



Huellas sonoras una nueva alternativa para la seguridad vial en Colombia.

Andres Garcia Roso

Anyi Lisbed Hernández Moreno

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Cundinamarca

Sede Girardot (Cundinamarca)

Programa Ingeniería Civil

Mayo de 2020

Huellas sonoras una nueva alternativa para la seguridad vial en Colombia.

Andres Garcia Roso

Anyi Lisbed Hernández Moreno

Monografía Presentada como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor(a)

Jaime Moreno Loaiza

Ingeniero civil

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Cundinamarca

Sede Girardot (Cundinamarca)

Programa Ingeniería Civil

Mayo de 2020

Dedicatoria

Especialmente este trabajo está dedicado a mis padres Álvaro Hernández y Doris Moreno, por su sacrificio y esfuerzo, quienes me han ayudado a culminar una de mis metas soñadas, que han creído en mis capacidades y han estado incondicionalmente para mí y por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad.

Igualmente, dedicado a mi madre Adriana Roso y hermano Alejandro García quienes han sido un apoyo incondicional en el desarrollo de mi vida y estudios.

Agradecimientos

Ante todo, queremos agradecer a Dios por darnos salud durante todos estos años y por brindarnos la sabiduría y perseverancia para culminar con éxito nuestro sueño.

A nuestros padres que han sido un apoyo incondicional en lo emocional como en lo económico.

A la universidad Minuto de dios por forjarnos como futuro ingenieros con buenas bases y valores personales como profesionales

Contenido

Lista de Tablas	6
Lista de Figuras	7
Lista de Anexos	8
Siglas o Abreviación	8
Resumen	9
Abstract	11
Introducción	12
<u>CAPÍTULO I</u>	13
1. Planteamiento Del Problema	13
2. Justificación	13
3. Objetivos	14
3.1 Objetivo General	14
3.2 Objetivos Específicos.....	14
<u>CAPÍTULO II</u>	14
4. Marco Teórico	14
4.1 Seguridad vial	14
4.2 Plan de estratégico de seguridad vial	15
4.3 Accidente de tránsito:.....	28
4.4 Carreteras Colombianas que presentan más accidentes viales.....	28
4.5 Factores clave relacionados con los choques viales	28
4.5.1 Factor Humano.	29
4.5.2 Señalización vial.	29
4.5.3 Señal vertical.	29
4.5.4 Señal horizontal.	29

4.6 Huellas sonoras	32
4.6.1 Proceso Constructivo	32
4.6.2 Aplicaciones.	32
4.6.3 Beneficios de seguridad.	34
4.6.4 Tipos de accidentes que mitigan las huellas sonoras.	35
4.6.5 Mantenimiento y meteorología.....	35
<u>CAPÍTULO III</u>	36
5. Diseño Metodológico	36
<u>CAPÍTULO IV</u>	37
6. Estado del arte	37
6.1 Países que implementan las huellas sonoras como metodología de seguridad vial.	37
6.2 Experiencia de los países con las huellas sonoras	37
6.2.1 España.....	37
6.2.2 Estados Unidos.....	41
6.2.3 Puerto Rico.....	47
6.2.4 Costa Rica.....	50
6.3 Costos de las huellas sonoras	52
<u>CAPÍTULO V</u>	53
7. Resultados y Conclusiones	53
8. Recomendaciones	54
<u>CAPÍTULO VI</u>	55
9. Referencias	55
10. Anexos	57

Lista de Tablas

Tabla 1. Actores viales, ANSV.....	15
Tabla 2. Víctimas en hechos de tránsito según clase de hecho y condición de la víctima Colombia, 2016p. 22	
Tabla 3. Comportamiento de las cifras de los fallecidos en Colombia entre los periodos.	22
Tabla 4. Cifras generales que permiten evaluar el cambio entre los periodos ene - dic de 2017 - 2018.....	24
Tabla 5. Cifras de fallecidos de acuerdo a la condición agrupada de la víctima para el periodo ene - mar 2018 - 2020	26
Tabla 6. Beneficios de seguridad datos de (FWHA, (2017) (EL MUNDO, 2017).....	34
Tabla 7. Accidentes fatales de vehículos automotores.....	42
Tabla 8. Accidentes fatales de vehículos automotores.....	42
Tabla 9. Resumen de los beneficios de seguridad atribuidos a la instalación de Rumble Strips laterales.....	44
Tabla 10. Resumen de los beneficios de seguridad atribuidos a la instalación de franjas estruendosas centrales. 46	
Tabla 11. Medidas sugeridas para el diseño de bandas sonoras.....	51

Lista de Figuras

Figura 1. Accidente de tránsito (casos). Colombia, 2005-2014 (anual)	16
Figura 2. Distribución porcentual de los Fallecidos y Lesionados en accidentes de tránsito.	17
Figura 3. Víctimas fatales en accidentes de tránsito condición de la víctima, Colombia.	18
Figura 4. Víctimas no fatales en accidentes de tránsito condición de la víctima. Colombia.	18
Figura 5. Distribución porcentual de las víctimas fatales y no fatales en accidentes de tránsito según clase de accidente. Colombia, enero a septiembre 2015p (Estadística Directa).	19
Figura 6. Comportamiento histórico de las Víctimas fatales en accidentes.	20
Figura 7. Comportamiento histórico de las Víctimas No Fatales en accidentes.	21
Figura 8. Variación porcentual interanual de las víctimas fatales y no fatales en accidentes de tránsito.	21
Figura 9. Fallecidos en hechos de según clase de hecho. Colombia. Comparativo.	23
Figura 10. Lesionados en hechos de según clase de hecho. Colombia. Comparativo.	24
Figura 11. Comparativo ene - dic 2018 - 2019 de los porcentajes de fallecidos en siniestros viales por condición de la víctima.	25
Figura 12. Comparativo ene - dic, 2017, 2018 y 2019 de las cifras de fallecidos en siniestros viales.	25
Figura 13. Comparativo ene - mar 2019 - 2020 de los porcentajes de fallecidos en siniestros viales por condición de la víctima.)	27
Figura 14. Comparativo ene - mar, 2018, 2019 y 2020 de las cifras de fallecidos en siniestros viales.	27
Figura 15. Líneas longitudinales, línea central, línea de borde de pavimento.	30
Figura 16. Bandas alertadoras verticales resaltada.	31
Figura 17. Banda alertadora vertical bajo relieve.	31
Figura 18. Bandas alertadoras horizontales.	32
Figura 19. Huellas sonoras en el borde del eje.	33
Figura 20. Huella sonora en la línea de borde.	33
Figura 21. Huella Sonora línea central.	34
Figura 22. Huellas Sonoras mejora la visibilidad en la noche.	35
Figura 23. Huellas sonoras climatología, bajo lluvia.	36
Figura 24. Guías sonoras.	38
Figura 25. Dimensiones para las guías sonoras.	39

Figura 26, 27, 28. Guías sonoras en eje.	41
Figura 29. Sección de la Carretera PR-114.....	61
Figura 30. Estándares de las huellas sonoras.....	62
Figura 31. Estadística de choques fatales y totales PR-114.....	63
Figura 32. Parámetros de diseños.....	65

Lista de Anexos

Anexo A. Dimensiones de las Huellas Sonora.....	76
Anexo B. Encuesta Huellas Sonoras.....	81

Siglas o Abreviación

OMS - *Organización Mundial de la Salud*

ANSV- *Agencia Nacional de Seguridad Vial*

ONSV- *Observatorio Nacional de Seguridad Vial*

INV E - *Instituto Nacional de Vías*

FHWA - *Administración Federal de Carreteras*

DGT- *Dirección General de Tráfico*

ASSTHO - *American Association Of State Highway And Transportation*

WSDOT - *Departamento de Transporte del estado de Washington*

NHTSA - *Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en Carreteras*

ACT - *Autoridad de Carreteras y Transportación de Puerto Rico*

NCHRP - *Guía para el diseño y aplicación de Rumble Strips laterales y de línea central*

SVROR - *Todos los accidentes y accidentes de Autopista de un solo vehículo*

TOT - *Frecuencia de choque total*

FI - *Fatal y herida*

ACT - *Autoridad de Carreteras y Transportación de Puerto Rico*

Resumen

Frente al gran índice de accidentes viales que se presentan diariamente, se han planteado soluciones y métodos enfocados en la ingeniería para conseguir una mejor seguridad vial.

Mediante una dispendiosa investigación se evidenció que en distintos Países han implementado un nuevo método vial el cual consiste en un fresado que al contacto con el neumático produce una vibración dentro y fuera del vehículo advirtiendo al conductor que se está desviando de la calzada vial llamada HUELLAS SONORAS; esta investigación tiene como objetivo dar a conocer esta nueva modalidad en el territorio COLOMBIANO y brindar la información existente de su proceso constructivo sus especificaciones técnicas de diseño , el porcentaje de beneficios de seguridad que obtiene al ejecutar esta medida, aspectos relacionados con el clima, mantenimiento y ruido , y el valor monetario que esta genera para su implementación ,además se realizó un análisis comparativo de la experiencia que han tenido los distintos países que han implementado las HUELLAS SONORAS y de esta manera considerar si su ejecución provoca un impacto en la seguridad vial en las vías colombianas, utilizamos una encuesta como herramienta para divulgar sobre esta modalidad con el fin de recopilar y estudiar la información acerca de las causantes de los accidentes viales que sufren con frecuencia y conocer la opinión que tienen acerca de las HUELLAS SONORAS.

Palabras clave: Huellas sonoras, Seguridad vial, actores viales, colisiones frontales, desviación de vía, insomnio, imprudencia.

Abstract

In view of the high rate of road accidents that occur every day, solutions and methods focused on engineering have been proposed to achieve better road safety.

By means of an extensive investigation, it became evident that different countries have implemented a new road method which consists of a milling process that, when in contact with the tyre, produces a vibration inside and outside the vehicle, warning the driver that he is deviating from the road surface, called SOUND PRINTS; The objective of this research is to make this new method known in the COLOMBIAN territory and to provide the existing information on its construction process, its technical design specifications, the percentage of safety benefits obtained by carrying out this measure, aspects related to climate, maintenance and noise, and the monetary value that it generates for its implementation, In addition, a comparative analysis was made of the experience of the different countries that have implemented SONOROUS PRINTS and in this way we considered whether their implementation has had an impact on road safety on Colombian roads. We used a survey as a tool to disseminate information about this modality in order to collect and study the information about the causes of the road accidents that they frequently suffer and to know the opinion they have about SONOROUS PRINTS.

Keywords: Sound footprints, Road safety, road actors, head-on collisions, road deviation, insomnia, carelessness

Introducción

La seguridad vial es un tema controversial en Colombia ya que al año se registran miles de sistros viales principalmente producidos por choques frontales, salida de vías, excesos de velocidad e imprudencias de los conductores siendo la ultima la mayor causa de los accidentes. En países desarrollados implementan diferentes mediadas para mitigar esta problemática siendo las Huellas Sonoras una de ella cumpliendo con la función de alertar al conductor al momento de salirse de su carril de circulación.

Por lo tanto, se plantea realizar una investigación acerca de la implementación de las Huellas Sonoras como medida de prevención vial en Colombia revisando los efectos y resultados obtenidos por la implementación de la huella en otros países como España y Estados Unidos con el fin de determinar si su aplicación en el país es viable y lograría la reducir los accidentes producidos especialmente por choque frontales. La investigación se basará en dos componentes importantes que son el marco teórico y el estado del arte las cuales harán que la información obtenida sea auténtica y sólida logrando responder la pregunta planteada por medio de un análisis que compare el efecto de las huellas en los países que la han implementad.

CAPÍTULO I

Planteamiento Del Problema

Actualmente en Colombia la tasa de siniestralidad vial no deja de sorprender a las autoridades viales y a la comunidad de conductores con sus cifras tan elevadas dejando para el país miles de fallecidos y heridos cada año, destacando una falta de acciones preventivas y mejoramiento de la seguridad vial. No obstante, estas causas de siniestralidad son producidas por diversos factores que van ligados desde la construcción y planeación de las vías hasta el comportamiento de los conductores siendo este último la mayor causa de muertes por imprudencias como la velocidad excesiva, choque frontal, insomnios y por salida de la vía. Como se menciona anteriormente la mayor causa de siniestralidad vial es producida por el mal comportamiento de los conductores lo cual hace más difícil el mejoramiento de la seguridad.

Por tal motivo se busca implementar una medida de seguridad vial en Colombia que reduzca principalmente los accidentes por choques frontales, insomnio y salida de la vía con el fin de mejorar la calidad de vida de los conductores en el país.

Se encontró que en diferentes países propusieron la utilizaron Huellas Sonoras longitudinalmente en las vías primarias y secundarias, las cuales cumplen la función de mantener el vehículo en su carril evitando los choques frontales, salidas de la vía por insomnio o descuidos. Lo cual lleva a preguntar ¿Las huellas sonoras como metodología de seguridad vial ayudaría al mejoramiento de la siniestralidad vial en Colombia?

Justificación

Los accidentes automovilísticos son la octava causa de mortalidad en Colombia, siendo este un país en desarrollo que presenta falencias en la seguridad vial involucrando cuestiones como el entorno de la carretera y el comportamiento humano; es por ello que investigar sobre el uso de las huellas sonoras es de suma importancia, teniendo en cuenta que esta nueva metodología de seguridad vial permite mitigar las tasas de siniestralidad presentadas cotidianamente; según estudios realizados en los diferentes países que han implementado esta modalidad, han sido viables en reducir un porcentaje de accidentes más frecuentes en calzada únicas y doble sentido de circulación por factores como el insomnio, distracción e imprudencia, obteniendo una mejor calidad de seguridad vial permitiendo un avance significativo en el desarrollo del país.

Objetivos

1. Objetivo General

Realizar un análisis comparativo de países que implementen las huellas sonoras como una estrategia de seguridad vial, determinando si es viable la implementación de las huellas sonoras en Colombia para reducir la siniestralidad producida por choques frontales, por invasión y salida del carril de circulación.

2. Objetivos Específicos

1. Investigar las experiencias y estado del arte referente a huellas sonoras en países donde las apliquen como estrategia de seguridad vial.
2. Recolectar los datos estadísticos de accidentes viales originados por micro sueños, choques frontales, invasión y salida de carril.
3. Realizar un Análisis de costos para la construcción de las huellas sonoras en la infraestructura vial de Colombia.

CAPÍTULO II

Marco Teórico

Este capítulo está enfocado en la seguridad vial que tiene el territorio colombiano, el plan estratégico que ha implementado para reducir accidentes que se presenta con más frecuencia, sus señalizaciones y dispositivos. es importante destacar toda la información de una nueva medida vial que aún no se ha implementado en Colombia, que son las huellas sonoras.

4.1 Seguridad vial

“Seguridad vial es muy primordial para la prevención de accidentes viales y minimizar efectos que este conlleve, el objetivo principal es proteger la integridad física de las personas que transitan la vía y así mismo disminuir los factores de riesgo” (Cultura vial, 2011). Existe parámetro que es muy fundamentales para tener un nivel de seguridad vial. Según ASSTHO (2011): “El diseño geométrico apropiado para una vía como sus etapas (construcción, controles, criterios y elementos de diseño) se relaciona con la seguridad vial”.

Otro ejemplo son las estrategias y medidas orientadas como el lineamiento en educación vial.

Consiste en acciones educativas, iniciales y permanentes, cuyo objetivo es favorecer y garantizar el desarrollo integral de los actores de la vía (tabla 1), tanto a nivel de conocimientos sobre la normativa, reglamentación y señalización vial, como a nivel de hábitos, comportamientos, conductas, y valores individuales y colectivos. (Régimen de Bogotá D.C, 2011).

Tabla 1.
Actores viales, ANSV.

Actores viales	
Peatón	Persona que transita a pie por una vía, son los más vulnerables en la vía pública
Ciclista	Conductor de bicicleta o triciclo
Motociclista	Toda persona que conduce una motocicleta
Conductor	Persona habilitada para operar cualquier tipo de vehículo
Pasajero	Persona diferente al conductor que se transporta en un vehículo

4.2 Plan de estratégico de seguridad vial

Dado a que en Colombia la cifra de accidentes era tan alta se implementaron unos alineamientos de política pública para acciones de seguridad vial, por ende, el gobierno nacional definió como política de estado el plan de estrategia de seguridad vial.

Que es el instrumento de planificación que oficialmente consignado en un documento contiene las acciones, mecanismos, estrategias y medidas, que deberán adoptar las diferentes entidades, organizaciones o empresas del sector público y privado existentes en Colombia, encaminadas a alcanzarla Seguridad Vial como algo inherente al ser humano y así evitar o reducir la accidentalidad vial de los integrantes de sus compañías, empresas u organizaciones y disminuir los efectos que puedan generar los accidentes de tránsito. (Ministerio de transporte [Mintransporte], 2013)

Según la Organización Mundial de la salud [OMS] (2018) respecto al informe de estado mundial de seguridad vial del 2018 afirma:

1. Cada año se pierden aproximadamente 1,35 millones de vidas como consecuencia de los accidentes de tránsito. Entre 20 millones y 50 millones de personas sufren traumatismos no mortales, y muchos de esos traumatismos provocan una discapacidad.
2. La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible ha fijado una meta ambiciosa con respecto a la seguridad vial, consistente en reducir a la mitad, para 2020, el número de defunciones y lesiones por accidentes de tránsito en todo el mundo.

3. Los accidentes de tránsito son la principal causa de defunción en los niños y jóvenes de 5 a 29 años.

En ese contexto, Colombia no es ajena a esta problemática, dadas sus altas cifras de accidentalidad y la tendencia presentada en los años (2005 - 2014) la cual muestra una cifra de 1.836.373 accidentes de tránsito para dicho periodo (figura 1), cobrando la vida de 58.121 personas y dejando lesionadas a 411.9561.

Tan solo en el 2014 se presentaron 157.693 accidentes, en los que fallecieron 6.352 personas, lo que supone un incremento del 2,1% frente a 2013. En cuanto a lesionados el país presentó 41.452 víctimas no mortales, cifra que representa un aumento del 6,2% con respecto al año 2013. (Ministerio de Transporte, 2015, p.17)



Figura 1. Accidente de tránsito (casos). Colombia, 2005-2014 (anual)

De

acuerdo con la información disponible, los actores de la vía más vulnerables en los años (2005-2014) (figura 2) son los usuarios de motocicleta (conductores y acompañantes) que en el periodo de análisis representaron el 37,98% (22.074 casos) de las víctimas fatales y el 43,60% (179.599 casos) de las no fatales; seguido de los peatones con el 30,39% (17.665 casos) de los fallecidos y el 23,24% (95.744 casos) de los lesionados en accidentes de tránsito. Estos dos actores representan alrededor del 70% de las víctimas en accidentes de tránsito entre el 2005 y el 2014. (Ministerio de Transporte, 2015, p.26)

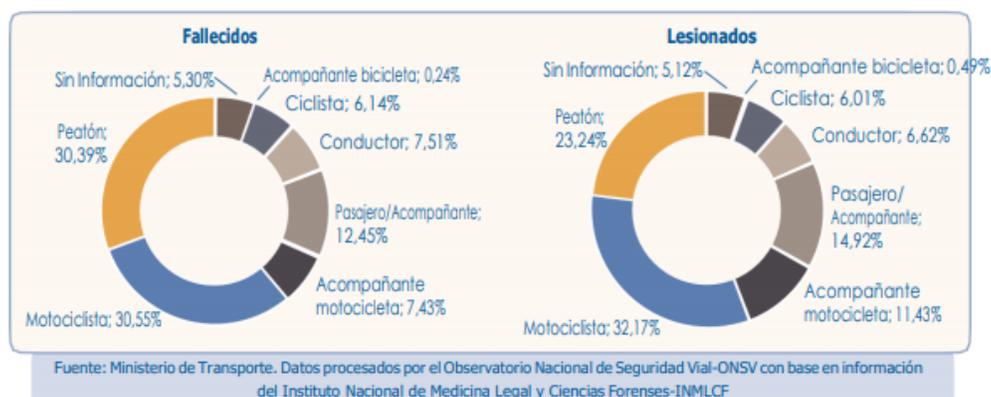


Figura 2. Distribución porcentual de los Fallecidos y Lesionados en accidentes de tránsito.

Por otra parte, “el análisis de la distribución porcentual de las víctimas fatales y no fatales en accidentes de tránsito evidencia una concentración en el grupo etario ubicado entre los 20 y los 39 años de edad (...)”. (Ministerio de Transporte, 2015, p.26)

EL observatorio nacional de seguridad vial- ONSV para el año 2015 obtiene un incremento en accidentes fatales, Según Agencia nacional de seguridad vía [ANSV] (2015) afirma:

Durante el periodo enero—septiembre de 2015 se registran en el país 4.458 personas fallecidas y 29.239 lesionadas en accidentes de tránsito (figura 3), (figura 4), y con respecto al mismo periodo del año 2014, lo anterior supone un incremento en las muertes en accidentes de tránsito equivalente al 3,1% (133 casos) y una reducción en las víctimas no fatales del 14,4% (4.908 casos menos). Los actores más vulnerables de la vía continúan siendo los Motociclistas (Conductores y Acompañantes) que en el periodo analizado representan el 48,2% (2.148 casos) de las víctimas fatales y el 56,4% (16.482 casos) de los lesionados.

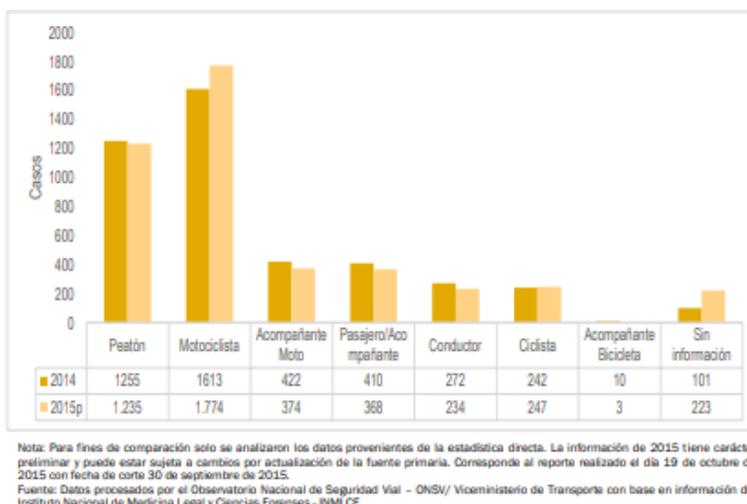


Figura 3. Víctimas fatales en accidentes de tránsito condición de la víctima, Colombia.

Fuente:(<https://ansv.gov.co/observatorio/public/documentos/Panorama%20General%20Colombia%20a%20Sep%202015p.pub.pdf>)

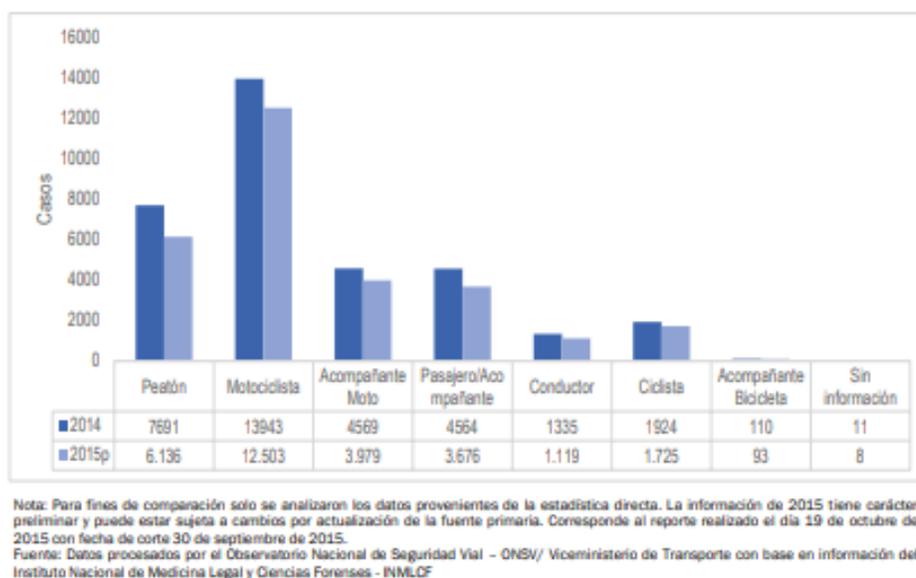


Figura 4. Víctimas no fatales en accidentes de tránsito condición de la víctima. Colombia.

Fuente:(<https://ansv.gov.co/observatorio/public/documentos/Panorama%20General%20Colombia%20a%20Sep%202015p.pub.pdf>)

Entre enero y septiembre de 2015p, el mayor número de víctimas tanto fatales como no fatales se registra como consecuencia de choques entre vehículos (figura 5). Esta clase de accidente de tránsito cobró la vida de las 1.708 personas (38,3%) y deja lesionadas a 20.183 más (69%) de las víctimas, durante el periodo analizado.

El choque con otro vehículo también es la clase de accidente que mayor número de casos registra entre los usuarios de la motocicleta (Conductores y acompañantes), con alrededor del 60% de los usuarios de motocicleta fallecidos y el 94% de los lesionados, seguido del choque con objeto fijo que representa el 19% de los casos fatales en este tipo de actor vial. (ANSV, 2015).

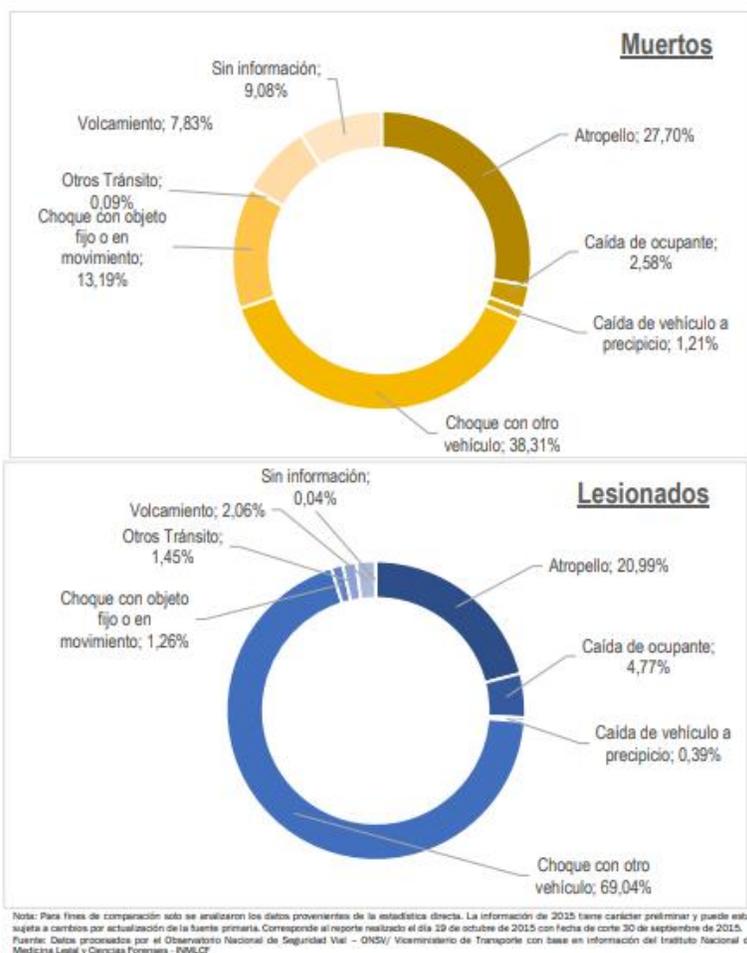


Figura 5. Distribución porcentual de las víctimas fatales y no fatales en accidentes de tránsito según clase de accidente. Colombia, enero a septiembre 2015p (Estadística Directa).

De acuerdo con la información de (...) ANSV (2015) “la población más afectada por el fenómeno de la accidentalidad vial en el país es la que se encuentra entre los 20 y los 39 años de edad, población por demás considerada como la de mayor productividad laboral”.

Para el año 2016 el Observatorio Nacional de Seguridad Vial -ONSV registra el comportamiento de siniestralidad vial en Colombia, comparando las cifras con el año 2015, Agencia Nacional de Seguridad Vial [ANSV] (2016) afirma:

En 2016 se registran más de 198.000 accidentes. En el 44,1% de los accidentes de tránsito se presentaron víctimas (fatales o no fatales) (figura 6), (figura 7). Esta cifra equivale a un registro de aproximadamente 14.762 accidentes por cada millón de vehículos registrados y a un índice de severidad² del 3,42% superior al registrado en el 2015 que fue de 3,0%.

Así mismo, preliminarmente entre enero y diciembre de 2016 los hechos de tránsito dejan un total de 6.806 fallecidos y 41.772 lesionados, cifras que reflejan un incremento del 7% (445) en los fallecidos y del 4,2% (1.684) en los lesionados en comparación con el mismo periodo de 2015.



Figura 6. Comportamiento histórico de las Víctimas fatales en accidentes.

Fuente: (<https://ansv.gov.co/observatorio/public/documentos/Anual%202016p%20Colombia.pdf>)



Figura 7. Comportamiento histórico de las Víctimas No Fatales en accidentes.

Fuente: (<https://ansv.gov.co/observatorio/public/documentos/Anual%202016p%20Colombia.pdf>)

En el 2016 frente al año 2015 se observan (figura 8) incrementos generalizados de la morbimortalidad en cada uno de los actores viales, exceptuando los peatones que registran una leve reducción del 1,8% (148 casos menos) en los lesionados con respecto al año inmediatamente anterior.

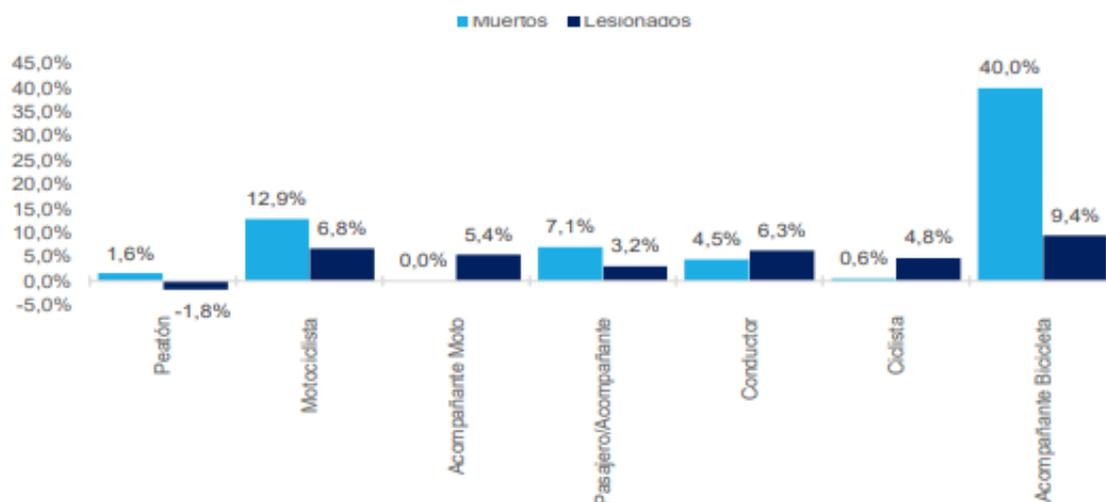


Figura 8. Variación porcentual interanual de las víctimas fatales y no fatales en accidentes de tránsito.

Fuente: (<https://ansv.gov.co/observatorio/public/documentos/Anual%202016p%20Colombia.pdf>)

En la tabla 2 muestra los casos de víctimas en hechos de tránsito según clase de hecho y condición de la víctima para Colombia durante el 2016, en el que el mayor número de víctimas fatales como no fatales, se registran como choques frontales y atropellamiento. (ANSV, 2016)

Tabla 2.

Victimas en hechos de tránsito según clase de hecho y condición de la víctima Colombia, 2016p.

Clase de hecho de tránsito	Peatón		Motociclista		Acompañante moto		Conductor	
	Muertos	Lesión	Muertos	Lesión	Muertos	Lesión	Muertos	Lesión
Atropello	1.740	8.309	na	na	na	na	na	na
Caída de ocupante	na	na	na	na	88	316	2	-
Caída de vehículo a precipicio	na	na	35	25	4	16	41	12
Choque con objeto fijo o en movimiento	na	na	615	788	101	182	86	86
Choque con otro vehículo	na	na	1.714	16.755	3017	5129	114	1.412
Otros - Tránsito	na	na	2	-	-	-	7	22
Volcamiento	na	na	279	718	36	71	81	70
Sin información	na	na	228	2	34	-	18	20
Total	1.740	8.309	2.873	18.288	570	5.714	349	1.622

Fuente: (<https://ansv.gov.co/observatorio/public/documentos/Anual%202016p%20Colombia.pdf>)

De acuerdo con la información definitiva por ONSV del año 2017 la Agencia Nacional de Seguridad Vial [ANSV] (2017) obtiene las siguientes cifras:

En el periodo ene- dic de 2017 se registra un total de 6718 fallecidos reportados por el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forense (INMLCF). Estas cifras reflejan una disminución del -6,16% (-441 víctimas) en el número de fallecidos, en comparación con el periodo ene-dic del año 2016.

Tabla 3.

Comportamiento de las cifras de los fallecidos en Colombia entre los periodos.

	2016	% 2016	2017	% 2017	Var.Absoluta	Var.Relativa
Peatón	3.758	52,5	3.375	50,2	-383	-10,52
Usuario de moto	1.857	25,9	1.790	26,6	-67	-3,4
Usuario de vehículo	921	12,9	868	12,9	-53	0,12
Usuario otros	25	0,3	14	0,2	-11	54,55

Usuario de bicicleta	379	5,3	375	5,6	-4	7,48
Sin info	219	3,1	296	4,4	77	75,24
Resumen	7.159	100%	6,718	99,9%	-73,5 (*)	-4,9 (**)

Fuente:(<https://ansv.gov.co/observatorio/public/documentos/02.Panorama%20General%20Colombia%20Ene%20a%20Sep%202017p.pdf>)

Por otra parte, entre el de ene -sept de 2017, el mayor número de víctimas tanto fatales como no fatales se registran como consecuencia de choques entre vehículos, segundo del atropello. (...) con relación al año 2016, las muertes en accidentes de tránsito evidencian descensos generalizados para todos los tipos de accidentes con excepción de las muertes derivadas de caída de ocupante que se incrementaron en un 7,35%.

En las siguientes figuras (9) y (10) se presenta el comparativo entre 2016 – 2017 de accidentes fatales y no fatales, según clase hecho de tránsito.

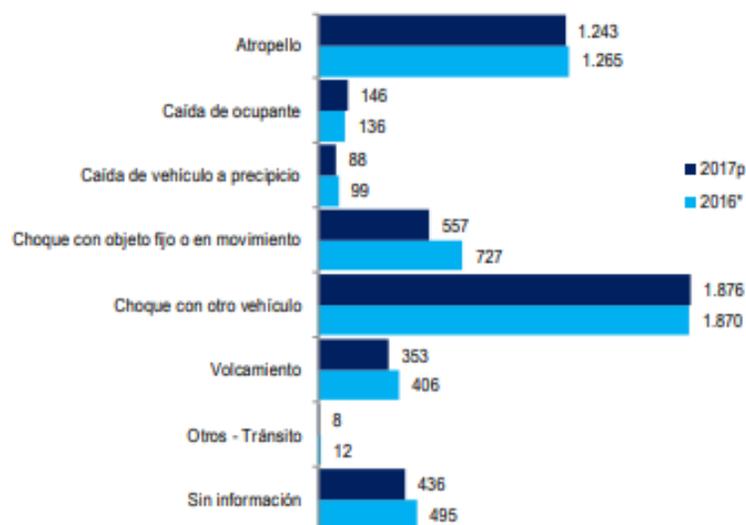


Figura 9. Fallecidos en hechos de según clase de hecho. Colombia. Comparativo. Fuente (...) ONSV (2017):

<https://ansv.gov.co/observatorio/public/documentos/02.Panorama%20General%20Colombia%20Ene%20a%20Sep%202017p.pdf>

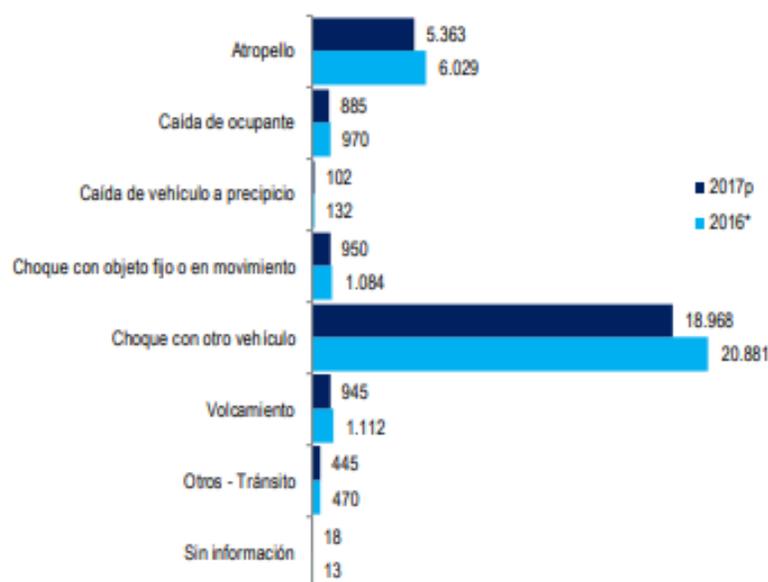


Figura 10. Lesionados en hechos de según clase de hecho. Colombia. Comparativo. Fuente (...) ONSV (2017)

<https://ansv.gov.co/observatorio/public/documentos/02.Panorama%20General%20Colombia%20Ene%20a%20Sep%202017p.pdf>

Para el año 2018 el Observatorio Nacional de Seguridad Vial presenta los datos de los siniestros viales en Colombia que han dejado 6.476 personas fallecidas y 37.213 lesionadas. Esto representa una disminución del -0,26% (17 víctimas) en el total de muertos y una disminución del -2,26% en el total de lesionados, en comparación con el año anterior. (...), los usuarios de moto las víctimas más afectadas, representando un 48,3% del total de fallecidos y un 56% del total de lesionados (tabla 4). Agencia Nacional de Seguridad Vial [ANSV] (2019)

Tabla 4.

Cifras generales que permiten evaluar el cambio entre los periodos ene - dic de 2017 - 2018.

	2017	% 2017	2018	% 2018	Cambio	%
Peatón	1.720	26,5	1.539	23,8	-181	-10,52
Usuario de moto	3.236	49,8	3.126	48,3	-110	-3,4
Usuario de vehículo	846	13	847	13,1	1	0,12
Usuario otros	11	0,2	17	0,3	6	54,55
Usuario de bicicleta	361	5,6	388	6	27	7,48
Sin info.	319	4,9	559	8,6	240	75,24

Resumen 6.493 100% 6,476 100,10% - -

Fuente (...) ONSV (2018) https://ansv.gov.co/observatorio/public/documentos/boletin_mensual_nacional_diciembre.pdf

El boletín estadístico del observatorio nacional de seguridad vial realiza un comparativo de ene-dic del año 2018- 2019. La Agencia Nacional de Seguridad Vial [ANSV] (2020) indica que:

Los siniestros viales en Colombia han dejado 6.634 personas fallecidas y 34.485 lesionadas. Esto representa un aumento del 2,44% (158 víctimas) en el total de muertos y una disminución del 7,33% en el total de lesionados, en comparación con el año anterior. (...), representando un 52,1% del total de fallecidos y un 55,9% del total de lesionados.

En la figura 15 el (...) ANSV (2020) muestra el porcentaje que representa cada tipo de víctima al total de fallecidos, en ene - dic de 2019, los usuario moto constituyen las víctimas más vulnerables de los siniestros viales, representando el 52,08% del total de fallecidos del 2019.

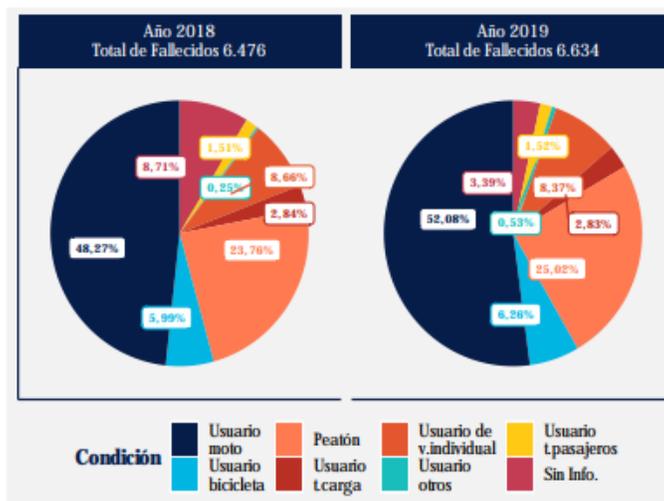


Figura 11. Comparativo ene - dic 2018 - 2019 de los porcentajes de fallecidos en siniestros viales por condición de la víctima. Fuente: (https://ansv.gov.co/observatorio/public/documentos/boletin_mensual_nacional_diciembre2019.pdf)

En la figura 12 se presenta los valores para cada categoría de actor vial, en los años 2017-2018-2010 ene- dic.

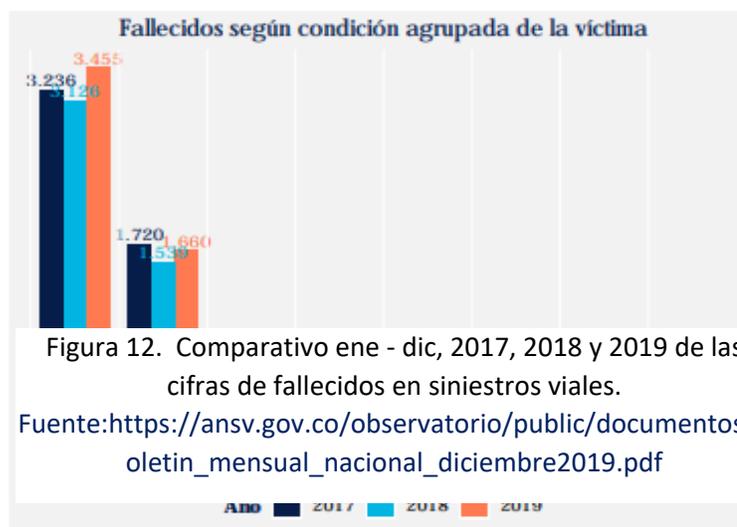


Figura 12. Comparativo ene - dic, 2017, 2018 y 2019 de las cifras de fallecidos en siniestros viales. Fuente: https://ansv.gov.co/observatorio/public/documentos/boletin_mensual_nacional_diciembre2019.pdf

En lo que va corrido del año 2020 ene- mar, los siniestros viales en Colombia han dejado 1.455 personas fallecidas y 5.480 lesionadas. Esto representa un aumento del 6,36% (87 víctimas) en el total de muertos y una disminución del 16,48% en el total de lesionados, en comparación con el año anterior. (...), los usuario moto las víctimas más afectadas, representando un 50,4% del total de fallecidos y un 57,2% del total de lesionados. Agencia Nacional de Seguridad Vial [ANSV] (2020) (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2020)

Se presenta en la (tabla 5) las cifras generales que permiten evaluar el cambio entre los periodos ene - mar de los últimos dos años 2018-2020. En la (figura 13) de acuerdo (...) ANSV(2020) “muestra el porcentaje que representa cada tipo de víctima al total de fallecidos), en ene - mar de 2019 a ene- mar 2020, los usuario moto constituyen las víctimas más vulnerables de los siniestros viales, representando el 50,45% del total de fallecidos del 2020. Y en la (figura 14) muestran los valores para cada categoría de actor vial”.

Tabla 5.

Cifras de fallecidos de acuerdo a la condición agrupada de la víctima para el periodo ene - mar 2018 - 2020.

Condición Víctima	2018	%2018	2019	%2019	2020	%2020	Cambio Casos*
Sin info.	417	27,3	236	17,3	120	8,2	-116
Usuarios otros	2	0,1	8	0,7	4	0,3	-5
Usuarios t.pasajeros	122	8	110	8	109	7,5	-1
Peaton	65	4,3	94	6,9	94	6,5	0
Usuario de V.individuak	32	2,1	25	1,8	38	2,6	13
Usuario bicicleta	29	1,9	22	1,6	42	2,9	20
Usuario t.carga	295	19,3	262	19,2	314	21,6	52
Usuario moto	564	37	610	44,6	734	50,4	124
Total	1.526	100%	1.368	100,1%	1.455	100%	-

Fuente: (https://ansv.gov.co/observatorio/public/documentos/boletin_nacional_marzo_2020.pdf)

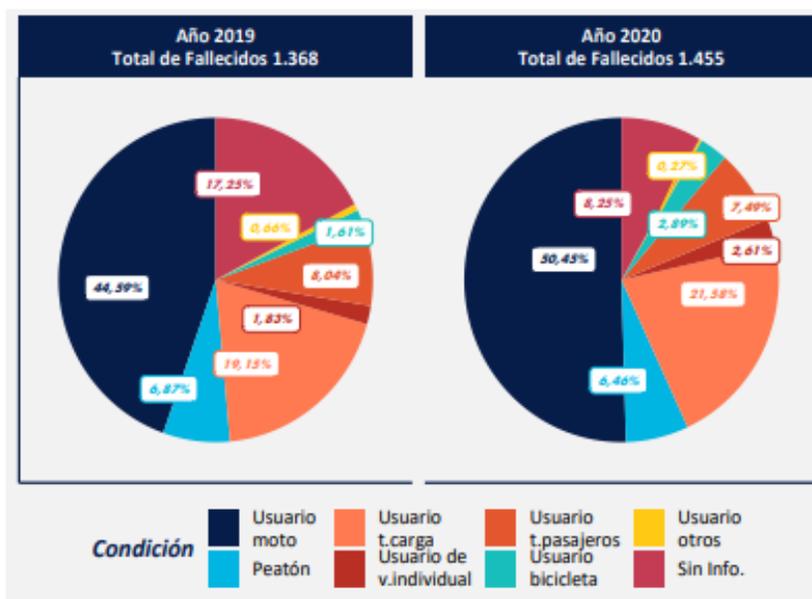


Figura 13. Comparativo ene - mar 2019 - 2020 de los porcentajes de fallecidos en siniestros viales por condición de la víctima. Fuente (...) ONSV (2020). (https://ansv.gov.co/observatorio/public/documentos/boletin_mensual_nacional_marzo_2020.pdf)

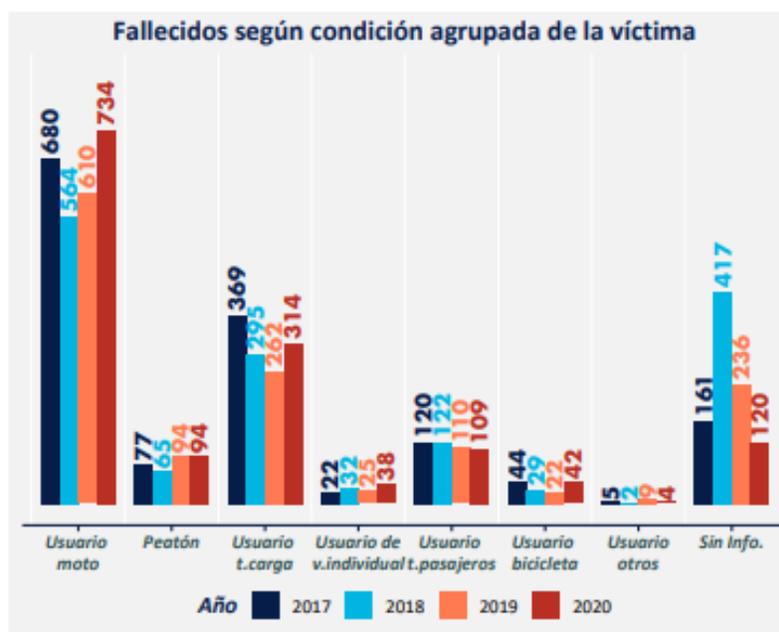


Figura 14. Comparativo ene - mar, 2018, 2019 y 2020 de las cifras de fallecidos en siniestros viales. Fuente (...) ONSV (2020) (https://ansv.gov.co/observatorio/public/documentos/boletin_mensual_nacional_marzo_2020.pdf)

4.3 Accidente de tránsito:

De acuerdo a la ley 769 de 2002 el accidente de tránsito es un evento generalmente involuntario, generado al menos por un vehículo en movimiento, que causa daños a personas y bienes involucrados en él e igualmente afecta la normal circulación de los vehículos que se movilizan por la vía o vías comprendidas en el lugar o dentro de la zona de influencia del hecho. (INVE, 2002)

Dentro de las clases de accidentes se encuentran: atropello, caída de ocupante, caída de vehículo a precipicio, choque con objeto fijo o en movimiento, choque con otro vehículo, volcamiento y otros.

Se conoce como atropello al encuentro de un vehículo con un peatón; Caída de ocupante, es el descenso o desprendimiento de un pasajero del vehículo en el que se transporta; colisión, es embestirse dos o más vehículos en movimiento; choque, es embestirse un vehículo en movimiento contra otro detenido o contra obstáculos físicos; volcamiento, es el giro de un vehículo en movimiento sobre su eje longitudinal o transversal respecto a su sentido de marcha, durante el cual apoya cualquier parte de su estructura después de abandonar la posición normal de rodaje; otros, cualquier accidente de tránsito no incluido dentro de la tipificación dada. (Nora, et al, 2014)

4.4 Carreteras Colombianas que presentan más accidentes viales

El mal estado de la carretera y la imprudencia de los conductores dejan como resultado terribles accidentes por consecuencia del exceso de velocidad, adelanto en sitios prohibidos y desviación de carril. Según la policía nacional y los viajeros las siguientes carreteras son la que más presentan accidentes:

Se encuentra la carrera Honda- Bogotá que ha cobrado la vida de decena de conductores y pasajeros por exceso de velocidad

Bogotá -Tunja ya que es una vía doble calzada y por el buen estado, los conductores incumplen la velocidad permitida generando accidentes fatales.

Popayán- Cali se considera la ruta más peligrosa de Cauca, ya que registra gran cantidad de accidentes por adelantamiento indebidos y alta velocidad, esta es una vía doble calzada.

Según la dirección nacional de tránsito y transporte de la policía nacional la carretera Villeta – Bogotá es clasificada una de las más peligrosas en el territorio nacional, ya que registra un gran número de accidentes a causa de que el conductor toma confianza a la carretera, por ende, la tranquilidad y la imprudencia puede ocasionar estragos.

Cali- Palmira, Buenaventura- Buga, Cali- Buenaventura se registran decenas de accidentes por exceso de velocidad

Girardot-Bogotá, Bogotá-melgar por ser lugares turísticos, son las vías más transitadas y las que más registran accidentes fatales.

4.5 Factores clave relacionados con los choques viales

Los accidentes rara vez se producen por causas individuales por lo general resultan por varios en una situación dada.

“Las influencias se dividen en tres grupos: el elemento humano, el elemento del vehículo, y el elemento de camino... Un error en la percepción o juicio o una acción errónea por parte del conductor puede fácilmente conducir a un accidente”. (ASSTHO, 2011, P.66)

4.5.1 Factor Humano. Sin embargo, no todos los factores tienen la misma importancia ya que incesantes investigaciones demuestran que el fallo humano es la principal causa de los accidentes viales; de acuerdo con la información dada por Instituto Nacional Medicina Legal y Ciencias Forenses (2007): “Los factores que inciden en la ocurrencia de accidentes de tránsito son el abuso del alcohol, el exceso de velocidad, fatiga y sueño, distracciones y la imprudencia de los conductores al irrespetar las normas establecidas”.

4.5.2 Señalización vial. La señalización vial y los dispositivos para la regulación de tránsito son de gran importancia ya que tienen como fin reducir accidentes y de mejorar la movilidad vial. De acuerdo con el Ministerio de Transporte [Mintransporte] (2015) en el Manual de diseño de vías 2015: “La señalización vial indica a los actores viales la forma correcta y segura de circular en la vía, para prevenir los factores de riesgo que más se frecuenta. Están las señales verticales y señales horizontales”.

4.5.3 Señal vertical. El Mintransporte (2015) define la señal vertical como:

Las señales verticales son placas fijadas en postes o estructuras instaladas sobre la vía o adyacentes a ella, que mediante símbolos o leyendas determinadas cumplen la función de prevenir a los usuarios sobre la existencia de peligros y su naturaleza, reglamentar las prohibiciones o restricciones respecto del uso de las vías, así como brindar la información necesaria para guiar a los usuarios de las mismas. Estas se clasifican en: señales preventivas, señales reglamentarias y señales informativas (p.17)

4.5.4 Señal horizontal. “La señalización horizontal, corresponde a la aplicación de marcas viales, conformadas por líneas, flechas, símbolos y letras que se pintan sobre el pavimento, bordillos o sardineles y estructuras de las vías de circulación o adyacentes a ellas, así como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodadura” (Mintransporte, 2015, p.359).

4.5.4.1 Líneas Longitudinales. “Se emplean para determinar carriles y calzadas; para indicar cambiar de carril; zonas con prohibición de estacionar y para delimitar carriles de uso exclusivo de determinados tipos de vehículos” (Mintransporte, 2015, p.366).

Ejemplo, carriles exclusivos de bicicletas, motocicletas o buses. Se clasifica como líneas centrales (ilustración 20), líneas que separan carriles, líneas de borde de pavimento (figura 15).

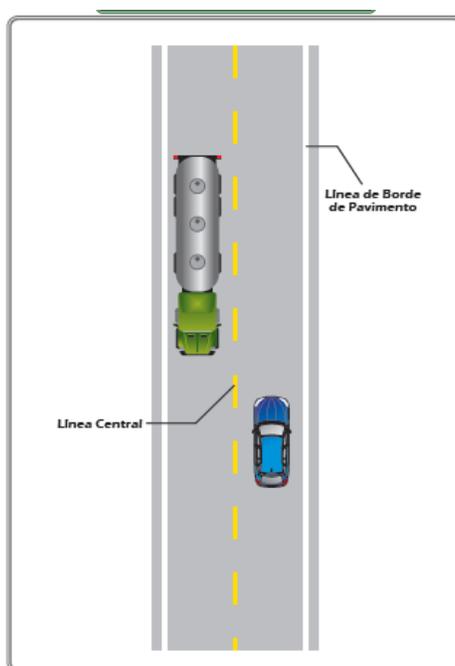


Figura 15. Líneas longitudinales, línea central, línea de borde de pavimento. Fuente (MinTrasporte, 2015, p.367) (<https://www.mintransporte.gov.co/documentos/29/manuales-de-senalizacion-vial/>)

Existen dispositivos de regulación vial con la finalidad de persuadir al conductor que disminuya la velocidad o de alertar que se está desviando del carril. Según el Mintransporte (2015) se clasifica estos dispositivos según su función:

1. Indicadores de alineamiento.
2. Marcadores de obstáculos segregadores y limitadores de flujo.
3. Controladores de velocidad o resaltos.
4. Bandas alertadoras.

Por tanto, el (Mintransporte, 2015) especifica que:

Las bandas alertadoras que son dispositivos usados para generar una vibración y ruido que sirve para alertar a los conductores que pasen por ellos sobre la necesidad de prestar atención a ciertos elementos de señalización o de retomar el carril o calzada por donde circulan. Se clasifican de dos maneras:

4.5.4.1 .1 Bandas alertadoras verticales. Pueden ser generadas de dos formas. Resaltadas, con una altura entre 0,5 y 2 cm, quedando en este caso por encima de la rasante del pavimento (ilustración 21).

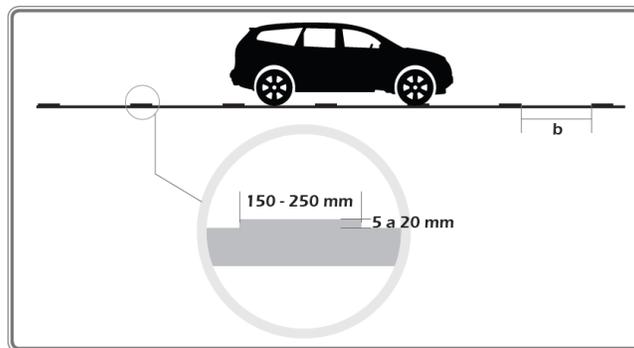


Figura 16. Bandas alertadoras verticales resaltada. Fuente (Mintransporte, 2015.p.666) (<https://www.mintransporte.gov.co/documentos/29/manuales-de-senalizacion-vial/>)

Bajo relieve, en cuyo caso quedan entre 1 y 1,5 cm por debajo de la rasante del pavimento.

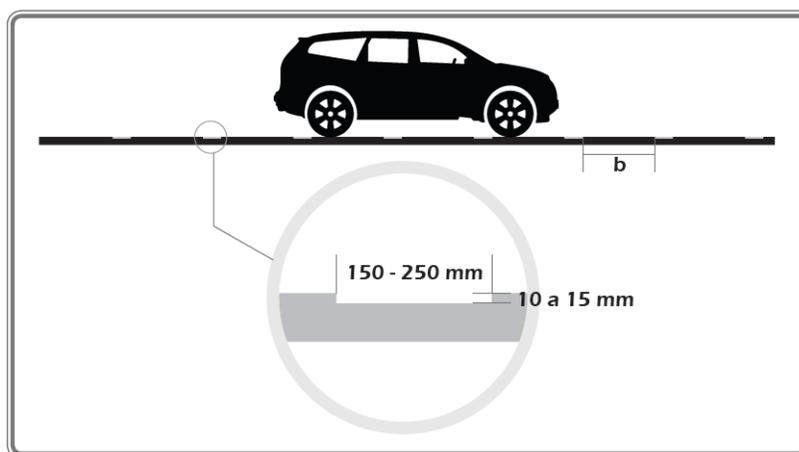


Figura 17. Banda alertadora vertical bajo relieve. Fuente (Mintransporte, 2015. 666) (<https://www.mintransporte.gov.co/documentos/29/manuales-de-senalizacion-via/>)

4.5.4.1 .2 Bandas alertadoras horizontales. Están las bandas alertadoras resaltadas y las bandas alertadoras bajo relieve (ilustración 18).

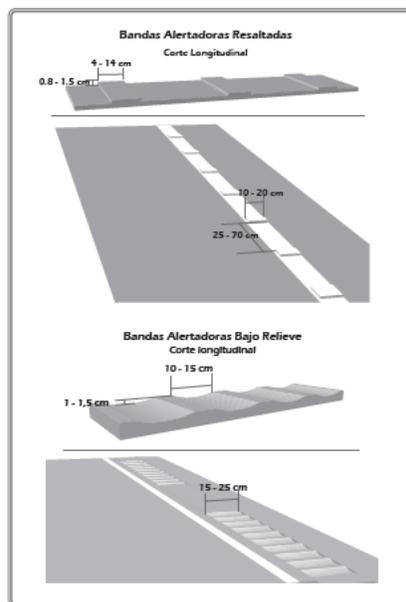


Figura 18. Bandas alertadoras horizontales. Fuente (MinTrasporte, 2015, p.668) (<https://www.mintransporte.gov.co/documentos/29/manuales-de-senalizacion-vial/>)

4.6 Huellas sonoras

Las bandas sonoras son un dispositivo de seguridad vial que busca mitigar diferentes tipos de accidentes con el fin de tener una mejor seguridad vial en las carreteras. También conocidas como Rumble Strips en distintos países.

En esta investigación se les denomina a las bandas sonoras como huellas sonoras, que consiste en realizar un fresado, ya sea sobre el eje de demarcación horizontal de las vías o en sus costados. Con el fin de emitir vibración y sonido al contacto del neumático con las huellas para advertir a los conductores si se están desviando o saliendo de su carril.

4.6.1 Proceso Constructivo. Teniendo en cuenta información de otros países que han implementado esta modalidad vial, su proceso constructivo es muy fácil de desarrollar. Se realiza mediante el uso de una fresadora especial junto con un implemento que programa la longitud, anchura, profundidad y forma de la huella en el firme de las carreteras. (Eiffage Infraestructuras, s.f). Estas se ejecutan dependiendo de las causas de accidentes más frecuentes que se presentan en la vía y así mismo implementar la huella sonora más adecuada. Una vez realizada la huella el deshecho resultante es barrido, recogido y transportado adecuadamente; y es reutilizado para mantenimiento de carreteras deterioradas.

4.6.2 Aplicaciones. Este proceso se aplica dependiendo de la posición donde sean implementadas en la vía, según FHWA (2011) se pueden instalar:

4.6.2.1 En el Borde de la línea, y en la Línea del Borde del Carril de Circulación. Una franja o tira en el **borde de la línea** es una característica de seguridad longitudinal instalada en el arcén -berma pavimentada de la carretera cerca del borde exterior del carril de circulación. (...) esta permite alertar a los conductores desatentos (a través de la vibración y el sonido) de que sus vehículos han abandonado

el carril de circulación (figura 19). Una franja en la **línea de borde del carril de circulación** está colocada directamente en el borde del carril de viaje con la marca de pavimento de línea de borde (figura 20).



Figura 19. Huellas sonoras en el borde del eje. Fuente: (DGT, 2018)
 (http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/normativa-legislacion/otras-normas/modificaciones/2018/18_TV_102_guias_sonoras_longitudinales_fresadas.pdf)

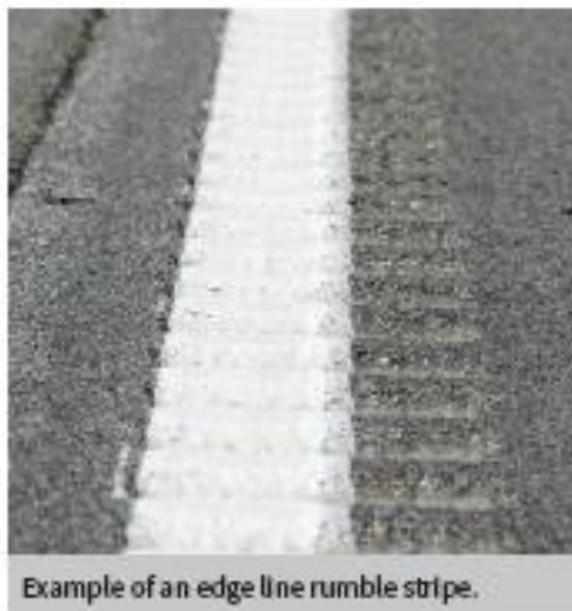


Figura 20. Huella sonora en la línea de borde. Fuente: (FHWA, 2017)
 (https://safety.fhwa.dot.gov/provencountermeasures/long_rumble_strip/)

4.6.2.2 En línea Central. Se instala como una contramedida para ayudar a los conductores que involuntariamente se desvían de la línea central. Las tiras de la línea central generalmente reducen los

choques frontales o en dirección opuesta al deslizamiento lateral, o la salida del camino hacia los choques izquierdos.



Figura 21. Huella Sonora línea central. Fuente:

(<https://accidentesdetraficoyseguidadvialblogspotcomes.wordpress.com/2017/01/31/analisis-de-la-instalacion-de-bandas-sonoras-en-el-eje-de-la-carretera-medida-dgt/>)

4.6.3 Beneficios de seguridad. Según investigaciones y múltiples ensayos que han realizado los países que han implementado las huellas sonoras en el borde de línea, en la línea de borde y en la línea central se obtuvo un porcentaje de beneficios de seguridad, en la siguiente tabla 6 se muestran los porcentajes de reducción de accidentes que obtienen por la ejecución de las huellas sonoras.

Tabla 6.

Beneficios de seguridad datos de (FWHA, (2017) (EL MUNDO, 2017).

Beneficios de Seguridad	
Huellas sonoras línea central	Huellas sonoras borde de la línea y línea de borde
26 - 66% Accidentes fatales y lesiones de frente, en dirección opuesta	13 - 51% Accidentes fatales y lesiones de salida de carril

4.6.4 Tipos de accidentes que mitigan las huellas sonoras. Las huellas sonoras como se ha mencionado anteriormente es una medida para mitigar accidentes frecuentes como salida de carril que son causados por somnolencia, distracción o falta de atención al conducir, la medida más probable que reduzcan estos accidentes son las huellas sonoras de borde o de línea de borde. De igual forma se presenta los choques frontales en sentido opuesto, estos se derivan por adelantamiento de carril y exceso de velocidad, para los choques de este tipo una medida más rentable son las huellas sonoras en línea central.

4.6.5 Mantenimiento y meteorología. En condiciones de baja visibilidad (noche, niebla, lluvia), las huellas sonoras mejoran el reconocimiento del conductor de las marcas viales (eje y borde) cuando estas no son visibles con las condiciones atmosféricas prevalentes (figura 22). El agua de lluvia que queda retenida en los huecos de las huellas sonoras incrementa la visibilidad de la marca vial con el alumbrado de los vehículos respecto a la situación de partida (figura 23). Según las experiencias que han tenido los países frente al mantenimiento de esta medida vial no se han presentado deterioros prematuros, pero se considera como tratamiento preventivo, sólo en aquellos casos en que pueda existir preocupación porque el firme esté previamente deteriorado, a fin de alargar la vida del pavimento en la zona en que se ejecute la huella sonora, se puede considerar la aplicación de una película impermeabilizante mediante un tratamiento superficial de tipo “riego pulverizado/negro”.(FHWA,2016)



Figura 22. Huellas Sonoras mejora la visibilidad en la noche. Fuente (Tritón, s.f)
(http://www.grupotriton.es/sv_huella.html)



Figura 23. Huellas sonoras climatología, bajo lluvia. Fuente (Tritón, s.f)

(http://www.grupotriton.es/sv_huella.html)

CAPÍTULO III

Diseño Metodológico

El diseño metodológico es un estudio de investigación en el cual se toma como base el modelo exploratorio-Explicativo, siendo el primero un método que permitirá investigación del fenómeno como una fuente para estudios posteriores; el propósito de utilizar el método explicativo es ampliar la investigación exploratoria, dado que se inicia con la recolección y análisis de datos en diferentes países y finaliza con la conclusión frente al planteamiento inicial del problema.

Se decidió realizar esta investigación con énfasis en estos modelos, ya que permite inicialmente el abordaje teórico y revisión de estudios correspondientes a las huellas sonoras como una metodología de seguridad vial utilizando encuestas de tipo cuantitativo, entrevistas semi-estructuradas y la revisión bibliográfica como instrumentos de recolección de información.

Para la recolección de información se efectuaron los siguientes pasos:

1. Selección de instrumentos de recolección de información los cuales fueron:
 1. Revisión bibliográfica: Como parte del proceso de investigación, la revisión bibliográfica implica más que un paso lógico, un método científico en el cual se aplican procedimientos para localizar, procesar y reconstruir información relevante para un tema en tres sentidos: de acuerdo a su fuente, al proceso de análisis implicado y al resultado esperado. (Sordelicia, et al 2010)
 2. Encuesta: Es un conjunto de preguntas normalizadas dirigidas a una muestra representativa de la población con el fin de conocer estados de opinión o hechos específicos. Una "encuesta"

recoge información de una "muestra." Una "muestra" es usualmente sólo una porción de la población bajo estudio. (Gabrielle, 2013)

3. Formulación y aplicación de los instrumentos a la población escogida.
4. Análisis y conclusiones de los resultados.

CAPÍTULO IV

Estado del arte

Como se menciona anterior mente como objetivo general se recopilara información de diferentes países logrando la compilación de material sólido y confiable para realizar un análisis comparativo logrando sintetizar la información para llegar a la conclusión de si es favorable o no favorable el uso de las huellas sonoras en Colombia como metodología de seguridad vial. Por tal motivo se realizara una investigación resaltando los puntos importantes como la definición, uso, diseño, normas y señalización

6.1 Países que implementan las huellas sonoras como metodología de seguridad vial.

1. España.
2. Estados Unidos.
3. Puerto Rico.
4. Costa Rica.
5. Dinamarca.
6. Suecia.
7. Francia.
8. Argentina.

6.2 Experiencia de los países con las huellas sonoras

6.2.1 España. El país Europeo ha obtenido avances significativos en la reducción de siniestralidad vial posicionándolo como en el 5° lugar con menos muertes por millón, demostrando que se puede lograr una disminución significativa en la tasa de accidentalidad mediante una buena implementación leyes, reglamentos, señalización, demarcaciones, etc... que garanticen la integridad y seguridad de los conductores.

Una de las medidas de seguridad vial usada para minimizar las cifras de siniestralidad vial fueron las huellas sonoras o guías sonoras como son llamadas en este país

El primer tramo de prueba se construyó en la vía A-375 que conecta las localidades de Utrera (Sevilla) y Puerto Serrano (Cádiz) siendo esta una de las 300 carreteras más peligrosas del país debido a los excesos de velocidad y la alta tasa de vehículos que la transcurren dejando en el 2015 la muerte de 971 personas de las cuales 451 fueron por salidas de vía o colisiones frontales. (Mundo, 2017)

Por otra parte según datos de la DGT (2017) asegura: “Que las carreteras convencionales existen el 25% de los fallecidos por accidente de tráfico del tipo COLISIONES FRONTALES. En el mismo tipo de carreteras, el 41% de los fallecidos se debió a accidentes por SALIDAS DE CARRETERA”.

Por tal motivo las guías sonoras siendo especialmente diseñadas y construidas para evitar la salida de las vías, choque frontales y choque por microsueños eran la mejor medida para reducir esta siniestralidad presentada logrando mejorar las condiciones de seguridad vial del país. Esta metodología de seguridad está estipulada por la Dirección General de Tráfico (2017) y por lo cual define que:

Una Guía Sonora dispuesta en sentido longitudinal de la vía se constituye por una serie de elementos fresados destinados a alertar (por medio de vibración y sonido), a los conductores que sufren una distracción, de que su vehículo se está desviando de la trayectoria del carril. Las Guías Sonoras pueden disponerse bien en el eje o bien en el borde, coincidiendo con las marcas viales correspondientes o retranqueadas lateralmente.

En el caso de la Guía Sonora en eje, en función del tipo de marca vial, se podrá disponer sobre la propia marca simple, sobre la marca doble, entre sendas marcas de borde izquierdo de cada sentido (cuando exista mediana con delimitación por marcas viales), o sobre el propio carril retranqueada hacia la derecha. En el caso de la Guía Sonora en borde derecho, ésta puede disponerse bien sobre la propia marca de borde de carril, en el propio arcén con el retranqueo lateral correspondiente o en el propio carril con el retranqueo lateral correspondiente. (P.3)



Figura 24. Guías sonoras. Fuente: (<http://www.samop.es/servicios/creacion-de-huellas-sonoras/>)

En el país se implementaron 3000 kilómetros de guías sonoras entre Madrid, Murcia, Castilla y León.

6.2.1.1 Diseño. La Dirección General de Transito DGT (2017) especifica que:

La vibración, el sonido interior y el sonido exterior son dependientes de las dimensiones del fresado de la Guía Sonora sobre el firme (largo, ancho, profundo, equiespaciado). La vibración del vehículo depende directamente de la profundidad de fresado, mientras que el sonido interior y exterior dependen de la combinación del resto de variables. (P.9)

Como norma general, la DGT emplea la Guía Sonora con las siguientes dimensiones:

- | | | | |
|-----|------------------------|-----|------------------------|
| 9. | Profundidad: 1-1,3 cm. | 11. | Longitud: 20-30cm. |
| 10. | Ancho: 15-17cm. | 12. | Equiespaciado: 25-35cm |

Por otra parte la empresa de Servicios Integrales de Fresadoras-Barredoras y Reciclado para Obras Públicas FREPASA (2017) diseño sus propias medidas y especifica:

Mediante el uso de una fresadora especial junto con un implemento que programa la longitud, anchura, profundidad y forma de la huella en el firme de las carreteras, la huella se hacen a una predeterminada distancia del borde exterior de la línea que delimita el carril de circulación. (P.5)

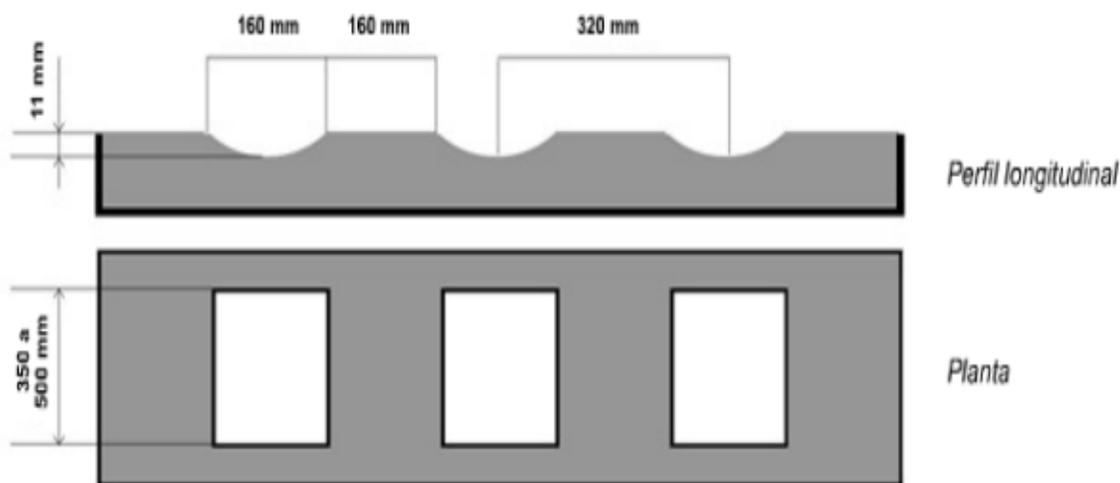


Figura 25. Dimensiones para las guías sonoras. Fuente: (https://www.obrasurbanas.es/images/pdf/eiffage_fresado.pdf)

6.2.1.2 Ventajas. Desacuerdo a lo anterior se puede evidenciar que las guías sonoras son de gran beneficio para la seguridad vial mejorando la calidad de vida de los conductores. En España ya se encuentran varias empresas trabajando en la construcción de las guías sonoras resaltando las grandes ventajas que traen, según la empresa TRITÓN (2017) sus ventajas son:

13. Seguridad Vial: Las huellas sonoras crean ruido y vibraciones dentro del vehículo que alertan al conductor de un cambio de carril o salida en la línea de borde.
14. Mejora la Visibilidad: Hacer la pintura dentro de la huella consigue que el haz de luz de los faros se refleja en la pared vertical consiguiendo una mayor visibilidad nocturna.
15. Rentabilidad: La instalación de huella sonora en Carreteras Secundarias evitaría 4 muertes y aproximadamente 200 heridas/año.
16. Climatología: Las huellas sonoras no se ven afectadas por ciclos de congelación / descongelación más que el pavimento circundante.

6.2.1.3 Desventajas. Después de realizada la construcción de las huellas o guías sonoras con el pasar del tiempo los conductores y residentes notaron ciertos inconvenientes los cuales son mínimos y pueden solucionarse sin problemas, Algunos de estas son:

1. El Ruido: Al momento de que los neumático pasan por sobre las guías sonoras producen un sonido distintivo y diferente al del trafico normal por tal motivo las huellas al estar cerca de zonas residenciales se convertirá en molesto el ruido emitido con el pasar del tiempo.
2. Bicicletas y motocicletas: Se presenta una duda por parte de los ciclistas y motociclistas ya que su llanta es de poco tamaño y puede ocasionar una inestabilidad al momento de pasar sobre ellas o querer atravesarla.

6.2.1.4 Normatividad. Al ser una construcción que altera las condiciones iniciales del pavimento ya construido se debe de establecer los parámetros para la realización correcta de la construcción garantizando una obra de calidad, cumpliendo con los requisitos y medidas establecidos en el diseño y velar por la seguridad de los conductores para que estas guías sonoras no seas perjudicales y alteren el tránsito. Esto se logra a través de una norma la cual cumpla la función de asegurar los lineamientos de seguridad, construcción, limitaciones, etc... y por lo cual las guías sonoras en España se rigen por la norma de ORDEN FOM/3053/2008, de 23 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción técnica para la instalación de reductores de velocidad y bandas transversales de alerta en carreteras de la red de carreteras del estado.

6.2.1.5 Señalización. Cabe resaltar que la señalización es fundamental para el correcto funcionamiento de las huellas sonoras ya que estas permiten advertir al conductor que tramos de vía llevaran esta medida así lograr una prevención en el caso de que las huellas sonoras se encuentren en el eje central de la vía y un conductor quiera adelantar el carril evitando, inconvenientes de estabilidad y posibles caídas.

Según la Sub. Gral de Operaciones y Movilidad (2017): “El usuario debe conocer la implementación de las huellas sonoras en la vía que transita, y así mismo que sea consiente del origen de posible ruido y vibración en el interior del vehículo, se recomienda la instalación de carteles informativos”



Figuras 26, 27, 28. Guías sonoras en eje. Fuente:

(file:///E:/DOCUMENTS%20AND%20SETTINGS/USER%20PC/Downloads/18_TV_102_guias_sonoras_longitudinales_fresadas.pdf)

6.2.2 Estados Unidos. Con el fin de aumentar la seguridad en carreteras, la Administración Federal de Carreteras (FHWA) desarrollo un plan estratégico enfocado en la reducción de accidentes causados por choques frontales o salida de la vía. Por tal motivo se optó por la construcción de Huellas sonoras o Rumble Strips como son conocidas en el país.

Rumble Strips son protuberancias o ranuras, estandarizadas, construidas en el pavimento, el eje o el arcén de la carretera. Debido a que tienen una textura diferente que el resto de la superficie de la carretera, las Guías de sonido producen un ruido repentino cuando los vehículos pasan sobre ellas. Además del ruido, también se genera vibración en el vehículo. (FHWA, 2011)

Y según el Departamento de Transporte del estado de Washington [WSDOT] (2002) las Rumble Strips son: “Surcos o protuberancias que marcan el pavimento perpendicularmente al eje de las carreteras, en el borde o la línea central, y sirven para alertar a los conductores desatentos y dar instrucciones a los conductores”.

En los últimos años en el país se ha registrado una alta tasa de siniestralidad vial cobrando la vida de miles de personal al año siendo esta una situación alarmante para los entes encargados de la seguridad vial del país como lo es la NHTSA (Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en Carreteras). De acuerdo con la entrevista realizada por la revista HOY a la entidad mencionada anteriormente el reportero Konan (2019) menciona. “Desacuerdo a información de la NHTSA el año pasado se ubica como el tercero más mortífero de la década en las carreteras de Estados Unidos” refiriéndose al año 2018.

Tabla 7.
Accidentes fatales de vehículos automotores.

Fecha de bloqueo (año)	Fecha de bloqueo (mes)					
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
2014	2168	1893	2245	2308	2596	2583
2015	2371	1983	2401	2439	2869	2790
2016	2354	2426	2694	2713	3005	3025
2017	2625	2312	2689	2770	2915	3237
2018	2626	2315	2610	2559	2965	3045
Total	12144	10929	12,639	12789	14350	15024

Fuente: (<https://cdan.dot.gov/SASStoredProcess/guest>)

Tabla 8.
Accidentes fatales de vehículos automotores.

Fecha de bloqueo (año)	Fecha de bloqueo (mes)					
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2014	2696	2800	2618	2831	2714	2604
2015	3021	3049	2904	3070	2780	2861
2016	3025	3134	3154	3287	3041	2890
2017	3237	2990	3108	3107	2903	2872
2018	3045	2986	3022	3081	2743	2683
Total	15024	14959	14806	15376	14181	13910

Fuente: (<https://cdan.dot.gov/SASStoredProcess/guest>)

Como se observa en la tabla 1 y 2 la tasa de siniestralidad es muy elevada cobrando la vida de 65.248 personas en tan solo 5 años, siendo el mal comportamiento de los conductores el mayor factor de causa de la accidentalidad provocando choques frontales, salida de vía, micro sueños, inestabilidad, etc... Motivo el cual crea el informe NCHRP 641: Guía para el diseño y la aplicación de las Rumble Strips laterales y de línea central que contiene la información más actualizada sobre las Rumble Strips y su efectividad buscando mejorar las condiciones de seguridad vial.

6.2.2.1 Diseño. El informe NCHRP 641 establece los parámetros para una correcta construcción de las Rumble Strips señalando su propósito, sus impactos, la dinámica de vehículos, problemas en rendimiento de los vehículos, evalúa el alcance y su diseño siendo una guía completa para la correcta construcción teniendo en cuenta todos los factores que influyen tanto al medio ambiente como a los conductores.

Para el diseño la NCHRP 641 (2009) propone:

1. Dimensiones de las Rumble Strips lateral:

Primero, se utilizan las dimensiones más comunes de las tiras estriadas de hombro fresadas en todo Estados Unidos son:

- | | |
|-------------------------------|---|
| 1. Longitud: 16 in. (406 mm). | 3. Profundidad: 0.5 - 0.625 in. (13 - 16 mm). |
| 2. Ancho: 7 in. (178 mm). | 4. Espaciado: 12 in. (305 mm). |

Segundo, hay consenso de que un patrón de franjas estriadas fresadas con las siguientes dimensiones proporciona un compromiso razonable entre las necesidades de ciclistas y automovilistas (es decir, banda de retumbar tolerable en bicicleta modelo):

- | | |
|-----------------------------|--|
| 5. Longitud: 6 in. (152mm). | 7. Profundidad: 0.375 in. (10 mm). |
| 6. Ancho: 5 in. (127 mm). | - Espaciado: 11 a 12 in. (280 a 305 mm). |
8. Dimensiones de las Rumble Strips central: Las siguientes son las dimensiones más comunes de las tiras estriadas de línea central fresadas que se utilizan en toda América del Norte:
- | | |
|---|-----------------------------------|
| 9. Longitud: 12 - 16 in. (305 a 406mm). | 11. Profundidad: 0.5 in. (13 mm). |
| 10. Ancho: 7 in. (178 mm). | 12. Espaciado: 12 in. (305 mm). |

6.2.2.2 Ruido. Este factor tiene un gran impacto a la hora del diseño de la Rumble Strips ya que según la literatura y el informe NCHRP 641 (2009) indican que. "Como mínimo deben de estar diseñadas para generar estar diseñadas para generar niveles de sonido 3 dBA por encima del sonido ambiental del vehículo y no debe generar niveles de sonido superiores a 15 dBA por arriba del sonido ambiental". El ruido se debe ser controlado de manera correcta para evitar problemas que puedan alterar el medio ambiente o afectar a las residencias cercanas.

6.2.2.3 Resultados. Tras haber investigado, formulado encuestas, recolección de información en campo en el informe indican que las Rumble Strips lograron una reducción significativa en la tasa de mortalidad en las zonas donde fue instalada. Las estadías obtenidas por el informe NCHRP 641 (2009) fueron las siguientes:

13. Las Rumble Strips laterales (según los resultados de esta investigación): 11 por ciento de reducción en accidentes SVROR (SE = 6) y Reducción del 16 por ciento en los accidentes de SVROR FI (SE = 8).

14.

Caminos rurales de dos carriles: 15 por ciento de reducción en accidentes SVROR (SE = 7) y reducción del 29 por ciento en los accidentes de SVROR FI (SE = 9).

15. Las Rumble Strips central (según los resultados de esta investigación): Reducción del 40 por ciento en los choques objetivo de TOT (SE = 17) y reducción del 64 por ciento en los choques objetivo de FI (SE = 27).
16. Caminos rurales de dos carriles: 9 por ciento de reducción en accidentes TOT (SE = 2), reducción del 12 por ciento en accidentes de FI (SE = 3), reducción del 30 por ciento en los accidentes de destino TOT (SE = 5), 44 por ciento de reducción en los choques objetivo de FI (SE = 6) (basado en los resultados de esta investigación).

Al encontrar que las Rumble Strips reducen significativamente la tasa de accidentalidad producidas por choques se extendió su construcción en varios estados del país en autopistas y carreteras rurales principalmente se han implementado en diferentes estados del país y en cada uno de ellos arroja resultados prometedores.

Tabla 9.

Resumen de los beneficios de seguridad atribuidos a la instalación de Rumble Strips laterales.

Estado / ubicación	Tipo de instalación	Tipo de colisiones dirigido	Porcentaje de disminución (-) o porcentaje aumento (+) en la colisión objetivo frecuencia de aplicación de Rumble Strips para los laterales (estándar desviación)
Arizona (16)	Interestatal	SVROR	-80%
California (17)	Interestatal	SVROR	-49%
Connecticut (18)	Acceso limitado caminos	SVROR total	-32%
Florida (16)		Objetivo fijo Entro al agua	-41%
			31%

		SVROR (total)	-18%
	Autopistas	SVROR (lesión)	-13%
Illinois and California (1)		SVROR (total)	-21,10%
	Autopistas rurales	SVROR (lesión)	d-7,30%
Kansas (19)	Autopistas	SVROR	-34%
Maine (20)	Autopistas rurales	Total	Poco concluyente
Massachusetts (19)		SVROR	-42%
Michigan (21)		SVROR	-39%
		Total	-16%
		Lesión	-17%
	Carril rural múltiple	SVROR (total)	-10%
		SVROR (lesión)	-22%
Minnesota (3)		Total	-21%
		Lesión	-26%
	Carreteras divididas	SVROR (total)	-22%
		SVROR (lesión)	-51%
Minnesota (2)	Rural de dos carriles carreteras	SVROR (total)	-13%
		SVROR (lesión)	-18%
Montana (22)	Interestatal y carreteras primarias	SVROR	-14%

New Jersey (19)		SVROR		-34%
New York (23)	Interestatal	SVROR		-65% a 70%
Pennsylvania (24)	Interestatal	SVROR		-60%
Tennessee (25)	Interestatal	SVROR		-31%
Utah (26)	Interestatal	SVROR Total	-27%	33%
Virginia (27)	Autopistas rurales	SVROR		-52%
Washington (15)		Total		-18%
Multistate (16)	Autopistas rurales	SVROR		-20%

Fuente: (http://www.cmfclearinghouse.org/studydocs/nchrp_rpt_641-GuidanceRumbleStrips.pdf)

Tabla 10.

Resumen de los beneficios de seguridad atribuidos a la instalación de franjas estruendosas centrales.

Estado / ubicación	Tipo de instalación	Tipo de colisiones dirigido	Porcentaje de disminución (-) o porcentaje aumento (+) en la colisión objetivo frecuencia de aplicación de Rumble Strips para los laterales (estándar desviación)
California (29)	Carretera rural de dos carriles	De frente (total)	-42%
		De frente (fatal)	-90%
Colorado (30)	Carretera rural de dos carriles	De frente	-34%
		De lado	-35,50%
Delaware (31)	Carretera rural de dos carriles	De frente	-95%
		Condujo a la izquierda del centro	-60%
		PDO	+13%
		Lesión	+4%

		Fatal	N/A
		Total	-8%
Minnesota (33)	Carretera rural de dos carriles	Total	-42%
		Total (fatal y heridas graves)	-73%
Missouri (34)	Carretera rural de dos carriles	Total	-60%
Nebraska (35)	Carretera rural de dos carriles	Cruces de accidentes	-64%
Oregón (36)	Carretera rural de dos carriles	Cruces de accidentes	-70%
		carreteras	-80%
Multistate (4)	Carretera rural de dos carriles	Total	-14%
		Lesión	-15%

Fuente: (http://www.cmfclearinghouse.org/studydocs/nchrp_rpt_641-GuidanceRumbleStrips.pdf)

6.2.3 Puerto Rico. Al igual que en Estados Unidos en Puerto Rico se presenta una alta incidencia en choques frontales, en el 2013 fueron atribuidas 32.719 fatalidades a choques vehiculares y casi 10.000 por colisiones frontales. Según un estudio realizado por Rivera (2016) menciona lo siguiente:

Las carreteras rurales de dos carriles en ambas direcciones son las de más alta incidencia de choques fatales y con heridos en Puerto Rico. En el 2013, el 54% de las fatalidades en Estados Unidos y Puerto Rico ocurrieron en carreteras rurales. Una modalidad de estos choques envuelve un solo vehículo que pierde el control y sale fuera del borde de la carretera. En el caso de Puerto Rico, esta cifra de choques de naturaleza fatal asciende al 41%. Donde El 60% de todas las colisiones fatales ocurren en las carreteras rurales y el 90% de estas colisiones suceden en carreteras de dos carriles, en ambas direcciones (P.3)

Por tal motivo el senado de Puerto Rico por medio de la R.C del S.358 del 21 de febrero del 2019 Se ordena a la Autoridad de Carreteras y Transportación de Puerto Rico (ACT), a instalar las bandas sonoras en las principales autopistas y alta tasa de accidentalidad.

Inicialmente la iniciativa comenzó instalando las bandas sonoras o “Rumble Strips” en el lateral del carril derecho de las principales avenidas y expresos, y posteriormente la Resolución Conjunta 30-2012 ordenó a la ACT a instalar las bandas sonoras o “Rumble Strips” en el lateral del carril izquierdo. Ello porque en aquellas vías públicas en donde

existan dos (2) o más carriles para transitar en la misma dirección, es ilegal transitar por el carril izquierdo a una velocidad menor del límite máximo establecido en la vía pública, excepto cuando es necesario reducir la misma por razones de seguridad, por lo que se entendió favorable que el recurso de las bandas sonoras o “Rumble Strips” se estableciera tanto en los paseos como en los carriles izquierdos. (R.C del S.358, 2019)

La carretera estatal PR-114 fue la primera en donde se implementaron las huellas sonoras entre carriles con una longitud construida de 7 Km. Para su diseño y construcción la ACT se basó en el diseño implementado por la Administración Federal de Carreteras (FHWA, por sus siglas en inglés), además ya que en 46 de los 50 Estados de EE.UU construyeron las huellas sonoras bajo esta norma.



Fig 8. a. Rótulo de Límite de Velocidad Vandalizados en la PR-114; b. Puente Estrecha hacia este en Km.



Figura 29. Sección de la Carretera PR-114. Fuente: (<http://prltap.org/eng/wp-content/uploads/2016/04/Evaluaci%C3%B3n-de-la-Efectividad-de-Huellas-Sonoras-entre-Carriles-en-las-V%C3%ADas-Rurales-en-Puerto-Rico.pdf>)

6.2.3.1 Diseño. Para la construcción de las huellas sonoras los Estados al basarse en la el los parámetros de la FHWA donde se establecen rangos de dimensionamiento, cada Estado ajustaba las medidas a su comodidad y diseño sin salirse de los lineamientos por tal motivo y como lo menciona Rivera (2016):

En una comparación realizada en 35 Estados, incluyendo Puerto Rico, el ancho más común de la huella es 17.78 centímetros de ancho. La longitud más común es 30.98 centímetros requeridos por el 37% de los Estados y Puerto Rico, seguido de cerca por 40.64 centímetros requeridos por el 29% estado en estado comparando sus dimisiones y diseños se determinó que las dimensiones más usadas fueron: 30.48 centímetros de separación entre huella, 60.96 centímetros de espacio seguido, 91.44 centímetros de distancia y se encontró que en 22 Estados tenían requisitos mínimos de límites de velocidades para la aplicación de CLRS, los cuales van entre 56 y 89 kph. El más común es 72 kph seguido de 80 kph. (Rivera, 2016)

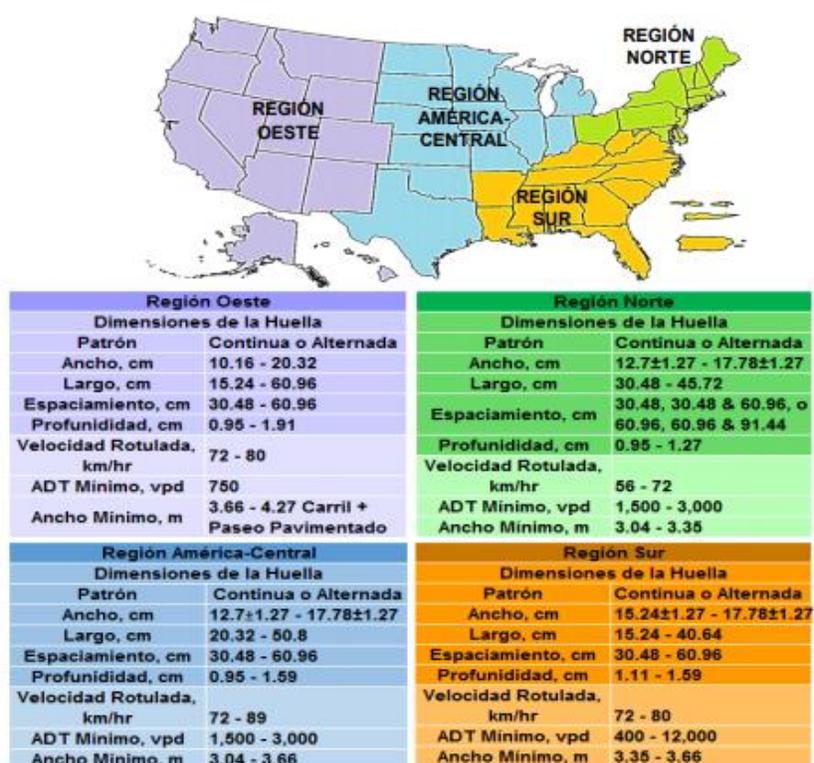


Figura 30. Estándares de las huellas sonoras. Fuente: (<http://prltap.org/eng/wp-content/uploads/2016/04/Evaluaci%C3%B3n-de-la-Efectividad-de-Huellas-Sonoras-entre-Carriles-en-las-V%C3%ADas-Rurales-en-Puerto-Rico.pdf>)

6.2.3.2 Resultados. En el estudio realizado por Rivera (2016) sobre la evaluación de la efectividad de huellas sonoras entre carriles en las vías rurales en puerto rico donde se estudia la efectividad del as huellas sonoras en el PR-114 arrojo que:

Aunque la instalación de las huellas sonoras como medida de seguridad se produjo hace menos de dos años se ha visto una reducción de choques totales y fatales en dicha carretera. Es posible que la instalación de las huellas no sean completamente responsables por esta reducción, también puede deberse a otros factores pero se puede concluir que ha habido una reducción desde el 2007. Las estadísticas de choques totales y fatales se presentan en la figura 31.

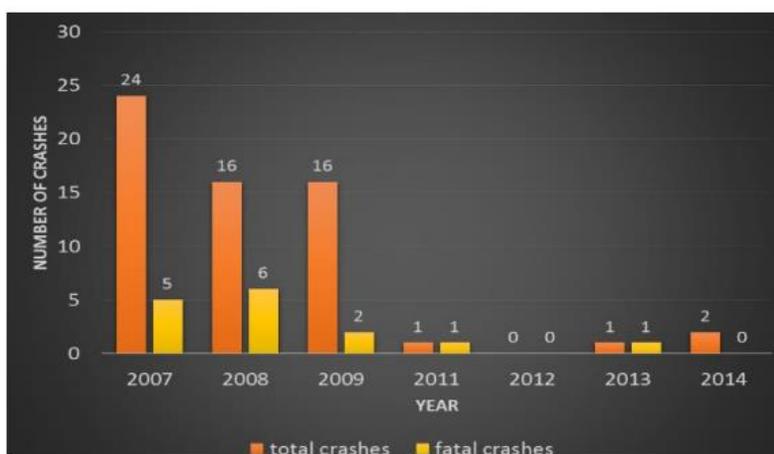


Figura 31. Estadística de choques fatales y totales PR-114. Fuente: Reporte de choques de la Policía Regional de Mayagüez

6.2.4 Costa Rica. En el país surgió la misma preocupación frente a las altas tasas de siniestralidad vial en donde el 2018 se produjeron un total de 445 muertes en sitio por accidentes de tránsito. 100 de estos decesos ocurrieron por invasión al carril contrario, es decir, cerca del 23% del total, mientras que 66 de las muertes se produjeron por la salida de la vía de vehículos (cerca del 15%). “Al mes de agosto de 2019 el número de fallecidos por accidentes de tránsito alcanzó las 265 personas, con porcentajes similares en sus causas: 21% por invasión al carril contrario y 13% por salida de la vía”. (COSEVI, 2020)

Con el fin de reducir estas cifras varios ingenieros civiles del país optaron por investigar acerca de las mejor medidas de seguridad vial, en donde optaron por enfocarse e investigar las huellas sonoras logrando mitigar los accidentes por choques e invasión de carril.

Los ingenieros Guerrero, Sequeira, Zamora y Oviedo (2020) determinan que las huellas sonoras son o bandas sonoras como se les conoce en el país son:

Son ranuras o corrugaciones conformadas en la capa de ruedo de la estructura del pavimento, de manera tal que cuando los neumáticos de un vehículo entren en contacto con éstas, produzcan vibración y sonido. El ruido y la vibración producida por las bandas sonoras (BS) permite alertar al conductor sobre una inminente salida del espacio físico donde transita, o da un aviso sobre un cambio en la geometría de la vía más adelante y su aplicación en los laterales y centro de las vías cumpliendo el objetivo ya mencionado anteriormente.

6.2.4.1 Diseño. Para el diseño de las bandas sonoras los ingenieros mencionados anteriormente determinaron las siguientes dimensiones en donde:

A): Distancia entre el borde de la calzada y el borde interior de las BS.

B): Dimensión del largo de las BS.

C): Dimensión del ancho de las BS.

D): Profundidad de la ranura medida desde la parte superior de la superficie del pavimento hasta la parte inferior del corte.

E): Espaciamiento medido entre los centros de las BS.

F): Distancia entre los grupos de patrones de las BS.

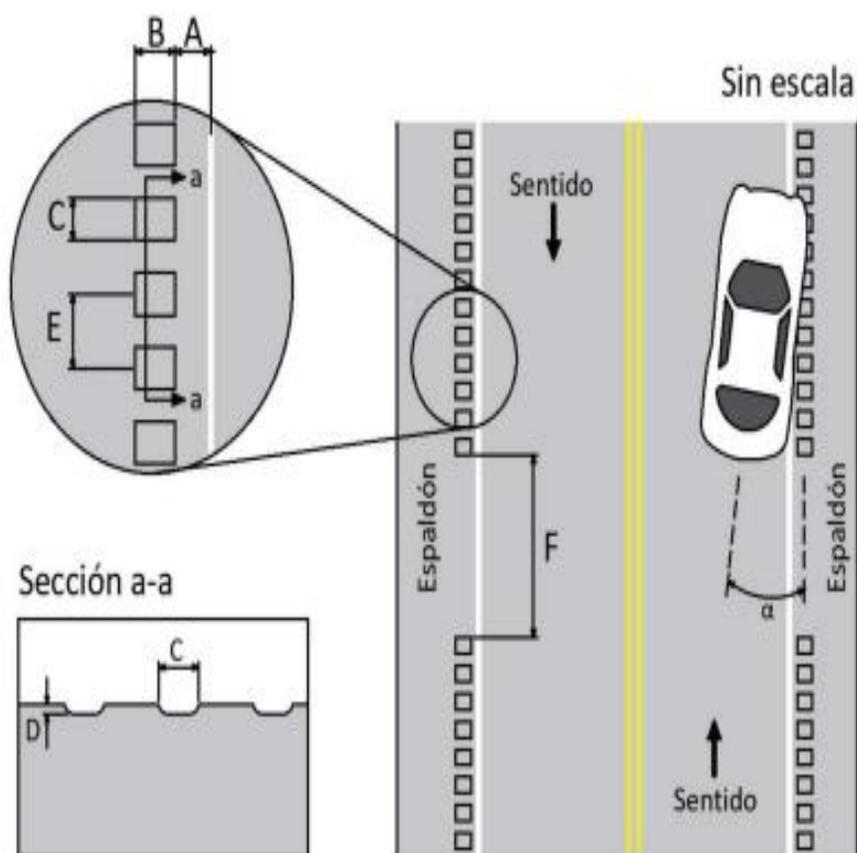


Figura 32. Parámetros de diseños. Fuente:

(https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/2064/rumble_strips)

Tabla 11

Medidas sugeridas para el diseño de bandas sonoras.

Parámetro de diseño	Medidas sugeridas para el diseño de bandas sonoras	
	BS fresado en espaldón	BS fresado en centro a

A): Distancia entre el borde de la calzada y el borde interior de la BS	0 - 200 mm	No aplica
B): Dimensión del largo BS	300 mm 500 mm (Vehículos pesados)	400 - 300 mm
C): Dimensión del ancho BS	178 mm	150 mm - 200 mm
D): Profundidad de la ranura	13 mm	13mm - 16 mm
E): Distancia entre centros de las BS	300 mm	300 mm
F): Distancia entre los grupos de patrones BS	Cada 4 m con un patrón de 12 bandas sonoras	-

Fuente: (https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/2064/rumble_strips)

Cabe resaltar que el en país no se ha implantado esta medida de seguridad vial.

6.3 Costos de las huellas sonoras

Debido a que en Colombia no se ha implementado esta medida de seguridad vial no se cuenta con registro que indiquen el costo verdadero, sin embargo, en los país en donde ya se encuentra construida sus precios fueron los siguientes:

En Estados Unidos se ha estimado que los precios unitarios oscilan entre \$ 0,10 y \$ 1,20 por pie lineal (alrededor de \$ 500 a \$ 6000 por milla). En general, los contratos donde la instalación de la banda sonora es el elemento principal son más bajos en costo unitario que otros contratos. (FHWA, 2011)

Adicionalmente en el Departamento de Transporte de Pensilvania, (2015): “Estimó un costo promedio de \$1 267 por milla (\$787 por kilómetro) para una sola línea de bandas sonoras y \$3 800 por milla (\$2 361 por kilómetro)”.

En Costa Rica debido a que no cuenta con un registro de costos de este tratamiento, estiman costos basados en experiencias de países los cuales fueron de \$0,33 y \$3,94 por metro línea o el equivalente a un rango de entre \$311 a \$3 728 por kilómetro. (Rojas, 2020)

Por otro lado un estudio realizado en Brasil acerca del uso de huellas sonoras Gómez (2004) concluyo lo siguiente:

Guías de sonido (realizadas por Paulifresa Company - Brasil) Empresa Paulifresa Fresagem e Reciclagem Ltda., En su lista de precios, ofertas o servicio de implantación del dispositivo por R \$ 4.000,00 / km, en valores de julio de 2003. Transforme este valor en dólares, o costo de US \$ 1.398 60 / km.

CAPÍTULO V

Resultados y Conclusiones

La seguridad vial es fundamental en el desarrollo de un país por lo tanto cada uno de ellos implementa medidas y desarrolla estrategias las cuales puedan reducir las tasas de accidentalidad y garantizar el bienestar de los conductores. Por tal motivo se plantea la construcción de las huellas sonoras en Colombia para mitigar estas cifras de siniestralidad y mejorar la seguridad vial ya que en el país son realmente altas cada año.

Desacuerdo a la información obtenida en la anterior investigación acerca del uso, diseño, construcción, ventajas y costos de las huellas sonoras se pudo evidenciar que las Huellas Sonoras cumplen con su función y lograron una reducción significativa en la tasa de siniestralidad en las vías en donde se implementaron, mejorando las condiciones de seguridad de la zona controlando las velocidades y maniobras de adelantamiento producidas por los conductores. Según los resultados la iniciativa puede reducir los accidentes entre un 29 y un 67% y sus costos a largo plazo serán beneficiosos.

Las estadísticas acerca de la efectividad de las huellas en los países estudiados demostraron una reducción significativa de accidentes producidos por choques indicando que las Huellas Sonoras si son efectivas y seguras para ser implementadas en vías de Colombia donde se presenten numerosos accidentes de este tipo. Colombia siendo un país en desarrollo con la implementación de las huellas en sus vías primarias y secundarias que las requieran podrían mejorar las condiciones de seguridad para los conductores así mismo incentivar a los conductores a una correcta conducción logrando que cumplan con las reglas viales establecidas en las normas.

Sin embargo Colombia siendo un país de tercer nivel se encuentra con diversos factores que podrían afectar esta iniciativa como lo es la falta de cultura vial ya que si no se cumple con la velocidad máxima establecida para circular las zonas que implementen las huellas sonoras podrán ocasionar caídas por pérdida de equilibrio; por lo tanto se debe de instalar la correcta señalización siendo visible y de fácil entendimiento para los conductores.

La investigación queda con algunos interrogantes con respecto a las dimensiones adecuadas, el ruido - vibración que emiten y su verdadero costo. Por lo que se plantea dejar la investigación abierta para continuar su exploración y resolver todas las dudas e inquietudes realizando tramos de prueba en donde se construyan Huellas Sonoras con diferentes dimensiones para estudiar su efecto e impacto.

Adicionalmente según resultados obtenido por la encuesta aplicada a conductores revelo que el 35% de ellas ha presentado micro sueños siendo una cifra alta donde generando preocupación por la alta tasa de accidentes que se pueden ocasionar por este tipo. Además un 70% mencionan y consideran que si es necesaria la aplicación de una medida de seguridad vial estando de acuerdo con la utilización de las huellas Sonoras en Colombia

Recomendaciones

Para la correcta aplicación de las huellas sonoras en Colombia se recomiendan tener en cuenta los siguientes aspectos para determinar un buen diseño y funcionalidad.

Como se evidencia en el CAPITULO IV, las huellas sonoras pueden ser ubicadas en los ejes laterales y centrales de la vía cumpliendo la misma función de alertar al conductor cuando se sale de su carril de circulación por medio de la vibración y sonido emitidos por las huellas, sin embargo, las huellas laterales previenen los accidentes por salida de vía a causas de micro sueños, exceso de velocidad o descuidos de los conductores y las huellas centrales previenen principalmente colisiones frontales ocasionadas por adelantamientos imprudentes y excesos de velocidad.

Se debe realizar un estudio con un tramo de prueba donde se pueda evidenciar la eficacia de estas priorizando la del eje central ya que no se tienen estudios concretos del efecto que causa en las motocicletas; Medios locales de los países que las implementan afirman que no tienen efecto alguno y permiten la circulación normal para toda clase de vehículos.

Anteriormente del estudio en el tramo de prueba, se deberá encontrar las medidas adecuadas para la implementación de las Huellas Sonoras en Colombia teniendo en cuenta la calidad, ancho, velocidades, ruido máximo permitido en las vías. En los países estudiados las medidas varían entre los mismos rangos de diseño y señalan que el ruido que se produce depende de la profundidad de la huella.

Por lo tanto se recomienda diseñar tramos de pruebas con diferentes dimensiones en su diseño logrando analizar el comportamiento de los vehículos al contacto con las Huellas Sonoras y según los resultados definir las medidas adecuadas para las vías en Colombia.

Por parte del ruido emitido al contacto de las huellas con el neumático del vehículo se debe garantizar que se produzcan los dBA establecidos por las normas ambientales de control del impacto del efecto que produce el ruido en el medio ambiente y el permitido para no afectar la salud auditiva de los conductores. Se analizará el comportamiento neumático / profundidad de huella para establecer la depresión adecuada para cada proyecto. En Estados Unidos se recomienda construir las Huellas Sonoras alejadas de los sitios de residencia para no afectar su entorno.

En vías con alta circulación de ciclistas es necesario que el dimensionamiento de las huellas sonoras sea de menores dimensiones teniendo en cuenta el tamaño reducido de las llantas de las bicicletas. Igualmente estudiar el comportamiento del tamaño de la llanta en relación al área de las huellas sonoras.

Los aspectos a considerar para seleccionar las dimensiones de la Guía Sonora son los siguientes:

1. Tipo de tráfico (pesado, semipesado y liviano).
2. Presencia de zonas residenciales.

3. Estado de la capa de rodadura.
4. Dimensiones de la berma.
5. Presencia de ciclistas.

Otro aspecto a tener en cuenta en la instalación de las Huellas Sonoras en las vías es: No se deberán ubicar las huellas en sitios donde interfieran el tránsito normal de los vehículos omitiendo la construcción de las Huellas Sonoras en zonas de retornos, glorietas, intersecciones, etc...

Para finalizar si se realizan los estudios mencionados anteriormente en tramos de prueba se conseguirá comprobar lo ya mencionado, determinando las dimensiones apropiadas para su uso en las vías de Colombia que cuenten con mayor incidencia de choques. Todo esto con el fin de obtener pruebas sólidas que respalden las Huellas Sonoras y permitir que sean implementadas en las normas de seguridad vial del país.

CAPÍTULO VI

Referencias

ASSTHO. (2011). *POLITICA SOBRE DISEÑO GEOMETRICO DE CAMINOS Y CALLES*.

Ministero de Transporte. (06 de 12 de 2013). *Decreto 2851*. Colombia.

Agencia Nacional de Seguridad Vial . (20 de 10 de 2015). *Observatorio Nacional de Seguridad Vial*.

Obtenido de Agencia Nacional de Seguridad Vial :

<https://ansv.gov.co/observatorio/public/documentos/Panorama%20General%20Colombia%20a%20Sep%202015p.pub.pdf>

Agencia Nacional de Seguridad Vial. (2016). *Observatorio Nacional de Seguridad Vial*. Obtenido de Agencia Nacional de Seguridad Vial:

<https://ansv.gov.co/observatorio/public/documentos/Anual%202016p%20Colombia.pdf>

Agencia Nacional de Seguridad Vial. (20 de 10 de 2017). *Observatorio Nacional de Seguridad Nacional*.

Obtenido de Agencia Nacional de Seguridad Nacional:

<https://ansv.gov.co/observatorio/public/documentos/02.Panorama%20General%20Colombia%20Ene%20a%20Sep%202017p.pdf>

Agencia Nacional de Seguridad Vial. (01 de 2019). *Observatorio Nacional de Seguridad vial*. Obtenido de Agencia Nacional de Seguridad Vial:

https://ansv.gov.co/observatorio/public/documentos/boletin_mensual_nacional_diciembre.pdf

Agencia Nacional de Seguridad Vial. (2020). *Observatorio Nacional de Seguridad Vial*. Obtenido de Agencia Nacional de Seguridad Vial:

https://ansv.gov.co/observatorio/public/documentos/boletin_mensual_nacional_diciembre2019.pdf

Agencia Nacional de Seguridad Vial. (2020). *Observatorio Nacional de Seguridad Vial*. Obtenido de Agencia Nacional de Seguridad Vial:

https://ansv.gov.co/observatorio/public/documentos/boletin_mensual_nacional_marzo_2020.pdf

COSEVI. (4 de 2020). «*Estadísticas de muertos en sitio provisionales en accidentes de tránsito 2018-Agosto 2019*».

Cultura vial . (11 de 05 de 26). *seguridad vial* . Obtenido de Cultura vial :

<http://culturavial.com/2011/05/26/que-es-seguridad-vial/>

DGT. (11 de 1 de 2017). *PREGUNTAS FRECUENTES*. Obtenido de http://www.dgt.es/Galerias/el-trafico/FAQ_rumble_strip_DGT.PDF

Eiffage Infraestructuras . (s.f.). *SERVICIOS INTEGRALES DE*. Obtenido de Frepasa Eiffage Infraestructuras : https://www.obrasurbanas.es/images/pdf/eiffage_fresado.pdf

Federal Highway Administration. (7 de 11 de 2011). *Rumble Strips and Rumble Stripes*. Obtenido de Safety : https://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/pavement/rumble_strips/

Federal highway Administration. (22 de 06 de 2016). *Rumble Strips and Rumble Stripes*. Obtenido de Safety : https://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/pavement/rumble_strips/pavement-and-maintenance.cfm#

FHWA, F. H. (8 de 2 de 2011). *Rumble Stips*. Obtenido de

https://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/pavement/rumble_strips/cmrumblestrips/

FREPASA. (2017). *ObrasUrbanas*. Obtenido de

https://www.obrasurbanas.es/images/pdf/eiffage_fresado.pdf

Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses. (09 de 2007). *FACTORES INCIDENTES EN LA ACCIDENTALIDAD VIAL: CANSANCIO Y*. Obtenido de Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses:

<https://www.medicinalegal.gov.co/documents/20143/57929/Factores+incidentes+en+la+accidentalidad+vial.+cansancio+y+tendencia+a+accidentarse..pdf>

Instituto Nacional de Vias- INVIAS. (06 de 07 de 2002). Ley 769 . Colombia . Obtenido de invias.gov.co:

<https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/500-ley-769-06-08-2002>

- Konan, E. (20 de 6 de 2019). *HOY*. Obtenido de <https://www.hoylosangeles.com/vidayestilo/autos/hoyla-aut-el-2018-siguio-siendo-un-ano-mortifero-en-las-carreteras-de-los-estados-unidos-20190620-story.html>
- Ministerio de Transporte . (2015). *Manual de Señalización Vial* . Obtenido de MinTransporte : <https://www.mintransporte.gov.co/documentos/29/manuales-de-senalizacion-vial/>
- Ministerio de Transporte. (2015). *Plan de seguridad vial*. Obtenido de <https://ansv.gov.co/public/documentos/PLAN%20NACIONAL%20DE%20SEGURIDAD%20VIAL.copressed.pdf>
- Mundo, E. (30 de 01 de 2017). Las carreteras llevarán bandas sonoras en la señalización central.
- Norza C., E. H. (2014). Componentes descriptivos y explicativos de la accidentalidad vial en Colombia: incidencia del factor humano. *Revista Criminalidad*, 56 (1): 157-187. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-31082014000100009
- Organizacion Mundial de la Salud. (7 de 12 de 2018). *Accidentes de Transito*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>
- Regimen Legal de Bogota D.C. (30 de 12 de 2011). DIARIO OFICIAL. *LEY 1503* . BOGOTA, COLOMBIA: SECRETARIA JURIDICA DISTRITAL.
- Rico, G. d. (21 de 2 de 2019). *R. C. del S. 358*. Obtenido de <https://www.senado.pr.gov/Legislations/rcs0358-19.pdf>
- Rivera. (4 de 2016). *EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE HUELLAS SONORAS ENTRE CARRILES EN*. Obtenido de <http://prltap.org/eng/wp-content/uploads/2016/04/Evaluaci%C3%B3n-de-la-Efectividad-de-Huellas-Sonoras-entre-Carriles-en-las-V%C3%ADas-Rurales-en-Puerto-Rico.pdf>
- Rojas, J. y. (4 de 2020). *Bandas Sonoras (Rumble Strips)*. Obtenido de https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/2064/rumble_strips-bandas_sonoras.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- TRITON. (2017). *Huella Sonora*. Obtenido de http://www.grupotriton.es/sv_huella.html

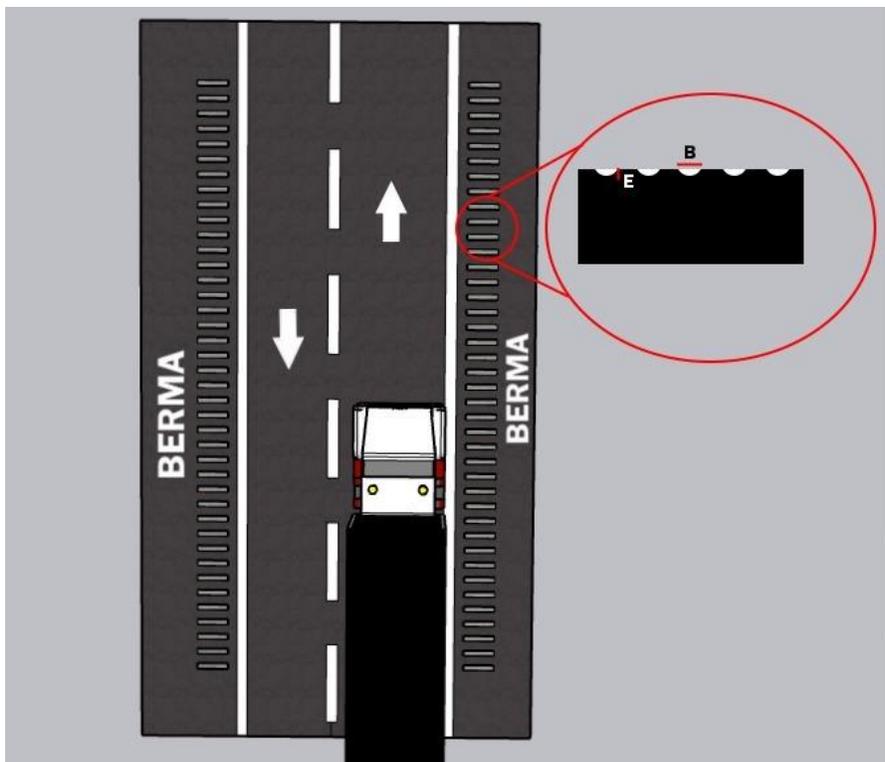
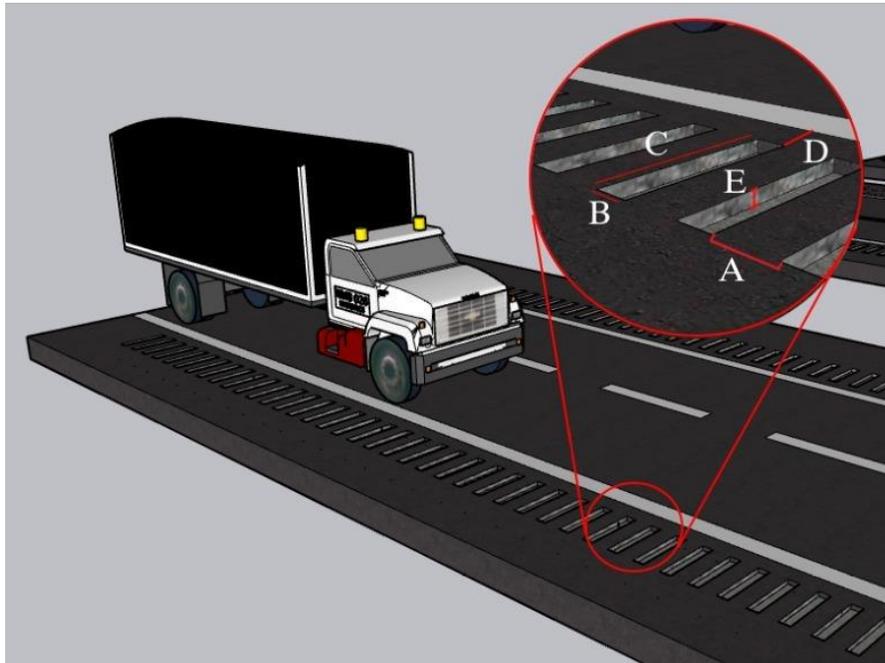
Anexos

Anexo A. Dimensiones de las Huellas Sonoras

PARAMETROS DE DISEÑO	
A	Espaciado
B	Dimensiones ancho
C	Dimensiones largo
D	Distancia entre el borde de la calzada y el borde de la HuellaS SonoraS
E	Profundidad
F	Distancia entre los grupos de patrones de Huellas sonoras
	Huellas Sonoras (H.S)
	Dirección

Figura A-1. Parámetros de diseño huellas sonoras. Fuente propia

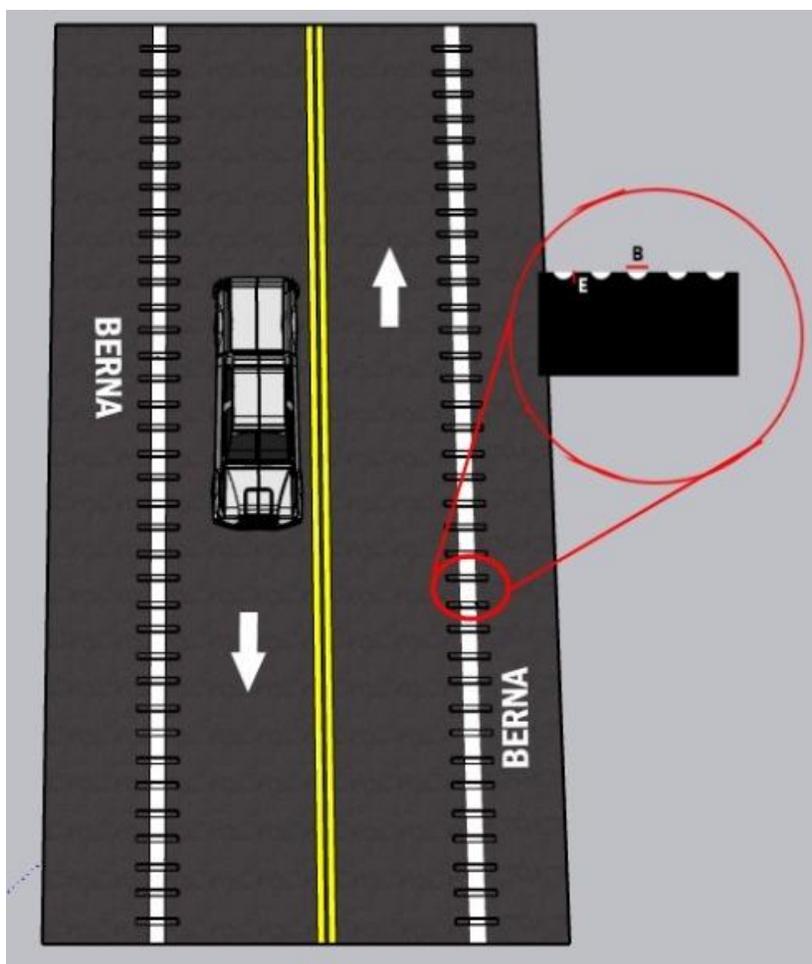
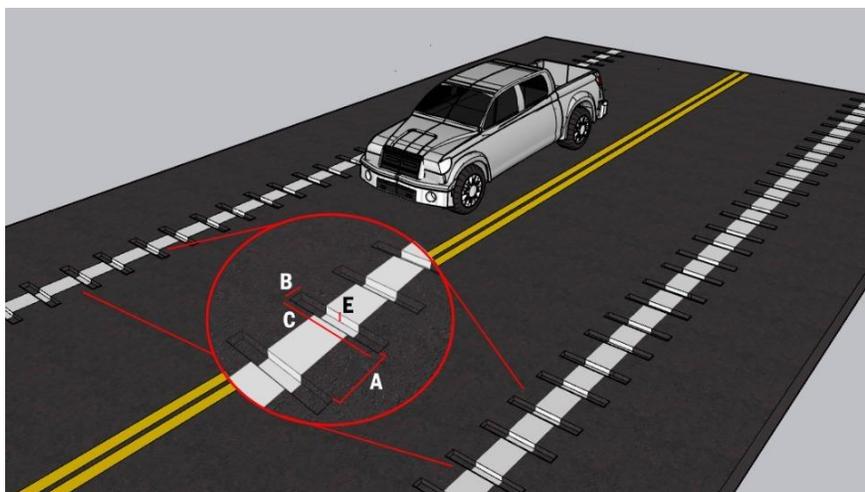
HUELLAS SONORAS LINEA DE BORDE



Sin enclava -vista en 3d- Dimensiones Orientadas

Figura A-1 Huellas sonoras línea de borde. Fuente: Propia

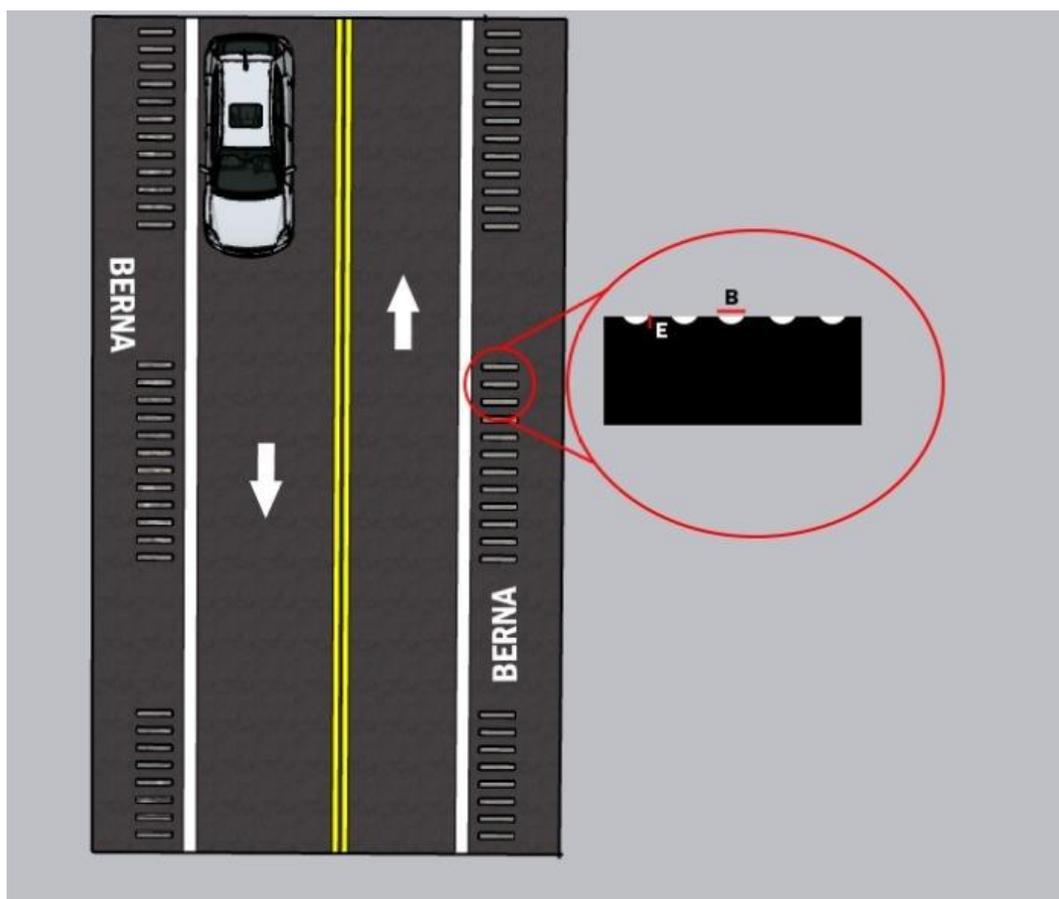
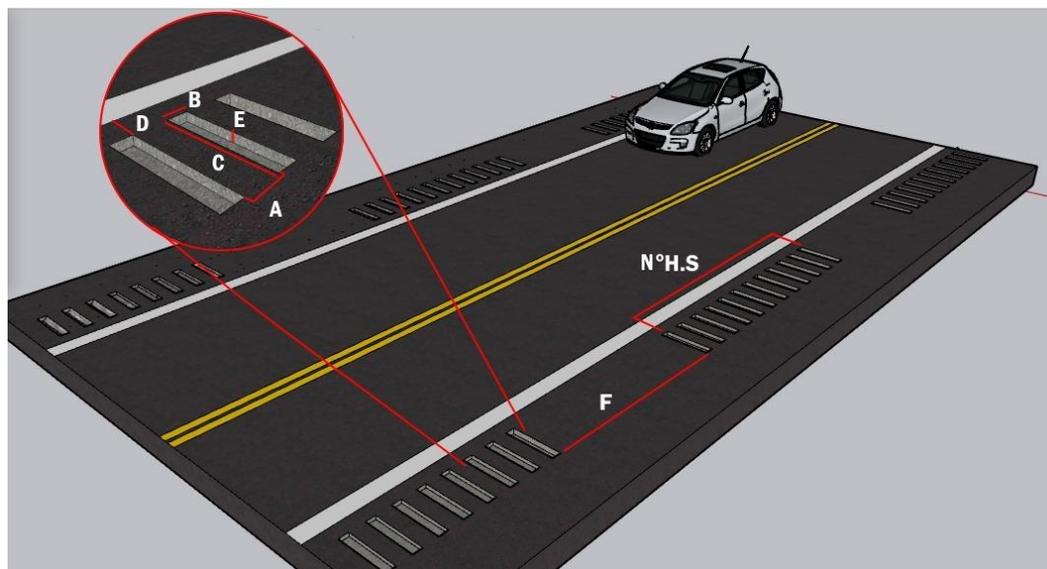
HUELLAS SONORAS EN LINEA DE BORDE



Sin enclava -vista en 3d- Dimensiones Orientadas

Figura A-2. Huellas sonoras en línea de borde. Fuente: Propia

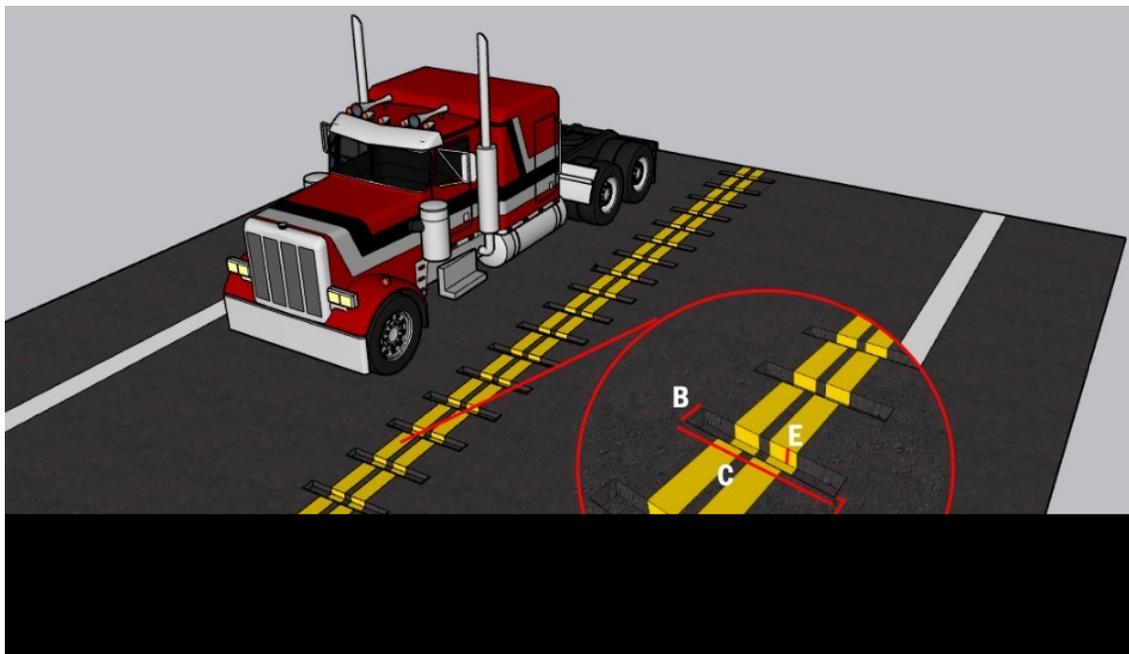
HUELLAS SONORAS EN BORDE DE LINEA -DISTANCIA ENTRE GRUPOS DE 12 H.S



Sin encala -vista en 3d- Dimensiones Orientadas

Figura A-3. Huellas sonoras borde de línea con distancia entre grupos de 12 H.S.... Fuente: Propia

HUELLAS SONORAS LINEA CENTAL



Sin enclava -vista en 3d- Dimensiones Orientadas

Figura A-4 Huellas sonoras en línea central. Fuente: Propia

Anexo B. Encuesta Huellas Sonoras

El objetivo principal de esta encuesta es con el fin de recopilar y analizar información acerca de los causantes en cuanto a los accidentes viales en Colombia y de esta manera obtener información para nuestra investigación acerca de nueva estrategia vial en el territorio nacional.

Su participación será ANÓNIMA, VOLUNTARIA Y CONFIDENCIAL. Las respuestas registradas serán utilizadas únicamente con fines educativos, ante cualquier inquietud con respecto a la encuesta puede contactarse con huellasonoras.aa@gmail.com

Muchas gracias por su aporte y participación.

1. Ciudad donde realiza la encuesta.
2. Sexo del que realiza la encuesta.
3. Edad del que realiza la encuesta.
 1. 18 a 25 Años.
 2. 26 a 40 Años.
 3. 41 a 55 Años.
 4. 56 a 70 Años.
 5. Mayores de 71 Años.

4. ¿Qué tipo de vehículo conduce?

Figura B-1. Tipo de vehículo. Fuente: MÓDULO 4: CARACTERIZACIÓN DEL TRÁNSITO - FERNANDO SÁNCHEZ SABOGAL

1. Motocicleta.
 2. Autos.
 3. Buses.
 4. C2-P.
 5. C2-G.
 6. C3 y C4.
 7. C5.
 8. > C5
5. ¿Ha presentado micro sueño, salida de la vía o descuidos mientras conduce?
1. Si.
 2. No.
6. ¿Con que frecuencia se le presentan al mes?
1. 1 a 5 veces.
 2. 5 a 10 veces.
 3. Más de 10 veces.
 4. Ninguna.
7. ¿Desde su punto de vista cree necesario un nuevo sistema de prevención vial que permita reducir los accidentes provocados por micro sueño, salida de la vía o descuidos mientras conduce?
1. Si.
 2. No.
 3. Tal vez.
8. ¿Conoce acerca de este nuevo sistema de prevención vial el cual cumple con la función de alertar al conductor si su vehículo se está saliendo del eje de la vía, por medio de una vibración y sonido emitido al contacto de las ruedas con las huellas sonoras?

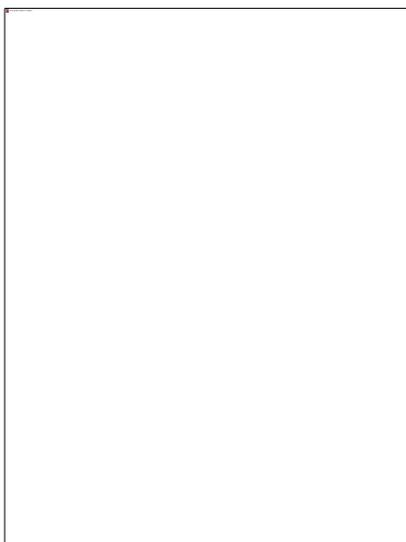


Figura B-2. Huellas Sonora. Fuente: (<http://www.samop.es/servicios/creacion-de-huellas-sonoras/>)

1. Si.
 2. No.
9. Este sistema vial ayuda a mitigar accidentes causados por micro sueños, salida de la vía y distracción por parte del conductor. ¿Cree que esta metodología de seguridad vial es viable para reducir estos accidentes?

Menciona Si, no y ¿Por qué?

Resultados de 113 encuestas realizadas.

1.

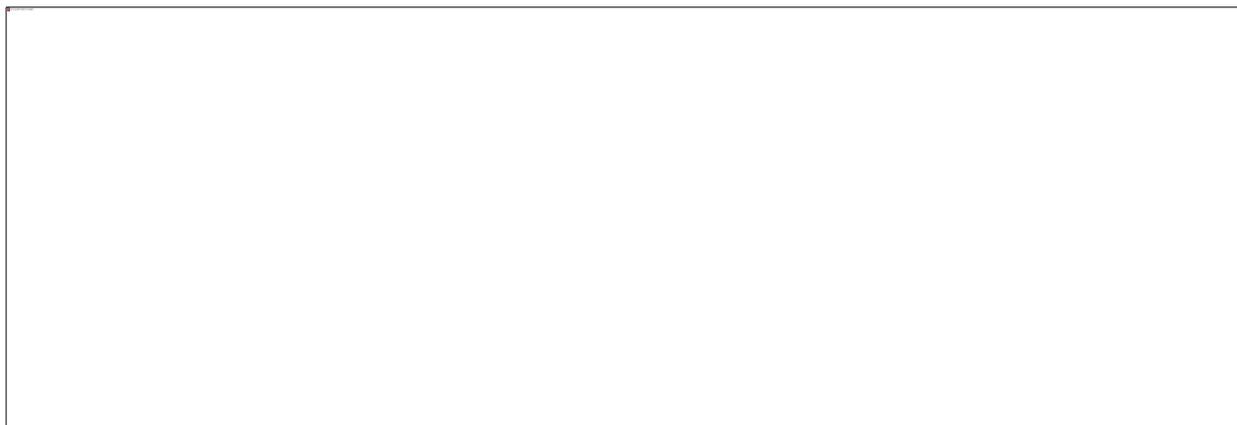


Figura B-3. Resultados ciudad donde realiza la encuesta. Fuente: Propia

2.

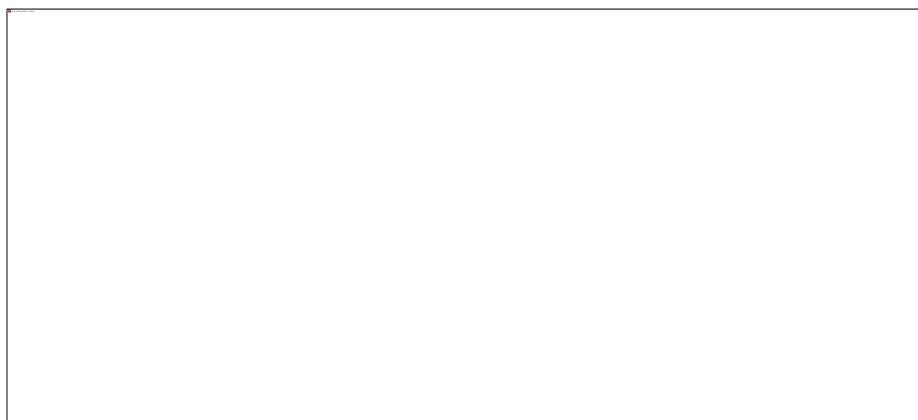
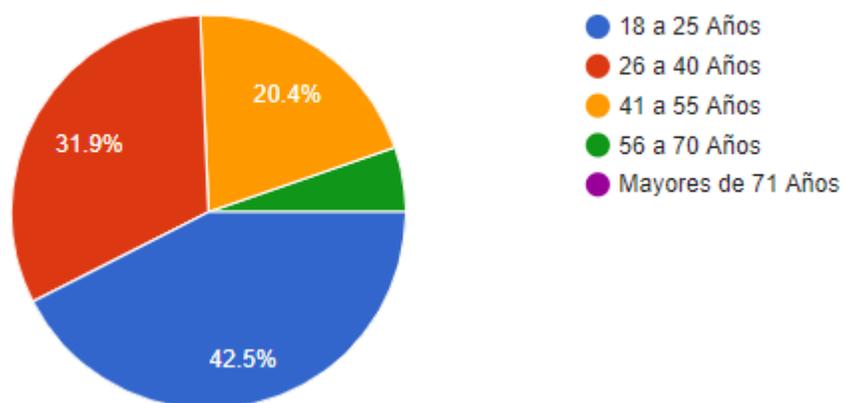


Figura B-4 Sexo del que realiza la encuesta. Fuente: Propia

3.

113 respuestas



Figuras B-5 Edad del que realiza la encuesta. Fuente: Propia

4.

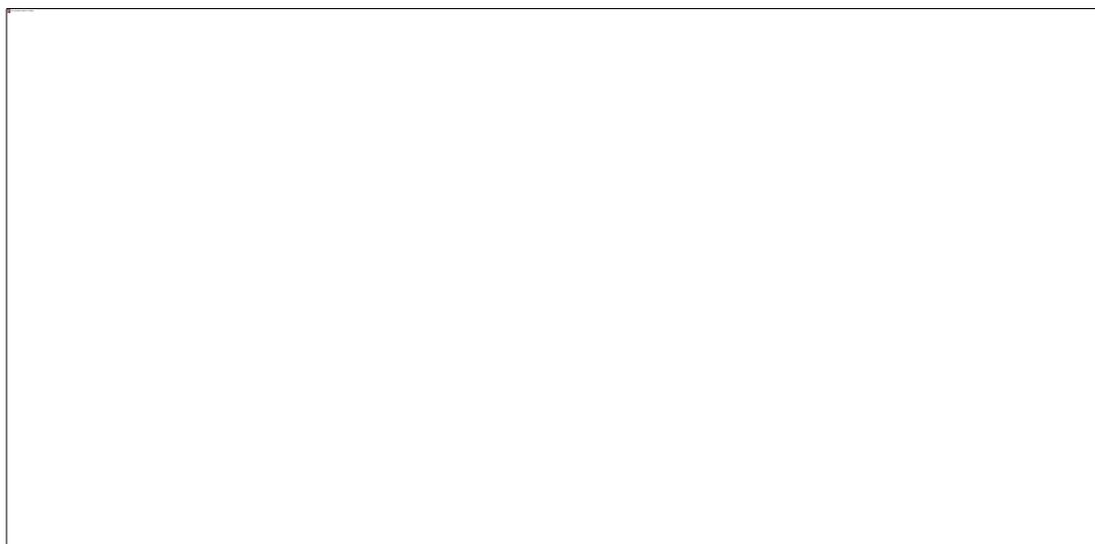


Figura B-6 Clase de vehículos conducidos. Fuente: Propia

5.

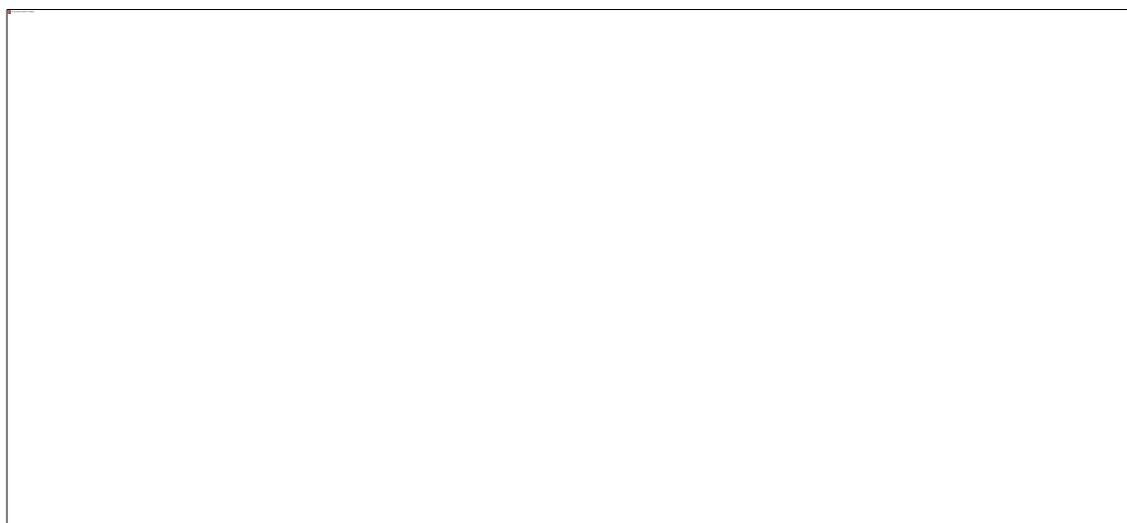


Figura B-7 Micro sueño, salida de la vía o descuidos presentados. Fuente: Propia

6.

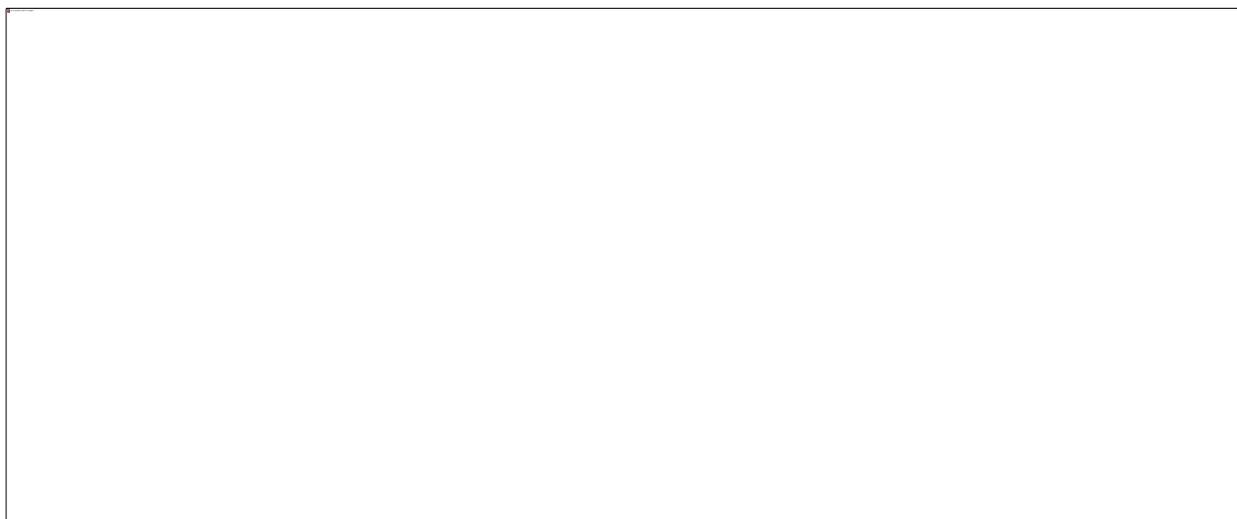


Figura B-8 Frecuencia de la pregunta 5. Fuente: Propia

7.

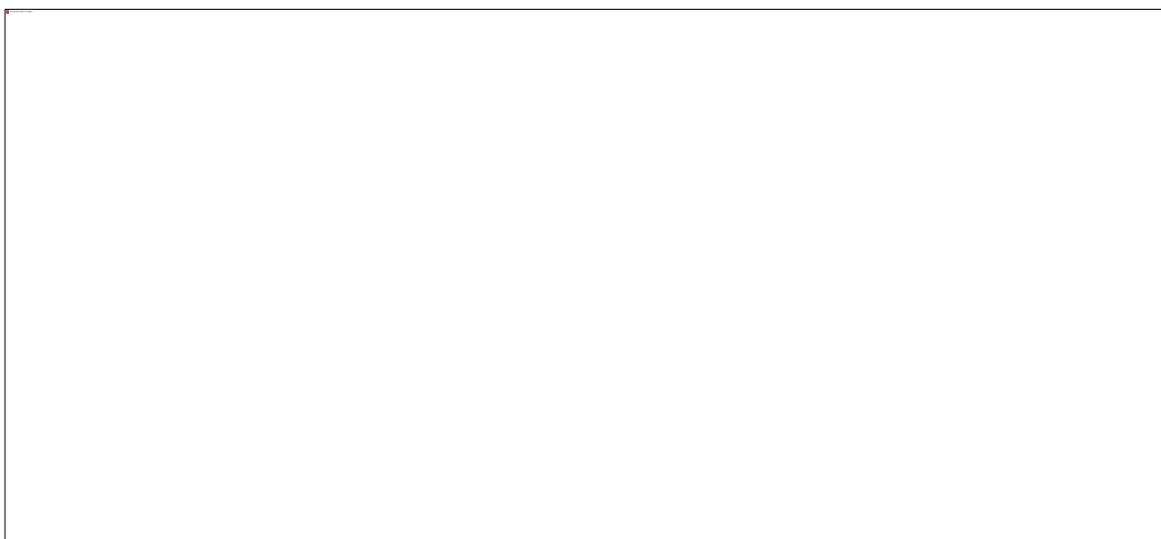


Figura B-9 Necesidad de una nueva medida de seguridad vial. Fuente: Propia

8.

113 respuestas

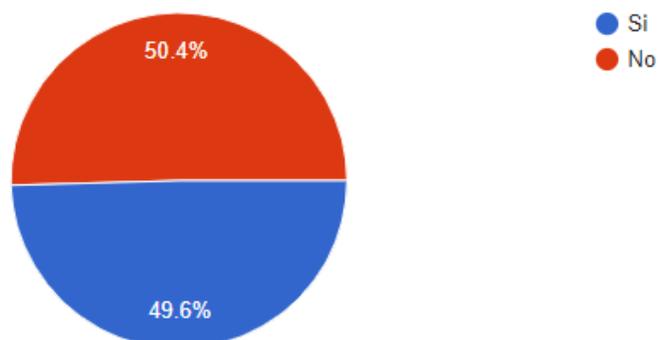


Figura B-10 Conocimiento acerca de las huellas Sonoras. Fuente: Propia

9. Algunas respuestas de los encuestados.
10. Si.
11. Si, mediante estas "zanjas" le dará al conductor una alerta oportuna de esta manera poder reaccionar a tiempo ante estos imprevistos que se ven muy a menudo.
12. Si ayudaría a que estemos en alerta.
13. Si, alerta temprano al conductor.
14. Sí, porque al momento de tener roce con el vehículo permite una reacción del micro sueño y se tiene probabilidad de evitar tragedias.
15. No. porqué no es suficiente. El sueño muchas veces es demasiado y o funciona.
16. Claro, despierta al conductor para que pueda despertar y así prevenir accidentes.
17. Si porque en ninguna vía nacional he visto estas huellas sonoras pienso q estas ayudarían a reducir accidentas por los micro sueños y por descuido cuando utilizamos los celulares.