

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**DETERMINACIÓN DE SEGMENTOS CON POTENCIAL DE
MEJORA UTILIZANDO FUNCIONES DE DESEMPEÑO DE
SEGURIDAD VIAL: CASO DE CARRETERA A COMALAPA**

PRESENTADO POR:

RAFAEL ANTONIO MORÁN REYES

CARLOS JAVIER MORÁN GUTIÉRREZ

BENITO JONATHAN SORTO GARCÍA

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL DE 2019

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

MSc. CRISTOBAL HERNAN RIOS BENITEZ

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR:

ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título:

**DETERMINACIÓN DE SEGMENTOS CON POTENCIAL DE
MEJORA UTILIZANDO FUNCIONES DE DESEMPEÑO DE
SEGURIDAD VIAL: CASO DE CARRETERA A COMALAPA**

Presentado por:

RAFAEL ANTONIO MORÁN REYES

CARLOS JAVIER MORÁN GUTIÉRREZ

BENITO JONATHAN SORTO GARCÍA

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores:

ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA

ING. SAÚL ANTONIO CASTELAR CONTRERAS

SAN SALVADOR, ABRIL DE 2019

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores:

ING. MAURICIO ERNESTO VALENCIA

ING. SAÚL ANTONIO CASTELAR CONTRERAS

CONTENIDO

| | |
|--------------------------|-----------|
| INTRODUCCION..... | iv |
|--------------------------|-----------|

CAPITULO 1 - GENERALIDADES

| | |
|--------------------------------------|----|
| 1.1. ANTECEDENTES..... | 2 |
| 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 7 |
| 1.3. OBJETIVOS..... | 10 |
| 1.4. ALCANCES..... | 12 |
| 1.5. LIMITACIONES..... | 13 |
| 1.6. JUSTIFICACION..... | 14 |

CAPITULO 2 – CONCEPTOS GENERALES

| | |
|--|----|
| 2.1 CONCEPTOS GENERALES..... | 17 |
| 2.2 SEGURIDAD VIAL..... | 21 |
| 2.3 FACTORES QUE AFECTAN LA SEGURIDAD VIAL..... | 28 |
| 2.4 HIGHWAY SAFETY MANUAL..... | 36 |
| 2.5 DEFINICIONES ESTADISTICAS BASICAS..... | 43 |
| 2.6 DEFINICIONES UTILIZADAS POR EL METODO PREDICTIVO DEL HSM..... | 49 |

CAPITULO 3 – METODOLOGIA

| | |
|--|----|
| 3.1 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION A REALIZAR..... | 55 |
| 3.2 PROCESO DE GESTION DE CARRETERAS AASHTO..... | 61 |
| 3.3 EXCESO DE FRECUENCIA DE CHOQUES CON AJUSTE DE BAYES EMPIRICO..... | 74 |

CAPITULO 4 – DESCRIPCION DE LOS DATOS

| | |
|----------------------------------|-----|
| 4.1 DATOS DE LOS CHOQUES..... | 85 |
| 4.2 DATOS DE LOS SEGMENTOS..... | 95 |
| 4.3 ESTADISTICA DESCRIPTIVA..... | 129 |

CAPITULO 5 – REGRESION BINOMIAL NEGATIVA

| | |
|---|-----|
| 5.1 REGRESION BINOMIAL NEGATIVA EN DEDUCER DE R Y ANALISIS DE RESULTADOS..... | 133 |
| 5.2 MODELACION DE DATOS PARA DETERMINAR PARAMETROS DE LA REGRESION BINOMIAL NEGATIVA EN R DEDUCER..... | 134 |
| 5.3 EXCLUYENDO VARIABLES INNECESARIAS (CORRELATION WITHOUT CAUSATION)..... | 137 |

| | |
|---|------------|
| 5.4 COMO SE DETERMINA LA CORRELACION..... | 139 |
| 5.5 PRUEBAS UTILIZANDO EL PROGRAMA DEDUCER R..... | 150 |
| 5.6 EXCESO DE FRECUENCIA DE CHOQUES DE BAYES EMPIRICO: RESULTADOS..... | 166 |
| CAPITULO 6- MEDIDAS DE MITIGACION | |
| 6.1 MEDIDAD DE MEJORAMIENTO..... | 175 |
| 6.2 DESCRIPCION DE LOS SEGMENTOS SELECCIONADOS Y MEDIDAS PROPUESTAS..... | 176 |
| CAPITULO 7- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | |
| 7.1 CONCLUSIONES EN CUANTO A LA METODOLOGIA..... | 212 |
| 7.2 CONCLUSIONES EN CUANTO AL ANALISIS DE DATOS..... | 214 |
| 7.3 CONCLUSIONES EN CUANTO A LOS RESULTADOS..... | 215 |
| 7.4 CONCLUSIONES DE APORTES..... | 217 |
| 7.5 RECOMENDACIONES | 219 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 221 |

AGRADECIMIENTOS:

Yo: Rafael Antonio Morán Reyes, agradezco de todo corazón:

A DIOS: Todopoderoso, por brindarme siempre los caminos y la luz a seguir para lograr llegar a esta meta que fue tan anhelada por mí.

A MIS PADRES: Guillermo José Moran Orellana y Carmen Cecilia Reyes de Morán, por darme la vida y la oportunidad de cumplir mi sueño de ser un profesional, por ser los pilares fundamentales para culminar mis estudios, brindándome su amor incondicional, demostrándomelo con su apoyo moral y económico, porque padres como ustedes no hay en este mundo. Los amo padres con toda mi alma y corazón y sé que de igual forma lo hacen conmigo.

A MI FAMILIA: Mis hermanos, Guillermo José Morán, Adriana Cecilia Morán y Carmen Elena Morán, por alegrarse conmigo cada vez que lograba un avance con éxito en este trabajo de graduación, demostrándome que somos los mejores hermanos del mundo. Además, a todos mis familiares que estuvieron pendientes del desarrollo de mi trabajo de graduación, mostrándome su cariño inmenso, mis abuelitos, mis primos y primas, mis tías y tíos, a los cuales quiero y aprecio mucho.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS: Carlos Javier Morán Gutiérrez y Jonathan Benito Sorto García; por ser únicos y excepcionales en este trabajo que realizamos juntos, por que aprendimos mucho todos de todos y por apoyarnos mutuamente en cada proceso. Gracias, compañeros por ser tan pacientes y por la disciplina con el trabajo realizado llegando con éxito hasta el final. Estoy seguro que seguiremos siendo grandes amigos y seremos excelentes profesionales.

A MIS ASESORES: Ing. Mauricio Ernesto Valencia e Ing. Saúl Antonio Castelar Contreras, porque junto a nuestro grupo de trabajo de graduación tomaron este reto para llevarlo adelante, brindándonos sus conocimientos y estando dispuestos a ayudarnos en todo para lograr este gran triunfo.

Yo: Carlos Javier Morán Gutiérrez, agradezco de todo corazón:

A DIOS: Todopoderoso, por brindarme siempre los caminos y la luz a seguir para lograr llegar a esta meta que fue tan anhelada por mí.

A MIS PADRES: José Eliseo Morán Melara y María Sara Gutiérrez de Morán, por darme la vida y la oportunidad de cumplir mi sueño de ser un profesional, por ser los pilares fundamentales para culminar mis estudios, brindándome su amor incondicional, demostrándomelo con su apoyo moral y económico, porque padres como ustedes no hay en este mundo. Los amo padres con toda mi alma y corazón y sé que de igual forma lo hacen conmigo.

A MI FAMILIA: Mis hermanos, Jonathan Eliseo y Jorge Luis Morán Gutiérrez, por alegrarse conmigo cada vez que lograba un avance con éxito en este trabajo de graduación, demostrándome que somos los mejores hermanos del mundo. Además, a todos mis familiares que estuvieron pendientes del desarrollo de mi trabajo de graduación, mostrándome su cariño inmenso, mis abuelitos, mis primos y primas, mis tías y tíos, a los cuales quiero y aprecio mucho.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS: Rafael Antonio Morán Reyes y Benito Jonathan Sorto García; por ser únicos y excepcionales en este trabajo que realizamos juntos, por que aprendimos mucho todos de todos y por apoyarnos mutuamente en cada proceso. Gracias, compañeros por ser tan pacientes y por la disciplina con el trabajo realizado llegando con éxito hasta el final. Estoy seguro que seguiremos siendo grandes amigos y seremos excelentes profesionales.

A MIS ASESORES: Ing. Mauricio Ernesto Valencia e Ing. Saúl Antonio Castelar Contreras, porque junto a nuestro grupo de trabajo de graduación tomaron este reto para llevarlo adelante, brindándonos sus conocimientos y estando dispuestos a ayudarnos en todo para lograr este gran triunfo.

Yo: Benito Jonathan Sorto García, agradezco de todo corazón:

A DIOS: Todopoderoso, por brindarme siempre los caminos y la luz a seguir para lograr llegar a esta meta que fue tan anhelada por mí.

A MIS PADRES: Benito Sorto Melgar y Dora Alicia García de Sorto, por darme la vida y la oportunidad de cumplir mi sueño de ser un profesional, por ser los pilares fundamentales para culminar mis estudios, brindándome su amor incondicional, demostrándomelo con su apoyo moral y económico, porque padres como ustedes no hay en este mundo. Los amo padres con toda mi alma y corazón y sé que de igual forma lo hacen conmigo.

A MI FAMILIA: Mis hermanos, Josué Natanael Sorto, Doris Elizabeth Sorto y David Salomón Sorto, por alegrarse conmigo cada vez que lograba un avance con éxito en este trabajo de graduación, demostrándome que somos los mejores hermanos del mundo. Además, a todos mis familiares que estuvieron pendientes del desarrollo de mi trabajo de graduación, mostrándome su cariño inmenso, mis abuelitos, mis primos y primas, mis tías y tíos, a los cuales quiero y aprecio mucho.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS: Rafael Antonio Morán Reyes y Carlos Javier Morán Gutiérrez; por ser únicos y excepcionales en este trabajo que realizamos juntos, por que aprendimos mucho todos de todos y por apoyarnos mutuamente en cada proceso. Gracias, compañeros por ser tan pacientes y por la disciplina con el trabajo realizado llegando con éxito hasta el final. Estoy seguro que seguiremos siendo grandes amigos y seremos excelentes profesionales.

A MIS ASESORES: Ing. Mauricio Ernesto Valencia e Ing. Saúl Antonio Castelar Contreras, porque junto a nuestro grupo de trabajo de graduación tomaron este reto para llevarlo adelante, brindándonos sus conocimientos y estando dispuestos a ayudarnos en todo para lograr este gran triunfo.

INTRODUCCIÓN

La seguridad vial es un factor fundamental para la minimización y prevención de siniestros viales y sus efectos, especialmente para el cuidado, la vida y la salud de las personas. Miles de usuarios se exponen día a día al tránsito vehicular y peatonal por diferentes caminos del país, siendo estos vulnerables a un hecho no deseado en el tránsito cotidiano, un conjunto de reglas por parte de las instituciones encargadas de esta gestión, responsabilidad y buenas actitudes por parte de los usuarios hacen posible una seguridad vial efectiva. Las normas reguladoras de tránsito y la responsabilidad de los usuarios de la vía pública, componen la organización de Seguridad Vial, con el apoyo de la moderación de las conductas humanas.

El presente trabajo comprende el análisis de determinación de los segmentos de la carretera a Comalapa con potencial de mejora, basado en un modelo realizado por la Universidad de Costa Rica (*Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: El caso de la Ruta 32 en Costa Rica por Castro Estrada*). Con este estudio se pretende identificar los sitios con mayor potencial de presentar exceso de frecuencia de choques, y poder reducir la frecuencia y gravedad de los siniestros viales de tránsito mediante medidas de mitigación en los segmentos más peligrosos.

Mediante datos históricos y estadísticos de choques en los últimos 3 años en la carretera, el tránsito promedio diario anual, características del camino, inventario vial, entre otros, se obtendrá la información necesaria para aplicar la regresión binomial negativa, con modelos que permiten cuantificar mediante datos de observaciones la relación entre la variable objetivo y una o más variables independientes, y así determinar las funciones de desempeño de seguridad vial, para aplicar el método de valor esperado de exceso de frecuencia de choques con corrección o ajuste de Bayes Empírico, identificar los segmentos más críticos y peligrosos de la carretera, y proponer medidas de mejoramiento aplicando los conocimientos, normas y reglamentos de seguridad vial.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

El Salvador es uno de los países de Latinoamérica con los peores índices en materia de Seguridad Vial, según el Viceministerio de Transporte, cada día tres personas pierden la vida en siniestros viales de tránsito y al menos veinte resultan lesionados debido a estos eventos.

En el año 1960 se comenzó a registrar los primeros datos estadísticos sobre siniestralidad vial.

Después de la finalización del conflicto interno de los años 80s, hubo un acelerado crecimiento de la cantidad de vehículos en circulación en el país, desde entonces ha ido aumentando el número de fallecidos en percances viales año tras año, alcanzando la cifra más alta entre los años 1988 y 1992, pero desde el año 2006, se reforzaron las medidas de prevención, la cifra de fallecidos desde 2009 fue disminuyendo año tras año, el número de fallecidos por siniestros viales se redujeron en comparación al 2008, el número de lesionados, también se redujo.

La accidentabilidad entre 2008 y 2009 tuvo una mejora viéndose reflejado de la siguiente manera:¹

¹ Fuente: Comunicado informativo de Seguridad Vial Viceministerio de Transporte

ACIDENTABILIDAD 2008/2009

| | 2008 | 2009 |
|----------------------|-------|-------|
| DAÑOS MATERIALES | 14369 | 13246 |
| LESIONADOS | 7510 | 6767 |
| DAÑOS PERSONALES | 5566 | 5043 |
| FALLECIDOS | 1205 | 1118 |
| TOTAL SINIESTROS | 19935 | 18289 |
| REDUCCION SINIESTROS | -8.3% | |
| DIFERENCIA | -1646 | |

Tabla 1.1: Accidentabilidad año 2008 y 2009.

Fuente: Viceministerio de Transporte

La principal causa de siniestros viales en el año 2009 fue la distracción del conductor, actividades como hablar por celular mientras se conduce y quitar las manos del volante para realizar otras tareas, situación que trajo mucho dolor y luto a cientos de familias salvadoreñas. La velocidad excesiva fue otra de las causas principales de siniestros viales con fallecidos.

Nuevamente en el 2010², gracias al trabajo conjunto con las autoridades, fue posible mantener la tendencia decreciente en cuanto a los fallecidos por siniestros viales de tránsito en el país, la cual se redujo un 7% adicional en comparación con el 2009.

² Fuente: Comunicado informativo de Seguridad Vial Viceministerio de Transporte

En el 2011, por primera vez en lo que va del siglo, la cifra de fallecidos cerró por debajo de las mil víctimas y se tuvo un 6% de reducción en comparación con el 2010. Los resultados presentan en la siguiente tabla:

FALLECIMIENTOS ANUALES POR SINIESTROS VIALES EN EL SALVADOR

| Año | Fallecidos Anuales |
|------|--------------------|
| 2008 | 1205 |
| 2009 | 1118 |
| 2010 | 1044 |
| 2011 | 986 |

Tabla 1.2: Fallecimientos anuales durante los años 2008 al 2011

Fuente: Viceministerio de Transporte

Hasta entonces, esos parecían resultados favorables para la población salvadoreña, pero a partir de ese año se vuelven a registrar aumentos en el número de siniestros viales y en el número de fallecidos. Hasta el 26 de diciembre del 2012, en el territorio nacional, se registraron 22 mil 183 siniestros viales de tránsito los cuales ocasionaron la muerte a 998 personas³. Según comunicado de prensa de la Policía Nacional Civil, para el año 2013, el número de fallecidos por siniestros viales de tránsito al final del período vacacional de fin de año

³ Comunicado de prensa de la Sub dirección de Tránsito Terrestre de la PNC

superaron las mil muertes, y es que solo durante el período de fin de año se tuvieron 563 siniestros viales de tránsito que ocasionó la muerte a 32 personas, sumando un total de 1029 fallecidos durante todo el año⁴.

Según la OPS/OMS un 70% de la sociedad salvadoreña interactúa y se enfrenta todos los días con un sistema de tránsito que es muy complejo y peligroso, debido al aumento del parque automotor, el crecimiento del transporte público y la urbanización desordenada, y que deja en promedio 3 muertes por día desde los últimos 10 años.

Para el año 2015, el registro de vehículos contabilizaba un total de 924,104 vehículos, y se tenía un número de fallecidos por siniestros viales de 1149 personas. Debido a la cantidad existente de vehículos en el país, la distracción del conductor, el abuso con la alta velocidad, fueron una combinación letal en las carreteras en el año 2016, con un saldo de 1,208 muertos y 9 mil 989 lesionados⁵.

De acuerdo con el reporte de la División de Tránsito Terrestre de la Policía Nacional Civil (PNC), del 1º de enero al 31 de diciembre de 2017, hubo 21,582 siniestros, mientras que el año anterior fueron 22,958, mostrando una reducción de 1,376 siniestros, El número de lesionados en 2017 fue de 9,462 y en 2016 de 9,995, 533 lesionados menos, el número de víctimas fallecidas sumaron 1,245 en 2017 frente a 1,208 de 2016.

⁴ Comunicado de prensa de la Dirección General de Protección Civil

⁵ Comunicado informativo del Viceministerio de Transporte

El alto congestionamiento, la falta de vías alternas y factores humanos, mecánicos y de infraestructura, sumados a la poca cultura por parte de los conductores en el manejo de vehículos, ha incrementado el número de siniestros viales con consecuencias fatales y graves daños a las personas.

Debido a los siniestros automovilísticos a lo largo del tiempo se realizó por Decreto Legislativo N° 477, el 19 de octubre de 1995, publicado en el Diario Oficial N° 212, Tomo N° 329, del 16 de noviembre del mismo año, se emitió la Ley de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial.

El 29 de septiembre de 2011, autoridades del Ministerio de Obras Públicas (MOP), Viceministerio de Transporte (VMT), Policía Nacional Civil (PNC) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) presentaron el Plan Nacional de Seguridad Vial en el país junto con otros países el cual tiene alineados los objetivos, áreas estratégicas y las acciones a los cinco pilares del Plan Mundial:⁶

- (i) Gestión de la seguridad Vial
- (ii) Vías de tránsito y movilidad más seguras;
- (iii) Vehículos más seguros;
- (iv) Usuarios de vías de tránsito más seguros; y

⁶ Comunicado de prensa del Plan Nacional de Seguridad Vial de El Salvador, MOP, VMT, PNC, OPS,

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desarrollo de los sistemas de transporte es un factor estratégico en el fortalecimiento de la competitividad nacional. La construcción de sistemas integrados de carreteras, permiten la movilidad de personas y del transporte de carga de comercio exterior e interior y conectan los principales centros de producción y consumo del país. Las carreteras se definen como una curva alabeada en el espacio, con el objeto de garantizar movilidad a la población en un recorrido espacial continuo (Raúl Benítez). El diseño de carreteras debe cumplir aspectos económicos, características del terreno, su trazado debe cumplir los principios y normas ingenieriles que permitan obtener una obra vial resistente, duradera, funcional, y apariencia agradable para los usuarios. No obstante, considerando el incremento vehicular con unidades cada vez más modernas, potentes, veloces, agregando los que circulan en malas condiciones a lo largo de los años sobre las mismas carreteras construidas, el índice de siniestralidad ha venido en aumento, situación que despierta el interés del Ingeniero Civil por resolver la problemática expuesta, y garantizar la seguridad de los usuarios mediante estudio de interacción de usuario y carretera.

Al ser las vías terrestres parte vital del medio de transporte principal entre las regiones del país, se deben considerar en las fases de diseño, construcción y operación, un adecuado cumplimiento con las condiciones de seguridad vial.

Los siniestros de tránsito en las vías, son problemas de intensidad variable, dependiendo el caso, su posibilidad de ser resueltos es factible si se tiene en cuenta cuales son los factores que lo producen:

1. El Usuario
2. El Vehículo
3. La infraestructura
4. El entorno que lo rodea
5. La señalización correspondiente
6. Entre otros⁷.

En el caso de siniestros viales por inadecuada señalización se encuentra con frecuencia lo siguiente:

- Inadecuada señalización en zonas de transición de una vía nueva con una vía existente.
- Señalización con visibilidad limitada por obstrucciones.
- Zonas escolares a la salida de curvas de radios restrictivos y/o pendientes elevadas.
- Señalización deficiente en zonas de intersecciones.
- Señales que no están en correcta posición no cumplen su función para las cuales fueron diseñadas.

⁷ Fuente: Factores que contribuyen a la ocurrencia de un accidente Main Roads Western Australia

- Se dejan segmentos terminados sin señalización durante largos periodos.
- Conflictos entre señalización existente y la nueva.
- Reducciones de calzadas en los puentes no se encuentran bien señalizados.

Considerando la concentración de siniestros de tránsito, la carretera que conduce desde la zona metropolitana de San Salvador hacia el Aeropuerto Internacional de El Salvador, es clasificada como una de las más peligrosas a nivel nacional, en los últimos años⁸, situación que necesita mejorarse mediante la aplicación de estrategias de ingeniería de transporte.

Una de las estrategias aplicables en la reducción de siniestros, es la determinación de segmentos con potencial de mejora mediante el uso de funciones de desempeño de seguridad vial.

Es evidente que, para reducir la frecuencia y gravedad de los siniestros de tránsito, se precisa una adecuada identificación de los sitios de concentración de choques. El proceso busca la identificación y ordenamiento de sitios (segmentos de carretera o intersecciones) de la red de transporte, del más probable al menos probable, en presentar una reducción en la frecuencia de choques con la implementación de una medida de ingeniería para la mejora de seguridad vial.

⁸ estadísticas de la Oficina de Acceso a la Información Pública de la Policía Nacional Civil.

1.3 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Identificar los segmentos con mayor potencial de mejora en la carretera a Comalapa utilizando Funciones de Desempeño de Seguridad Vial y el Método de Bayes Empírico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener los datos detallados de choques actualizados en la carretera a Comalapa de los últimos 3 años.
- Recopilar información necesaria para el desarrollo del método, entre ellos el TPDA, Acumulados de vehículos-Kilometro y otros).
- Aplicar el método del valor esperado de exceso de frecuencia de choques con corrección de Bayes empírico para la identificación de los segmentos más peligrosos de la carretera Comalapa.

- Analizar la significancia del método de acuerdo al análisis de los datos obtenidos.

- Ordenar los segmentos de la carretera Comalapa del más probable al menos probable en presentar una reducción en la frecuencia de choques con la implementación de una medida de ingeniería para la seguridad vial de acuerdo a los resultados obtenidos.

- Identificar segmentos en la carretera Comalapa con mayor probabilidad de choques, que sirvan de base para otras investigaciones que estudien a nivel micro los sitios de concentración de choques en estos segmentos.

1.4 ALCANCES

- La metodología abarca desde la recopilación de datos de siniestros de los últimos 3 años, descripción de estos a nivel general y a nivel de segmentos, análisis de la estadística descriptiva, modelado de choques a nivel macro, aplicación del método de exceso de frecuencia, ajustes del método en estudio, hasta las recomendaciones de medidas de mitigación en los segmentos con mayor exceso de frecuencia de choques.

- Engloba la identificación y ordenamiento de los segmentos que den como resultado con método de estudio los más peligrosos de la Carretera a Comalapa en El Salvador.

- Comprende una serie de conclusiones y recomendaciones que sirvan de guía para evaluación del sitio de estudio, profesionales encargados del diseño, construcción y mantenimiento de carreteras regionales, futuras investigaciones que ayuden a mejorar la seguridad vial del país.

1.5 LIMITACIONES

- Los segmentos a analizar de la carretera Comalapa serán únicamente del segmento desde el Rancho Navarra hasta el Aeropuerto Monseñor Oscar Arnulfo Romero.
- La investigación se limita a la información y datos que poseen tanto el Vice Ministerio de Transporte, la División de Tránsito de la Policía Nacional Civil y el Ministerio de Obras Públicas, y no incluye ninguna medición de tráfico o medición de la geometría de las carreteras.

1.6 JUSTIFICACION

En la actualidad, un problema dentro de los diseños de carreteras es la falta de unificación de criterios en la implementación del diseño geométrico con la ingeniería de seguridad vial y debido a que en el país hay un acelerado crecimiento vehicular, se ha producido un gran incremento de los desplazamientos por carreteras y vías urbanas, lo cual provoca que haya una mayor interacción entre los peatones y conductores, así como el aumento de la densidad de tráfico en las zonas rurales del país, que en conjunto aumenta los daños provocados por inseguridad vial en los caminos y carreteras. En El Salvador los siniestros viales de tránsito son una de las principales causas de muerte de personas en edad productiva, entre los 20-40 años, y diariamente ocasionan 3 muertes y 22 lesionados⁹. El 75% de las muertes están relacionadas con la distracción del conductor, la conducción a excesiva velocidad y la imprudencia del peatón¹⁰, y ya que los aspectos antes mencionados no van totalmente de la mano debido a la poca importancia que se le da a la ingeniería de seguridad vial en el país esta no es implementada de la manera adecuada y es un tema ignorado por parte de los conceptualizadores de los proyectos. El Salvador se encuentra dentro de los países que menos importancia presta a este

⁹ Levantado de Comunicado de Prensa del Comité Coordinador del Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011 – 2020, 3 de marzo de 2018

¹⁰ Levantado de <http://www.paho.org/els/> (Plan nacional de seguridad vial de El Salvador podría reducir un 50% de víctimas.), 3 de marzo de 2018

tema, el poco esfuerzo puede verse claramente descrito y comparado con otros países de Centro América dentro del Manual Centroamericano de Seguridad Vial de SIECA.

Bajo estas circunstancias, está claro que, para lograr una disminución en la frecuencia y gravedad de los siniestros de tránsito, es fundamental la identificación de los sitios de concentración de choques, ya que es probable que en ellos sea donde la ingeniería de transporte puede dar su mayor contribución.

A través del estudio de la interacción entre el usuario y la carretera, en la que conozcamos qué segmentos de la carretera a Comalapa son los que tienen una mayor probabilidad de ocurrencia de muertes por siniestros viales, mediante de un modelo confiable y significativo, podrá determinarse cuáles están sujetos a una potencial mejora de seguridad vial, a las que será necesario realizar un estudio más profundo para poder implementar dichas medidas de ingeniería de seguridad vial.

Es importante mencionar que con dichas medidas no solo se pretende minimizar los daños por choques o de infraestructura, sino también proteger la vida de las personas, tanto peatones como conductores, reduciendo los siniestros de tránsito y consecuentemente las muertes y daños causados por estos.

CAPITULO 2

CONCEPTOS GENERALES

2.1 CONCEPTOS GENERALES

2.1.1 SINIESTROS DE TRÁNSITO

“Evento súbito, imprevisto y violento en el que participa un vehículo automotor en marcha o en reposo (detenido o estacionado) en la vía de uso público, causando daño a las personas, sean ocupantes o terceros no ocupantes del vehículo automotor, que pueda ser determinado de una manera cierta.”²¹

“Es un percance vial que se presenta súbita e inesperadamente, determinado por condiciones y actos irresponsables potencialmente previsibles, atribuidos a factores humanos, vehículos preponderantemente automotores, condiciones climatológicas, señalización y caminos, los cuales ocasionan pérdidas prematuras de vidas humanas y/o lesiones, así como secuelas físicas o psicológicas, perjuicios materiales y daños a terceros.”²²

2.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SINIESTROS DE TRÁNSITO

Las siguientes definiciones son obtenidas del Glosario de términos para Siniestros de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía – México (INEGI, 2017)

Siniestros de Tránsito por su Gravedad²³

²¹ (MTC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2002)

²² Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México, INEGI, 2017

²³ Análisis y propuesta de mejora en la carretera nacional pe-3s segmento av. Antonio lorena - poroy, aplicando la metodología de inspección de seguridad vial y el manual hsm

- **Siniestro Fatal.** Considérese el percance vial en el que resultan pérdidas de vidas humanas (muertos), puede haber heridos y consecuentemente daños materiales, estos pueden ser a la propiedad del estado y/o particular.
- **Siniestro No Fatal.** Comprende el siniestro de tránsito en el que no se presenta pérdida de vidas humanas, pero si lesionados (heridos) y daños materiales.
- **Siniestro con Solo Daños.** Considérese el evento vial en el que no hubo muertos y heridos, sólo daños materiales a vehículos y/o propiedades del estado, tales como postes, guarniciones, señalizaciones, etc., así como a propiedades de particulares.

Siniestros de Tránsito por su Tipo²⁴

- **Colisión con vehículo automotor.** Encuentro violento, accidental o imprevisto de dos o más vehículos en una vía de circulación, del cual resultan averías, daños, pérdida parcial o total de vehículos o propiedades,

²⁴ Análisis y propuesta de mejora en la carretera nacional pe-3s segmento av. Antonio lorena - poroy, aplicando la metodología de inspección de seguridad vial y el manual hsm

así como lesiones leves y/o fatales a personas. Puede ser lateral, frontal o por alcance.

- **Colisión con peatón (Atropello).** Evento vial donde un vehículo de motor arrolla o golpea a una persona que transita o que se encuentra en alguna vía pública, provocando lesiones leves o fatales.
- **Colisión con animal.** Es aquel siniestro en el que un vehículo de motor arrolla a cualquier tipo de animal provocando daños materiales, inclusive lesiones leves o fatales a personas ocupantes o no del vehículo.
- **Colisión con objeto fijo.** Encuentro violento de un vehículo de motor con cualquier tipo de objeto, que por sus características se encuentre sujeto al piso o asentado en él, tales como postes, guarniciones, señales de tránsito, árboles, contenedores de basura, etc. También se incluye en este tipo de colisión, el percance de un automotor en movimiento contra otro estacionado.
- **Volcadura.** Es el tipo de siniestro que debido a las circunstancias que lo originan, provocan que el vehículo pierda su posición normal, incluso dé una o varias volteretas.

- **Caída de pasajero.** Siniestro donde una o más personas que viajan en el vehículo, (excluyendo al conductor), caen fuera del mismo. No se considera este tipo de siniestro si la caída fue por consecuencia de otro tipo de siniestro.
- **Salida del camino (Despiste).** Evento en donde el vehículo, por causas circunstanciales, abandona de manera violenta e imprevista la vía de circulación por la cual transita. Incluso si por la acción del vehículo cae a una zanja, cuneta, barranca, etc.
- **Incendio.** Es el siniestro ocasionado por un corto circuito, derrame de combustible o cuestiones desconocidas, que propician la generación de fuego mediante el cual se consume parcial o totalmente el vehículo automotor.
- **Colisión con ciclista.** Hecho en el cual un vehículo automotor de cualquier tipo, arrolla a un ciclista sobre la vía de circulación o en un cruce vial.²⁵

²⁵ Glosario de Términos para Siniestros de Tránsito Terrestre en zonas urbanas y suburbanas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México, INEGI, 2017

2.2 SEGURIDAD VIAL

“La seguridad es un estado donde los peligros y las condiciones que pueden provocar daños de orden físico, psicológico o material, están controlados para preservar la salud y el bienestar de los individuos y la comunidad. Es un recurso indispensable para la vida cotidiana, que permite al individuo y a la comunidad realizar sus aspiraciones”.²⁶

Otro término más completo es el que define seguridad vial como las reglas y actitudes que son necesarias para estar seguro si la persona está manejando algún vehículo o caminando en una vía²⁷.

Las normas reguladoras de tránsito y la responsabilidad de los usuarios de la vía pública componen el principal punto en la seguridad vial. Sin una organización por parte del estado, con el apoyo de reglamentaciones para el tránsito y sin la moderación de las conductas humanas particulares o colectivas, no es posible lograr un óptimo resultado. Autoridades y promotores voluntarios deben llevar a cabo en forma permanente campañas, programas y cursos de seguridad y educación vial, en los que se debe promover²⁸.

²⁶ Seguridad y promoción de la seguridad: Aspectos conceptuales y operacionales, 1998, pág. 9.

²⁷ Definición tomada de Seguridad Vial, Wikipedia

²⁸ Educación Vial, Wikipedia

El concepto de seguridad vial según (Mesa, 2007) se caracteriza por su universalidad y decidido enfoque hacia la perfección²⁹. Dentro de los objetivos específicos y generales de la seguridad vial se encuentran:

Objetivos Generales:

- Evitar la ocurrencia de siniestros.
- En caso de producirse, reducir la severidad en las víctimas, los efectos en la vía y el Vehículo.

Objetivos Específicos:

- Reducir muertes y lesiones.
- Evitar la ruptura del servicio.
- Maximizar la capacidad y rentabilidad.
- Aumentar la seguridad.

2.2.1 DEFINICION DE SEGMENTO DE CONCENTRACIÓN DE SINIESTROS.

SEGMENTOS DE CONCENTRACIÓN DE SINIESTROS VIALES Definido en el Manual de Seguridad Vial³⁰ como aquellos segmentos que presentan un número de colisiones (de un tipo particular) superior a segmentos similares de la red vial, y en el que previsiblemente una actuación de mejora de la infraestructura puede

²⁹ Mesa 2007

³⁰ MTC, 2016

dar lugar a una reducción significativa y eficaz de la siniestralidad. Se utiliza para hacer referencia a los puntos de mayor peligrosidad de una red vial.

El SCS, 'Segmento de concentración de siniestros', pretende identificar los segmentos de concentración significativa de siniestros viales asociada a un nivel de peligrosidad de la vía superior a la media. Hay diversos aspectos que deben considerarse de forma general:

- Exposición al riesgo: debe tenerse en cuenta la intensidad de tráfico, ya que es la variable más explicativa en cuanto a siniestralidad se refiere desde el punto de vista de la infraestructura.
- Período considerado: debe ser suficientemente largo para asegurar la fiabilidad de la muestra de siniestros, pero no demasiado dilatado pues pueden variar sustancialmente las condiciones de contorno a lo largo de su análisis. Debe de ser de al menos 1 año, siendo recomendable utilizar un período comprendido entre los 3 y los 5 años.
- Longitud del segmento: debe ser la mínima que asegure la representatividad de la muestra en cuanto a la configuración del segmento analizado. Al menos de 1 Km de longitud.

Resumen general sobre los criterios de identificación de SCS.

| CONCENTRACION DE SINIESTROS | METODO DE SEGURIDAD SUSTANTIVA |
|---|---|
| <p>Los SCS pueden identificarse mediante el análisis de una muestra claramente definida de segmentos de carretera de la red. Estos segmentos pueden ser secciones de la carretera de una determinada longitud, curvas con un radio específico, puentes, intersecciones en 'T' o 'Y', intersecciones en 'X' o '+'... Esta división permite que las distribuciones teóricas de probabilidad de siniestros viales se ajusten más a una distribución empírica. La mayoría de autores proponen metodologías diferenciadas de identificación de SCS para intersecciones y para secciones (segmentos de carretera entre intersecciones)</p> <p>Otra manera de detectar SCS es mediante el uso de una 'ventana deslizante' de una longitud determinada.</p> | <p>Su implantación a nivel "nacional" implica un gran esfuerzo de recogida de datos, interconexión de diferentes bases de datos de diferentes administraciones, ... La elección de los criterios de identificación de siniestros viales suelen estar condicionados por los recursos, y la cantidad/calidad de la información disponible. En la misma línea, existen diferentes estudios que recomiendan el uso de modelos estadísticos para la identificación de SCS, es decir, que los SCS deberían ser detectados en base al "número de siniestros viales esperados" y no en base al "número de siniestros viales observado".</p> |

Tabla 2.1 Resumen general sobre los criterios de identificación de SCS

2.2.2 SEGURIDAD VIAL NOMINAL Y SUSTANTIVA

La seguridad nominal "...se refiere al grado de adhesión de un proyecto a los criterios, guías, recomendaciones y normas establecidas por el organismo vial."³¹

"Dada por los criterios y preceptos recogidos en las normas y recomendaciones de diseño, donde aparecen determinados parámetros que se interpretan erróneamente como umbrales de la seguridad. Los valores de las normas no son la frontera entre lo seguro y lo inseguro. Por tanto, cumplir con la seguridad nominal no es garantía de que el diseño sea seguro. En ella se sigue cobijando una mal entendida y utilizada seguridad legal, que deja en el ámbito exclusivo del conductor la responsabilidad de la siniestralidad, debida a un camino con defectos. El cumplimiento de determinados preceptos legales no tiene por qué garantizar ningún nivel concreto de seguridad vial, ya que muchos de ellos se establecieron para limitar las repercusiones económicas, o para responsabilizar exclusivamente a los conductores de los siniestros valiesen que se vean involucrados, aunque el camino tenga defectos asociados con un riesgo no perceptible o insuperable por ellos."³³

La medida de la seguridad nominal es simplemente una comparación de las dimensiones de los elementos de diseño (ancho de carril, ancho de banquetas,

³¹ Sierra, Berardo, Fissore, & Outes, 2010

³³ Análisis y propuesta de mejora en la carretera nacional pe-3s segmento av. Antonio lorena - poroy, aplicando la metodología de inspección de seguridad vial y el manual hsm

la distancia visual, etc.) con los criterios de diseño adoptados. Es un "Sí - No"; una característica de diseño Sí cumple, o no cumple, con los criterios o rangos mínimos. Así, los caminos proyectados y construidos para satisfacer al menos los criterios mínimos de diseño pueden denominarse "nominalmente seguros". Una Excepción de Diseño es aceptar una condición que no cumple con la seguridad nominal.

La seguridad sustantiva es independiente del observador y determina los niveles de seguridad real o prevista a largo plazo de un camino con específicas condiciones de emplazamiento, geométricas y operacionales, según lo mide la frecuencia anual de siniestros viales por Km, y las consecuencias de los siniestros viales según cual fuere el número de muertos, el número y gravedad de los heridos, el valor de los daños materiales.³⁴

La seguridad sustantiva "estima los resultados que un determinado diseño o mejoramiento del camino pueda tener en la siniestralidad futura. Para ello se precisan métodos para predecir la frecuencia futura de los choques y sus consecuencias, según las condiciones o parámetros incorporados al diseño. Es necesario basarse en hechos y no en conjeturas, fundamentarse en conocimientos obtenidos de la investigación y no en juicios sin sustento. En los últimos años se desarrollaron métodos y herramientas que permiten poner en práctica el nuevo conocimiento fruto de la investigación científica, para que el

³⁴ Análisis y propuesta de mejora en la carretera nacional pe-3s segmento av. Antonio lorena - poroy, aplicando la metodología de inspección de seguridad vial y el manual hsm

ingeniero pueda verificar sus diseños desde una seguridad sustantiva, cuantificable, contrastable y comparable.³⁵

Las medidas cuantitativas de la seguridad sustantiva son:

- Frecuencia de choques (número de choques por kilómetro o ubicación, en un lapso especificado)
- Tipo de choque (salida desde la calzada, intersección, atropello peatones, etc.)
- Gravedad de los choques (muerte, lesiones, daños materiales)

Seguridad Nominal (“Nominal Safety”) – Seguridad Real (“Substantive Safety”)

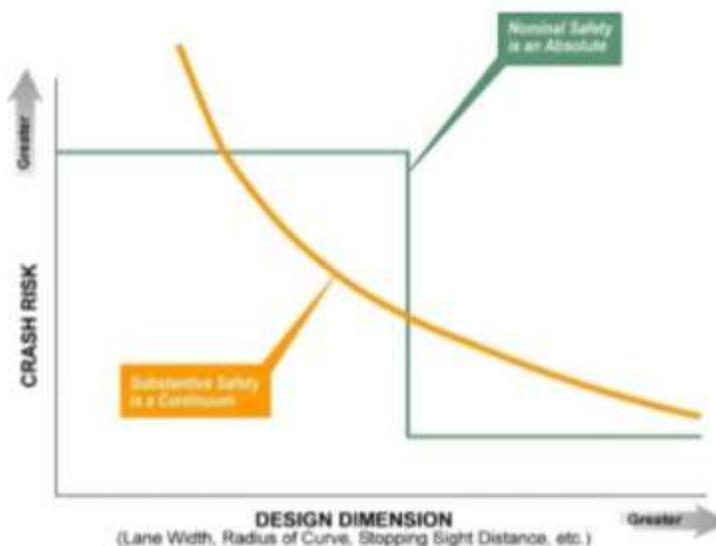


Figura 2.1 comportamiento grafico de la seguridad sustantiva y nominal en el riesgo de choques vs dimensión de diseño.

Para reformar la manera en que se maneja la seguridad nominal, el paradigma de diseño defectuoso tiene que ser reemplazado por uno nuevo, y se debe

³⁵ Análisis y propuesta de mejora en la carretera nacional pe-3s segmento av. Antonio lorena - poroy, aplicando la metodología de inspección de seguridad vial y el manual hsm

incorporar una genuina información de seguridad en las normas de diseño de autopistas. El concepto de seguridad sustantiva se mide por la frecuencia de choque esperada y la gravedad.

Por extraño que parezca, la seguridad sustantiva es un nuevo concepto que se introducirá en el proceso de diseño de carreteras. La introducción de una seguridad sustantiva en el diseño de las carreteras requiere tres elementos de acción: que se conozca sobre la relación entre las decisiones de seguridad y de diseño mediante una síntesis autorizada y periódicamente reeditada, que los que firmen documentos de diseño sean certificados para dominar los conocimientos actualmente disponibles; se debe proporcionar orientación política a los diseñadores sobre el nivel de seguridad para diseñar en carreteras.³⁶

³⁶ Análisis y propuesta de mejora en la carretera nacional pe-3s segmento av. Antonio lorena - poroy, aplicando la metodología de inspección de seguridad vial y el manual hsm

2.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA SEGURIDAD VIAL

2.3.1 EL FACTOR HUMANO

Los Peatones son generalmente los más desprotegidos por el tema de los atropellamientos. Muchos no usan la infraestructura vial de paso peatonal, pero también, los conductores no respetan en muchos casos los derechos de los transeúntes.³⁷

Esto hace que el **Factor Humano** sea la principal causa de los siniestros de tránsito.



Figura 2.2 Factores que influyen en la seguridad vial

Figura. Componentes de la Seguridad Vial. Fuente: Tesis "Evaluación del estado de seguridad vial en tres segmentos de vías principales en el salvador".

El Factor Humano, lo constituye tanto el peatón, como el conductor de vehículos, motocicletas, bicicletas. Es decir, todos los usuarios de la infraestructura vial.

³⁷ *Evaluación del estado de seguridad vial en tres segmentos de vías principales en el salvador*

En la *Figura 2*, se puede ver que los siniestros viales pueden ocurrir por más de uno de los factores a la vez. Es decir, la complejidad de entender la ocurrencia de los siniestros de tránsito, se debe a que no hay un único factor interviniendo y el grado de intervención no es igual para diferentes casos³⁸.

A veces, la distracción al manejar puede ser un factor detonante de un siniestro, pero también, lo puede ser la distracción del peatón al cruzar calles o no usar infraestructura de paso peatonal donde la hay, o la misma condición de la calle que obliga a realizar maniobras peligrosas.

Otro aspecto a considerar en el factor humano, es el estado físico y mental de las personas al conducir o caminar por los diferentes caminos. Una persona medicada, desvelada, enferma o que ha consumido estimulantes como drogas o alcohol, tendrá una respuesta diferente y no adecuada, comparada con una persona en estado normal, ante la presencia de una situación que genere peligro en la carretera.

También, la edad del conductor o del peatón puede ser un determinante en los siniestros de tránsito. Aunque parece un aspecto subjetivo, el comportamiento y la velocidad de reacción de las personas a distintas edades se manifiestan en la carretera.

Los jóvenes generalmente, tienden a irrespetar las regulaciones y tener un comportamiento agresivo en la conducción y los niños no previenen los peligros

³⁸ *Evaluación del estado de seguridad vial en tres segmentos de vías principales en El Salvador*

de la carretera. Por otro lado, las personas de avanzada edad, tienden a ir más despacio en la carretera y a tener una menor visibilidad del camino al manejar.

Estas condiciones representan, en algunos casos, amenazas potenciales en las carreteras, sumadas a la intolerancia de los demás conductores.

Los peatones tienden siempre a acortar camino y esto los lleva a tomar segmentos en las carreteras para cruce o paralelas que aumentan el riesgo de atropellamiento. Pero también, en el diseño muchas veces no son tomados en cuenta sus necesidades.³⁹

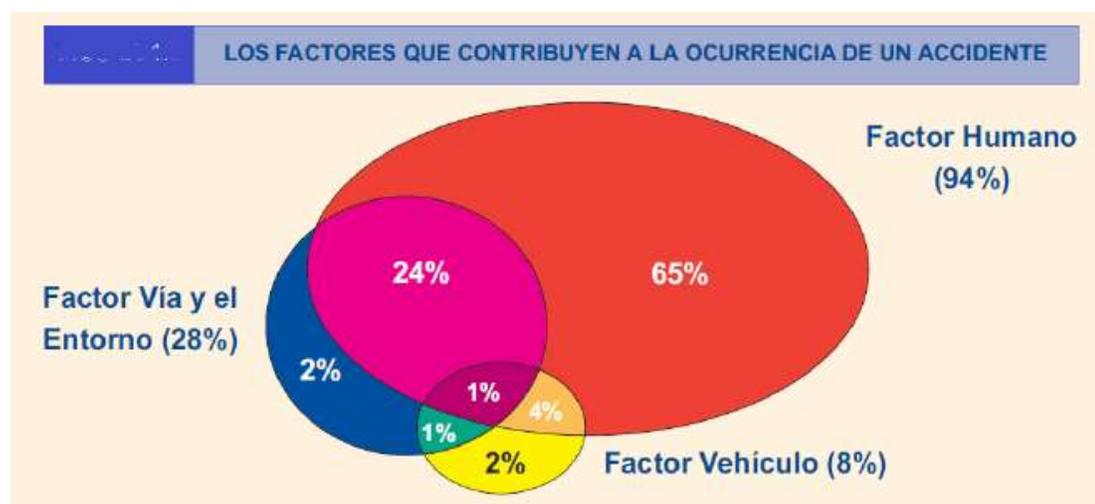


Figura 2.3 Factores que contribuyen a la ocurrencia de un siniestro.⁴⁰

Fuente: Main Roads Western Australia (www.mrwa.wa.gov.au)

³⁹ Evaluación del estado de seguridad vial en tres segmentos de vías principales en El Salvador

⁴⁰ Main Roads Western Australia

2.3.2 EL VEHÍCULO

El Vehículo es otro factor importante. Muchos vehículos no reciben el mantenimiento adecuado y por desperfectos y fallas mecánicas producen siniestros.

La conducción a velocidades altas en vehículos que no reciben buen mantenimiento, hacen que, al momento de requerir la capacidad del mismo para evitar una colisión, no haya una respuesta mecánica adecuada a lo requerido, generándose una potencial amenaza a todos los que están alrededor.

Las condiciones de frenos, suspensión, llantas, etc., deben de ser revisadas periódicamente para asegurar su estado adecuado y buen uso en las carreteras. También, hay vehículos que ya están fuera de la vida útil y del uso normal, pero todavía obtienen permiso de circulación, sin reunir los requisitos mínimos de seguridad para ser conducidos.⁴¹

⁴¹ *Evaluación del estado de seguridad vial en tres segmentos de vías principales en El Salvador*



Figura 2.4 Vehículo muy deteriorado circulando en San Salvador.

Fuente: Levantado de <https://enmitrincheradelucha.files.wordpress.com/2014/06/chatarra.jpg>

2.3.4 LA INFRAESTRUCTURA VIAL

La infraestructura vial, aunque es diseñada para dar la mayor seguridad posible en la carretera, juega un papel importante en la reducción de los siniestros viales ya que puede haber sido sobrepasado su diseño original para la demanda actual de circulación.⁴²

La falta de visibilidad, curva sin el debido peralte o muy cerrada, la señalización horizontal y vertical inadecuada, defectuosa o inexistente, cambios en las dimensiones geométricas de carriles o reducción del número de estos de manera abrupta, son algunos factores a considerar cuando se estudia la Seguridad Vial.

⁴² Evaluación del estado de seguridad vial en tres segmentos de vías principales en El Salvador

Las incorporaciones de calles secundarias a calles principales, el estado de la superficie de rodamiento, las obras hídricas en la calle, etc., también constituyen puntos a estudiar en la Seguridad Vial.⁴³

Un ejemplo de lo anterior puede ser a la mala señalización, dimensión o colocación de separadores de carriles en las calles. Si bien estos separadores tratan de evitar las colisiones frontales de vehículos, producen otro tipo de siniestros. Estos siniestros viales terminan contabilizándose como errores de los conductores, pero, no toman en cuenta si las infraestructuras son adecuadas o no.

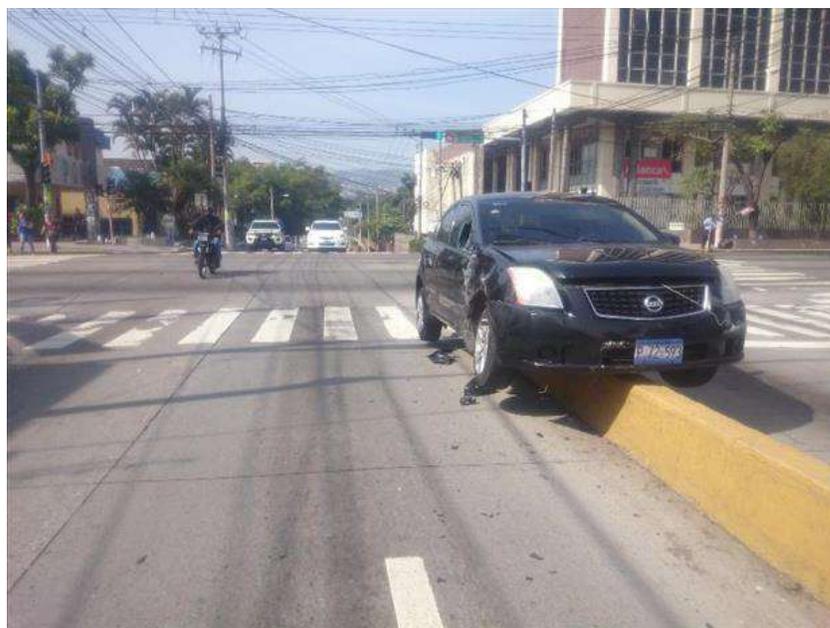


Figura 2.5 Vehículo accidentado en separador sobre Alameda Roosevelt.

⁴³ Evaluación del estado de seguridad vial en tres segmentos de vías principales en El Salvador

2.3.5 EL ENTORNO

El entorno, además de ser una fuente de riesgo inherente en la carretera, cambia constantemente para la acción de la naturaleza y el hombre. Esto lleva a que condiciones originales que pudieron ser seguras hayan también cambiado aumentando los riesgos.⁴⁴

El tratamiento de taludes es importante como elemento de seguridad ya que a menudo suceden derrumbes en zonas de forma repetitiva generando peligro.

Las obras hídricas en las calles y carreteras son muy importantes, en especial en la época lluviosa. El mantenimiento adecuado de las alcantarillas, su limpieza y el evitar que se deterioren por el paso de los vehículos ayuda a minimizar los riesgos.

El estado del tiempo también es un factor a tomar en cuenta. Calles y carreteras pueden volverse muy lisas e inseguras durante una tormenta o después de esta. También, entorno a los asentamientos poblacionales, establos, pasos de animales, etc., que deben de preverse en la construcción de las carreteras. Además, que debe conservarse la vida de animales silvestres, debe procurarse que estos no representen un peligro para los conductores, especialmente por la noche. Animales domésticos como semovientes, caballos, cabras, cerdos, etc., debe evitarse que deambulen por las carreteras para evitar siniestros de tránsito.

⁴⁴ *Evaluación del estado de seguridad vial en tres segmentos de vías principales en El Salvador*

2.4 HIGHWAY SAFETY MANUAL (HSM)

Durante los últimos diez años la “Transportation Research Board” (Comisión de Investigación de Transportes de Estados Unidos de Norteamérica, en adelante nos referiremos a ella en el texto como TRB) mediante un subcomité creado al efecto y formado por representantes de la “American Association of State Highway and Transportation Officials” (Asociación Americana de Responsables de Carreteras y Transportes, en adelante nos referiremos a ella por sus famosas siglas AASHTO), de la “Federal Highway Administration” (Administración Federal de Carreteras, FHWA) y del “Institute of Transportation Engineers” (Instituto de Ingenieros de Transportes Norteamericano, conocido como ITE) ha venido desarrollando la redacción de un nuevo documento denominado “Highway Safety Manual”. Con anterioridad a 1999 las discusiones sobre seguridad vial en la TRB se enmarcaban como parte del “Highway Capacity Manual” (Manual de Capacidad de Carreteras, conocido por sus siglas en inglés: HCM) desarrollado también por los organismos norteamericanos. Sin embargo a partir de esa fecha se estima necesario, e incluso crucial, desarrollar un documento específico enfocado íntegramente hacia la seguridad vial.⁴⁵

El HSM nace como una herramienta que permita “cuantificar” la seguridad vial de tal forma que los responsables en la materia puedan utilizarla en el momento de tomar decisiones relativas a la planificación, el diseño, la construcción, la

⁴⁵ Metodología de predicción de la seguridad vial planteada en el Highway Safety Manual desarrollado por la Transportation Research Board de Estados Unidos de Norteamérica

explotación y el mantenimiento de las infraestructuras del transporte por carretera. Por lo tanto, se tratar de proporcionar información y desarrollar procedimientos que permitan evaluar la seguridad de forma útil consiguiendo que las decisiones tomadas en esta materia sigan criterios objetivos y aceptados de manera general por la comunidad científica.

Para ello es necesario realizar un importante esfuerzo para la evolución de la práctica de la seguridad vial desde un análisis cualitativo a una predicción cuantitativa.⁴⁶

La propia complejidad de la seguridad vial derivada de la multiplicidad de factores de diversas naturalezas que afectan a la misma hace que esta evolución, materializada en el HSM, suponga un esfuerzo importante por complementar a la normativa de diseño, explotación y mantenimiento de carreteras. La normativa, siendo la base fundamental para desarrollar los proyectos, no es suficiente para abarcar casos paradójicos donde la combinación de diversos factores puede provocar que una zona donde se cumplen todos los estándares mínimos de diseño geométrico se pueda convertir, sin embargo, en un segmento de concentración de siniestros⁴⁷.

El Highway Safety Manual (HSM) introduce un enfoque técnico basado en la ciencia que elimina las conjeturas del análisis de seguridad. El HSM proporciona herramientas para realizar análisis cuantitativos de seguridad, permitiendo que la

⁴⁶ Metodología de predicción de la seguridad vial planteada en el Highway Safety Manual desarrollado por la Transportation Research Board de Estados Unidos de Norteamérica

seguridad se evalúe cuantitativamente junto con otras medidas del desempeño del transporte, tales como operaciones de tránsito, impactos ambientales y costos de construcción.⁴⁸

Por ejemplo, el HSM proporciona un método para cuantificar los cambios en la frecuencia de choque en función de las características de la sección transversal. Con este método, el cambio esperado en la frecuencia de choques de diferentes alternativas de diseño se puede comparar con los beneficios operacionales o los impactos ambientales de estas mismas alternativas.

Este proceso de predicción de la seguridad vial es aplicable para carreteras planificadas que todavía no han sido construidas y para carreteras existentes donde, por alguna razón, los datos históricos de siniestros viales no son aplicables para el análisis que se pretende realizar. Una de sus características más interesantes es que permite establecer comparaciones entre el número de siniestros viales anuales esperados que resulten de implementar diversas soluciones de diseño que se planteen para un determinado elemento de carretera existente (por ejemplo, una zona de acumulación de siniestros viales que se pretende mejorar) o en fase de proyecto (por ejemplo, una zona de especial complejidad por la acumulación de varios estándares mínimos de diseño geométrico).

⁴⁸ An introduction to Highway Safety Manual

El HSM proporciona herramientas analíticas y técnicas para cuantificar los efectos potenciales en los siniestros viales como resultado de las decisiones tomadas en la planificación, diseño, operaciones y mantenimiento. Los usuarios del HSM deben tener una base de conocimiento de seguridad que incluya familiaridad con los principios generales de seguridad vial, procedimientos estadísticos básicos e interpretación de resultados, junto con la competencia adecuada para ejercer la seguridad del tráfico y el juicio de ingeniería operativa.⁴⁹

El HSM se puede utilizar para las siguientes acciones⁵⁰:

- Identificar los sitios con mayor potencial de reducción de severidad o frecuencia de choque.
- Identificar los factores que contribuyen a los siniestros viales y las posibles medidas de mitigación
- Realizar evaluaciones económicas de contramedidas de seguridad y priorización de proyectos.
- Evaluar los beneficios de reducción de siniestros viales de los tratamientos implementados.
- Calcular el efecto de varias alternativas de diseño sobre la frecuencia y gravedad del choque.

⁴⁹ Highway Safety Manual User Guide, 2014

⁵⁰ Análisis y propuesta de mejora en la carretera nacional pe-3s segmento av. Antonio lorena - poroy, aplicando la metodología de inspección de seguridad vial y el manual hsm

- Estimación de la frecuencia y gravedad potencial de los siniestros valiesen las redes de carreteras.
- Estimar el efecto potencial sobre la frecuencia de los siniestros viales y la gravedad de la planificación, el diseño, las operaciones y las decisiones de política.

El Manual está organizado en cuatro partes: HSM Parte A - Introducción, Factores Humanos y Fundamentos; HSM Parte B - Proceso de gestión de la seguridad vial; HSM Parte C - Métodos predictivos; y Parte D - Factores de modificación de siniestros.⁵¹

⁵¹ Análisis y propuesta de mejora en la carretera nacional pe-3s segmento av. Antonio lorena - poroy, aplicando la metodología de inspección de seguridad vial y el manual hsm y Highway Safety Manual User Guide, 2014

2.4.1 HSM PARTE C – MÉTODO PREDICTIVO

El Highway Safety Manual (2010), en su Parte C indica lo siguiente: El método predictivo proporciona una medida cuantitativa de la frecuencia de choque media esperada bajo condiciones existentes que aún no se han producido. Esto permite evaluar cuantitativamente las condiciones de carreteras propuestas a lo largo de otras consideraciones como las necesidades de la comunidad, la capacidad, el retraso, el costo, el derecho de paso y las consideraciones ambientales⁵²:

El método predictivo se puede utilizar para evaluar y comparar la frecuencia de choque media esperada de situaciones como:

- Vías existentes con volúmenes de tráfico pasados o futuros.
- Diseños alternativos para una vía existente con volúmenes de tráfico pasados o futuros
- Diseños para una nueva vía con volúmenes de tráfico futuros (previstos).
- La eficacia estimada de las contramedidas después de un período de implementación
- La eficacia estimada de las contramedidas propuestas en una vía existente (antes de la implementación)

⁵² Análisis y propuesta de mejora en la carretera nacional pe-3s segmento av. Antonio lorena - poroy, aplicando la metodología de inspección de seguridad vial y el manual hsm y Highway Safety Manual User Guide, 2014

Para poder utilizar este método se necesita encontrar las Funciones de desempeño de seguridad vial, las cuales pueden ser determinadas a partir de la distribución binomial negativa.

La elección de distribuciones binomiales negativas en general como modelos base se debe a que la experiencia americana indica que este tipo de distribuciones son las que mejor se adaptan a la alta variabilidad de los datos de siniestros.⁵³

⁵³ Análisis y propuesta de mejora en la carretera nacional pe-3s segmento av. Antonio lorena - poroy, aplicando la metodología de inspección de seguridad vial y el manual hsm y Highway Safety Manual User Guide, 2014

2.5 DEFINICIONES ESTADÍSTICAS BÁSICAS

2.5.1 DESVIACIÓN TÍPICA O DESVIACIÓN ESTÁNDAR

La desviación típica es la desviación media de una variable respecto a su media o **esperanza matemática**. La desviación típica es siempre mayor o igual que cero.

Para entender este concepto necesitamos analizar 2 conceptos fundamentales.

- **Esperanza matemática, valor esperado o simplemente media:** Es la media de nuestra serie de datos.
- **Desviación:** La desviación es la separación que existe entre un valor cualquiera de la serie y la media.

2.5.2 FÓRMULAS PARA CALCULAR LA DESVIACIÓN TÍPICA

La primera es elevando al cuadrado las desviaciones, dividir entre el número total de observaciones y por último hacer la raíz cuadrada para deshacer el elevado al cuadrado, tal que:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

Fórmula 2.5.2.1

La segunda, más intuitiva, consiste en calcular la suma de las desviaciones en valor absoluto y por último dividir entre el total de observaciones n , tal que:

$$\sigma = \frac{\sum_i^N |X_i - \bar{X}|}{N}$$

Fórmula 2.5.2.2

2.5.3 VARIANZA

La varianza es una medida de dispersión que representa la variabilidad de una serie de datos respecto a su media. Formalmente se calcula como la suma de los residuos al cuadrado divididos entre el total de observaciones.

También se puede calcular como la desviación típica al cuadrado. Dicho sea de paso, entendemos como residuo a la diferencia entre el valor de una variable en un momento y el valor medio de toda la variable.

2.5.4 FÓRMULA PARA CALCULAR LA VARIANZA

La unidad de medida de la varianza será siempre la unidad de medida correspondiente a los datos, pero elevada al cuadrado. La varianza siempre es mayor o igual que cero. Al elevarse los residuos al cuadrado es matemáticamente imposible que la varianza salga negativa. Y de esa forma no puede ser menor que cero

$$Var(X) = \frac{\sum_1^n (x_i - \bar{X})^2}{n}$$

Fórmula 2.5.2.3

O lo que es lo mismo:

$$Var(X) = \frac{(x_1 - \bar{X})^2 + (x_2 - \bar{X})^2 + \dots + (x_n - \bar{X})^2}{n}$$

Fórmula 2.5.2.4

2.5.5 REGRESIÓN

En estadística, el análisis de la regresión es un proceso estadístico para estimar las relaciones entre variables. Incluye muchas técnicas para el modelado y análisis de diversas variables, cuando la atención se centra en la relación entre una variable dependiente y una o más variables independientes (o predictoras)⁵⁶. Más específicamente, el análisis de regresión ayuda a entender cómo el valor de la variable dependiente varía al cambiar el valor de una de las variables independientes, manteniendo el valor de las otras variables independientes fijas. Más comúnmente, el análisis de regresión estima la esperanza condicional de la variable dependiente dadas las variables independientes - es decir, el valor promedio de la variable dependiente cuando se fijan las variables independientes. Con menor frecuencia, la atención se centra en un cuartil, u otro parámetro de localización de la distribución condicional de la variable dependiente dadas las variables independientes. En todos los casos, el objetivo

de la estimación es una función de las variables independientes llamada la **función de regresión**. En el análisis de regresión, también es de interés caracterizar la variación de la variable dependiente en torno a la función de regresión, la cual puede ser descrita por una distribución de probabilidad.

El análisis de regresión es ampliamente utilizado para la predicción y previsión, donde su uso tiene superposición sustancial en el campo de aprendizaje automático. El análisis de regresión se utiliza también para comprender cuales de las variables independientes están relacionadas con la variable dependiente, y explorar las formas de estas relaciones. En circunstancias limitadas, el análisis de regresión puede utilizarse para inferir relaciones causales entre las variables independientes y dependientes. Sin embargo, esto puede llevar a ilusiones o relaciones falsas, por lo que se recomienda precaución,¹ por ejemplo, la correlación no implica causalidad.⁵⁷

2.5.6 REGRESIÓN A LA MEDIA

En estadística, la regresión hacia la media es el fenómeno en el que si una variable es extrema en su primera medición, tenderá a estar más cerca de la media en su segunda medición y, paradójicamente, si es extrema en su segunda medición, tenderá a haber estado más cerca de la media en su primera. Para evitar hacer inferencias equivocadas, la regresión hacia la media debe ser

⁵⁷ Wikipedia Fuente:https://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_de_la_regresi%C3%B3n

considerada en el diseño de experimentos científicos y la interpretación de los datos

Las condiciones bajo las que se produce la regresión hacia la media dependen de la forma en que el término se defina matemáticamente. Sir Francis Galton observó por primera vez el fenómeno en el contexto de una regresión lineal simple de puntos de datos. Sin embargo, un enfoque menos restrictivo es posible. La regresión hacia la media se puede definir para cualquier distribución bivalente con idénticas distribuciones marginales. Existen dos tipos de definiciones.

Una definición concuerda estrechamente con el uso común del término "regresión hacia la media". No todas esas distribuciones bivariadas muestran la regresión hacia la media en esta definición. Sin embargo, todas estas distribuciones de dos variables muestran regresión hacia la media bajo la otra definición.⁵⁸

2.5.7 FRECUENCIA ABSOLUTA

La frecuencia absoluta es una medida estadística que nos da información acerca de la cantidad de veces que se repite un suceso al realizar un número determinado de experimentos aleatorios. Esta se representa mediante las letras f_i . La letra f se refiere a la palabra frecuencia y la letra i se refiere a la realización i -ésima del experimento aleatorio.⁵⁹

⁵⁸ Wikipedia Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Regresi%C3%B3n_a_la_media

⁵⁹ Economipedia Fuente: <https://economipedia.com/definiciones/frecuencia-absoluta.html>

2.5.8 UMBRAL

Los umbrales son puntos de referencia respecto de los cuales se puede comparar una medición. La Real Academia Española lo define como el “Valor mínimo de una magnitud a partir del cual se produce un efecto determinado”. En inglés comúnmente se utilizan términos tales como threshold (el más literal) o benchmark (“punto o nivel de referencia”) para referirse al concepto. Desde el punto de vista de la gestión de calidad, se conoce como umbral del indicador el nivel de cumplimiento que separa la existencia o no de un problema de calidad.⁶⁰

⁶⁰ Indicadores de calidad: Criterios para la definición de umbrales Fuente: <https://es.scribd.com/document/53392795/DefinicionUmbralesSuper>

2.6 DEFINICIONES USADAS POR EL MÉTODO PREDICTIVO DEL HSM

Todas las definiciones son tomadas del Highway Safety Manual (HSM, 2010).

2.6.1 FUNCIÓN DE DESEMPEÑO DE SEGURIDAD (FDS)

Definición 1: Las Funciones de Desempeño de Seguridad son ecuaciones de regresión que estiman la frecuencia promedio de siniestros viales para un sitio dado (con ciertas condiciones base), y en el caso de los segmentos de carretera, también en función de la longitud de los mismos. Estas funciones estiman la frecuencia promedio de siniestros valiesen general, pero el método permite separar por tipo de siniestro y nivel de lesión.⁶¹

Definición 2: Las funciones de desempeño de seguridad vial son funciones matemáticas que describen la relación entre el valor esperado de choques en un determinado lugar o infraestructura vial y varias características de este sitio. Normalmente las funciones de desempeño de seguridad vial se deducen a partir de la información de campo observada durante uno o varios años y modelos estadísticos que reflejan la distribución observada de frecuencias de choques.⁶²

⁶¹ Highway Safety Manual (HSM, 2010) y Análisis y propuesta de mejora en la carretera nacional pe-3s segmento av. Antonio lorena - poroy, aplicando la metodología de inspección de seguridad vial y el manual hsm.

⁶² Highway Safety Manual (HSM, 2010)

Esta sección describe los modelos estadísticos utilizados para describir dichas distribuciones observadas. Primero, se introduce el modelo básico para contabilizar eventos: la distribución de Poisson.

Y luego se presenta una distribución derivada de Poisson, la distribución Binomial Negativa, el cual es el tipo de distribución que se utilizara en esta investigación para la determinación de las funciones de desempeño que son necesarias para llevar a cabo el método de Bayes Empírico y determinar así el exceso de frecuencia de choques.

2.6.2 LA DISTRIBUCIÓN DE POISSON

La distribución de Poisson es utilizada típicamente para modelar datos de recuentos. Los choques viales son un claro ejemplo de una base de datos de recuento, por lo tanto, una distribución de Poisson es un modo útil de mostrarlos (Jovanis y Chang, 1986). En palabras de Shankar *et al* (1995), esto representa dos claras ventajas: “(i) se presta bien para modelar una base de datos por virtud de sus características de distribución entera, no negativa y discreta y (ii) puede ser generalizado para formas distribucionales más flexibles”⁶³.

⁶³ Valverde, Análisis de Choques Viales en Costa Rica usando Funciones de Desempeño de Seguridad Vial

2.6.3 LA DISTRIBUCIÓN BINOMIAL NEGATIVA

Una distribución binomial negativa es una distribución de datos no negativos generada por un proceso de Poisson con una varianza mayor que la media.

Esta característica clave hace que la distribución binomial negativa sea preferida sobre la distribución de Poisson donde la varianza es igual a la media.

En palabras de Shankar *et al* (1995) “Es bien conocido, basado en los descubrimientos de muchos esfuerzos de investigación anteriores, que los datos de frecuencia de siniestros viales tienden a ser muy dispersos...”⁶⁴.

Un error común de análisis se da cuando los datos no satisfacen la propiedad de la distribución de Poisson que restringe la media y la varianza a ser iguales ($E[y_i]=VAR [y_i]$). Si esta igualdad no se cumple, se dice que los datos están “*sub dispersos*” ($E[y_i]>VAR [y_i]$) o “*sobre dispersos*” ($E[y_i]<VAR[y_i]$) y el vector de parámetros es sesgado si no se toman medidas correctivas. La sobre dispersión puede tener lugar por diversas razones, dependiendo del fenómeno en investigación. La razón más importante en muchos estudios es que las variables que influyen el rango de Poisson durante las observaciones son omitidas de la regresión⁶⁵. Una distribución binomial negativa se puede considerar como una

⁶⁴ Valverde, Análisis de Choques Viales en Costa Rica usando Funciones de Desempeño de Seguridad Vial

⁶⁵ Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: El caso de la Ruta 32 en Costa Rica

distribución de Poisson con media λ , la cual es una variable aleatoria gamma. Por lo tanto, el modelo puede escribirse de la siguiente manera:

$$\ln \lambda_i = X_i \beta + \varepsilon_i$$

Donde X es el vector de covariables, β es el vector de coeficientes y ε es el término del error.

Los autores Lord y Mannering (2010) argumentan que el modelo binomial negativo es probablemente el usado más frecuentemente en la modelación de frecuencias de siniestros, por lo tanto varios autores, incluyendo a Lord et al (2005) y Noland y Qudds (2004), se han inclinado por esta distribución diciendo que los choques viales están mejor representados de esta manera.

Pero el modelo tiene una limitación importante que es la falta en manejar los datos de sub-dispersión; sin embargo, según Shankar et al (1995), basado en investigaciones previas, se ha concluido que los datos de frecuencia de choques tienden a tener sobre dispersión, lo cual es una fortaleza del modelo binomial negativo⁶⁶.

El programa por si solo muestra las estadísticas descriptivas de cada una de las variables continuas, es decir muestra el valor mínimo y máximo, la media y la mediana, así como los percentiles 25 y 75. Estos valores son útiles para descifrar

⁶⁶ Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: El caso de la Ruta 32 en Costa Rica

el comportamiento de cada una de las variables en los segmentos de estudio ya que se observa la tendencia que tienen.

CAPITULO 3

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION A REALIZAR



En la primera parte se realizará la recopilación de toda la información de fuentes bibliográficas necesaria para la obtención de los datos para poder utilizar de forma eficiente el método de Bayes Empírico, entre las que tenemos el manual de seguridad vial AASHTO 2011.

La segunda etapa consiste en la obtención de toda la información necesaria para desarrollar los métodos, la información se solicitará a las instituciones competentes como el Ministerio de Obras Públicas (MOP), Unidad de transporte de la Policía Nacional Civil, Viceministerio de transporte.

Los datos de siniestralidad vial solicitados a la Policía Nacional Civil se encuentran de manera digital, en bases de datos en formato .xlsx para Excel en las que se caracterizaban cada uno de los choques, como por ejemplo, la ubicación, severidad, tipo de siniestro, causas entre otra. Los datos no poseen coordenadas geográficas exactas lo que resultó un problema al tratarse de una gran cantidad de datos.

La información que se obtuvo es de años recientes, 01 de enero de 2015 -31 de Diciembre de 2017 ya que el análisis se basará en 3 años, Hubo pequeños inconvenientes con el acceso a la información debido al tiempo de demora para que se nos entregara y debido a la manera inadecuada de presentación, por lo cual se acudió directamente a autoridades de mayor rango, los cuales fueron muy cooperadores a la hora de resolver el problema permitiéndonos acceder a la información que necesitábamos.

Para ubicar los siniestros viales sin coordenadas que nos fueron proporcionados los cuales no poseen coordenadas se utilizó el programa Google Earth que tiene la carretera posicionada geográficamente, y viendo los reportes de los oficiales, las direcciones dadas, los esquemas y puntos de referencia se ubicaron en el programa y a partir de esto se obtuvieron distancias aproximadas en las que ocurrieron los choques, ya determinando la coordenada se dispondrían de tablas para ser fácilmente manejados y colocados en Civil3D para poder manejar los datos gráficamente.

Los datos también contaban con un inconveniente adicional, estos únicamente clasificaban los choques en personales y materiales, en otro Excel aparte venían los datos en los cuales habían fallecidos y lesionados, por lo cual se tuvo que revisar cada choque en específico para conocer si pertenecían a las siguientes categoría: víctimas mortales, heridos graves, heridos leves y solo daños materiales porque estas categorías son necesarias para realizar el estudio y poder usar factores de equivalencia que se explicarán posteriormente.

Para el caso de la información proporcionada por el MOP (TPDA), no realizan este estudio anualmente a la carretera de Comalapa, y solo se nos entregó la información de 3 años no consecutivos, esto no fue un gran problema ya que siguiendo la teoría de ingeniería de carreteras se pudo establecer una proyección de TPDA para el futuro.

| DESCRIPCION/TRAMOS | San Salvador (Blvd Los Próceres) - Dv. RN06S (Los Planes de Renderos) | Dv. RN06S (Los Planes) - Dv. Santo Tomás | Dv. Santo Tomás - LD. La Paz | LD. San Salvador - Dv. Olocuilta | Dv. Olocuilta - Dv. La Libertad | Dv. La Libertad - Aeropuerto El Salvador |
|-----------------------------|---|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|
| TIPO DE ESTRUCTURA | CONCRETO HIDRAULICO | CONCRETO HIDRAULICO | CONCRETO HIDRAULICO | CONCRETO HIDRAULICO | CONCRETO HIDRAULICO | CONCRETO HIDRAULICO |
| TIPO DE CALZADA | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D |
| CONDICIÓN DE CALZADA | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| ESTADO DE CALZADA | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO | BUENO |
| ILUMINACION DE LA CARRETERA | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D |
| CLIMA EN LA CARRETERA | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D |
| TIPO DE INTERSECCION | Listado anexo | Listado anexo | Listado anexo | Listado anexo | Listado anexo | Listado anexo |
| OBSTACULOS EN LA VIA | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D |
| PARTICIPACION DE PEATONES | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D |
| ALINEAMIENTO HORIZONTAL | Se anexa archivos CAD con planimetria | Se anexa archivos CAD con planimetria | Se anexa archivos CAD con planimetria | Se anexa archivos CAD con planimetria | Se anexa archivos CAD con planimetria | Se anexa archivos CAD con planimetria |
| CAPTADORES DE LUZ | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D |
| SEÑALAMIENTO HORIZONTAL | Listado anexo | Listado anexo | Listado anexo | Listado anexo | Listado anexo | Listado anexo |
| SEÑALAMIENTO VERTICAL | Listado anexo | Listado anexo | Listado anexo | Listado anexo | Listado anexo | Listado anexo |
| NUMERO DE CARRILES | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| ANCHO DE ESPALDON | IZQ:0.00 DER:0:00 | IZQ:0.00 DER:2.30 | IZQ:0.00 DER:2.30 | IZQ:1.00 DER:2.30 | IZQ:1.00 DER:2.30 | IZQ:1.00 DER:2.75 |
| ANCHO DE CARRIL | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.8 | 3.5 | 3.75 |
| LIMITE DE VELOCIDAD | 60 KMH | 60 KMH | 60 KMH | 60 KMH | 60 KMH | 60 KMH |

S/D: SIN DATOS

Tabla 3.1 Características de la carretera Comalapa



República de El Salvador
Ministerio de Obras Públicas
Dirección de Planificación de la Obra Pública - VMOP
Subdirección de Administración de Obras de Paso y de Inventarios Viales
INTERSECCIONES EN LA AUTOPISTA



| nombre_tramo | nombre_ruta | designacion_paso | latitud_decimal | longitud_decimal |
|--|-------------|------------------|-----------------|------------------|
| SAN SALVADOR (BLVD LOS PRÓCERES) - DV RN06S (LOS PLANES) | RN05S | Paso a Desnivel | 13.67431667 | -89.20295 |
| DV RN06S (LOS PLANES) - DV SANTO TOMÁS | RN05S | Paso Vehicular | 13.65776667 | -89.18905 |
| DV RN06S (LOS PLANES) - DV SANTO TOMÁS | RN05S | Paso Vehicular | 13.64936 | -89.18287 |
| DV RN06S (LOS PLANES) - DV SANTO TOMÁS | RN05S | Paso Vehicular | 13.64924 | -89.18148 |
| DV RN06S (LOS PLANES) - DV SANTO TOMÁS | RN05S | Paso Vehicular | 13.64942 | -89.18029 |
| DV RN06S (LOS PLANES) - DV SANTO TOMÁS | RN05S | Paso Vehicular | 13.6506 | -89.17496 |
| DV RN06S (LOS PLANES) - DV SANTO TOMÁS | RN05S | Paso Vehicular | 13.65158 | -89.17053 |
| DV RN06S (LOS PLANES) - DV SANTO TOMÁS | RN05S | Paso Vehicular | 13.65214 | -89.16852 |
| DV RN06S (LOS PLANES) - DV SANTO TOMÁS | RN05S | Paso Vehicular | 13.65242 | -89.16677 |
| DV RN06S (LOS PLANES) - DV SANTO TOMÁS | RN05S | Paso vehicular | 13.65317 | -89.1635 |
| DV RN06S (LOS PLANES) - DV SANTO TOMÁS | RN05S | Paso Vehicular | 13.65337 | -89.16363 |
| DV RN06S (LOS PLANES) - DV SANTO TOMÁS | RN05S | Paso Vehicular | 13.65386 | -89.16073 |
| DV RN06S (LOS PLANES) - DV SANTO TOMÁS | RN05S | Paso Vehicular | 13.65549 | -89.15056 |
| DV RN06S (LOS PLANES) - DV SANTO TOMÁS | RN05S | Paso Peatonal | 13.65088 | -89.14603 |
| DV RN06S (LOS PLANES) - DV SANTO TOMÁS | RN05S | Paso Vehicular | 13.64618 | -89.14036 |
| DV RN06S (LOS PLANES) - DV SANTO TOMÁS | RN05S | Paso Vehicular | 13.64413 | -89.13413 |
| DV RN06S (LOS PLANES) - DV SANTO TOMÁS | RN05S | Paso Vehicular | 13.64385 | -89.13027 |
| DV RN06S (LOS PLANES) - DV SANTO TOMÁS | RN05S | Paso Vehicular | 13.64042 | -89.12692 |
| DV SANTO TOMÁS - LD LA PAZ | RN05S | Paso Vehicular | 13.62049 | -89.12261 |
| LD SAN SALVADOR - DV OLOCUILTA | RN05S | Paso Vehicular | 13.611 | -89.12122 |
| LD SAN SALVADOR - DV OLOCUILTA | RN05S | Paso Vehicular | 13.60339 | -89.11904 |
| LD SAN SALVADOR - DV OLOCUILTA | RN05S | Paso Vehicular | 13.58919 | -89.12423 |
| LD SAN SALVADOR - DV OLOCUILTA | RN05S | Paso Vehicular | 13.58495 | -89.12743 |
| LD SAN SALVADOR - DV OLOCUILTA | RN05S | Paso Vehicular | 13.57892 | -89.12959 |
| LD SAN SALVADOR - DV OLOCUILTA | RN05S | Paso Peatonal | 13.57162 | -89.12341 |
| LD SAN SALVADOR - DV OLOCUILTA | RN05S | Paso Vehicular | 13.56711 | -89.1193 |
| DV OLOCUILTA - DV LA LIBERTAD | RN05S | Paso Vehicular | 13.5507 | -89.11557 |
| DV OLOCUILTA - DV LA LIBERTAD | RN05S | Paso Vehicular | 13.54231 | -89.11156 |
| DV OLOCUILTA - DV LA LIBERTAD | RN05S | Paso Vehicular | 13.519 | -89.10112 |
| DV OLOCUILTA - DV LA LIBERTAD | RN05S | Río | 13.49587 | -89.07426 |

Tabla 3.2 Ubicación de intersecciones en la Carretera Comalapa

| EID | UNIDAD | RESACC | DAÑO | FECHA | HORA | DIRECCION | |
|--------|---------------------------|------------|------|-------------------|------------|-----------|--|
| 152775 | DEPTO TTO SAN MARCOS | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 02/01/2017 | 22:30 | Kilómetro 8½ Autopista que de Comalapa Conduce a San Salvador, Frente a Monumento Cristo a la Paz. |
| 152806 | SAN SALVADOR METROPLITANO | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 03/01/2017 | 09:20 | Autopista a Comalapa y Avenida Doctor Jose Antonio rodroguez Porth, San Salvador. |
| 152820 | SAN SALVADOR METROPLITANO | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 03/01/2017 | 15:30 | Autopista a Comalapa, frente a Gasolinera Texaco, San Salvador. |
| 152839 | SAN SALVADOR METROPLITANO | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 03/01/2017 | 19:00 | Autopista a Comalapa y Avenida Doctor Jose Antonio Rodriguez Porth, San Salvador. |
| 153059 | DEPTO TTO SAN MARCOS | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 06/01/2017 | 20:50 | Calle principal de colonia los Nogales y kilometro 8 1/2 autopista Comalapa. |
| 153088 | DEPTO TTO SAN MARCOS | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 07/01/2017 | 10:15 | Kilometro 8 1/2 de la autopista Comalapa, frente al monumento Melida Anaya Montes |
| 153598 | DEPTO TTO LA PAZ | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 15/01/2017 | 19:00 | Kilómetro 28 Autopista Comalapa, Cantón Cupinco, jurisdicción de Olocuilta, Departamento de La Paz. |
| 153615 | DEPTO TTO SAN MARCOS | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 16/01/2017 | 09:30 | Retorno del Jardin de la Soliradidad, del kilometro 10 de la autopista que de Comalapa conduce a San Salvador. |
| 153617 | DEPTO TTO SAN MARCOS | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 16/01/2017 | 18:40 | Kilometro 16 autopista que de Comalapa conduce a San Salvado, frente a la calle principal de la colonia Retana, |
| 153683 | SAN SALVADOR METROPLITANO | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 17/01/2017 | 08:00 | Kilómetro 6 de la Autopista a Comalapa, frente al Block A de la Comunidad Modelo 3, San Salvador. |
| 153714 | DEPTO TTO LA PAZ | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 17/01/2017 | 09:15 | Kilómetro 42 1/2 Autopista Comalapa, sentido de Sur a Norte, Cantón Nuevo Edén, jurisdicción de San Luis Talpa |
| 153796 | DEPTO TTO SAN MARCOS | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 18/01/2017 | 17:30 | Kilometro 10 autopista de comalapa a san salvador. |
| 153806 | SAN SALVADOR METROPLITANO | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 19/01/2017 | 06:50 | Autopista a Comalapa frente a la entrada principal del Rancho Navarra, San Salvador |
| 153811 | DEPTO TTO SAN MARCOS | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 19/01/2017 | 06:50 | Kilómetro 13 Autopista que de Comalapa conduce a San Salvador, San Marcos. |
| 154109 | DEPTO TTO SAN MARCOS | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 23/01/2017 | 13:30 | Kilometro 8 de la autopista que de Comalapa conduce a San Salvador |
| 154212 | DEPTO TTO LA PAZ | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 25/01/2017 | 01:25 | Kilómetro 36 ½ Autopista a Comalapa, cantón El Tobilón, Jurisdicción de San Juan Talpa, Departamento de La Pa |
| 154410 | DEPTO TTO LA PAZ | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 27/01/2017 | 17:30 | Kilometro 22 1/2 Autopista Comalapa, carriles de Sur a Norte, Cantón La Esperanza, Olocuilta, Departamento de |
| 154593 | DEPTO TTO SAN MARCOS | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 30/01/2017 | 12:23 | Kilometro 8 1/2 autopista que de Comalapa conduce a San Salvador, frente a monumento de Cristo de la Paz. |
| 154599 | DEPTO TTO SAN MARCOS | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 30/01/2017 | 12:23 | Kilometro 8 1/2 autopista que de Comalapa conduce a San Salvador, frente al monumento Cristo de la Paz. |
| 154645 | DEPTO TTO SAN MARCOS | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 31/01/2017 | 00:30 | Kilometro 10 Autopista de San Salvador a Comalapa, jurisdiccion de San Marcos, Departamento de San Salvador. |
| 154709 | DEPTO TTO SAN MARCOS | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 01/02/2017 | 05:00 | Kilometro 8 y medio, Autopista que de Comalapa conduce a San Salvador, frente a Monumento Cristo de la Paz, |
| 154781 | DEPTO TTO SAN MARCOS | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 01/02/2017 | 20:20 | Kilometro 11 de la autopista que de San Salvador conduce a Comalapa |
| 154789 | DEPTO TTO SAN MARCOS | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 02/02/2017 | 05:30 | Kilometro 18 autopista que de San Salvador conduce a Comalapa |
| 154802 | DEPTO TTO SAN MARCOS | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 02/02/2017 | 11:15 | Kilometro 8 1/2 autopista que de San Salvador conduce a Comalapa, a la altura del retorno. |
| 154804 | DEPTO TTO SAN MARCOS | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 02/02/2017 | 08:30 | Kilometro 11 1/2 de la autopista que de Comalapa conduce a San Salvador. |
| 154913 | SAN SALVADOR METROPLITANO | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 03/02/2017 | 17:20 | Kilómetro 6, Autopista a Comalapa, a la altura de la Aduana, San Salvador. |
| 155037 | DEPTO TTO LA PAZ | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 04/02/2017 | 20:45 | Kilómetro 21 1/2 de la Autopista Comalapa, a la altura del Cantón El Viñedo, jurisdicción de Olocuilta, Departam |
| 154995 | DEPTO TTO SAN MARCOS | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 04/02/2017 | 18:00 | Kilometro 11 Autopista de Comalapa hacia San San Salvador |
| 155182 | SAN SALVADOR METROPLITANO | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 06/02/2017 | 06:20 | Autopista a Comalapa a la altura de la Aduana Navarra, San Salvador. |
| 155111 | DEPTO TTO SAN MARCOS | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 06/02/2017 | 13:30 | Kilometro Nueve de la Autopista que de San Salvador Conduce a Comalapa a la altura del banco CITI |
| 155181 | SAN SALVADOR METROPLITANO | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 07/02/2017 | 07:55 | En la Autopista a Comalapa y Avenida Vista Hermosa .San Salvador. |
| 155240 | DEPTO TTO LA PAZ | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 08/02/2017 | 04:40 | Kilómetro 39 Autopista Comalapa, sentidos de Sur a Norte, jurisdicción de San Luis Talpa, Departamento de La P |
| 155285 | DEPTO TTO SAN MARCOS | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 08/02/2017 | 11:30 | Km 11 y medio de la Autopista Carril que conduce de Comalapa a San Salvador. |
| 155289 | SAN SALVADOR METROPLITANO | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 08/02/2017 | 17:15 | Autopista a Comalapa Kilometro 6 San Salvador. |
| 155373 | DEPTO TTO SAN MARCOS | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 09/02/2017 | 18:30 | Kilometro 11 1/2 autopista que de Comalapa conduce a San Salvador. |
| 155680 | DEPTO TTO SAN MARCOS | MATERIALES | #N/A | DAÑOS MATAERIALES | 14/02/2017 | 09:55 | KILOMETRO 10 AUTOPISTA DE COMALAPA A SAN SALVADOR. |

Tabla 3.3 Tabla con los datos de choques de la Carretera Comalapa entregada por la PNC.

3.2 PROCESO DE GESTION DE LA SEGURIDAD EN CARRETERA

El Manual de Seguridad de Carreteras (AASHTO, 2010) provee herramientas analíticas y técnicas para cuantificar los efectos potenciales en los choques viales como resultado de las decisiones tomadas en el planteamiento, diseño, operaciones y mantenimiento de las carreteras. En todas las carreteras del mundo existe algún riesgo de que ocurran colisiones, no se pretende eliminarlas del todo, pero el objetivo universal es reducir el número y la severidad de los choques con los recursos que se tengan disponibles sin violar las limitaciones legales que existan.⁶⁷

El Manual de Seguridad de Carreteras comprende el proceso de gestión de la seguridad en carreteras, el cual incluye seis pasos, de los cuales tres fueron los desarrollados:

- Evaluación de la red: se estudia una red de transporte en la cual se identifican y clasifican segmentos o sitios, basados en el potencial para la reducción de frecuencia de choques.
- Diagnóstico: se evalúan los datos de colisiones, la historia del sitio y las condiciones de campo para así identificar los patrones de choques.

⁶⁷ Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: El caso de la Ruta 32 en Costa Rica

- Selección de medidas: se identifican factores que puedan contribuir a la ocurrencia de choques en un sitio determinado y seleccionar las posibles medidas para reducir la frecuencia de los mismos.

Estos pasos pueden ser usados secuencialmente como un proceso, o pueden ser aplicados individualmente para atacar un problema específico.

Los beneficios de implementar un proceso de seguridad en carretera incluyen, por ejemplo.

- Un proceso sistemático y que se puede repetir en el que se identifican oportunidades para reducir los choques y medidas potenciales listadas según su relación beneficio- costo.
- Un proceso cuantitativo y sistemático que se dirige a un amplio rango de condiciones de seguridad, incluyendo sus ventajas y desventajas.
- La oportunidad de aprovechar el financiamiento y coordinar mejoras con otros programas de mejoras de infraestructura.
- Métodos completos que consideran volumen del tráfico, datos de las colisiones, operaciones del tráfico, geometría de la carretera y expectativas del usuario.
- La oportunidad de usar un proceso proactivo para incrementar la efectividad de las medidas destinadas a reducir la frecuencia de las colisiones.⁶⁸

⁶⁸ Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: El caso de la Ruta

3.2.1 ANALISIS DE LA RED

La evaluación de la red es la primera actividad que se realizó en el proceso de gestión de seguridad en carreteras, está compuesta por los siguientes pasos:

1. Establecer el enfoque:

La evaluación de la red puede estar enfocada ya sea en identificar y clasificar los sitios donde las mejoras tienen potencial de reducir el número de colisiones o en evaluar una red para identificar sitios con un tipo de choque en particular o con severidad para así formular e implementar una estrategia; o puede estar enfocada en ambos puntos, como es el caso de este proyecto.

2. Identificar la red y establecer poblaciones de referencia

Una población de referencia es un grupo de sitios con características similares, y a la larga el establecimiento de prioridades de sitios en específico será hecho con poblaciones de referencia.⁶⁹

⁶⁹ Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: El caso de la Ruta 32 en Costa Rica

| No Segmento | Estación inicio | Estación final | Longitud (m) | nombres del lugar |
|-------------|-----------------|----------------|--------------|-----------------------------|
| 1 | 0+000 | 1+000 | 1000 | Residencial Villa Galicia |
| 2 | 1+000 | 2+000 | 1000 | Rancho Navarra |
| 3 | 2+000 | 3+000 | 1000 | Colonia Dolores |
| 4 | 3+000 | 4+000 | 1000 | Colonia California |
| 5 | 4+000 | 5+000 | 1000 | Colonia San Juan |
| 6 | 5+000 | 6+000 | 1000 | Colonia Valle de San Marcos |
| 7 | 6+000 | 7+000 | 1000 | Colonia Marabu |
| 8 | 7+000 | 8+000 | 1000 | San Marcos |
| 9 | 8+000 | 9+000 | 1000 | Colonia Santa Fé |
| 10 | 9+000 | 10+000 | 1000 | Colonia Morán |
| 11 | 10+000 | 11+000 | 1000 | colonia Alcaine |
| 12 | 11+000 | 12+000 | 1000 | Residencial Sierra Verde |
| 13 | 12+000 | 13+000 | 1000 | Santo Tomas |
| 14 | 13+000 | 14+000 | 1000 | Colonia 10 de Octubre |
| 15 | 14+000 | 15+000 | 1000 | Colonia el Milagro |
| 16 | 15+000 | 16+000 | 1000 | Santiago Texacuangos |
| 17 | 16+000 | 17+000 | 1000 | Colonia Monte frío |
| 18 | 17+000 | 18+000 | 1000 | Santo Tomas |
| 19 | 18+000 | 19+000 | 1000 | Montelimar |
| 20 | 19+000 | 20+000 | 1000 | Cantón El Morro |
| 21 | 20+000 | 20+930 | 1000 | Olocuilta |
| 22 | 20+930 | 22+000 | 1000 | Barrio San Juan de Dios |
| 23 | 22+000 | 23+000 | 1000 | Cantón E l Viñedo |
| 24 | 23+000 | 24+000 | 1000 | Colonia La Esperanza |
| 25 | 24+000 | 25+000 | 1000 | Caserío El Sálamo |
| 26 | 25+000 | 26+000 | 1000 | Cuyultitlan |
| 27 | 26+000 | 27+000 | 1000 | San Sebastián |
| 28 | 27+000 | 28+000 | 1000 | Cantón El Chilamate |
| 29 | 28+000 | 29+000 | 1000 | Canton Cupinco |
| 30 | 29+000 | 30+000 | 1000 | Caserío Las Placitas |
| 31 | 30+000 | 31+000 | 1000 | Cantón Comalapa |
| 32 | 31+000 | 32+000 | 1000 | San Juan Talpa |
| 33 | 32+000 | 33+000 | 1000 | Cantón el Tobalón |
| 34 | 33+000 | 34+000 | 1000 | Los Huesos |
| 35 | 34+000 | 35+000 | 1000 | San Luis Talpa |
| 36 | 35+000 | 36+000 | 1000 | Cantón Monte Cristo |
| 37 | 36+000 | 37+000 | 1000 | lotificación Santa cristina |
| 38 | 37+000 | 38+000 | 1000 | Lotificación Miraflores 3 |
| 39 | 38+000 | 39+300 | 1000 | Cantón Nuevo Edén |

Tabla 3.4 segmentos de carretera y poblaciones de referencia.

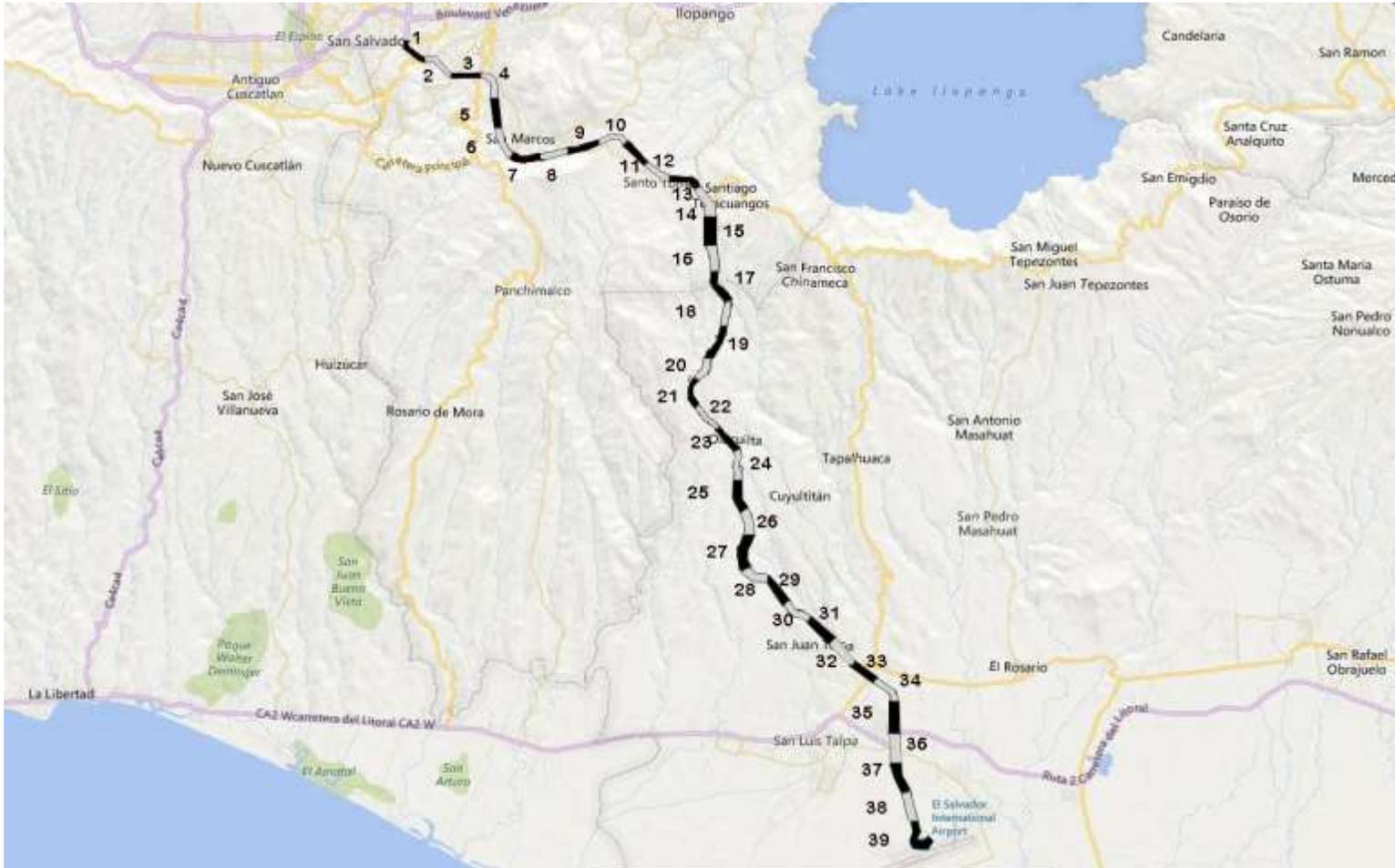


Figura 3.1 ilustración de la separación entre segmentos de carretera.

Los datos que son caracterizados por una muestra pequeña pueden causar problemas de estimación en los modelos tradicionales. Con medias de muestra baja, la distribución del conteo de choques esta sesgada de manera excesiva hacia el cero, lo que resulta en parámetros estimados incorrectamente y conclusiones erróneas⁷¹.

Por lo tanto, teniendo ya los choques debidamente ubicados a lo largo de la carretera y los segmentos homogéneos delimitados, se procedió a realizar el análisis de la información que se tiene y a ubicar con geolocalización los datos de los choques y quedaron de la siguiente manera.

⁷¹ Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: El caso de la Ruta 32 en Costa Rica

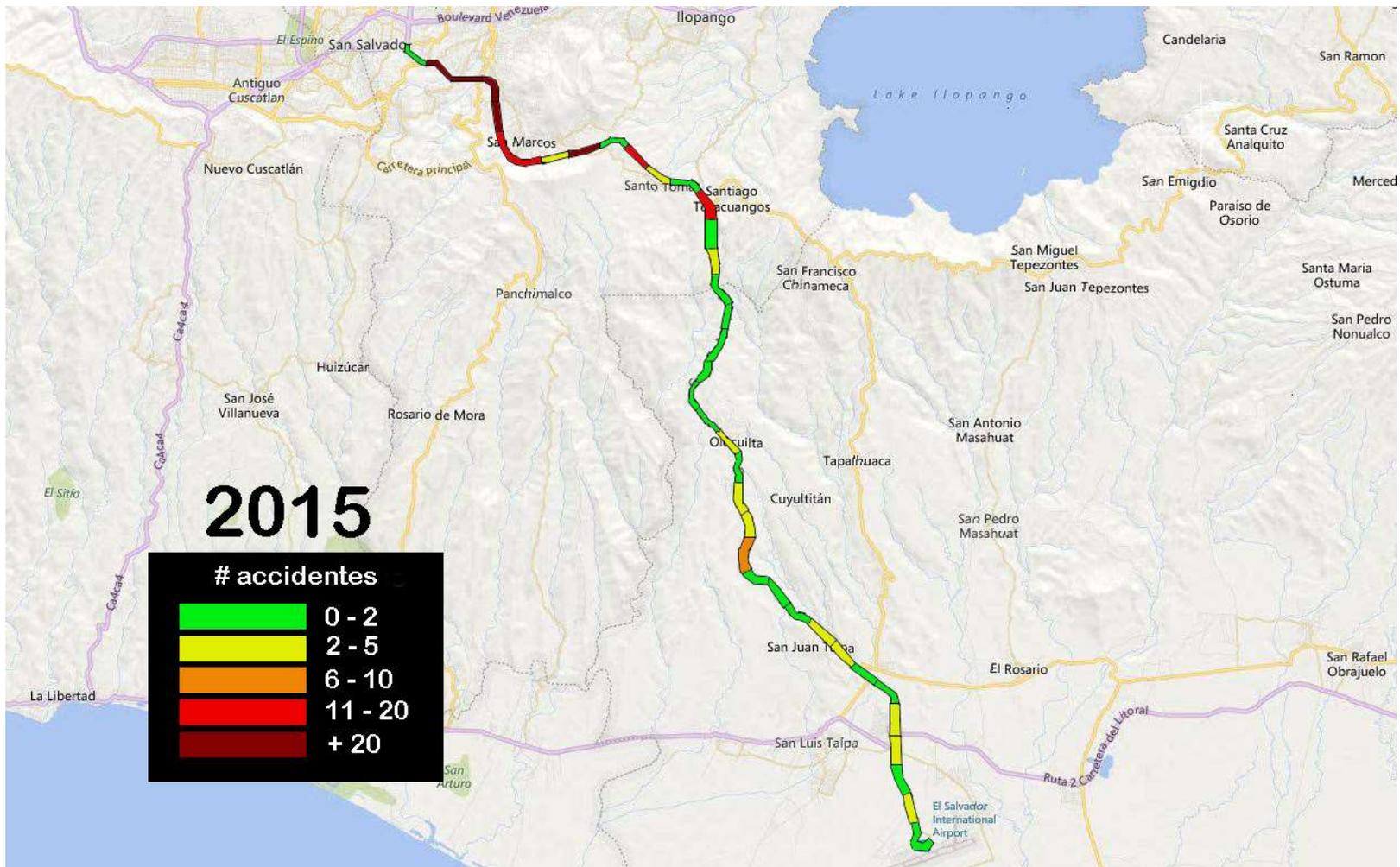


Figura 3.2 ubicación los datos de los choques con geolocalización, donde la cantidad de choques por segmento se puede observar dependiendo del color, para el año 2015.

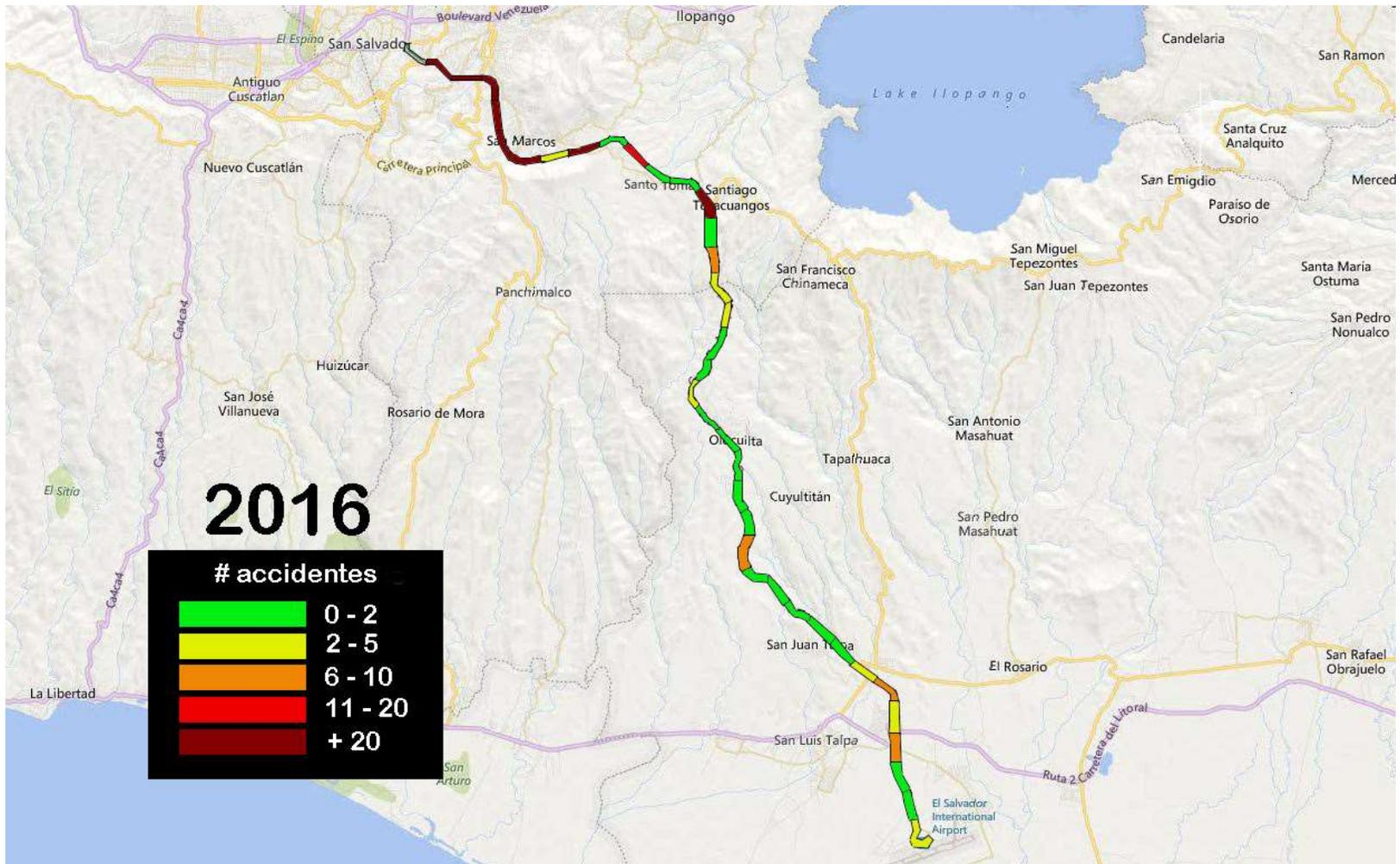


Figura 3.3 ubicación los datos de los choques con geolocalización, donde la cantidad de choques por segmento se puede observar dependiendo del color, para el año 2016.

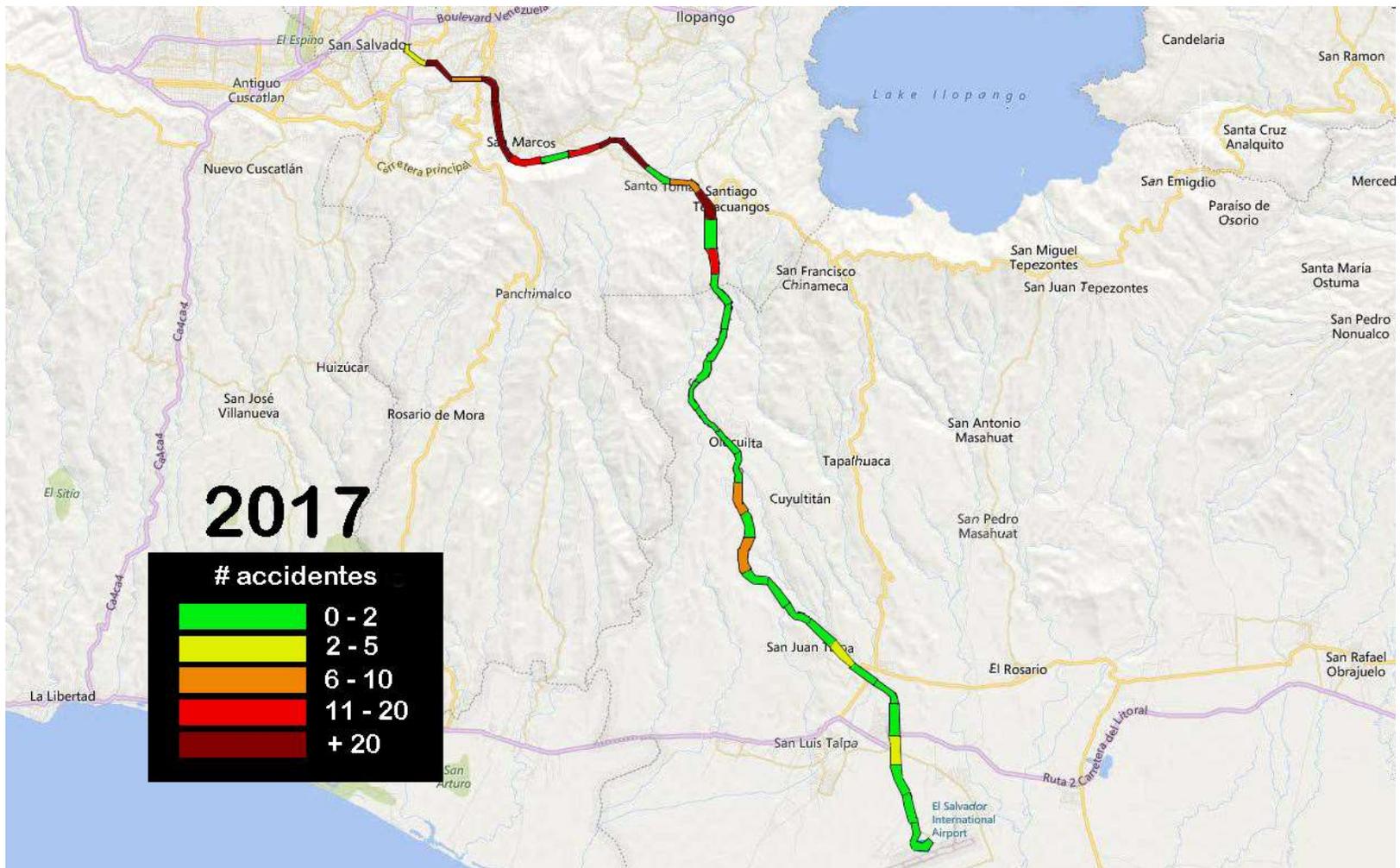


Figura 3.4 ubicación los datos de los choques con geolocalización, donde la cantidad de choques por segmento se puede observar dependiendo del color, para el año 2017

3. Seleccionar las mediciones de desempeño de la evaluación e la red.

Este paso consiste en seleccionar uno o varios métodos de medición de desempeño para ser usados a la hora de evaluar el potencial para reducir la cantidad de choques viales⁷².

La seguridad de una intersección puede ser medida cuantitativamente en términos de los siguientes parámetros:

- La frecuencia de choques promedio.
- La frecuencia de colisiones promedio esperada.
- La tasa de colisiones.
- La frecuencia de choques promedio equivalente a solo daños de propiedad (EPDO).
- El índice de severidad relativa.
- La tasa crítica de choques.
- El Exceso de frecuencia de choques promedio previsto, usado el método de momentos.
- El nivel de servicio de seguridad.
- El exceso de la frecuencia de choques promedio previsto usando funciones de desempeño de seguridad (SPF por sus siglas en inglés)

⁷² Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: El caso de la Ruta 32 en Costa Rica

- La probabilidad de tipos de choques específicos que excedan el umbral de proporción.
- El exceso de la proporción de tipos específicos de colisiones.
- La frecuencia promedio esperada con ajuste de Bayes Empíricos.
- La frecuencia de choques promedio EPDO con ajustes de Bayes empíricos.
- El exceso previsto de la frecuencia de choques promedio con ajuste de Bayes empírico.

Existen varias consideraciones claves que se utilizan para seleccionar cuál es el método más apropiado para medir el desempeño de una red, pero en este caso se utilizaron los criterios que lo hacen más preciso y confiable, en vez de escoger los de simplicidad. Por lo tanto, estos criterios son la disponibilidad de datos, el sesgo de regresión a la media y como se establece el umbral de desempeño.

Los datos típicos que se necesitan para poder realizar un análisis generalmente incluyen la información para establecer poblaciones de referencia, los datos de colisiones, el volumen del tráfico y, en este caso, las funciones de desempeño de seguridad. El método que fue escogido es el de Exceso de Frecuencia Promedio de Choques Esperado con el Ajuste de Bayes Empírico y para este se necesitan datos para los cuatro puntos mencionados⁷³.

⁷³ Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: El caso de la Ruta 32 en Costa Rica

Las frecuencias de choques son más altas o más bajas a través del tiempo, es decir, no se mantienen constantes. Por consiguiente, una frecuencia promedio en un período corto puede variar significativamente con respecto a una que tenga un periodo más largo. Cuando un periodo mantiene una alta frecuencia de choques, es estadísticamente probable que una baja frecuencia se pueda observar en el siguiente periodo. Este fenómeno se conoce como regresión a la media y también aplica en la situación inversa. No tomar en cuenta esta tendencia da como resultado un sesgo de regresión a la media potencia, también conocido como sesgo de selección, por lo cual es un punto que se debe tomar en cuenta a la hora de hacer el análisis de desempeño.

Finalmente, el valor del umbral de desempeño provee un punto de referencia para comparar la calificación de una medida de desempeño dentro de una población de referencia. Los sitios pueden ser agrupados basados en si las calificaciones la media de desempeño para cada sitio es mayor o menor que el valor del umbral. Aquellos sitios con una calificación menor que la del umbral pueden ser estudiados con más detalle y así determinar si la reducción de la frecuencia de los choques es posible.⁷⁴

La forma de determinar el valor del umbral de desempeño varía dependiendo de la medida de desempeño seleccionada. Típicamente, los métodos que requieren

⁷⁴ Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: El caso de la Ruta 32 en Costa Rica

más datos y toman en cuenta el sesgo de regresión a la media son los que producen los umbrales de desempeño más confiables.

El ajuste de Bayes Empírico consiste en que la tasa de valores observados se ajusta para así tener un conjunto de valores esperados sin el sesgo de regresión a la media. La diferencia entre este valor ajustado y el valor de la función de desempeño es la diferencia de frecuencia que se utilizara posteriormente para el análisis de la red.

Finalmente se realizó la evaluación de los resultados, en el cual se muestran los sitios ordenadamente de acuerdo al procedimiento escogido, y aquellos sitios que estén más altos en la lista son los que están más propensos a verse beneficiados por la aplicación de medidas de mitigación para así reducir la frecuencia de colisiones.⁷⁵

En el método escogido, como se dijo antes, la frecuencia promedio observada y la frecuencia promedio prevista, de una función de desempeño son valorados en conjunto usando el método de Bayes Empírico para calcular una frecuencia promedio esperada que toma en cuenta el sesgo de regresión a la media. Por lo tanto, este método es más preciso que la mayoría de los otros debido a que toma en cuenta el sesgo de selección, pero tiene como limitación el requerimiento de funciones de desempeño de seguridad calibradas a las condiciones locales.

⁷⁵ Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: El caso de la Ruta 32 en Costa Rica

Para crear una función de desempeño de seguridad, se parte del número de choques observados para un conjunto de segmentos similares al sitio de estudio, y se crea una gráfica de número de choques contra exposición de los mismos, siendo la exposición el volumen de vehículos por kilómetro para estos diferentes segmentos. Se genera, entonces, una función con todos los valores observados, en la cual los puntos se tomaran como valores esperados de número de colisiones, por lo que aquellos que estén por encima de la curva son los que se busca, y están más propensos, a bajar su frecuencia de valores asociados a la exposición que tengan, debido a que alrededor de la curva de desempeño creada se visualiza una distribución normal, por lo que los valores que estén cercanos a la media son de mayor importancia ya que su frecuencia es más alta y los que están más alejados, es decir en la cola de la distribución son los que más tienen su frecuencia reducida.⁷⁶

3.3 EXCESO DE FRECUENCIA DE CHOQUES ESPERADO CON AJUSTE DE BAYE EMPIRICO

Para realizar este análisis estadístico se utilizó el programa Deducer junto a la plataforma R., estos programas son simples, efectivos, no generan problemas y aparte de todo son de fuente libre, por lo que no hubo que preocuparse por licencias.

⁷⁶ Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: El caso de la Ruta 32 en Costa Rica

El objetivo de este modelo es encontrar las funciones de desempeño de seguridad vial (SPFs) y seguir el procedimiento expuesto en el Manual de Seguridad en Carreteras de AASHTO.

Se construyó una tabla con cada uno de los 39 segmentos de estudio y todas sus características: cantidad de choques según su severidad, suma del TPDA, longitud de segmento, número de carriles, número de accesos y densidad por kilómetro de los mismos, alineamiento horizontal, ancho de carril, ancho de hombro, señalamiento horizontal, señalamiento vertical, captadores de luz y límites de velocidad.

Una vez que todas las variables a utilizar estuvieron listas, se procede a realizar la metodología desarrollada por la AASHTO en su Manual de Seguridad en Carreteras.

Primeramente, se busca calcular la frecuencia de choques promedio prevista (N_{pred}), a partir de las funciones de desempeño de seguridad, encontradas con el desarrollo de la regresión binomial negativa. Debido a que se utilizó este tipo de regresión, y la misma se puede considerar como una distribución de Poisson, tomando en cuenta las variables que al final fueron principales para correr el modelo, la función de desempeño fue encontrada de la siguiente forma:⁷⁷

⁷⁷ Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: El caso de la Ruta 32 en Costa Rica

$$\ln(\text{choques}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(\text{TPDA}) + \beta_2 \cdot \text{num carriles} + \beta_3 \cdot \text{dens accesos} + \ln(\text{Long})$$

Fórmula 3.3.1

En el que

$$N_{pred} = e^{\beta_0} \cdot \text{TPDA}^{\beta_1} \cdot e^{(\beta_2 \cdot \text{num carriles})} \cdot e^{(\beta_3 \cdot \text{dens accesos})} \cdot \text{Longitud} \quad \text{Fórmula 3.3.2}$$

El segundo paso, según la recomendación de AASHTO, consiste en encontrar el factor de corrección anual. Para el caso de este proyecto y como se explicó antes, el TPDA se trabajó como la suma anual en todos los años de estudio, la corrección anual no se tiene que hacer, puesto que ya está implícita en la suma del TPDA y en todos los cambios que genera en el análisis al utilizar ese dato, pero es importante enfatizar que no se está dejando por fuera del método la corrección que se le realiza al TPDA.

Seguidamente, se calcula lo que se conoce como ajuste por peso, que se refiere a la confiabilidad de la función de desempeño de seguridad que se está utilizando. Si los parámetros de sobre dispersión son bajos, lo cual indica una mayor confiabilidad, entonces se tendrá un ajuste por peso más grande, que a su vez indica que el SPF es más confiable. Se calcula de la siguiente manera⁷⁸:

⁷⁸ Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: El caso de la Ruta 32 en Costa Rica

$$w = 1 / (1 + k(N_{pred}))$$

Fórmula 3.3.3

En donde k es el parámetro de sobre dispersión de la función de desempeño de seguridad, el cual para este caso representa un valor de $1/\theta$, siendo θ el valor entregado por la regresión binomial negativa en el modelo. En este caso en específico, w se conoce como el peso de Bayes empírico.

Los pasos cuatro y quinto, según AASHTO consisten en calcular la frecuencia de choques esperados con el ajuste de Bayes empírico para el primer y último años. Exactamente por la misma razón que con el factor de corrección anual, no se necesita realizar estos cálculos, sino que únicamente se calculara una frecuencia de choques esperados total. Se hace con la siguiente ecuación.

$$N_{exp} = w \cdot N_{pred} + (1-w) \cdot N_{obs}$$

Fórmula 3.3.4

En la cual la variable Nobs corresponde al número de choques observados, es decir, los choques se tienen reportados por parte de los oficiales de tránsito y que fueron recopilados anteriormente.

El paso siguiente fue calcular ya propiamente el exceso de frecuencia de choques esperado, que corresponde a la diferencia entre los estimados predichos y los estimados con el ajuste de Bayes empírico. De la siguiente manera⁷⁹:

⁷⁹ Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: El caso de la Ruta 32 en Costa Rica

$$\Delta = N_{exp} - N_{pred} \quad \text{Fórmula 3.3.5}$$

Este era el objetivo que se buscaba desde el principio del análisis, llegar a esta diferencia para poder así identificar cuáles son los segmentos que tienen una mayor frecuencia de choques esperada que predicha, y que además van a responder mejor a las medidas de mitigación.

Este procedimiento se debe aplicar a todos los segmentos encontrados. Además, se debe hacer para cada tipo de severidad de choques, incluyendo también por aparte un análisis utilizando la equivalencia de choques.

El concepto de equivalencia de choques se utiliza para equiparar o comparar las distintas severidades de choque. Económicamente- que es la razón de estudio de este proyecto- por distintas razones, un choque en el que hay involucradas personas fallecidas, es mucho más caro que un suceso en el cual solo existan daños materiales. Es por eso que se busca que los choques sean equivalentes, por lo que, por ejemplo, un evento con muertos va a representar un determinado número de choques con solo daños materiales. Lo mismo para choques con heridos graves y leves, bajando el valor con respecto a la base que sería daños materiales únicamente, conforme baja la severidad del choque⁸⁰.

⁸⁰ Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: El caso de la Ruta 32 en Costa Rica

Se hizo una investigación acerca de los choques en diferentes países debidos que los datos correspondientes a El Salvador no se consiguieron.

El primer resultado que se obtuvo fue de un estudio en Nueva Zelanda (Ministry of Transport, 2011) en el cual las severidades de los choques son las mismas que las planteadas en este proyecto. La proporción de costo de los choques fatales o con heridos es la siguiente.

| | |
|-------------------|---------------|
| Fatales | 1584.9 |
| HG | 274.7 |
| HL | 29.3 |
| Materiales | 1.0 |

Tabla 3.2 Cuadro comparación de equivalencia de choques en Nueva Zelanda

Este estudio se descartó debido a que en nueva Zelanda es un país muy desarrollado y los costos asociados a los choques son muy diferentes a los de un país como Costa Rica, además que las carreteras analizadas en su mayoría son autopistas de 4 carriles o más⁸¹.

⁸¹ Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: El caso de la Ruta 32 en Costa Rica

La siguiente referencia que se tuvo fue de un estudio realizado en Chile (CONASET, 2008). Este país tiene más similitud, en varios aspectos, con la situación de El Salvador. El problema que se tuvo aquí fue que no se tenían costos para los choques en los que hubo solo daños materiales, por lo que no se pudo comparar respecto a las demás severidades, Por lo tanto, también se descartó, sin embargo, las proporciones se muestran a continuación:

| | |
|----------------|-------------|
| Fatales | 34.0 |
| HG | 11.0 |
| HL | 1.0 |

Tabla 3.3 Cuadro comparación de equivalencia de choques en Chile

Finalmente, se investigó un estudio hecho en la zona de Campeche en México (Peniche Mendoza, 2007), que por ser una zona no tan urbana se puede asemejar más a la Carretera a Comalapa. Además, tiene la misma clasificación de severidad que se utilizó en este proyecto. Las proporciones están en la siguiente tabla⁸²:

| | |
|----------------|-------------|
| Fatales | 40.1 |
| HG | 11.7 |
| HL | 2.9 |
| PDO | 1.0 |

Tabla 3.4 Cuadro comparación de equivalencia de choques en Campeche, México

⁸² Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: El caso de la Ruta 32 en Costa Rica

Al final, de los costos de choques se obtiene que la equivalencia de los mismos que se va a utilizar para este proyecto, tomando como base los choques únicamente con daños materiales es la siguiente.

1 choque con víctimas mortales = 40 choques con solo daños materiales

1 choque con heridos graves = 12 choques solo daños materiales

1 choque heridos leves = 3 choques solo daños materiales

De esta manera se tienen todos los choques reportados en este estudio equivalentes en choques con solo daños materiales, por lo que a partir de esto se procede a escoger los segmentos que van a tener un mayor exceso de frecuencia de choques, según el procedimiento explicado anteriormente⁸³.

Se hizo un estudio para cada severidad de choque y uno para los equivalentes. De este último fue que se escogieron los 15 segmentos que mayor exceso de frecuencia de choques esperado tienen, con lo que se completa el último paso del análisis de red.

⁸³ Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: El caso de la Ruta 32 en Costa Rica

CAPITULO 4

DESCRIPCION DE LOS DATOS

En el presente proyecto, los factores de riesgo a los choques correspondientes, han sido extraídos mediante informe del historial de choques viales de la Oficina de Acceso a la Información Pública de la Policía Nacional Civil (PNC) y la Administración de Acceso a la información del Ministerio de Obras Públicas (MOP).

Es importante mencionar que todos estos datos corresponden a los reportes de los señores oficiales de tránsito al momento de recibir la información de cada choque observado. Por tratarse de una actividad humana existen algunos detalles de poca comprensión en los datos, por lo que fue necesario asumir a criterio personal o bien anularles del estudio, tomando en cuenta únicamente las variables que presentaran información completa, clara y coherente.

Datos tales como edad del usuario, sexo del usuario, día del siniestro no han sido tomado en cuenta, debido a que es información incompatible con lo que realmente se necesita en el marco del estudio.

Otras variables que se habían considerado importantes han sido eliminadas por falta de información en el historial de choques obtenido, de esta forma finalmente fueron eliminadas variables tales como: edad, sexo, día del evento, iluminación en el sitio de choque, clima en el sitio de choque, ángulo de choque, obstáculos en la vía, participación de peatones.

4.1 DATOS DE LOS CHOQUES

Primeramente, con el historial de choques obtenido de la PNC, se observaron todas las variables.

Con la observación de estas variables se busca tener una idea de los factores físicos que pudieron haber tenido un papel importante al momento de ocurrencia de cada choque. En otras palabras, se busca encontrar algún patrón en particular de causas de choques que pueda no ser el esperado.

En este capítulo es importante mencionar que algunos de los criterios de clasificación de las variables han sido seleccionadas a criterio personal en base a los datos obtenidos por la PNC, se han evaluado tal y como fueron proporcionadas, para obtener una clasificación más precisa, tal es el caso para determinar la severidad de los siniestros, en donde esta variable fue clasificada por: daños materiales, heridos leves, heridos graves y víctimas fatales, variable que no se obtuvo directamente proporcionada, sino que se tuvo que evaluar tres aspectos registrados tales como: tipo de daño (materiales o personales), gravedad (lesionados o fallecidos), y causa del siniestro (si existía o no velocidad inadecuada).

4.1.1 Tipo de Estructura

Al tratarse de una carretera de extensión considerable, todos los puntos en estudio se dan sobre la calzada regular, es decir no existe un punto que haya sido sobre alguna estructura especial. Existen pocos datos donde se produjo un choque al momento de cruzar un puente, pero es tan bajo que se considera prácticamente nulo.



Figura 4.1. Cantidad de choques según el tipo de estructura de la carretera



Figura 4.2. Porcentaje de choques según el tipo de estructura de la carretera

4.1.2 Tipo de Calzada

En El Salvador gran porcentaje de carreteras están hechas ya sea de asfalto o concreto hidráulico, según la información proporcionada por el ministerio de Obras Públicas, todos los segmentos o segmentos de la Autopista Comalapa están contruidos de Concreto Hidráulico.



Figura 4.3. Cantidad de choques según el tipo de calzada de la carretera



Figura 4.4. Porcentaje de choques según el tipo de calzada de la carretera

4.1.3 Estado de la Calzada

En los reportes de la PNC los choques no han sido registrados bajo algún estado de calzada sin embargo según la información del ministerio de Obras públicas la calzada ha presentado un buen estado en los periodos de interés del estudio, variable que deja la duda si realmente más de algún choque fue producto de algún estado inadecuado de la calzada.

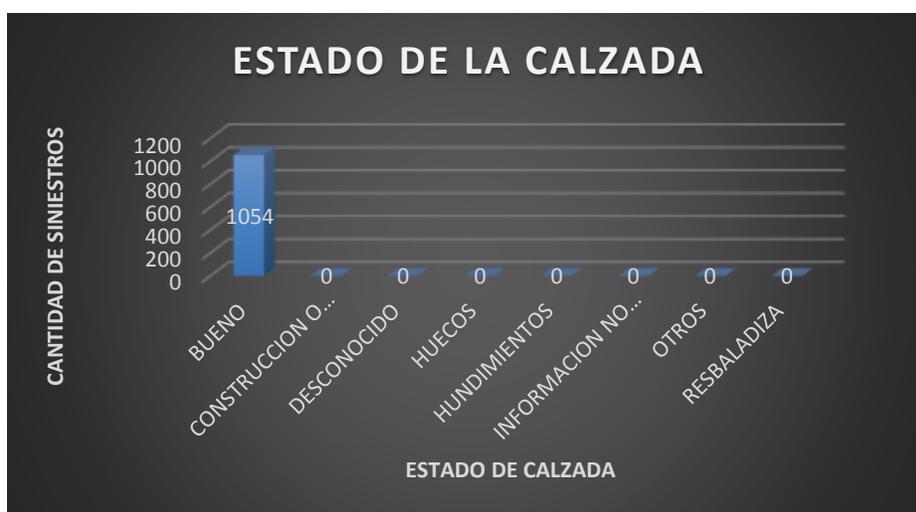


Figura 4.5. Cantidad de choques según el estado de calzada al momento del choque



Figura 4.6. Porcentaje de choques según el estado de calzada al momento del choque

4.1.4 Tipo de Intersección

En mayor parte, según la información reportada por los oficiales de tránsito, los choques no están relacionados a algún tipo de intersección, sin embargo, según el estudio realizado se puede observar un pequeño porcentaje en intersecciones tales como retornos, desvíos vehiculares e incorporación a la autopista Comalapa. Se debe mencionar que en este apartado esta información se obtuvo mediante las breves descripciones del historial de choques, y no en si como una característica en particular de lo registrado.

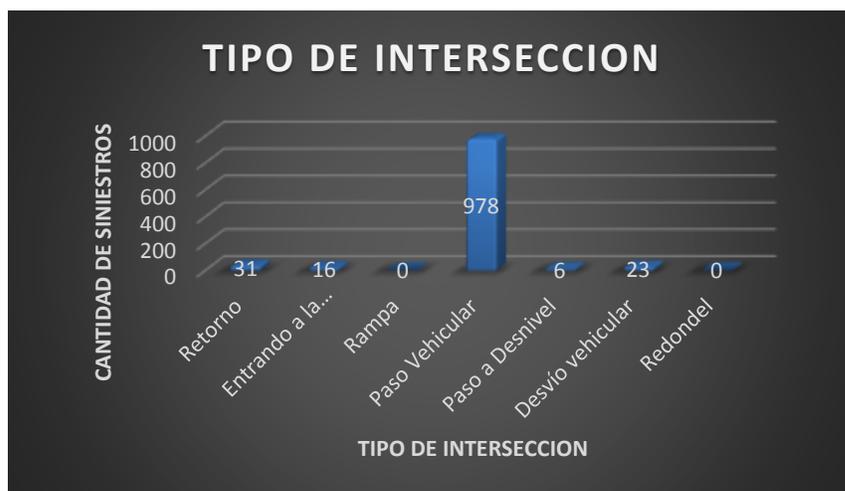


Figura 4.7. Cantidad de choques según el tipo de intersección

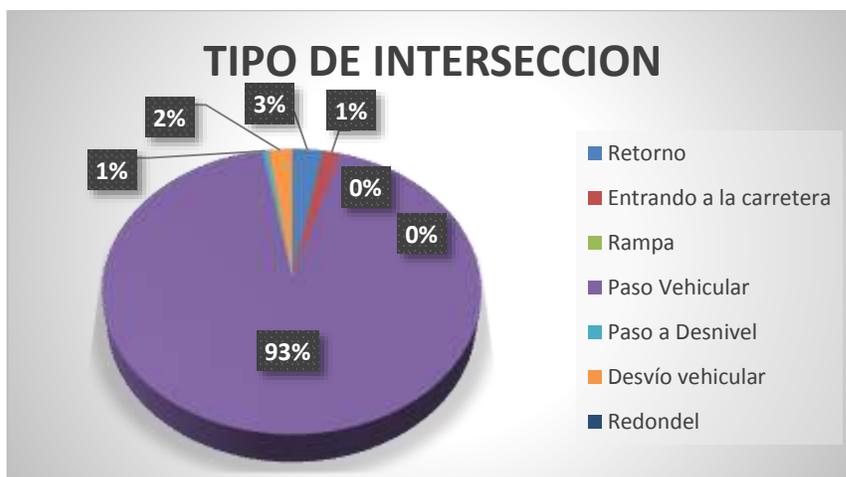


Figura 4.8. Porcentaje de choques según el tipo de intersección

4.1.5 Tipo de Choque

El tipo de choque predominante es la colisión entre vehículos, un dato bastante coherente como era de esperarse. Sin embargo, hay algunas cantidades bastante considerables en esta variable tales como atropello, lo que puede indicar la distracción del conductor o bien una zona con mucha necesidad de paso peatonal sin la existencia de alguna estructura adecuada para esto, también el vuelco lo que puede representar la sinuosidad del camino o incluso falta de iluminación adecuada para los casos nocturnos.

Es importante hacer énfasis entre la diferencia de los términos colisión y choque, un choque comúnmente es protagonizado por un vehículo en movimiento contra un objeto estático, sea este árbol, poste, auto, entre otras. Mientras que una colisión es protagonizada por dos vehículos en movimiento.

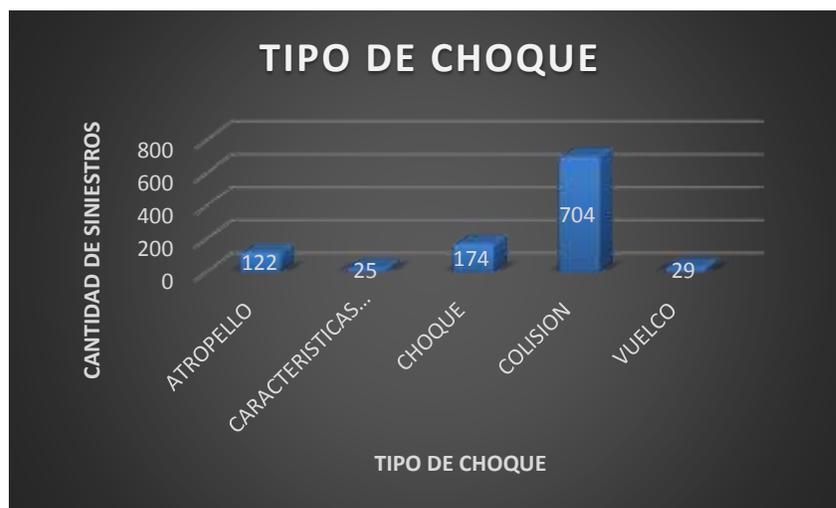


Figura 4.9. Cantidad de choques según el tipo de choque ocasionado

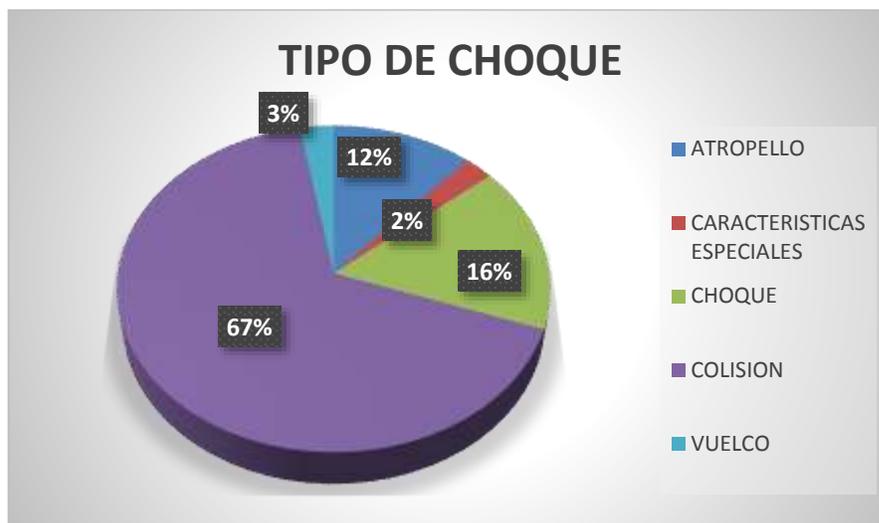


Figura 4.10. Porcentaje de choques según el tipo de choque ocasionado

4.1.6 Causa del Siniestro

Luego de haber visto los tipos de choques, se procede a observar la causa o causas principales de estos choques, para ver que factor es predominante, y como era de esperarse el factor principal es el factor humano como se ha venido mencionando con anterioridad, se tienen cuatro causas principales tales como: Distracción del conductor, invadir carril, no guardar distancia de seguridad y velocidad inadecuada, sin embargo esta causa pudo haber sido ocasionada por otra causa tal como falta de visibilidad por una curva o por la nocturnidad, ancho de carril no adecuado, algún estado de la calzada inadecuado que obligue al conductor a realizar alguna maniobra imprevista, falta de alguna señalización, entre otros.



Figura 4.9. Cantidad de choques según la causa del siniestro

CAUSA DE SINIESTROS

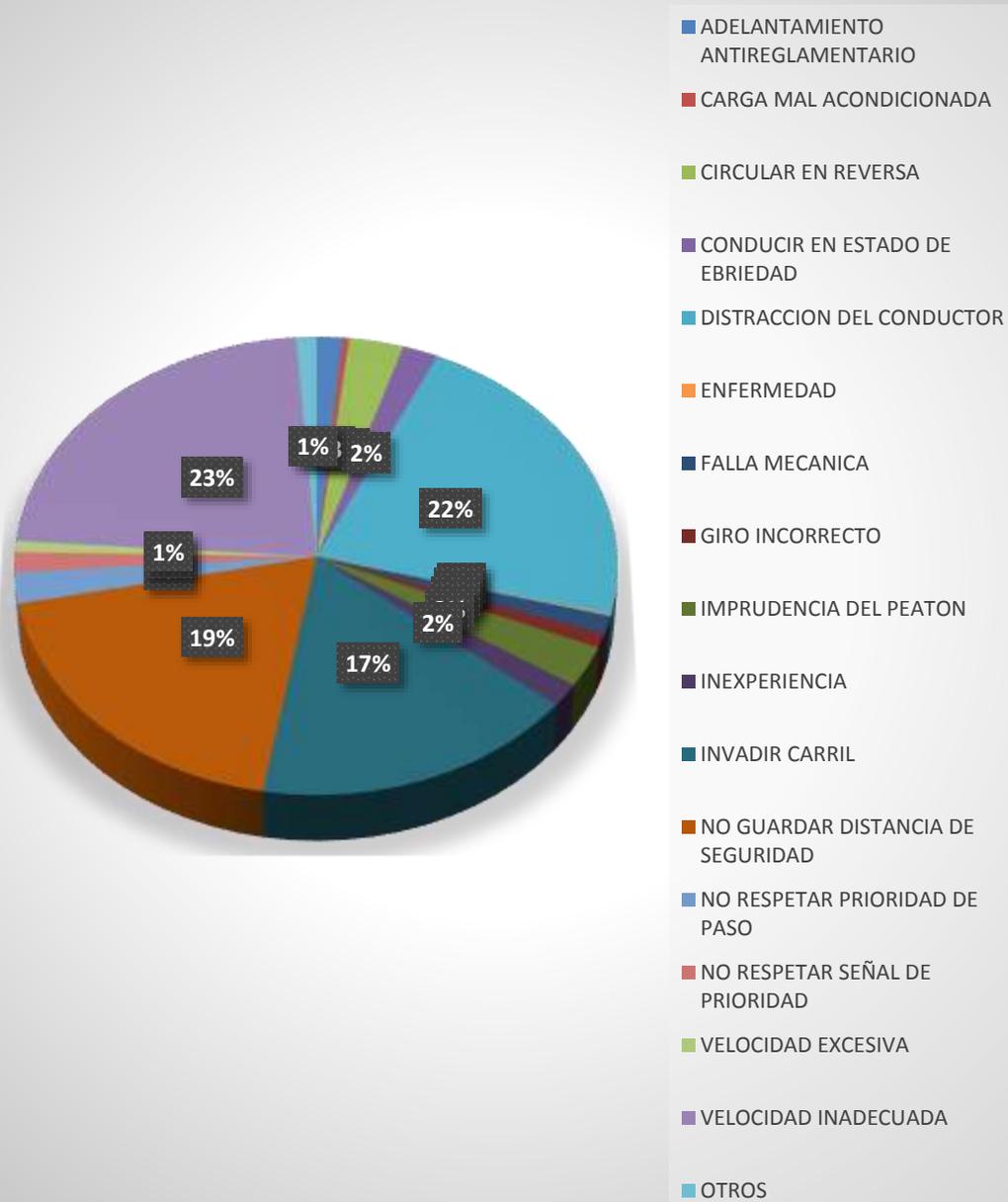


Figura 4.10. Porcentaje de choques según la causa del siniestro

4.1.7 Hora del Siniestro

Esta variable es bastante obvia pensar que se tendrá una mayor frecuencia de choques ya sea en horas pico, que es donde se presenta una mayor afluencia de vehículos, o bien, en horarios nocturnos por una menor visibilidad al conducir, sin embargo se puede apreciar que el grafico tiene un comportamiento bastante constante entre las seis de la mañana hasta las nueve de la noche, por tanto podría decirse que los choques no han sido producto de falta de iluminación en la carretera, a pesar de que no se dispone directamente con esta información.



4.1.8 Severidad del Choque

La clasificación de esta variable se hizo mediante la evaluación de algunos criterios obtenidos en los reportes los cuales son si presentaron daños materiales o personales, la gravedad del siniestro, es decir si hubo heridos leves, heridos graves o víctimas mortales, y si se reportaba velocidad inadecuada en el choque. Como era de esperarse la mayor parte de los choques consisten en daños materiales, por eso la tendencia del gráfico, entre más grave el siniestro se reporta un número menor de choques.



Figura 4.11. Cantidad de choques según la severidad

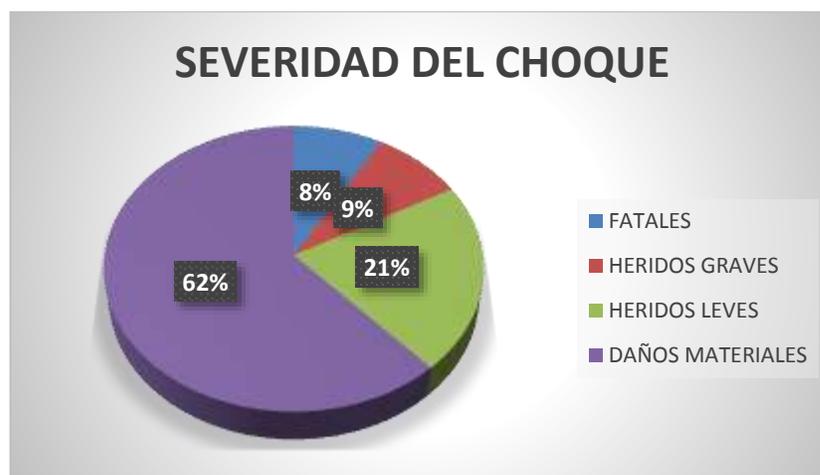


Figura 4.12. Porcentaje de choques según la severidad

4.2 DATOS DE LOS SEGMENTOS

En este apartado primeramente se presentan los histogramas de los choques según los intervalos en los que están, siendo el número o frecuencia de choques de cada intervalo las variables dependientes, y el número de intervalos que poseen esa frecuencia de choques la variable independiente.

Los histogramas, han sido presentados por separado de acuerdo a la severidad de los choques, de la manera en que se determinó en la clasificación de la misma en el apartado anterior: choques que incluyen únicamente daños materiales, choques que presentan al menos un herido leve, donde hubo al menos un herido grave, los que presentaron víctimas mortales. Luego se llevó a cabo el modelo para los choques equivalentes, mediante el procedimiento explicado en el capítulo tres, y también se realizó para el total de choques reportados.

Todos los diagramas están sesgados a la izquierda como se esperaba, expresando así una mayor parte de segmentos de la carretera que poseen pocos siniestros, y que muy pocos segmentos tendrán un aumento significativo en los choques. Algunos gráficos han sido reducidos en sus rangos en la variable independiente para hacerlo más representativo y no mostrar los valores más aislados, sin embargo, de igual manera se presentaron ambos.

Al mismo tiempo se presentan tablas reflejando el número y porcentaje de segmentos que poseen un determinado número de choques, así como sus porcentajes acumulados.



Figura 4.13 Cantidad de segmentos según el número de choques con solo daños materiales



Figura 4.14 Cantidad de segmentos según el número de choques con solo daños materiales

| Daños MATERIALES | | | |
|-------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|
| NUMERO DE CHOQUES | CANTIDAD DE SEGMENTOS | PORCENTAJE DE SEGMENTOS | PORCENTAJE ACUMULADO |
| 0 | 11 | 31.43 | 31.43 |
| 1 | 10 | 28.57 | 60.00 |
| 2 | 1 | 2.86 | 62.86 |
| 3 | 5 | 14.29 | 77.14 |
| 4 | 2 | 5.71 | 82.86 |
| 5 | 0 | 0.00 | 82.86 |
| 6 | 1 | 2.86 | 85.71 |
| 7 | 0 | 0.00 | 85.71 |
| 8 | 0 | 0.00 | 85.71 |
| 9 | 0 | 0.00 | 85.71 |
| 10 | 0 | 0.00 | 85.71 |
| 11 | 1 | 2.86 | 88.57 |
| 12 | 1 | 2.86 | 91.43 |
| 13 | 0 | 0.00 | 91.43 |
| 14 | 2 | 5.71 | 97.14 |
| >=15 | 5 | 2.86 | 100.00 |

Tabla 4.1 Cantidad y porcentaje de segmentos según el número de choques con solo daños materiales

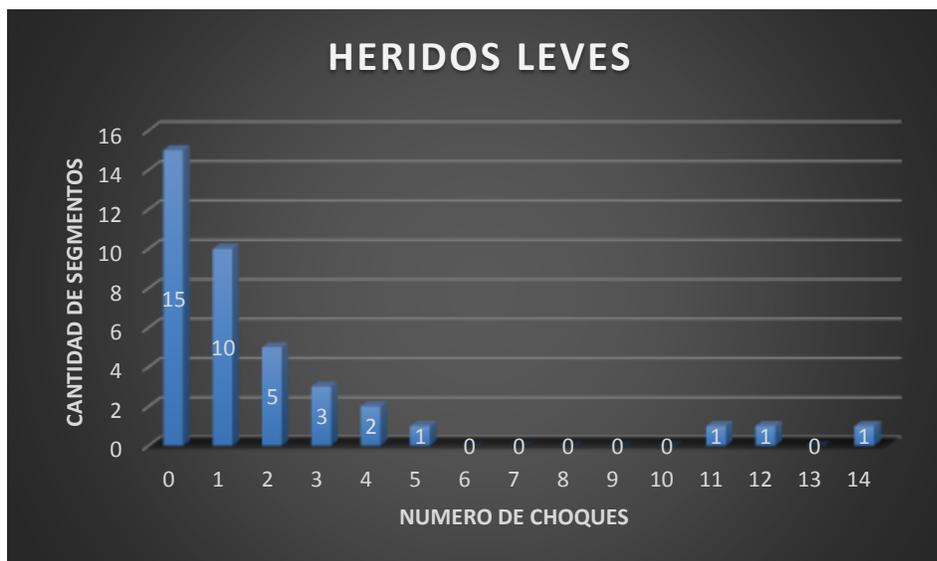


Figura 4.15 Cantidad de segmentos según el número de choques con heridos leves

| HERIDOS LEVES | | | |
|-------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|
| NUMERO DE CHOQUES | CANTIDAD DE SEGMENTOS | PORCENTAJE DE SEGMENTOS | PORCENTAJE ACUMULADO |
| 0 | 15 | 38.46 | 38.46 |
| 1 | 10 | 25.64 | 64.10 |
| 2 | 5 | 12.82 | 76.92 |
| 3 | 3 | 7.69 | 84.62 |
| 4 | 2 | 5.13 | 89.74 |
| 5 | 1 | 2.56 | 92.31 |
| 6 | 0 | 0.00 | 92.31 |
| 7 | 0 | 0.00 | 92.31 |
| 8 | 0 | 0.00 | 92.31 |
| 9 | 0 | 0.00 | 92.31 |
| 10 | 0 | 0.00 | 92.31 |
| 11 | 1 | 2.56 | 94.87 |
| 12 | 1 | 2.56 | 97.44 |
| 13 | 0 | 0.00 | 97.44 |
| 14 | 1 | 2.56 | 100.00 |

Tabla 4.2 Cantidad y porcentaje de segmentos según el número de choques con heridos leves

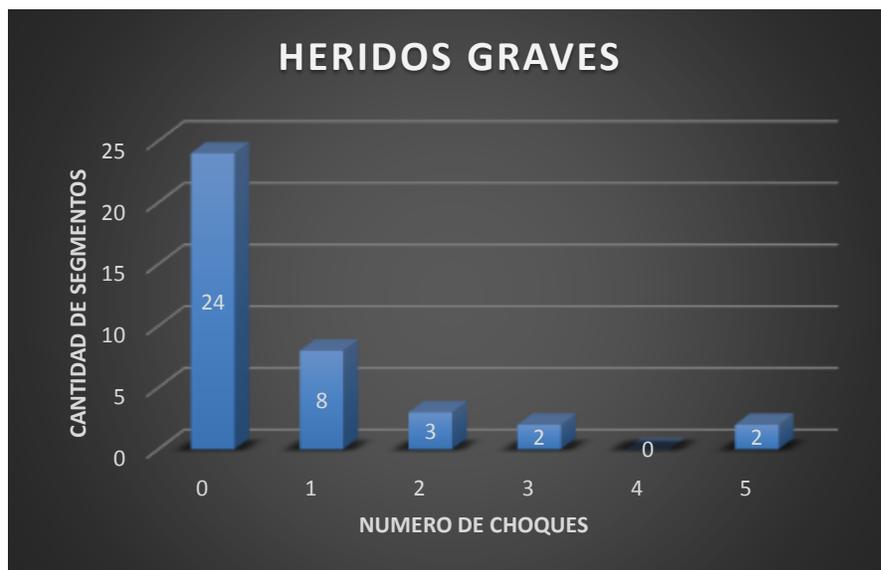


Figura 4.16 Cantidad de segmentos según el número de choques con heridos graves

| HERIDOS GRAVES | | | |
|-------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|
| NUMERO DE CHOQUES | CANTIDAD DE SEGMENTOS | PORCENTAJE DE SEGMENTOS | PORCENTAJE ACUMULADO |
| 0 | 24 | 61.54 | 61.54 |
| 1 | 8 | 20.51 | 82.05 |
| 2 | 3 | 7.69 | 89.74 |
| 3 | 2 | 5.13 | 94.87 |
| 4 | 0 | 0.00 | 94.87 |
| 5 | 2 | 5.13 | 100.00 |

Tabla 4.3 Cantidad y porcentaje de segmentos según el número de choques con heridos graves.



Figura 4.17 Cantidad de segmentos según el número de choques con víctimas fatales

| VICTIMAS FATALES | | | |
|-------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|
| NUMERO DE CHOQUES | CANTIDAD DE SEGMENTOS | PORCENTAJE DE SEGMENTOS | PORCENTAJE ACUMULADO |
| 0 | 23 | 58.97 | 58.97 |
| 1 | 8 | 20.51 | 79.49 |
| 2 | 5 | 12.82 | 92.31 |
| 3 | 2 | 5.13 | 97.44 |
| 4 | 0 | 0.00 | 97.44 |
| 5 | 1 | 2.56 | 100.00 |

Tabla 4.4 Cantidad y porcentaje de segmentos según el número de choques con víctimas fatales

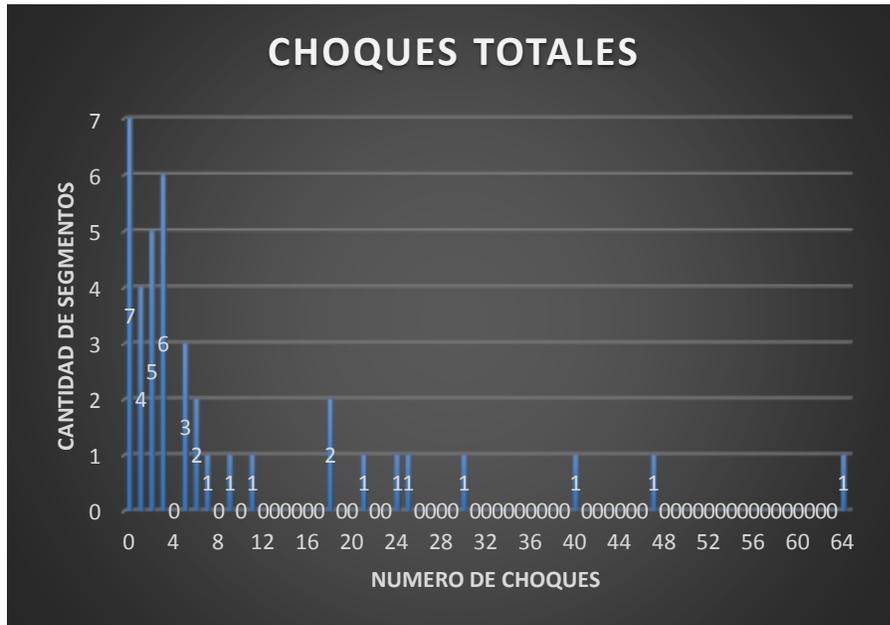


Figura 4.18 Cantidad de segmentos según el número de choques totales

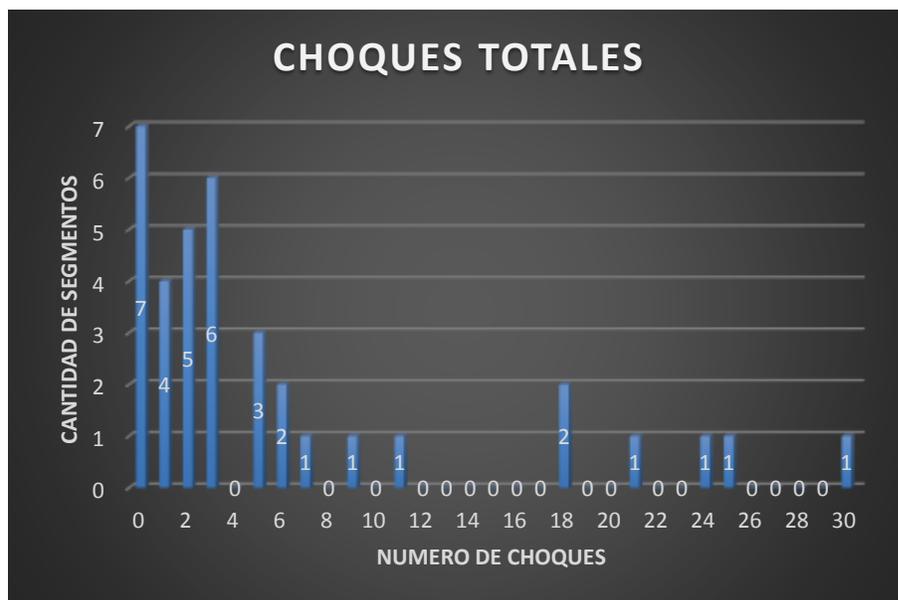


Figura 4.19 Cantidad de segmentos según el número de choques totales

| TOTALES | | | |
|-------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|
| NUMERO DE CHOQUES | CANTIDAD DE SEGMENTOS | PORCENTAJE DE SEGMENTOS | PORCENTAJE ACUMULADO |
| 0 | 7 | 19.44 | 19.44 |
| 1 | 4 | 11.11 | 30.56 |
| 2 | 5 | 13.89 | 44.44 |
| 3 | 6 | 16.67 | 61.11 |
| 4 | 0 | 0.00 | 61.11 |
| 5 | 3 | 8.33 | 69.44 |
| 6 | 2 | 5.56 | 75.00 |
| 7 | 1 | 2.78 | 77.78 |
| 8 | 0 | 0.00 | 77.78 |
| 9 | 1 | 2.78 | 80.56 |
| 10 | 0 | 0.00 | 80.56 |
| 11 | 1 | 2.78 | 83.33 |
| 12 | 0 | 0.00 | 83.33 |
| 13 | 0 | 0.00 | 83.33 |
| 14 | 0 | 0.00 | 83.33 |
| 15 | 0 | 0.00 | 83.33 |
| 16 | 0 | 0.00 | 83.33 |
| 17 | 0 | 0.00 | 83.33 |
| 18 | 2 | 5.56 | 88.89 |
| 19 | 0 | 0.00 | 88.89 |
| 20 | 0 | 0.00 | 88.89 |
| 21 | 1 | 2.78 | 91.67 |
| 22 | 0 | 0.00 | 91.67 |
| 23 | 0 | 0.00 | 91.67 |
| 24 | 1 | 2.78 | 94.44 |
| 25 | 1 | 2.78 | 97.22 |
| 26 | 0 | 0.00 | 97.22 |
| 27 | 0 | 0.00 | 97.22 |
| 28 | 0 | 0.00 | 97.22 |
| 29 | 0 | 0.00 | 97.22 |
| >=30 | 4 | 2.78 | 100.00 |

Tabla 4.5 Cantidad y porcentaje de segmentos según el número de choques totales

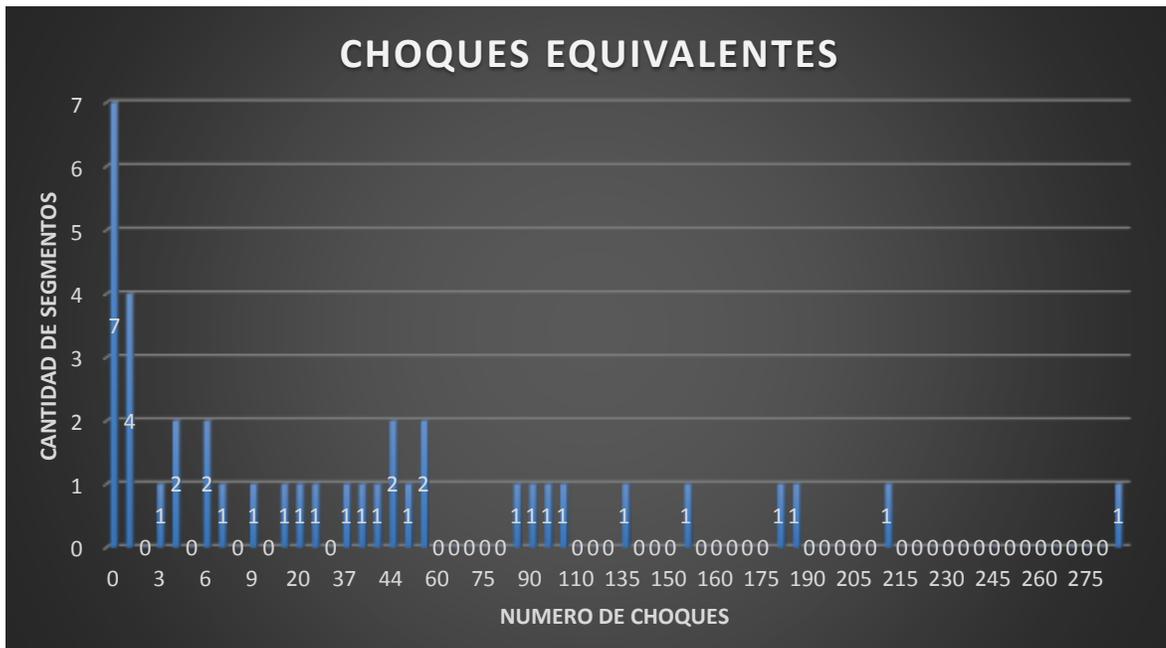


Figura 4.20 Cantidad de segmentos según el número de choques equivalentes

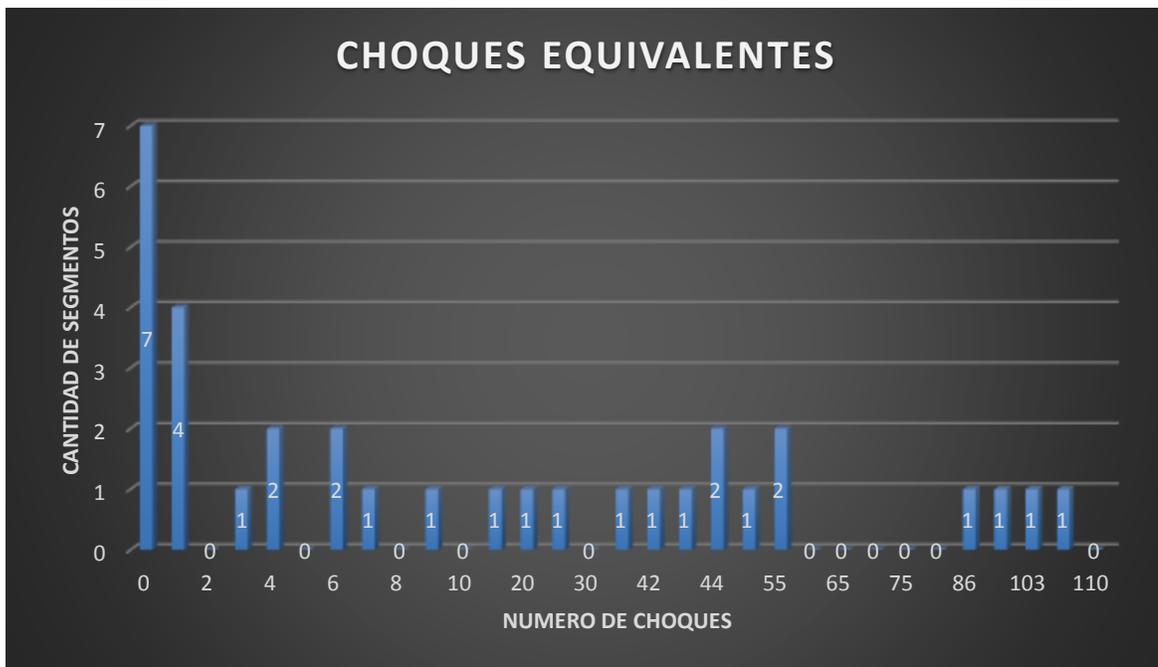


Figura 4.21 Cantidad de segmentos según el número de choques equivalentes

| TOTAL DE CHOQUES EQUIVALENTES | | | |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|
| NUMERO DE CHOQUES | CANTIDAD DE SEGMENTOS | PORCENTAJE DE SEGMENTOS | PORCENTAJE ACUMULADO |
| 0 | 7 | 21.21 | 21.21 |
| 1 | 4 | 12.12 | 33.33 |
| 2 | 0 | 0.00 | 33.33 |
| 3 | 1 | 3.03 | 36.36 |
| 4 | 2 | 6.06 | 42.42 |
| 5 | 0 | 0.00 | 42.42 |
| 6 | 2 | 6.06 | 48.48 |
| 7 | 1 | 3.03 | 51.52 |
| 8 | 0 | 0.00 | 51.52 |
| 9 | 1 | 3.03 | 54.55 |
| 10 | 0 | 0.00 | 54.55 |
| 15 | 1 | 3.03 | 57.58 |
| 20 | 1 | 3.03 | 60.61 |
| 26 | 1 | 3.03 | 63.64 |
| 30 | 0 | 0.00 | 63.64 |
| 37 | 1 | 3.03 | 66.67 |
| 42 | 1 | 3.03 | 69.70 |
| 43 | 1 | 3.03 | 72.73 |
| 44 | 2 | 6.06 | 78.79 |
| 53 | 1 | 3.03 | 81.82 |
| 55 | 2 | 6.06 | 87.88 |
| 60 | 0 | 0.00 | 87.88 |
| 65 | 0 | 0.00 | 87.88 |
| 70 | 0 | 0.00 | 87.88 |
| 75 | 0 | 0.00 | 87.88 |
| 80 | 0 | 0.00 | 87.88 |
| 86 | 1 | 3.03 | 90.91 |
| 90 | 1 | 3.03 | 93.94 |
| 103 | 1 | 3.03 | 96.97 |
| >=107 | 7 | 3.03 | 100.00 |

Tabla 4.6 Cantidad y porcentaje de segmentos según el número de choques equivalentes

4.2.1 Alineamiento Horizontal

Para evaluar el alineamiento horizontal de la carretera se establecieron cinco niveles de clasificación dependiendo de la sinuosidad del camino, desde segmentos casi o totalmente rectos hasta segmentos con curvas altas, esta clasificación se obtuvo mediante levantamientos planímetros, información proporcionada por el Ministerio de Obras Públicas (MOP). Según el histograma se puede observar que la clasificación está bastante distribuida en toda la ruta, no hay clasificación alguna que predomine, sin embargo, se puede observar que gran parte corresponde a segmentos rectos hasta curvas bajas.

Se presentan algunos segmentos de la carretera, para ejemplificar el tipo de clasificación considerada:

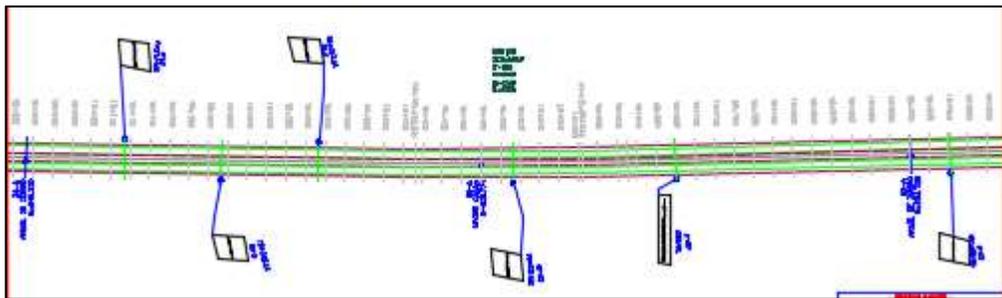


Figura 4.22 Ejemplo de segmento recto



Figura 4.23 Ejemplo de segmento con curvas muy bajas

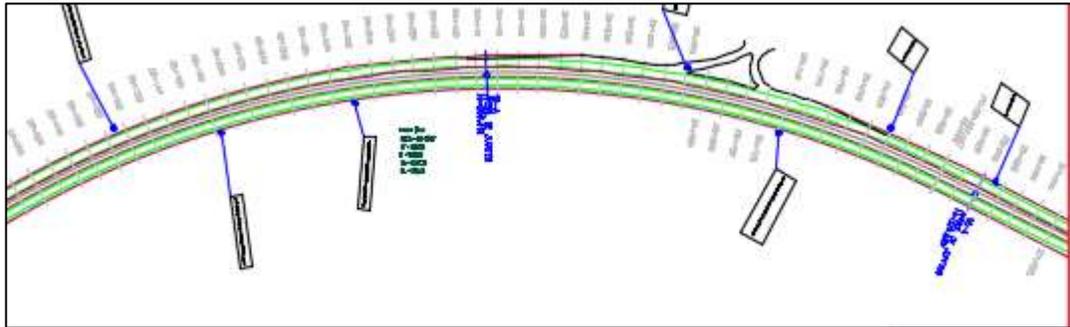


Figura 4.24 Ejemplo de segmento con curvas bajas

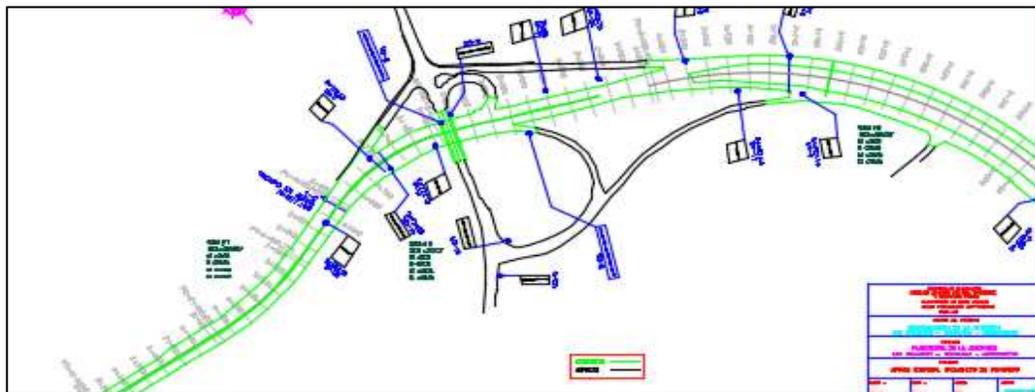


Figura 4.25 Ejemplo de segmento con curvas medias

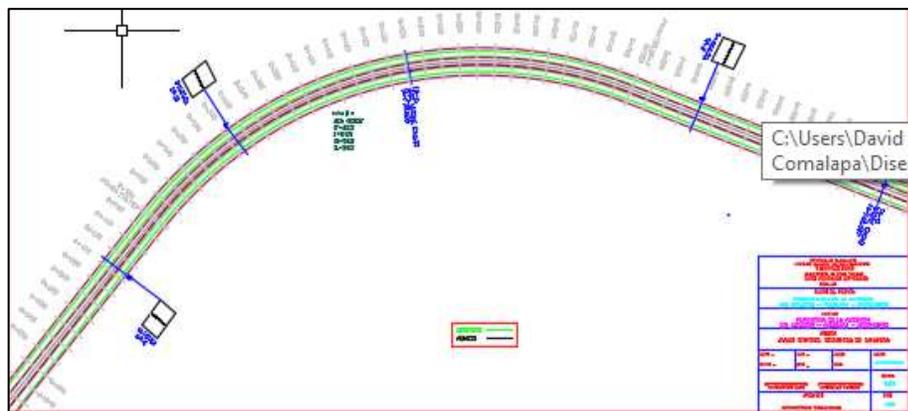


Figura 4.26 Ejemplo de segmento con curvas altas

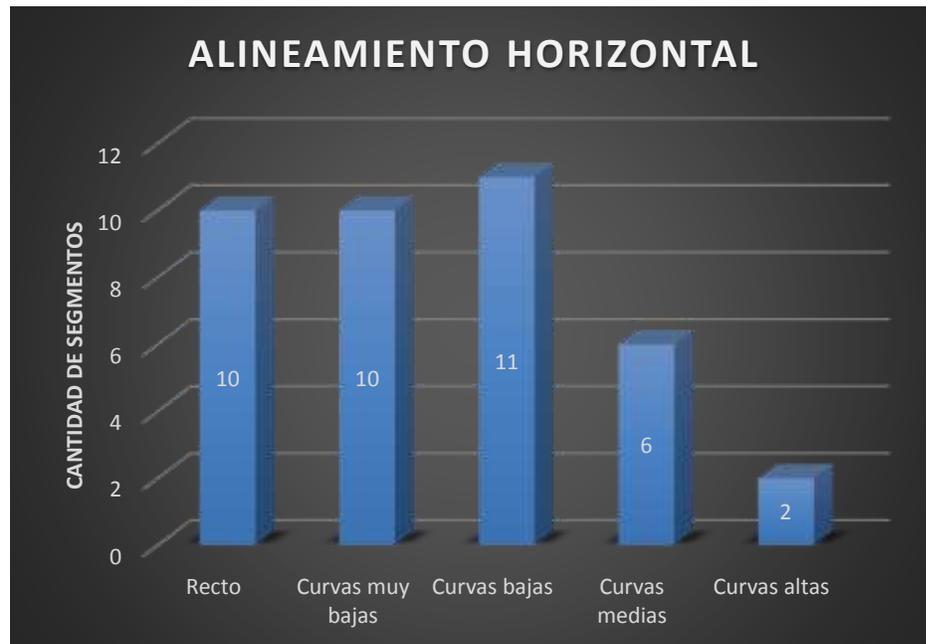


Figura 4.27 Cantidad de segmentos según el tipo de alineamiento

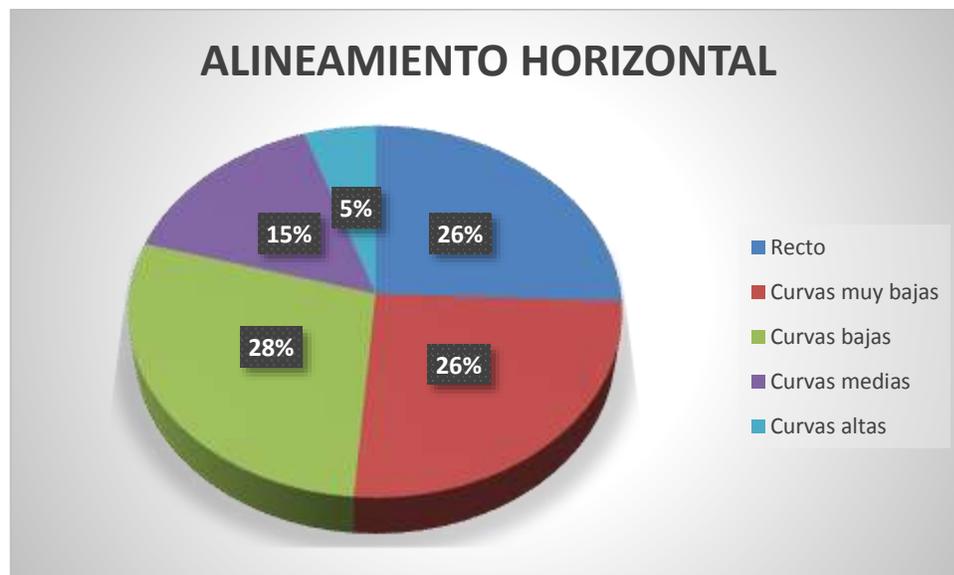


Figura 4.28 Porcentaje de segmentos según el tipo de alineamiento

4.2.2 Señalización horizontal

La señalización horizontal según la información obtenida por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) existe en todos los segmentos de la autopista Comalapa, sin embargo, existen segmentos donde el estado de la señalización es bueno y segmentos donde es malo, para estos casos una señalización horizontal que a pesar de la existencia de este se consideró como deficiente. Muy deficiente se refiere cuando la demarcación es inexistente en la zona.

Como puede observarse, la mayoría de segmentos tienen condición adecuada, y un pequeño número de segmentos poseen una señalización deficiente sobre la carretera.



Figura 4.29 Cantidad de segmentos según la condición de la señalización horizontal



Figura 4.30 Porcentaje de segmentos según la condición de la señalización horizontal

4.2.3 Señalización vertical

Este tipo de señalización se refiere a toda la señalización que se pueda observar en rótulos sobre la vía o bien a los costados, este tipo de señalización pueden ser informativos, reglamentarios o preventivos, puede contener distancias de aproximación a los pueblos cercanos, límites de velocidad, advertencias de caminos peligrosos, aviso de intersecciones, trabajos en la vía, entre otros.

Para determinar la clasificación de esta variable se tuvieron en cuenta tres factores de acuerdo al reporte obtenido por el MOP, si la señalización se encontraba en buen estado se consideró como adecuado, si estaba en buena condición, pero no era visible se consideró como deficiente, si estaba en mala condición y no era visible se consideró como muy deficiente.

Como puede observarse, la mayoría de segmentos presento una señalización adecuada, sin embargo, hay un muy alto porcentaje de segmentos en donde la señalización es deficiente lo que significa que hay segmentos donde la señalización es mala o en algunos casos es no visible.



Figura 4.31 Cantidad de segmentos según la condición de la señalización vertical

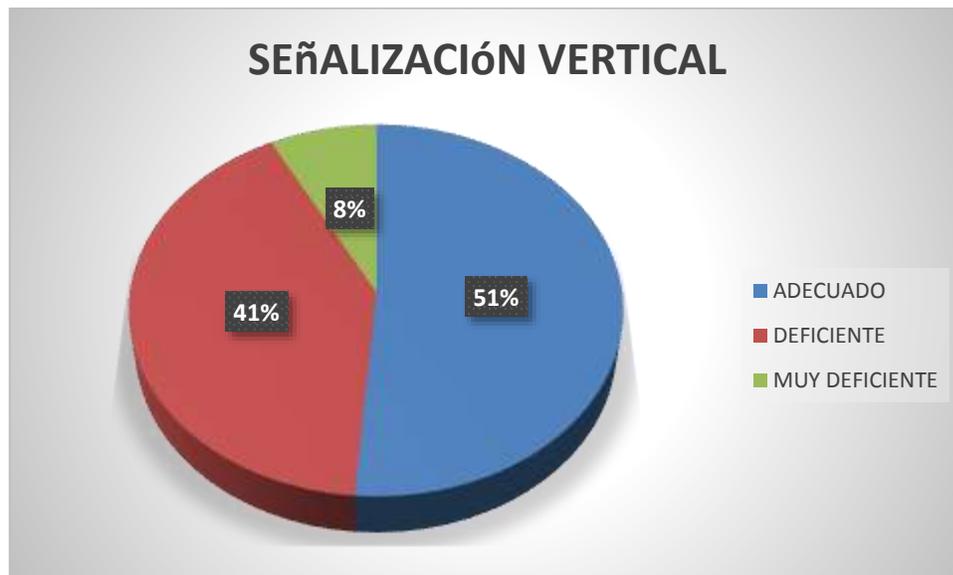


Figura 4.32 Porcentaje de segmentos según la condición de la señalización vertical

4.2.4 Número de Carriles

A lo largo de la autopista existen ya sea cuatro o seis carriles, es decir dos o tres por sentido respectivamente, seis y cuatro carriles predominan, ningún segmento presenta únicamente dos carriles, era de esperarse debido a que se trata de una autopista regional que requiere de mucha movilidad.

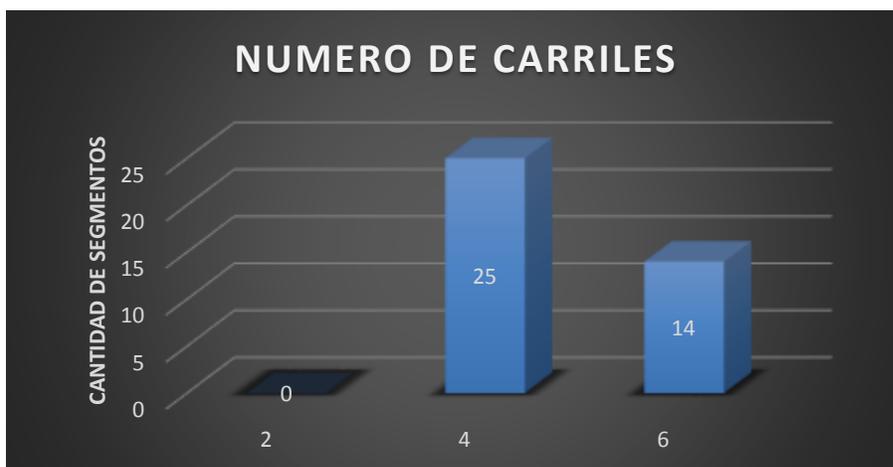


Figura 4.33 Cantidad de segmentos según el número de carriles



Figura 4.34 Porcentaje de segmentos según el número de carriles

4.2.5 Ancho de hombro

Según el Manual Centroamericano de Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales, recomiendan para Autopistas un ancho de hombro interno de entre 1.0 a 1.5 metros, y un ancho de espaldón externo de entre 1.8 a 2.5 metros.⁸⁴ Las categorías se hicieron considerando el límite inferior agregando 10 cm hasta llegar al límite superior, incluyendo los que están por debajo o encima de estos.

Como puede observarse, más del cincuenta por ciento está por debajo del límite inferior interno, lo que debería no ser aceptado, pues es un riesgo para la seguridad del usuario al momento de circular en la vía, el resto se ubica en el límite ancho inferior recomendado.

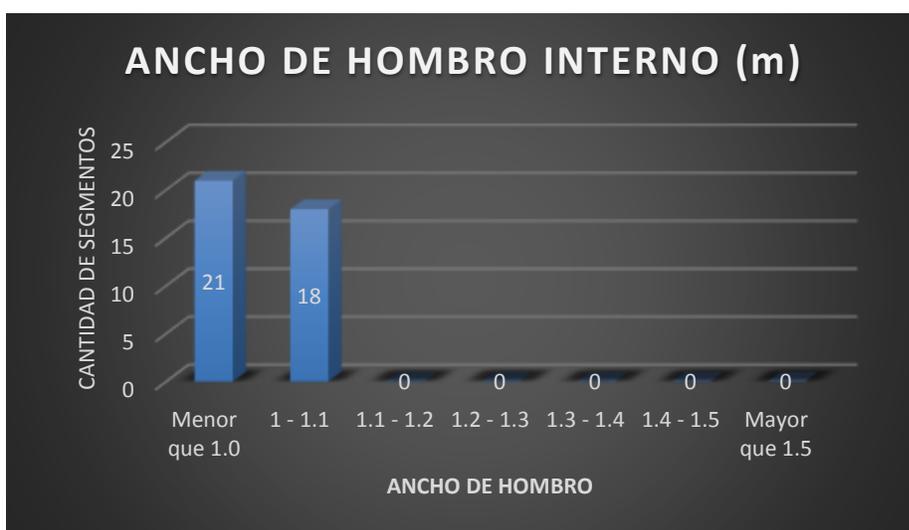


Figura 4.35 Cantidad de segmentos según el ancho de hombro interno

⁸⁴ Manual Centroamericano de Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales

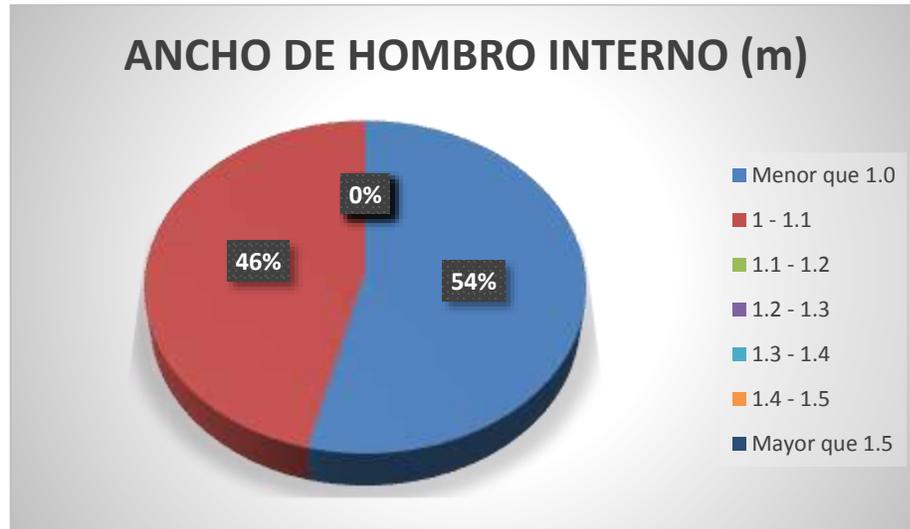


Figura 4.36 Porcentaje de segmentos según el ancho de hombro interno

Para determinar las categorías del ancho de hombro externo se hizo de igual forma que la anterior. Se observa que la mayoría de los segmentos si están dentro del rango recomendado por la SIECA, lo cual es aceptable, pero curiosamente se observa que hay segmentos que no cumplen el mínimo y otros que superan el máximo recomendado, lo cual debe ponerse cierto grado de atención a estos segmentos.

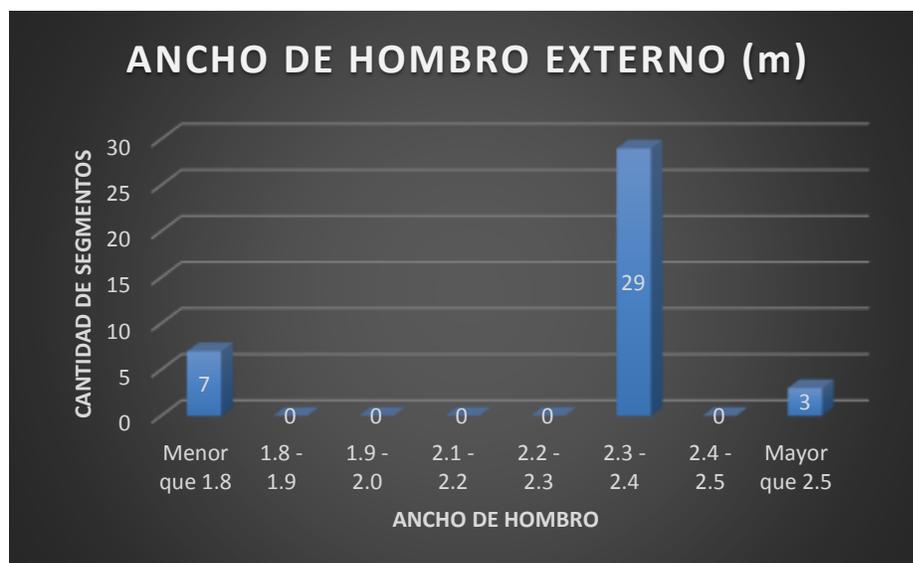


Figura 4.37 Cantidad de segmentos según el ancho de hombro externo



Figura 4.38 Porcentaje de segmentos según el ancho de hombro externo

4.2.6 Ancho de carril

De igual forma la SIECA propone un ancho ideal de carril para autopistas regionales de 3.6 metros⁸⁵, las categorías se hicieron tomando como base los 3.6 metros, agregando y quitando 10 cm hasta llegar a los anchos existentes en la vía.

Como puede observarse un poco más de la mitad de los segmentos de la autopista se encuentran tanto dentro del rango ideal recomendado y por encima de este, lo que es favorable para los conductores porque les permite mayor capacidad para maniobrar en cualquier momento de emergencia. Pero gran parte de segmentos también se encuentran por debajo del ancho recomendado, lo que puede representar un problema y una causa importante de ocurrencia de choques.

⁸⁵ Manual Centroamericano de Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales

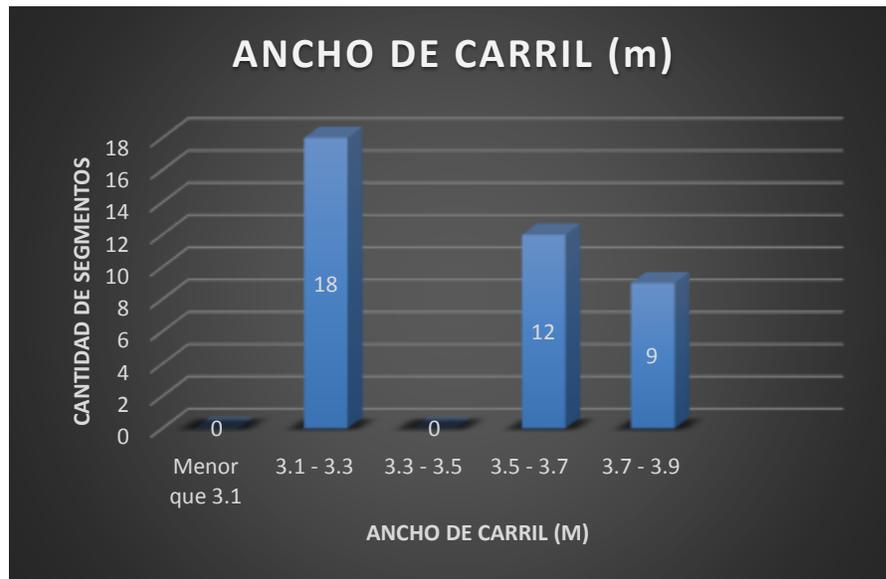


Figura 4.39 Cantidad de segmentos según el ancho de carril

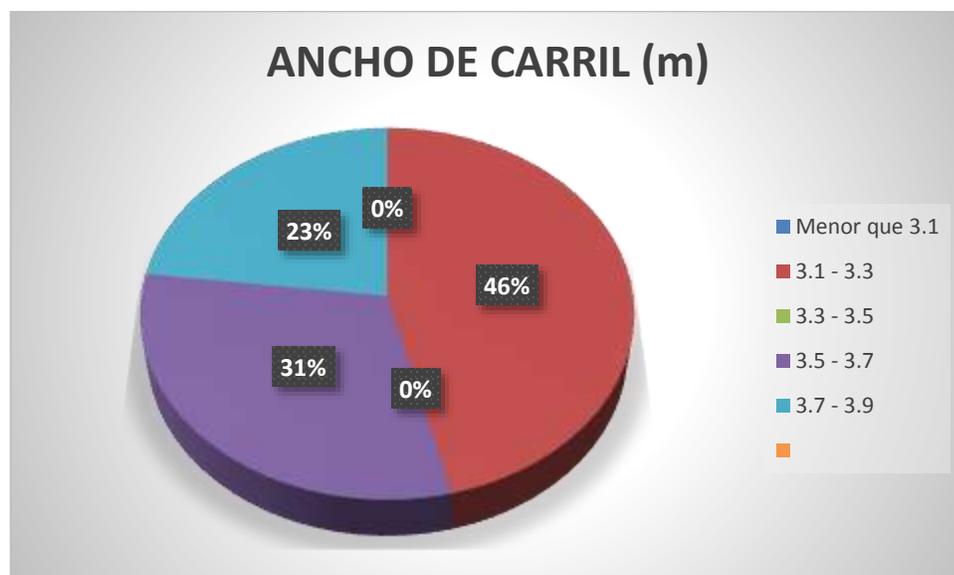


Figura 4.40 Porcentaje de segmentos según el ancho de carril

4.2.7 Límite de velocidad

Esta variable es para tener una idea de la velocidad a la que circulan los vehículos, según información obtenida por el MOP, el límite de velocidad para todos los segmentos de la autopista es la misma de 60 km/h⁸⁶, sin embargo, de la información obtenida por la PNC se puede observar que el exceso de velocidad es una de las principales causas de siniestros viales en la autopista.

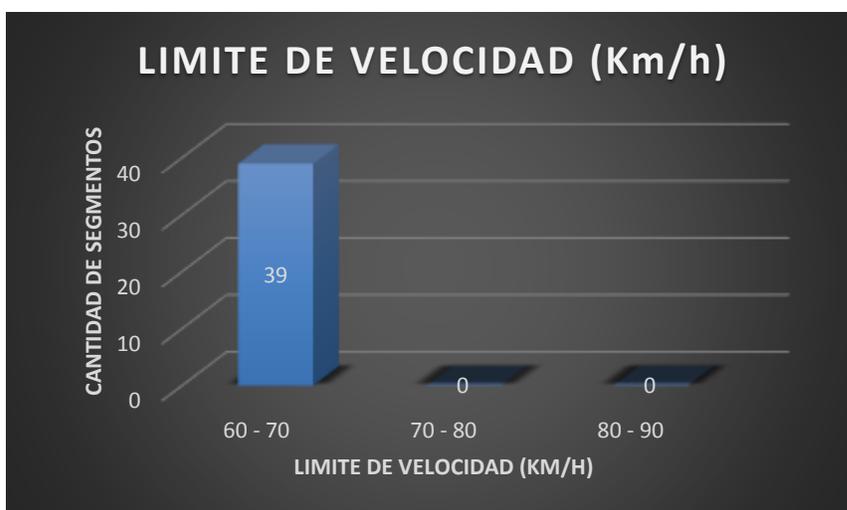


Figura 4.41 Cantidad de segmentos según el límite de velocidad

⁸⁶ Dirección de la planificación de Obra Pública, Subdirección de Administración de Obras de Paso y de Inventarios Viales, Ministerio de Obras Públicas, El Salvador.



Figura 4.42 Porcentaje de segmentos según el límite de velocidad

4.2.8 TPDA

Los datos del TPDA proporcionados por el Ministerio de Obras Públicas corresponden al año 2015. Se obtuvo un promedio de 31392 vehículos y una desviación estándar de 14010 vehículos aproximadamente, tomando esos parámetros para determinar los rangos de TPDA en que se encontraban los segmentos de la autopista, siendo "S" la desviación estándar.

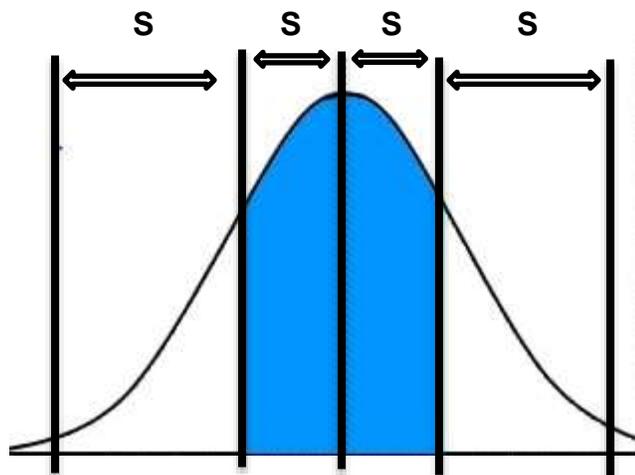


Figura 4.43 Ejemplo de parámetros para determinar los rangos de clasificación del TPDA

Para el primer rango o rango base se realizó sumando y restando al TPDA promedio la desviación estándar para obtener los extremos inferior y superior. Para nuestro caso como el promedio fue de 31392 y la desviación estándar de 14010, el rango base se obtuvo mediante la siguiente operación 31392 ± 14010 , obteniendo así el rango base de TPDA de 17382 – 45402 vehículos. Luego a partir del rango base para los demás rangos se le resto o sumo un valor igual a la desviación estándar tal y como se muestra en la figura 3.39.

Como puede apreciarse en el histograma, el rango de TPDA que tiene el mayor número de segmentos está dentro del rango base o rango promedio, un pequeño número de segmentos se encuentra por debajo y por encima de este rango, sin embargo, viendo la desviación estándar es un valor bastante alto comparado con los datos lo que representa que los valores del tránsito diario (TPDA) están muy dispersos a lo largo de la autopista.

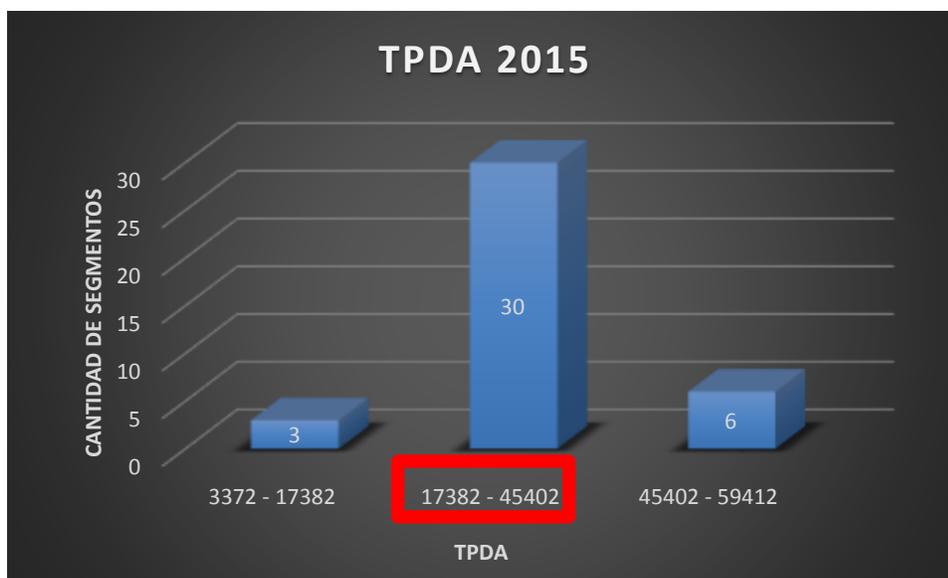


Figura 4.44 Cantidad de segmentos según el TPDA

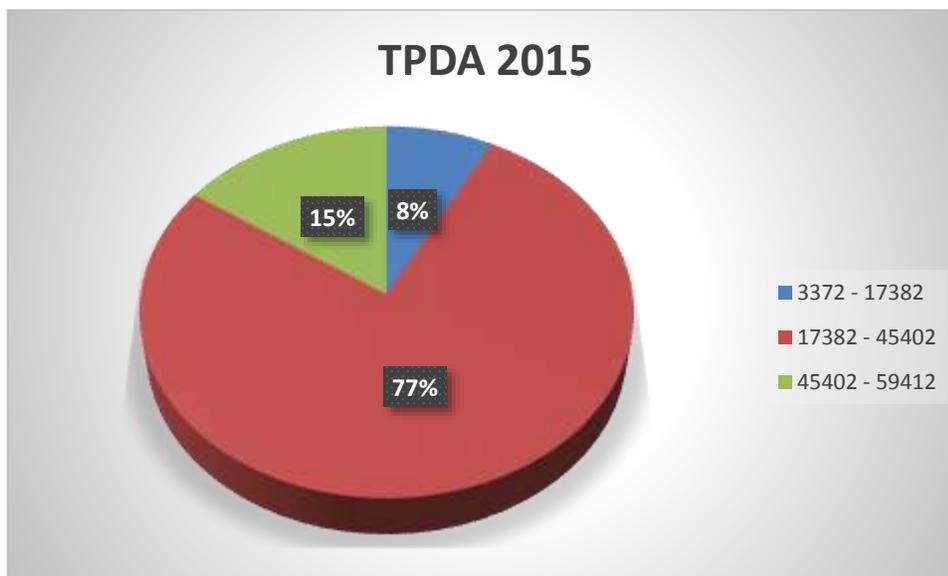


Figura 4.45 Porcentaje de segmentos según el TPDA

Debido a que el estudio se realizó para los tres años de 2015 a 2017, el análisis estadístico para el TPDA se hizo también con la suma de los tres años. Para realizar esto se tuvo que proyectar cada TPDA de los años siguientes utilizando las tasas de crecimiento calculadas con información de TPDA de los años 2008, 2009 y 2015 obtenidas por el MOP. Es importante mencionar que debido a que cada segmento tiene su propio TPDA y su propia variación a lo largo de los años, la tasa de crecimiento es distinta para cada segmento de la autopista, y únicamente en el caso del primer segmento de la autopista se tenía muy poca información por lo que no se pudo calcular la tasa de crecimiento por lo que se asumió como el promedio de tasas del resto de segmentos para tener un análisis lo suficientemente aproximado.

Para calcular las tasas decrecimiento se utilizó la siguiente fórmula:

$$i = \left[\left(\frac{\text{Valor final}}{\text{Valor inicial}} \right)^{1/y} - 1 \right] * 100$$

Formula de tasa de crecimiento anual, periodo de varios años⁸⁷

Donde “y” representa el número de periodos o años en estudio.

Para proyectar los TPDA se utilizaron tres métodos:

PROYECCION DE TRAFICO

Método Crecimiento Aritmético

$$TPDA_f = TPDA_o * \left(1 + \frac{i}{100} \right)^t$$

Método Crecimiento Geométrico

$$TPDA_f = TPDA_o * e^{\left(\frac{i*t}{100} \right)}$$

Método Crecimiento Wappaus

$$TPDA_f = TPDA_o * (200 + i * t) / (200 - i * t)$$

Donde:

TPDA_f = Tráfico proyectado.

TPDA_o = Tráfico correspondiente al año base.

i = Índice de crecimiento del tráfico.

t = Número de años.

Calculo de TPDA⁸⁸

Luego de calculada la proyección de TPDA por medio de los tres métodos, se procedió a obtener el TPDA proyectado definitivo como el promedio de los tres.

Una vez proyectadas se hizo la suma de los TPDA de los tres años para obtener el TPDA TOTAL:

$$TPDA_{tot} = TPDA_{2015} + TPDA_{2016} + TPDA_{2017}$$

Como puede observarse en la figura, el TPDA para la suma de los tres años en estudio tiene el mismo comportamiento al del año 2015, esto a pesar que las tasas de crecimiento son diferentes para cada segmento.

⁸⁷ Levantado de artículo de la wikiHow

<https://es.wikihow.com/calcular-la-tasa-de-crecimiento-anual>

⁸⁸ Spain Document, Calculo de TPDA, Proyecto de mejoramiento de camino segmento “La Cumbre Tuti Alto”

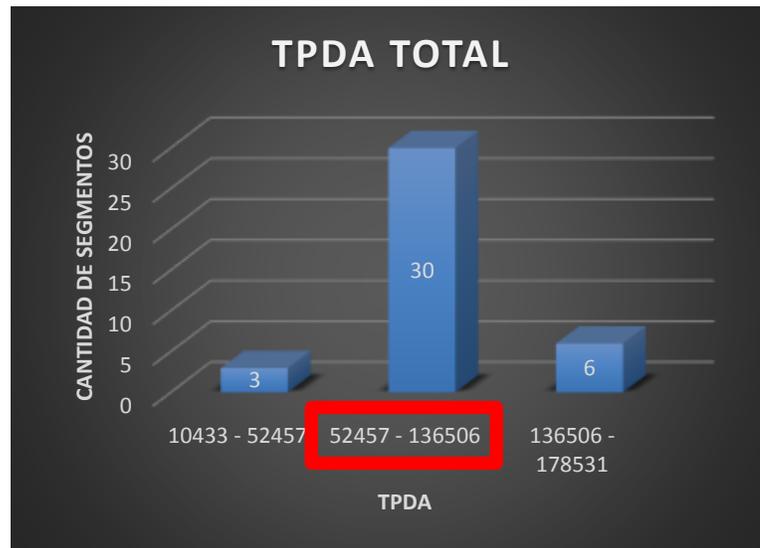


Figura 4.46 Cantidad de segmentos según la suma de los TPDA

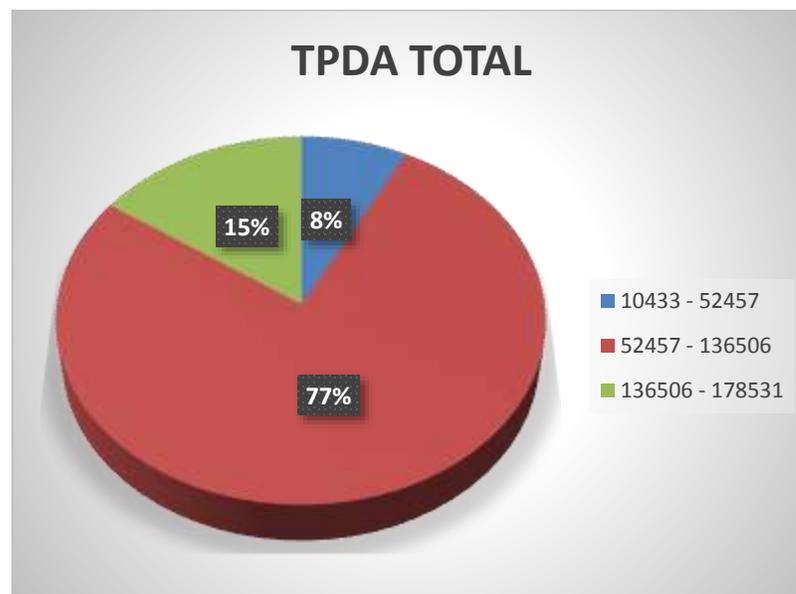


Figura 3.47 Porcentaje de segmentos según la suma de los TPDA

4.2.9 Vehículo – Kilómetro

Esta variable representa el número de vehículos por cada kilómetro de segmento. Es una medida de desempeño relacionada al nivel de uso de cada segmento a

lo largo de una carretera. Los rangos de esta variable fueron calculados de igual forma que para el TPDA.

Para calcular esta variable se utilizó la siguiente fórmula:

$$Veh - Km = \frac{L * (TPDA_{2015} + TPDA_{2016} + TPDA_{2017}) * 365}{1000 * 10^6}$$

Donde:

Veh-Km: millones de vehículo/kilometro anual

L: Longitud de segmento de carretera, en metros

TPDA: Tránsito promedio diario anual

El gráfico tiene un comportamiento normal, con una pequeña tendencia hacia la izquierda, incluyendo el rango base, como se sabe, esta variable representa el nivel de exposición de vehiculos y está en función del flujo vehicular (TPDA), y la distancia recorrida en kilometros (L), por tratarse de segmentos que en su mayoría tienen longitudes iguales (de 1000 m cada uno), era de esperarse que el comportamiento del grafico sería similar al de TPDA, son únicamente tres segmentos con longitudes menores a los 1000 metros y valores de TPDA bastante menor al promedio lo que provoca un pequeño sesgo a la izquierda.

Esta variable servirá para comparar resultados de frecuencia de siniestros en función de la exposición Veh-km, donde frecuencias iguales de siniestros en dos o más segmentos diferentes podrían significar resultados totalmente diferentes cuando se exponen a niveles de servicio con valores distintos.

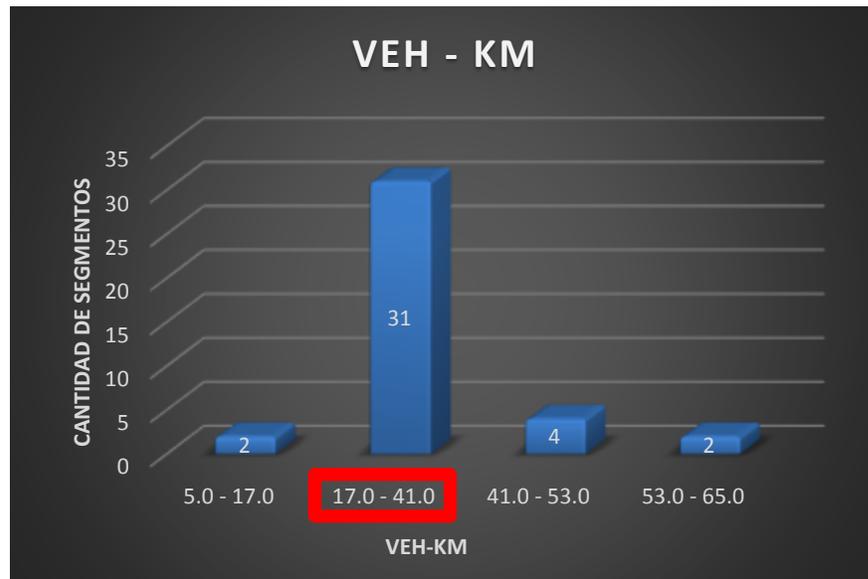


Figura 4.48 Cantidad de segmentos según el valor de vehículo - kilómetro

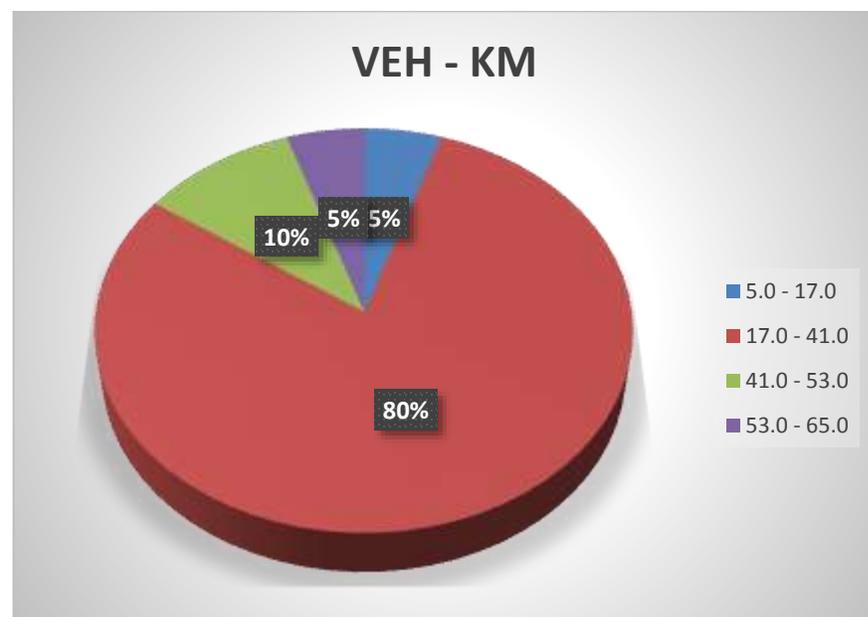


Figura 4.49 Porcentaje de segmentos según el valor de vehículo-kilómetro

4.2.11 Tasas de choques por Veh – km

Esta variable representa el número de choques por millón-vehículo-kilometro. Como se aprecia en los datos, las tasas de choque tienen una tendencia hacia la izquierda, indicando un mayor número de segmentos con tasas bajas de siniestros. Debido a que no se puede determinar la peligrosidad de un segmento en función de la frecuencia de siniestros únicamente, este indicador resulta muy útil para comparar el nivel de peligrosidad de sitios con características similares en función de la exposición vehículo-kilometro. Por ejemplo, 4 siniestros por año podrían considerarse un valor bajo desde el punto de vista de la frecuencia, sin embargo, en un sitio de pocos kilómetros y de bajo volumen de tránsito, este podría resultar en una tasa de choques relativamente alta.

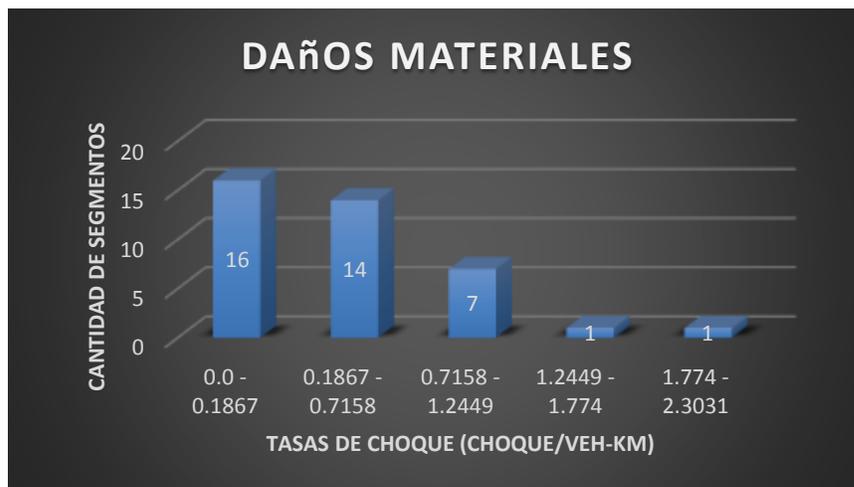


Figura 4.50 Cantidad de segmentos según el valor de la tasa de choques con solo daños materiales



Figura 4.51 Porcentaje de segmentos según el valor de la tasa de choques con solo daños materiales

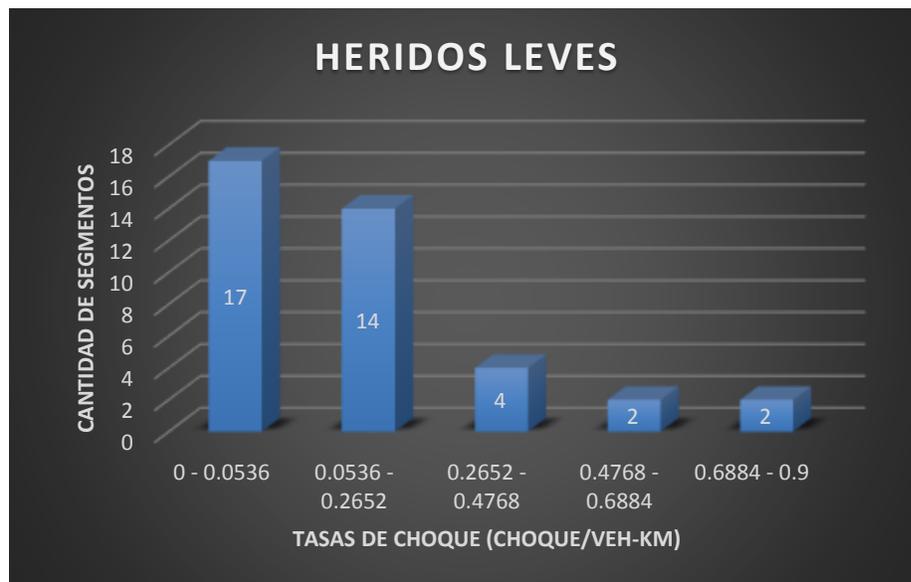


Figura 4.52 Cantidad de segmentos según el valor de la tasa de choques con heridos leves

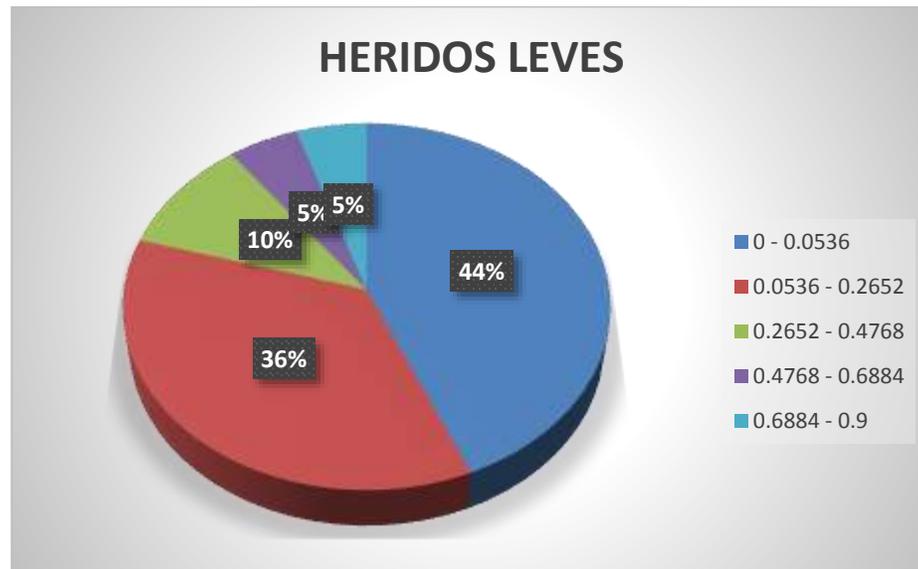


Figura 4.53 Porcentaje de segmentos según el valor de la tasa de choques con heridos leves

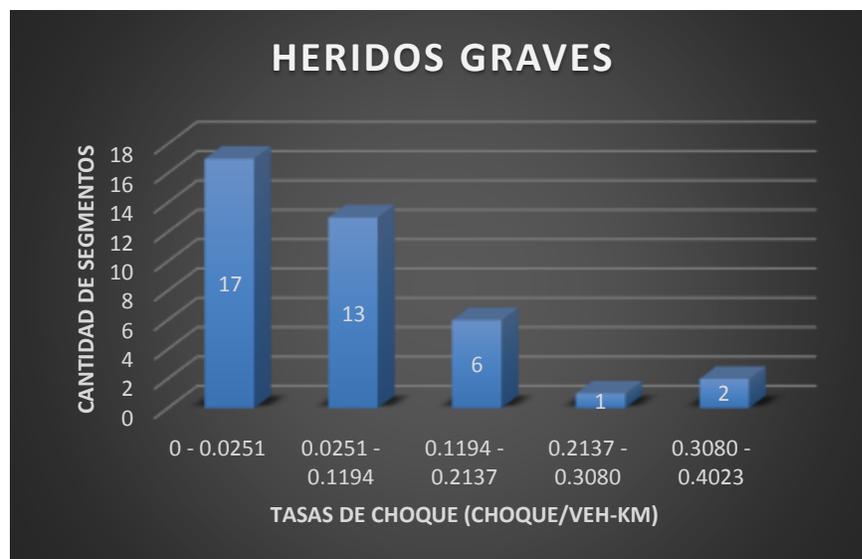


Figura 4.54 Cantidad de segmentos según el valor de la tasa de choques con heridos graves

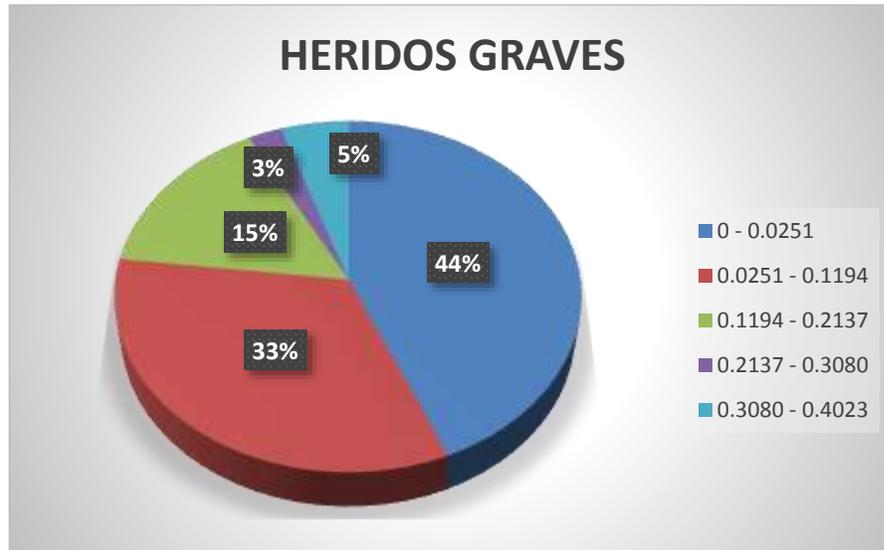


Figura 4.55 Porcentaje de segmentos según el valor de la tasa de choques con heridos graves

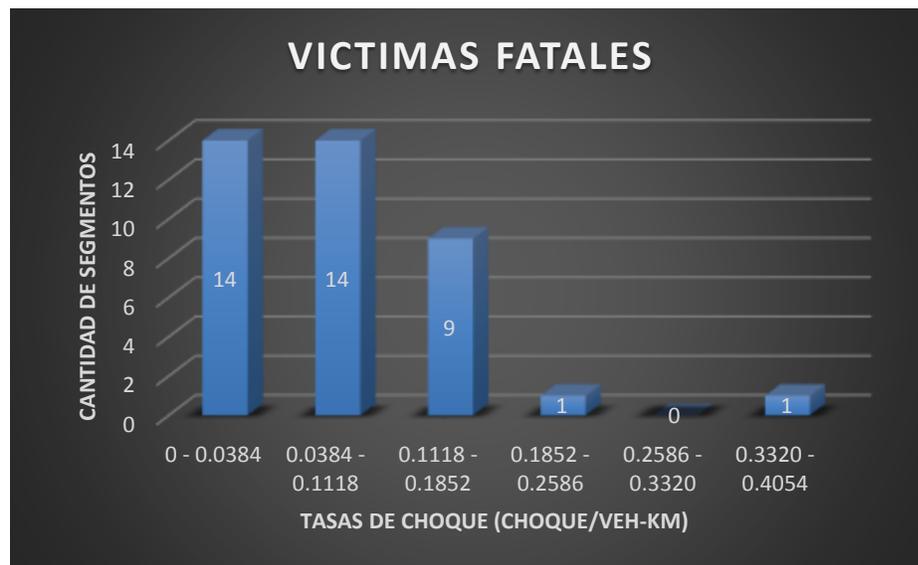


Figura 4.56 Cantidad de segmentos según el valor de la tasa de choques con víctimas fatales

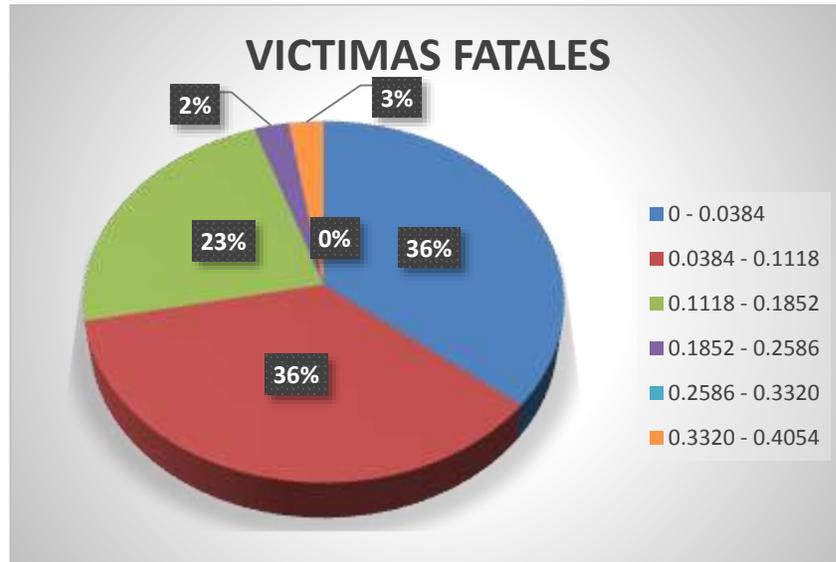


Figura 4.57 Porcentaje de segmentos según el valor de la tasa de choques con víctimas fatales

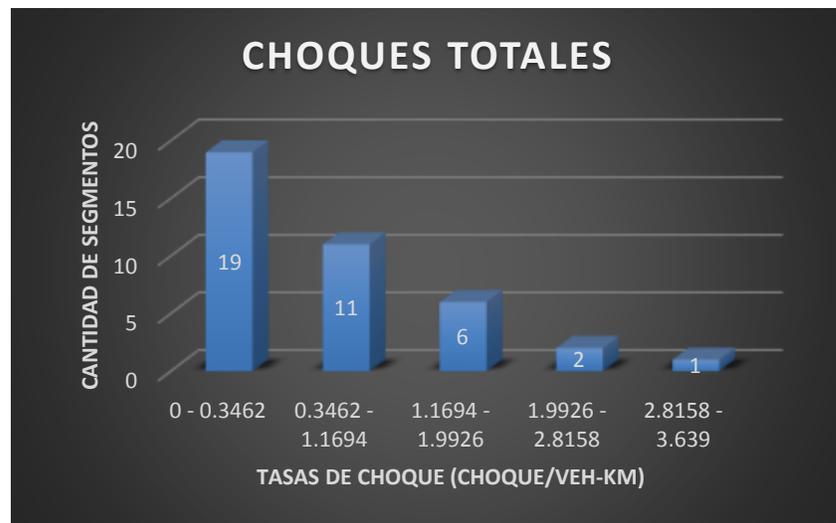


Figura 4.58 Cantidad de segmentos según el valor de la tasa de choques totales

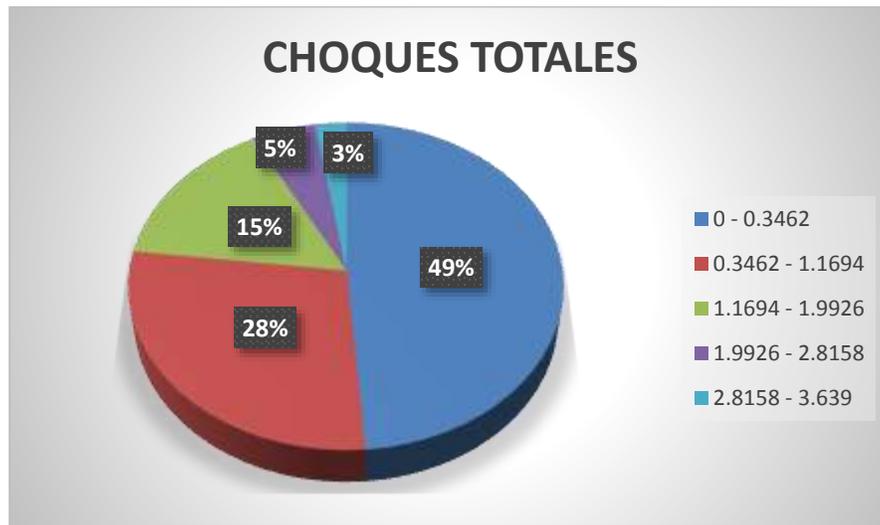


Figura 4.59 Porcentaje de segmentos según el valor de la tasa de choques totales

4.3 ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS

En el cuadro 4.7 se pueden observar las estadísticas descriptivas de la frecuencia de choques según su severidad. Como se pudo ver en los histogramas anteriores, todos tienen una tendencia hacia la izquierda, por lo que es evidente que se obtuvieron valores de la media mayores que los de la mediana. Este comportamiento es común en casos de frecuencia de choques viales, según Agüero Valverde.

También se observa en el cuadro que los valores de las desviaciones estándar son superiores a los valores de la media, se puede decir que la variabilidad de los datos puede contribuir a obtener un buen estimado del efecto de la variable sobre el riesgo de que ocurra un choque.

| SEVERIDAD DE CHOQUES | Daños Materiales | Heridos Leves | Heridos Graves | Víctimas Fatales | Totales |
|----------------------|------------------|---------------|----------------|------------------|---------|
| Mínimo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1er Cuartil | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Mediana | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| Promedio | 5.97 | 2.03 | 0.82 | 0.74 | 9.56 |
| 3er Cuartil | 5 | 2 | 1 | 1 | 10 |
| Máximo | 44 | 14 | 5 | 5 | 64 |
| Desv.Estándar | 10.10 | 3.30 | 1.37 | 1.14 | 14.51 |

Tabla 4.7 Estadísticas descriptivas para las severidades de los choques

El cuadro 4.8 muestra las estadísticas descriptivas de la tasa de choques según la severidad. La tasa de choques fue obtenida dividiendo el número de choques observados entre el valor de vehiculos- kilómetro para cada segmento de carretera.

De igual forma a partir de la tabla se puede deducir que los histogramas tienen una tendencia a la izquierda, y que el comportamiento es prácticamente igual a los datos que se obtuvieron en la tabla anterior.

| TASAS DE CHOQUES | Daños Materiales | Heridos Leves | Heridos Graves | Víctimas Fatales | Totales |
|------------------|------------------|---------------|----------------|------------------|---------|
| Mínimo | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 1er Cuartil | 0.0749 | 0.0312 | 0.0000 | 0.0193 | 0.2415 |
| Mediana | 0.2454 | 0.0726 | 0.0350 | 0.0520 | 0.3631 |
| Promedio | 0.4512 | 0.1594 | 0.0722 | 0.0751 | 0.7578 |
| 3er Cuartil | 0.6854 | 0.1963 | 0.0981 | 0.1186 | 1.1429 |
| Máximo | 2.2131 | 0.8497 | 0.3427 | 0.3454 | 3.3197 |
| Desv.Estándar | 0.5291 | 0.2116 | 0.0943 | 0.0734 | 0.8232 |

Tabla 4.8 Estadísticas descriptivas para las tasas de choques según la severidad

En el último cuadro 4.9 se presentan las estadísticas descriptivas de las demás variables que se utilizaron en el modelo. Se puede observar que nuevamente hay variables donde el promedio es mayor que la mediana, exceptuando los valores de ancho de carril, ancho de espaldón interno, y velocidad, donde observamos en sus histogramas que estos tienen un comportamiento bastante regular.

Observando la tabla de resultados, con cada una de las variables mostradas, la desviación estándar únicamente para el caso del ancho de hombro interno sigue siendo mayor que el promedio, esto se debe a que un mayor número de segmentos no cuentan con hombro interno, para la velocidad se tiene una desviación estándar de cero, ya que en toda la autopista el límite de velocidad es constante, de 60 km/h, para el resto a pesar de que las desviaciones estándar no son mayores que el promedio, se puede decir que de igual forma siguen siendo relativamente grandes, especialmente para los casos del TPDA.

| | Ancho de Carril | Número de Carril | Ancho Hombro Interno | Ancho Hombro Externo | Velocidad | TPDA | Suma de TPDA | Longitud de Segmento |
|---------------|-----------------|------------------|----------------------|----------------------|-----------|----------|--------------|----------------------|
| Mínimo | 3.1 | 4 | 0 | 0 | 60 | 12496 | 37727 | 660 |
| 1er Cuartil | 3.1 | 4 | 0 | 2.3 | 60 | 18254 | 55829 | 1000 |
| Mediana | 3.5 | 4 | 0 | 2.3 | 60 | 23946 | 73186 | 1000 |
| Promedio | 3.38 | 4.72 | 0.46 | 1.92 | 60.00 | 26064.74 | 78893 | 1007.69 |
| 3er Cuartil | 3.5 | 6 | 1 | 2.3 | 60 | 28069 | 87944 | 1000 |
| Máximo | 3.8 | 6 | 1 | 2.75 | 60 | 52208 | 158207 | 1340 |
| Desv.Estándar | 0.28 | 0.97 | 0.51 | 0.92 | 0 | 14010 | 42025 | 95.8 |

Tabla 4.9 Estadísticas descriptivas para las distintas variables de los segmentos

CAPITULO 5
REGRESION BINOMIAL
NEGATIVA

5.1 REGRESION BINOMIAL NEGATIVA EN DEDUCER DE R Y ANALISIS DE RESULTADOS.

¿QUE ES DEDUCER?

Deducer es un programa libre diseñado como alternativa al software comercial para el análisis de datos tales como SPSS, JMP y Minitab. Cuenta con un sistema de menús para gestionar y manipular bases de datos y analizarlos, y un editor de datos tipo Excel para visualizar y editar bases de datos.⁹⁴

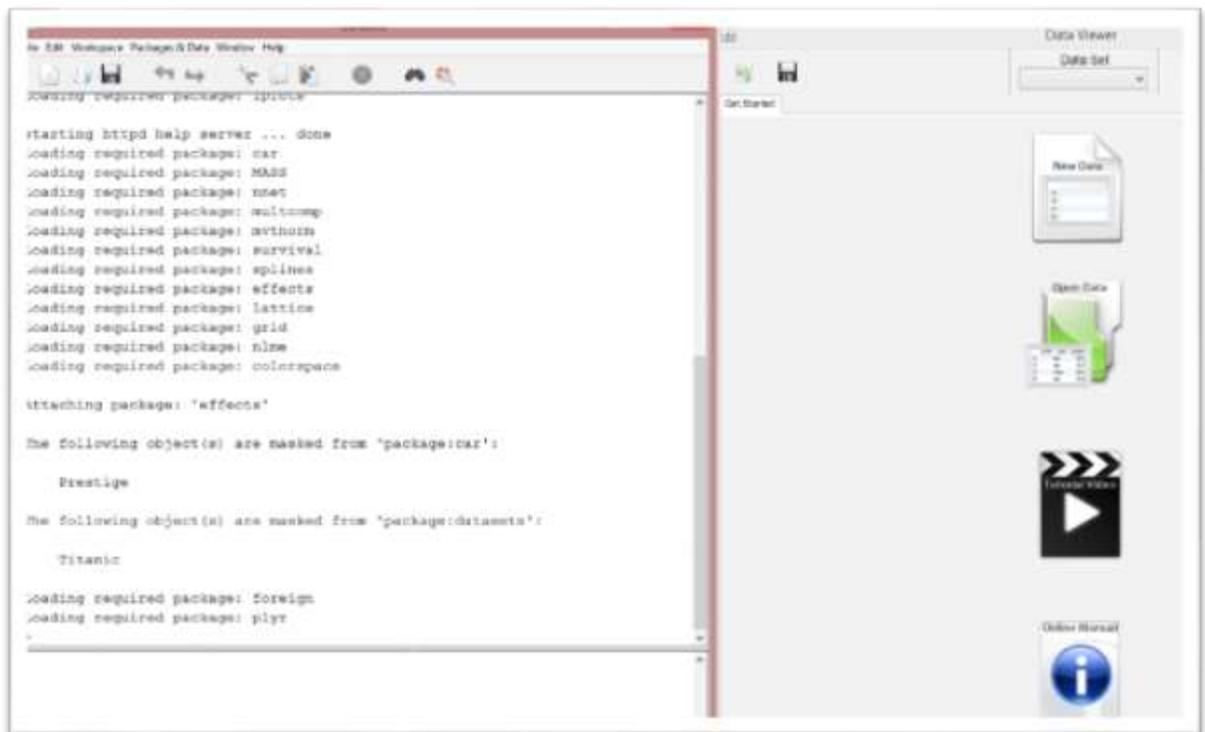


Figura 5.1 presentación de la interfaz de Deducer

⁹⁴ Manual de Introducción a Deducer: una interfaz gráfica para usuarios de R, 5ª Edición, Universidad autónoma de Barcelona, pág. 7

5.2 MODELACION DE DATOS PARA DETERMINAR PARAMETROS DE LA REGRESION BINOMIAL NEGATIVA EN R DEDUCER.

Como sabemos los modelos de regresión lineal son modelos que permiten usar datos de observaciones para cuantificar la relación entre una variable objetivo, conocida como la variable dependiente y un conjunto de variables independientes conocidas como variables.

Dadas por la siguiente expresión

$$\ln \lambda_i = X_i \beta + \varepsilon_i \quad \text{Fórmula 5.2.1}$$

Y se utilizó la forma sugerida por el análisis de choques con modelos binomiales negativos de la Universidad De Costa Rica la cual se representa de la siguiente manera.

$$\ln(\text{choques}) = \beta_0 + \beta_1 * \ln(\text{TPDA}) + \beta_2 * \text{variable 2} + \beta_3 * \text{variable 3} + \dots + \beta_n * \text{variable n} + \ln(\text{Longitud})$$

Fórmula 5.2.2

Como se puede observar en dicha ecuación están los términos X_i , β , λ donde el $\ln \lambda$ está representando la variable dependiente que se refiere al número de accidentes con condiciones dadas y X_i las variables independientes las cuales representan todos los diversos factores que pueden afectar, como TPDA, Anchos

de carril, Tipo de curva entre otros también llamados variables, los parámetros β_i son parámetros desconocidos que serán estimados por la ecuación.

Intercepto. β_0 es una constante que define donde la línea de tendencia lineal intercepta el eje Y.

Coeficiente. β_1 es una constante que representa la tasa de cambio en la variable dependiente en función de los cambios en la variable independiente.

Error. Representa la variación inexplicable en la variable objetivo. Se trata como una variable aleatoria que recoge todas las variaciones en Y que no se explican con X.

5.3 EXCLUYENDO VARIABLES INNECESARIAS (CORRELATION WITHOUT CAUSATION)

Una correlación es una medida o grado de relación entre dos variables. Un conjunto de datos puede ser positivamente correlacionado, negativamente correlacionado o no correlacionado del todo. Así como un conjunto de valores

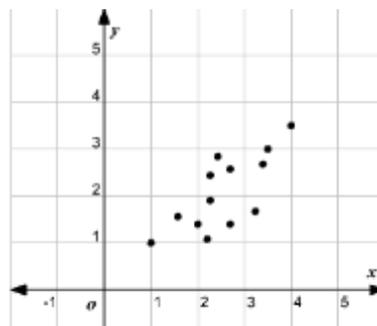


Figura 5. 2 correlación positiva

incrementa el otro conjunto tiende a aumentar, entonces esto es llamado una correlación positiva⁹⁵.

Así como un conjunto de valores incrementa el otro conjunto tiende a disminuir, entonces esto es llamado una correlación negativa.

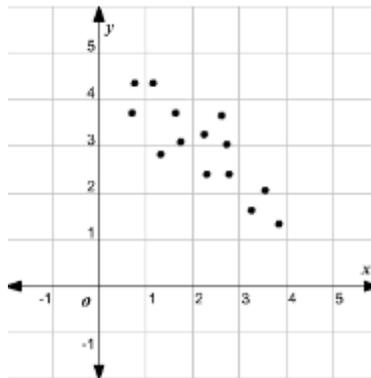


Figura 5. 3 Correlación negativa

Si el cambio en los valores de un conjunto no tiene efecto en los valores del otro, entonces esto es llamado como "no correlación" o "correlación cero".⁹⁶

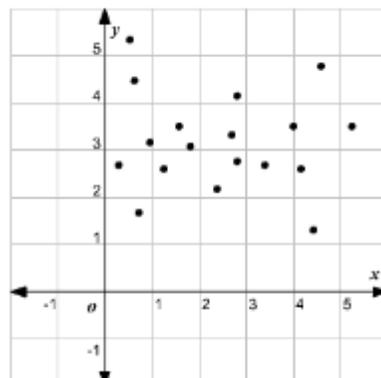


Figura 5. 4 No correlación

⁹⁵

⁹⁶ Tomado de un artículo de Varsity Tutors, Hotmath, Correlación y Relación Causal
https://www.varsitytutors.com/hotmath/hotmath_help/spanish/topics/correlation-and-causal-relation

5.3.1 CORRELACIÓN Y CAUSALIDAD

Una relación causal entre dos eventos existe si la ocurrencia del primero causa el otro. El primer evento es llamado la causa y el segundo evento es llamado efecto. Una correlación entre dos variables no implica causalidad. Por otro lado, si hay una relación causal entre dos variables, estas deben estar correlacionadas.⁹⁷

La causalidad es el ámbito de las estadísticas más malinterpretado y utilizado incorrectamente por los no especialistas.

La mente humana está diseñada para tratar de establecer inconscientemente vínculos entre muchas piezas de información contrastantes. Generalmente, el cerebro trata de construir modelos aleatoriamente, por lo que realiza conclusiones y supone que existe una relación.

Con respecto a la determinación de causalidad, debemos ser siempre extremadamente cautelosos. Como ya dijimos la existencia de correlación no implica causalidad. En el mejor de los casos, los estadísticos pueden establecer una 'correlación' entre diferentes elementos, esto es, que los elementos que se están midiendo se comportan como si estuvieran relacionados. Y, por cierto, también pueden establecer que no hay ninguna relación entre los objetos estudiados. Pero la estadística no puede establecer causalidad. En otras

⁹⁷ Tomado de un artículo de Varsity Tutors, Hotmath, Correlación y Relación Causal
https://www.varsitytutors.com/hotmath/hotmath_help/spanish/topics/correlation-and-causal-relation

palabras, no se puede inferir causalidad sobre la base de una correlación empírica.

El hecho de que dos variables parezcan estar correlacionadas no necesariamente significa que una esté causando a la otra. Para empezar, la relación podría ser falsa o casual. Pero la relación entre las variables también puede ser el resultado de una tercera variable que 'causa' o explica las otras dos, y que por lo tanto lleva a que las dos variables causadas por esta tercera parezcan estar relacionadas entre sí.

La correlación y la causalidad, estrechamente relacionadas con las variables de confusión, constituyen la suposición incorrecta de que porque algo correlaciona significa que existe una relación causal.⁹⁸

Las variables de confusión, también llamadas terceras variables o variable mediadora, son variables que el investigador no controló o no eliminó y que dañan la validez interna de un experimento.

Una variable de confusión puede afectar negativamente la relación entre la variable independiente y la variable dependiente. Esto puede causar que el investigador analice los resultados incorrectamente. Los resultados pueden mostrar una correlación falsa entre las variables dependientes e independientes, lo que producirá un rechazo incorrecto de la hipótesis nula.

⁹⁸ Tomado de artículo de Martyn Shuttleworth, Correlación y Casualidad
<https://explorable.com/es/correlacion-y-causalidad>

Un diseño experimental y unos controles de constantes bien planificados filtrarán las peores variables de confusión.

5.4 COMO SE DETERMINA LA CORRELACION

Coeficiente de correlación lineal de Pearson El coeficiente de correlación de Pearson, pensado para variables cuantitativas (escala mínima de intervalo), es un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente. Adviértase que decimos "variables relacionadas linealmente". Esto significa que puede haber variables fuertemente relacionadas, pero no de forma lineal, en cuyo caso no proceder a aplicarse la correlación de Pearson.⁹⁹

El producto Pearson o el coeficiente de correlación Pearson. Se mide usando la fórmula,

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}} \quad \text{Fórmula 5.4.1}$$

El valor del coeficiente de correlación Pearson varía desde -1 a +1 donde -1 indica una correlación negativa fuerte y +1 indica una correlación positiva fuerte.

Como todas las técnicas estadísticas, la correlación solo es apropiada para ciertos tipos de datos. La correlación funciona para datos cuantificables en los que los números son significativos, generalmente cantidades de algún tipo. No

⁹⁹ <https://personal.us.es/vararey/adatos2/correlacion.pdf>

se puede usar para datos puramente categóricos, como el género, las marcas compradas o el color favorito.¹⁰⁰

En nuestro caso utilizaremos la plataforma R para determinar la correlación de manera cuantitativa con las variables utilizando el comando `Cor()`, de la siguiente manera:

Relación Accidentes Solo Daños Materiales con TPDA, solo se analizaran las variables continuas (TPDA, Ncarriles, Naccesos, curvas a ya que las variables no continuas o de categoría como la señalización vertical, horizontal, las categorías de hombro no pueden ser medidas de esta manera estadística.

```
> cor(Materiales$Mat, Materiales$TPDA)
[1] 0.7489502
```

Se puede observar que el resultado es de $r = 0.75$ lo que nos indica que las variables si están correlacionadas entre sí por lo que se da una correlación lineal muy fuerte.

Acá se presentan el resultado del resto de las variables a relacionar usando dicha función basándose en el coeficiente de correlación de Pearson:

| Variable | Coefficiente de relación de Pearson r |
|-----------------------------|---------------------------------------|
| TPDA | 0.7489502 |
| + carriles | 0.7256926 |
| Intersecciones | 0.1421796 |
| N.acesos | 0.3352514 |
| + Ancho de hombro IZQUIERDO | -0.5500442 |

¹⁰⁰ Aldrich, John, 1995, "Correlaciones genuinas y espurias en Pearson y Yule". Ciencia Estadística.

| | |
|---------------------------|-------------|
| + Ancho de hombro derecho | -0.02976144 |
| + Ancho de carril | -0.3547265 |

Tabla 5. 1 Resultados de variables a relacionar basándose en el coeficiente de correlación de Pearson.

Se puede hacer un primer análisis de la correlación viendo los resultados de los coeficientes de Pearson dando por más determinantes en la generación de Siniestros el TPDA, el aumento en el número de carriles, en menor medida el Numero de accesos los demás parámetros parecen ser irrelevantes según este análisis pero serán mejor determinados dentro de los resultados del modelo.

Acá se analizó la correlación entre variables, pero a pesar que haya una fuerte correlación no significa que estas impliquen causalidad, entonces ¿cómo se determina que sea una relación causal?

Para poder afirmar la existencia de una relación causal entre dos o más variables, es necesario realizar experimentos rigurosos o cuasi experimentos con una validez interna aceptable (Ibídem).

También podían hacerse estudios no experimentales, que "sólo permiten conocer en qué medida [dos o más variables] están vinculadas, aunque a veces el investigador, basándose en ciertos conocimientos previos a su trabajo, puede interpretar una asociación hallada en términos de causa y efecto (wiki).

Para nuestro caso nos basamos en conocimientos previos a nuestro trabajo de diferentes investigaciones en las cuales vimos los patrones de las variables

utilizadas para los estudios, en los cuales se realizaron estudios con métodos diferentes pero que llevan a mismos resultados entre estos estudios tenemos:

- Análisis y propuesta de mejora en la carretera nacional pe-3s segmento av. Antonio Lorena.
- Modelos de frecuencia de choques para segmentos e intersecciones: ruta 34 en costa rica.
- Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: el caso de la ruta 32 en costa rica.

En la siguiente tabla de datos se pueden observar todas las variables que se obtuvieron sin embargo para llevar a cabo la regresión binomial negativa y que la tabla funcione de la manera correcta es necesario hacerle cambios que se explican a continuación.

| TOTALES | Longitud | N carriles | TPDA | Estado de ca | Interseccion | N accesos | Ancho de ca | Hombro izq | Hombro Der | señalización vertical | Señalización Horizontal | Tipo de curva | Velocidad | Gato | Iluminacion |
|---------|----------|------------|-------|--------------|--------------|-----------|-------------|------------|------------|-----------------------|-------------------------|-----------------|-----------|-----------|--------------|
| 9 | 1000 | 3 | 47058 | Bueno | 0 | 0 | 3.1 | 0 | 0 | Bueno | bueno | Curvas bajas | 60 | si hay | no hay |
| 108 | 1000 | 3 | 52208 | Bueno | 0 | 2 | 3.1 | 0 | 0 | irregular | bueno | Curvas muy baja | 60 | si hay | irregular |
| 66 | 1000 | 3 | 52208 | Bueno | 1 | 2 | 3.1 | 0 | 0 | malo | irregular | Curvas muy baja | 60 | malo | no hay |
| 86 | 1000 | 3 | 46383 | Bueno | 0 | 3 | 3.1 | 0 | 2.3 | irregular | irregular | Curvas medias | 60 | si hay | no hay |
| 168 | 1000 | 3 | 46383 | Bueno | 0 | 7 | 3.1 | 0 | 2.3 | irregular | bueno | Curvas bajas | 60 | si hay | no hay |
| 93 | 1000 | 3 | 46383 | Bueno | 1 | 4 | 3.1 | 0 | 2.3 | malo | bueno | Recto | 60 | si hay | no hay |
| 57 | 1000 | 3 | 31115 | Bueno | 3 | 14 | 3.1 | 0 | 2.3 | bueno | bueno | Curvas muy baja | 60 | si hay | hay iluminac |
| 9 | 1000 | 3 | 31115 | Bueno | 3 | 12 | 3.1 | 0 | 2.3 | bueno | bueno | Curvas muy baja | 60 | si hay | irregular |
| 85 | 1000 | 3 | 31115 | Bueno | 4 | 6 | 3.1 | 0 | 2.3 | bueno | bueno | Recto | 60 | si hay | no hay |
| 27 | 1000 | 2 | 28069 | Bueno | 0 | 5 | 3.1 | 0 | 2.3 | bueno | bueno | Curvas muy baja | 60 | si hay | no hay |
| 56 | 1000 | 2 | 28069 | Bueno | 2 | 9 | 3.1 | 0 | 2.3 | bueno | bueno | Curvas altas | 60 | si hay | no hay |
| 8 | 1000 | 2 | 28069 | Bueno | 1 | 9 | 3.1 | 0 | 2.3 | bueno | bueno | Recto | 60 | si hay | no hay |
| 9 | 1000 | 2 | 28069 | Bueno | 2 | 4 | 3.1 | 0 | 2.3 | irregular | bueno | Curvas muy baja | 60 | si hay | no hay |
| 77 | 1000 | 2 | 28069 | Bueno | 1 | 4 | 3.1 | 0 | 2.3 | bueno | bueno | Curvas medias | 60 | si hay | no hay |
| 1 | 1000 | 2 | 23000 | Bueno | 0 | 0 | 3.1 | 0 | 2.3 | irregular | bueno | Curvas bajas | 60 | si hay | no hay |
| 23 | 1000 | 2 | 23000 | Bueno | 1 | 3 | 3.1 | 0 | 2.3 | bueno | bueno | Curvas muy baja | 60 | si hay | no hay |
| 6 | 1000 | 2 | 23000 | Bueno | 1 | 6 | 3.1 | 0 | 2.3 | malo | bueno | Curvas bajas | 60 | si hay | no hay |
| 9 | 1000 | 2 | 23000 | Bueno | 1 | 1 | 3.1 | 0 | 2.3 | bueno | bueno | Curvas altas | 60 | irregular | no hay |
| 0 | 1000 | 2 | 23946 | Bueno | 0 | 3 | 3.8 | 1 | 2.3 | bueno | bueno | Recto | 60 | malo | no hay |
| 4 | 1000 | 2 | 23946 | Bueno | 1 | 2 | 3.8 | 1 | 2.3 | bueno | bueno | Curvas bajas | 60 | irregular | no hay |
| 6 | 1000 | 2 | 23946 | Bueno | 1 | 2 | 3.8 | 1 | 2.3 | bueno | bueno | Curvas bajas | 60 | malo | no hay |
| 4 | 1000 | 2 | 23946 | Bueno | 0 | 2 | 3.5 | 1 | 2.3 | bueno | irregular | Curvas medias | 60 | irregular | no hay |
| 7 | 1000 | 2 | 23946 | Bueno | 1 | 2 | 3.5 | 1 | 2.3 | irregular | irregular | Curvas bajas | 60 | irregular | no hay |
| 0 | 1000 | 2 | 23946 | Bueno | 0 | 1 | 3.5 | 1 | 2.3 | malo | bueno | Curvas medias | 60 | irregular | no hay |
| 13 | 1000 | 2 | 18254 | Bueno | 1 | 1 | 3.5 | 1 | 2.3 | bueno | bueno | Curvas muy baja | 60 | irregular | no hay |
| 7 | 1000 | 2 | 18254 | Bueno | 0 | 4 | 3.5 | 1 | 2.3 | irregular | bueno | Curvas bajas | 60 | si hay | no hay |
| 27 | 1000 | 2 | 18254 | Bueno | 1 | 3 | 3.5 | 1 | 2.3 | bueno | bueno | Curvas bajas | 60 | si hay | no hay |
| 0 | 1000 | 2 | 18254 | Bueno | 0 | 2 | 3.5 | 1 | 2.3 | bueno | bueno | Curvas medias | 60 | si hay | no hay |
| 0 | 1000 | 2 | 18254 | Bueno | 1 | 2 | 3.5 | 1 | 2.3 | bueno | bueno | Curvas bajas | 60 | si hay | no hay |
| 6 | 1000 | 2 | 18254 | Bueno | 0 | 1 | 3.5 | 1 | 2.3 | bueno | bueno | Recto | 60 | si hay | no hay |
| 8 | 1000 | 2 | 18254 | Bueno | 0 | 0 | 3.5 | 1 | 2.3 | bueno | bueno | Curvas bajas | 60 | si hay | no hay |
| 11 | 1000 | 2 | 18254 | Bueno | 0 | 0 | 3.5 | 1 | 2.3 | irregular | bueno | Recto | 60 | si hay | no hay |
| 7 | 1000 | 2 | 18254 | Bueno | 1 | 1 | 3.5 | 1 | 2.3 | malo | bueno | Curvas muy baja | 60 | si hay | no hay |
| 12 | 1000 | 2 | 18254 | Bueno | 0 | 2 | 3.75 | 1 | 2.75 | bueno | bueno | Recto | 60 | irregular | no hay |
| 10 | 1000 | 2 | 18254 | Bueno | 0 | 5 | 3.75 | 1 | 2.75 | irregular | bueno | Curvas medias | 60 | si hay | no hay |
| 17 | 1000 | 2 | 18254 | Bueno | 0 | 4 | 3.75 | 1 | 2.75 | bueno | bueno | Recto | 60 | si hay | no hay |
| 5 | 1000 | 2 | 12496 | Bueno | 0 | 2 | 3.75 | 1 | 2.75 | irregular | bueno | Curvas muy baja | 60 | si hay | no hay |
| 7 | 1000 | 2 | 12496 | Bueno | 0 | 5 | 3.75 | 1 | 2.75 | bueno | bueno | Recto | 60 | si hay | no hay |
| 5 | 1000 | 2 | 12496 | Bueno | 0 | 3 | 3.75 | 1 | 2.75 | bueno | bueno | Recto | 60 | si hay | no hay |

Tabla 5. 2 Listado de variables que se obtuvieron para poder ejecutar la regresión binomial negativa.

Como se observa en la tabla anterior (Tabla de Siniestros totales) se pueden observar todas las variables con las que se llevara a cabo el modelo hasta que se elijan las más adecuadas o más importantes para analizar, acá se incluyen, Suma de TPDA, Longitud, Numero de carriles, N de accesos, Intersecciones, Ancho de carriles, Señalización vertical y Horizontal, Tipos de curva, Iluminación en la carretera.

Para introducir datos en Deducer se necesitó hacer algunos cambios a la forma de la tabla, para comenzar ya que el programa no se puede introducir de manera cualitativa las variables.

Los modelos estadísticos necesitan variables que forman parte propiamente del análisis y variables que van a formar parte de lo conocido como el error. En la práctica, esto quiere decir que cada una de las variables mencionadas anteriormente tiene que estar divididas en la tabla, según su clasificación o rango. Por ejemplo, se tiene que hay segmentos con 2 o 3 carriles por lo que cada una de esas clasificaciones tiene que estar representada en la tabla, en la cual una de ellas va a ser seleccionada y las demás comparadas frente a esta, así se hizo con las demás variables¹⁰¹.

Las variables como longitud de segmento, suma de TPDA, número de accesos, intercepciones son valores exactos y únicos por lo que se tomaran como tal

¹⁰¹ Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: El caso de la Ruta 32 en Costa Rica

dentro de la tabla, es decir estos valores son continuos y no categóricos. Las demás variables si tenían clasificaciones distintas. Para las variables en las que el criterio de clasificación no era numérico, sencillamente se separó en la tabla por los razonamientos escogidos con anterioridad, los cuales fueron definidos según criterio profesional, Por lo tanto, el señalamiento horizontal se dividió en bueno, irregular y malo, tomando como base el Bueno que es la mejor de las situaciones, mientras que los demás serán comparados frente a este. Para que la tabla funcionara, se le asignó un valor de 1 al criterio en el que clasificaba y a los demás se los trataba como un valor de 0¹⁰².

El alineamiento horizontal se dividió en recto, recto con curvas bajas, curvas muy bajas, curvas medias y curvas altas. De nuevo, estas clasificaciones cambien fueron definidas por criterio personal.

El señalamiento vertical se clasifico de la misma manera que el señalamiento horizontal.

Las variables de ancho de carril y de hombro, a pesar de ser números únicos y exactos, fueron divididas en rangos. Estos rangos fueron escogidos utilizando primero una base y a partir de ahí dividiéndolos de igual forma hacia ambos extremos. Es decir, para el ancho de carril se escogió el sugerido, que se toma como el correcto de 3.6 metros, por lo que el rango entre 3.5 y 3.7 metros se

¹⁰² Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: El caso de la Ruta 32 en Costa Rica

consideró como la base. A partir de ahí, se escogieron los demás rangos descendientes mayor a 3.7 y menor a 3.5.

Originalmente se eligió el mismo sistema para definir los anchos de hombro, con un rango de 1.3 – 2.6 para la base y los demás inferiores menores a 1.3 y superiores mayores a 2.6.

Ya con esto listo, se puede proceder a hacer la primera prueba corriendo el modelo. Como se dijo antes, el análisis se realizará con la regresión binomial negativa.

La tabla quedo de la siguiente manera

| ACCIDENTES | Longitud | 3 Carriles | 2 Carriles | TPDA | Estado de ca | interseccion | N accesos | Ancho Carril | Ancho Carril | Ancho Carril |
|------------|----------|------------|------------|--------|--------------|--------------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 9 | 1000 | 1 | 0 | 141810 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 108 | 1000 | 1 | 0 | 158207 | 1 | 0 | 7 | 0 | 1 | 0 |
| 66 | 1000 | 1 | 0 | 158207 | 1 | 1 | 6 | 0 | 1 | 0 |
| 86 | 1000 | 1 | 0 | 138651 | 1 | 0 | 11 | 0 | 1 | 0 |
| 168 | 1000 | 1 | 0 | 138651 | 1 | 0 | 11 | 0 | 1 | 0 |
| 93 | 1000 | 1 | 0 | 138651 | 1 | 1 | 5 | 0 | 1 | 0 |
| 57 | 1000 | 1 | 0 | 87263 | 1 | 3 | 14 | 0 | 1 | 0 |
| 9 | 1000 | 1 | 0 | 87263 | 1 | 3 | 13 | 0 | 1 | 0 |
| 85 | 1000 | 1 | 0 | 87263 | 1 | 4 | 7 | 0 | 1 | 0 |
| 27 | 1000 | 0 | 1 | 87944 | 1 | 0 | 16 | 0 | 1 | 0 |
| 56 | 1000 | 0 | 1 | 87944 | 1 | 2 | 15 | 0 | 1 | 0 |
| 8 | 1000 | 0 | 1 | 87944 | 1 | 1 | 9 | 0 | 1 | 0 |
| 9 | 1000 | 0 | 1 | 87944 | 1 | 2 | 9 | 0 | 1 | 0 |
| 77 | 1000 | 0 | 1 | 87944 | 1 | 1 | 4 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1000 | 0 | 1 | 69720 | 1 | 0 | 4 | 0 | 1 | 0 |
| 23 | 1000 | 0 | 1 | 69720 | 1 | 1 | 8 | 0 | 1 | 0 |
| 6 | 1000 | 0 | 1 | 69720 | 1 | 1 | 3 | 0 | 1 | 0 |
| 9 | 1000 | 0 | 1 | 69720 | 1 | 1 | 8 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1000 | 0 | 1 | 73186 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 4 | 1000 | 0 | 1 | 73186 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 1 |
| 6 | 1000 | 0 | 1 | 73186 | 1 | 1 | 5 | 0 | 0 | 1 |
| 4 | 1000 | 0 | 1 | 73186 | 1 | 0 | 6 | 1 | 0 | 0 |
| 7 | 1000 | 0 | 1 | 73186 | 1 | 1 | 4 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1000 | 0 | 1 | 73186 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 13 | 1000 | 0 | 1 | 55829 | 1 | 1 | 5 | 1 | 0 | 0 |
| 7 | 1000 | 0 | 1 | 55829 | 1 | 0 | 6 | 1 | 0 | 0 |
| 27 | 1000 | 0 | 1 | 55829 | 1 | 1 | 5 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1000 | 0 | 1 | 55829 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1000 | 0 | 1 | 55829 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 6 | 1000 | 0 | 1 | 55829 | 1 | 0 | 4 | 1 | 0 | 0 |
| 8 | 1000 | 0 | 1 | 55829 | 1 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| 11 | 1000 | 0 | 1 | 55829 | 1 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| 7 | 1000 | 0 | 1 | 55829 | 1 | 1 | 6 | 1 | 0 | 0 |
| 12 | 1000 | 0 | 1 | 55829 | 1 | 0 | 9 | 0 | 0 | 1 |
| 10 | 1000 | 0 | 1 | 55829 | 1 | 0 | 10 | 0 | 0 | 1 |
| 17 | 1000 | 0 | 1 | 55829 | 1 | 0 | 13 | 0 | 0 | 1 |
| 5 | 1000 | 0 | 1 | 37727 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 7 | 1000 | 0 | 1 | 37727 | 1 | 0 | 11 | 0 | 0 | 1 |
| 5 | 1000 | 0 | 1 | 37727 | 1 | 0 | 9 | 0 | 0 | 1 |

Tabla 5. 3 Listado de variables seleccionadas para ejecutar la regresión binomial negativa.

| ACCIDENTES | Hombro izq | Hombro der | Hombro der | Hombro der | SV Bueno | SV Irregular | SV Malo | SH Bueno | SH Irregular |
|------------|------------|------------|------------|------------|----------|--------------|---------|----------|--------------|
| 9 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 108 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 66 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 86 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 168 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 93 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 57 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 85 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 27 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 56 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 77 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 23 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 4 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 6 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 4 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 7 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 13 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 7 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 27 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 6 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 8 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 11 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 7 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 12 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 10 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 17 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 5 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 7 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 5 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |

Tabla 5. 4 Listado de variables seleccionadas para ejecutar la regresión binomial negativa.

| ACCIDENTES | Curvas bajas | Curvas muy | Curvas medi | Curvas Altas | Recto | Velocidad | Hay Gato | Hay gato de n | Hay Iluminar | No hay |
|------------|--------------|------------|-------------|--------------|-------|-----------|----------|---------------|--------------|--------|
| 9 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 108 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 66 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 60 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 86 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 168 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 93 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 57 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 60 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 9 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 85 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 27 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 56 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 9 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 77 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 23 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 60 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 60 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 60 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 60 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 13 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 60 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 27 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 7 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 60 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 10 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 60 | 1 | 0 | 0 | 1 |

Tabla 5. 5 Listado de variables seleccionadas para ejecutar la regresión binomial negativa.

5.5 PRUEBAS UTILIZANDO EL PROGRAMA DEDUCER R

Primera prueba

1.) Dentro del programa Deducer R:



Figura 5.5 Selección del tipo de formatos en Deducer.

Seleccionamos la opción Open Data para importar los datos, los datos deben estar en el formato que presentamos anteriormente para que la tabla funcione y además debe encontrarse en el formato separado por comas de Excel .CSV.¹⁰³

¹⁰³ Servei d' Estadística, *Manual de Introducció a Deducer: una interfaz gràfica per a usuaris de R*, 5^a Edició, Universitat autònoma de Barcelona

2.) Posteriormente en la barra de comandos digitamos la función que se mencionó al inicio del capítulo donde podemos observar que:

- Data = Materiales: Hace referencia a la tabla de Excel donde tenemos guardados los datos en formato CSV.
- Glm.nb: es la función generalized linear model (negative binomial) la cual se utiliza para que corra los datos de la tabla seleccionada con la regresión binomial negativa.
- Modelo1 <- : significa que la función será guardada ahí y que podremos llamarla usando Modelo1.
- Y finalmente podemos observar la parte central que es la fórmula que lleva la misma forma que la ecuación mostrada al inicio del capítulo.

```

R: Edit Workspace Data Analysis Plots Packages & Data Window Help
loading required package: iplots
starting httpd help server ... done
loading required package: car
loading required package: MASS
loading required package: nnet
loading required package: multcomp
loading required package: mvtnorm
loading required package: survival
loading required package: splines

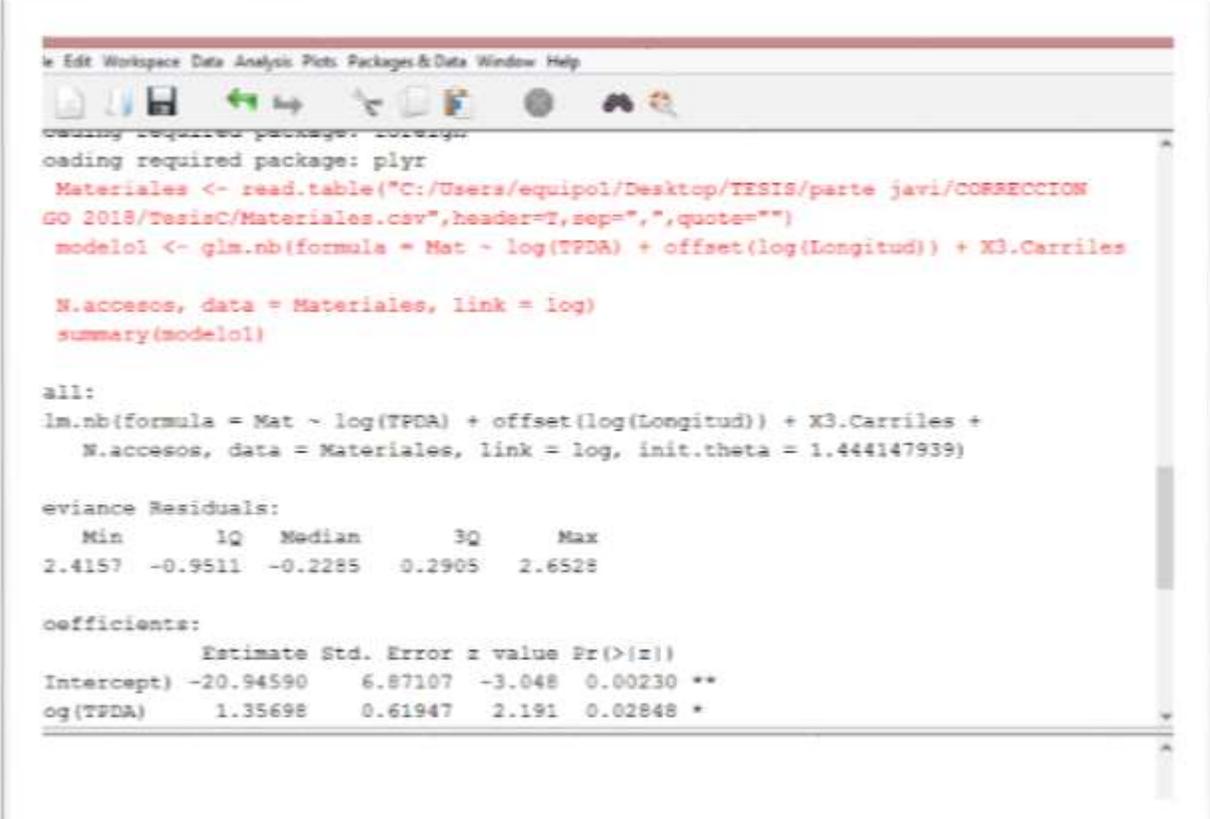
loading required package: effects
loading required package: lattice
loading required package: grid
loading required package: nlme
loading required package: colorspace

Modelo1 <- glm.nb(formula = Mat ~ log(TPDA) + offset(log(Longitud)) + X3.Carriles +
  N.accesos, data = Materiales, link = log)

```

Figura 5.6 Barra de comandos.

3.) Una vez se corre el modelo y se guarda en modelo 1 se llama con la función `summary(Modelo1)` para poder observar los resultados de la siguiente manera:



```

le Edit Workspace Data Analysis Plots Packages & Data Window Help
loading required package: coreutils
loading required package: plyr
Materiales <- read.table("C:/Users/equipol/Desktop/TESIS/parte javi/CORRECCION
GO 2018/TesisC/Materiales.csv",header=T,sep=";",quote="")
modelo1 <- glm.nb(formula = Mat ~ log(TPDA) + offset(log(Longitud)) + X3.Carriles
N.accesos, data = Materiales, link = log)
summary(modelo1)

all:
lm.nb(formula = Mat ~ log(TPDA) + offset(log(Longitud)) + X3.Carriles +
N.accesos, data = Materiales, link = log, init.theta = 1.444147939)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
2.4157 -0.9511 -0.2285  0.2905  2.6528

Coefficients:
            Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
Intercept) -20.94590     6.87107  -3.048  0.00230 **
log(TPDA)    1.35698     0.61947   2.191  0.02848 *
---

```

Figura 5. 7 Resultados después de llamar el Modelo 1.

Siguiendo los pasos anteriores, primero se hizo una prueba con Daños únicamente materiales, de las cuales se escogió las siguientes variables:

- Suma TPDA
- Número de carriles
- Numero de accesos
- Hombro derecho

- Ancho de carril

| TABLA DE RESULTADOS(SOLO DAÑOS MATERIALES PRUEBA1) | | | | | | |
|---|-----------|----------|-----------|---------|----------|---------------|
| | Parámetro | Estimado | Std Error | z Value | Pr(> z) | Significancia |
| Intercepto | β_0 | -21.212 | 10.05581 | -2.109 | 0.0349 | * |
| Log(SumaTPDA) | β_1 | 1.425 | 0.93976 | 1.517 | 0.1293 | |
| 3 Carriles | β_2 | 0.887 | 0.52384 | 1.693 | 0.0904 | . |
| N.accesos | β_3 | 0.081 | 0.04466 | 1.812 | 0.07 | . |
| Hombro derecho (1.3 - 2.6) | β_4 | -1.27 | 0.8663 | -1.417 | 0.1566 | |
| Hombro derecho (>1.7) | β_5 | -1.685 | 1.3236 | -1.273 | 0.203 | |
| Ancho de carril (3.5 - 3.7) | β_6 | 0.793 | 0.70356 | 1.128 | 1.128 | |
| Ancho de carril (<3.5) | β_7 | 1.278 | 0.7222 | 1.769 | 0.0769 | . |

Tabla 5. 6 Resultados de la primera prueba.

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Negative Binomial (1.6308) family taken to be 1)

Null deviance: 118.512 on 38 degrees of freedom

Residual deviance: 43.625 on 31 degrees of freedom

AIC: 266.43

Number of Fisher Scoring iterations: 1

Acá se pueden ver los resultados obtenidos de la primera prueba, para interpretar los resultados se necesita saber que significa cada uno de los parámetros que se muestran.

Nombre del coeficiente.: La columna 1 muestra los nombres de los coeficientes. Observe que, para las variables categóricas, se enumeran todos los valores excepto el valor de referencia.

Parámetro o estimador: Estos son los valores estimados para los coeficientes. Observe el coeficiente separado para cada valor único de la variable categórica. Los coeficientes mostrados no están estandarizados, por ejemplo, se miden en sus unidades naturales y, por lo tanto, no pueden compararse entre sí para determinar cuál es el más influyente en el modelo. Pero su signo indicara si está afectando de manera negativa o positiva a la incidencia de siniestros si el signo es positivo significa que la existencia de ese parámetro provoca más probabilidad de que se produzca un siniestro y viceversa¹⁰⁴.

Error estándar: Estos son los errores estándar de los coeficientes. Se pueden usar para construir los límites inferior y superior del coeficiente. Un ejemplo es Coeficiente \pm Error estándar, que proporciona una indicación de dónde puede caer el valor si se utiliza otro conjunto de datos de muestra. El error estándar también se usa para probar si el parámetro es significativamente diferente de 0. Si un coeficiente es significativamente diferente de 0, entonces tiene un impacto en la variable dependiente.

En la regresión el error estándar es el valor que muestra la diferencia entre los valores reales y los estimados de una regresión. Es utilizado para valorar si existe

¹⁰⁴ WebFOCUS 8 thecnical Library, Explanation of the regression Model

una correlación entre la regresión y los valores medidos. Muchos autores prefieren este dato a otros como el coeficiente de correlación lineal, ya que el error estándar se mide en las mismas unidades que los valores que se estudian.

Valor z: El valor z es la relación del coeficiente de regresión β a su error estándar ($z = \text{coeficiente error/error estándar}$). El estadístico z prueba la hipótesis de que un coeficiente de regresión de población es 0. Si un coeficiente es diferente de cero, entonces tiene un efecto genuino en la variable dependiente. Sin embargo, un coeficiente puede ser diferente de cero, pero si la diferencia se debe a una variación aleatoria, entonces no tiene impacto en la variable dependiente. Los valores z se utilizan para determinar los valores P (ver más abajo)¹⁰⁵.

Pr (> | t |): El valor P indica si la variable independiente tiene capacidad predictiva estadísticamente significativa. Esencialmente muestra la probabilidad de que el coeficiente sea atribuido a una variación aleatoria. Cuanto menor es la probabilidad, más significativo es el impacto del coeficiente¹⁰⁶.

El valor P es una medida de la confianza que puede tener en que las variables independientes predicen de manera confiable la variable dependiente. P significa probabilidad y generalmente se interpreta como la probabilidad de que los datos de prueba no representen con precisión la población de la que se extraen. Si el valor P es 0.10, hay una probabilidad del 10% de que el cálculo de los datos de

¹⁰⁵ WebFOCUS 8 thecnical Library, Explanation of the regression Model

prueba no sea verdadero para la población. A la inversa, puede estar seguro al 90% de que los resultados de los datos de la prueba son ciertos para la población.

Tenga en cuenta que esta es una prueba de significación general que evalúa si el grupo de variables independientes cuando se usan juntas predice de manera confiable la variable dependiente, y no aborda la capacidad de ninguna de las variables independientes particulares para predecir la variable dependiente. La capacidad de cada variable independiente individual para predecir la variable dependiente se aborda en la tabla de coeficientes. (Ver valores de P para los coeficientes de regresión)¹⁰⁷.

*. Los asteriscos en la última columna indican la clasificación de significancia de los valores de P

Signif. Códigos:

0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 " 1

Los códigos de importancia indican qué tan seguros podemos estar de que el coeficiente tiene un impacto en la variable dependiente. Por ejemplo, un nivel de significación de 0.01 indica que hay menos de un 0.1% de probabilidad de que el coeficiente sea igual a 0 y, por lo tanto, sea insignificante. Dicho de otra manera, podemos estar 99.9% seguros de que es significativo. Los códigos de

¹⁰⁷ WebFOCUS 8 thecnical Library, Explanation of the regression Model

significancia (mostrados por asteriscos) están diseñados para clasificar rápidamente la significancia de cada variable.

Desviación: Vemos la palabra Desviación dos veces en la salida del modelo. La desviación es una medida de la bondad de ajuste de un modelo lineal generalizado. O más bien, es una medida de la maldad del ajuste: los números más altos indican un peor ajuste¹⁰⁸.

R informa dos formas de desviación: **la desviación nula y la desviación residual**. La desviación nula muestra qué tan bien la variable de respuesta se predice mediante un modelo que incluye solo la intersección (gran media).

Para nuestro ejemplo, tenemos un valor de 118.512 en 38 grados de libertad. La inclusión de las variables independientes redujo la desviación a 43.63 puntos en 31 grados de libertad, una reducción significativa en la desviación.

La Desviación Residual se ha reducido en 74.88 con una pérdida de 7 grados de libertad.

Puntuación de Fisher: ¿Qué pasa con el algoritmo de puntuación de Fisher? El algoritmo de puntuación de Fisher es un derivado del método de Newton para resolver problemas de máxima probabilidad numéricamente.¹⁰⁹

¹⁰⁸ <https://www.theanalysisfactor.com/r-glm-model-fit/>

¹⁰⁹

Para modelo 1, vemos que el algoritmo de puntuación de Fisher necesitaba 1 iteraciones para realizar el ajuste.

Esto realmente no le dice mucho lo que necesita saber, aparte del hecho de que el modelo realmente convergió y no tuvo problemas para hacerlo.

Criterios de información AIC: El criterio de información de Akaike (AIC) proporciona un método para evaluar la calidad de su modelo a través de la comparación de modelos relacionados. Se basa en la desviación, pero lo penaliza por hacer que el modelo sea más complicado. Su intención es evitar que incluyas predictores irrelevantes.¹¹⁰

Sin embargo, el número en sí no es significativo. Si tiene más de un modelo candidato similar (donde todas las variables del modelo más simple aparecen en los modelos más complejos), debe seleccionar el modelo que tenga el AIC más pequeño.

Por lo tanto, es útil para comparar modelos, pero no es interpretable por sí solo.

Como podemos observar en el cuadro 5.6 Esa combinación de variables no es muy favorable ya que la mayoría de las variables no tienen significancia alguna en la incidencia de accidentes, se puede observar en el signo negativo que los hombros derechos están actuando de manera favorable a que haya menos siniestros no tanto así como tener carril menor de 3.5 afecta de manera positiva

¹¹⁰ <https://www.theanalysisfactor.com/r-glm-model-fit/>

a la incidencia de las otras dos variables que están afectando con una significancia de 90% son los 3 carriles y el número de accesos.

Ahora se hará una segunda prueba incluyendo el ancho de hombro izquierdo

| TABLA DE RESULTADOS | | | | | | |
|-----------------------------|-----------|----------|-----------|---------|----------|---------------|
| | Parámetro | Estimado | Std Error | z Value | Pr(> z) | Significancia |
| Intercepto | β_0 | -21.212 | 10.05581 | -2.109 | 0.0349 | * |
| Log(SumaTPDA) | β_1 | 1.425 | 0.93976 | 1.517 | 0.1293 | |
| 3 Carriles | β_2 | 0.887 | 0.52384 | 1.693 | 0.0904 | . |
| N.accesos | β_3 | 0.081 | 0.04466 | 1.812 | 0.07 | . |
| Hombro derecho (1.3 - 2.6) | β_4 | -1.27 | 0.8663 | -1.417 | 0.1566 | |
| Hombro derecho (<1.3) | β_5 | -1.685 | 1.3236 | -1.273 | 0.203 | |
| Ancho de carril (3.5 - 3.7) | β_6 | 0.793 | 0.70356 | 1.128 | 1.128 | |
| Ancho de carril (<3.5) | β_7 | NA | NA | NA | NA | |
| Hombro izquierdo | β_9 | -1.278 | 0.722 | -1.769 | 0.0769 | . |

Tabla 5. 7 Resultados segunda prueba.

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Negative Binomial (1.6308) family taken to be 1)

Null deviance: 118.512 on 38 degrees of freedom

Residual deviance: 43.625 on 31 degrees of freedom

AIC: 266.43

Number of Fisher Scoring iterations:

Theta: 1.631

Std. Err.: 0.467

2 x log-likelihood: -248.433

En este segundo modelo podemos observar que el hombro izquierdo está afectando de manera positiva a la reducción de accidentes por el signo negativo de su Estimado y tiene una significancia del 90%, pero aun presenta muchas variables que no son lo suficientemente significativas. El carril derecho presenta un NA porque la variable <3.5 ancho de carril no se definió debido a singularidades (son cálculos muy complejos que no se pueden resolver) y es debido a que se da una colinealidad entre el hombro izquierdo y el ancho de carril es decir que el resultado de una variable ya está descrito por la otra y no necesita repetirse, ya que son perfectamente colineales y sus resultados se anularían. Como se vio en la tabla 5.1 el factor del ancho de carril izquierdo tenía un β y en este modelo presenta un β de -1.278 por los cuales ambos factores se eliminarían de la ecuación y no se podrían tomar en cuenta.

Ahora se realizara una modelación solo tomando en cuenta la clasificación de curvas que hicimos de acuerdo a su radio de curvatura para ver si de alguna manera inciden en que haya más siniestros viales.

| TABLA DE RESULTADOS (Prueba 3) | | | | | | |
|--------------------------------|-----------|----------|-----------|---------|----------|---------------|
| | Parámetro | Estimado | Std Error | z Value | Pr(> z) | Significancia |
| Intercepto | β_0 | -33.1859 | 5.0993 | -6.508 | 7.62E-11 | * |
| Log(SumaTPDA) | β_1 | 2.587 | 0.459 | 5.641 | 1.69E-08 | *** |
| Curvas bajas | β_2 | -0.8413 | 0.4564 | -1.843 | 0.0653 | . |
| Curvas muy bajas | β_3 | -0.336 | 0.4684 | -0.712 | 0.4763 | |
| Curvas medias | β_4 | -0.6055 | 0.5337 | -1.135 | 0.2565 | |
| Curvas altas | β_5 | -0.2017 | 0.7758 | -0.26 | 0.7949 | |

Tabla 5. 8 Resultados tercera prueba.

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Negative Binomial (1.0984) family taken to be 1)

Null deviance: 85.757 on 38 degrees of freedom

Residual deviance: 44.370 on 33 degrees of freedom

AIC: 275.57

Number of Fisher Scoring iterations: 1

Theta: 1.098

Std. Err.: 0.285

2 x log-likelihood: -261.567

En este caso podemos observar de los resultados del modelo que las curvas a excepción de las curvas bajas (con $p= 0.065$) no presentan significancia alguna en la producción de siniestros por los que se obviarán del análisis, También en

este caso podemos observar que el TPDA se está mostrando bastante significativa con un 100% de incidencia.

Otro dato que se obviará del análisis son los gatos y la iluminación debido a que en la carretera solo tenemos 1 segmento iluminado el que va justo frente a san marcos, y según el análisis hecho en el capítulo 4 podemos ver que la mayoría de accidentes viales son producidos durante el día y esto también fue justificado en la sección de causa sin relación.

Debido a que las pruebas dieron resultados con variables no significativas o variables que están afectando de manera positiva se decidió utilizar las variables más significativas de las tres pruebas para final mente poder tener este modelo.

5.5.1 MODELO CHOQUES SOLO DAÑOS MATERIALES

| TABLA DE RESULTADOS (Solo Daños Materiales) | | | | | | |
|---|-----------|----------|-----------|---------|----------|---------------|
| | Parámetro | Estimado | Std Error | z Value | Pr(> z) | Significancia |
| Intercepto | β_0 | -20.946 | 6.87107 | -3.048 | 0.0023 | ** |
| Log(SumaTPDA) | β_1 | 1.35698 | 0.61947 | 2.1947 | 0.02848 | * |
| 3 Carriles | β_2 | 1.101448 | 0.52664 | 1.926 | 0.0546 | . |
| N.accesos | β_3 | 0.1177 | 0.036 | 3.268 | 0.0011 | ** |

Tabla 5. 9 Resultados solo daños materiales.

(Dispersion parameter for Negative Binomial (1.4441) family taken to be 1)

Null deviance: 107.433 on 38 degrees of freedom

Residual deviance: 43.947 on 35 degrees of freedom

AIC: 262.42 Number of Fisher Scoring iterations: 1

Theta: 1.444

Std. Err.: 0.402

2 x log-likelihood: -252.421

Finalmente se logró que las variables sean los más significativas posibles con un $p < 0.05$, es decir que tienen un 95 % de probabilidad de que los resultados de los coeficientes de variación β sean verdaderos para la población, en el resultado se puede observar que las variables elegidas fueron el TPDAM, 3 Carriles y Numero de accesos, por lógica se sabe que el transito promedio diario anual aumentaría el número de siniestros viales ya que a mayor cantidad de vehículos mayor interacción de estos con la infraestructura, por otro lado el número de accesos es otro factor determinante y este factor puede estar causando siniestros ya que en muchos de los segmentos estos no están debidamente señalizados, no tienen incorporaciones debidas y tienen una entrada abrupta a la carretera lo que ocasiona que aumente la cantidad de siniestros, y los 3 carriles proporciona que haya una mayor interacción entre los vehículos, además de la falta de respeto de los motoristas con las diferentes velocidades de cada carril.

5.5.2 MODELO CHOQUES TOTALES

| TABLA DE RESULTADOS | | | | | | |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|---------|----------|---------------|
| | Parámetro | Estimado | Std Error | z Value | Pr(> z) | Significancia |
| Intercepto | β_0 | -21.76475 | 6.705 | -3.246 | 0.00117 | ** |
| Log(SumaTPDA) | β_1 | 1.504 | 0.60514 | 2.485 | 0.01296 | * |
| 3 Carriles | β_2 | 0.7273 | 0.5234 | 1.39 | 0.16468 | |
| N.accesos | β_3 | 0.0947 | 0.0354 | 2.679 | 0.00738 | ** |

Tabla 5. 10 Resultado de choques totales.

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Negative Binomial (1.3827) family taken to be 1)

Null deviance: 97.714 on 38 degrees of freedom

Residual deviance: 46.262 on 35 degrees of freedom

AIC: 307.11 Number of Fisher Scoring iterations: 1

Theta: 1.383

Std. Err.: 0.358

2 x log-likelihood: -297.111

En el modelo de choques totales podemos observar un comportamiento similar al de solo daños materiales, aunque los 3 carriles se vuelven un poco menos significativos las demás variables se siguen manteniendo significativas, a pesar de eso se tomara en cuenta el modelo sabiendo que la significancia de los 3 carriles es del 83.35% ($p = 0.165$) y el recomendado es de 95% ($p \leq 0.05$)

La reducción de la significancia en la variable 3 carriles se puede deber a la poca precisión que tienen los datos coordinados de los siniestros viales y características de la carretera pero se tomarán como ejercicio académico para llevar a cabo el análisis.

Pero a pesar de eso se puede ver una reducción en el error estándar de 0.402 a 0.358 lo cual nos está indicando que el Modelo de Choques Totales es más preciso que el Modelo con Solo Daños Materiales.

Al igual que el anterior se puede ver que una de las variables más importantes sigue siendo el número de accesos en los segmentos de la carretera así como el TPDA.

5.5.3 MODELO PARA CHOQUES EQUIVALENTES

| TABLA DE RESULTADOS | | | | | | |
|---------------------|-----------|----------|-----------|---------|----------|---------------|
| | Parámetro | Estimado | Std Error | z Value | Pr(> z) | Significancia |
| Intercepto | β_0 | -14.052 | 8.83.724 | -1.59 | 0.112 | |
| Log(SumaTPDA) | β_1 | 1.0176 | 0.79869 | 1.274 | 0.203 | |
| 3 Carriles | β_2 | 0.55137 | 0.70798 | 0.779 | 0.436 | |
| N.accesos | β_3 | 0.06113 | 0.04733 | 1.291 | 0.197 | |

Tabla 5. 11 Resultados de choques equivalentes.

(Dispersion parameter for Negative Binomial (0.7055) family taken to be 1)

Null deviance: 60.003 on 38 degrees of freedom

Residual deviance: 47.462 on 35 degrees of freedom

AIC: 459.17

Number of Fisher Scoring iterations: 1

Theta: 0.705

Std. Err.: 0.155

2 x log-likelihood: -449.171

Como podemos ver en este modelo las variables ya no son tan representativas y tienen más probabilidad de producir un error en la predicción, esto se debe a que en los choques equivalentes se están usando equivalencias de siniestros de otro país entonces los datos en ciertos segmentos pueden tener más dispersión de la deseada, en este caso el TPDA y el Numero de accesos son las variables más representativas con un ($\rho = 0.203$) y ($\rho = 0.197$) respectivamente.

5.6 EXCESO DE FRECUENCIA DE CHOQUES DE BAYES EMPIRICO: RESULTADOS.

Una vez ya teniendo los 3 modelos se procede a realizar los cálculos para encontrar el exceso de frecuencia de choques de los segmentos y conocer en que segmentos el numero esperado de choques supera al predicho y determinar de esa forma que segmentos son los que son más propensos en presentar una reducción de accidentes con la aplicación de medidas de mitigación de los cuales se seleccionaran los 6 más propensos, solamente 6 ya que actualmente los segmentos poseen una longitud de 1 km de largo cada uno , para determinar estos segmentos se basará en los resultados de los 3 modelos y se analizará en

base a esto cuáles son los segmentos que más se repiten en los distintos resultados de cada modelo.

Para los cálculos se realizaron los pasos descritos en el capítulo 3 sección 3.3, los cálculos fueron realizados en Excel de la siguiente manera.

| EXCESO DE FRECUENCIA DE CHOQUES SOLO DAÑOS MATERIALES | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------|---------|--------|------------|---------------|----------------|-------------|--------------|-------------|-----------|------------|------------|------------|-----|
| Segmentos | 3 Carriles | Accesos | TPDA | InTPDA | FactorxCarril | Factorxaccesos | e(tpda) | EXP(3Carrile | EXP(Accesos | Npredicho | Nobservado | w= ajuste | Nexp | D |
| 1 | 1 | 1 | 141810 | 11.8622434 | 1.0145 | 0.118 | 11025118.69 | 2.75798406 | 1.12524411 | 27 | 4 | 0.05009099 | 5.17130463 | -22 |
| 2 | 1 | 7 | 158207 | 11.9716596 | 1.0145 | 0.826 | 12803877.94 | 2.75798406 | 2.28416379 | 65 | 71 | 0.0218792 | 70.8589834 | 6 |
| 3 | 1 | 6 | 158207 | 11.9716596 | 1.0145 | 0.708 | 12803877.94 | 2.75798406 | 2.02992734 | 57 | 51 | 0.02455216 | 51.1563866 | -6 |
| 4 | 1 | 11 | 138651 | 11.8397153 | 1.0145 | 1.298 | 10690764.17 | 2.75798406 | 3.66196541 | 86 | 61 | 0.01643567 | 61.417691 | -25 |
| 5 | 1 | 11 | 138651 | 11.8397153 | 1.0145 | 1.298 | 10690764.17 | 2.75798406 | 3.66196541 | 86 | 112 | 0.01643567 | 111.579472 | 25 |
| 6 | 1 | 5 | 138651 | 11.8397153 | 1.0145 | 0.59 | 10690764.17 | 2.75798406 | 1.80398842 | 43 | 60 | 0.03280786 | 59.4281538 | 17 |
| 7 | 1 | 14 | 87263 | 11.3766818 | 1.0145 | 1.652 | 5676946.49 | 2.75798406 | 5.21740421 | 65 | 32 | 0.02160979 | 32.7212823 | -33 |
| 8 | 1 | 13 | 87263 | 11.3766818 | 1.0145 | 1.534 | 5676946.49 | 2.75798406 | 4.63668652 | 58 | 2 | 0.02425065 | 3.36048076 | -55 |
| 9 | 1 | 7 | 87263 | 11.3766818 | 1.0145 | 0.826 | 5676946.49 | 2.75798406 | 2.28416379 | 29 | 55 | 0.0480275 | 53.7331356 | 25 |
| 10 | 1 | 16 | 87944 | 11.3844555 | 1.0145 | 1.888 | 5737595.085 | 2.75798406 | 6.60614317 | 84 | 22 | 0.01696672 | 23.0462321 | -61 |
| 11 | 1 | 15 | 87944 | 11.3844555 | 1.0145 | 1.77 | 5737595.085 | 2.75798406 | 5.87085336 | 74 | 33 | 0.01905122 | 33.7877997 | -41 |
| 12 | 1 | 9 | 87944 | 11.3844555 | 1.0145 | 1.062 | 5737595.085 | 2.75798406 | 2.89214951 | 37 | 6 | 0.03792839 | 7.16166106 | -29 |
| 13 | 1 | 9 | 87944 | 11.3844555 | 1.0145 | 1.062 | 5737595.085 | 2.75798406 | 2.89214951 | 37 | 4 | 0.03792839 | 5.23751784 | -31 |
| 14 | 1 | 4 | 87944 | 11.3844555 | 1.0145 | 0.472 | 5737595.085 | 2.75798406 | 1.60319738 | 20 | 36 | 0.06639765 | 34.9578064 | 15 |
| 15 | 1 | 4 | 69720 | 11.1522425 | 1.0145 | 0.472 | 4177048.677 | 2.75798406 | 1.60319738 | 15 | 1 | 0.08899617 | 4.22649335 | -13 |
| 16 | 1 | 8 | 69720 | 11.1522425 | 1.0145 | 0.944 | 4177048.677 | 2.75798406 | 2.57024185 | 24 | 9 | 0.05743485 | 9.8441504 | -14 |
| 17 | 1 | 3 | 69720 | 11.1522425 | 1.0145 | 0.354 | 4177048.677 | 2.75798406 | 1.42475519 | 13 | 5 | 0.09903851 | 5.80579583 | -7 |
| 18 | 1 | 8 | 69720 | 11.1522425 | 1.0145 | 0.944 | 4177048.677 | 2.75798406 | 2.57024185 | 24 | 3 | 0.05743485 | 4.18875952 | -20 |
| 19 | 0 | 1 | 73186 | 11.2007594 | 0 | 0.118 | 4463474.844 | 1 | 1.12524411 | 4 | 0 | 0.26429246 | 1.06236168 | -3 |
| 20 | 0 | 3 | 73186 | 11.2007594 | 0 | 0.354 | 4463474.844 | 1 | 1.42475519 | 5 | 2 | 0.22101239 | 2.68283333 | -2 |
| 21 | 0 | 5 | 73186 | 11.2007594 | 0 | 0.59 | 4463474.844 | 1 | 1.80398842 | 6 | 4 | 0.20565631 | 4.44744146 | -2 |
| 22 | 0 | 6 | 73186 | 11.2007594 | 0 | 0.708 | 4463474.844 | 1 | 2.02992734 | 7 | 1 | 0.16606497 | 2.0381372 | -5 |
| 23 | 0 | 4 | 73186 | 11.2007594 | 0 | 0.472 | 4463474.844 | 1 | 1.60319738 | 6 | 1 | 0.20136636 | 1.95186061 | -4 |
| 24 | 0 | 1 | 73186 | 11.2007594 | 0 | 0.118 | 4463474.844 | 1 | 1.12524411 | 4 | 0 | 0.26429246 | 1.06236168 | -3 |
| 25 | 0 | 5 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.59 | 3082885.63 | 1 | 1.80398842 | 4 | 9 | 0.24495278 | 7.88571319 | 3 |
| 26 | 0 | 6 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.708 | 3082885.63 | 1 | 2.02992734 | 5 | 4 | 0.22379002 | 4.2568711 | -1 |
| 27 | 0 | 5 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.59 | 3082885.63 | 1 | 1.80398842 | 4 | 12 | 0.24495278 | 10.1508549 | 6 |
| 28 | 0 | 1 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.118 | 3082885.63 | 1 | 1.12524411 | 3 | 0 | 0.34215289 | 0.94993122 | -2 |
| 29 | 0 | 1 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.118 | 3082885.63 | 1 | 1.12524411 | 3 | 0 | 0.34215289 | 0.94993122 | -2 |
| 30 | 0 | 4 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.472 | 3082885.63 | 1 | 1.60319738 | 4 | 2 | 0.2674273 | 2.52298039 | -1 |
| 31 | 0 | 3 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.354 | 3082885.63 | 1 | 1.42475519 | 4 | 1 | 0.29116868 | 1.73238376 | -2 |
| 32 | 0 | 3 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.354 | 3082885.63 | 1 | 1.42475519 | 4 | 5 | 0.29116868 | 4.56770905 | 1 |
| 33 | 0 | 6 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.708 | 3082885.63 | 1 | 2.02992734 | 5 | 5 | 0.22379002 | 5.00189708 | 0 |
| 34 | 0 | 9 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 1.062 | 3082885.63 | 1 | 2.89214951 | 7 | 5 | 0.16830124 | 5.35946682 | -2 |
| 35 | 0 | 10 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 1.18 | 3082885.63 | 1 | 3.2543742 | 8 | 6 | 0.15242394 | 6.30935618 | -2 |
| 36 | 0 | 13 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 1.534 | 3082885.63 | 1 | 4.63668652 | 11 | 12 | 0.11207541 | 11.9372582 | 0 |
| 37 | 0 | 1 | 37727 | 10.5381313 | 0 | 0.118 | 1804195.752 | 1 | 1.12524411 | 2 | 3 | 0.47054322 | 2.35290593 | 1 |
| 38 | 0 | 11 | 37727 | 10.5381313 | 0 | 1.298 | 1804195.752 | 1 | 3.66196541 | 5 | 5 | 0.21450792 | 5.06171097 | 0 |
| 39 | 0 | 9 | 37727 | 10.5381313 | 0 | 1.062 | 1804195.752 | 1 | 2.89214951 | 4 | 5 | 0.25693436 | 4.78831496 | 1 |

Tabla 5. 12 Resultados de exceso de frecuencia de choques solo daños materiales.

| EXCESO DE FRECUENCIA DE CHOQUES , SINIESTROS TOTALES | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------|---------|--------|------------|---------------|----------------|----------------|----------------|--------------|-----------|-------------|------------|------------|-----|
| Segmentos | 3 Carriles | Accesos | TPDA | InTPDA | FactorxCarril | Factorxaccesos | actorxlog(TPD) | EXP(3Carriles) | EXP(Accesos) | Npredicho | Nobservados | w= ajuste | Nexp | (Δ) |
| 1 | 1 | 1 | 141810 | 11.8622434 | 0.727 | 0.095 | 55997303.31 | 2.068864694 | 1.099658855 | 45 | 9 | 0.0298486 | 10.073082 | -35 |
| 2 | 1 | 7 | 158207 | 11.9716596 | 0.727 | 0.665 | 66013908.33 | 2.068864694 | 1.944490521 | 94 | 108 | 0.01454471 | 107.792056 | 14 |
| 3 | 1 | 6 | 158207 | 11.9716596 | 0.727 | 0.57 | 66013908.33 | 2.068864694 | 1.768267051 | 85 | 66 | 0.01597107 | 66.3068213 | -19 |
| 4 | 1 | 11 | 138651 | 11.8397153 | 0.727 | 1.045 | 54131766.69 | 2.068864694 | 2.843398524 | 112 | 86 | 0.01215924 | 86.320489 | -26 |
| 5 | 1 | 11 | 138651 | 11.8397153 | 0.727 | 1.045 | 54131766.69 | 2.068864694 | 2.843398524 | 112 | 168 | 0.01215924 | 167.323431 | 55 |
| 6 | 1 | 5 | 138651 | 11.8397153 | 0.727 | 0.475 | 54131766.69 | 2.068864694 | 1.608014197 | 64 | 93 | 0.0213018 | 92.3724727 | 29 |
| 7 | 1 | 14 | 87263 | 11.3766818 | 0.727 | 1.33 | 26977924.18 | 2.068864694 | 3.781043388 | 74 | 57 | 0.01823463 | 57.3184075 | -17 |
| 8 | 1 | 13 | 87263 | 11.3766818 | 0.727 | 1.235 | 26977924.18 | 2.068864694 | 3.438378521 | 68 | 9 | 0.0200155 | 10.175179 | -58 |
| 9 | 1 | 7 | 87263 | 11.3766818 | 0.727 | 0.665 | 26977924.18 | 2.068864694 | 1.944490521 | 38 | 85 | 0.03485675 | 83.3719693 | 45 |
| 10 | 1 | 16 | 87944 | 11.3844555 | 0.727 | 1.52 | 27295191.61 | 2.068864694 | 4.572225195 | 91 | 27 | 0.01495383 | 27.9585656 | -63 |
| 11 | 1 | 15 | 87944 | 11.3844555 | 0.727 | 1.425 | 27295191.61 | 2.068864694 | 4.157857843 | 83 | 56 | 0.01641964 | 56.440792 | -26 |
| 12 | 1 | 9 | 87944 | 11.3844555 | 0.727 | 0.855 | 27295191.61 | 2.068864694 | 2.351374381 | 47 | 8 | 0.02867261 | 9.11396492 | -38 |
| 13 | 1 | 9 | 87944 | 11.3844555 | 0.727 | 0.855 | 27295191.61 | 2.068864694 | 2.351374381 | 47 | 9 | 0.02867261 | 10.0852923 | -37 |
| 14 | 1 | 4 | 87944 | 11.3844555 | 0.727 | 0.38 | 27295191.61 | 2.068864694 | 1.462284589 | 29 | 77 | 0.04531595 | 74.8309998 | 46 |
| 15 | 1 | 4 | 69720 | 11.1522425 | 0.727 | 0.38 | 19249058.71 | 2.068864694 | 1.462284589 | 21 | 1 | 0.06306352 | 2.23271962 | -18 |
| 16 | 1 | 8 | 69720 | 11.1522425 | 0.727 | 0.76 | 19249058.71 | 2.068864694 | 2.13827622 | 30 | 23 | 0.04400401 | 23.3100502 | -7 |
| 17 | 1 | 3 | 69720 | 11.1522425 | 0.727 | 0.285 | 19249058.71 | 2.068864694 | 1.329762028 | 19 | 6 | 0.06891524 | 6.87419877 | -12 |
| 18 | 1 | 8 | 69720 | 11.1522425 | 0.727 | 0.76 | 19249058.71 | 2.068864694 | 2.13827622 | 30 | 9 | 0.04400401 | 9.92610636 | -20 |
| 19 | 0 | 1 | 73186 | 11.2007594 | 0 | 0.095 | 20706167.79 | 1 | 1.099658855 | 8 | 0 | 0.14686019 | 1.17989236 | -7 |
| 20 | 0 | 3 | 73186 | 11.2007594 | 0 | 0.285 | 20706167.79 | 1 | 1.329762028 | 10 | 4 | 0.12461417 | 4.71220192 | -5 |
| 21 | 0 | 5 | 73186 | 11.2007594 | 0 | 0.475 | 20706167.79 | 1 | 1.608014197 | 12 | 6 | 0.10532192 | 6.60540826 | -5 |
| 22 | 0 | 6 | 73186 | 11.2007594 | 0 | 0.57 | 20706167.79 | 1 | 1.768267051 | 13 | 4 | 0.09669991 | 4.86246441 | -8 |
| 23 | 0 | 4 | 73186 | 11.2007594 | 0 | 0.38 | 20706167.79 | 1 | 1.462284589 | 11 | 7 | 0.11461515 | 7.42218119 | -3 |
| 24 | 0 | 1 | 73186 | 11.2007594 | 0 | 0.095 | 20706167.79 | 1 | 1.099658855 | 8 | 0 | 0.14686019 | 1.17989236 | -7 |
| 25 | 0 | 5 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.475 | 13780888.31 | 1 | 1.608014197 | 8 | 13 | 0.15029445 | 12.2213149 | 4 |
| 26 | 0 | 6 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.57 | 13780888.31 | 1 | 1.768267051 | 9 | 7 | 0.13856101 | 7.22144306 | -1 |
| 27 | 0 | 5 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.475 | 13780888.31 | 1 | 1.608014197 | 8 | 27 | 0.15029445 | 24.1171926 | 16 |
| 28 | 0 | 1 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.095 | 13780888.31 | 1 | 1.099658855 | 5 | 0 | 0.20549566 | 1.0987995 | -4 |
| 29 | 0 | 1 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.095 | 13780888.31 | 1 | 1.099658855 | 5 | 0 | 0.20549566 | 1.0987995 | -4 |
| 30 | 0 | 4 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.38 | 13780888.31 | 1 | 1.462284589 | 7 | 6 | 0.16283367 | 6.180799 | -1 |
| 31 | 0 | 3 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.285 | 13780888.31 | 1 | 1.329762028 | 6 | 8 | 0.17620211 | 7.72969557 | 1 |
| 32 | 0 | 3 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.285 | 13780888.31 | 1 | 1.329762028 | 6 | 11 | 0.17620211 | 10.2010892 | 4 |
| 33 | 0 | 6 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.57 | 13780888.31 | 1 | 1.768267051 | 9 | 7 | 0.13856101 | 7.22144306 | -1 |
| 34 | 0 | 9 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.855 | 13780888.31 | 1 | 2.351374381 | 11 | 12 | 0.10790769 | 11.9388714 | 1 |
| 35 | 0 | 10 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.95 | 13780888.31 | 1 | 2.585709659 | 13 | 10 | 0.09909744 | 10.2549739 | -2 |
| 36 | 0 | 13 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 1.235 | 13780888.31 | 1 | 3.438378521 | 17 | 17 | 0.0764002 | 16.9785351 | 0 |
| 37 | 0 | 1 | 37727 | 10.5381313 | 0 | 0.095 | 7643372.354 | 1 | 1.099658855 | 3 | 5 | 0.31802789 | 4.353028 | 1 |
| 38 | 0 | 11 | 37727 | 10.5381313 | 0 | 1.045 | 7643372.354 | 1 | 2.843398524 | 8 | 7 | 0.15279446 | 7.10212402 | -1 |
| 39 | 0 | 9 | 37727 | 10.5381313 | 0 | 0.855 | 7643372.354 | 1 | 2.351374381 | 6 | 5 | 0.17904227 | 5.24017319 | -1 |

Tabla 5. 13 Resultados de exceso de frecuencia de choques, siniestros totales.

| EXCESO DE FRECUENCIA DE CHOQUES, SINIESTROS EQUIVALENTES | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------|---------|--------|------------|---------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-----------|------------|------------|------------|------|
| Segmentos | 3 Carriles | Accesos | TPDA | InTPDA | FactorxCarril | Factorxaccés | Factorxlog(T | EXP(3Carrile | EXP(Accesos | Npredicho | Nobservado | w= ajuste | Nexp | D |
| 1 | 1 | 1 | 141810 | 11.8622434 | 0.55137 | 0.06113 | 174713.064 | 1.7356292 | 1.0630371 | 254 | 65 | 0.00276572 | 65.5237769 | -189 |
| 2 | 1 | 7 | 158207 | 11.9716596 | 0.55137 | 0.42791 | 195290.031 | 1.7356292 | 1.53404801 | 410 | 348 | 0.00171641 | 348.10698 | -62 |
| 3 | 1 | 6 | 158207 | 11.9716596 | 0.55137 | 0.36678 | 195290.031 | 1.7356292 | 1.44308041 | 386 | 234 | 0.00182441 | 234.277302 | -152 |
| 4 | 1 | 11 | 138651 | 11.8397153 | 0.55137 | 0.67243 | 170753.428 | 1.7356292 | 1.95899189 | 458 | 393 | 0.0015375 | 393.100178 | -65 |
| 5 | 1 | 11 | 138651 | 11.8397153 | 0.55137 | 0.67243 | 170753.428 | 1.7356292 | 1.95899189 | 458 | 481 | 0.0015375 | 480.964878 | 23 |
| 6 | 1 | 5 | 138651 | 11.8397153 | 0.55137 | 0.30565 | 170753.428 | 1.7356292 | 1.3575071 | 317 | 453 | 0.00221722 | 452.699533 | 135 |
| 7 | 1 | 14 | 87263 | 11.3766818 | 0.55137 | 0.85582 | 106595.615 | 1.7356292 | 2.3533033 | 344 | 382 | 0.00204917 | 381.921273 | 38 |
| 8 | 1 | 13 | 87263 | 11.3766818 | 0.55137 | 0.79469 | 106595.615 | 1.7356292 | 2.21375463 | 323 | 97 | 0.00217806 | 97.4926918 | -226 |
| 9 | 1 | 7 | 87263 | 11.3766818 | 0.55137 | 0.42791 | 106595.615 | 1.7356292 | 1.53404801 | 224 | 570 | 0.00314008 | 568.913438 | 345 |
| 10 | 1 | 16 | 87944 | 11.3844555 | 0.55137 | 0.97808 | 107442.178 | 1.7356292 | 2.65934539 | 391 | 111 | 0.00179951 | 111.504485 | -280 |
| 11 | 1 | 15 | 87944 | 11.3844555 | 0.55137 | 0.91695 | 107442.178 | 1.7356292 | 2.50164871 | 368 | 341 | 0.00191272 | 341.051911 | -27 |
| 12 | 1 | 9 | 87944 | 11.3844555 | 0.55137 | 0.55017 | 107442.178 | 1.7356292 | 1.7335477 | 255 | 12 | 0.00275788 | 12.6704598 | -242 |
| 13 | 1 | 9 | 87944 | 11.3844555 | 0.55137 | 0.55017 | 107442.178 | 1.7356292 | 1.7335477 | 255 | 83 | 0.00275788 | 83.4746504 | -172 |
| 14 | 1 | 4 | 87944 | 11.3844555 | 0.55137 | 0.24452 | 107442.178 | 1.7356292 | 1.2770082 | 188 | 443 | 0.00374015 | 442.045974 | 254 |
| 15 | 1 | 4 | 69720 | 11.1522425 | 0.55137 | 0.24452 | 84830.5016 | 1.7356292 | 1.2770082 | 148 | 1 | 0.00473238 | 1.69742893 | -147 |
| 16 | 1 | 8 | 69720 | 11.1522425 | 0.55137 | 0.48904 | 84830.5016 | 1.7356292 | 1.63074995 | 189 | 290 | 0.00370964 | 289.627088 | 100 |
| 17 | 1 | 3 | 69720 | 11.1522425 | 0.55137 | 0.18339 | 84830.5016 | 1.7356292 | 1.20128282 | 140 | 17 | 0.00502919 | 17.6164557 | -122 |
| 18 | 1 | 8 | 69720 | 11.1522425 | 0.55137 | 0.48904 | 84830.5016 | 1.7356292 | 1.63074995 | 189 | 178 | 0.00370964 | 178.042567 | -11 |
| 19 | 0 | 1 | 73186 | 11.2007594 | 0 | 0.06113 | 89123.7189 | 1 | 1.0630371 | 75 | 0 | 0.00934806 | 0.69890494 | -74 |
| 20 | 0 | 3 | 73186 | 11.2007594 | 0 | 0.18339 | 89123.7189 | 1 | 1.20128282 | 84 | 45 | 0.00828118 | 45.3270047 | -39 |
| 21 | 0 | 5 | 73186 | 11.2007594 | 0 | 0.30565 | 89123.7189 | 1 | 1.3575071 | 95 | 47 | 0.00733515 | 47.3555728 | -48 |
| 22 | 0 | 6 | 73186 | 11.2007594 | 0 | 0.36678 | 89123.7189 | 1 | 1.44308041 | 101 | 56 | 0.00690319 | 56.3140512 | -45 |
| 23 | 0 | 4 | 73186 | 11.2007594 | 0 | 0.24452 | 89123.7189 | 1 | 1.2770082 | 90 | 74 | 0.00779394 | 74.12325 | -16 |
| 24 | 0 | 1 | 73186 | 11.2007594 | 0 | 0.06113 | 89123.7189 | 1 | 1.0630371 | 75 | 0 | 0.00934806 | 0.69890494 | -74 |
| 25 | 0 | 5 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.30565 | 67663.9137 | 1 | 1.3575071 | 72 | 104 | 0.0096391 | 103.696234 | 31 |
| 26 | 0 | 6 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.36678 | 67663.9137 | 1 | 1.44308041 | 77 | 59 | 0.00907269 | 59.1638103 | -18 |
| 27 | 0 | 5 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.30565 | 67663.9137 | 1 | 1.3575071 | 72 | 204 | 0.0096391 | 202.732324 | 130 |
| 28 | 0 | 1 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.06113 | 67663.9137 | 1 | 1.0630371 | 57 | 0 | 0.01227643 | 0.69683898 | -56 |
| 29 | 0 | 1 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.06113 | 67663.9137 | 1 | 1.0630371 | 57 | 0 | 0.01227643 | 0.69683898 | -56 |
| 30 | 0 | 4 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.24452 | 67663.9137 | 1 | 1.2770082 | 68 | 125 | 0.01024049 | 124.418214 | 56 |
| 31 | 0 | 3 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.18339 | 67663.9137 | 1 | 1.20128282 | 64 | 151 | 0.010879 | 150.055095 | 86 |
| 32 | 0 | 3 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.18339 | 67663.9137 | 1 | 1.20128282 | 64 | 133 | 0.010879 | 132.250917 | 68 |
| 33 | 0 | 6 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.36678 | 67663.9137 | 1 | 1.44308041 | 77 | 48 | 0.00907269 | 48.26361 | -29 |
| 34 | 0 | 9 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.55017 | 67663.9137 | 1 | 1.7335477 | 93 | 155 | 0.007564 | 154.527743 | 62 |
| 35 | 0 | 10 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.6113 | 67663.9137 | 1 | 1.84282552 | 98 | 55 | 0.00711866 | 55.3089516 | -43 |
| 36 | 0 | 13 | 55829 | 10.9300487 | 0 | 0.79469 | 67663.9137 | 1 | 2.21375463 | 118 | 64 | 0.00593296 | 64.3216051 | -54 |
| 37 | 0 | 1 | 37727 | 10.5381313 | 0 | 0.06113 | 45410.427 | 1 | 1.0630371 | 38 | 46 | 0.01818313 | 45.856248 | 8 |
| 38 | 0 | 11 | 37727 | 10.5381313 | 0 | 0.67243 | 45410.427 | 1 | 1.95899189 | 70 | 20 | 0.00994972 | 20.499486 | -50 |
| 39 | 0 | 9 | 37727 | 10.5381313 | 0 | 0.55017 | 45410.427 | 1 | 1.7335477 | 62 | 5 | 0.01122914 | 5.64143217 | -56 |

Tabla 5. 14 Resultados de exceso de frecuencia de choques, siniestros equivalentes.

| Cuadro resumen | Exceso de frecuencia de choques (Δ) | | |
|----------------|--|-----------------------|-----------------|
| | Segmentos | Solo daños materiales | Choques Totales |
| 1 | -22 | -35 | -189 |
| 2 | 6 | 14 | -62 |
| 3 | -6 | -19 | -152 |
| 4 | -25 | -26 | -65 |
| 5 | 25 | 55 | 23 |
| 6 | 17 | 29 | 135 |
| 7 | -33 | -17 | 38 |
| 8 | -55 | -58 | -226 |
| 9 | 25 | 45 | 345 |
| 10 | -61 | -63 | -280 |
| 11 | -41 | -26 | -27 |
| 12 | -29 | -38 | -242 |
| 13 | -31 | -37 | -172 |
| 14 | 15 | 46 | 254 |
| 15 | -13 | -18 | -147 |
| 16 | -14 | -7 | 100 |
| 17 | -7 | -12 | -122 |
| 18 | -20 | -20 | -11 |
| 19 | -3 | -7 | -74 |
| 20 | -2 | -5 | -39 |
| 21 | -2 | -5 | -48 |
| 22 | -5 | -8 | -45 |
| 23 | -4 | -3 | -16 |
| 24 | -3 | -7 | -74 |
| 25 | 3 | 4 | 31 |
| 26 | -1 | -1 | -18 |
| 27 | 6 | 16 | 130 |
| 28 | -2 | -4 | -56 |
| 29 | -2 | -4 | -56 |
| 30 | -1 | -1 | 56 |
| 31 | -2 | 1 | 86 |
| 32 | 1 | 4 | 68 |
| 33 | 0 | -1 | -29 |
| 34 | -2 | 1 | 62 |
| 35 | -2 | -2 | -43 |
| 36 | 0 | 0 | -54 |
| 37 | 1 | 1 | 8 |
| 38 | 0 | -1 | -50 |
| 39 | 1 | -1 | -56 |

Tabla 5. 15 Resultados finales de exceso de frecuencia de choques.

Los segmentos escogidos para el análisis serán el segmento 2, 5, 6, 9, 14 y 27 ya que son los que más exceso de frecuencia de choques tienen en los modelos de daños materiales y choques totales, los segmentos escogidos se deben a la combinación de los resultados de todos los modelos por lo que se demuestra que el análisis es congruente y se está trabajando de la manera adecuada, el único segmento de los seleccionados que no se repite en los tres modelos es el segmento numero 2 pero posee mayor exceso de frecuencia de choques en los dos primeros modelos que son los que más precisión en cuanto al resultado de los valores p demostraron anteriormente.

Es importante tener una noción de la ubicación de los segmentos escogidos para plantear medidas de mitigación, por lo que en el siguiente mapa están ubicados los 6 segmentos escogidos.



Figura 5. 8 Segmentos seleccionados con mayor frecuencia de choques.

CAPITULO 6

MEDIDAS DE MITIGACION

6.1 MEDIDAS DE MEJORAMIENTO

Este capítulo contiene el desarrollo y selección de alternativas de solución; es decir, trata con todos los factores identificados en la carretera que pueden provocar accidentes.

Los principales lineamientos a seguir para estas medidas de mejoramiento serían:

- Determinar o definir una serie de medidas que puedan influir en los accidentes dominantes y las características del camino.
- Seleccionar medidas que, de acuerdo a lo identificado en la carretera, se espera reduzcan el número y la severidad (gravedad) de los accidentes.

Una carretera segura es la que se adecua a las realidades y limitaciones de la toma de decisiones del ser humano. Esto significa que el diseño y la administración del camino (incluyendo su geometría, superficie de rodamiento, sección transversal, señalamiento, dispositivos de control de tránsito, iluminación, etc.), tienen individualmente o en combinación, que proporcionar un ambiente seguro al conductor. ¹¹² Es aquella que está diseñada y administrada, de tal forma que:

¹¹² SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS (Auditorías de Seguridad Vial mediante el programa internacional de Evaluación de Carreteras del Instituto Mexicano del Transporte)

- Advierta al conductor de cualquier circunstancia inesperada o fuera de lo común
- Informe al conductor las condiciones que se va a encontrar en el camino
- Guíe al conductor en segmentos inusuales de la carretera
- Controle el paso del conductor por puntos conflictivos y segmentos carreteros

6.2 DESCRIPCION DE LOS SEGMENTOS SELECCIONADOS Y MEDIDAS PROPUESTAS

1. Características Principales de los segmentos escogidos
2. Razones factibles por las que ocurren los accidentes
3. Medidas de mitigación propuestas para reducir la frecuencia de choques

6.2.1 SEGMENTO 2

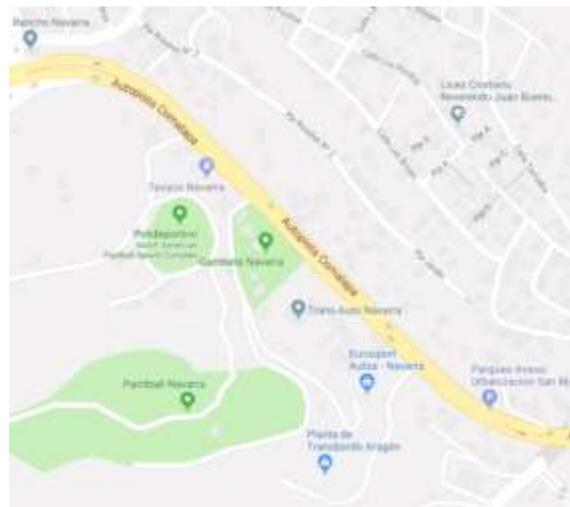


Figura 6.1 Mapa de Ubicación Segmento 2

El segmento 2 tiene una longitud de 1000 m, está compuesto por tres carriles por cada sentido con un ancho de 3.1 m, valor que no cumple con las especificaciones del Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, que exigen un ancho ideal de 3.6 m, el segmento tiene su inicio después del paso el jaguar, desde el rancho navarra hasta la Dv RN06S (Los Planes). El límite de velocidad es de 60 km/h, la existencia de hombros es totalmente nula en ambos sentidos, la señalización vertical es bastante adecuada, sin embargo, se debe considerar que en este segmento se concentran alrededor de tres predios de auto lotes de vehiculos, lo que hace bastante vulnerable la zona debido a que los accesos a estos no están señalizados verticalmente, no hay rótulos donde se indica la existencia de estos y debido al constante flujo de vehiculos entrando y saliendo de estos accesos hace que un vehículo en carretera disminuya la velocidad considerablemente y pueda ocasionar un accidente.



Figura 6.2 de Inicio de Segmento 2, Inexistencia de hombros

Los siniestros han sido registrados tanto en horas del día como en horas de la noche, bajo un buen estado de la calzada, no se presenta información del estado del tiempo al momento del suceso. Una gran mayoría de sucesos tienen que ver con choques entre vehículos, por tratarse de un segmento de tres carriles en ambos sentidos, y con el mayor volumen de tránsito TPDA (53,265 vehículos), se vuelve bastante peligrosa para los peatones que circulan a los alrededores.



Figura 6.3 mostrando el volumen del tránsito y la incorporación de camiones a la vía que salen de los predios

Se puede observar en la vía que no se presentan obstáculos sobre la misma, sin embargo, se pudo observar la existencia de un tragante bastante amplio con rejillas deterioradas, que con una mala maniobra o pequeño descuido del conductor podría causar daños en el vehículo e incluso ocasionar un siniestro.



Figura 6.4 sistema de drenaje en malas condiciones

El exceso de frecuencia de choques que presenta este segmento es relativamente bajo con únicamente valores de 6 y 14 relacionados a daños materiales y choques totales respectivamente. Según el informe de las autoridades para el último año en estudio se tienen 27 eventos que presentan únicamente daños materiales, 12 con heridos leves, ningún evento con heridos graves y tan solo 1 evento con víctimas fatales, registrando un total de 40 siniestros, número que corresponde al tercer segmento con mayor número de siniestros.

Según la observación de campo este segmento es casi recto, presenta curvas únicamente muy bajas, lo que da oportunidad a que los usuarios opten por conducir a velocidades muy altas, en el sentido que conduce de San Salvador a Comalapa se presenta una pendiente considerable que sumado a la alta velocidad, al alto flujo vehicular y el estrecho ancho de carril (3.1 m), se hace

difícil a los conductores controlar la situación en momentos inesperados tales como cambios repentinos en la velocidad, aproximación inesperada de algún peatón, alguna mala maniobra de los vehículos alrededor, aproximación de vehículos por los accesos a la vía, entre otras.

La señalización vertical se observó que es bastante adecuada, no así la señalización horizontal en el sentido de San Salvador a Comalapa, que, a pesar de haber recibido información sobre el buen estado de esta por parte de las instituciones encargadas de esta gestión, se observó que existen partes donde la señalización horizontal está muy deteriorada y muy poco visible.



Figura 6.5 muestra una señalización horizontal deteriorada

La iluminación en este segmento en ambos sentidos es casi nula, existen luminarias correspondientes en el camino, pero por alguna razón están apagadas

volviendo bastante oscura la zona, por la noche se distingue muy poco la separación entre carriles.

| Medidas de mejoramiento para el segmento 2 |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Mejorar la señalización horizontal en todo el segmento, considerando que el mayor problema se da en sentido de San Salvador a Comalapa.• Poner en servicio los postes de iluminación de todo el segmento, porque a pesar de ser existentes, estas no están funcionando, y dificulta la visualidad por la noche.• Dar mantenimiento adecuado al sistema de drenaje a lo largo del segmento.• Agregar captadores de luz para delimitar con más precisión todo el camino.• Controlar el número de accesos en la vía. |

Tabla 6.1 Medidas de mejoramiento para el segmento 2

6.2.2 SEGMENTO 5

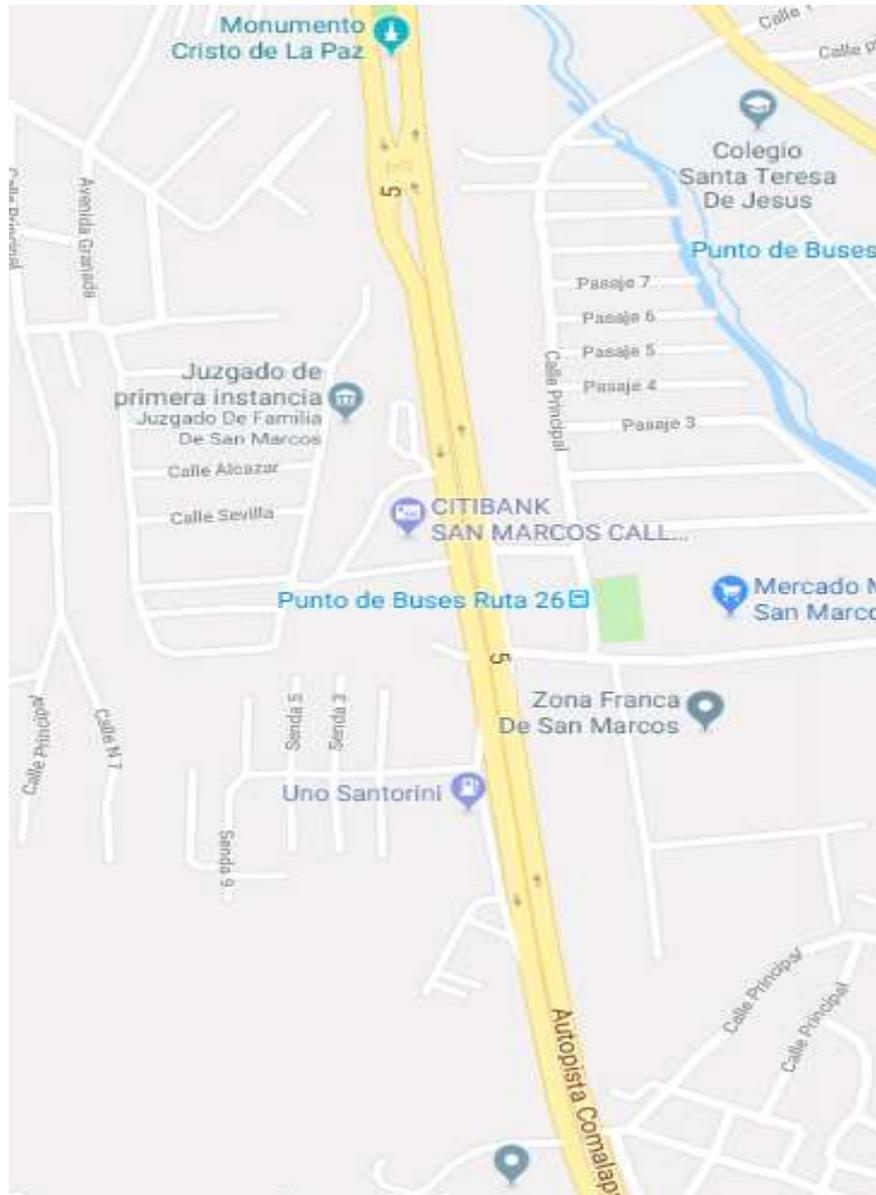


Figura 6.6 Mapa de Ubicación, Segmento 5

El segmento 5 tiene una longitud de 1000 m, está compuesto por tres carriles por cada sentido con un ancho de 3.1 m, valor que no cumple con las especificaciones del Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, que exigen un ancho ideal de 3.6 m,

el segmento tiene su inicio en el km 4 justo en el Monumento del Cristo de La Paz y su finalización en el km 5 frente a la Fabrica Industrial Arroceras San Francisco. La existencia de hombros es totalmente nula en ambos sentidos, la señalización vertical se determinó como deficiente según información del MOP, mediante la observación de campo se comprobó que hay puntos donde la señalización se encontraba en mal estado y no era visible, la señalización horizontal según lo reportado por las autoridades es buena, el número de accesos en estos segmentos aumenta comparado con el segmento 2.



Figura 6.7 Inicio del segmento 5 en el Monumento Cristo de la Paz

Los siniestros han sido registrados tanto en horas del día como en horas de la noche, bajo un buen estado de la calzada, no se presenta información del estado del tiempo al momento del suceso. Una gran mayoría de sucesos tienen que ver con choques entre vehículos, por tratarse de un segmento de tres carriles en

ambos sentidos, con un mayor número de accesos (siendo este de 7 accesos), y con el tercer mayor volumen de tránsito TPDA (46,051 vehículos), se vuelve mucho más peligrosa la vía comparada con el segmento 2, tanto para los peatones como para los conductores de vehículos.

Se puede observar en la vía que no se presentan obstáculos sobre la misma. El exceso de frecuencia de choques que presenta este segmento es mayor que los que presentan el segmento 2, con valores de 25, 55 y 23 relacionados a daños materiales, choques totales y choques equivalentes respectivamente. Según el informe de las autoridades para el último año en estudio se tienen 44 eventos que presentan únicamente daños materiales, 14 con heridos leves, 4 con heridos graves y tan solo 2 eventos con víctimas fatales, registrando un total de 64 siniestros.

Según la observación de campo, este segmento es casi recto, las velocidades que los conductores manipulan siguen siendo altas, el flujo vehicular que a pesar de ser menor al segmento 2, sigue siendo alto, el ancho de carril sigue siendo menor que el recomendado, los accesos en estos segmentos aumentan, y se observa una mayor participación de peatones en la zona, razón por la cual aumenta el número de heridos leves o graves y fallecidos al momento de un siniestro.

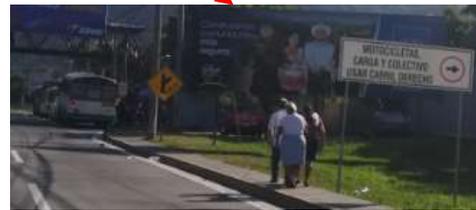


Figura 6.8 segmento 5, punto de la terminal de San Marcos

La iluminación es bastante adecuada, la señalización horizontal se encuentra en buen estado. Se observa en la vía la existencia de paradas de buses, sin embargo, no existe hombro ni estacionamiento para que el transporte colectivo se desvíe mientras sube pasajeros, lo hace en el carril derecho de la vía obstaculizando ese espacio en la vía.

| Medidas de mejoramiento para el segmento 5 |
|---|
| <p>Se debe crear carriles de aceleración en los accesos de este segmento, y mejorar la longitud y sección transversal de los ya existentes, mejorando así la operatividad de los usuarios.</p> <ul style="list-style-type: none">• De ser posible crear un hombro interno que cumpla con los estándares mínimos bajo el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales.• Reducir en la medida que fuese posible el número de accesos en partes del segmento donde sea posible unificar a un solo acceso especial. |

Tabla 6.2 Medidas de mejoramiento para el segmento 5

6.2.3 SEGMENTO 6



Figura 6.9 Mapa de Ubicación, Segmento 6

Este segmento tiene una longitud de 1000 m, al igual que los anteriores sigue siendo de tres carriles por cada sentido con un ancho de 3.1 m, valor que no cumple con las especificaciones del Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, que exigen un ancho ideal de 3.6 m, el segmento tiene su inicio en el km 5 frente a Arrocera San Francisco y su finalización en el km 6 justo en la pasarela de la Avenida Colonial. La existencia de hombros es totalmente nula en ambos sentidos, la señalización

vertical se determinó como adecuada según información del MOP, mediante la observación de campo se comprobó que hay puntos donde la señalización se encontraba en mal estado, la señalización horizontal según lo reportado por las autoridades es buena, el segmento posee 4 accesos, siendo este un valor menor comparado con el segmento 5.



Figura 6.10 Segmento 6, en dirección hacia San Salvador

Los siniestros han sido registrados tanto en horas del día como en horas de la noche, bajo un buen estado de la calzada, no se presenta información del estado del tiempo al momento del suceso. Una gran mayoría de sucesos tienen que ver con choques entre vehículos.

Se puede observar en la vía que no se presentan obstáculos sobre la misma. El exceso de frecuencia de choques que presenta este segmento son valores de

17, 29 y 135, relacionados a daños materiales, choques totales y choques equivalentes respectivamente. Según el informe de las autoridades para el último año en estudio se tienen 34 eventos que presentan únicamente daños materiales, 5 con heridos leves, 3 con heridos graves y 5 evento con víctimas fatales, registrando un total de 47 siniestros. Es importante mencionar que en este segmento solo se tiene dos carriles por sentido y con un TPDA de 46,383 vehiculos, esto hace que exista una disminución en la comodidad y fluidez a la hora de conducir y sobrepasarse, lo cual provoca que exista gran probabilidad de accidentes. También al comparar los segmentos 5 y 6 el número de siniestros totales es mayor en el segmento 5 con una diferencia de 17 siniestros, sin embargo eso no determina que el segmento 5 sea más peligroso que el 6, si se observa en los valores anteriores, se dispara un numero bastante alto de exceso de frecuencia para los choques equivalentes en este segmento, esto se debe a que se tiene un numero alto de siniestros con víctimas fatales, que por equivalencia vuelve más peligroso a este segmento.

Según la observación de campo, este segmento es un segmento casi recto con una curva muy baja al finalizar el segmento, las velocidades que los conductores manipulan siguen siendo altas, el ancho de carril sigue siendo menor que el recomendado, los accesos disminuyen comparados con el segmento 5.



Figura 6.11 segmento 6: Muestra acera bastante angosta

El segmento 6 cuenta con buena iluminación, al igual que el segmento 2 en el sentido de San Salvador a Comalapa hay segmentos donde la señalización horizontal está muy deteriorada, también se observan captadores de luz en mal estado. Hay segmentos donde las aceras son demasiado angostas de aproximadamente 0.6 m, y están próximas a la vía debido a la ausencia de

hombros volviendo vulnerable al peatón, al mismo tiempo se observó que la señalización vertical alusivo a un retorno está en malas condiciones.



Figura 6.12 segmento 6: muestra señal vertical de retorno en malas condiciones

| Medidas de mejoramiento para el segmento 6 |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Mejorar y dar mantenimiento adecuado a la señalización horizontal y vertical.• Dar mantenimiento a los postes captadores de luz, debido a que existen puntos donde se encuentran deteriorados.• Mejorar en cierto grado las aceras, ampliándolas para que haya un espacio más confortable y seguro para los peatones.• Si fuese posible, crear un hombro interno para mejorar la funcionalidad y seguridad en la vía, de acuerdo al Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, se recomiendan hombros interno con valores de entre 1.0 a 1.5 m de ancho. |

Tabla 6.3 Medidas de mejoramiento para el segmento 6

6.2.4 SEGMENTO 9

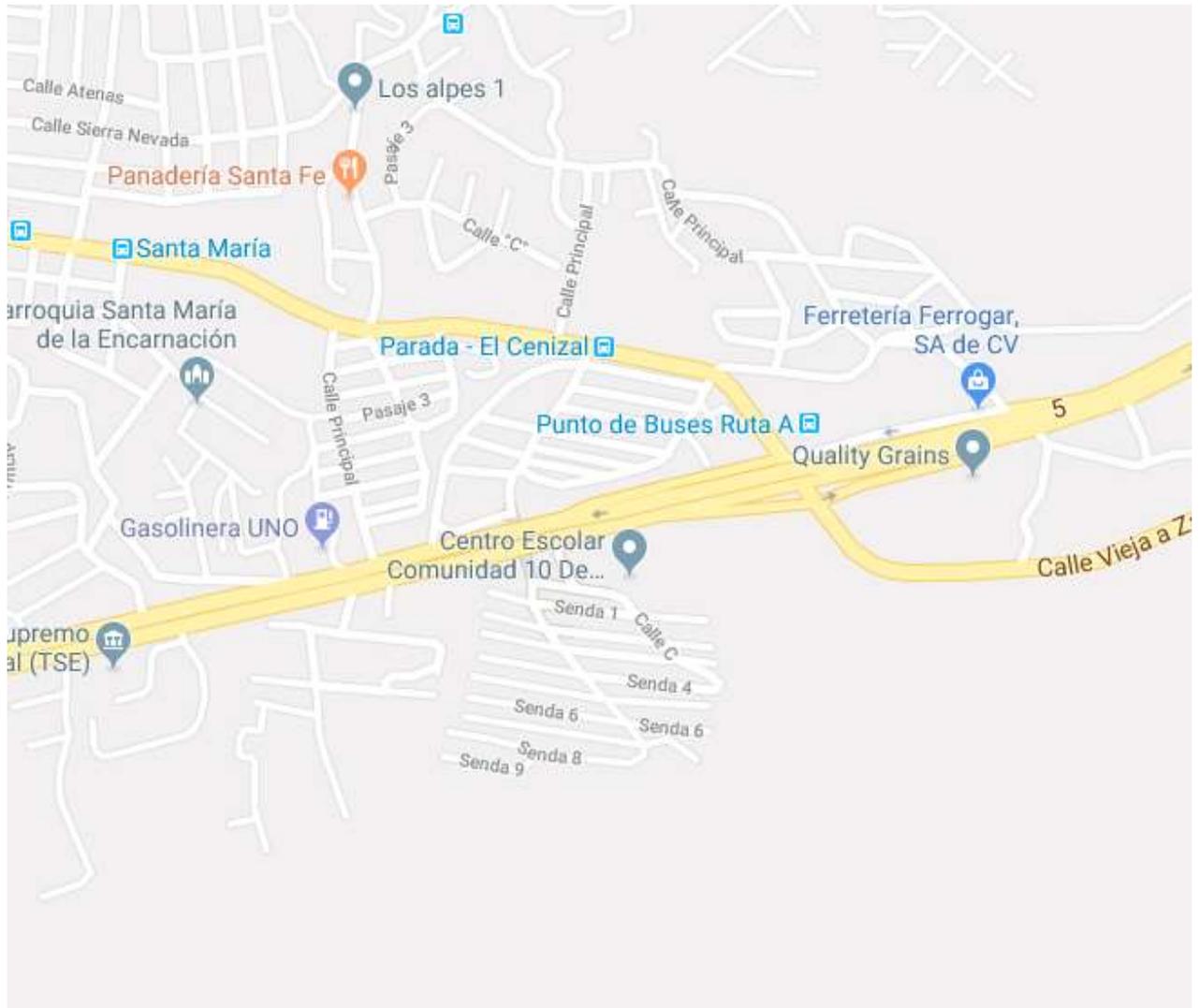


Figura 6.13 Esquema de ubicación segmento

Este segmento tiene una longitud de 1,000 m, posee un total de 13 accesos, 4 carriles cada uno con un ancho es de 3.1 m lo cual no cumple con los estándares mínimos según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales que es 3.6 m, el límite de velocidad permitido es de 60 km/h, posee un TPDA de 31,115 vehiculos, esto ocasiona que generalmente al no respetar el límite de velocidad y con un TPDA alto, con dos carriles como máximo , ocasionando accidentes a la hora de sobrepasarse o al reducir drásticamente la velocidad. Cabe mencionar que en este segmento es el que más exceso de frecuencia de choques posee con un total de 345. Un aspecto muy importante es la falta de iluminación que se encuentra en todo el segmento de la carretera.



Figura 6.14 Acceso a Calle que dirige a Santo Tomas

Uno de los lugares con mayor numero de accidentes son ocurridos en las entradas y salida de los accesos a lo largo del segmento debido los cambios de velocidad repentinos de los conductores. Como se ilustra en la fotografia 6.14 se encuentra el desvio que dirige a Santo Tomas. Se puede observar que carece de señarizacion vertical como horizontal, de igual forma se encuentran el resto de

los accesos de este segmento con deficiencia de señalización lo que ocasiona una alta probabilidad de siniestros.



Figura 6.15 discontinuidad de barrera metálica

En la Fotografías 6.15 se muestra lo que ocurre en las carreteras actualmente, la falta de continuidad de una barrera metálica lateral, provocada inclusive por los mismos pobladores para cruzar la carretera. En todo el segmento son pocos los



Figura 6.16 ancho de carril

metros de longitud que existen de barreras metálicas, esto provoca que durante un choque existan mayores probabilidades de muertes y alto grado de lesiones.

En la fotografía 6.16 se puede observar que donde existen curvas con peralte altos no hay barras metálicas o postes de contención dónde se detienen los vehículos al salirse del camino por no existir ningún elemento de contención, aun cuando debe reconocerse que estos no van a disminuir la ocurrencia de accidentes, sino sólo su severidad si se colocan apropiadamente. Al ser la mayoría de los accidentes por salida del camino, sugiere revisar los alineamientos horizontal y vertical, además de continuar la barrera de contención a lo largo de la curva. También el sistema de drenaje no se encuentra en óptimas condiciones debido a que en el invierno se acumula agua en la carretera. Por otra parte, el ancho carril no cumple con los estándares mínimos según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras que es de 3.6 m, el que posee es de 3.1 m por lo tanto no cumplen con los estándares establecidos.



Figura 6.17 barrera metálica faltante

En la fotografía 6.17 podemos observar que el en lado izquierdo de la carretera donde se encuentra la medianera no existe barra metálica para la seguridad del conductor, así se encuentra en la mayoría del segmento, de igual forma en todo el segmento del kilómetro 9 solo existe un hombro externo de 2.3 m el cual se encuentra en el rango aceptado según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras que es de 1.5 – 2.5 m, además no posee hombro interno.

| Medidas de mejoramiento para el segmento 9 |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">• En el segmento se tiene que mejorar y aumentar las señalizaciones verticales y horizontales.• Tienen que mejorar, aumentar, colocar barreras metálicas y postes de contención en el segmento; situar estas medidas más que todo en curvas y donde exista medianeras.• Dar mantenimiento adecuado al sistema de drenaje a lo largo del segmento.• De ser posible crear un hombro interno que cumpla con los estándares mínimos bajo el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales.• Se tiene que colocar postes de iluminación a lo largo del segmento para una mejor visibilidad.• Reducir y controlar el número existente de accesos a lo largo del segmento, la existencia y mejoramiento de carriles especiales de aceleración para el ingreso y salida de vehículos mejoraría de manera significativa la operatividad y riesgo de siniestros en la carretera. |

Tabla 6.4 Medidas de mejoramiento para el segmento 9

6.2.5 SEGMENTO 14



Figura 6.18 Esquema de ubicación segmento 14

Tiene una longitud de 1000 m, posee un total de 4 accesos, 4 carriles cada uno con un ancho es de 3.1 m lo cual no cumple con los estándares mínimos según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las

Carreteras Regionales. El límite de velocidad permitido es de 60 km/h, posee un TPDA de 28,069 vehículos, al ser este segmento una zona con poca población aledaña no se respeta el límite de velocidad ocasionando accidentes a la hora de sobrepasar un vehículo, lo cual es muy arriesgado teniendo en cuenta que solo existe 2 carriles que no cumplen con lo normado. También el señalamiento vertical y horizontal es deficiente en este segmento de carretera y posee un exceso de frecuencia de choques con un total de 254. Un aspecto muy importante es la falta de iluminación que se encuentra en todo el segmento de la carretera.



Figura 6.19 altura de barrera metálica

Un detalle importante es la inadecuada altura de la barrera metálica, producto de constantes encarpados, ocasiona que los vehículos sobrepasen la barrera al momento del impacto, o provoquen su vuelco, ocasionando una mayor severidad del accidente, este debe de poseer una altura de 0.5 m según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras. También se puede notar la falta de señalización tanto vertical como horizontal para el

próximo acceso, de igual forma se observa que el ancho hacia el acceso es muy reducido lo que ocasiona que los vehículos disminuyan su velocidad considerablemente y provoquen siniestros.



Figura 6.20 drenaje en malas condiciones

Las obras de drenaje es un aspecto muy importante de tomar en cuenta en las carreteras. En la Fotografía 6.20 se puede observar una alcantarilla sin protección ni señalización vertical que pueda prevenir y evitar la severidad en caso de un siniestro ya que no tendría oportunidad un vehículo de evitar caer en ella.

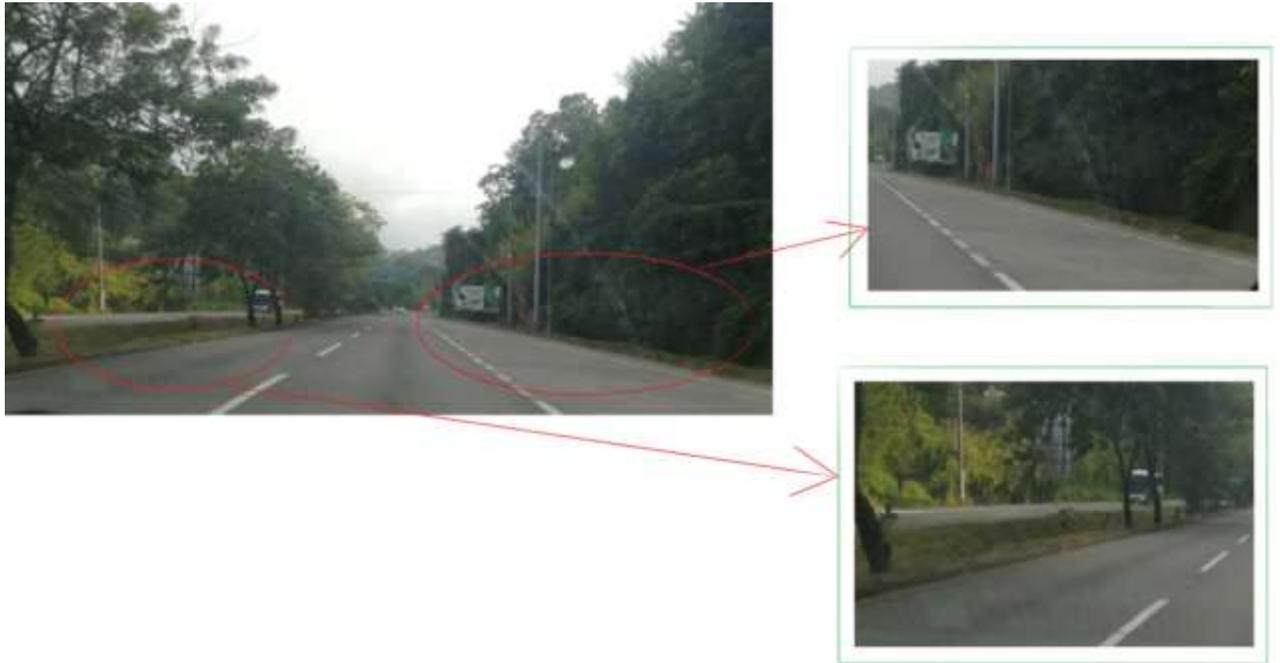


Figura 6.21 hombros inexistentes

En la fotografía 6.21 se observa que solo posee un hombro externo 2.3 m el cual se encuentra en el rango aceptado según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras que es de 1.5 – 2.5 m, no posee hombro interno, al lado derecho existe una canaleta sin protección ni señalización vertical y al izquierdo no existe una barrera de protección para reducir la severidad de los siniestros. Prácticamente todo el segmento se encuentra en estas condiciones.



Figura 6.22 separación entre postes de contención

Podemos notar que en la fotografía 6.22 existe hombro interno de 1 m, pero no cumple con los estándares mínimos según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales el cual es de 1.5 m. También se observa la discontinuidad y espacios muy separados entre las medidas de protección colocadas en el segmento, podemos ver que la distancia entre cada poste de contención es demasiado grande donde fácilmente puede entrar un vehículo a la medianera y provocar un severo accidente.

Medidas de mejoramiento para el segmento 14

- Para una mejor seguridad se tiene que mejorar, colocar, aumentar la longitud y altura de las barreras metálicas, también situar postes de contención con separaciones más reducidas a modo de evitar que un automóvil salga de la carretera; situar estas medidas más que todo en curvas y donde exista medianeras.
- En el segmento se tiene que mejorar y aumentar las señalizaciones verticales y horizontales.
- Dar mantenimiento adecuado al sistema de drenaje a lo largo del segmento.
- De ser posible crear un hombro interno que cumpla con los estándares mínimos bajo el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales.
- Se tiene que colocar postes de iluminación a lo largo del segmento para una mejor visibilidad.

Tabla 6.5 Medidas de mejoramiento para el segmento 14

6.2.6 SEGMENTO 27

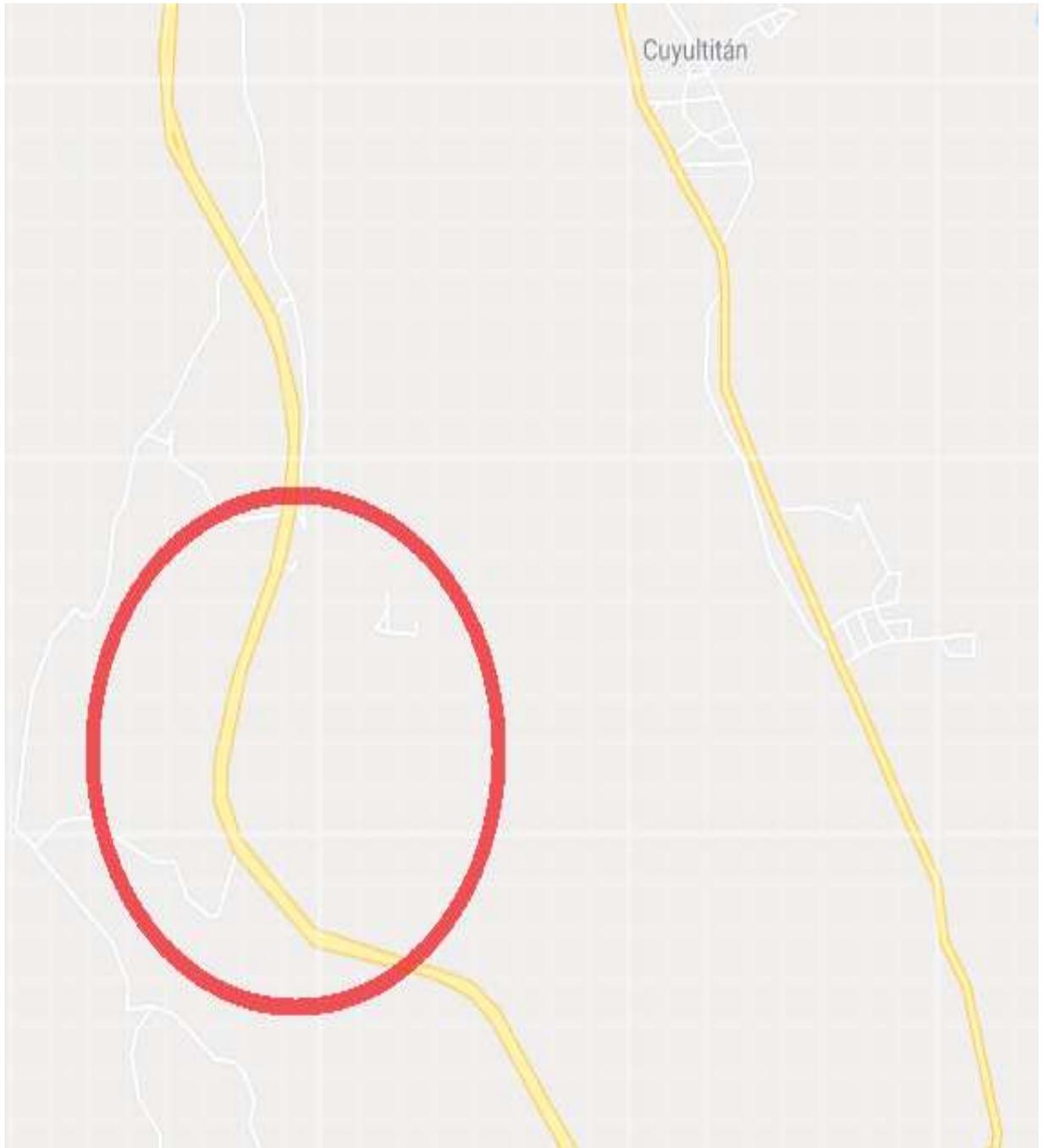


Figura 6.23 Esquema de ubicación segmento 27

Tiene una longitud de 1000 m, posee un total de 5 accesos, 4 carriles cada uno con un ancho es de 3.5 m muy cercano a los estándares mínimos según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales que es de 3.6 m. El límite de velocidad permitido es de 60 km/h, posee un TPDA de 18,254 vehículos y al ser un segmento con una zona de escasas viviendas y presencia de personas, los conductores no respetan el límite de velocidad antes mencionado, teniendo en cuenta que posee hombro interno fuera de lo normado y con solo dos carriles por sentido se vuelve un segmento vulnerable al momento de sobrepasar un vehículo, esto ocasiona que posea un exceso de frecuencia de choques con un total de 130. Un aspecto muy importante es la falta de iluminación que se encuentra en todo el segmento de la carretera.

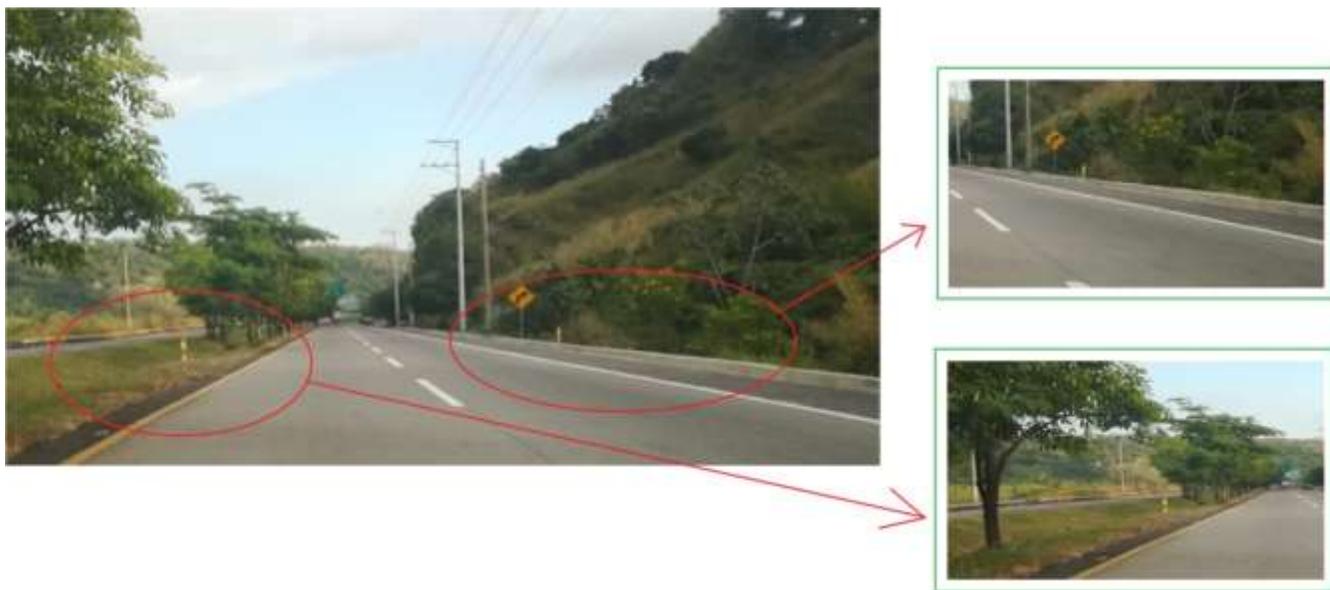


Figura 6.24 ancho de hombros

En la fotografía 6.24 se observa que en este segmento de la carretera posee hombros en el lado derecho como en el interno, cabe recalcar que el hombro interno es de 1 m lo cual no cumple con los estándares mínimos según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales que es de 1.5 m, el hombro externo es de 2.3 m el cual se encuentra en el rango aceptado según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras que es de 1.5 – 2.5 m,. También la falta de protección de una barrera metálica o postes de contención a los costados de la carretera hace que este segmento se encuentre con gran probabilidad de que ocurran accidentes severos.



Figura 6.25 falta de seguridad en las curvas

Prácticamente en todas las curvas del segmento no posee lo que son barreras metálicas o postes de contención para evitar que los automóviles salgan de la carretera, de igual forma carece de señalización vertical.



Figura 6.26 separación en postes de contención

En todo el segmento se puede observar que donde hay postes de contención existe una separación grande entre ellos donde fácilmente un vehículo puede entrar a la medianera. Así se encuentra en todo el segmento.

Medidas de mejoramiento para el Segmento 27

- Mejorar y aumentar el hombro interno para que cumpla con los estándares mínimos bajo el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales.
- En el segmento se tiene que mejorar y aumentar las señalizaciones verticales y horizontales.

- Reducir las separaciones en los postes de contención, se tiene que mejorar y colocar más barreras metálicas; situar estas medidas más que todo en curvas y donde exista medianeras.
- Se tiene que colocar postes de iluminación a lo largo del segmento para una mejor visibilidad.

Tabla 6.6 Medidas de mejoramiento para el segmento 27

Luego de analizar las características de los segmentos seleccionados, con los hallazgos principales observados en campo, y las medidas de mejoramiento propuestas en este proyecto, se procede a realizar un análisis de cálculo predictivo con fines académicos, tomando en cuenta que, de las variables principales tomadas en los modelos, las cuales son TPDA, número de carriles, y número de accesos, son estas últimas las más factibles de trabajar con las medidas de mejoramiento propuestas y que sus resultados de mejora son potencialmente favorables para la reducción de siniestros.

En un análisis rápido y tomando en cuenta únicamente los siniestros predichos se pueden observar que al reducir el número de accesos en las vías más peligrosas que se han seleccionado también se reduce el número de accidentes predicho, por lo que es el factor más viable que se puede mitigar de las tres variables encontradas.

En la siguiente tabla se puede observar una reducción en el número de siniestros predichos al reducir el número de accesos y colocarlos todos dentro de un acceso especial a la carretera, para que se pueda acceder de manera ordenada a los segmentos.

| Segmento | Numero de accesos actual | Numero de accesos reducidos | Siniestros predichos con accesos actuales | Siniestros predichos después reducción de accesos |
|--------------|--------------------------|-----------------------------|---|---|
| Kilómetro 2 | 7 | 2 | 94 | 58 |
| Kilómetro 5 | 11 | 2 | 112 | 48 |
| Kilómetro 6 | 5 | 2 | 64 | 48 |
| Kilómetro 9 | 7 | 2 | 38 | 24 |
| Kilómetro 14 | 4 | 2 | 29 | 24 |
| Kilómetro 29 | 5 | 2 | 8 | 8 |

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES EN CUANTO A LA METODOLOGIA

1. La metodología de la investigación de exceso de frecuencia de choques con Bayes Empírico es una metodología originalmente usada en el Manual de Seguridad Vial Red Carreteras ASSHTO 2010, en la cual se contemplan todo tipo de carreteras pero únicamente adaptadas a Estados Unidos, por lo que para adaptarlos a condiciones locales se basó en la metodología hecha en la universidad de Costa Rica, a pesar de eso al nunca haber tenido estudios en nuestro país de los pesos de los siniestros, se tuvieron que utilizar factores usados en países que tengan cierta semejanza a El Salvador por lo que los resultados (Los segmentos de mayor potencial de siniestros) fueron congruentes con los segmentos que se conocen como peligrosos, que se pudieron observar en el mapa de concentración de siniestros y durante la visita de campo.
2. La metodología utilizada para la investigación se selecciona por diferentes motivos entre ellos están los datos necesarios (siniestros viales, características de la carretera) que están disponibles en las instituciones de gobierno, sesgo de regresión a la media es decir que toma en cuenta la sobredispersión de los datos de conteo de siniestros que es una característica de los mismos y la selección de los umbrales en la cual se pueden seleccionar umbrales para poder ser estudiados y determinar si

producen beneficios o no, como por ejemplo umbrales dentro de los cuales se clasificaron las curvas, umbrales de ancho de hombros entre otros, lo cual hace que sea un método con una mayor precisión que los demás métodos como se explicó anteriormente, además de que la ecuación de regresión se encuentra por un método puramente estadístico que es la regresión binomial negativa y la cual es recomendada por una gran cantidad de autores como la mejor para casos de predicción de conteos y además los cálculos no requirieron ningún dato adaptado a nuestro país excepto por los recolectados en las distintas instituciones.

3. La metodología de predicción no solamente sirve para evaluar carreteras que ya estén hechas sino también se puede aplicar a nuevos proyectos, que están en fases de diseño y así poder determinar desde antes que factores son más convenientes en los diseños de carretera y determinar nuestros propios umbrales de seguridad.
4. Los resultados son de fácil entendimiento ya que muchos de estos pueden interpretarse de manera fácil conociendo la base de la teoría estadística aplicada al modelo ya que parte de los resultados nos presentan indicadores que determinan si los datos son representativos o si el modelo ha dado resultados adecuados.

7.2 CONCLUSIONES EN CUANTO AL ANALISIS DE DATOS

1. Se demostró que los siniestros viales se dan en su mayoría por el factor humano en las cuales determinamos que sus principales causas son 23% Velocidad inadecuada, 22% Distracción del conductor, 19% No guardar distancia de seguridad.
2. Se pudo determinar que la mayoría de accidentes se da durante el día con un 63 % de estos, en este caso también se determinó mediante la visita de campo que solo hay un segmento iluminado en la carretera Comalapa que es en el km 4. Por lo que lo demás se encuentra sin iluminación , al solo tener un segmento iluminado era imposible comparar con respecto a los demás si había alguna incidencia en la producción de siniestros por lo cual se obviaron del análisis el factor iluminación y hora
3. Con respecto a la gravedad de los choques se determinó que estos se acumulan en ciertos lugares al ver que los histogramas están sesgados a la izquierda lo que nos dice que hay pocos segmentos en donde hay más incidencia de estos y que la mayoría de segmentos hay pocos siniestros o ninguno, además se determinó que un 61.63% solo son siniestros con daños materiales, un 21.56% Heridos Leves, un 8.55% Heridos Graves y un 8.26% Daños Fatales.

7.3 CONCLUSIONES EN CUANTO A LOS RESULTADOS

1. Analizando las variables por su causalidad y correlación y posteriormente corriendo el modelo cada vez con diferentes variables se concluye que las variables más determinantes son el TPDA, # 3 Carriles y el número de accesos por segmento en la producción de siniestros viales ya que estas eran las variables que en los resultados mostraban más significancia.
2. Analizando el valor P (valor que nos permite determinar la capacidad estadísticamente significativa de los factores de covariación (β_n)) de los tres modelos para los diferentes pesos de choques (Solo daños materiales, Choques totales y Choques equivalentes) se determinó que el modelo Solo Daños Materiales era el más representativo aunque los demás mostraron resultados similares.
3. Unos de los problemas más frecuentes encontrados en los segmentos durante la visita de campo fueron, ancho de carril no adecuado (menos de 3.6), señalización horizontal y vertical poco visible o en mal estado, , falta de barreras en algunas curvas, accesos con entrada inminente sin tener ningún tipo de acceso especial o giros exclusivos, falta de hombro interno y externo, segmentos completos sin iluminación,

retornos con entrada abrupta y además se observó que la velocidad de diseño según datos del MOP es de 60KMH pero casi ningún vehículo respeta esa velocidad y viajan a velocidades aproximadas de 80KMH.

4. Los resultados dieron congruentes con la realidad es decir que algunos de los segmentos de la carretera determinados en el modelo coincidían con lugares considerados alta peligrosidad según las autoridades viales.

7.4 CONCLUSIONES DE APORTES:

1. Esta metodología permite realizar evaluaciones económicas de medidas de seguridad y priorización de proyectos, ya que dentro del estudio se utilizan los llamados pesos de choques lo cual nos permite saber el peso de los siniestros viales y por ende los resultados de la metodología nos llevaran a tomar decisiones más precisas sobre que segmentos sería más viable una medida de mitigación económicamente hablando.

2. Gracias a la aplicación de la metodología AASHTO y sus resultados fue posible determinar los factores que contribuyen a los siniestros viales en la Carretera a Comalapa entre los que tenemos los siguientes:
 - ✓ TPDA (Transito Promedio Diario Anual)
 - ✓ Numero de accesos
 - ✓ Número de carriles
 - ✓ Ancho de Hombros

3. Se determinaron los segmentos con mayor potencial de reducción de severidad o frecuencia de choques (Capitulo 5: Resultados) en los cuales se deberá actuar para mejorar la seguridad vial y evitar la pérdida de vidas humanas y los resultados nos dieron bastante apegados a la realidad.

4. Otros aportes o beneficios que presenta este método en comparación a métodos tradicionales como la tasa crítica de choques o la frecuencia media de siniestros viales es que al ser un proceso predictivo de medida cuantitativa de la frecuencia de choques, nos permite evaluar vías existentes con volúmenes de tráfico pasados, vías en procesos de diseño con volúmenes de tráfico previstos, la eficacia que tendría las medidas de mitigación después del periodo en que se implementan y la eficacia de las medidas de mitigación antes de implementación es decir, se puede utilizar tanto para diseño de carreteras inexistentes como para evaluación de carreteras ya existentes, por lo cual puede llevar a muchos beneficios económicos y evitar gastos innecesarios futuros si se implementara en proyectos carreteros de El Salvador .

7.5 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda estudios de puntos negros y pesos de siniestros viales en nuestro país para que los resultados puedan ser cien por ciento apegados a nuestra realidad y poderlos usar para generar beneficios en proyectos viales.
2. Para mejorar la calidad de futuros estudios es necesario que las instituciones actualicen sus bases de datos, la PNC en cuanto a la localización de los accidentes de tránsito por medio de GPS, el MOP por su parte, el inventario vial, la planimetría de la carretera y la geolocalización de la misma.
3. Uso de artefactos tecnológicos como los drones pueden mejorar más la identificación de los problemas en la carretera a la hora de realizar la investigación de campo.
4. Se recomienda a la Universidad de El Salvador en el departamento correspondiente crear una unidad de control especial, donde las instituciones gubernamentales puedan aportar toda la información vial necesaria, registros de accidentes, estudios del tránsito, entre otras, de manera frecuente, con la finalidad de crear bases de datos sistematizadas para llevar a cabo estudios de diagnósticos viales constantemente e

informar a las autoridades los resultados y recomendar medidas para controlar y mejorar la situación vial del país.

5. Se recomienda que se lleve a cabo una investigación en las carreteras primarias, secundarias, terciarias a nivel nacional con el método de exceso de frecuencia de choques con Bayes Emperico utilizando la Regresión Binomial Negativa, para poder obtener valores predeterminados propios en nuestro país de los coeficientes de cambio en las variables independientes con respecto a las variables dependientes (β_n) para cada clasificación de caminos, de esta forma utilizarlos de modelo que servirán para comparar y evaluar carreteras existentes de cualquier índole, de igual forma servirá para el diseño de nuevas carreteras tomando los mejores criterios en base a los resultados obtenidos a través de la utilización de los coeficientes.

BIBLIOGRAFIA

Libros.

- *Manual de Seguridad Vial*, AASHTO 2011
- Sierra, Berardo, Fissore, & Outes, Ingeniería de Seguridad Vial, *Puntos Negros de Concentración de Muertes en accidentes Viales*, Buenos Aires, Argentina, 2010
- Sierra, Berardo, Fissore, & Outes, Ingeniería de Seguridad Vial, *Puntos Negros de Concentración de Muertes en accidentes Viales*, Buenos Aires, Argentina, 2013
- Iván M., Ernesto Torres C., *Manual Centroamericano de Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales con enfoque de Gestión de Riesgos y Seguridad Vial*, 3ª Edición 2011, SIECA, CEPREDENAC.
- Cal y Mayor, Rafael y Cárdenas Grisales, James, *Ingeniería de TRÁNSITO*, 7ª, Ed. México D.F.
- Servei d' Estadística, *Manual de Introducció a Deducer: una interfaz gràfica para usuarios de R*, 5ª Edición, Universidad autónoma de Barcelona, pág. 7

Investigaciones.

- Dra. Silvia A. Morán de García, *Prevención de Siniestralidad de Tránsito y Salud*, Dirección de Apoyo a la Gestión, Unidad de Violencia y Lesiones, Ministerio de Salud, El Salvador, 2016.

- *Factores que contribuyen a la ocurrencia de un accidente*, Main Roads Western Australia
- Estadísticas de la Oficina de Acceso a la Información Pública de la Policía Nacional Civil.
- Glosario de términos para Siniestros de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía – México (INEGI, 2017)
- Centro colaborador de la OMS, *Seguridad y promoción de la seguridad: Aspectos conceptuales y operacionales*, pág. 9, Instituto Karolinska, Suecia, 1998.
- Conceptos Generales De Estadística Descriptiva, Economipedia.
- Dr. Miguel Araujo, Sociedad Chilena de Calidad Asistencial, *Indicadores de calidad: Criterios para la definición de umbrales*, Superintendencia de Salud, Chile, 2010.
- Dirección de la planificación de Obra Pública, Subdirección de Administración de Obras de Paso y de Inventarios Viales, Ministerio de Obras Públicas, El Salvador.
- Oficina de Acceso a la Información Pública de la Policía Nacional Civil (PNC)
- MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS, TRANSPORTE Y DES. URB, *Decreto Legislativo N°: 477, LEY DE TRANSPORTE TERRESTRE, TRÁNSITO Y SEGURIDAD VIAL*, El Salvador, 1995.

- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTE Y VIVIENDA Y DESARR. URB., *Decreto Legislativo N°: 463, LEY DE CARRETERAS Y CAMINOS VECINALES*, El Salvador, 1969.
- David Lillis, Ph.D, *Modelos lineales Generalizados en R, Parte 2: Entender el ajuste del modelo en la salida de regresión logística*.
- *Análisis de votos electorales usando modelos de regresión para datos de conteo*, Norma contreras Vilca, Idre.
- Aldrich, John, 1995, “*Correlaciones genuinas y espurias en Pearson y Yule*”. Ciencia Estadística.
- Felicity Boyd Enders, Enciclopedia Británica, Colinealidad Estadística.
- Web FOCUS 8 Technical Library, Explanation of Regression Model

Tesis.

- Wilfredo B., Ligia O., y Yenny R., *Factores que inciden en los homicidios por accidentes de tránsito terrestre de la zona metropolitana del municipio de San Salvador, El Salvador*. Universidad de El Salvador, 2010.
- Componentes de la Seguridad Vial. Fuente: Tesis “*Evaluación del estado de seguridad vial en tres segmentos de vías principales en el salvador*”.
- José A. Torres F., *Metodología de evaluación de seguridad vial en intersección basada en el análisis cuantitativo de conflictos entre vehículos*: Universidad Politécnica Madrid, España, 2012.

- J. Agüero Valverde, *Análisis de Choques Viales en Costa Rica usando funciones de desempeño de seguridad.*
- *Castro Estrada, Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: el caso de la ruta 32 en Costa Rica, Universidad de Costa Rica.*
- Veriorsca H y Rodrigo M, Análisis y propuesta de mejora en la carretera nacional pe-3s segmento av. Antonio Lorena - poroy, aplicando la metodología de inspección de seguridad vial.

Artículos de revista.

- Comunicado de prensa del *Plan Nacional de Seguridad Vial de El Salvador*, MOP, VMT, PNC, OPS, septiembre de 2012.
- *Comunicado informativo de Seguridad Vial en El Salvador*, Viceministerio de Transporte.
- Comunicado en Noticias por Redacción de El Salvador, *Mas de mil muertes por accidentes de tránsito en 2012*, El Salvador 2013
- Comunicado de prensa de la Sub dirección de Tránsito Terrestre de la PNC, El Salvador Social, por Susana Peñate, La Prensa Gráfica, enero 2018.
- Comunicado de prensa de la Dirección General de Protección Civil
- Levantado de *Comunicado de Prensa del Comité Coordinador del Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011 – 2020*, 3 de marzo de 2018

- Siniestros de Tránsito, (MTC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2002)
- Seguridad Vial, Educación Vial, Wikipedia, 2015.
- wikiHow, *Como calcular la tasa de crecimiento anual*
- Spain Document, Calculo de TPDA, *Proyecto de mejoramiento de camino segmento “La Cumbre Tuti Alto”*
- SEGURIDAD VIAL EN CARRETERAS (*Auditorías de Seguridad Vial mediante el programa internacional de Evaluación de Carreteras del Instituto Mexicano del Transporte*)