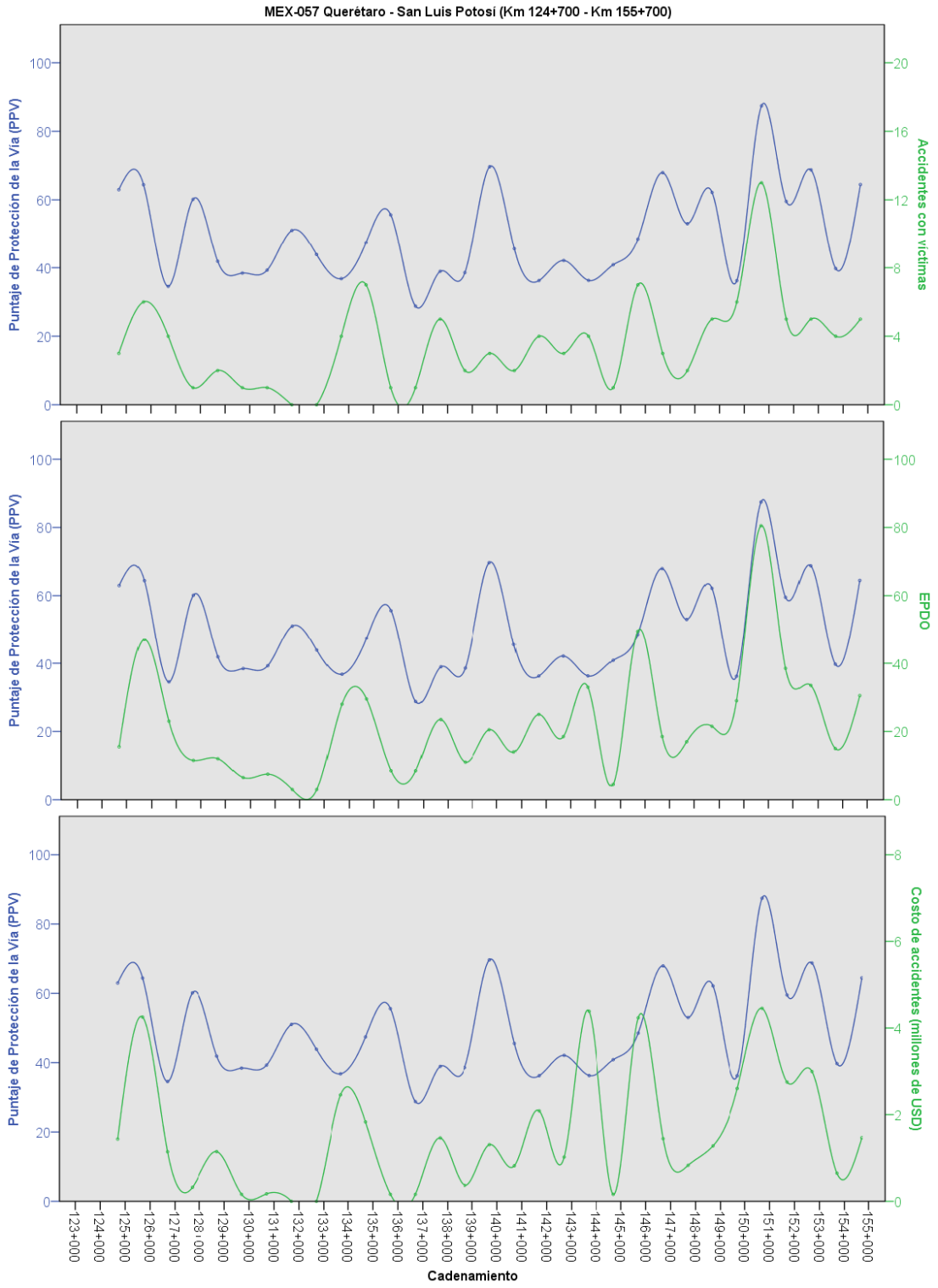


Figura 5.35 Distribución del PPV y accidentalidad del segmento 4, por km

Fuente: Elaboración propia

De las figuras anteriores, se identificaron cuatro sitios de conflicto donde la seguridad de la infraestructura (medida a través del PPV) pudiera estar involucrada directamente en la ocurrencia de accidentes, tal como lo muestra el Cuadro 5.24. De igual manera, se seleccionó un sitio de conflicto por cada grupo de estudio y coincidentemente correspondían a curvas horizontales donde se registraron la mayor cantidad de accidentes durante el periodo.

Cuadro 5.24 Sitios de conflicto

| Sitio | Grupo | Carretera | Clas. SCT | Km inicial | Km final | Radio de curvatura (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 carriles (cuota) | Las Choapas - Ocozocoautla | ET | 158.0 | 160.0 | 380.0 |
| 2 | 4 carriles (cuota) | Puebla - Córdoba | ET | 226.0 | 228.0 | 200.0 |
| 3 | 2 carriles (libre) | Ent. Playa Azul - Manzanillo | C | 303.0 | 305.0 | 130.0 |
| 4 | 4 carriles (libre) | Querétaro - San Luis Potosí | ET | 150.0 | 153.0 | 350.0 |

Fuente: Elaboración propia

En función del radio de curvatura se estimó la velocidad de proyecto para la cual fueron diseñadas las curvas con el objetivo de compararla con la velocidad de operación tanto reportado por iRAP, por la SCT en sus publicaciones anuales de Datos Viales y el límite de velocidad establecido en el señalamiento, tal como lo muestra el Cuadro 5.25. De aquí se destaca que tanto la iRAP como la SCT registraron velocidades de operación (percentil 85) superiores a las velocidades de diseño de las curvas, así como mayores en gran medida a los límites de velocidad establecidos lo cual muestra indicios de que los radios de curvatura son muy pequeños para las velocidades de los vehículos que transitan por estos sitios.

Cuadro 5.25 Velocidades en los sitios de conflicto

| Sitio | Velocidad de proyecto (km/h) | Velocidad de operación (km/h) SCT | | iRAP | | Límite de Velocidad (km/h) | % de la velocidad excedida |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Prom. | P85 | Prom. | P85 | | |
| 1 | 100.0 | 100.9 | 117.5 | 100.0 | 110.0 | 60.0 | 83 – 96 |
| 2 | 80.0 | 94.7 | 108.0 | 75.0 | 95.0 | 60.0 | 58 – 80 |
| 3 | 60.0 | 63.8 | 73.0 | 70.0 | 85.0 | 50.0 | 46 – 70 |
| 4 | 100.0 | 97.7 | 115.6 | 80.0 | 140.0 | 60.0 | 93 – 133 |

Fuente: Elaboración propia

El Cuadro 5.26 muestra los saldos de accidentes para los diferentes sitios analizados; de aquí se observa que en los sitios tres y cuatro, el evento predominante es la salida del camino lo cual puede estar relacionado directamente con la velocidad de operación, mientras que en el sitio uno prevalecen los impactos laterales y las volcaduras lo que está relacionado con la dificultad del conductor para negociar con la curva y mantener la velocidad de operación; por último el sitio dos registró un mayor número de colisiones por alcance lo cual puede estar relacionado con una restricción por el alineamiento horizontal (curva). A su vez, se muestra el número de muertos y lesionados por causa de los accidentes de tránsito, así como la distribución de los participantes en cuanto a vehículos ligeros y pesados.

Cuadro 5.26 Saldos de accidentes en los sitios de conflicto

| Sitio | Accidentes con víctimas | | | | | | | | M | L | Participantes | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F | G | Total | | | VL | VP | NI |
| 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 4 | 1 | 1 | 14 | 4 | 27 | 10 | 11 | 1 |
| 2 | 3 | 0 | 5 | 1 | 1 | 3 | 0 | 13 | 4 | 31 | 22 | 29 | 1 |
| 3 | 6 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 9 | 3 | 13 | 10 | 4 | 0 |
| 4 | 14 | 2 | 2 | 1 | 1 | 4 | 1 | 25 | 5 | 32 | 20 | 15 | 1 |

Fuente: Elaboración propia
A - Salida del camino
B - Volcadura
C - Choque por alcance
D - Choque frontal
E - Choque lateral
F - Choque contra objeto fijo
G - Otros
M - Muertos
L - Lesionados
VL - Vehículos ligeros
VP - Vehículos pesados
NI - No identificados

Una vez descritas las características de cada uno de los sitios, las siguientes figuras muestran su ubicación y resaltan a manera de resumen todos los aspectos importantes que están influyendo en la ocurrencia de accidentes, los cuales se encuentran medidos a través del PPV o los registros de la Policía Federal y la SCT.

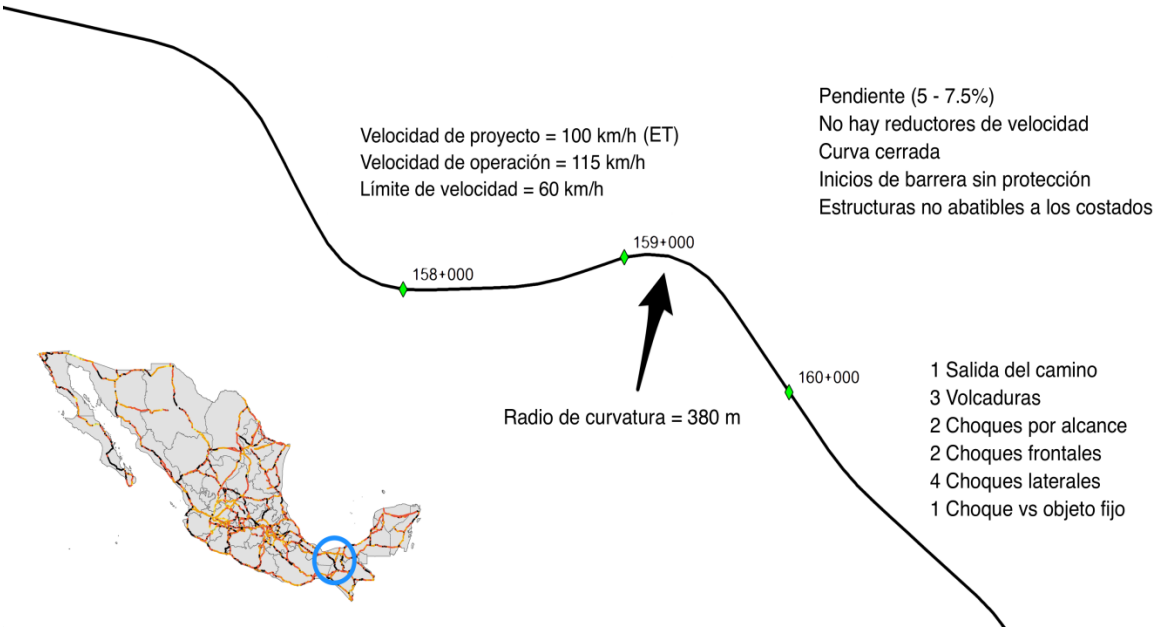


Figura 5.36 Ubicación geográfica y descripción del segmento 1

Fuente: Elaboración propia

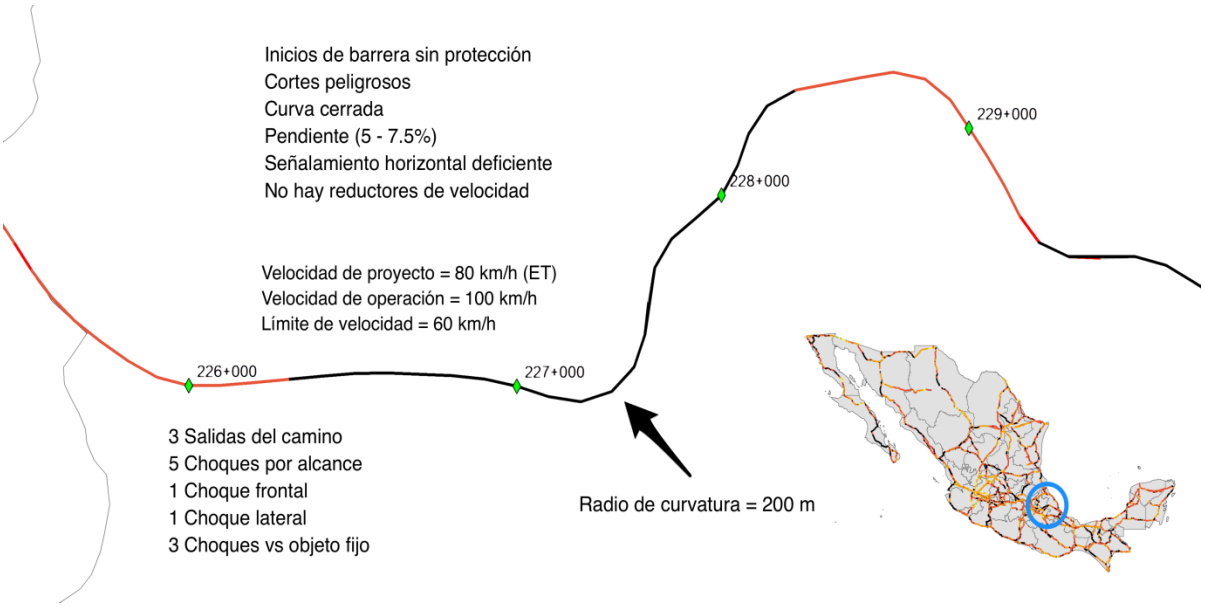


Figura 5.37 Ubicación geográfica y descripción del segmento 2

Fuente: Elaboración propia

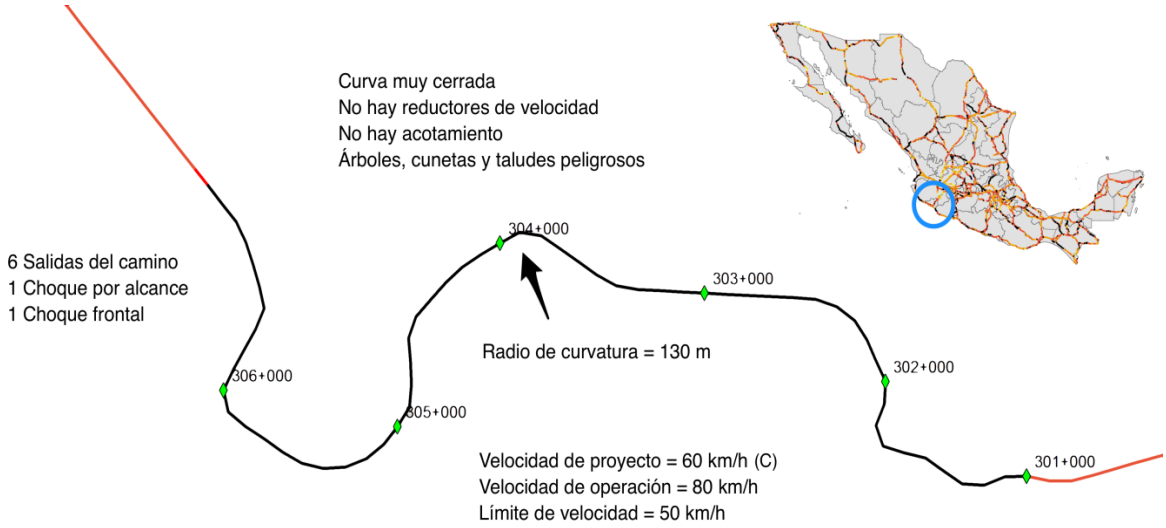


Figura 5.38 Ubicación geográfica y descripción del segmento 3

Fuente: Elaboración propia

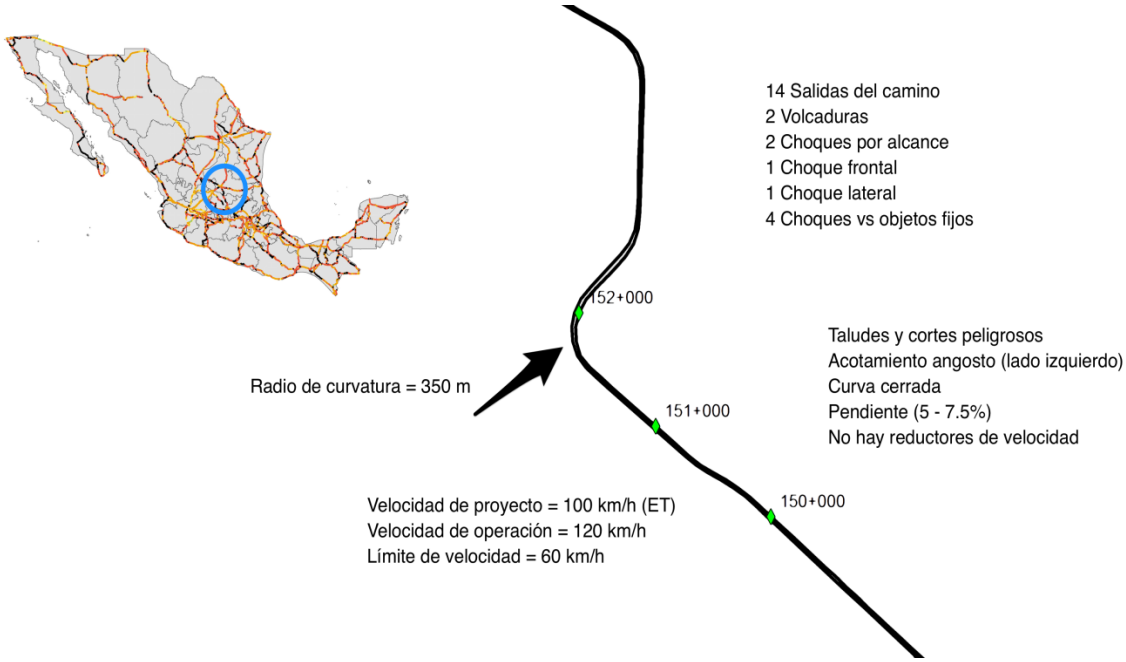


Figura 5.39 Ubicación geográfica y descripción del segmento 4

Fuente: Elaboración propia

A raíz de este último ejercicio se observó que la velocidad de operación codificada por iRAP fue un factor que determinó un PPV alto, especialmente cuando la infraestructura no cuenta con reductores de velocidad. A su vez, se notó la presencia de objetos fijos peligrosos en los costados de la vía, situación que incrementa la severidad de los accidentes, especialmente en salidas del camino, volcaduras y choques contra objetos fijos. Por último, se detectaron problemas de visibilidad en las curvas lo cual puede desencadenar choques por alcance, además de que el conductor, al no tener el panorama completo de la curva, podría cometer un error de subviraje.

No obstante que a nivel general, la clasificación por estrellas no presentó una relación consistente con la accidentalidad, se pueden realizar estudios particulares sobre la condición de la infraestructura, considerando aquellas características físicas que elevan el riesgo de la misma, las cuales a su vez se encuentran ligadas con los accidentes ocurridos. De esta manera, se logra aterrizar la metodología iRAP en un ambiente más puntual donde se observa la influencia que tienen algunas características de la vía con los accidentes, además de visualizar cómo afecta la inconsistencia en cuanto a las características de la vía entre un segmento y otro, lo cual genera un comportamiento inadecuado por parte del conductor, tal como el exceso de velocidad.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este trabajo fue realizado buscando establecer una relación entre una de las metodologías para la evaluación de la seguridad en la infraestructura vial que ha sido utilizada en México y creada por la organización no gubernamental denominada iRAP. De lo anterior, se concluye lo siguiente.

No cabe duda que el potencial de explotación de los datos que arrojan los recorridos de iRAP es muy grande; en este ejercicio se analizaron integralmente las carreteras que formaron parte de la primera fase del proyecto iRAP-México. A manera de recomendación se sugiere que en los recorridos subsecuentes se realicen tomando en consideración los cadenamientos y nombres reales de las carreteras ya que esto deriva en un trabajo de homologación que, por experiencia de esta investigación, conlleva un tiempo considerable. A su vez es importante mantener estadísticas de accidentalidad confiables lo cual deriva en revisiones periódicas sobre los tramos vigilados por la Policía Federal, así como aquellos que se encuentran bajo jurisdicción federal; lo anterior a fin de conocer la ubicación real de los accidentes y afianzar el conocimiento sobre la situación que guarda la Red Carretera Federal. Es importante destacar que el contar con un catálogo de tramos con estas características permitirá realizar estudios no solo en materia de seguridad vial, sino en diferentes líneas de investigación, ahorrando tiempo valioso en el procesamiento de la información.

A partir de los análisis estadísticos y comparativos realizados, se lograron establecer relaciones confiables entre el puntaje de protección de la vía o la clasificación por estrellas de iRAP y la accidentalidad que reporta la Policía Federal, específicamente en carreteras libres de dos carriles, ya que para este grupo se contaba con un mayor número de registros; permitiendo que los análisis tuvieran un mayor nivel de confiabilidad. Por lo tanto, los mejores resultados se observaron al relacionar los indicadores de frecuencia de accidentes, número de

accidentes con daños materiales equivalentes únicos (EPDO) y costo de accidentes, todos en función de los vehículos-kilómetro generados, reflejando que conforme mejoran las condiciones de la infraestructura, el riesgo relativo de la accidentalidad disminuye. No obstante, al analizar valores absolutos de accidentes, EPDO, costos, así como en los mapas de riesgo, se observaron indicios sobre la teoría de homeostasis del riesgo la cual indica que los segmentos catalogados como deficientes en las condiciones de su infraestructura (una estrella) registran una frecuencia menor respecto a segmentos clasificados con más estrellas; de igual manera, segmentos con cuatro y cinco estrellas reportaban un mayor número de muertos, lesionados, costos, lo cual reafirma la posibilidad de que el conductor asuma un mayor riesgo en la forma de conducir al notar que la infraestructura se encuentra en mejores condiciones, aumentando frecuentemente la velocidad de operación la cual está asociada ampliamente a la gravedad de las lesiones como consecuencia de una colisión. Dentro de los análisis particulares, no se observó alguna tendencia consistente en cuanto al tránsito vehicular y los vehículos pesados, sin embargo sí se enfatizó el uso de esta información para analizar casos puntuales sobre sitios con altos niveles de accidentalidad.

Tras ocurrir un accidente de tránsito en la RCF, no necesariamente significa que éste haya ocurrido por alguna falla en la infraestructura, dado que la información de accidentalidad que reporta la Policía Federal difícilmente puede ser desagregada por cada factor involucrado (usuario, vehículo, clima e infraestructura), obteniendo indicadores de accidentalidad que combinan la participación de todos los factores previamente mencionados. No obstante lo anterior, los mapas de riesgo proveen herramientas e información sobre la distribución del riesgo en una red carretera, lo cual puede ser difundido entre diferentes audiencias donde no solo las autoridades o administradores de las carreteras puedan priorizar estrategias o políticas, sino también los usuarios, creando conciencia sobre el riesgo que asumen al circular por ellas. Si bien los

indicadores de accidentalidad reflejan la combinación de diferentes factores, es indispensable romper el paradigma donde toda la responsabilidad yace sobre el usuario o conductor, por lo que es necesario aprovecharse de la ingeniería para establecer soluciones que conduzcan al usuario a desempeñarse mejor en la vía.

Para encontrar una mejor relación entre la accidentalidad y la clasificación por estrellas se recomienda lo siguiente:

- Realizar un control de calidad más rígido en la etapa de codificación ya que es la base del modelo de clasificación por estrellas, y sobre la cual, el error humano es más factible. Lo anterior surge dado que se encontraron varios segmentos cuya codificación no correspondía a lo establecido en el Manual de Codificación de iRAP, influyendo directamente en los criterios utilizados durante esta etapa del proyecto.
- Adicional al control de calidad, se recomienda contar con equipo especializado que mida y registre automáticamente los datos del levantamiento en campo, disminuyendo así la posibilidad del error en la codificación, así como una mayor precisión en los datos.
- Como se comentó, sería conveniente que los resultados estuvieran ligados con la información del cadenamiento y nombres oficiales de las carreteras permitiendo el uso de los resultados de manera expedita, tanto para las autoridades como investigadores interesados en la aplicación de estas metodologías.
- El protocolo de iRAP sobre la clasificación por estrellas no está ligado directamente con el tipo de carretera a analizar, es decir, las condiciones físicas de una carretera libre de dos carriles varían considerablemente con las condiciones de una carretera de cuota de cuatro carriles, por lo que sería recomendable que la metodología contemplara ambos casos por separado, asignándoles criterios diferentes a cada uno de ellos a fin de obtener la estrella correspondiente al tipo de carretera analizado.

- Dentro del esquema del cálculo para el puntaje de protección de la vía, se notó que la velocidad de operación influye de manera significativa en el resultado final, por lo que se recomienda tener un mayor control de calidad sobre esta variable durante la codificación, así como un análisis más profundo que permita establecer la relación de la velocidad y la seguridad de una manera más consistente y confiable, así como analizar las diferencias entre usar la velocidad de diseño en lugar de la velocidad de operación (que actualmente se utiliza) de manera que el nivel de protección de la vía sea más objetivo. A su vez, la influencia del tránsito también requiere criterios más fundamentados dado que es una variable que influye de manera significativa en la accidentalidad, pudiendo establecer diferencias entre el tipo de vehículos (privados y de carga), así como definir la relación que existe entre el TDPA y los accidentes, obteniendo factores de riesgo más consistentes dependiendo el tipo de accidente esperado.
- Los factores de riesgo utilizados en la metodología de iRAP son de carácter internacional los cuales fueron establecidos a partir de estudios realizados en diferentes países. Aparentemente, el no contar con factores de riesgos propios y basados en la accidentalidad real de México puede afectar los resultados dado que las condiciones de accidentalidad del país pueden variar significativamente con otros países del mundo, siendo la cultura y los avances en materia de seguridad vial, características que modifican la siniestralidad considerablemente.
- Por último, se reconoce que los registros de accidentalidad en México aún se encuentran lejos de los estándares internacionales, razón que también pudo haber afectado este análisis. A su vez, se reconoce que este proyecto se realizó con la versión anterior del software ViDA, utilizado por la metodología de iRAP, y es probable que tal vez se hayan mejorado algunos de los puntos previamente descritos.

En la actualidad, existen pocos estudios que relacionen las variables aquí presentadas con las metodologías RAP; como resultado de este estudio se espera avanzar en el conocimiento de la relación infraestructura-accidentalidad, así como en la aplicación y mejoras en la precisión de nuevas metodologías que evalúen la seguridad vial a fin de darle el seguimiento requerido. Lo anterior se establece dado que en México se continúa utilizando la metodología iRAP, en su Fase II, para lo cual se recomienda establecer una estrategia a nivel red para priorizar los tramos en función no solo del riesgo obtenido por iRAP, sino también por el riesgo real establecido a partir del historial de accidentalidad, y de esta manera contribuir al objetivo final que es la reducción de accidentes y salvar vidas.

## 6.1 Líneas futuras de investigación

Quedan sobre el tintero las siguientes líneas de investigación que permitirán establecer un mayor conocimiento sobre la influencia de la infraestructura en la accidentalidad, así como el desarrollo de nuevas metodologías para la gestión, diseño y operación de una carretera segura.

- Teoría de homeostasis del riesgo. Realizar estudios sobre el comportamiento del conductor ante diferentes escenarios presentados en la carretera, con el objetivo de establecer el grado de conciencia vial, así como el nivel de percepción del riesgo del ser humano, ambas variables han sido sugeridas por varios autores como influyentes en la accidentalidad.
- Relación de la velocidad de diseño y velocidad de operación con la accidentalidad. Desarrollar esquemas y modelos que permitan establecer una relación confiable entre la velocidad y los accidentes, dado que es una variable que influye en la severidad de las lesiones como consecuencia de una colisión.
- Relación del TDPA y la accidentalidad. Si bien existen varios estudios que aterrizan esta variable, es indispensable contar con una relación que se

ajuste a las condiciones actuales de accidentalidad de una determinada red, estableciendo además, la influencia del transporte de carga en los accidentes de tránsito.

- Relación del tipo de terreno y la accidentalidad. De igual manera, es importante establecer el tipo de terreno que concentra la mayor cantidad de accidentes, con el objetivo de implementar políticas en el diseño de las vías orientadas a la prevención de accidentes, así como la mitigación de los riesgos ante la topografía existente.
- Verificación y contraste de los resultados de la metodología RAP con las condiciones reales de las carreteras. Una vez obtenidos los resultados de una metodología como la de iRAP, es importante realizar un estudio para verificar y evaluar que efectivamente representen las condiciones físicas reales de las carreteras, a través de visitas de campo (auditorías convencionales) que permitan identificar las diferencias y oportunidades de mejora.
- Análisis estadísticos y de sensibilidad para el establecimiento de indicadores de accidentalidad aplicables a México. Retomando las variables EPDO y el costo de accidentes, es fundamental que estos indicadores reflejen la situación real del país, por lo que es necesario realizar análisis que permitan establecer el peso correspondiente a los diferentes saldos de accidentes (muertos, lesionados y daños materiales) con el objetivo de llevar a cabo una medición más acorde a las condiciones prevalecientes en cuanto a la severidad de los accidentes, así como del impacto económico que conllevan.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agüero-Valverde, J., & Castro, E. (2014). Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: el caso de la ruta 32 en Costa Rica. IV Congreso Ibero-Americano de Seguridad Vial (CISEV), Cancún, México.

Agüero-Valverde, J., & Madriz, B. (2014). Modelo de gravedad de choques para Costa Rica: efecto del TDPA, límite de velocidad, rol de la víctima y tipo de choque . IV Congreso Ibero-Americano de Seguridad Vial (CISEV), Cancún, México.

American Association of State Highway and Transportation Officials. (2009). Highway Safety Manual. AASHTO, Washington D.C., Estados Unidos de América.

Appleton, I. (2009). Road Infraestructure Safety Assessment. New Zealand Transport Agency, Wellington, Nueva Zelanda.

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.

Bham, G., & Manepalli, U. (2009). Identification and Analysis of High Crash Segments on Interstate, US, and State Highway Systems of Arkansas. MBTC DOT 2099/3006, Missouri University of Science & Technology, Missouri, E.U.A.

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 ocurrence on selected roads in Australia. Research Report ARR 382, ARRB Group Ltd, Victoria, Australia.

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, 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.

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.

Elvik, R. (2008). Dimensions of road safety problems and their measurement. Accident Analysis & Prevention No. 40 (1200-1210), Elsevier, Ámsterdam, Holanda.

Elvik, R. (2008). The predictive validity of empirical Bayes estimates of road safety. Accident Analysis and Prevention No. 40 (1964-1969), Elsevier, Ámsterdam, Holanda.

Elvik, R. (2010). Why some road safety problems are more difficult to solve than others. Accident Analysis & Prevention No. 42 (1089-1096), Elsevier, Ámsterdam, Holanda.

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.

Harwood, D., Bauer, K., & Gilmore, D. (2010). Validation of U.S. Road Assessment Program Star Rating Protocol. Highway Safety Data, Analysis and Evaluation, Journal of the Transportation Research Board No. 2147, TRB, Washington D.C., E.U.A.

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.

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.

International Road Assessment Programme. (2014). Manual de Codificación para la Clasificación por Estrellas de iRAP. RAP-SR-2.2, iRAP, Londres, Reino Unido.

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

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.

Karlaftis, M., & Golias, I. (2002). Effects of road geometry and traffic volumes on rural roadway accident rates. Accident Analysis and Prevention No. 34 (357-365), Elsevier, Ámsterdam, Holanda.

Kononov, J., Bailey, B., & Allery, B. (2008). Relationships between safety and both congestion and number of lanes on urban freeways. Safety Data, Analysis and

Modeling, Journal of Transportation Research Board No. 2083, TRB, Washington D.C., E.U.A.

Lee, J., & Mannering, F. (2002). Impact of roadside features on the frequency and severity of run-off-roadway accidents: an empirical analysis. Accident Analysis and Prevention No. 34 (149-161), Elsevier, Ámsterdam, Holanda.

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.

Mayoral, E., Cuevas, C., & Gómez, N. (2012). Evaluación de tramos carreteros en función de una siniestralidad esperada. Revista AMIVTAC No. 16, Ciudad de México, México.

Ogden, K. (1996). Safer roads: a guide to road safety engineering. ISBN 978-0291398291, Avery Technical, Aldershot, Inglaterra.

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.

Real Academia Española. (2001). Diccionario de la Lengua Española. 22a Edición, Madrid, España.

Resende, P., & Benekohal, R. (1997). Effects of roadway section length on accident modeling. Traffic Congestion and Safety: Accident Modeling, American Society of Civil Engineers, Nueva York, E.U.A.

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.

Stigson, H. (2009). Evaluation of Safety Ratings of Roads Based on Frontal Crashes with Known Crash Pulse and Injury Outcome. Traffic Injury Prevention No. 10 (pp. 273-278), Taylor & Francis Group, Estocolmo, Suecia.

Xumini, L. (2009). La seguridad vial y las infraestructuras. Revista RUTAS No. 130, Asociación Técnica de Carreteras, Madrid, España.

# A. APÉNDICES

Cuadro A.1 Lista de carreteras dentro del estudio

| Ruta | Nombre de la carretera | Km. inicial | Km. final | Longitud total | Longitud excluida | Longitud efectiva | N° de segmentos de 100 m. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **MEX-001** | Punta Prieta - Guerrero Negro | 0 | 128.5 | 128.5 | 2.9 | 125.6 | 1284 |
| **MEX-001** | Ensenada - Lázaro Cárdenas | 9.1 | 197 | 187.9 | 13.4 | 174.5 | 1877 |
| **MEX-001** | Tijuana - Ent. San Miguel | 8 | 95.3 | 87.3 | 6.8 | 80.5 | 873 |
| **MEX-001** | Lázaro Cárdenas - Punta Prieta | 0 | 282.8 | 282.8 | 0.3 | 282.5 | 2828 |
| **MEX-001** | Ciudad Insurgentes - Loreto | 0.2 | 119 | 118.8 | 0.4 | 118.4 | 1188 |
| **MEX-001** | Santa Rosalía - Guerrero Negro | 0.1 | 217.1 | 217 | 6.9 | 210.1 | 2170 |
| **MEX-001** | Lib. de Cabo San Lucas | 0 | 2.5 | 2.5 | 0 | 2.5 | 25 |
| **MEX-001** | La Paz - Ciudad Insurgentes | 6.3 | 236.6 | 230.3 | 0.7 | 229.6 | 2301 |
| **MEX-001** | Cabo San Lucas - La Paz | 1.9 | 210.5 | 208.6 | 11.2 | 197.4 | 2085 |
| **MEX-001** | Loreto - Santa Rosalía | 0 | 195.9 | 195.9 | 9.4 | 186.5 | 1959 |
| **MEX-001D** | Tijuana - Ensenada (Cuota) | 8.8 | 114.3 | 105.5 | 8.3 | 97.2 | 1055 |
| **MEX-001D** | Lib. de San José del Cabo - Apto. Los Cabos (Cuota) | 100 | 120.2 | 20.2 | 0 | 20.2 | 202 |
| **MEX-002** | San Luis Río Colorado - Mexicali | 0 | 62.2 | 62.2 | 11.2 | 51 | 622 |
| **MEX-002** | Janos - Agua Prieta | 0 | 158.7 | 158.7 | 5.8 | 152.9 | 1585 |
| **MEX-002** | Nuevo Laredo - Piedras Negras | 8.7 | 169.6 | 160.9 | 9 | 151.9 | 1609 |
| **MEX-002** | Mexicali - Tijuana | 66.8 | 171.1 | 104.3 | 23.9 | 80.4 | 1043 |
| **MEX-002** | Ramal a Apto. de Mexicali | 0 | 9.9 | 9.9 | 9.9 | 0 | 99 |
| **MEX-002** | Piedras Negras - Ciudad Acuña | 0 | 83.3 | 83.3 | 9.5 | 73.8 | 833 |
| **MEX-002** | Ciudad Juárez - Janos | 0 | 201.5 | 201.5 | 3 | 198.5 | 2015 |
| **MEX-002** | Jerónimo - Santa Teresa | 0 | 18.9 | 18.9 | 0 | 18.9 | 189 |
| **MEX-002** | Ciudad Juárez - El Porvenir | 11.6 | 81.2 | 69.6 | 69.6 | 0 | 696 |
| **MEX-002** | Agua Prieta - Ímuris | 0 | 164.7 | 164.7 | 2.3 | 162.4 | 1647 |
| **MEX-002** | Santa Ana - Sonoyta | 0 | 254.2 | 254.2 | 3.2 | 251 | 2542 |
| **MEX-002** | Lib. de Reynosa | 0 | 9.6 | 9.6 | 9.6 | 0 | 96 |
| **MEX-002** | Reynosa - Nuevo Laredo | 1.3 | 222.3 | 221 | 25.6 | 195.4 | 2076 |
| **MEX-002** | Matamoros - Reynosa | 0 | 89.7 | 89.7 | 24.7 | 65 | 897 |
| **MEX-002** | Matamoros - Playa Lauro Del Villar | 2.5 | 37.1 | 34.6 | 4.5 | 30.1 | 346 |
| **MEX-002** | Ramal a Puente Internacional Anzalduas (Reynosa) | 0 | 10.4 | 10.4 | 0 | 10.4 | 104 |
| **MEX-002** | Lib. de Nuevo Laredo II | 0 | 32.2 | 32.2 | 0 | 32.2 | 322 |
| **MEX-002** | Sonoyta - San Luis Río Colorado | 0.4 | 204 | 203.6 | 39.5 | 164.1 | 2036 |
| **MEX-002** | Lib. de Camargo | 0 | 4.5 | 4.5 | 0 | 4.5 | 45 |
| **MEX-002** | Ramal a Puente Internacional Pharr | 0 | 6 | 6 | 0.4 | 5.6 | 60 |
| **MEX-002D** | Mexicali - Tijuana (Cuota) | 18 | 147.8 | 129.8 | 8.8 | 121 | 1287 |
| **MEX-002D** | Lib. de Mexicali (Cuota) | 0.4 | 41.4 | 41 | 0.4 | 40.6 | 410 |
| **MEX-002D** | Matamoros - Reynosa (Cuota) | 26 | 70.9 | 44.9 | 6 | 38.9 | 449 |
| **MEX-003** | Tecate - El Sauzal | 0.5 | 104.9 | 104.4 | 4.9 | 99.5 | 1044 |
| **MEX-014** | Morelia - Pátzcuaro | 3.7 | 53.6 | 49.9 | 4 | 45.9 | 498 |
| **MEX-014** | Pátzcuaro - Uruapan | 0 | 62.7 | 62.7 | 2.7 | 60 | 627 |
| **MEX-014D** | Ent. Pátzcuaro - Zirimícuaro (Cuota) | 48 | 94 | 46 | 0 | 46 | 460 |
| **MEX-014D** | Zirimícuaro - Uruapan (Cuota) | 0 | 10.4 | 10.4 | 0 | 10.4 | 104 |
| **MEX-015** | Guadalajara - Tepic | 7.7 | 223.7 | 216 | 2.5 | 213.5 | 2156 |
| **MEX-015** | Jiquilpan - Guadalajara | 0 | 145.6 | 145.6 | 3.8 | 141.8 | 1456 |
| **MEX-015** | México - Toluca | 21.9 | 54.4 | 32.5 | 3.8 | 28.7 | 325 |
| **MEX-015** | Toluca - Morelia | 0.5 | 239 | 238.5 | 104.4 | 134.1 | 2361 |
| **MEX-015** | Tepic - Mazatlán | 3.3 | 292.2 | 288.9 | 2.4 | 286.5 | 2875 |
| **MEX-015** | Morelia - Jiquilpan | 2.6 | 204.8 | 202.2 | 2.6 | 199.6 | 2013 |
| **MEX-015** | Rinconada - La Piedad | 0 | 46.1 | 46.1 | 0 | 46.1 | 461 |
| **MEX-015** | Culiacán - El Dorado | 0 | 17.8 | 17.8 | 0.4 | 17.4 | 178 |
| **MEX-015** | Lib. Sur de Culiacán | 0 | 10.1 | 10.1 | 1.2 | 8.9 | 101 |
| **MEX-015** | Mazatlán - Culiacán | 0 | 215.1 | 215.1 | 5.8 | 209.3 | 2151 |
| **MEX-015** | Culiacán - Los Mochis | 2.3 | 205.9 | 203.6 | 4.2 | 199.4 | 2036 |
| **MEX-015** | Ciudad Obregón - Hermosillo | 0.7 | 253.2 | 252.5 | 32.9 | 219.6 | 2282 |
| **MEX-015** | Lib. Norte de Zamora (Chaparaco - La Rinconada) | 0 | 12.7 | 12.7 | 0 | 12.7 | 127 |
| **MEX-015** | Paso por Magdalena de Kino | 180 | 190.1 | 10.1 | 10.1 | 0 | 101 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **MEX-015D** | Atlacomulco - Zapotlanejo (Cuota) | 100 | 475.6 | 375.6 | 2.8 | 372.8 | 3756 |
| **MEX-015D** | Guadalajara - Tepic (Cuota) | 0.3 | 168.8 | 168.5 | 9.4 | 159.1 | 1685 |
| **MEX-015D** | México - La Marquesa (Cuota) | 14.5 | 33.6 | 19.1 | 0.3 | 18.8 | 191 |
| **MEX-015D** | Los Mochis - Ciudad Obregón | 0 | 222.8 | 222.8 | 17.9 | 204.9 | 2207 |
| **MEX-015D** | Mazatlán - Culiacán (Cuota) | 0 | 181.3 | 181.3 | 7.6 | 173.7 | 1813 |
| **MEX-015D** | Lib. de Nogales (Cuota) | 0.1 | 13 | 12.9 | 0 | 12.9 | 129 |
| **MEX-015D** | Lib. de Empalme - Guaymas (Cuota) | 0 | 22.3 | 22.3 | 0.8 | 21.5 | 223 |
| **MEX-015D** | Hermosillo - Nogales (Cuota) | 0 | 271.6 | 271.6 | 67.6 | 204 | 2708 |
| **MEX-015D** | Tepic - Villa Unión (Cuota) | 0 | 240.7 | 240.7 | 13.7 | 227 | 2275 |
| **MEX-016** | Chihuahua - Madera | 104.4 | 150 | 45.6 | 2.5 | 43.1 | 456 |
| **MEX-016** | La Junta - Yepachic | 150.2 | 342.7 | 192.5 | 0 | 192.5 | 1925 |
| **MEX-016** | Hermosillo - Yécora | 0 | 340.9 | 340.9 | 4 | 336.9 | 3409 |
| **MEX-019** | San Pedro - Cabo San Lucas | 0 | 126.4 | 126.4 | 3.2 | 123.2 | 1264 |
| **MEX-020D** | Lib. de Irapuato (Cuota) | 0 | 29 | 29 | 0 | 29 | 290 |
| **MEX-023** | Guadalajara - Ent. Jocotepec | 4.3 | 25.8 | 21.5 | 0.4 | 21.1 | 215 |
| **MEX-035** | Santa Rosa - Briseñas | 0 | 80.2 | 80.2 | 0.3 | 79.9 | 802 |
| **MEX-035** | Zamora - Briseñas | 0.8 | 56.2 | 55.4 | 0.3 | 55.1 | 554 |
| **MEX-037** | Carapan - Playa Azul | 0 | 337.4 | 337.4 | 10.1 | 327.3 | 3373 |
| **MEX-037** | La Piedad - Carapan | 2.2 | 72.9 | 70.7 | 0.3 | 70.4 | 707 |
| **MEX-037D** | Ent. Uruapan - Lázaro Cárdenas (Cuota) | 94 | 310.5 | 216.5 | 3.5 | 213 | 2150 |
| **MEX-040** | Durango - Villa Unión | 7.5 | 294.2 | 286.7 | 5.2 | 281.5 | 2867 |
| **MEX-040** | Saltillo - Monterrey | 20 | 58.3 | 38.3 | 0 | 38.3 | 383 |
| **MEX-040** | Monterrey - Reynosa | 0 | 204.7 | 204.7 | 53 | 151.7 | 1947 |
| **MEX-040** | Saltillo - Torreón | 2.9 | 266.3 | 263.4 | 3.1 | 260.3 | 2634 |
| **MEX-040** | Lib. de Torreón | 0 | 11.9 | 11.9 | 0.1 | 11.8 | 119 |
| **MEX-040** | Durango - Torreón | 0 | 247.6 | 247.6 | 13 | 234.6 | 2476 |
| **MEX-040** | Lib. Noroeste de Monterrey | 0 | 35.4 | 35.4 | 0 | 35.4 | 354 |
| **MEX-040** | Lib. de Gómez - Lerdo | 0 | 16.1 | 16.1 | 10 | 6.1 | 161 |
| **MEX-040D** | Durango - Villa Unión (Cuota) | 21.3 | 111.7 | 90.4 | 0.6 | 89.8 | 904 |
| **MEX-040D** | Durango - Gómez Palacio (Cuota) | 10.5 | 232.2 | 221.7 | 0.3 | 221.4 | 2217 |
| **MEX-040D** | Monterrey - Reynosa (Cuota) | 34.9 | 181 | 146.1 | 0 | 146.1 | 1461 |
| **MEX-040D** | Saltillo - Monterrey (Cuota) | 46.2 | 94.8 | 48.6 | 0.2 | 48.4 | 485 |
| **MEX-040D** | Lib. Norponiente de Saltillo (Cuota) | 0 | 46.2 | 46.2 | 0 | 46.2 | 462 |
| **MEX-040D** | La Cuchilla - Matamoros (Cuota) | 0 | 37.8 | 37.8 | 0 | 37.8 | 378 |
| **MEX-040D** | Ent. Puebla - Ent. Paila (Cuota) | 0 | 76.8 | 76.8 | 0 | 76.8 | 768 |
| **MEX-040D** | Lib. de Durango (Cuota) | 0 | 22.6 | 22.6 | 0 | 22.6 | 226 |
| **MEX-043** | Morelia - Salamanca | 2.5 | 110.4 | 107.9 | 6.7 | 101.2 | 1079 |
| **MEX-043D** | Morelia - Salamanca (Cuota) | 26.7 | 109.5 | 82.8 | 0.8 | 82 | 828 |
| **MEX-045** | Querétaro - Irapuato | 0 | 113.7 | 113.7 | 22.9 | 90.8 | 1137 |
| **MEX-045** | León - Aguascalientes | 8.4 | 126.5 | 118.1 | 19.9 | 98.2 | 1076 |
| **MEX-045** | Portezuelo - Palmillas | 0.3 | 82.2 | 81.9 | 0 | 81.9 | 819 |
| **MEX-045** | Aguascalientes - Zacatecas | 3 | 119.8 | 116.8 | 8.3 | 108.5 | 1168 |
| **MEX-045** | Lib. Surponiente de Aguascalientes | 0 | 21.5 | 21.5 | 0 | 21.5 | 215 |
| **MEX-045** | T. C. (Chihuahua - El Sueco) - Sacramento (libre) | 0 | 14.7 | 14.7 | 0 | 14.7 | 147 |
| **MEX-045** | Ciudad Camargo - Saucillo | 72 | 113.7 | 41.7 | 0 | 41.7 | 417 |
| **MEX-045** | Ramal a Delicias - Meoqui | 0 | 9 | 9 | 9 | 0 | 90 |
| **MEX-045** | Lib. de Salamanca | 0 | 11.7 | 11.7 | 0.5 | 11.2 | 117 |
| **MEX-045** | Irapuato - León | 113.7 | 177.4 | 63.7 | 12.7 | 51 | 637 |
| **MEX-045** | Nuevo Lib. de Irapuato | 0 | 10.4 | 10.4 | 0 | 10.4 | 104 |
| **MEX-045** | Lib. Sur Poniente de Querétaro | 0 | 46.2 | 46.2 | 15.3 | 30.9 | 462 |
| **MEX-045** | Lib. de Guadalupe - Zacatecas | 0 | 17.5 | 17.5 | 0 | 17.5 | 175 |
| **MEX-045** | Paso por Calera - Gral. Enrique Estrada | 24 | 34.3 | 10.3 | 10.3 | 0 | 103 |
| **MEX-045D** | León - Aguascalientes (Cuota) | 0 | 107.8 | 107.8 | 0 | 107.8 | 1078 |
| **MEX-045D** | Querétaro - Irapuato (Cuota) | 0 | 104.6 | 104.6 | 0 | 104.6 | 1046 |
| **MEX-045D** | Zacatecas - Durango | 3.5 | 285.6 | 282.1 | 7.5 | 274.6 | 2821 |
| **MEX-045D** | Jiménez - Chihuahua (Cuota) | 0 | 212.2 | 212.2 | 15.9 | 196.3 | 2073 |
| **MEX-045D** | Chihuahua - El Sueco | 12.8 | 152 | 139.2 | 6.5 | 132.7 | 1392 |
| **MEX-045D** | El Sueco - Ciudad Juárez | 152 | 355.7 | 203.7 | 5.9 | 197.8 | 2037 |
| **MEX-045D** | Cuauhtémoc - Osiris (Cuota) | 62.2 | 103.2 | 41 | 0 | 41 | 410 |
| **MEX-045D** | Lib. de Fresnillo (Cuota) | 49.7 | 69.1 | 19.4 | 0.1 | 19.3 | 194 |
| **MEX-049** | Gómez Palacio - Jiménez | 5.7 | 188.9 | 183.2 | 4.3 | 178.9 | 1832 |
| **MEX-049** | San Luis Potosí - Entronque Arcinas | 9.7 | 163.7 | 154 | 2.1 | 151.9 | 1540 |
| **MEX-049** | Entronque La Chicharrona - Cuencamé | 0 | 199.7 | 199.7 | 0 | 199.7 | 1997 |
| **MEX-049** | Lib. Exterior de Cuencamé | 0 | 8.3 | 8.3 | 0 | 8.3 | 83 |
| **MEX-049D** | Gómez Palacio - Jiménez (Cuota) | 32.8 | 233.2 | 200.4 | 12.4 | 188 | 2004 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **MEX-051** | Dolores Hidalgo - Ojuelos de Jalisco | 87.6 | 199.1 | 111.5 | 1.6 | 109.9 | 1115 |
| **MEX-051** | Salvatierra - Entronque Yuriria | 1.2 | 29.7 | 28.5 | 0 | 28.5 | 285 |
| **MEX-051** | Acámbaro - Celaya | 58.5 | 123.9 | 65.4 | 3.4 | 62 | 654 |
| **MEX-051** | San Miguel de Allende - Dolores Hidalgo | 52.4 | 85.7 | 33.3 | 0.3 | 33 | 333 |
| **MEX-051** | Huajúmbaro - Zinapécuaro | 0.2 | 33.9 | 33.7 | 0 | 33.7 | 337 |
| **MEX-053** | Monterrey - Castaños | 0 | 156 | 156 | 3.7 | 152.3 | 1558 |
| **MEX-054** | Colima - Ciudad Guzmán | 3 | 63 | 60 | 0.6 | 59.4 | 600 |
| **MEX-054** | Monterrey - Mier | 12.8 | 155.5 | 142.7 | 14.7 | 128 | 1427 |
| **MEX-054** | Entronque Morelos - Saltillo | 0.1 | 350.5 | 350.4 | 7.5 | 342.9 | 3504 |
| **MEX-054** | Guadalajara - Zacatecas | 6 | 310.5 | 304.5 | 0.9 | 303.6 | 3045 |
| **MEX-054** | Cuatro Caminos - Cercaliza | 0.3 | 15.4 | 15.1 | 0 | 15.1 | 151 |
| **MEX-054D** | Acatlán de Juárez - Colima (Cuota) | 0.5 | 148.7 | 148.2 | 40.3 | 107.9 | 1482 |
| **MEX-055** | Toluca - Palmillas | 65.8 | 131.7 | 65.9 | 9.4 | 56.5 | 659 |
| **MEX-057** | Querétaro - San Luis Potosí | 0 | 202.9 | 202.9 | 16.3 | 186.6 | 2029 |
| **MEX-057** | Huachichil - La Encantada | 201.7 | 243.1 | 41.4 | 1 | 40.4 | 412 |
| **MEX-057** | Ojo Caliente - Santa Cruz | 0.2 | 33.9 | 33.7 | 0.7 | 33 | 337 |
| **MEX-057** | Saltillo - Monclova | 8.5 | 175.3 | 166.8 | 4.6 | 162.2 | 1668 |
| **MEX-057** | Monclova - Piedras Negras | 1.7 | 248.9 | 247.2 | 38 | 209.2 | 2205 |
| **MEX-057** | La Tembladora - El Encino | 0 | 18.8 | 18.8 | 0.1 | 18.7 | 188 |
| **MEX-057** | San Luis Potosí - Matehuala | 7.5 | 190.6 | 183.1 | 4.9 | 178.2 | 1831 |
| **MEX-057D** | Lib. Oriente de Saltillo (Cuota) | 0 | 21.2 | 21.2 | 0 | 21.2 | 212 |
| **MEX-057D** | Matehuala - Saltillo | 2.5 | 235.1 | 232.6 | 6.7 | 225.9 | 2326 |
| **MEX-057D** | México - Querétaro (Cuota) | 31.9 | 212.4 | 180.5 | 22.5 | 158 | 1805 |
| **MEX-057D** | Lechería - La Venta (Cuota) | 0 | 27.1 | 27.1 | 0 | 27.1 | 271 |
| **MEX-057D** | Lib. Noreste de Querétaro (Cuota) | 0 | 37 | 37 | 0.2 | 36.8 | 370 |
| **MEX-057D** | Lib. de San Luis Potosí | 0.5 | 33.5 | 33 | 0 | 33 | 330 |
| **MEX-057D** | Arco Norte de la Ciudad de México (Cuota) | 0.2 | 226 | 225.8 | 0.4 | 225.4 | 2258 |
| **MEX-057D** | Lib. de Matehuala | 0 | 14.5 | 14.5 | 0.3 | 14.2 | 145 |
| **MEX-068D** | Chapalilla - Compostela (Cuota) | 0 | 35.5 | 35.5 | 0 | 35.5 | 355 |
| **MEX-070** | Ojuelos - Aguascalientes | 1.2 | 78.7 | 77.5 | 3.7 | 73.8 | 775 |
| **MEX-070** | Aguascalientes - Jalpa | 3.4 | 90.5 | 87.1 | 8 | 79.1 | 871 |
| **MEX-070** | Ciudad Valles - Tampico | 3.8 | 135.1 | 131.3 | 20.5 | 110.8 | 1313 |
| **MEX-070** | Ciudad Valles - San Luis Potosí | 3.5 | 261.7 | 258.2 | 7 | 251.2 | 2582 |
| **MEX-070** | Lib. de Ciudad Valles | 0 | 12.2 | 12.2 | 0.6 | 11.6 | 122 |
| **MEX-070D** | Lib. Poniente de Tampico (Cuota) | 0.2 | 14.2 | 14 | 0 | 14 | 140 |
| **MEX-070D** | Lib. de Villa de Arriaga (Cuota) | 0 | 5.1 | 5.1 | 0 | 5.1 | 51 |
| **MEX-080** | San Luis Potosí - Lagos de Moreno | 10.5 | 155.2 | 144.7 | 2.6 | 142.1 | 1447 |
| **MEX-080** | Lagos de Moreno - Guadalajara | 37 | 187.8 | 150.8 | 0.7 | 150.1 | 1503 |
| **MEX-080** | Entronque Santa Cruz - Barra de Navidad | 258 | 261.5 | 3.5 | 3.5 | 0 | 35 |
| **MEX-080** | Tampico - Ciudad Mante | 14.8 | 155.1 | 140.3 | 13 | 127.3 | 1402 |
| **MEX-080** | Lib. de Lagos de Moreno | 0 | 12.6 | 12.6 | 0 | 12.6 | 126 |
| **MEX-080D** | Zapotlanejo - Lagos de Moreno (Cuota) | 0.1 | 148.1 | 148 | 0.6 | 147.4 | 1480 |
| **MEX-081** | González - Llera de Canales | 0.2 | 88.1 | 87.9 | 2.8 | 85.1 | 879 |
| **MEX-083** | Ignacio Zaragoza - T. C. (Ciudad Victoria - Monterrey) | 0.4 | 92.6 | 92.2 | 0 | 92.2 | 922 |
| **MEX-085** | Portezuelo - Ciudad Valles | 82.2 | 378.1 | 295.9 | 0.6 | 295.3 | 2959 |
| **MEX-085** | México - Pachuca | 12.1 | 89.6 | 77.5 | 23.1 | 54.4 | 774 |
| **MEX-085** | Ciudad Victoria - Monterrey | 3.7 | 273 | 269.3 | 14.4 | 254.9 | 2623 |
| **MEX-085** | Monterrey - Nuevo Laredo | 13.8 | 221.5 | 207.7 | 45.7 | 162 | 1780 |
| **MEX-085** | Entronque Colonia - Portezuelo | 0 | 82.5 | 82.5 | 9.7 | 72.8 | 825 |
| **MEX-085D** | México - Tizayuca (Cuota) | 12 | 57.9 | 45.9 | 0.8 | 45.1 | 459 |
| **MEX-085D** | Monterrey - Nuevo Laredo (Cuota) | 24.5 | 175.3 | 150.8 | 8.5 | 142.3 | 1508 |
| **MEX-087** | Entronque Jorobas - Tula | 0 | 31.7 | 31.7 | 1.7 | 30 | 317 |
| **MEX-088** | Pachuca - Ciudad Sahagún | 4.5 | 45.6 | 41.1 | 4.2 | 36.9 | 411 |
| **MEX-088** | Ciudad Sahagún - T. C. (Calpulalpan - El Ocote) | 0 | 18.1 | 18.1 | 8.6 | 9.5 | 181 |
| **MEX-090** | Irapuato - Guadalajara | 2 | 216.4 | 214.4 | 17.4 | 197 | 2027 |
| **MEX-090** | La Piedad - El Salto | 0 | 10.9 | 10.9 | 0.8 | 10.1 | 109 |
| **MEX-090D** | Zapotlanejo - Guadalajara (Cuota) | 0 | 26.3 | 26.3 | 0.5 | 25.8 | 263 |
| **MEX-095** | México - Cuernavaca | 18.8 | 71.1 | 52.3 | 0 | 52.3 | 523 |
| **MEX-095** | Cuernavaca - Chilpancingo | 5 | 223.2 | 218.2 | 9.9 | 208.3 | 2179 |
| **MEX-095** | Chilpancingo - Acapulco | 0 | 120.6 | 120.6 | 0.2 | 120.4 | 1206 |
| **MEX-095** | Lib. Norte de Acapulco | 0 | 20.9 | 20.9 | 0 | 20.9 | 209 |
| **MEX-095** | Lib. de Cuernavaca | 80.5 | 94.9 | 14.4 | 0 | 14.4 | 144 |
| **MEX-095D** | México - Cuernavaca (Cuota) | 19 | 80.5 | 61.5 | 0 | 61.5 | 615 |
| **MEX-095D** | Puente de Ixtla - Iguala (Cuota) | 0 | 62.9 | 62.9 | 0.2 | 62.7 | 629 |
| **MEX-095D** | Cuernavaca - Acapulco (Cuota) | 95 | 368.3 | 273.3 | 12.4 | 260.9 | 2627 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **MEX-095D** | Zacapalco - Rancho Viejo (Cuota) | 0 | 17 | 17 | 0 | 17 | 170 |
| **MEX-095D** | Rancho Viejo - Taxco (Cuota) | 0.2 | 8.1 | 7.9 | 0 | 7.9 | 79 |
| **MEX-101** | Lib. de Santander de Jiménez | 0 | 4.4 | 4.4 | 4.4 | 0 | 44 |
| **MEX-110** | Jiquilpan - Colima | 0 | 137.8 | 137.8 | 1.1 | 136.7 | 1378 |
| **MEX-110** | Colima - Entronque Tecomán | 0 | 39.5 | 39.5 | 4.4 | 35.1 | 395 |
| **MEX-110** | Guanajuato - Silao | 0.1 | 24.5 | 24.4 | 11.4 | 13 | 244 |
| **MEX-110** | Santa Teresa - T. C. (Irapuato - León) | 0 | 9.7 | 9.7 | 0 | 9.7 | 97 |
| **MEX-110** | San Luis de la Paz - Guanajuato | 42.6 | 48.9 | 6.3 | 6.3 | 0 | 63 |
| **MEX-110** | T. C. (Jiquilpan - Colima) - Huescalapa | 0.1 | 13.1 | 13 | 0 | 13 | 130 |
| **MEX-110** | Entronque Patti - Vista Hermosa | 0 | 41.7 | 41.7 | 0 | 41.7 | 417 |
| **MEX-110** | Briseñas - T. C. (Jiquilpan - Guadalajara) | 0 | 29.2 | 29.2 | 2 | 27.2 | 272 |
| **MEX-115** | Lib. de Cuautla | 0 | 7.1 | 7.1 | 0 | 7.1 | 71 |
| **MEX-117** | San Martín Texmelucan - Tlaxcala | 1.8 | 22.9 | 21.1 | 0 | 21.1 | 211 |
| **MEX-117D** | San Martín Texmelucan - Ocotoxco (Cuota) | 3.7 | 35.3 | 31.6 | 0.4 | 31.2 | 316 |
| **MEX-119** | Apizaco - Tejocotal | 0 | 113.4 | 113.4 | 0.3 | 113.1 | 1134 |
| **MEX-119** | Puebla - Tlaxcala | 4 | 38.1 | 34.1 | 6.5 | 27.6 | 341 |
| **MEX-121** | Puebla - Belem | 0.2 | 32.9 | 32.7 | 1.3 | 31.4 | 314 |
| **MEX-126** | Atlacomulco - Morelia | 30.8 | 170.6 | 139.8 | 2.6 | 137.2 | 1398 |
| **MEX-127** | Tihuatlán - Alazán | 0 | 57.1 | 57.1 | 3 | 54.1 | 571 |
| **MEX-130** | Pachuca - Tuxpan | 4.6 | 233.1 | 228.5 | 8.2 | 220.3 | 2285 |
| **MEX-132** | Venta de Carpio - T. C. (Pachuca - Tuxpan) | 5.5 | 85.2 | 79.7 | 2.4 | 77.3 | 796 |
| **MEX-132** | Lib. de Pirámides de Teotihuacán | 18.3 | 32.1 | 13.8 | 1 | 12.8 | 138 |
| **MEX-132D** | Tulancingo - Tuxpan (Cuota) | 84.1 | 261.9 | 177.8 | 84.9 | 92.9 | 944 |
| **MEX-132D** | Ecatepec - Pirámides de Teotihuacán (Cuota) | 0 | 22.2 | 22.2 | 0 | 22.2 | 222 |
| **MEX-135D** | Cuacnopalan - Oaxaca (Cuota) | 0 | 242.8 | 242.8 | 0.1 | 242.7 | 2427 |
| **MEX-136** | Los Reyes - Zacatepec | 0 | 188 | 188 | 49.3 | 138.7 | 1586 |
| **MEX-136** | Lib. Sur de Apizaco | 0 | 11 | 11 | 0 | 11 | 110 |
| **MEX-136** | Lib. Norte de Huamantla | 0 | 5.1 | 5.1 | 0.1 | 5 | 51 |
| **MEX-136** | Lib. Norte de Hueyotlipan | 0 | 3.2 | 3.2 | 0.6 | 2.6 | 32 |
| **MEX-136D** | Peñón - Texcoco (Cuota) | 0.1 | 16.2 | 16.1 | 0 | 16.1 | 161 |
| **MEX-140** | San Hipólito - Xalapa | 0 | 156.8 | 156.8 | 11.3 | 145.5 | 1566 |
| **MEX-140** | Xalapa - Veracruz | 0 | 106.2 | 106.2 | 4.3 | 101.9 | 1062 |
| **MEX-140D** | Amozoc - Perote (Cuota) | 0 | 104.9 | 104.9 | 0.2 | 104.7 | 1049 |
| **MEX-140D** | Lib. de Perote (Cuota) | 93.8 | 111.5 | 17.7 | 0.2 | 17.5 | 177 |
| **MEX-145** | Ciudad Alemán - Sayula | 1.7 | 136.4 | 134.7 | 0.4 | 134.3 | 1347 |
| **MEX-145** | La Tinaja - Santa Cruz | 0.1 | 78.4 | 78.3 | 0 | 78.3 | 783 |
| **MEX-145D** | La Tinaja - Acayucan (Cuota) | 0 | 189.6 | 189.6 | 7.3 | 182.3 | 1896 |
| **MEX-145D** | Acayucan - Cosoleacaque (Cuota) | 0 | 39.2 | 39.2 | 0 | 39.2 | 392 |
| **MEX-150** | México - Puebla | 1.2 | 103.4 | 102.2 | 15 | 87.2 | 1022 |
| **MEX-150** | Tehuacán - Córdoba | 0 | 80.3 | 80.3 | 25.6 | 54.7 | 802 |
| **MEX-150** | Puebla - Tehuacán | 5.8 | 118.3 | 112.5 | 7.5 | 105 | 1124 |
| **MEX-150** | Córdoba - Entronque Boticaria | 3.6 | 122.1 | 118.5 | 9.8 | 108.7 | 1185 |
| **MEX-150D** | México - Puebla (Cuota) | 17.4 | 127.9 | 110.5 | 1.8 | 108.7 | 1105 |
| **MEX-150D** | Puebla - Córdoba (Cuota) | 127.9 | 301.1 | 173.2 | 7.3 | 165.9 | 1724 |
| **MEX-150D** | Córdoba - Veracruz (Cuota) | 0 | 97.6 | 97.6 | 1.5 | 96.1 | 976 |
| **MEX-160** | Santa Bárbara - Izúcar de Matamoros | 0 | 138.3 | 138.3 | 20.7 | 117.6 | 1266 |
| **MEX-160** | Cuernavaca - Cuautlixco | 14.2 | 41.6 | 27.4 | 3.4 | 24 | 274 |
| **MEX-160D** | La Pera - Cuautla (Cuota) | 0 | 34.4 | 34.4 | 1.4 | 33 | 344 |
| **MEX-180** | Villahermosa - Ciudad del Carmen | 0 | 170.3 | 170.3 | 9.4 | 160.9 | 1703 |
| **MEX-180** | Campeche - Mérida | 9.8 | 159.1 | 149.3 | 21.1 | 128.2 | 1493 |
| **MEX-180** | Mérida - Puerto Juárez | 6.1 | 312.7 | 306.6 | 15.9 | 290.7 | 3066 |
| **MEX-180** | Coatzacoalcos - Villahermosa | 0 | 168.8 | 168.8 | 2.8 | 166 | 1688 |
| **MEX-180** | Tuxpan - Tampico | 0 | 185.8 | 185.8 | 3.7 | 182.1 | 1858 |
| **MEX-180** | Ciudad del Carmen - Campeche | 4.3 | 197.1 | 192.8 | 4.8 | 188 | 1928 |
| **MEX-180** | Lib. de Campeche | 0.3 | 26.1 | 25.8 | 0.4 | 25.4 | 258 |
| **MEX-180** | T. C. (Ciudad Victoria - Soto La Marina) - La Coma | 145.6 | 232.6 | 87 | 0.1 | 86.9 | 870 |
| **MEX-180** | Ciudad Victoria - Matamoros | 2 | 311.5 | 309.5 | 21 | 288.5 | 2959 |
| **MEX-180** | Est. Manuel - T. C. (Ciudad Victoria - Soto La Marina) | 0 | 145.6 | 145.6 | 16 | 129.6 | 1456 |
| **MEX-180** | Tamarindo - José Cardel | 54.1 | 68.1 | 14 | 2.1 | 11.9 | 140 |
| **MEX-180** | Paso del Toro - Acayucan | 0 | 228.2 | 228.2 | 5.3 | 222.9 | 2282 |
| **MEX-180** | Lib. de Cardel | 0 | 2.4 | 2.4 | 0 | 2.4 | 24 |
| **MEX-180** | Ent. Poxila - Mérida | 0 | 20.6 | 20.6 | 0 | 20.6 | 206 |
| **MEX-180** | Lib. de San Fernando | 0 | 26.4 | 26.4 | 0 | 26.4 | 264 |
| **MEX-180** | Lib. de San Germán | 0 | 4.2 | 4.2 | 0 | 4.2 | 42 |
| **MEX-180** | Lib. de Francisco Villa | 0 | 6.4 | 6.4 | 0 | 6.4 | 64 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **MEX-180D** | Kantunil - Cancún (Cuota) | 65.5 | 306.5 | 241 | 0 | 241 | 2410 |
| **MEX-180D** | Ent. Villa Madero - Campeche (Cuota) | 160.1 | 199.6 | 39.5 | 0.1 | 39.4 | 395 |
| **MEX-180D** | El Palmar - Tihuatlán (Cuota) | 181 | 219 | 38 | 0.9 | 37.1 | 380 |
| **MEX-180D** | Poza Rica - Veracruz | 7.9 | 241.1 | 233.2 | 0.8 | 232.4 | 2332 |
| **MEX-180D** | Ent. Agua Dulce - Ent. Chontalpa (Cuota) | 45.4 | 99.1 | 53.7 | 0 | 53.7 | 537 |
| **MEX-180D** | Nuevo Teapa - Cosoleacaque (Cuota) | 0 | 35.1 | 35.1 | 1.1 | 34 | 351 |
| **MEX-184** | Muna - Felipe Carrillo Puerto | 109.9 | 218.8 | 108.9 | 1.8 | 107.1 | 1089 |
| **MEX-185** | Coatzacoalcos - Salina Cruz | 2.8 | 299.7 | 296.9 | 23.5 | 273.4 | 2969 |
| **MEX-185D** | Salina Cruz - La Ventosa (Cuota) | 0.7 | 82.1 | 81.4 | 0 | 81.4 | 814 |
| **MEX-186** | Villahermosa - Francisco Escárcega | 0 | 299.1 | 299.1 | 14.3 | 284.8 | 2989 |
| **MEX-186** | Francisco Escárcega - Chetumal | 0.1 | 270.6 | 270.5 | 2.6 | 267.9 | 2705 |
| **MEX-187** | Malpaso - El Bellote | 15 | 183.9 | 168.9 | 0.1 | 168.8 | 1689 |
| **MEX-187D** | Las Choapas - Ocozocoautla (Cuota) | 1 | 197.5 | 196.5 | 4.6 | 191.9 | 1965 |
| **MEX-188** | Haltunchén - San Antonio Cayal | 0 | 74.8 | 74.8 | 0.1 | 74.7 | 748 |
| **MEX-188** | Chencoyi - Tenabo | 0 | 27.4 | 27.4 | 0 | 27.4 | 274 |
| **MEX-190** | Puebla - Huajuapan de León | 3.2 | 217.3 | 214.1 | 13.5 | 200.6 | 2081 |
| **MEX-190** | San Pedro Tapanatepec - Tuxtla Gutiérrez | 0 | 147 | 147 | 9 | 138 | 1398 |
| **MEX-190** | Tuxtla Gutiérrez - Ciudad Cuauhtémoc | 4.7 | 253.3 | 248.6 | 7.6 | 241 | 2486 |
| **MEX-190** | Paso por Berriozábal | 0 | 21.1 | 21.1 | 0 | 21.1 | 211 |
| **MEX-190** | Lib. de Ocozocoautla | 0 | 9.3 | 9.3 | 0 | 9.3 | 93 |
| **MEX-190** | Huajuapan de León - Oaxaca | 0 | 190.9 | 190.9 | 0.5 | 190.4 | 1908 |
| **MEX-190** | Oaxaca - Tehuantepec | 0 | 250.7 | 250.7 | 8.6 | 242.1 | 2507 |
| **MEX-190** | La Ventosa - San Pedro Tapanatepec | 0 | 91.4 | 91.4 | 0.4 | 91 | 914 |
| **MEX-190D** | Tuxtla Gutiérrez - San Cristóbal de las Casas (Cuota) | 0 | 46.1 | 46.1 | 0 | 46.1 | 461 |
| **MEX-190D** | Arriaga - Ocozocoautla (Cuota) | 0 | 92.9 | 92.9 | 0.2 | 92.7 | 929 |
| **MEX-195** | Villahermosa - Escopetazo | 5 | 254.5 | 249.5 | 0 | 249.5 | 2495 |
| **MEX-195** | Las Cruces - Arriaga | 0 | 47 | 47 | 0 | 47 | 470 |
| **MEX-199** | Catazajá - T. C. (Tuxtla Gutiérrez - Ciudad Cuauhtémoc) | 0 | 226.7 | 226.7 | 0 | 226.7 | 2267 |
| **MEX-200** | Tepic - Puerto Vallarta | 0.2 | 158.8 | 158.6 | 31.2 | 127.4 | 1586 |
| **MEX-200** | Manzanillo - T. C. (Ent. Santa Cruz - Barra de Navidad) | 19.2 | 59 | 39.8 | 0.3 | 39.5 | 398 |
| **MEX-200** | Las Cruces - Stgo. Pinotepa Nacional | 0 | 252.1 | 252.1 | 9.6 | 242.5 | 2521 |
| **MEX-200** | Tapanatepec - Talismán | 0 | 308.8 | 308.8 | 8.7 | 300.1 | 3087 |
| **MEX-200** | Zihuatanejo - La Mira | 0.6 | 121.8 | 121.2 | 6.2 | 115 | 1212 |
| **MEX-200** | Entronque Playa Azul - Manzanillo | 0 | 313.4 | 313.4 | 15.5 | 297.9 | 3132 |
| **MEX-200** | Lib. de Manzanillo | 0 | 5.2 | 5.2 | 0 | 5.2 | 52 |
| **MEX-200** | Ramal a Ciudad Hidalgo | 0 | 27.6 | 27.6 | 1.1 | 26.5 | 276 |
| **MEX-200** | Acapulco - Zihuatanejo | 0 | 239.2 | 239.2 | 3.8 | 235.4 | 2392 |
| **MEX-200** | Melaque - Puerto Vallarta | 0 | 213.5 | 213.5 | 11.6 | 201.9 | 2135 |
| **MEX-200** | Stgo. Pinotepa Nacional - Salina Cruz | 1.4 | 392.9 | 391.5 | 2.4 | 389.1 | 3915 |
| **MEX-200D** | Lib. de Manzanillo (Cuota) | 91.5 | 110.7 | 19.2 | 0.4 | 18.8 | 192 |
| **MEX-200D** | Armería - Manzanillo (Cuota) | 44.1 | 90.2 | 46.1 | 0 | 46.1 | 461 |
| **MEX-200D** | Lib. de Técpan de Galeana (Cuota) | 102 | 105.9 | 3.9 | 3.9 | 0 | 39 |
| **MEX-211** | Huixtla - El Jocote | 0 | 124 | 124 | 1.1 | 122.9 | 1240 |
| **MEX-225** | Tapachula - Puerto Madero | 0 | 28.2 | 28.2 | 5.3 | 22.9 | 282 |
| **MEX-225** | T. C. (Tapachula - Puerto Madero) - Ciudad Hidalgo | 0 | 40.4 | 40.4 | 0.1 | 40.3 | 404 |
| **MEX-261** | Campeche - Umán | 8 | 233.6 | 225.6 | 0 | 225.6 | 2256 |
| **MEX-261** | Francisco Escárcega - Champotón | 0 | 81.5 | 81.5 | 3.9 | 77.6 | 815 |
| **MEX-261** | Mérida - Progreso | 9 | 34.4 | 25.4 | 0 | 25.4 | 254 |
| **MEX-307** | Palenque - Montebello | 0 | 421.3 | 421.3 | 0 | 421.3 | 4213 |
| **MEX-307** | La Trinitaria - Montebello | 0 | 26.3 | 26.3 | 0 | 26.3 | 263 |
| **MEX-307** | Reforma Agraria - Puerto Juárez | 0 | 357.4 | 357.4 | 17.5 | 339.9 | 3574 |

Cuadro A.2 Diccionario de datos

| Campo | Descripción | Tipo | Ancho | Decimal |
|---|---|---|---|---|
| **id_t100** | Identificador de registros (base original de iRAP) | Numérico | 6 | 0 |
| **id_seg100** | Identificador de segmentos de 100 metros de longitud | Numérico | 12 | 0 |
| **id_seg1000** | Identificador de segmentos de 1000 metros de longitud | Numérico | 12 | 0 |
| **id_seg5000** | Identificador de segmentos de 5000 metros de longitud | Numérico | 12 | 0 |
| **Id_unico** | Identificador de segmentos de longitud variable | Numérico | 9 | 0 |
| **entidad** | Entidad federativa | Texto | 2 | - |
| **id_ruta** | Identificador de ruta | Texto | 7 | - |
| **cuota** | Carretera de cuota (peaje) | Texto | 1 | - |
| **id_carr** | Identificador de carretera | Texto | 5 | - |
| **nom_carr** | Nombre de carretera | Texto | 90 | - |
| **nom_tramo** | Nombre de tramo | Texto | 99 | - |
| **sentido** | Sentido de circulación | Numérico | 1 | 0 |
| **kmi** | Kilómetro inicial de segmento | Numérico | 7 | 3 |
| **kmf** | Kilómetro final de segmento | Numérico | 7 | 3 |
| **distance** | Distancia de levantamiento iRAP | Numérico | 5 | 1 |
| **long_seg** | Longitud total del segmento (kmf - kmi) | Numérico | 7 | 3 |
| **long_obras** | Longitud en obras de construcción | Numérico | 7 | 3 |
| **long_disc** | Longitud en discontinuidades del levantamiento iRAP | Numérico | 7 | 3 |
| **long_perd** | Longitud perdida y excluída del análisis (long_obras + long_disc) | Numérico | 7 | 3 |
| **long_efec** | Longitud efectiva para el análisis (long_seg - long_perd) | Numérico | 7 | 3 |
| **latitude** | Coordenada geográfica | Numérico | 12 | 6 |
| **longitude** | Coordenada geográfica | Numérico | 12 | 6 |
| **grupo** | Grupo de clasificación de la muestra | Numérico | 1 | 0 |
| **ncarril** | Números de carriles (DGCC) | Numérico | 2 | 0 |
| **calif** | Clasificación Oficial de la SCT | Texto | 8 | 0 |
| **tdpa_10** | Tránsito Diario Promedio Anual correspondiente al año 2010 | Numérico | 5 | 0 |
| **tdpa_11** | Tránsito Diario Promedio Anual correspondiente al año 2011 | Numérico | 5 | 0 |
| **tdpa_12** | Tránsito Diario Promedio Anual correspondiente al año 2012 | Numérico | 5 | 0 |
| **tdpa_13** | Tránsito Diario Promedio Anual correspondiente al año 2013 | Numérico | 5 | 0 |
| **carriage_w** | Tipo de calzada de la vía (dividida o no dividida) | Numérico | 2 | 0 |
| **area_type** | Tipo de área (urbana o rural) | Numérico | 2 | 0 |
| **speedlim** | Límite de velocidad para vehículos | Numérico | 2 | 0 |
| **diff_speed** | Diferencial de velocidad entre vehículos ligeros y pesados | Numérico | 2 | 0 |
| **mediantype** | Tipo de mediana o franja separadora | Numérico | 2 | 0 |
| **cline_rs** | Bandas alertadoras centrales | Numérico | 2 | 0 |
| **rdside_sdd** | Zonas laterales - Distancia al obstáculo del lado del conductor (izquierdo) | Numérico | 2 | 0 |
| **rdside_sod** | Zonas laterales - Tipo de obstáculo del lado del conductor (izquierdo) | Numérico | 2 | 0 |
| **rdside_sdp** | Zonas laterales - Distancia al obstáculo del lado del pasajero (derecho) | Numérico | 2 | 0 |
| **rdside_sop** | Zonas laterales - Tipo de obstáculo del lado del pasajero (derecho) | Numérico | 2 | 0 |
| **shlder_rs** | Bandas alertadoras laterales | Numérico | 2 | 0 |
| **pashlder_d** | Ancho de acotamiento del lado del conductor (izquierdo) | Numérico | 2 | 0 |
| **pashlder_p** | Ancho de acotamiento del lado del pasajero (derecho) | Numérico | 2 | 0 |
| **int_type** | Tipo de intersección | Numérico | 2 | 0 |
| **int_chann** | Canalización de la intersección | Numérico | 2 | 0 |
| **int_volume** | Volumen de tránsito de la vía intersectada | Numérico | 2 | 0 |
| **int_qty** | Calidad de la intersección (incluye señalamiento vertical) | Numérico | 2 | 0 |
| **prop_acc** | Accesos a propiedades aledañas a la carretera | Numérico | 2 | 0 |
| **num_lanes** | Número de carriles registrados por iRAP | Numérico | 2 | 0 |
| **lane_width** | Ancho de carril | Numérico | 2 | 0 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **curvature** | Curvatura horizontal | Numérico | 2 | 0 |
| **curve_qty** | Calidad de la curva (incluye señalamiento vertical) | Numérico | 2 | 0 |
| **grade** | Pendiente | Numérico | 2 | 0 |
| **road_cond** | Condición de la superficie de rodamiento | Numérico | 2 | 0 |
| **skid_resis** | Resistencia al deslizamiento/fricción de la superficie de rodamiento | Numérico | 2 | 0 |
| **dlineation** | Calidad de la delineación (señalamiento horizontal) | Numérico | 2 | 0 |
| **strt_light** | Alumbrado artificial de la vía | Numérico | 2 | 0 |
| **speed_mgmt** | Gestión de la velocidad / reductores de velocidad | Numérico | 2 | 0 |
| **service_rd** | Calles laterales a la carretera | Numérico | 2 | 0 |
| **roadworks** | Obras en construcción | Numérico | 2 | 0 |
| **sight_dist** | Restricción de la distancia de visibilidad | Numérico | 2 | 0 |
| **veh_flow** | Flujo de tránsito (TDPA) registrado por iRAP | Numérico | 5 | 0 |
| **opspeed_85** | Velocidad de operación - percentil 85 | Numérico | 2 | 0 |
| **opspeed_m** | Velocidad de operación - media | Numérico | 2 | 0 |
| **csr_roff_d** | Puntaje de protección de la vía (PPV) para salidas del camino del lado del conductor (izquierdo) | Numérico | 15 | 9 |
| **csr_roff_p** | Puntaje de protección de la vía (PPV) para salidas del camino del lado del pasajero (derecho) | Numérico | 15 | 9 |
| **csr_hdon** | Puntaje de protección de la vía (PPV) para choques de frente por pérdida de control | Numérico | 15 | 9 |
| **csr_hdonov** | Puntaje de protección de la vía (PPV) para choques de frente por rebase | Numérico | 15 | 9 |
| **csr_inter** | Puntaje de protección de la vía (PPV) para choques en intersecciones | Numérico | 15 | 9 |
| **csr_propac** | Puntaje de protección de la vía (PPV) para choques en accesos a propiedades | Numérico | 15 | 9 |
| **csr** | Puntaje de protección de la vía (PPV) total | Numérico | 15 | 9 |
| **csr_smth** | Puntaje de protección de la vía (PPV) total (homogeneizado) | Numérico | 15 | 9 |
| **csrs** | Clasificación por estrellas para ocupantes de vehículos | Numérico | 1 | 0 |
| **csrs_smth** | Clasificación por estrellas para ocupantes de vehículos (homogeneizada) | Numérico | 1 | 0 |
| **id_carrkm** | Identificador de carretera por kilómetro | Numérico | 11 | 0 |
| **id_carrkms** | Identificador de carretera por kilómetro y por sentido de circulación | Numérico | 12 | 0 |
| **am10** | Número de accidentes con muertos ocurridos en 2010 | Numérico | 4 | 0 |
| **m10** | Número de muertos en 2010 | Numérico | 4 | 0 |
| **al10** | Número de accidentes con lesionados ocurridos en 2010 | Numérico | 4 | 0 |
| **l10** | Número de lesionados en 2010 | Numérico | 4 | 0 |
| **ad10** | Número de accidentes con daños materiales ocurridos en 2010 | Numérico | 4 | 0 |
| **d10** | Daños materiales en 2010 | Numérico | 18 | 0 |
| **acv10** | Número de accidentes con víctimas ocurridos en 2010 | Numérico | 4 | 0 |
| **at10** | Número de accidentes totales ocurridos en 2010 | Numérico | 4 | 0 |
| **am11** | Número de accidentes con muertos ocurridos en 2011 | Numérico | 4 | 0 |
| **m11** | Número de muertos en 2011 | Numérico | 4 | 0 |
| **al11** | Número de accidentes con lesionados ocurridos en 2011 | Numérico | 4 | 0 |
| **l11** | Número de lesionados en 2011 | Numérico | 4 | 0 |
| **ad11** | Número de accidentes con daños materiales ocurridos en 2011 | Numérico | 4 | 0 |
| **d11** | Daños materiales en 2011 | Numérico | 18 | 0 |
| **acv11** | Número de accidentes con víctimas ocurridos en 2011 | Numérico | 4 | 0 |
| **at11** | Número de accidentes totales ocurridos en 2011 | Numérico | 4 | 0 |
| **am12** | Número de accidentes con muertos ocurridos en 2012 | Numérico | 4 | 0 |
| **m12** | Número de muertos en 2012 | Numérico | 4 | 0 |
| **al12** | Número de accidentes con lesionados ocurridos en 2012 | Numérico | 4 | 0 |
| **l12** | Número de lesionados en 2012 | Numérico | 4 | 0 |
| **ad12** | Número de accidentes con daños materiales ocurridos en 2012 | Numérico | 4 | 0 |
| **d12** | Daños materiales en 2012 | Numérico | 18 | 0 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **acv12** | Número de accidentes con víctimas ocurridos en 2012 | Numérico | 4 | 0 |
| **at12** | Número de accidentes totales ocurridos en 2012 | Numérico | 4 | 0 |
| **am13** | Número de accidentes con muertos ocurridos en 2013 | Numérico | 4 | 0 |
| **m13** | Número de muertos en 2013 | Numérico | 4 | 0 |
| **al13** | Número de accidentes con lesionados ocurridos en 2013 | Numérico | 4 | 0 |
| **l13** | Número de lesionados en 2013 | Numérico | 4 | 0 |
| **ad13** | Número de accidentes con daños materiales ocurridos en 2013 | Numérico | 4 | 0 |
| **d13** | Daños materiales en 2013 | Numérico | 18 | 0 |
| **acv13** | Número de accidentes con víctimas ocurridos en 2013 | Numérico | 4 | 0 |
| **at13** | Número de accidentes totales ocurridos en 2013 | Numérico | 4 | 0 |
| **am** | Número de accidentes totales con muertos | Numérico | 4 | 0 |
| **m** | Número de muertos totales | Numérico | 4 | 0 |
| **al** | Número de accidentes totales con lesionados | Numérico | 4 | 0 |
| **l** | Número de lesionados totales | Numérico | 4 | 0 |
| **ad** | Número de accidentes totales con daños materiales | Numérico | 4 | 0 |
| **d** | Daños materiales totales | Numérico | 18 | 0 |
| **acv** | Número de accidentes con víctimas totales | Numérico | 4 | 0 |
| **at** | Número de accidentes totales | Numérico | 4 | 0 |