


**BANDAS SONORAS APLICADAS EN PAVIMENTOS CONVENCIONALES  
PARA LA PREVENCION DE ACCIDENTES EN COLOMBIA**

**JUAN PABLO AMORTEGUI ARDILA  
JOHAN ARLEY ARDILA ORELLANO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2021**

**BANDAS SONORAS APLICADAS EN PAVIMENTOS CONVENCIONALES  
PARA LA PREVENCION DE ACCIDENTES EN COLOMBIA**

**JUAN PABLO AMORTEGUI ARDILA  
JOHAN ARLEY ARDILA ORELLANO**



**DOCENTE**

**Ing. RICARDO PICO VARGAS**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2021**

## Tabla de contenido

1. Introducción.....	7
2. Análisis y formulación del problema.....	9
2.1. Planteamiento del problema .....	9
2.1.1. Pregunta de investigación.....	9
3. Alcance .....	10
4. Objetivos.....	11
4.1. General.....	11
4.2. Específicos.....	11
5. Marco de referencia .....	12
5.1. Antecedentes investigativos.....	12
5.1.1. Nacionales.....	12
5.1.2. Internacionales.....	14
6. Marco conceptual.....	20
6.1. Asfaltos.....	20
6.1.1. Proceso de fabricación.....	20
6.2. Pavimento.....	21
6.2.1. Pavimento flexible .....	22
6.2.2. Pavimentos rígidos.....	23
6.2.3. Pavimento articulado .....	24
6.2.4. Pavimento semi-rígido.....	24
6.3. Señalización horizontal.....	24
6.3.1. Clasificación .....	25
6.3.2. Materiales .....	27
6.3.3. Delineadores viales.....	32
6.4. Bandas sonoras longitudinales.....	37
6.4.1. Condiciones de meteorología .....	38
6.4.2. Tipología de bandas sonoras.....	38
6.4.3. Señalización de las bandas sonoras .....	43
6.4.4. Pavimento para las bandas sonoras.....	43
6.4.5. Relación entre ruido y bandas sonoras .....	43
6.4.6. Relación entre bandas sonoras y ciclistas y motociclistas .....	43
6.4.7. Beneficios de las bandas sonoras.....	44
6.4.8. Fresado de pavimentos asfálticos .....	44

6.5.	Maquinaria.....	44
6.6.	Proceso.....	45
6.6.1.	Limitaciones en la ejecución del fresado.....	45
6.6.2.	Acopio y propiedad del material fresado.....	46
6.7.	Manejo ambiental .....	46
6.8.	Accidente de tránsito .....	46
6.9.	Microsueño .....	49
6.10.	Cifras de accidentalidad en Colombia .....	51
7.	Análisis comparativo entre Costa Rica, España y Estados Unidos con respecto a la implementación de Bandas Sonoras.....	60
8.	Conclusión.....	100
9.	Anexo.....	102
10.	Referencias .....	163

**RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

**TITULO:** BANDAS SONORAS APLICADAS EN PAVIMENTOS CONVENCIONALES PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES EN COLOMBIA

**AUTOR(ES):** Johan Arley Ardila Orellano  
Juan Pablo Amortegui Ardila

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** Ricardo Pico Vargas

**RESUMEN**

El presente proyecto nace a partir de la necesidad de disminuir los accidentes viales en las carreteras y vías de Colombia a causa del micro sueño, distracciones e invasión de carril, entre otras. Para el desarrollo de esta investigación se realizó una búsqueda de antecedentes investigativos y especificaciones técnicas, que demostraron que los microsueños y las distracciones por parte de los conductores son las principales causas de los siniestros viales. Por lo tanto, el proyecto se centra en reconocer estos fenómenos como una problemática social y de salubridad, debido a que estos accidentes presentan cifras alarmantes en el país, por lo que se propone que en Colombia se implementen las Bandas Sonoras en los bordes de calzada y en el centro de la calzada para alertar a los conductores y de manera prevenir y disminuir en índice de accidentalidad.

**PALABRAS CLAVE:**

Bandas, Vía, Calzada, Salubridad, Microsueño

**V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

**GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

**TITLE:** SOUNDTRACKS APPLIED IN CONVENTIONAL FLOORING FOR THE PREVENTION OF ACCIDENTS IN COLOMBIA

**AUTHOR(S):** Johan Arley Ardila Orellano  
Juan Pablo Amortegui Ardila

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** Ricardo Pico Vargas

**ABSTRACT**

This project is born from the need to reduce road accidents on the roads and highways of Colombia due to micro-sleep, distractions and invasion of lanes, among others. For the development of this research, a search was carried out for investigative antecedents and technical specifications, which showed that micro-dreams and distractions by drivers are the main causes of road accidents. Therefore, the project focuses on recognizing these phenomena as a social and health problem, since these accidents present alarming figures in the country, which is why it is proposed that in Colombia the Sound Bands be implemented at the edges of the road. and in the center of the road to alert drivers and to prevent and reduce the accident rate.

**KEYWORDS:**

Bands, Road, Road, Health, Micro-sleep

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## 1. Introducción

El presente proyecto de investigación parte de una revisión bibliográfica que pretende mostrar y proponer la implementación de bandas sonoras longitudinales en zonas urbanas de doble sentido de circulación y tramos rectos donde existe gran cantidad de afluencia de vehículos en carreteras convencionales y vías nacionales de Colombia.

Específicamente, lo que se desea lograr si el proyecto es puesto en marcha a futuro, es minimizar siniestros viales en aquellas zonas donde se ha detectado un mayor porcentaje de accidentalidad producida por actividades monótonas como manejar en carreteras rectas durante mucho tiempo, generando en los conductores fatiga, cansancio y produciendo eventos de microsueños. Estas bandas sonoras, permitirán alertar al conductor mediante una vibración y efectos acústicos cuando las llantas del vehículo pasen sobre ellas; de esta manera, se disminuiría el número de accidentes causados por la salida de vehículos del carril por el que circula. (Ministerio de fomento de España [MFOM], 2012).

Con referencia a las zonas urbanas, se busca implementar las bandas sonoras en aquellas vías que utilizan algunos elementos de reducción de velocidad; con el fin, de reemplazar los reductores convencionales por las bandas sonoras, ya que éstos, no son eficientes a mediano y largo plazo.

Para llevar a cabo esta propuesta, se establecerá el objetivo general y los específicos a partir de la necesidad observada, se tendrán en cuenta algunos antecedentes investigativos sobre el tema y especificaciones técnicas de proyectos que puedan apoyar el presente trabajo. Por otra parte, se realizará un estudio de las vías nacionales de Colombia en el que se tomarán como referencia algunos informes del Observatorio Nacional de Seguridad Vial donde se encuentran afiliadas diferentes entidades asociadas

a la seguridad vial como: El Ministerio de Transporte, La Policía Nacional, El Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, El Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT) y El Observatorio Iberoamericano de Seguridad Vial (OISEVI), sobre accidentes a nivel Nacional y de esta manera, conocer el porcentaje anual de éstos departamentos y Municipios en los que se presenta reiteradamente la problemática. Por último, se concluirá sobre la viabilidad de aplicar las bandas sonoras a futuro en algunas de estas zonas donde se presenta la mayor tasa de accidentalidad por choques y salida de los vehículos de la vía.

## **2. Análisis y formulación del problema**

### **2.1. Planteamiento del problema**

La presente investigación nace a partir de la necesidad identificada, de reducir los accidentes viales en las vías nacionales de Colombia y sus carreteras convencionales a causa del microsueño, distracciones e invasión de carril, entre otros.

Mediante la búsqueda de información de antecedentes investigativos y especificaciones técnicas, se determinó, que los denominados microsueños y algunas distracciones están entre las principales causas de siniestros viales. Por ende, el trabajo se centró en reconocer este fenómeno como una problemática social y de salubridad en cuanto a las cifras alarmantes de éstos, lo cual, hace necesario que en Colombia se introduzcan las novedosas bandas sonoras en los laterales y el centro de la calzada para alertar a los conductores y de esta manera evitar accidentes en los tramos rectos y de doble sentido de circulación en las vías mencionadas anteriormente.

Partiendo de esto, se planteó la pregunta problema centrada en el análisis de proyectos existentes frente al tema.

#### ***2.1.1. Pregunta de investigación***

¿Cómo las bandas sonoras aplicadas en pavimentos podrían disminuir el índice de accidentes causados por microsueños y distracciones en los tramos rectos y de doble sentido de circulación en las vías nacionales y convencionales de Colombia?

### **3. Alcance**

Se realiza una investigación completa de referencias bibliográficas como, las bases de datos académicas, manuales de diferentes nacionalidades, y estudios relacionados con los accidentes que puede prevenir este tipo de medida de seguridad.

Comparar la información recolectada de los diferentes manuales de los siguientes países, Estados Unidos, España y Costa Rica.

Analizada la información se busca en los manuales más aproximados a las condiciones de diseño del pavimento de nuestro país (Colombia). Elaborar un manual como propuesta de adaptación a la norma invias de Colombia con base a la información analizada, según las especificaciones de INVIAS de Colombia y el Ministerio de Transporte.

## **4. Objetivos**

### **4.1. General**

Presentar una propuesta de adaptación de bandas sonoras aplicadas en pavimentos que se ajuste a las especificaciones generales de construcción de carreteras y normas colombianas en las vías a través de una revisión bibliográfica.

### **4.2. Específicos**

- 4.2.1. Analizar las especificaciones técnicas y las revisiones bibliográficas existentes sobre bandas sonoras aplicadas en pavimentos para conocer su funcionamiento y viabilidad en países donde ya han sido implementados.
- 4.2.2. Comparar la información recopilada de 3 países que implementen bandas sonoras en pavimentos para agrupar las condiciones que más se asemejen a las especificaciones técnicas de INVIAS utilizadas en Colombia con respecto a la utilización de bandas sonoras y manipulación del pavimento.
- 4.2.3. Diseñar un manual con la información extraída de la comparación de los 3 países en los que emplean las bandas sonoras, cumpliendo con las condiciones estipuladas por las especificaciones técnicas de invias para Colombia sobre la implementación de bandas sonoras o semejantes a éstas.

## 5. Marco de referencia

En este apartado se encuentran consultas de investigaciones; la mayoría de ellas, son tesis de pregrado y posgrado relacionadas con el tema del proyecto, cuyos aportes, enriquecieron el proceso investigativo que se llevó a cabo.

### 5.1. Antecedentes investigativos

#### 5.1.1. Nacionales

##### 5.1.1.1. MANUAL DE SEÑALIZACION- Capitulo 5, Otros dispositivos para la regulación del tránsito.

<i>Datos de la investigación</i>	<p><i>Autores:</i> Ministerio de Transporte</p> <p><i>Lugar:</i> Bogotá D.C, Colombia</p> <p><i>Fecha:</i> 2015</p>
<i>Objetivos</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recopilar los diversos tipos de dispositivos de regulación de tránsito que se usan en Colombia y en varios otros territorios.</li> <li>-Ampliar la información en adelantos tecnológicos que en temas de señalización vial se han desarrollado en el campo mundial, el aumento de novedosas señales y otros tipos de dispositivos.</li> </ul>

*Aportes*

Esta investigación aportó a la nuestra, una guía práctica para integrar dispositivos para la regulación del tránsito en calles y carreteras, Donde nos destacamos en sonorizadores y bandas sonoras.

Los sonorizadores son dispositivos contruidos a nivel del suelo, que ocasionan trepidación y sonido, lo cual eventualmente transmite a los ocupantes de los vehículos una pequeña molestia una vez que pasan por encima de dichos dispositivos.

Las bandas sonoras son dispositivos fabricados con aglomerantes o estoperoles, sujetos al piso por medio de la utilización de pinturas epoxicas, resinas termoplásticas, plásticos de dos elementos, etc., que causan trepidación y sonido, lo cual eventualmente transmite una pequeña molestia a los ocupantes de los vehículos. La elevación de las bandas sonoras determina el nivel de efecto en los conductores, no deberán sobresalir del pavimento más de 3 cm.

### 5.1.2. Internacionales

#### 5.1.2.1. Exterior Roadside Noise Associated with Centerline Rumble Strips as a Function of Depth and Pavement Surface Type.

<p><i>Datos de la investigación</i></p>	<p><i>Autores:</i></p> <p>Gates, Timothy J.1 -tjgates@wayne.edu</p> <p>Savolainen, Peter T.1 -savolainen@wayne.edu</p> <p>Datta, Tapan K.2 -tdatta@wayne.edu</p> <p>Russo, Brendan3 -brusso@wayne.edu</p> <p><i>Lugar:</i> Journal of Transportation Engineering.</p> <p><i>Fecha:</i> Junio, Mar2014</p>
<p><i>Objetivos</i></p>	<p>-Realizar estudios de campo para examinar el nivel de ruido exterior en carretera por el uso de bandas sonoras.</p> <p>-Investigar específicamente la profundidad de las bandas sonoras y el tipo de pavimento de la superficie de la carretera.</p>

*Aportes*

La profundidad fresada de las estrías de estrías tuvo una fuerte correlación positiva con el ruido en carretera, aunque este efecto disminuyó en pavimentos sellados con chip, posiblemente debido a la textura más gruesa e irregular del pavimento superficies en comparación con pavimentos de HMA. Los resultados de este estudio proporcionan orientación para las agencias de transporte hacia el desarrollo de especificaciones de profundidad de las bandas sonoras o tolerancias También se debe considerar limitar la emisión de ruido molesto en el camino, al tiempo que proporciona información adecuada del ruido del vehículo para alertar a los conductores. Suponiendo longitud, ancho y espaciado dimensiones similares a las especificadas por el DOT de Michigan, es recomendó que las tiras retumbantes de la línea central se ofrecen a profundidades que varía de 0,64 cm (1 = 4 en:) a 1,60 cm (5 = 8 en:) en HMA y pavimentos sellados con astillas. Tales profundidades ayudarán a limitar las molestias ruido en la carretera mientras se mantienen los niveles de ruido en el vehículo necesarios para obtener la respuesta deseada de los conductores.

5.1.2.2. *Shoulder and center line rumble strips: reducing severity of road crashes in India.*

<p><i>Datos de la investigación</i></p>	<p><i>Autoras:</i> Vashisth, Amit<sup>1</sup> amitvashisth.civil@piet.co.in</p> <p><i>Lugar:</i> International Journal for Traffic &amp; Transport Engineering.</p> <p><i>Fecha:</i> 2018</p>
<p><i>Objetivos</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Introducir la técnica de las bandas sonoras longitudinales y centrales en India como una solución para reducir la gravedad de los accidentes de tránsito en India.</li> <li>- Para encontrar la ubicación potencial para colocación de bandas sonoras longitudinales y centrales con el ayuda de datos sobre "puntos negros" en India.</li> <li>- Motivar a los profesionales, la investigación. Académicos y estudiantes para estudiar la viabilidad, y efectividad de bandas sonoras longitudinales y centrales en India.</li> </ul>
<p><i>Aportes</i></p>	<p>Esta investigación aportó a la nuestra, observamos que estas técnicas han sido eficientes y funcionando durante casi 50 años en los países occidentales para reducir los choques. Estas técnicas pueden no evitar un accidente, pero su gravedad puede evitarse al alertar a los usuarios de la carretera antes de que crucen el borde de la carretera o cruzar su carril en carreteras Sin divisores. No hay</p>

	duda de que Actualmente el número máximo de accidentes son registrados como culpa de los conductores.
--	---

*5.1.2.3. Observational study on the pavement performance effects of shoulder rumble strip on shoulders.*

<i>Datos de la investigación</i>	<p><i>Autoras: Coffey, Sean1 scoffey6@villanova.edu</i></p> <p><i>Park, Seri2 seri.park@villanova.edu</i></p> <p><i>Lugar: International Journal of Pavement Research &amp; Technology.</i></p> <p><i>Fecha: Julio 2016.</i></p>
<i>Objetivos</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los beneficios de seguridad al implementar las bandas sonoras</li> <li>- Investigar sobre los rendimientos del pavimento.</li> <li>- Cuantificar los efectos de las bandas sonoras en el pavimento utilizando sitios de estudio donde ya se utilizan.</li> </ul>
<i>Aportes</i>	<p>Con este estudio se pudo comprobar que las bandas sonoras produjeron una disminución del choque del 19,8% en caminos más largos y monótonos, en los sitios de prueba. También se pudo comprar el comportamiento de las bandas sonoras cortas vs las</p>

	<p>fresadas, evidenciando que las cortas no son efectivas con los camiones en comparación con los fresados.</p> <p>Estos estudios han encontrado diferencias significativas entre los rendimientos de pavimentos con o sin bandas sonoras longitudinales.</p>
--	---

#### 5.1.2.4. Creación de huellas sonoras.

<i>Datos de la investigación</i>	<p><i>Autoras:</i> Samop. Fresado.</p> <p><i>Lugar:</i> Museros (Valencia)</p> <p><i>Fecha:</i> 2013</p>
<i>Aportes</i>	<p>Este doble impacto que genera el Rumble Strip (bandas sonoras), hace de guía una vez que la visibilidad es baja (niebla, nieve, hielo...) y previene las salidas de vías producidas por dichos agentes y las ejecutadas por despistes o por consecuencia del sueño.</p> <p>El Rumble strip es un sustituto inmejorable de los sistemas clásicos de bandas sonoras (struder/vibroline) y está especialmente indicados en zonas en cuyo mantenimiento de la vialidad invernal intervengan cuchillas quitanieves.</p>

El Rumble Strip es más que una sustitución de las recientes bandas sonoras, que están usualmente en nuestras propias carreteras. Evita la salida de la calzada.

Ventajas del fresado:

1. Crecimiento de la efectividad sonora y vibración en los vehículos.
2. El Rumble Strip tiene más durabilidad que la capa de rodadura y no posee mantenimiento.
3. Menor coste que las recientes bandas sonoras (struder/vibroline).
4. Mayor durabilidad en regiones de Alta montaña al no dañarse el Rumble Strip por el paso de la quitanieves.
5. Mayor visibilidad del Rumble Strip en combinación con la marca vial longitudinal.

## 6. Marco conceptual

### 6.1. Asfaltos

Según la American Society for Testing and Materials (ASTM, como se citó en The Asphalt Institute, 1961) Los asfaltos, son materiales aglomerantes que se licúan gradualmente al calentarse; son de color entre pardo oscuro a negro, que puede ser de consistencia sólida, semisólida o líquida. Se constituye principalmente de betunes que se dan en la naturaleza en yacimientos naturales de asfalto y rocas asfálticas o se obtiene de la destilación del petróleo crudo o combinaciones con el petróleo. El asfalto entra en proporciones variables en la constitución de la mayor parte de los crudos del petróleo.

Entre sus características, se tiene, que el asfalto es un material resistente, muy adhesivo y altamente permeable y duradero; así mismo, da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que es combinado usualmente. También, es muy resistente a la mayoría de los ácidos, álcalis y sales. Cabe resaltar que, a temperaturas atmosféricas, se puede licuar fácilmente por aplicación de calor o por acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.

#### *6.1.1. Proceso de fabricación*

El ingeniero Pérez, R. (2014) en su tesis de especialización, refiere que existen los siguientes procesos de fabricación del asfalto.

##### *6.1.1.1. Por destilación del petróleo.*

Es obtenido de la destilación del crudo de petróleo a altas temperaturas en donde los componentes livianos son separados hasta llegar a los 350° C. Este asfalto es producido en una variedad de tipos y grados que va desde sólidos duros y quebradizos hasta líquidos tan fluidos como el agua.

#### *6.1.1.2. Asfalto natural.*

Son los que se han formado por un fenómeno de migración de diversos petróleos naturales hacia la superficie terrestre y aparece a través de rocas porosas y fisuras, combinado con una volatilización de sus componentes más ligeros. Algunos se encuentran en estado casi puro, formado en su mayoría por sustancias hidrocarbonadas con escasa materia mineral.

#### *6.1.1.3. Asfalto modificado.*

Se define como el producto de la disolución, o incorporación de un polímero o hule molido de neumático en el asfalto. Estas sustancias son estables en el tiempo y en los cambios de temperatura; se añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y geológicas, lo cual, disminuye la susceptibilidad a la temperatura, humedad y oxidación.

Entre las propiedades alcanzadas de los asfaltos modificados, se tiene que se disminuye la penetración, aumenta el punto de reblandecimiento, se eleva la recuperación elástica del asfalto y su resiliencia, tiene un mayor intervalo de plasticidad, cohesión, resistencia a la acción del agua y al envejecimiento.

## **6.2. Pavimento**

El ministerio de transporte de Colombia (como se citó en Ospina, J., 2018) define el pavimento y su tipología de la siguiente manera.

El pavimento está conformado por capas que están sobrepuestas al terreno natural. Las capas se encuentran conformadas por uno o más materiales que contribuyen una resistencia mayor; resisten cargas causadas por el flujo ya sea vehicular o peatonal. Los materiales más usados son los rocosos, el hormigón y las mezclas asfálticas.

Existen diversos tipos de pavimentos; los cuales, se explicarán a continuación.

### *6.2.1. Pavimento flexible*

Está conformado por una carpeta bituminosa apoyada sobre dos capas no rígidas; la base y sub-base. A causa de la alta flexibilidad de la capa bituminosa (capacidad de gran deformación sin rotura bajo la acción de carga), el peso del vehículo que pasa sobre la superficie es una carga concentrada, lo cual se disminuye a través del espesor de las capas subyacentes, hasta distribuirse a la sub-rasante.

#### *6.2.1.1. Capas del pavimento flexible.*

La estructura de un pavimento flexible consta de las siguientes partes.

##### *6.2.1.1.1. Capa superficial.*

Es la capa de la parte superior y la que entra en contacto con el flujo vehicular. Puede estar conformada por una o más capas de asfalto.

##### *6.2.1.1.2. Base.*

Esta se encuentra directamente bajo la capa Superficial y, en general, está conformada por agregados.

##### *6.2.1.1.3. Capa Sub-base.*

Esta es la capa que se encuentra debajo de la capa base. La Sub-base no siempre es necesaria.

#### *6.2.1.2. Duración de un pavimento flexible.*

En los pavimentos flexibles, la táctica de diseño seleccionada debe presentar un mínimo inicial de duración de ocho años antes que sea aceptada su adaptación. En

general, la duración óptima de un pavimento flexible tiene que estar diseñada por un periodo de 20 años.

### *6.2.2. Pavimentos rígidos.*

Está constituido por concreto hidráulico; se encuentra ubicado sobre la sub-rasante o sobre la capa de material seleccionada; se conoce como sub-base del pavimento rígido. Debido a su alta resistencia y su alto coeficiente de elasticidad, la distribución de la fuerza se produce en una zona muy amplia. Además, cómo es capaz de soportar un cierto grado de esfuerzos a tensión, su comportamiento es satisfactorio, aun cuando se encuentra en zonas débiles en la sub-rasante. La capacidad estructural del pavimento rígido dependerá la resistencia de las losas y del apoyo de las capas subyacentes.

Los elementos y funciones de un pavimento rígido son.

#### *6.2.2.1. Sub-rasante.*

Es la capa de una carretera que soporta la estructura de pavimento y tiene una profundidad que no afecta la carga de diseño. Puede estar conformada en corte o relleno y una vez compactada deberá tener sus secciones transversales y pendientes estipuladas en los planos de diseño. El espesor dependerá de la calidad de la sub-rasante, lo cual debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por la humedad. *Figura 1, Figura 2, Figura 3.*

#### *6.2.2.2. Sub-base.*

Es la estructura de pavimento destinada al soporte, transmitir y distribuir uniformemente las cargas aplicadas en la superficie de rodadura del pavimento, para que la sub-rasante soporte absorbiendo la alteración inherente del suelo que pueda afectar a la sub-base. Esta debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que son dañinas para el pavimento.

### *6.2.3. Pavimento articulado*

Tiene una capa de hormigón que se caracteriza por ser bastante resistente y flexible. Está formado por diversos recursos como el cemento. Los materiales tienen que estar colocados de manera homogénea. Pueden durar largos lapsos de tiempo ya que son muy resistentes ante el desgaste y el agua. Es usado para la circulación de vehículos. Regularmente son utilizados en calles, aeropuertos, ingresos a puentes, cunetas, muelles, sendas peatonales, entre otros. Una enorme problemática con esta clase de pavimento se relaciona a la falla de la base, por lo que su arreglo resulta ser muy costoso.

### *6.2.4. Pavimento semi-rígido.*

Además, es conocido como pavimento compuesto; es semejante al flexible e igual al tipo rígido. Su parte flexible está en la parte superior, mientras que lo rígido en la parte inferior. Es común que posea una capa de cemento o concreto. Gracias a la capa de cemento, es estable y soporta cargas muy pesadas, como aviones y camiones.

## **6.3. Señalización horizontal**

Según el Ministerio de Transporte (MT, 2004) La señalización horizontal, corresponde a la aplicación de líneas viales que son líneas, flechas, símbolos y letras que se pintan sobre el pavimento, sardineles y estructuras de las vías de circulación o adyacentes a ellas y aquellos objetos que se colocan sobre la superficie de rodadura, con la finalidad de regular el tránsito o indicar la presencia de algún obstáculo.

Según las funcionalidades que cumple la señalización horizontal, es necesario que éstas cumplan con una serie de características en su uniformidad respecto a las dimensiones, diseño, símbolos, caracteres, colores, frecuencia de uso y tipo de material.

Así mismo, las líneas viales, deben ser reflectivas o estar debidamente iluminadas y no deben presentar condiciones deslizantes (MT, 2004).

### *6.3.1. Clasificación*

El MT de Colombia (2004) refiere que la señalización horizontal se clasifica en Líneas de bordillos y sardineles, Líneas de objetos, Líneas transversales, que abarca símbolos y letreros, líneas de pare y demarcación de pasos peatonales y Líneas longitudinales que son líneas continuas sobre la calzada; ningún conductor puede atravesarlas ni circular sobre ellas.

Algunos tipos de líneas longitudinales son:

#### *6.3.1.1. Líneas centrales.*

Al ser de color amarillo, indican el eje de una calzada con tránsito en doble sentido y de color blanco, que separan los carriles de tránsito en el mismo sentido y tienen que estar conformadas por una línea segmentada de mínimo 12 centímetros de ancho, con una interacción de longitudes entre segmento y espacio de 3 a 5. Esta clase de marca longitudinal debe usarse en las vías rurales de 2 sentidos, en vías secundarias o de jerarquía superior dentro del perímetro urbano, en cada una de las carreteras de 4 o más carriles, en autopistas y en todas las vías donde el análisis de ingeniería de tránsito lo amerite.

#### *6.3.1.2. Las líneas de borde de pavimento.*

Son aquellas que separan la berma del carril de circulación, indicando el borde exterior del pavimento y están formados con una línea blanca continua de 12 centímetros de ancho. Las líneas de borde de pavimento de color amarillo a la izquierda de la calzada,

en vías con separador, indica la finalización de circulación en ese sentido y las de color azul, indican aproximaciones a centros de atención médica a partir de una distancia de 500 m o mayor. *Figura 4.*

Las líneas del carril, que delimitan los carriles que conducen el tránsito en la misma dirección y cumplen la función de hacer eficiente el uso de una calle en sitios en donde se presentan congestionamientos vehiculares. *Figura 5.*

Las líneas de separación de rampas de entrada o de salida, tienen como finalidad, hacer la separación entre el carril de circulación de una vía de alta velocidad y la rampa de entrada o salida, en donde hay carriles de aceleración y desaceleración para los vehículos. Sus líneas son de color blanco, intermitentes con tramos de 1 m, separadas 1 m y con un ancho de 0,20 m. *Figura 6.*

Las demarcaciones de zonas de adelantamiento prohibido, que son las que delimitan longitudinalmente aquellas zonas en las cuales el adelantar está prohibido en uno o ambos sentidos, lo cual, se indica por las características especiales de la demarcación central. Estas zonas, se demarcan en tramos de recta, curva horizontal y vertical, en donde la distancia de visibilidad para efectuar la maniobra de adelantamiento es mayor que la distancia de visibilidad del sector. Cuando la línea es amarilla continua y mide 12 cm de ancho como mínimo, supone que está prohibido pasar de un carril a otro. Una vez que hay 2 líneas separadas por un espacio de aproximadamente 8 centímetros, una continua y otra segmentada o ambas sucesivas, se indica la prohibición de adelantamiento a los vehículos que circulan en el carril adyacente a la línea continua. *Figura 7.*

### 6.3.2. *Materiales*

Las líneas viales deben elaborarse por medio de la utilización de pinturas en frío o caliente. No obstante, es viable utilizar otro tipo de material siempre y cuando se cumpla con las especificaciones de color y visibilidad. Del mismo modo, para complementar estas líneas longitudinales, se podrán usar unidades particulares como tachas, estoperoles o pintura termoplástica con pequeños abultamientos-vibraline, que sobresalgan menos de 2,5cm de la superficie del pavimento y de color amarillo o blanco.

Cabe decir que la pintura en frío para la demarcación de pavimentos debe cumplir con los requisitos descritos en la norma colombiana NTC-1360-1 y en la norma técnica NTC-4744 se establecen los requisitos para el diseño y aplicación de materiales como pinturas, termoplásticos, plásticos en frío y cintas preformadas para demarcar carreteras y calles (MT, 2004).

El MT (2004) sostiene que se pueden usar pinturas de aplicación en frío, resinas termoplásticas, materiales prefabricados de larga duración o plásticos de dos componentes de aplicación en frío para demarcar carreteras con superficie de calzada en buen estado y que tengan un promedio diario y que tengan un promedio de 5000 vehículos. Así mismo, estos materiales se usarán en las líneas centrales y en carreteras montañosas con un promedio diario superior a 2500 vehículos. Las demás demarcaciones, se harán con pintura de aplicación en frío. En las vías urbanas, la entidad que se encargue de la construcción o demarcación podrá aplicar cualquiera de los materiales especificados.

### 6.3.2.1. Pintura de aplicación en frío.

Esta pintura debe cumplir con las especificaciones técnicas contenidas en la norma NTC 1360-1. De igual forma, para la aplicación de la pintura se dará cumplimiento a los requisitos de diseño y aplicación especificados en la norma técnica colombiana NTC 4744.

### 6.3.2.2. Color.

Debe ser blanco o amarillo, descritos por las coordenadas cromáticas del sistema colorimétrico estándar CIE 1931.

	COORDENADAS CROMÁTICAS									
	1		2		3		4		Factor de Luminancia	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	Demarcación	Laboratorio
Blanca	0.355	0.355	0.305	0.305	0.285	0.325	0.335	0.375	>0.30	>84
Amarillo	0.494	0.427	0.545	0.455	0.465	0.535	0.427	0.483	>0.20	>40

Tabla 1. Coordenadas cromáticas de color para resina termoplástica. Recuperado de “Especificaciones técnicas”, Ministerio de Transporte de Colombia., 2004, cap. 8. p. 333.

### 6.3.2.3. Composición.

Se establece para Aglutinante blanco y amarillo 18% mínimo; para Dióxido de titanio blanco 10% mínimo; para Microesferas de premezclado blanco y amarillo 25% mínimo; para Pigmento amarillo 4% mínimo.

### 6.3.2.4. Densidad relativa.

luego de la fusión la densidad del material será de será de 2, más o menos 2 décimas de kilogramo por litro. Esta decisión se hace según con la regla MELC 12.132 o ASTM D 70-76.

#### *6.3.2.5. Punto de reblandecimiento.*

Es determinado por el método de “anillo y bola”, teniendo en cuenta la norma UNE 135.222 o ASTM D 36 o BS 2000-58 o ASTM E-28, no debe ser inferior a 105°C.

#### *6.3.2.6. Resistencia al flujo.*

La disminución en la altura del cono de material termoplástico, luego de ser sometido a sesenta, más o menos dos grados Celsius durante 24 horas, no será mayor del 2% de acuerdo con la norma UNE 135-223 o MELC 12.131.

#### *6.3.2.7. Temperatura de inflamación.*

El material termoplástico se funde en un baño de aceite a 180°C, y se homogeniza mediante una agitación de mínimo dos horas. Lograda la perfecta homogeneidad y fluidez de la muestra, se vierte en el vaso abierto de Cleveland según la norma MELC 12.133 o UNE 104-281 o ASTM D 92-78, de manera que la parte inferior del menisco quede a 1 CM de la marca de llenado para prevenir desbordamientos de material durante el siguiente calentamiento. Cabe resaltar, que la temperatura de inflamación no debe ser inferior a 250°C.

#### *6.3.2.8. Factor de luminancia.*

Éste, deberá ser por lo menos de 80 centésimas para el color blanco y cuarenta centésimas para el color amarillo de acuerdo con la norma UNE 48-073/2 o ISO 7724/2 o ASTM E97.

### *6.3.2.9. Estabilidad al calor.*

El factor de luminancia después de mantener el material a doscientos más o menos 2 grados durante 6 horas con agitación continua, no cambia en más de 3 centésimas, teniendo presente las normas Norma BS 3262-1.

### *6.3.2.10. Envejecimiento artificial acelerado.*

El MT (2004) refiere que, para el envejecimiento artificial acelerado,

Se preparan 2 probetas implementando una película de material por medio de un extendedor adecuado, a un rendimiento aproximado de 2 mil seiscientos gramos por metro cuadrado ( $2.600 \text{ g/m}^2$ ), sobre un recipiente de aluminio de ciento cincuenta milímetros (150 mm) por setenta y cinco milímetros (75 mm), por seiscientos veinticinco milímetros (625 mm), previamente desengrasada con disolvente, se dejan secar a lo largo de siete (7) días, en postura horizontal a veintitrés más o menos 5 grados Celsius ( $23 + 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y cincuenta más o menos 5 por ciento ( $50 + 5\%$ ) de humedad relativa, protegidas de la radiación solar y del polvo, midiéndose rápidamente antes de iniciar este ensayo, su color y factor de luminancia sobre el área exterior de la película. (Norma ASTM G-53). Realizado el ensayo durante ciento sesenta y ocho (168) horas, en ciclos de ocho (8) horas de radiación UV de longitud de onda comprendida entre doscientos ochenta (280) nm y trescientos diez y seis (316) nm A sesenta más o menos tres grados Celsius ( $60 + 3 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y cuatro (4) horas de condensación a cincuenta más o menos dos grados Celsius ( $50 + 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ), no se tendrá que generar un incremento o disminución en el factor de luminancia mayor a 5 centésimas respecto al valor original. Por otro lado, el material aplicado

después del ensayo y visto 2 horas después de su aplicación, no presentará defecto superficial alguno. (Norma UNE 48-251 o ASTM D 4587).  
(p.334).

#### *6.3.2.11. Resistencia a la abrasión.*

Después de aplicado el material con un rendimiento del que se obtenga un espesor de 1mm y ensayar la muestra con un abrasímetro Taber con ruedas calibradas tipo H-22, con un peso de 500g y en húmedo, no se debería genera una pérdida de masa superior a 250 mg al cabo de 100 revoluciones.

#### *6.3.2.12. Microesferas de vidrio.*

La microesfera de vidrio debe ser de naturaleza que permita la incorporación a la pintura inmediatamente al ser aplicada, con el fin de que su superficie pueda adherirse firmemente a la película de pintura y la retroreflexión sea satisfactoria para las líneas y demás líneas viales. Las microesferas tienen que ser transparentes e incoloras, libres de defectos material extraño, no deben tener lechosidad ni contener nubes y burbujas de aire que logren perjudicar su desempeño.

#### *6.3.2.13. Composición.*

Deben contener un mínimo de 65% de sílice y estar libres de plomo.

#### *6.3.2.14. Índice de refracción.*

Éste se establece con el procedimiento de inmersión en líquido con una fuente de luz blanca, a una temperatura de 25°C. Las microesferas tienen que tener un índice de refracción mínimo de 1.50 y su medición se va hacer con la norma MELC 12.31.

#### *6.3.2.15. Densidad.*

Debe estar en el rango entre 2 gramos con 3 décimas y 2g con 6 décimas por centímetro cúbico (2.3 a 2.6 g/cm<sup>3</sup>).

#### *6.3.2.16. Resistencia a la fractura.*

Para las microesferas de vidrio retenidas en el tamiz de 600  $\mu\text{m}$  (No.30), la resistencia mínima a la fractura es de 178 N; y para las microesferas que pasen el tamiz de 600  $\mu\text{m}$  (No.30) y queden retenidas en el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (No.40), la resistencia mínima de fractura es de 133,5 N).

#### *6.3.3. Delineadores viales*

El Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC, 2011) refiere que los delineadores zonas duras colocadas paralelamente al eje de la carretera, para separar direcciones opuestas de tránsito (separador central o mediana) o para separar calzadas destinadas al mismo sentido del tránsito (calzadas laterales) siendo elementos de seguridad vial multipropósitos, los cuales han sido diseñados para demarcar los límites de una carretera, avenida, camino, ruta, circuitos en estacionamientos o restringir zonas; además, crea circuitos temporales, guía el tráfico, etc. Pueden soportar múltiples impactos de vehículos y al no ser elementos contundentes, no causarán accidentes, siendo seguro para las personas. El separador está comprendido entre las cunetas interiores de ambas calzadas. Aparte de su función principal la cual es independizar la circulación de las calzadas, el separador central puede contribuir a disminuir cualquier tipo de interferencia como el deslumbramiento nocturno.

El [MOPC] (2011) refiere que algunos de los más usados son los siguientes.

#### 6.3.3.1. Bordes alertadores

Consiste en una línea dentada que tiene como objetivo crear un efecto sonoro y vibratorio dentro del vehículo, una vez que sus llantas la traspasen. Se instalan después de la línea de borde de la calzada a pocos cm dentro de la banquina o el sector sobre la que no se desea que el conductor ingrese. En su diseño, predomina la altura entre 8 mm y 15 mm, con largo entre 10 cm hasta 25 cm y una separación de 50 cm hasta 70 cm.

*Figura 8.*

#### 6.3.3.2. Franjas sonoras

Son rebajes transversales que se ejecutan en banquetas pavimentadas, los cuales, genera un efecto sonoro y vibratorio en los vehículos para advertir al usuario que está abandonando la calzada y es necesario hacer maniobras de control. Comúnmente, su profundidad es de 2,5 cm, con un ancho de 5 cm. Se ubican transversalmente a la banquina con una longitud de 90 cm, separados 20 cm entre sí. *Figura 9.*

#### 6.3.3.3. Tachas

Se basa en la instalación de cuerpos sólidos y de área lisa, blancos o de color, que poseen incorporados materiales reflectivos. Su funcionalidad primordial es la de ser complemento de las líneas horizontales de pintura en el pavimento y a su vez, son de gran utilidad para las vías de circulación, delineación de carriles y señalización de obstáculos.

Otras funciones que cumplen son

- A. Complementan las señales horizontales, indicándole al conductor cuando se sale de la vista de la marca (línea) canalizadora. De esta manera, se previene la invasión de carriles por distracción del conductor. Se aplican en la línea central

para vías de doble sentido, en línea de carriles en el mismo sentido y línea de borde de pavimento.

- B. Indican el sentido de circulación mostrando la cara reflectiva al tránsito en dirección idónea.
- C. Previenen sobre riesgos como curvas fuertes y contracurvas en regiones donde hay peligro.
- D. Demarcan la entrada a zonas de reducción o incremento de número de carriles.

Las tachas se instalan al lado izquierdo de las líneas pintadas en el pavimento, a una distancia de 5 cm. Cuando hay 2 líneas sucesivas de prohibido adelantamiento, están en el centro de éstas. Cabe mencionar que existen 3 grupos de tachas, teniendo presente el material de fabricación: de cerámica, de materiales plásticos y metálicas. A su vez, los colores que se usan son el blanco, amarillo y rojo y para casos especiales como aproximaciones a centros médicos, el color implementado es el azul.

Por otra lado, El Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones de Paraguay (2011), sostiene que hay diversas formas de tachas: redondas, cuadradas, rectangulares y ovaladas, con superficie convexa o piramidal. Para que su duración sea prolongada y se adhieran al pavimento con el fin de que los vehículos no sean sacudidos excesivamente fuerte, se deben escoger superficies lisas y sin protuberancias con aristas pronunciadas.

También se describe que el área de la cara reflectiva debe ser de mínimo 20 cm cuadrados y su base debe tener como mínimo 75 cm cuadrados para prolongar su vida útil. *Figura 10.*

#### *6.3.3.4. Estoperoles*

Es un dispositivo de manera de botón, de un material cerámico o de caucho prensado y esmaltado, lo que posibilita tener un producto duro y con área brillante, con una alta

resistencia mecánica al impacto y al desgaste por fricción. Estos deberán llevar a cabo las mismas pruebas de resistencia a la tensión y a la compresión.

Su forma del estoperol es una parte de esfera (o domo), con una base plana de 10 cm de diámetro y una altura de 2cm. Van a ser de color blanco o amarillo.

Su utilidad podría ser como marcador, en el sentido paralelo al flujo del tránsito, se colocan sobre las líneas de demarcación, cumpliendo la capacidad de alertar al conductor que está realizando un cambio de carril. Además, son utilizados como reductores de velocidad.

#### *6.3.3.5. Boyas*

Son recursos fabricados con elementos metálicos o en poliéster macizo de color amarillo porcelanizado, de alta resistencia al impacto, en cara frontal contiene reflectantes de la luz y se utilizan como canalizadoras del tránsito, en especial para demarcar islas y bordillos.

#### *6.3.3.6. Tachones*

Son dispositivos firmes fabricados en resina poliéster de color amarillo porcelanizado, de alta resistencia al impacto. Se utilizan para separar carriles de circulación en un mismo sentido, cuando hay carriles exclusivos para el transporte público.

El área de arriba del tachón se conforma por una superficie curva con forma de joroba, que junta las caras frontales que están diseñadas con 2 tipos de inclinación, una de menor ángulo que se pone adyacente al flujo de tránsito de transporte público.

Su elevación es de 8 cm, con un ancho de 15cm y de largo de 40 cm. *Figura 11.*

Tipo de marca	Ubicación	Cara reflectiva
Líneas centrales segmentadas amarillas	En el centro de la línea, cada dos espacio	Bidireccional
Líneas de carril	En el centro de la línea, cada dos espacios	Monodireccional
Líneas de canalización	Cada 6 m	Monodireccional
Líneas de borde de pavimento	Cada 24 m	Monodireccional
Líneas de transición en el ancho del pavimento	Cada 8 m	Monodireccional o Bidireccional
Líneas de aproximación a obstrucciones centrales con tránsito en un solo sentido	Cada 6 m	Monodireccional
Líneas de aproximación a obstrucciones centrales con tránsito en ambos sentidos	Cada 6 m	Bidireccional
Líneas para carriles de contraflujo	Cada 3 m	Bidireccional

Tabla 2. Ubicación de tachas reflectivas en líneas longitudinales. Recuperado de “Normas para señalización y seguridad vial”, Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones- 1ra Edición., 2011, cap. 5. p. 95.

#### 6.3.3.7. Bordillos

Son fabricados en concreto con resistencia mínima de  $175\text{kg}/\text{cm}^2$  con refuerzos de varilla de  $\frac{1}{2}$ " con anclaje al piso por medio de 2 espigas en varilla de acero corrugado de  $\frac{5}{8}$ ". Se aplican principalmente en zonas de estacionamiento, para la división de calzadas de circulación o carriles exclusivos para el transporte público, sardineles, etc.

### 6.4. Bandas sonoras longitudinales

Las bandas sonoras longitudinales consisten en unas ranuras que se ubican en el pavimento asfáltico o resaltos en las líneas viales. Éstas se sitúan a lo largo de la línea central o junto a las líneas laterales de la calzada. La principal función que cumplen es la de alertar de forma sonora y táctil a los conductores que se desvían del carril, gracias a la vibración y el sonido que generan en el vehículo al pasar los neumáticos sobre ellas, permitiendo que el conductor pueda corregir su dirección de circulación (Mascuñana, D., Iglesias, A., y Martínez, P., 2016).

Así pues, en las ventajas se encuentra una intensidad significativa de aviso sobre el usuario, especialmente en buses y vehículos pesados; y menor coste de ejecución y mayor rendimiento de este debido a que no sufren daño ni desgaste por el paso de los vehículos ni por el repintado de las líneas viales. En condiciones de pérdida visibilidad, las bandas sonoras mejoran el reconocimiento por parte del conductor de los límites del carril (borde y eje) una vez que las líneas viales no son visibles gracias a las condiciones atmosféricas y meteorológicas.

Por otro lado, entre las características de las bandas, se tiene que la vibración y el ruido interior y exterior son dependientes de las magnitudes del fresado de la guía sobre el firme, que incluye largo, ancho, profundo y equiespaciado. Además, que la vibración del

vehículo es dependiente de forma directa de la profundidad del fresado, diferente al sonido del interior y el exterior, que dependen de la combinación del resto de variables.

Como norma general, la Dirección General de Tráfico emplea la Guía Sonora con las siguientes dimensiones:

- A. Profundidad: 1-1,3 cm.
- B. Ancho: 15-17cm.
- C. Longitud: 20-30cm.
- D. Equiespaciado: 25-35cm.

Los aspectos que se tienen que considerar al instante de elegir las dimensiones de las bandas sonoras son: el tipo de alerta sonora y vibratoria que se desea, la existencia de zonas residenciales, la composición del tráfico en la que se debería examinar el porcentaje de vehículos pesados que requieren mayor alerta interior por vibración/sonido, las dimensiones de la berma para limitar la longitud de la huella, el estado de la capa de rodadura define la profundidad de la guía y la intensidad de ciclistas y motociclistas que puede recomendar limitar la profundidad o ejecutar interrupciones en las bandas.

#### ***6.4.1. Condiciones de meteorología***

En cuanto a las condiciones meteorológicas, al haber baja visibilidad por noche, niebla, lluvia o nieve, las bandas mejoran el reconocimiento de los parámetros del carril. Del mismo modo, el agua de lluvia queda retenida en los huecos de la guía, aumentando la visibilidad de la marca con la iluminación de los vehículos.

#### ***6.4.2. Tipología de bandas sonoras***

Según la Dirección General de Tráfico de España (DGT, 2018) Las bandas sonoras se clasifican de acuerdo con su funcionalidad y disposición, de la siguiente manera:

#### *6.4.2.1. Bandas sonoras longitudinales de separación de sentidos.*

Advierten al conductor de que su vehículo en su trayectoria está abandonando el carril de circulación y corre el peligro de irrumpir el del sentido opuesto. Éstos pretenden eludir accidentes frontales, fronto-laterales y salida de la vía por el lado izquierdo.

Existen 3 tipos de líneas longitudinales de división de sentidos. Guía sonora de separación de sentido en marca vial, que se ejecuta sobre la propia marca vial de eje. Guía sonora de división de sentidos adyacente a la marca vial, la cual se ejecuta contigua a la línea vial en el interior del carril y bandas sonoras de separación de sentidos entre líneas viales, que se ejecutan en el espacio central excluido a la circulación delimitada por las líneas viales. *Figura 12.*

#### *6.4.2.2. Bandas sonoras longitudinales de separación de carriles.*

Advierten al conductor en las vías de 2 o más carriles, de que su vehículo abandona el carril de circulación con peligro de invasión de carril contiguo. Esto pretende eludir accidentes laterales y fronto-laterales.

Existen 2 tipos de líneas longitudinales de separación de carril. Bandas sonoras de separación de carriles en marca vial, que se ejecutan sobre la propia marca vial de separación de carriles; y bandas sonoras de separación de carriles adyacente a la marca vial, que se ejecutan contigua a ésta.

#### *6.4.2.3. Bandas sonoras longitudinales de borde de calzada.*

Advierten al conductor de que su vehículo pierde la trayectoria de la calzada con exposición de salir de la vía.

Existen 3 tipos de líneas longitudinales de borde de calzada. Bandas sonoras de borde calzada en marca vial, se ejecutan sobre la propia marca vial de borde de calzada; bandas sonoras de calzadas adyacentes de la marca vial que se ejecuta contigua a la marca vial

de borde de calzada, bien sobre el carril (interior) o sobre el arcén; y las bandas sonoras de borde de calzada sin marca vial las cuales se ejecutan en el borde de la calzada.

*Figura 13.*

Por otra parte, el DGT (2018), dispone que las bandas sonoras longitudinales se pueden clasificar teniendo en cuenta su perfil longitudinal y sección transversal de la siguiente forma:

Sinusoidal: *Figura 14, Figura 15.*

Paralelogramo: *Figura 16, Figura 17, Figura 18.*

Trapezoidal: *Figura 19, Figura 20, Figura 21.*

Por último, en cuanto a la disposición longitudinal, las guías sonoras longitudinales, se dividen en:

#### *6.4.2.3.1. Continuas.*

El patrón se mantiene constante longitudinalmente a lo largo del tramo en el cual se ejecuta.

Guía sonora de borde interior de calzada adyacente a la marca vial: *Figura 22, Figura 23, Figura 24.*

Bandas sonoras de borde de calzada en marca vial: *Figura 25, Figura 26.*

Bandas sonoras de separación de sentido entre líneas viales: *Figura 27, Figura 28.*

Bandas sonoras de separación de sentidos adyacente a la marca vial: *Figura 29, Figura 30.*

Bandas sonoras de separación de sentidos en marca vial: *Figura 31, Figura 32.*

#### 6.4.2.3.2. *Discontinuas*

Con carácter general se propone un patrón con tramos de bandas sonoras longitudinales de 3,5m de longitud con interrupciones sin bandas sonoras longitudinales de 1,5m.

Bandas sonoras discontinua de borde interior de calzada adyacente a la marca vial: *Figura 33, Figura 34, Figura 35.*

Bandas sonoras discontinuas de borde de calzada en marca vial: *Figura 36, Figura 37.*

Bandas sonoras discontinuas de separación de sentidos adyacente a la marca vial: *Figura 38, Figura 39.*

Bandas sonoras discontinuas de separación de sentidos en marca vial: *Figura 40, Figura 41.*

En la Tabla 3, se muestran las dimensiones básicas de los distintos tipos de bandas sonoras longitudinales determinando el ancho y largo, la longitud de onda, la separación entre el fresado y la profundidad:

Dimensiones en cm	Ancho mínimo	Ancho máximo	Longitud de onda mínima	Longitud de onda máxima	Separación mínima	Separación máxima	Largo mínimo	Largo máximo	Profundidad mayor mínima	Profundidad mayor máxima	Profundidad menor mínima	Profundidad menor máxima
Guía sonora de separación de sentidos en marca vial	15	25	No aplica	No aplica	12	18	10	40	1	1,5	No aplica	No aplica
Guía sonora de separación de sentidos adyacente a marca vial	15	25	No aplica	No aplica	12	18	10	30	1	1,5	No aplica	No aplica
Guía sonora de separación de sentidos entre líneas viales	15	25	No aplica	No aplica	12	18	15	50	1	1,5	No aplica	No aplica
Guía sonora de borde de calzada sin marca vial	15	25	No aplica	No aplica	12	18	15	40	1	1,5	No aplica	No aplica
Guía sonora de borde de calzada adyacente	15	25	No aplica	No aplica	12	18	10	25	1	1,5	No aplica	No aplica
Guía de borde de calzada en marca vial	15	25	No aplica	No aplica	12	18	10	20	1	1,5	No aplica	No aplica
Guía sonora sinusoidal (todos los tipos)	No aplica	No aplica	40	80	No aplica	No aplica	15	40	0,8	1,2	0,1	0,2

Tabla 3. Dimensiones básicas de las bandas sonoras longitudinales

#### **6.4.3. Señalización de las bandas sonoras**

Es necesario que los conductores conozcan que la vía por donde pasan está dotada de bandas sonoras longitudinales, con el fin, de que sea consciente del posible ruido y vibración al pasar el vehículo sobre ellas. Para esto, es importante la implementación de señales verticales que advierta sobre ellas al inicio de los tramos.

Las siguientes imágenes, son ciertos ejemplos de los tipos de carteles para el tipo de guía sonora. *Figura 42.*

#### **6.4.4. Pavimento para las bandas sonoras**

El espesor de la capa de rodadura debe ser superior a la profundidad de la guía sonora; con el fin, de que las capas inferiores del paquete de firme no queden expuestas y se impida infiltración de la humedad, lo cual puede afectar su integridad de funcionamiento.

#### **6.4.5. Relación entre ruido y bandas sonoras**

Cabe resaltar que las bandas sonoras producen dos sonidos distintos al pasar el vehículo sobre ellas. El primero, ocurre en el interior de éste para advertir al conductor de que está abandonando el carril. El segundo, ocurre hacia el exterior y se puede escuchar desde fuera del vehículo. Éste último, a veces se considera molesto en zonas residenciales por su extrañeza. Sin embargo, el ruido producido, dependerá de varios factores como distancia, presencia de objetos físicos entre el arcén y donde se oye el ruido, velocidad, dirección del viento y tipo de vehículo.

#### **6.4.6. Relación entre bandas sonoras y ciclistas y motociclistas**

La (DGT, 2018) establece que las bandas sonoras no afectan a estos usuarios, ya que se contemplan interrupciones de esta. En los tramos con alta intensidad de ellos, al

momento de seleccionar las dimensiones, se recomienda ejecutar el fresado sobre la propia marca vial de borde o ligeramente retranqueada lateralmente a 5-10 cm hacia el interior del carril, o en su defecto aplicar la guía sonora tipo sinusoidal.

De igual forma, se debe tener en cuenta, la importancia de hacer interrupciones longitudinales, de manera que, el diseño sea de 3,5 m de guía y 1,5 m de interrupción sin guía repetidamente a lo largo del tramo, con el fin de que estos usuarios tengan la posibilidad de entrar y salir del arcén cuando necesiten.

#### ***6.4.7. Beneficios de las bandas sonoras***

1. Mayor intensidad de alerta sobre el conductor, especialmente para aquellos de vehículos grandes y pesados.
2. Mayor tiempo del efecto de alerta debido al ancho de las bandas
3. No sufren desgaste ni deterioro por el paso de vehículos.
4. Puede tener menos costo de ejecución y mayor rendimiento de ejecución.
5. No se afecta al repintar las líneas viales.

#### ***6.4.8. Fresado de pavimentos asfálticos***

El Instituto de Desarrollo Urbano (IDU, 2015) define lo siguiente para el proceso de fresado de pavimentos asfálticos en Colombia.

### **6.5. Maquinaria**

Para la elaboración de las bandas sonoras, se debe hacer en el pavimento un fresado o rebaje cóncavo, con un patrón definido y repetido longitudinal en la vía. El equipo para la ejecución de estos trabajos recibe el nombre de máquina fresadora, la cual, tiene controles capaces de fresar el pavimento asfáltico con una profundidad de corte precisa y

con el perfil y la pendiente transversal que el proyecto establezca. El estado de la máquina, la potencia y la capacidad productiva, deben asegurar el correcto cumplimiento del plan de trabajo. *Figura 43.*

## **6.6. Proceso**

La actividad de fresado se ejecutará sobre el área y espesor estipulado en los documentos del proyecto y aprobado por el interventor, se efectúa a temperatura ambiente sin adiciones de solventes ablandadores que puedan afectar la granulometría de los agregados y las propiedades del asfalto existente.

El fresado deberá ser cuidadoso para prevenir el desgaste y la rotura del pavimento subyacente, o adyacente y protegiendo el material extraído.

En cercanía de sardinales o en lugares inaccesibles del equipo, deberá removerse el pavimento implementando otros métodos apropiados. El fresado puede realizarse en varias capas hasta alcanzar el espesor deseado. Toda superficie ya trabajada, debe ser barrida antes de que se permita la circulación de los vehículos en la vía.

Es importante tener en cuenta que cualquiera que sea el método empleado para fresar, los trabajos realizados no deben producir daños a objetos, estructuras y vegetación que se encuentre en cercanía con la zona intervenida.

### ***6.6.1. Limitaciones en la ejecución del fresado***

En los lineamientos técnicos del Instituto del desarrollo Urbano, se estipula, que los trabajos de fresado deben ser suspendidos en condiciones de lluvia. También, que sólo se permite el trabajo en horas de la noche siempre y cuando exista una iluminación artificial

que permita el fresado; si no es posible, la obra se debe realizar durante las horas de la luz solar.

#### ***6.6.2. Acopio y propiedad del material fresado***

El material que se extraiga del fresado debe ser transportado y acopiado en los lugares que se indiquen en el proyecto. El constructor es el encargado de realizar a sus expensas el cargue, transporte, descargue y disposición de estos materiales en un vertedero autorizado.

### **6.7. Manejo ambiental**

Toda labor de fresado se debe ejecutar respetando lo establecido en los estudios o evaluaciones ambientales del proyecto y todas las disposiciones vigentes sobre la conservación del medio ambiente y los recursos naturales.

### **6.8. Accidente de tránsito**

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017) afirma que actualmente los traumatismos por accidentes de tránsito son considerados problemas de salud pública, debido a que éstos son una de las principales causas de muertes en el mundo. Autores como García et al. (2011) refieren que los accidentes de tránsito se producen en gran medida por factores humanos, relacionados con el comportamiento, la falta de competencia y conciencia sobre el riesgo, el irrespeto a las normas de tránsito y el no uso de medidas de protección. Otros factores, son las condiciones del vehículo dado al incumplimiento de las revisiones técnico-mecánicas y las condiciones ambientales y viales referidas a problemas en el diseño y trazado de la carretera, la falta de

señalización, el mantenimiento insuficiente y las condiciones topográficas, geológicas y climáticas (Rodríguez et al., 2017).

Según el Observatorio Nacional de Seguridad Vial ONSV (2020) En el 2019, en Colombia se registraron 6.634 accidentes fatales evidenciándose un aumento del 2.44%, es decir, 158 fatalidades más que en el 2018. Departamentos como Valle del Cauca, Antioquia, Cundinamarca, Santander y Tolima son quienes encabezan la lista con mayor número de víctimas mortales que dejaron los accidentes en el 2019. Muchos de éstos, fueron producto de factores humanos; uno de ellos es el microsueño que son aquellos ataques de sueño que durante el estado de vigilia se presentan en el conductor y pueden tener una duración de hasta 3 segundos; sólo basta este tiempo para que ocurran graves accidentes ya que la persona que conduce el vehículo pierde totalmente la conciencia y por ende se disminuye la atención y así mismo la capacidad de reacción. Fernández (como se citó en Torres, 2015).

En el año 1971, la OMS refiere el defecto humano como factor causal de los accidentes de tránsito, siendo los más frecuentes: el alcohol, las drogas y la fatiga; asimismo, la Ley General de Salud, la define como un hecho súbito que ocasiona daños a la salud y que se produce por la ocurrencia de condiciones potencialmente prevenibles. Así pues, según la OMS (2017), los accidentes de tránsito son en la actualidad unos de los problemas de gran impacto social y económico siendo la población joven entre los 15 y 30 años los más afectados.

En Colombia, como se citó en Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental [CORPONOR] (2019) el Código Nacional de Tránsito y Transporte en la Ley 769 del 2002, en el artículo 2º, lo define como un evento generalmente involuntario ocasionado por al menos un vehículo en movimiento, que impacta contra otro u otros

vehículos, o contra un objeto fijo ocasionando daños a personas y bienes. Asimismo, se ve afectada la circulación vehicular de la zona de influencia del hecho.

Cuando se habla de accidentes de tránsito, deben distinguirse los conceptos de choque y colisión; el primero hace referencia cuando un vehículo en movimiento impacta contra un objeto estático, mientras que el segundo se alude a dos o más vehículos en movimiento que impactan simultáneamente (Escobar, C. Medina, D. y Medina, M. (2017).

Autores como Lorenzo y Menchaca (1999) plantean la clasificación de los tipos de accidentes donde se ven involucrados los ocupantes del vehículo siniestrado.

#### *6.8.1. Choques frontales*

Es definida como un impacto con un objeto de frente, que reduce bruscamente la velocidad del vehículo afectado.

#### *6.8.2. Colisiones laterales*

Es definido como la colisión contra el lateral del vehículo y que acelera al ocupante lejos del punto de impacto (aceleración como oposición a la desaceleración).

### ***Colisión frontal***

Sucede cuando dos vehículos en movimiento con sentido de circulación opuesta impactan en su parte delantera.

#### *6.8.3. Colisión fronto-lateral*

Son aquellas en las que el punto de contacto se produce en el lateral de uno de los vehículos cuando el otro impacta con su parte frontal.

#### 6.8.4. *Colisiones por alcance*

Impacto en la zona trasera de un vehículo, por parte de otro que circula detrás de él en el mismo sentido.

### 6.9. **Microsueño**

La fatiga es un estado psicofísico que produce disminución de la capacidad energética por la acción del cansancio, y se manifiesta a través de una serie de síntomas, que normalmente se asocian con trabajo prolongado y monótono, lo que repercute en la calidad y precisión de las maniobras; el cansancio o la fatiga se considera como uno de los estados más peligrosos al conducir vehículos, porque interfiere en el conductor para el correcto procesamiento de la información y toma de decisiones, que se reflejan en errores de ejecución al conducir bajo márgenes de seguridad (Norza C., E. H., Granados L., E. L., Useche H., S. A., Romero H., M. & Moreno R., J. 2014).

Así pues, la acumulación de horas de vigilia afecta negativamente a la capacidad de reacción y dificulta el mantenerse atento a la conducción; dentro de los efectos inmediatos están la disminución de los reflejos y de agudeza visual provocando una visión borrosa que potenciando la fatiga y el cansancio ocular. Otro de los efectos es que los músculos entran en un estado de relajación, llegando a producir leves temblores en las manos y en las piernas (Castro, J., Rosales, E., & Egoavil, M. 2009).

Uno de los efectos más negativos de la falta de sueño al volante es la aparición de los llamados "microsueños" siendo éste una defensa del organismo por no dormir y que hacen que durante un breve lapso se pierda la consciencia, respecto de la carretera, señales u otros vehículos. Este síndrome suele aparecer en aquellos conductores que se movilizan durante largas horas y duermen poco y en muchos casos son causantes de

accidentes que no tienen una explicación clara y que se producen en tramos rectos con salida de la vía. (Castro, J., Rosales, E., & Egoavil, M. 2009).

Por su parte, la Policía Nacional (PONAL, 2017) refiere que conducir con sueño, es un factor humano muy reincidente en los accidentes de tránsito. Afirman que conducir bajo los efectos de la falta de sueño, adormecimiento o somnolencia, reduce significativamente todas las capacidades de psicomotricidad y psicofísicas, que son necesarias al momento de conducir, ya que, el sueño resulta fundamental para el correcto funcionamiento psicofisiológico.

A pesar de que en la actualidad no se cuentan con exámenes objetivos que permitan la cuantificación de los niveles de somnolencia, la policía nacional describe que se ha podido establecer en los últimos años que los accidentes relacionados con este factor presentan como características, que tienen lugar durante las últimas horas de la noche, primeras de la mañana o a media tarde, que suelen ser graves, que un único vehículo se sale de la calzada, que tiene lugar a altas velocidades, que el conductor no intenta evitar el accidente y que el conductor por lo general va solo en el vehículo.

Por otra parte, se afirma que el adormecimiento por falta de sueño puede generar un accidente, gracias a que da lugar a una alteración en algunos aspectos del desempeño humano que son importantes al momento de accionar un vehículo. Entre ellos está, el enlentecimiento del tiempo de reacción, reflejado en dificultades al intentar frenar para evitar el choque. La reducción de la vigilancia, ya que se presentan distracciones por la baja activación del sistema nervioso, lo cual, hace perder el control voluntario y la concentración. El déficit en el procesamiento de la información, ya que el conductor con sueño disminuye su habilidad para integrar información y analizar, lo que aumenta las confusiones y errores en las maniobras.

Otro factor que está estrechamente relacionado con el sueño y los microsueños, es la fatiga. La (PONAL, 2017) la define como un estado psicofísico, que disminuye la capacidad energética por la acción del cansancio y se manifiesta por síntomas que se asocian con el trabajo prolongado y monótono, afectando la precisión de las maniobras. La fatiga, interfiere en el conductor para el correcto procesamiento de la información y la toma de decisiones. Es producida por diversos factores como: Factores externos, que refieren a la monotonía de la carretera y falta de estímulos exteriores, la elevada densidad del tráfico y retenciones, obras en la vía y condiciones climáticas. Factores relacionados con el vehículo que se conduce como, el ruido excesivo del motor, mal diseño ergonómico, mala ventilación, vibraciones, entre otras. Y factores relacionados con el propio conductor, como una atención y concentración permanente, largos períodos de conducción de excesiva alerta, mantener constante la velocidad y conducir con hambre o sueño. Todo lo anterior, se manifiesta negativamente sobre la conducción, de manera que se ve reflejado en la disminución del nivel de atención, precisión y velocidad de respuesta, aparición de percepciones lentas y débiles, incremento del tiempo de reacción para frenar y reducción de la capacidad para realizar dos tareas al mismo tiempo.

#### **6.10. Cifras de accidentalidad en Colombia**

Las cifras parciales de siniestros de tránsito registrados en el Observatorio Nacional de Seguridad Vial entre los años 2018 y 2019, se muestran en las siguientes tablas.

<b>Departamento de ocurrencia</b>				
<b>Departamento</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>V</b>	<b>%V</b>
Valle del cauca	903	903	0	0,00%
Antioquia	771	872	101	13,10%
Bogotá Dc	521	517	-4	-0,77%
Cundinamarca	461	514	53	11,50%
Santander	304	312	8	2,63%

Tolima	273	240	-33	-12,09%
Cauca	211	239	28	13,27%
Norte de Santander	194	235	41	21,13%
Huila	233	225	-8	-3,43%
Cesar	270	222	-48	-17,78%
Nariño	204	220	16	7,84%
Atlántico	230	209	-21	-9,13%
Meta	201	201	0	0,00%

Tabla 4. Porcentajes de ocurrencia de accidentes de los departamentos con índices más altos.

Ciudad capital de ocurrencia					
Departamento	Municipio	2018	2019	V	%V
Bogotá Dc	Bogotá Dc	521	517	-4	-0,77%
Valle de cauca	Cali	356	324	-32	-8,99%
Antioquia	Medellín	238	243	5	2,10%
Bolívar	Cartagena de Indias	83	98	15	18,07%
Atlántico	Barranquilla	107	96	-11	-10,28%
Meta	Villavicencio	91	76	-15	-16,48%
Magdalena	Santa Marta	79	74	-5	-6,33%
Tolima	Ibagué	68	72	4	5,88%
Risaralda	Pereira	80	71	-9	-11,25%
Norte de Santander	Cúcuta	84	64	-20	-23,81%
Córdoba	Montería	78	60	-18	-23,08%
Santander	Bucaramanga	60	59	-1	-1,67%
Cesar	Valledupar	47	56	9	19,15%

Tabla 5. Porcentajes de ocurrencia de accidentes de las ciudades capitales con índices más altos.

Municipio de ocurrencia					
Municipio	Departamento	2018	2019	V	%V
Agua de dios	Cundinamarca	-	1	1	-
Anolaima	Cundinamarca	1	2	1	100%
Arbeláez	Cundinamarca	1	2	1	100%
Beltrán	Cundinamarca	-	2	2	-
Bituima	Cundinamarca	-	1	1	-
Cabrera	Cundinamarca	-	1	1	-
Cajaca	Cundinamarca	11	12	1	9%
Cáqueza	Cundinamarca	8	10	2	25%
Chia	Cundinamarca	12	16	4	33%

Choacho	Cundinamarca	1	4	3	300%
Cota	Cundinamarca	5	14	9	180%
El colegio	Cundinamarca	1	5	4	400%
Facatativá	Cundinamarca	18	32	14	78%
Fomeque	Cundinamarca	-	1	1	-
Fúquene	Cundinamarca	1	3	2	200%
Gacheta	Cundinamarca	-	2	2	-
Guachetá	Cundinamarca	1	2	1	100%
Guayabal de siquima	Cundinamarca	-	1	1	-
Guayabetal	Cundinamarca	3	6	3	100%
La palma	Cundinamarca	-	1	1	-
La vega	Cundinamarca	6	10	4	67%
Madrid	Cundinamarca	6	13	7	117%
Mosquera	Cundinamarca	15	26	11	73%
Nariño	Cundinamarca	-	1	1	-
Nilo	Cundinamarca	4	5	1	25%
Pacho	Cundinamarca	1	4	3	300%
Pasca	Cundinamarca	1	2	1	100%
Pulí	Cundinamarca	-	1	1	-
Ricaurte	Cundinamarca	2	6	4	200%
San Antonio del Tequendama	Cundinamarca	4	6	2	50%
San juan de rio seco	Cundinamarca	1	2	1	100%
Sibeta	Cundinamarca	4	7	3	75%
Silvania	Cundinamarca	3	8	5	167%
Simijaca	Cundinamarca	2	6	4	200%
Soacha	Cundinamarca	48	53	5	10%
Subachoque	Cundinamarca	-	3	3	-
Supatá	Cundinamarca	-	1	1	-
Susa	Cundinamarca	2	4	2	100%
Tabio	Cundinamarca	2	3	1	50%
Tibacuy	Cundinamarca	-	1	1	-
Tibirita	Cundinamarca	-	2	2	-
Tocancipá	Cundinamarca	7	12	5	71%
Utica	Cundinamarca	-	1	1	-
Viani	Cundinamarca	-	1	1	-
Villapinzon	Cundinamarca	4	8	4	100%
Viota	Cundinamarca	1	2	1	100%
Yacopi	Cundinamarca	-	2	2	-
Zipacon	Cundinamarca	-	1	1	-
Zipaquira	Cundinamarca	8	19	11	138%
Alcala	Valle del cauca	1	4	3	300%
Ansermanuevo	Valle del cauca	6	8	2	33%
Argelia	Valle del cauca	1	2	1	100%
Bolívar	Valle del cauca	2	6	4	200%
Buenaventura	Valle del cauca	36	44	8	22%
Bugalagrande	Valle del cauca	7	10	3	43%

Caicedonia	Valle del cauca	5	6	1	20%
Cartago	Valle del cauca	25	34	9	36%
Dagua	Valle del cauca	13	16	3	23%
El águila	Valle del cauca	2	3	1	50%
EL cerrito	Valle del cauca	12	18	6	50%
Florida	Valle del cauca	10	14	4	40%
Ginebra	Valle del cauca	5	6	1	20%
Guadalajara de buga	Valle del cauca	36	40	4	11%
La cumbre	Valle del cauca	1	3	2	200%
La unión	Valle del cauca	4	9	5	125%
Obando	Valle del cauca	2	6	4	200%
Pradera	Valle del cauca	18	21	3	17%
Riofrio	Valle del cauca	2	5	3	150%
Roldanillo	Valle del cauca	6	8	2	33%
San pedro	Valle del cauca	8	12	4	50%
Sevilla	Valle del cauca	4	6	2	50%
Trujillo	Valle del cauca	2	6	4	200%
Tulua	Valle del cauca	28	40	12	43%
Ulloa	Valle del cauca	-	1	1	-
Zarzal	Valle del cauca	24	25	1	4%
Abejorral	Antioquia	-	2	2	-
Amaga	Antioquia	2	6	4	200%
Angostura	Antioquia	-	1	1	-
Bello	Antioquia	41	45	4	10%
Betania	Antioquia	1	5	4	400%
Caicedo	Antioquia	-	1	1	-
Caldas	Antioquia	14	19	5	36%
Canasgordas	Antioquia	-	2	2	-
Caramanta	Antioquia	-	2	2	-
Carepa	Antioquia	8	11	3	38%
Caucasia	Antioquia	9	20	11	122%
Chigorodo	Antioquia	14	17	3	21%
Cisneros	Antioquia	3	4	1	33%
Ciudad bolivar	Antioquia	4	5	1	25%
Cocorna	Antioquia	8	9	1	13%
Copacabana	Antioquia	14	23	9	64%
Donmatias	Antioquia	1	2	1	100%
Ebejico	Antioquia	-	1	1	-
El carmen de viboral	Antioquia	5	6	1	20%
Envigado	Antioquia	16	23	7	44%
Fredonia	Antioquia	-	1	1	-
Giraldo	Antioquia	2	5	3	150%
Gomez plata	Antioquia	-	3	3	-
Guadalupe	Antioquia	-	3	3	-

Heliconia	Antioquia	-	1	1	-
Itagui	Antioquia	21	22	1	5%
La ceja	Antioquia	5	10	5	100%
La pintada	Antioquia	2	6	4	200%
La union	Antioquia	-	1	1	-
Liborina	Antioquia	-	4	4	-
Maceo	Antioquia	-	2	2	-
Mirinilla	Antioquia	7	14	7	100%
Mutata	Antioquia	11	12	1	9%
Necocli	Antioquia	7	9	2	29%
Olaya	Antioquia	-	2	2	-
Puerto berrio	Antioquia	8	10	2	25%
Puerto triunfo	Antioquia	12	15	3	25%
Remedios	Antioquia	3	5	2	67%
Retiro	Antioquia	2	9	7	350%
Rionegro	Antioquia	15	27	12	80%
Sabanalarga	Antioquia	-	1	1	-
San rafael	Antioquia	-	2	2	-
San vicente ferrer	Antioquia	1	3	2	200%
Santa barbara	Antioquia	4	9	5	125%
Sanata rosa de osos	Antioquia	11	17	6	55%
Santo domingo	Antioquia	3	8	5	167%
Segovia	Antioquia	3	6	3	100%
Titiribí	Antioquia	1	6	5	500%
Turbo	Antioquia	25	42	17	68%
Urumita	Antioquia	-	1	1	-
Urrao	Antioquia	2	3	1	50%
Valdivia	Antioquia	4	5	1	25%
Venecia	Antioquia	1	3	2	200%
Yalí	Antioquia	1	2	1	100%
Yarumal	Antioquia	5	9	4	80%
Yolombo	Antioquia	4	8	4	100%
Yondó	Antioquia	2	8	6	300%
Achí	Bolívar	-	1	1	-
Arenal	Bolívar	-	2	2	-
Barranco de loba	Bolívar	-	3	3	-
Calarma	Bolívar	1	2	1	100%
Hatillo de loba	Bolívar	-	1	1	-
María de baja	Bolívar	5	7	2	40%
Mompós	Bolívar	-	3	3	-
Santa rosa	Bolívar	1	5	4	400%

Santa rosa del sur	Bolívar	-	5	5	-
Simiti	Bolívar	-	4	4	-
Villanueva	Bolívar	-	2	2	-
Zambrano	Bolívar	1	2	1	100%
Galapa	Atlántico	7	12	5	71%
Juan de acosta	Atlántico	1	6	5	500%
Palmar de Varela	Atlántico	1	3	2	200%
Puerto Colombia	Atlántico	3	5	2	67%
Repelón	Atlántico	1	2	1	100%
Santo tomas	Atlántico	2	3	1	50%
Tubara	Atlántico	3	6	3	100%
Usiacurí	Atlántico	-	1	1	-
Acacias	Meta	17	21	4	24%
Castilla la nueva	Meta	5	6	1	20%
El castillo	Meta	-	1	1	-
Fuente de oro	Meta	-	3	3	-
Guamal	Meta	4	7	3	75%
Puerto Gaitán	Meta	8	14	6	75%
Puerto López	Meta	6	15	9	150%
Restrepo	Meta	3	6	3	100%
San juan de Arama	Meta	-	1	1	-
San Luis de Cubarral	Meta	1	2	1	100%
Algarrobo	Magdalena	-	5	5	-
Ariguani	Magdalena	1	8	7	700%
Ciénega	Magdalena	22	37	15	68%
Nueva granada	Magdalena	1	4	3	300%
Pivijay	Magdalena	2	5	3	150%
Plato	Magdalena	2	10	8	400%
Santa Ana	Magdalena	2	6	4	200%
Sitio nuevo	Magdalena	6	8	2	33%
Ataco	Tolima	2	4	2	100%
Carmen de Apicalá	Tolima	3	6	3	100%
Casabianca	Tolima	-	1	1	-
Chaparral	Tolima	6	7	1	17%
Coyaima	Tolima	7	16	9	129%
Dolores	Tolima	-	1	1	-
Flandes	Tolima	9	14	5	56%
Ortega	Tolima	3	5	2	67%
Palocabildo	Tolima	-	2	2	-

Prado	Tolima	1	2	1	100%
Rioblanco	Tolima	1	2	1	100%
Rovira	Tolima	2	3	1	50%
Saldana	Tolima	4	6	2	50%
San Sebastián	Tolima	4	8	4	100%
Suarez	Tolima	-	4	4	-
Valle de san juan	Tolima	-	2	2	-
Villahermosa	Tolima	-	1	1	-
Dosquebradas	Risaralda	22	27	5	23%
Guática	Risaralda	1	2	1	100%
Marsella	Risaralda	2	5	3	150%
Mistrató	Risaralda	-	1	1	-
Pueblo rico	Risaralda	1	3	2	200%
Quinchía	Risaralda	3	4	1	33%
Cacota	Norte de Santander	-	1	1	-
Chinácota	Norte de Santander	1	3	2	200%
Chitaga	Norte de Santander	1	3	2	200%
Durania	Norte de Santander	-	1	1	-
La esperanza	Norte de Santander	1	13	12	1200%
La playa	Norte de Santander	1	3	2	200%
Labateca	Norte de Santander	-	1	1	-
Los patios	Norte de Santander	11	15	4	36%
Ocana	Norte de Santander	14	34	20	143%
Pamplona	Norte de Santander	5	10	5	100%
Pamplonita	Norte de Santander	-	2	2	-
Puerto Santander	Norte de Santander	2	5	3	150%
Salazar	Norte de Santander	-	1	1	-
Sardinata	Norte de Santander	12	17	5	42%
Tibú	Norte de Santander	7	20	13	186%
Toledo	Norte de Santander	-	4	4	-

Villa del Rosario	Norte de Santander	5	8	3	60%
Ayapel	Córdoba	-	1	1	-
Buenavista	Córdoba	1	2	1	100%
Canalete	Córdoba	-	3	3	-
Carrete	Córdoba	16	17	1	6%
Chinú	Córdoba	7	12	5	71%
Ciénaga de oro	Córdoba	4	6	2	50%
Cotorra	Córdoba	2	5	3	150%
La apartada	Córdoba	4	6	2	50%
Momil	Córdoba	7	10	3	43%
Monitos	Córdoba	2	7	5	250%
Planeta rica	Córdoba	6	9	3	50%
Pueblo nuevo	Córdoba	-	1	1	-
Puerto libertador	Córdoba	5	8	3	60%
Purísima de la concepción	Córdoba	1	2	1	100%
Sahagún	Córdoba	5	8	3	60%
San Bernardo del viento	Córdoba	3	5	2	67%
San José de ure	Córdoba	-	1	1	-
Aratoaca	Santander	2	6	4	200%
Capitanejo	Santander	1	2	1	100%
Cerrito	Santander	-	1	1	-
Chipatá	Santander	-	1	1	-
Cimitarra	Santander	10	14	4	40%
Confines	Santander	1	3	2	200%
Coromoro	Santander	-	1	1	-
Curití	Santander	2	3	1	50%
El Carmen de chucuri	Santander	1	4	3	300%
Enciso	Santander	-	1	1	-
Galán	Santander	-	1	1	-
Jesús maría	Santander	-	1	1	-
Jordán	Santander	-	1	1	-
Málaga	Santander	1	2	1	100%
Pinchote	Santander	1	2	1	100%
Puente nacional	Santander	3	4	1	33%
puerto Wilches	Santander	2	5	3	150%
Rionegro	Santander	6	9	3	50%
Sabana de torres	Santander	14	17	3	21%
San Andrés	Santander	-	1	1	-
San gil	Santander	1	4	3	300%

Suaita	Santander	2	7	5	250%
Surata	Santander	1	6	5	500%
Valle de san José	Santander	-	1	1	-
Vetas	Santander	-	5	5	-
El copey	Cesar	6	7	1	17%
González	Cesar	1	2	1	100%
Manaure balcón del cesar	Cesar	-	2	2	-
pelaya	Cesar	3	5	2	67%
Rio de oro	Cesar	2	8	6	300%
San Alberto	Cesar	10	12	2	20%
Tamalameque	Cesar	-	4	4	-

Tabla 6. Porcentajes de ocurrencia de accidentes de los municipios con índices más altos.

Tabla 7

## 7. Análisis comparativo entre Costa Rica, España y Estados Unidos con respecto a la implementación de Bandas Sonoras

Categoría de análisis	Documento: Bandas Sonoras Longitudinales Fresadas de la Dirección General de Tráfico de España (2018)	Documento: Bandas Sonoras Rumble Strips del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) (2020)	Documento: Guidance for the Design and Application of Shoulder and Centerline Rumble Strips (2009)
<b>Aplicaciones</b>	La Dirección General de Tráfico de España (2018) indica que las Bandas Sonoras Longitudinales Fresadas se pueden calificar en diferentes tipos de función de los parámetros que se evalúen. Dependiendo de su funcionalidad y disposición se pueden considerar 3	El Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos de Estructurales de Costa Rica en relación con las Bandas Sonoras informa que existen varios tipos de aplicaciones para la utilización de las bandas sonoras, dependiendo de la posición donde se vayan a implementar en la vía y la función	NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM da a conocer 4 tipos de aplicación de las bandas sonoras: <b>1. Bandas sonoras de berma:</b> Las banas sonoras de berma son aplicadas en los márgenes de las carreteras, fuera del carril. En algunas

---

tipos de GSLF que a su vez se dividen en diversos subtipos.	específica con la que se busca disminuir los diferentes tipos de accidentes.	ocasiones son instaladas a lo largo de la línea de borde de la calzada y se
<b>1. GSLF de separación de sentidos:</b>	<b>1. Bandas sonoras en espaldones</b>	pueden denominar franjas de borde
Advierte al conductor de que el vehículo abandona el carril de circulación con riesgo de invasión del sentido contrario a fin de evitar accidentes frontales, fronto-laterales y salida de vía por la izquierda.	<b>(bermas):</b> Se conforman en el espaldón de la vía fuera del carril de tránsito. Tienen como propósito disminuir los accidentes por salida de la vía, Figura 44 y Figura 45.	retumbantes del borde o franjas retumbantes. En carreteras de doble carril, las bandas sonoras de berma pueden instalarse en el berma derecho y izquierdo como se ilustra en la figura 45.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>GSLF de separación de sentidos en marca vial:</i></li> </ul>	<b>2. Bandas sonoras en el centro de la vía:</b>	<b>2. bandas sonoras de línea central:</b>
Se ejecuta sobre la propia marca vial de eje.	Se colocan sobre o cerca de la línea central de la calzada. Diseñados para disminuir los choques frontales entre vehículos. Figura 46 y Figura 47	Las bandas sonoras de línea central pueden ser instaladas sobre o al lado de la marcación de la línea central. Las bandas sonoras de línea central están diseñadas principalmente para

---

- *GLSF de separación de sentidos adyacente a la marca vial:*

Es ejecutado contigua a la marca vial en el interior del carril.

- *GSLF de separación de sentidos entre líneas viales:*

Es ejecutado en el espacio central excluido a la circulación delimitada por las líneas viales.

## **2. *GSLF de separación de carriles:***

Se utiliza para advertir al conductor en vías de 2 o más carriles por sentidos de circulación de que el

## **3. *Bandas sonoras en el centro del carril:***

Son colocadas en el centro del carril y su propósito es prevenir accidentes tanto de salida de vía de los vehículos, como colisiones frontales.

## **4. *Bandas sonoras transversales:***

Son implementadas a lo ancho del carril de forma transversal a la vía. Su objetivo es alertar a los conductores sobre la proximidad a intersecciones, curvas

para mitigar accidentes de choques frontales y barridos laterales en la dirección opuesta. En la figura 47 se ilustra la instalación típica de este tipo de banda sonora.

## **3. *Bandas sonoras de centro de carril:***

Únicamente se colocan en el centro del carril de circulación como se muestra en la figura 48. Este tipo de bandas sonoras son un concepto que se ha discutido y aun no se ha conocido instalaciones reales de este tipo de bandas, tienen su principal

---

vehículo tiene una trayectoria de abandono del carril de circulación con riesgos de invasión de carril contigua.

- *GSLF de separación de carril en marca vial:*

Es ejecutado sobre la propia marca vial de separación de carriles.

- *GSLF de separación de carriles adyacentes a la marca vial:*

Es ejecutado contigua a la marca vial.

---

horizontales, entre otras. Figura 48 y Figura 49.

uso es cuando la berma de la carretera es estrecha o berma no existente.

#### ***4. Bandas sonoras transversales:***

Las bandas sonoras transversales son instaladas prácticamente a lo ancho de los carriles de circulación como se muestra en la figura 49, y su función principal es alertar a los usuarios de las intersecciones, plazas de peajes, curvas horizontales, zonas de trabajo, o cualquier condición inesperada.

---

### 3. *GSLF de borde de calzada:*

Son encargas de advertir al conductor de que su vehículo tiene una trayectoria de abandono de la calzada con riesgo de salida de la vía.

- *GSLF de borde de calzada en marca vial:*

Es ejecutado sobre la propia marca vial de borde de la calzada

- *GSLF de borde de calzada adyacente a la marca vial:*
-

---

Es ejecutado contigua a la marca vial de borde de calzada, bien sobre el carril (interior) o sobre el arcén.

- *GSLF de borde de calzada sin marca vial.*

Es ejecutado en el borde de la calzada.

Se tiene en cuenta sus perfiles longitudinales y sección transversal, las GSLF pueden calificarse en los siguientes tipos.

- *Sinusoidal: Figura 14, Figura 15.*
-

- 
- *Paralelogramo: Figura 16, Figura 17, Figura 18.*
  - *Trapezoidal: Figura 19, Figura 20, Figura 21.*

En disposición longitudinal se divide en:

- *Continuas:*

Su patrón es contante y se mantiene a lo largo del tramo de ejecución.

Ejemplo: Figura 23.

- *Discontinuas:*

Se recomienda un patrón con tramos de 3.5m de longitud con

---

---

interrupciones sin GSLF de 1.5m.

Ejemplo: Figura 34.

---

<b>Dimensiones</b>	Las dimensiones de las GSLF están registradas en la Tabla 3.	En la Figura 50 se muestra las diferentes dimensiones que se deben considerar en el diseño de las bandas sonoras en los espaldones. Cabe mencionar que la denotación de las dimensiones de las bandas en el eje central tiene la misma simbología, pero el posicionamiento del tratamiento se realiza en la línea de centro que separa los carriles.  Por otra parte, estos autores refieren que las dimensiones de los parámetros de	En la figura 55 se muestra los parámetros de las bandas sonoras: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b><i>Desplazamiento (A):</i></b>  Distancia lateral de borde del camino de viaje al borde interior de la banda sonora.</li> <li>• <b><i>Longitud (B):</i></b>  Dimensión de la banda sonora medida lateral a la forma de viaje.</li> </ul>
--------------------	--	---	---

---

---

diseño de las bandas sonoras dependen de las condiciones que presenta la vía en relación con su geometría (ancho de carril y espaldón), funcionalidad (tipo de tránsito y velocidad) y usuarios. En la Tabla 7 se estipulan algunas dimensiones sugeridas para el diseño de bandas sonoras.

Así mismo se debe contemplar lo siguiente para su implementación:

- En caso de rutas que presenten condiciones para el tránsito de ciclistas en la vía o en el espaldón (velocidades de circulación menores a 60 km/h), es

Esta dimensión se denomina ancho transversal.

- **Ancho (C):**

Dimensión de banda sonora medida en paralela al carril de circulación.

- **Profundidad (D):**

Es la medida vertical desde la parte superior de la superficie del pavimento hasta la parte inferior de una banda sonora. Esta distancia se refiere al a máxima profundidad del corte o surco.

- **Espaciado (E):**

---

---

recomendable reajustar las dimensiones de las bandas sonoras con el fin de garantizar el claro libre para facilitar el tránsito de estos usuarios, evitando que ingresen a los carriles de tránsito. Se recomienda un ancho de claro libre de 1,5 m, para proporcionar a los ciclistas un espacio físico adecuado para su movilidad. (pág. 7)

- Las bandas sonoras en espaldones deben concluirse 60 m antes del comienzo de una intersección o

Distancia medida bandas sonoras, esta distancia se mide a partir del centro de la banda sonora al centro adyacente de la banda sonora siguiente.

- ***Área de recuperación (F):***

Distancia desde el borde interior de la banda sonora hasta el borde exterior de la berma.

- ***Espacio (G):***

Distancia medida paralelamente a la calzada entre grupos de patrones de bandas sonoras. Los espacios están diseñados principalmente para

---

---

acceso y reanudarse 30 m después de la misma. (pág. 7)

- Debe garantizarse una profundidad de ranurado adecuado para generar un cambio en el nivel de sonido y vibración. Estudios han demostrado que es necesario un aumento de 3 dBA, 4 dBA, 6 dBA o 10 dBA por encima del ruido ambiental para generar una alerta al conductor. El modelo de regresión de Donnell et al. Estima el aumento del nivel de ruido dentro del vehículo cuando este transita sobre las bandas sonoras ( $\Delta SL$ ), siendo la

permitir a los ciclistas cruzar al otro lado del patrón de la banda sonora.

- ***Altura (H):***

Esta dimensión no se encuentra demostrada en la figura 55, pero hace referencia a la distancia vertical medida desde el pavimento hasta la parte superior de una franja sonora elevada. Esta dimensión corresponde a la dimensión de profundidad de fresado, enrollado y formado tiras retumbantes.

- ***Espacio libre latera (I):***

---

profundidad el parámetro con mayor influencia en el cálculo, como se muestra a continuación en la Ecuación. (pág. 7)

$$\Delta SL = 8,56 + 0,03V - 0,27\alpha + 0,24B + 0,70C + 4,17D - 0,36E - 1,24fu + 2,70ft - 0,72fp - 2,15f ch$$

Donde:

V: velocidad máxima permitida (mph)

E: espaciamiento entre ranuras (pulgadas)

$\alpha$ : ángulo de salida del vehículo con respecto al eje de carril (grados)

Distancia desde el exterior del borde la banda sonora hasta el borde exterior de la berma. Esta parte está disponible para la circulación de los ciclistas.

- **Ángulo de salida ( $\alpha$ ):**

Ángulo en el que un vehículo parte desde la calzada hacia la banda sonora.

La figura 55 ilustra la aplicación para bandas sonoras de berma. Por otro lado, los mismos términos (largo, ancho, profundidad y espaciado) se utilizan para describir las

---

Fu: ubicación de las bandas con respecto al sentido de circulación del carril: 1 a la derecha de la vía; 0 a la izquierda de la vía	dimensiones de las bandas sonoras de la línea central.
B: largo de la banda sonora (pulgadas) Ft: tipo de intervención: 1 ranurado; 0 amasado o estampado	A continuación, se mostrarán 3 ejemplos de dimensiones de acuerdo con la necesidad establecida para su aplicación.
C: ancho de la banda sonora (pulgadas)	<b><i>Ejemplo n. ° 1: Diseño de bandas sonoras para autopista:</i></b>
Fp: tipo de pavimento: 1 concreto; 0 asfalto	Suponga que una agencia de transporte estatal quiere establecer una política para el diseño de bandas sonoras de berma fresadas en zonas
D: profundidad de la ranura (pulgadas)	rurales y autopistas urbanas con
F ch: condición de humedad: 1 húmedo; 0 seco	límites de velocidad publicados entre

---

- 
- Se debe tomar en cuenta el nivel sonoro externo, el cual podría afectar a las poblaciones aledañas a la carretera. Para esto, puede considerarse el estudio realizado por Gates et al, en el que se estimó que por cada 1,59 mm (1/16 in) de profundidad de la ranura, se genera un incremento de 1,4 dB en pavimentos con tratamiento superficial y de 2,3 dB en pavimentos con superficie conformada con mezcla asfáltica en caliente. Ambos casos, para mediciones de sonido realizadas en 88 y 105 km / h. En las autopistas, las bermas pueden ser de pavimento de hormigón o asfalto. Las curvas horizontales en las autopistas son relativamente planas debido al diseño de altas velocidades, por lo que se puede suponer que el ángulo típico de salida es relativamente bajo. En este ejemplo los arcenes serán relativamente anchos, y en la mayoría de los casos no se permitirá el tránsito de bicicletas; por lo tanto, la dimensión de la longitud de la banda sonora se puede determinar independientemente del ancho de la berma.
-

carreteras rurales a 15,2 m desde las bandas sonoras de línea de centro, implementadas mediante fresado, y con una velocidad límite de los vehículos de 88,5 km/h (55 mph). Además, el estudio propone un límite de profundidad de la ranura de bandas sonoras fresadas en el centro de la vía de 1,6 cm para evitar niveles de ruido indeseables. (pág. 7)

Debido a que las bicicletas no están permitidas en las autopistas en la mayoría estados, las tiras sonoras se pueden diseñar para los rangos más altos de diferencia de nivel de sonido máximo deseable. (pág. 130)

$$SL_{Diff} = 8.650 + 0.027 \text{Velocidad} - 1.689 \text{Ubicacion} - 0.271 \text{Angulo} + 0.267 \text{Longitud} + 0.771 \text{Anchura} + 4.494 \text{Profundiad} - 0.394 \text{Espaciado} + 2.652 \text{Tipo RS} - 1.391 \text{Superficie PVMT} - 2.596 \text{Condiciones de PVMT}$$

Velocidad = velocidad del vehículo (mph).

Ubicación = indicador de ubicación (1 = berma; 0 = línea central).

Ángulo = ángulo de salida (grados).

---

Longitud = longitud de la banda sonora (pulg.).

Ancho = ancho de la banda sonora (pulg.).

Profundidad = profundidad de la banda sonora (pulg.).

Espaciado = espaciado entre tiras sonoras (pulg.).

Tipo RS = indicador de tipo de banda sonora (1 = fresado; 0 = enrollado).

Superficie de PVMT= indicador de tipo de superficie de pavimento (1 = hormigón; 0 = asfalto).

---

---

Condición PVMT = indicador de condición de la superficie del pavimento (1 = húmedo; 0 = seco).

Se supondrá que se establecerán las dimensiones de la banda sonora, primero para el arcén derecho (exterior) de la autopista. El proceso podría repetirse para establecer las dimensiones deseables del arcén izquierdo (mediano) de la autopista. (pág. 130)

Los siguientes son datos conocidos con base a la información proporcionada anteriormente:

---

---

- Ubicación: bandas sonoras de la berma derecho (exterior) (indicador = 1).

- Tipo de tira retumbante: Fresado (indicador = 1).

- Tipo de pavimento: Asfalto (Indicador = 0).

- Estado del pavimento: Mojado (Indicador = 1).

Ingresando las variables anteriores en la diferencia de nivel de sonido modelo produce lo siguiente:

$$\text{SLDiff} = 7.017 + 0.027 \text{ Velocidad} - 0.271 \text{ Angulo} + 0.267 \text{ Longitud} + 0.771 \text{ Anchura} + 4.494 \text{ Profundidad} - 0.394 \text{ Espaciado}$$

---

---

Las dimensiones de tres patrones diferentes de bandas sonoras, asumiendo que las velocidades son velocidad 88 y 105 km / h y tres ángulos de salida que se muestran en la Tabla 9. (pág. 130)

***Ejemplo n. ° 2: Diseño de bandas sonoras de berma de franja para carreteras rurales de dos carriles:***

Se requiere el diseño de bandas sonoras de arcén fresadas en carreteras rurales de dos carriles.

Considerando los siguientes aspectos:

- Ciclistas.
-

- 
- Bermas más estrechos;
  - Curvas más pronunciadas;
  - Velocidades intermedias y altas, por ejemplo, 70 a 88 km / h límites de velocidad indicados.
  - Residentes cercanos.

Las condiciones base para el modelo, es decir, ubicación, tipo de banda sonora y tipo de pavimento son iguales que en el primer ejemplo. La principal diferencia es que por carecer de humedad la variable de condición de pavimento debe ser 0 en lugar de 1. Se desea desarrollar patrones de

---

---

bandas sonoras que generan diferencias de nivel de sonido en el rango de 6 a 12 dBA.

Como punto de partida para desarrollar de las bandas sonoras para carreteras rurales de dos carriles se presentan las dimensiones de las bandas sonoras tolerables para bicicletas en la Tabla 10. Se recomiendan las siguientes dimensiones para el diseño de bandas sonoras tolerables para bicicletas:

- Ancho: 127 mm.
  - Profundidad: 10 mm.
-

- 
- Espaciado: 280 o 305 mm.

La dimensión no abordada es la longitud de la banda sonora ya que en las carreteras rurales de dos carriles contiene tránsito de ciclistas y anchos de berma más estrechos. La longitud de la banda sonora depende de la demanda de la diferencia de nivel de sonido requerido para el proyecto como se estipula en la Tabla 11.

*Ejemplo n. ° 3: Diseño de bandas sonoras de vibración de la línea central de dos carriles:*

---

---

Se requiere diseñar franjas sonoras en la línea central en zonas rurales de dos carriles considerar lo siguiente:

- Curvas más pronunciadas.
- Velocidades intermedias y altas, por ejemplo: 70 a 88 km /h.
- Posiblemente residentes cercanos.

Dado que la mayoría de las carreteras rurales de dos carriles están construidas con asfalto pavimento, se asume un pavimento de asfalto para este diseño, pero debido a que ninguna variable indicadora de la condición del pavimento está presente

---

---

en este modelo de predicción de ruido, no es necesario suponer si las bandas sonoras serán diseñadas para condiciones de pavimento húmedo o seco.

Asumiendo una condición base para la variable indicadora de estado, los siguientes valores se ingresan en la ecuación dando como resultado el modelo base para su uso en el análisis de sensibilidad para este ejemplo:

$$\begin{aligned} \text{SLDiff} = & 7.712 + 0.057 \text{ Velocidad} - \\ & 1.116 \text{ Ubicación} - 0.275 \text{ Angulo} \\ & + 0.352 \text{ Longitud} + 0.498 \text{ anchura} + \\ & 3.106 \text{ Profundidad} - 0.300 \text{ Espaciado} \\ & - 3.065 \text{ Superficie PVMT} + 2.197 \text{ PA} \\ & + 1.165 \text{ MN} + 4.039 \text{ AZ} - 3.219 \text{ UT} \end{aligned}$$

---

---

dónde

PA = indicador de Pennsylvania (= 1 si se encuentra en Pennsylvania; = 0 si no).

MN = indicador de Minnesota (= 1 si se encuentra en Minnesota; =0 si no).

AZ = indicador de Arizona (= 1 si se encuentra en Arizona; = 0 sino).

UT = indicador de Utah (= 1 si se encuentra en Utah; = 0 si no).

Las dimensiones de la banda sonora de cinco patrones potenciales y otras condiciones (es decir, velocidad del vehículo y ángulo de salida) para establecer la franja sonora de la línea central en una carretera rural de dos carriles se muestran en la Tabla 12.

---

---

Se desea desarrollar patrones de bandas sonoras que generen diferencias de nivel de sonido en el rango de 10 a 15 dBA. La Tabla 12 muestra la diferencia estimada en el nivel sonoro generado en el interior del automóvil por los cinco patrones de bandas sonoras. Los patrones de banda sonora 1, 2 y 3 son los patrones más razonables para adoptar potencialmente para este tipo de condiciones.

---

<b>Proceso constructivo</b>	En este documento no presenta información sobre los procesos constructivos de las GSLF.	<p>En el documento mencionan 4 tipos de procesos lo cual se derivan en:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b><i>Fresado:</i></b>        producidas por una máquina de fresado, que generan un ranurado en superficie del pavimento. Se instalan fácilmente en pavimentos nuevos o existentes ya sean pavimentos flexibles o de concreto. Esta máquina permite ajustarse para cortar las dimensiones deseadas, espaciamiento, profundidad y forma de ranura. Figura 51.</li> <li>• <b><i>Amasado o estampadas:</i></b></li> </ul>	<p>Hay cuatro tipos de tiras sonoras: molidas, enrolladas, formado y levantado. Se diferencian principalmente por la instalación método, sus formas y tamaños. Diferentes cantidades de vibraciones, Los niveles de ruido y ruido son producidos por cada uno de los cuatro tipos.</p> <p>Las tiras rugosas fresadas son actualmente el tipo predominante de estruendo entre las agencias de transporte. Son fácilmente instalados en asfalto nuevo o existente y cemento Portland superficies de Creta</p>
-----------------------------	---	---	---

---

instaladas durante el proceso constructivo, exactamente en la compactación de la superficie del pavimento nuevo o rehabilitado. Las ranuras son formadas al compactar la superficie de asfalto en caliente con un rodillo con tubos de acero soldados al tambor. La calidad de las bandas sonoras depende de la temperatura del pavimento a la hora de hacer pasar el rodillo. Este método presenta altos costos en productividad y da resultados desfavorables en	(PCC), y producen una gran cantidad de ruido y vibración. Este tipo de banda sonora está hecha por una fresadora, que corta una ranura en el pavimento superficie. Las tiras sonoras enrolladas deben instalarse cuando se compacta la superficie del pavimento reconstruido o construido. Las ranuras se presionan en la superficie de asfalto caliente mediante un rodillo con tubos de acero soldados a los tambores. Se crean depresiones cuando el rodillo
--	---

---

---

efectividad y calidad, con respecto al método de fresado. Figura 52. pasa sobre la superficie de asfalto caliente.

- ***Corrugaciones u ondulaciones:***  
son generadas durante el proceso de acabado de pavimentos de concreto mediante el uso de formaletas, presionando elementos prefabricados o herramientas de uso manual contra el concreto fresco para dar el acabado de las franjas. Figura 53.

- ***Adheridas o elevadas:***  
son tiras o líneas de material que se adhieren a las superficies nuevas o existentes en el pavimento. Su

Se instalan tiras rugosas formadas o corrugadas a lo largo Superficies PCC. Las ranuras o hendiduras se forman en la superficie de hormigón durante el proceso de acabado.

Las tiras sonoras elevadas son tiras de material que se adhieren a Superficies de pavimento nuevas o existentes.

Diferentes materiales que se han utilizado incluyen barras de asfalto y pavimento elevado marcadores. El uso de bandas sonoras elevadas generalmente se limita a climas más

---

---

altura depende del tipo de material utilizado, este tipo de proceso está restringido en zonas que requieren remoción de nieve. Al momento de su instalación es importante asegurar su total adherencia a la superficie, de manera que no vayan a ser lanzadas con el peso de los vehículos. Figura 54.

cálidos debido a las dificultades de mantenimiento que resultan de la remoción de nieve en los climas del norte.

---

<b>Generalidades</b>	<b><i>Señalización:</i></b>	<b><i>Sitios de implementación:</i></b>	<b><i>Problemas de rendimiento del pavimento:</i></b>
	Los usuarios deben conocer que la vida tiene la instalación de las GSLF y así mismo sea consciente del	Las bandas sonoras pueden ser aplicadas en una gran variedad de carreteras como se indica en la Tabla 8, pero cumpliendo los	Se han realizado muy pocas investigaciones científicas para

---

---

<p>origen del posible ruido y vibraciones en el su vehículo, se recomienda hacer la instalación de señalización de carteles informativos al inicio de los tramos.</p>	<p>siguientes requerimientos físicos y funcionales:</p>	<p>abordar estas preocupaciones, pero a través de informes de observación, La mayoría de las preocupaciones sobre el desempeño del pavimento parecen ser poco relevantes.</p>
<p>En la Figura 42 se muestra algunos ejemplos de los diferentes tipos de señalización y sus dimensiones para el tipo de Guía Sonora.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un ancho mínimo de espaldón de 0.9m. Ancho recomendado de 1.2m y 1.5m en presencia de ciclistas.</li> <li>• Espaldón libre de 0.6m a 1.2m, corresponde a la distancia entre el borde exterior y la banda sonora y el borde exterior del espaldón.</li> <li>• Un tránsito promedio diario entre 400 y 3000 vehículos.</li> <li>• Espesor requerido del pavimento de 25mm a 152mm.</li> </ul>	<p><b><i>Motociclistas:</i></b></p> <p>La principal preocupación de los motociclistas sobre las bandas sonoras se relaciona con la controlabilidad. Solo unos pocos estudios de bandas sonoras han incluido motocicletas en experimentos de campo.</p>

***Mantenimiento:***

---

---

El mantenimiento de este tratamiento a lo largo de su periodo de vida útil es educido.

Estudios internacionales han demostrado que las preocupaciones sobre la acumulación de agua o nieve en las ranuras de las bandas sonoras durante los períodos de congelamiento y descongelamiento, en su mayor parte, carecen de fundamento, ya que no se ha comprobado una afectación directa del desempeño de los pavimentos. (pág. 8)

Con relación de las bandas sonoras se recomienda:

***Impacto del ruido en los residentes***

***cercanos:***

Un problema común citado por las agencias de transporte con respecto al uso de las bandas sonoras. Las tiras son ruidos que molestan a los vecinos. Sin embargo, el ruido se genera relativamente con poca frecuencia por tiras retumbantes colocadas en las bermas y en las líneas centrales de carreteras. En el caso de las bandas sonoras de berma y de la línea central, el ruido se genera solo por vehículos de motor, no todos los vehículos de motor.

---

- 
- Después de la construcción o rehabilitación de las ranuras, se debe barrer la orilla del espaldón y desechar los residuos de una manera apropiada. (pág. 8)
  - Durante la época seca, se debe realizar una inspección para la identificación de deterioros como agrietamiento, baches abiertos, acumulaciones de agua, entre otros. Si es necesario, se deberán realizar las intervenciones pertinentes: sellado de grietas, bacheos, drenajes, pavimentación y re-ranurado. (pág. 8)

***Otros problemas de bicicletas:***

La mayoría de los estudios que investigan el impacto de las bandas sonoras en los ciclistas se centran en los problemas de comodidad y control que el ciclista puede (o no).

---

- 
- Las bandas sonoras adheridas (raised) requieren de revisiones periódicas, debido a que el tránsito de vehículos podría desplazarlas o soltarlas parcialmente, lo que representaría un peligro para los usuarios de la vía. Si se presenta esta situación, es necesario reemplazar las bandas. (pág. 8)
-

Dimensiones en cm	Ancho mínimo	Ancho máximo	Longitud de onda mínima	Longitud de onda máxima	Separación mínima	Separación máxima	Largo mínimo	Largo máximo	Profundidad mayor mínima	Profundidad mayor máxima	Profundidad menor mínima	Profundidad menor máxima
Guía sonora de separación de sentidos en marca vial	15	25	No aplica	No aplica	12	18	10	40	1	1,5	No aplica	No aplica
Guía sonora de separación de sentidos adyacente a marca vial	15	25	No aplica	No aplica	12	18	10	30	1	1,5	No aplica	No aplica
Guía sonora de separación de sentidos entre líneas viales	15	25	No aplica	No aplica	12	18	15	50	1	1,5	No aplica	No aplica
Guía sonora de borde de calzada sin marca vial	15	25	No aplica	No aplica	12	18	15	40	1	1,5	No aplica	No aplica
Guía sonora de borde de calzada adyacente	15	25	No aplica	No aplica	12	18	10	25	1	1,5	No aplica	No aplica
Guía de borde de calzada en marca vial	15	25	No aplica	No aplica	12	18	10	20	1	1,5	No aplica	No aplica
Guía sonora sinusoidal (todos los tipos)	No aplica	No aplica	40	80	No aplica	No aplica	15	40	0,8	1,2	0,1	0,2

Tabla 3. Dimensiones básicas de las bandas sonoras longitudinales

Parámetro de diseño	Medidas sugeridas para el diseño de bandas sonoras	
	BS fresado en espaldón	BS fresado en centro de línea
<b>(A): Distancia entre el borde de la calzada y el borde interior de la BS</b>	0 – 200 mm [7]	No aplica
<b>(B): Dimensión del largo BS</b>	300 mm – 500 mm (vehículos pesados)	400 300 mm
<b>(C): Dimensión del ancho BS</b>	178 mm	150 mm – 200 mm
<b>(D): Profundidad de la ranura</b>	13 mm	13 mm – 16 mm
<b>(E): Distancia entre centros de las BS</b>	300 mm	300 mm
<b>(F): Distancia entre los grupos de patrones BS</b>	Cada 4 m con un patrón de 12 bandas sonoras	-
<b>(-) No se reporta información en las fuentes consultadas, ya que en muchos países las BS se construyen de forma continua</b>		

Tabla 7. LanammeUCR (2020) Medidas sugeridas para el diseño de bandas sonoras.

<b>BS</b>	<b>Se podrán implementar</b>	<b>No se pueden implementar</b>
<b>Espaldones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carreteras urbanas y rurales de dos carriles o múltiples carriles con espaldones pavimentados.</li> <li>• Carreteras con medianeras.</li> <li>• Túneles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando no existen las dimensiones en espaldón para su implementación.</li> <li>• En caso de deterioro o agrietamiento del pavimento.</li> <li>• Rutas con tránsito de ciclas donde su construcción represente un impedimento para la circulación segura de este tipo de usuario.</li> </ul>
<b>Centro de línea</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En carreteras urbanas o rurales de dos carriles o múltiples carriles con zonas de prohibición de adelantamiento.</li> <li>• En curvas horizontales con altos índices colisión.</li> <li>• Curvas con radios pequeños.</li> <li>• En pendientes o carriles de ascenso con zonas de prohibición de adelantamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dentro de 200 metros antes de una zona residencial o urbana.</li> <li>• En tableros de puentes.</li> <li>• En zonas de adelantamientos en rutas de dos carriles.</li> <li>• En intersecciones o accesos de una carretera.</li> </ul>

Tabla 8. LanammeUCR (2020) Zonas de implementación de bandas sonoras.

Banda Sonora patrón	Dimensiones de la banda sonora				Velocidad (km/h)	Salida Angulo (grados)	Diferencia de nivel de sonido (dBA)
	Longitud (cm)	Anchura (cm)	Profundidad (cm)	Espaciado (cm)			
1	15	12	1	30	88	1	10,7
2	30	15	1	30	88	1	13,09
3	40	17	1,3	30	88	1	15,51
1	15	12	1	30	88	3	10,16
2	30	15	1	30	88	3	12,55
3	40	17	1,3	30	88	3	14,97
1	15	12	1	30	88	5	9,62
2	30	15	1	30	88	5	12,58
3	40	17	1,3	30	88	5	14,43
1	15	12	1	30	105	1	10,97
2	30	15	1	30	105	1	13,93
3	40	17	1,3	30	105	1	15,78
1	15	12	1	30	105	3	10,43
2	30	15	1	30	105	3	13,39
3	40	17	1,3	30	105	3	15,24
1	15	12	1	30	105	5	9,89
2	30	15	1	30	105	5	12,85
3	40	17	1,3	30	105	5	14,7

Tabla 9. NCHRP (2017) Dimensiones y parámetros de la banda sonora considerados en el ejemplo 1.

Anchura	Profundidad	Espaciado (entre centros)	Comentarios
13cm	1cm	30cm	Instalación fuera de autopista con funcionamiento de velocidades cercanas a 88km/h
13cm	1cm	28cm	Instalación fuera de autopistas con funcionamiento de velocidades cercanas a 72km/h
13cm	0.8 ± 0.16 cm	30cm	Ninguno
13cm	1 ± 3 cm	30cm	Recomendar un patrón de separación de 15m de banda sonora seguido de 4m de espacio

Tabla 10. NCHRP (2017) Diseños de bandas sonoras recomendados para acomodar a motoristas y ciclistas.

Dimensiones de la banda sonora				Velocidad (km/h)	Salida Angulo (grados)	Diferencia de nivel de sonido (dBA)
Longitud (cm)	Anchura (cm)	Profundidad (cm)	Espaciado (cm)			
40	13	1	30	72	1	15.7
40	13	1	30	72	5	14.6
40	13	1	30	72	10	13.3
40	13	1	30	88	1	16.0
40	13	1	30	88	5	14.9
40	13	1	30	88	10	13.6
30	13	1	30	72	1	14.6
30	13	1	30	72	5	13.6
30	13	1	30	72	10	12.2
30	13	1	30	88	1	14.9
30	13	1	30	88	5	13.8
30	13	1	30	88	10	12.5
15	13	1	30	72	1	13.0
15	13	1	30	72	5	11.9
15	13	1	30	72	10	10.6
15	13	1	30	88	1	13.3
15	13	1	30	88	5	12.2
15	13	1	30	88	10	10.9

Tabla 11. NCHRP (2017) Dimensiones y parámetros considerados de la banda sonora en el ejemplo no. 2.

Patrón banda sonora	Dimensiones de banda sonora de baja consideración				Velocidad (km/h)	Salida Angulo (grados)	Diferencia de nivel de sonido (dBA)
	Longitud (cm)	Anchura (cm)	Profundidad (cm)	Espaciado (cm)			
1	20	13	1	30	56	1	12.87
2	25	13	1	30	56	1	13.58
3	30	13	1	30	56	1	14.28
4	40	15	1	30	56	1	16.19
5	40	15	1.3	28	56	1	16.88
1	20	13	1	30	56	5	11.77
2	25	13	1	30	56	5	12.48
3	30	13	1	30	56	5	13.18
4	40	15	1	30	56	5	15.09
5	40	15	1.3	28	56	5	15.78
1	20	13	1	30	56	7	11.22
2	25	13	1	30	56	7	11.93
3	30	13	1	30	56	7	12.63
4	40	15	1	30	56	7	14.54
5	40	15	1.3	28	56	7	15.23
1	20	13	1	30	56	9	10.56
2	25	13	1	30	56	9	11.38
3	30	13	1	30	56	9	12.08
4	40	15	1	30	56	9	13.99

5	40	15	1.3	28	56	9	14.68
1	20	13	1	30	88	1	13.44
2	25	13	1	30	88	1	14.15
3	30	13	1	30	88	1	14.85
4	40	15	1	30	88	1	16.76
5	40	15	1.3	28	88	1	17.45
1	20	13	1	30	88	5	12.34
2	25	13	1	30	88	5	13.05
3	30	13	1	30	88	5	13.75
4	40	15	1	30	88	5	15.66
5	40	15	1.3	28	88	5	16.35
1	20	13	1	30	88	7	11.79
2	25	13	1	30	88	7	12.50
3	30	13	1	30	88	7	13.20
4	40	15	1	30	88	7	15.11
5	40	15	1.3	28	88	7	15.80
1	20	13	1	30	88	9	11.24
2	25	13	1	30	88	9	11.95
3	30	13	1	30	88	9	12.65
4	40	15	1	30	88	9	14.56
5	40	15	1.3	28	88	9	15.25

Tabla 12. NCHRP (2017) Dimensiones y parámetros de la banda sonora considerados en el ejemplo núm.

3.

## 8. Conclusión

Se consideran las bandas sonoras como una contra medida efectiva, ya que se pueden adaptar a las necesidades de cada proyecto vial, con un impacto positivo en la reducción de accidentes de tránsito ocasionados por microsueño, distracciones e invasión de carril, entre otros. Por lo tanto, se recomienda que en Colombia se adopte esta herramienta de seguridad vial en todas las carreteras que presenten este tipo de accidentes en busca de mejorar las condiciones de los usuarios y salvar vidas.

En búsqueda de información de las bandas sonoras, solo pudimos sustraer información de 3 países, (estados unidos, España y costa rica), ya que estos contaban con bases sólidas y experiencia con este tipo de señalización vial. De los 3 países pudimos deducir que costa rica tenía mucha información relacionada con la de estados unidos. Por parte de España se pudo evidenciar mucho más interés por este método, se encontraron más ensayos y diferentes tipos de diseño de las bandas sonoras. Agregando que no se encontró información relevante en países de Suramérica, lo que significa que hay un desconocimiento de este método de prevención vial.

Con el análisis de la información recopilada de los 3 países, nos permite deducir que es una medida eficaz para prevenir accidentes, ya que en donde se utilizan se evidencia una reducción entre el 15 – 30 % de siniestros viales.

Gracias a la comparación de los documentos seleccionados, se pudo lograr establecer las normas y condiciones de las bandas sonoras para ser ejecutadas en proyectos de prevención de accidentes en nuestro país por las semejanzas de las vías en la que son aplicadas, elaborándose un manual técnico considerando las especificaciones de los diversos manuales encontrados en los países donde utilizan esta herramienta de seguridad vial, en el cual se estipulan sus características, tipo de

aplicación, dimensiones, lugares de implementación, diseño, proceso constructivo y señalización. Se puede señalar que este manual sirve como guía para la implementación de las bandas sonoras en nuestro país.

9. Anexo

Imágenes

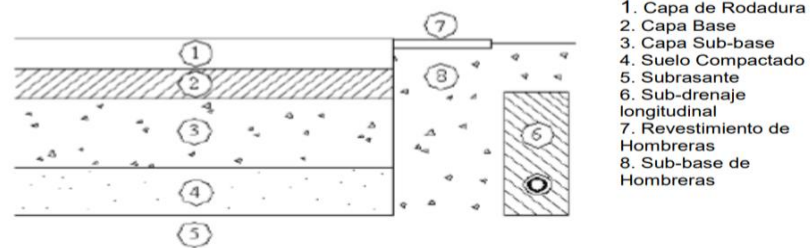


Figura 1. Sección típica de un pavimento

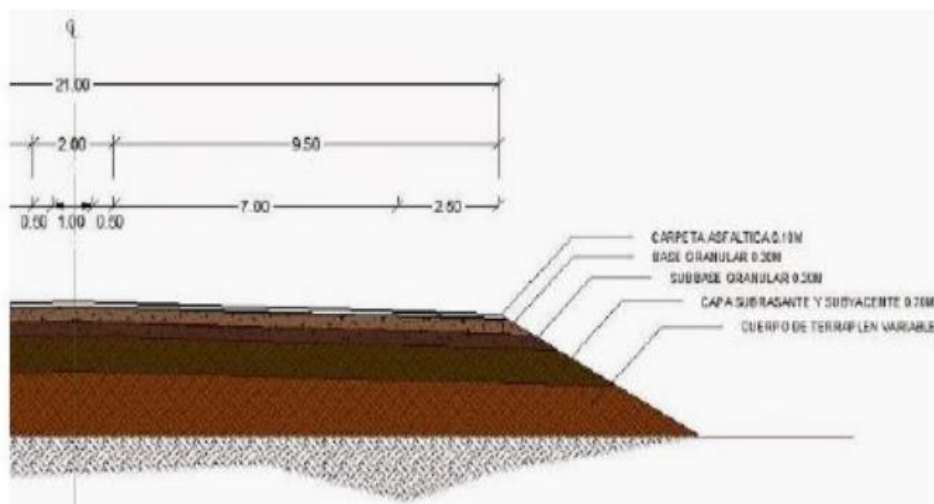


Figura 2. Sección típica de un pavimento flexible

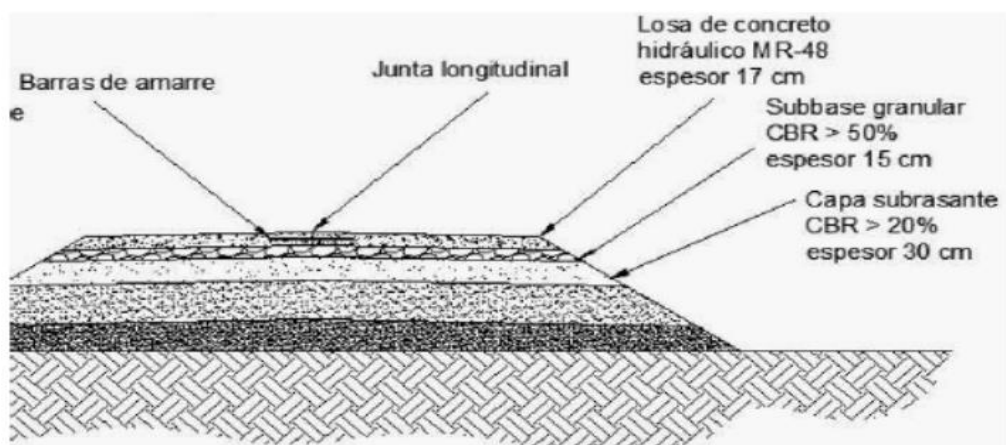
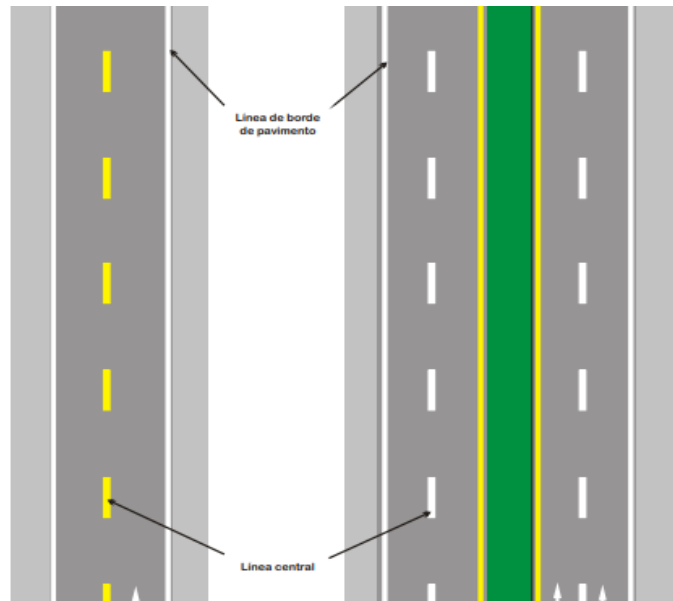
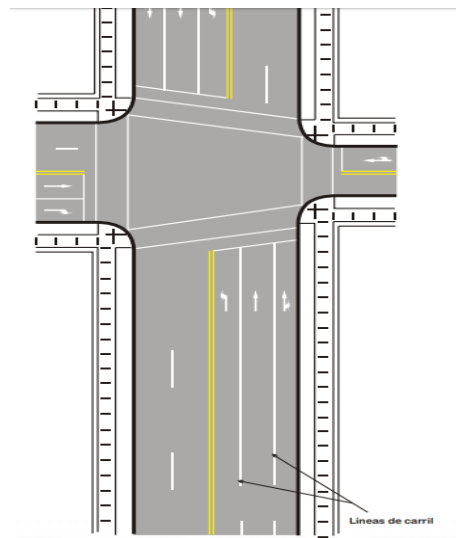


Figura 3. Sección típica de un pavimento rígido



*Figura 4.* Línea central y de borde de pavimento.



*Figura 5.* Líneas de carril.

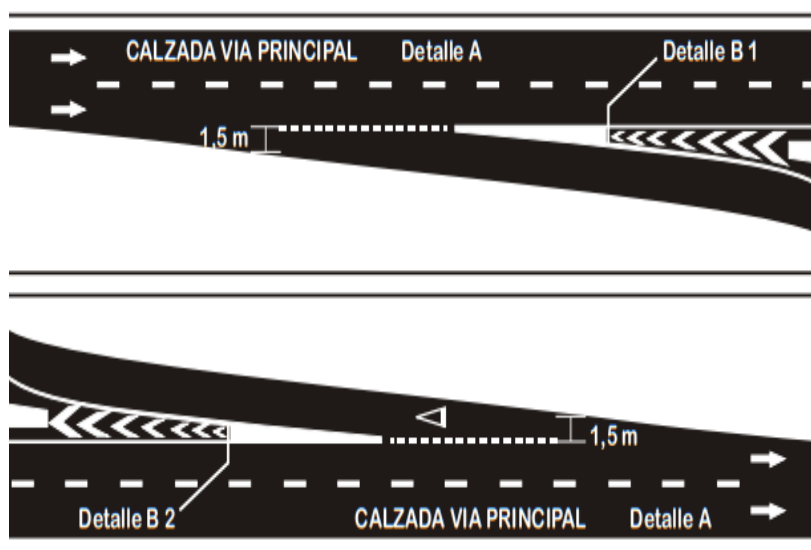


Figura 6. Línea de separación de rampas de entrada y salida

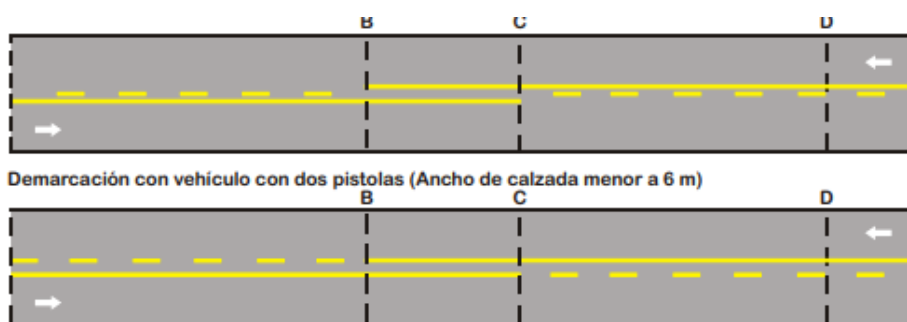


Figura 7. Demarcación de zonas de adelantamiento prohibido

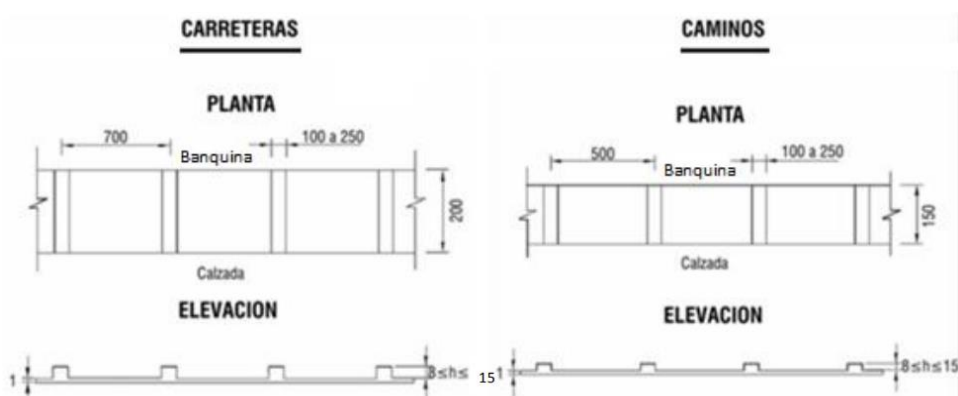


Figura 8. Dimensiones en milímetros de borde alertador

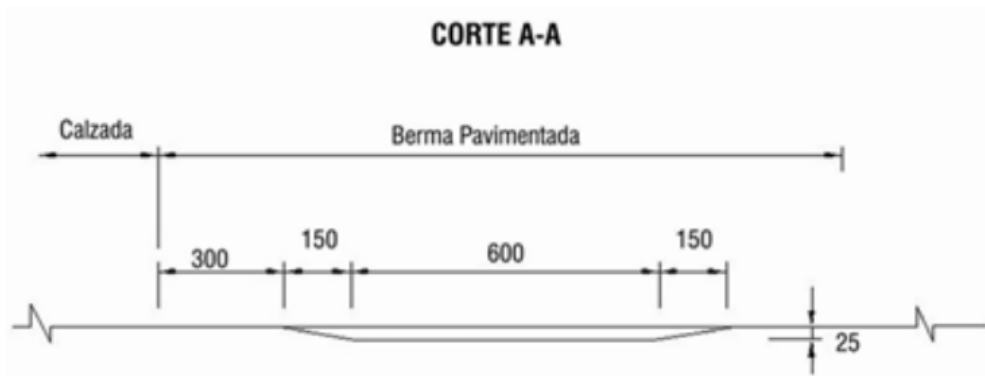


Figura 9. Ejemplo de franjas sonoras

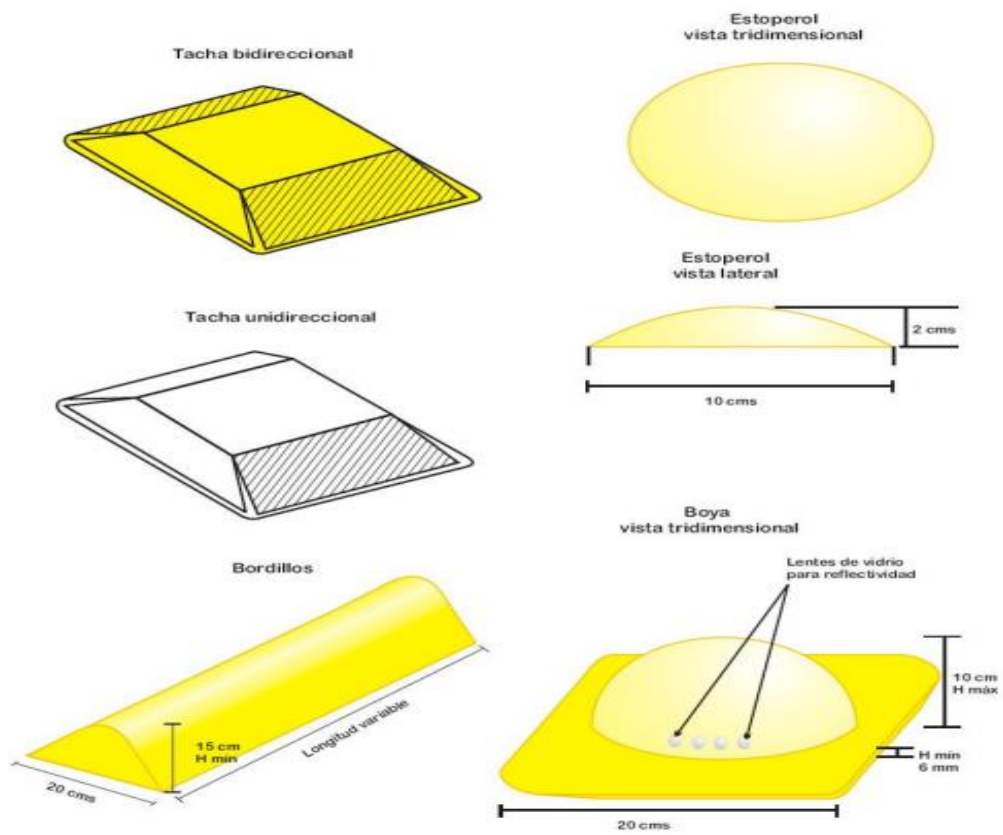


Figura 10. Modelos de tachas delineadoras de piso.

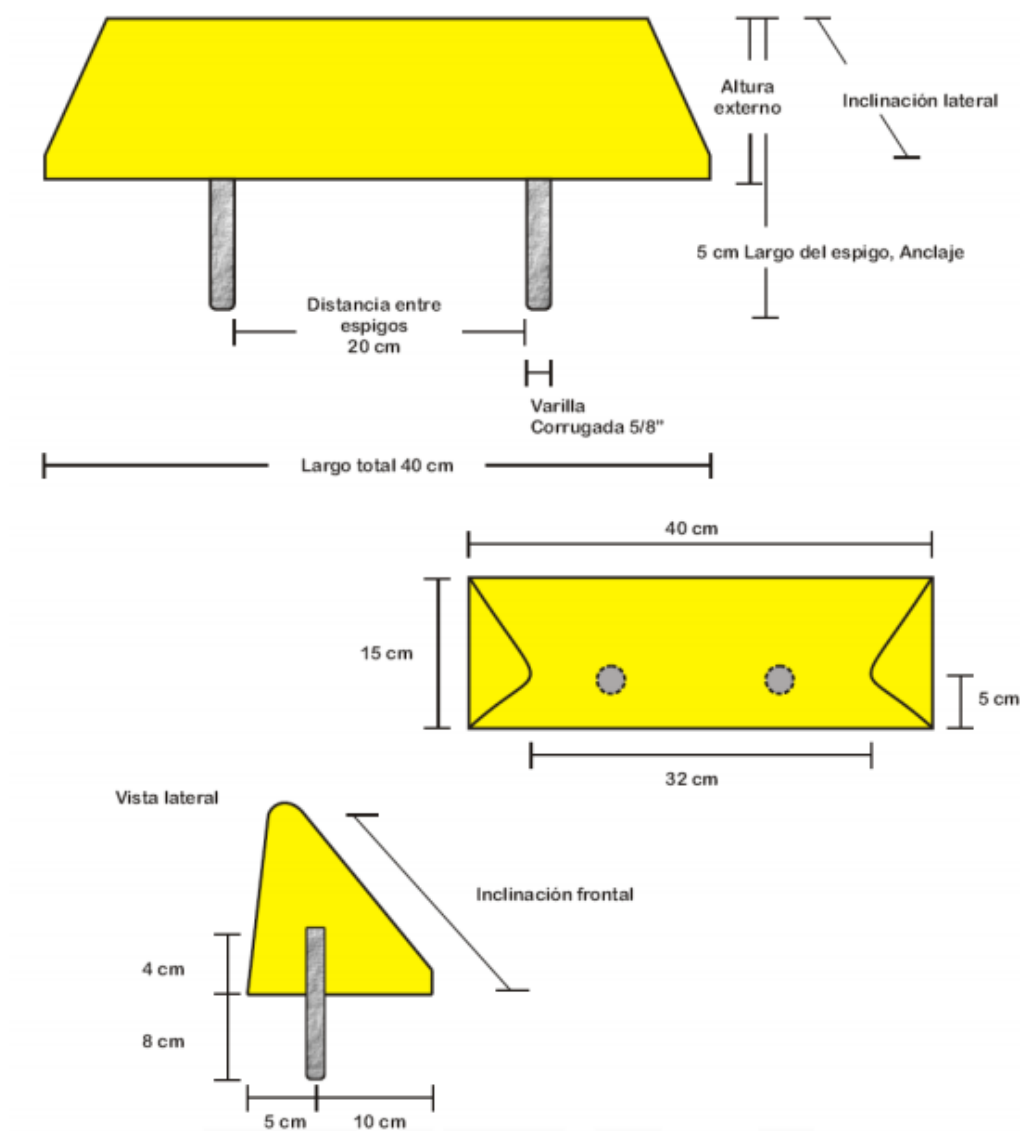


Figura 11. Tachones

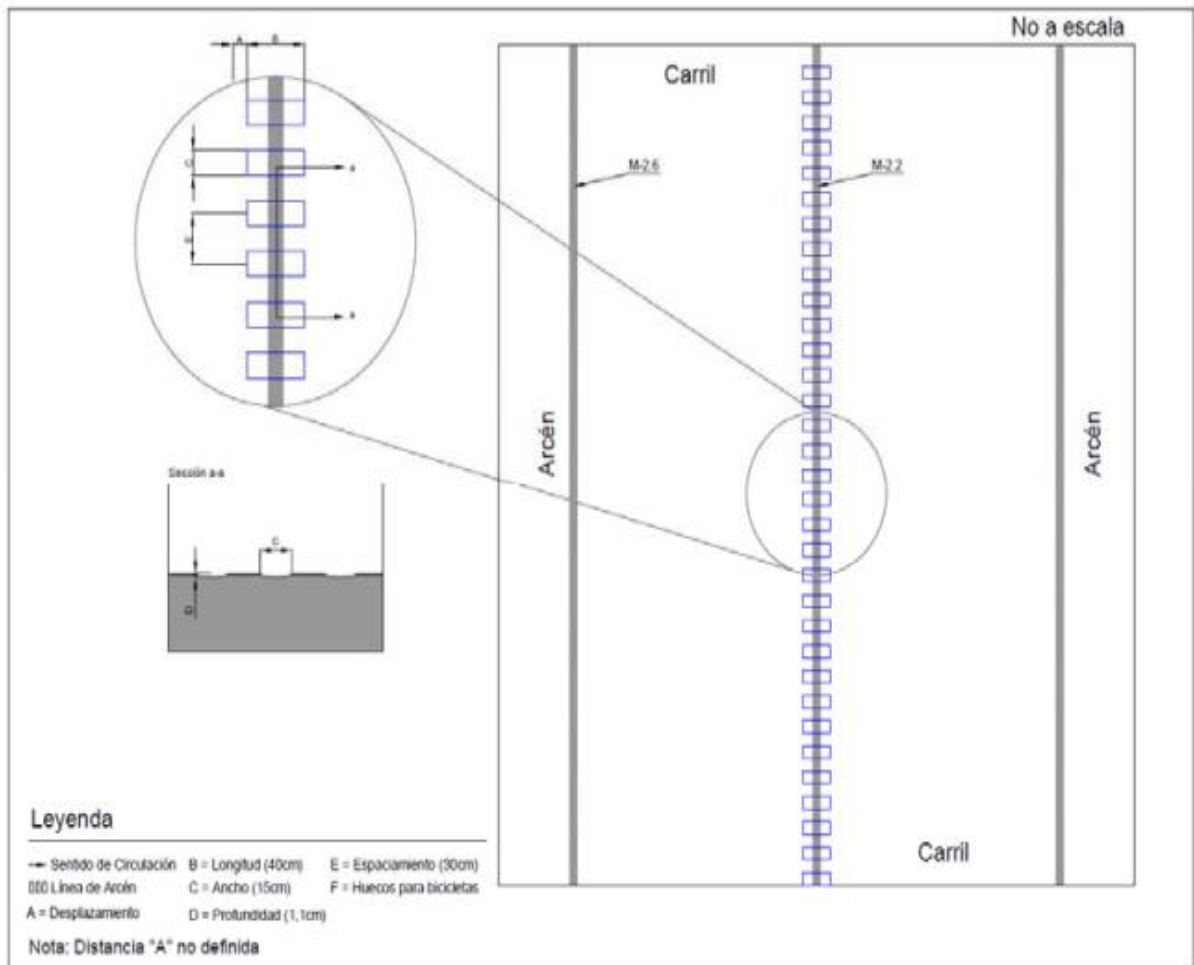


Figura 12. Bandas sonoras longitudinales de separación de sentidos

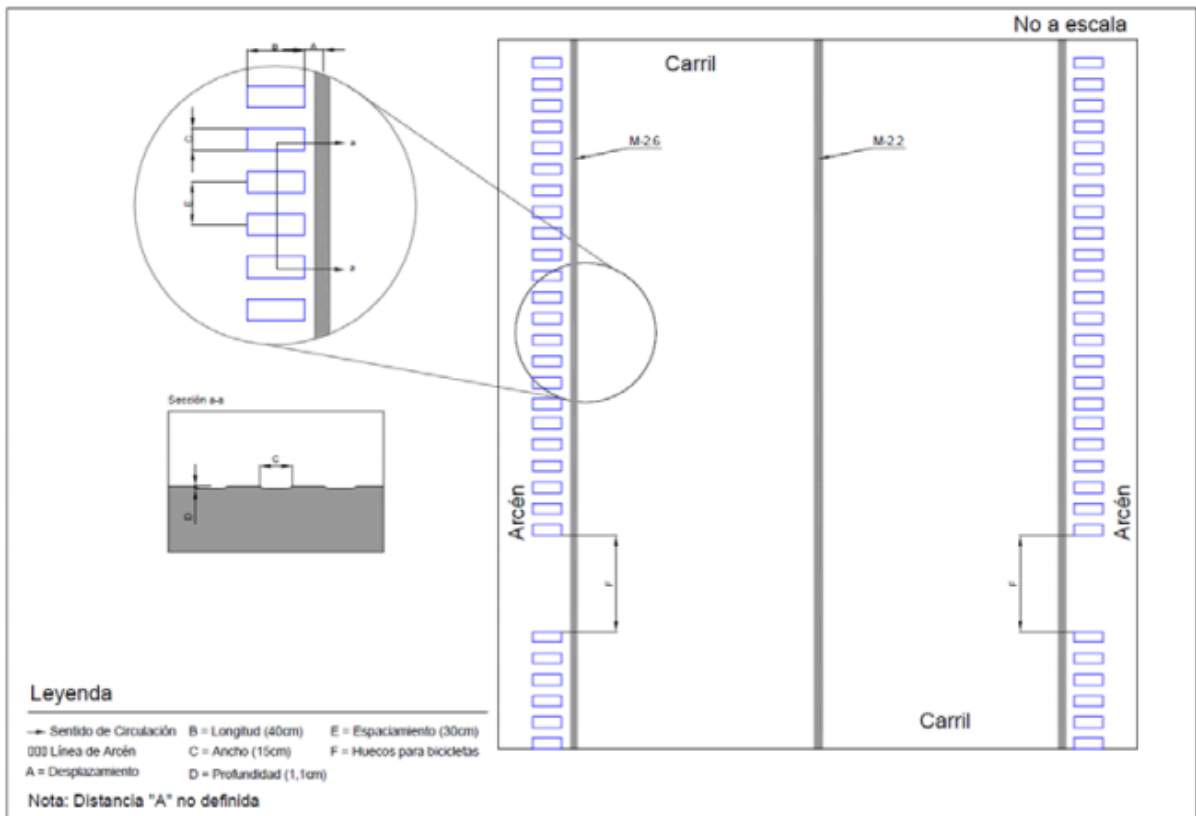


Figura 13. Bandas sonoras longitudinales de borde de calzada

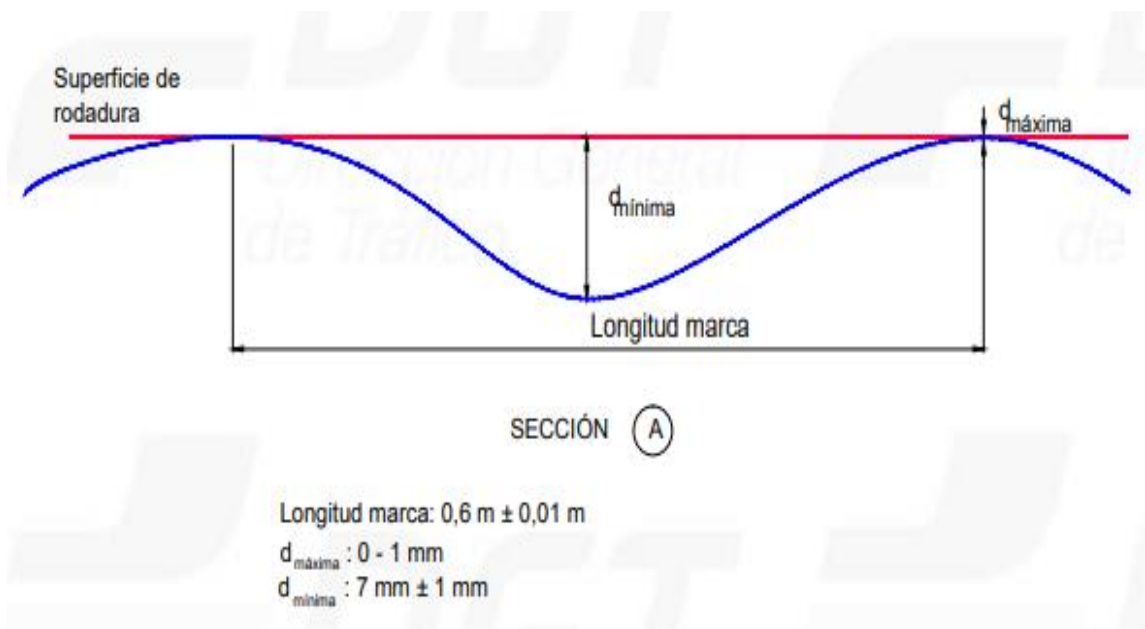


Figura 14. DGT (2018). Sección longitudinal de guía sonora longitudinal sinusoidal.

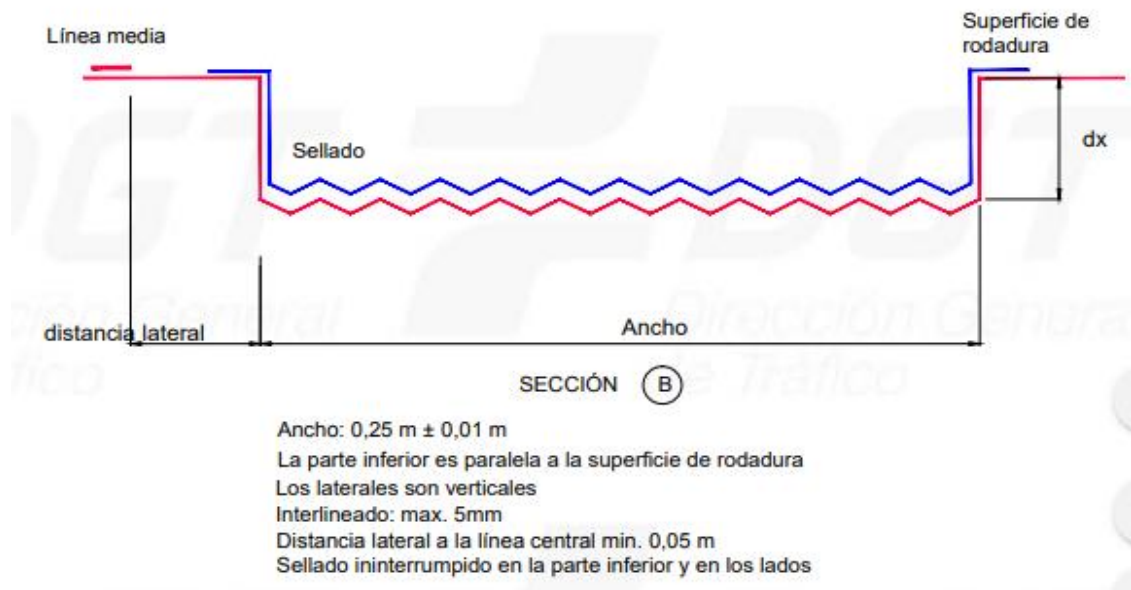


Figura 15. DGT (2018). Sección transversal de guía sonora longitudinal sinusoidal

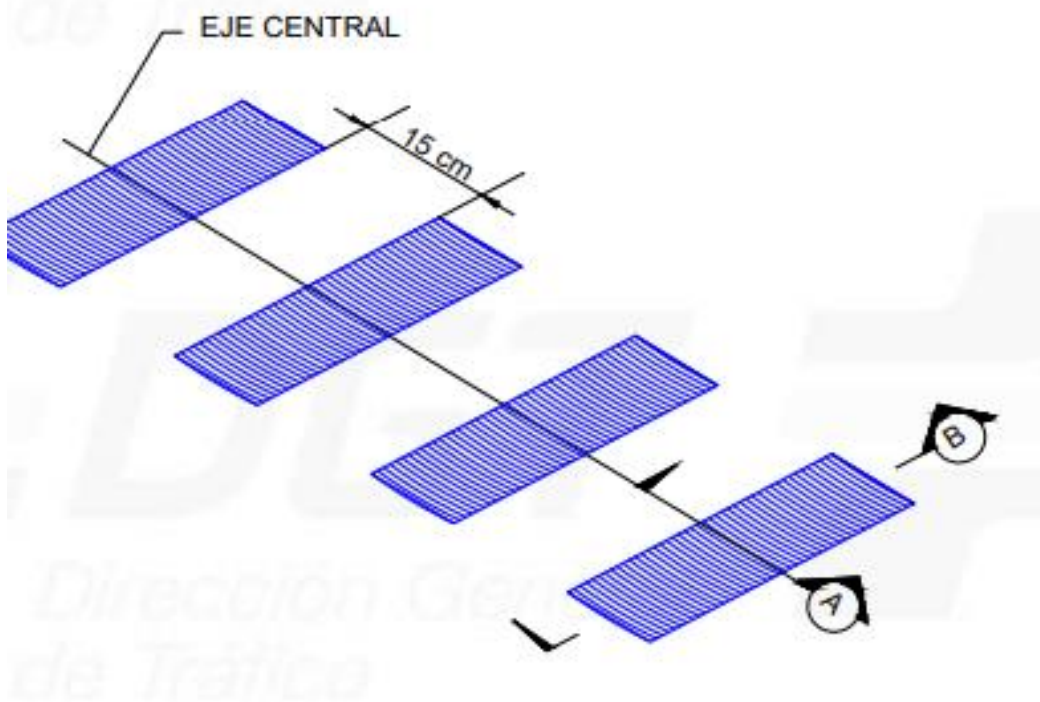


Figura 16. DGT (2018). Vista isométrica de guía sonora longitudinal de tipo paralelogramo.

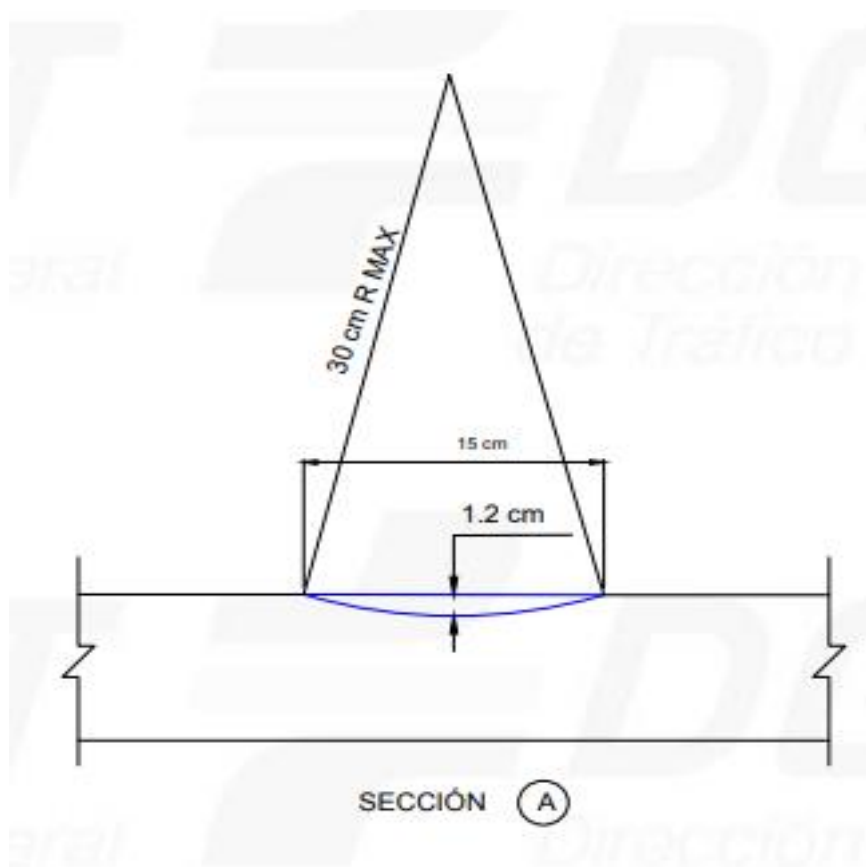


Figura 17. DGT (2018). Sección longitudinal de guía sonora longitudinal paralelogramo.

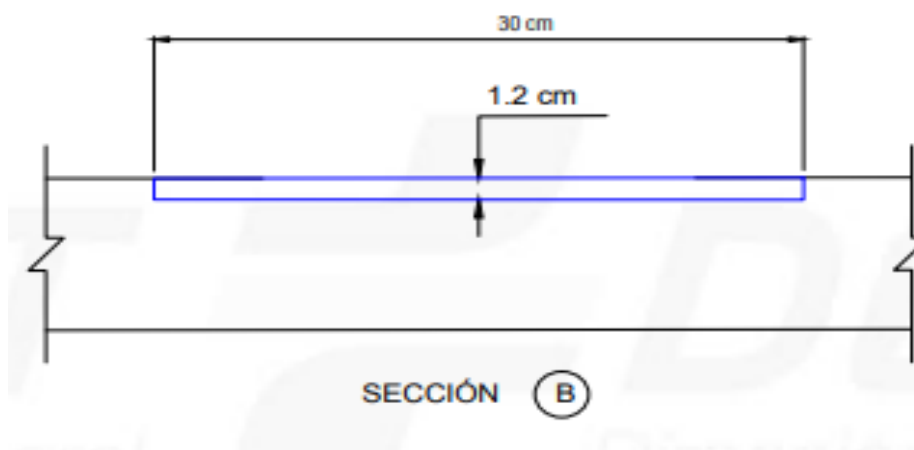


Figura 18. DGT (2018). Sección transversal de guía sonora longitudinal paralelogramo.

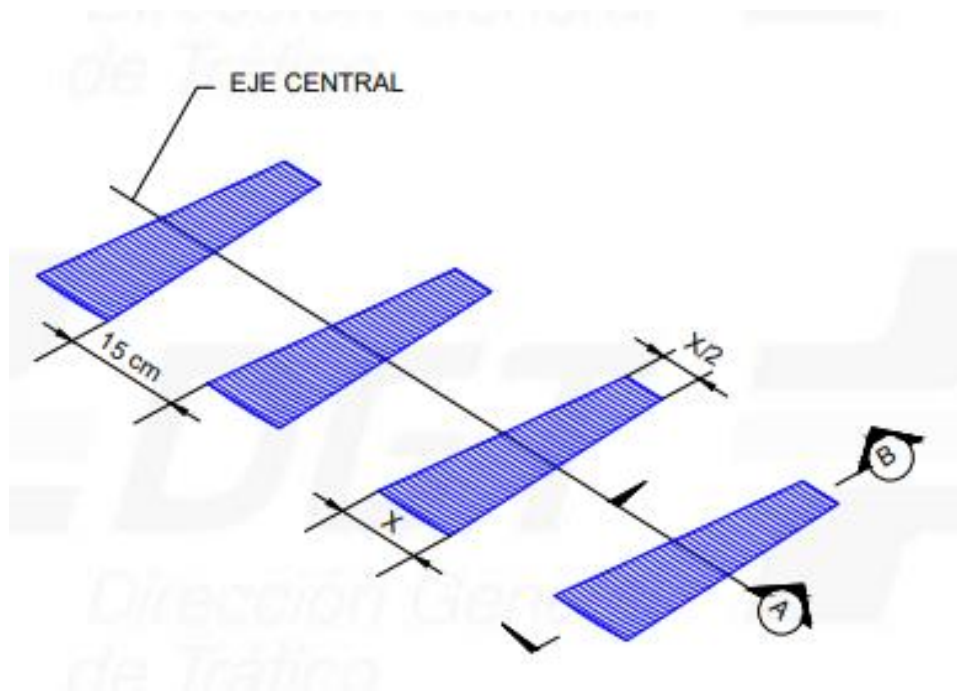


Figura 19. DGT (2018). Vista isométrica de guía sonora longitudinal de tipo trapezoidal

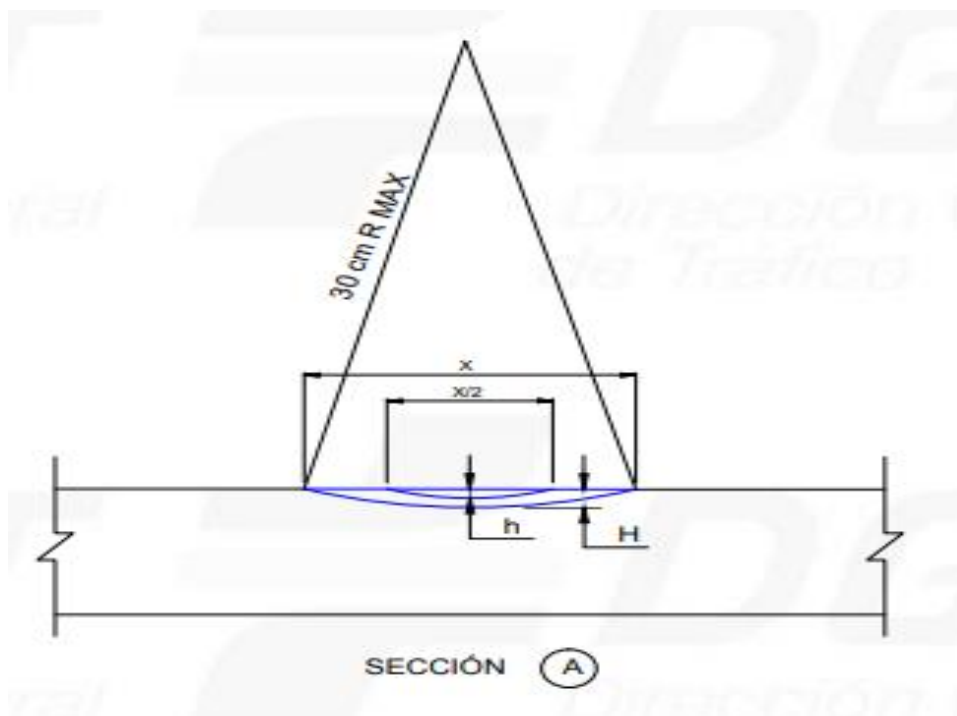


Figura 20. DGT (2018). Sección longitudinal de guía sonora longitudinal trapezoidal.

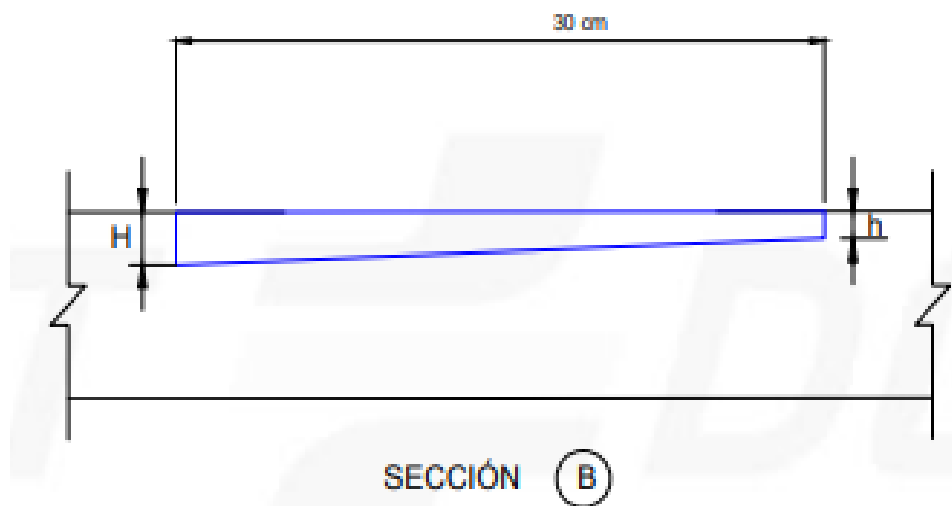


Figura 21. DGT (2018). Sección transversal de guía sonora longitudinal paralelogramo.

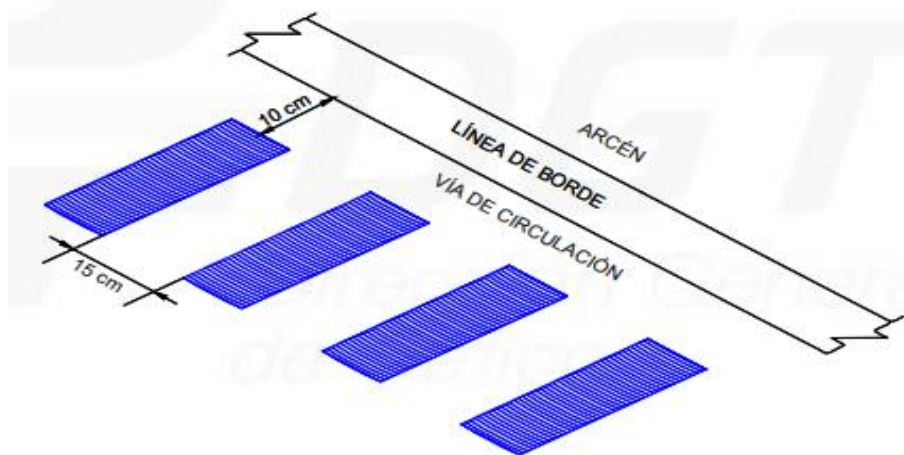


Figura 22. DGT (2018) Vista isométrica, patrón típico de borde de calzada adyacente a marca vial.

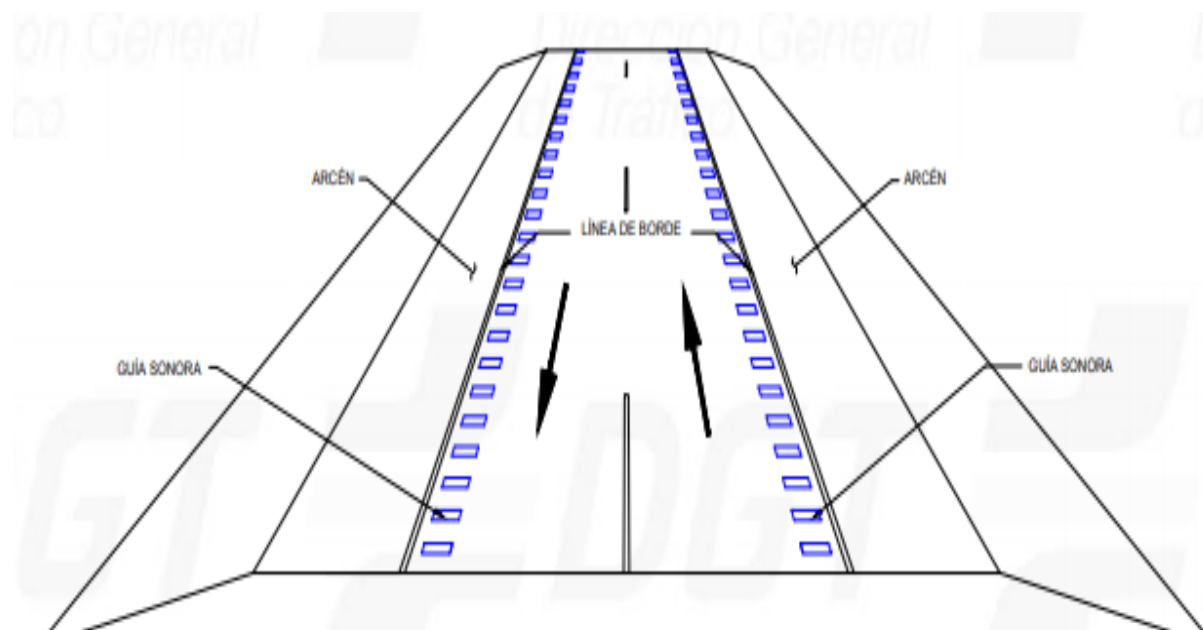


Figura 23. DGT (2018) Vista en perspectiva, vía de una sola calzada.

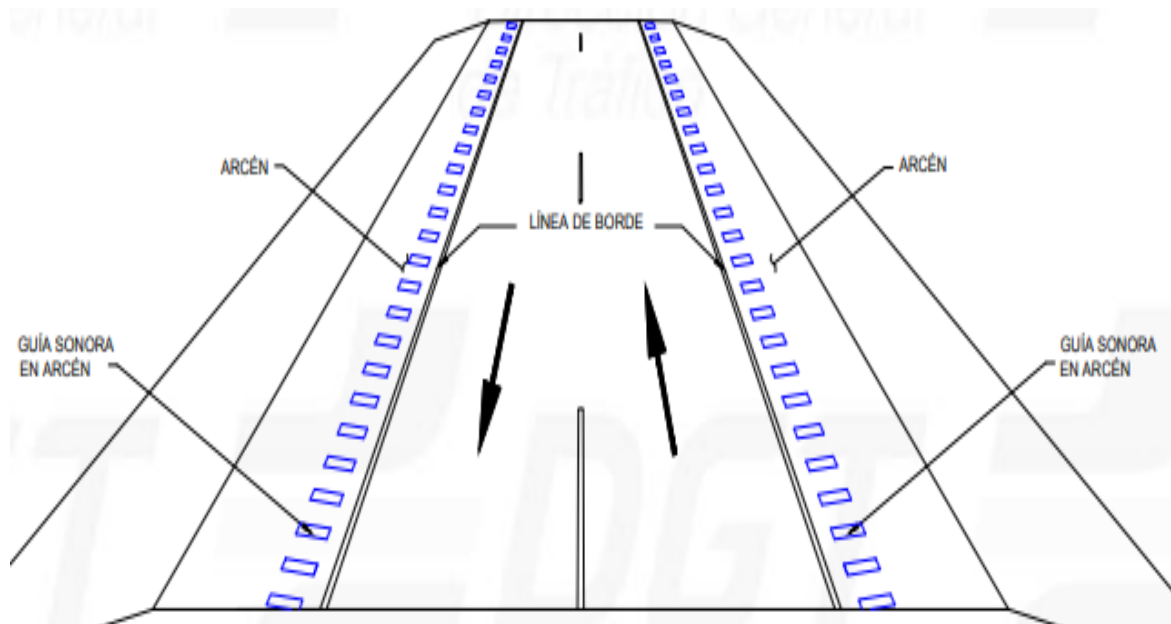


Figura 24. DGT (2018) Vista en perspectiva, vía de una sola calzada.

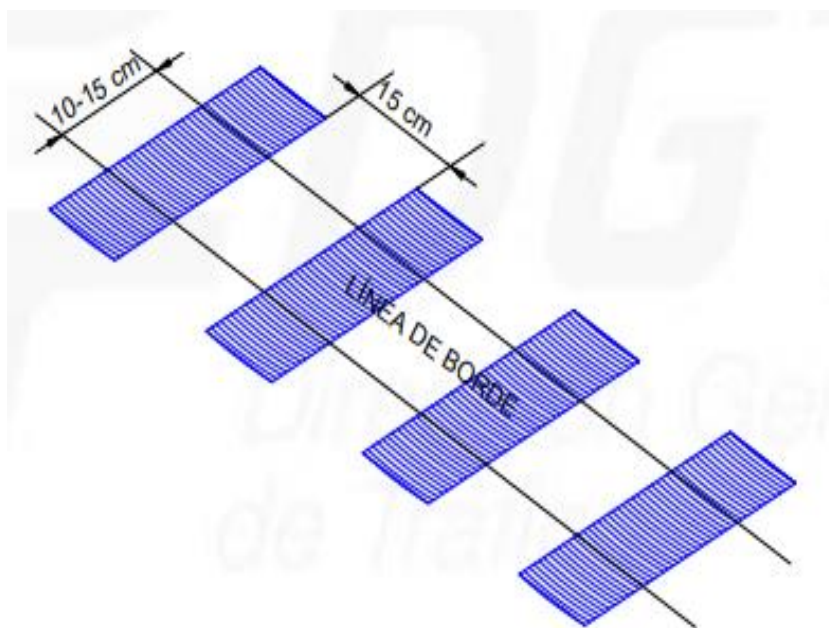


Figura 25. DGT (2018) Vista isométrica, patrón típico de borde de calzada en marca vial.

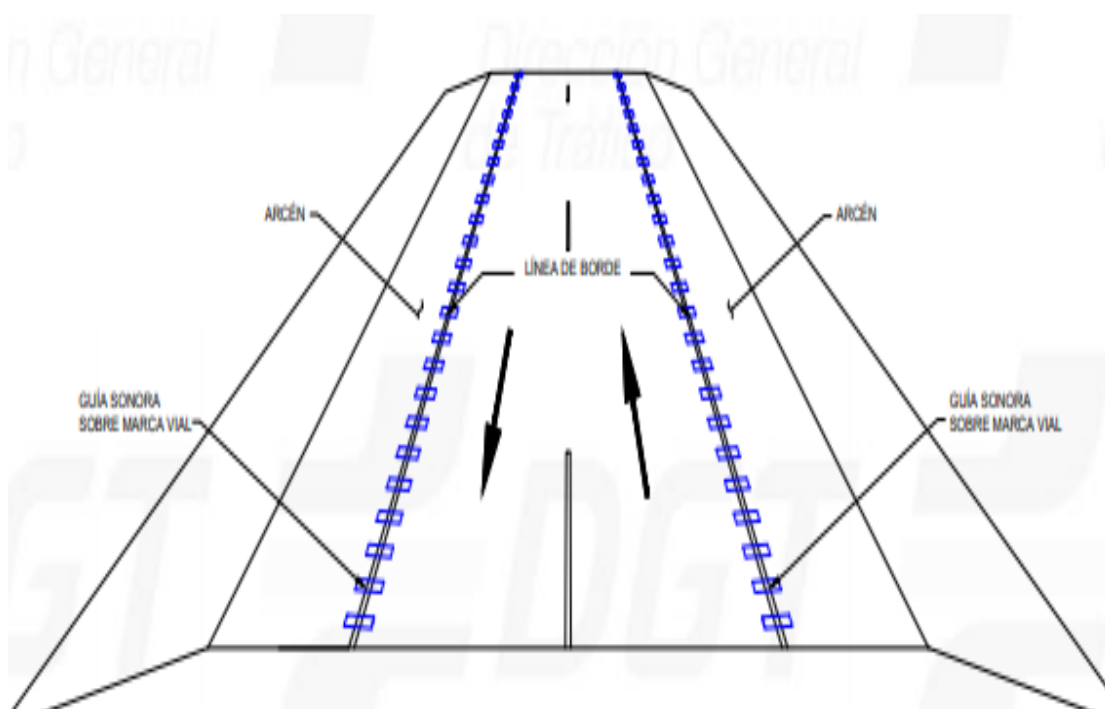


Figura 26. Vista en perspectiva, vía de una sola calzada.

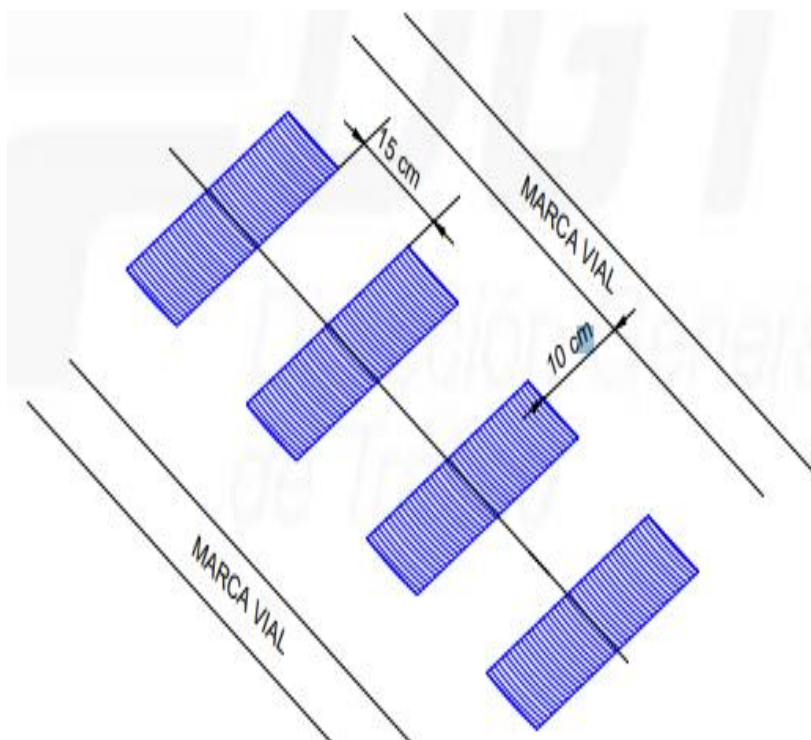


Figura 27. Vista isométrica, patrón típico de separación de sentidos entre líneas viales.

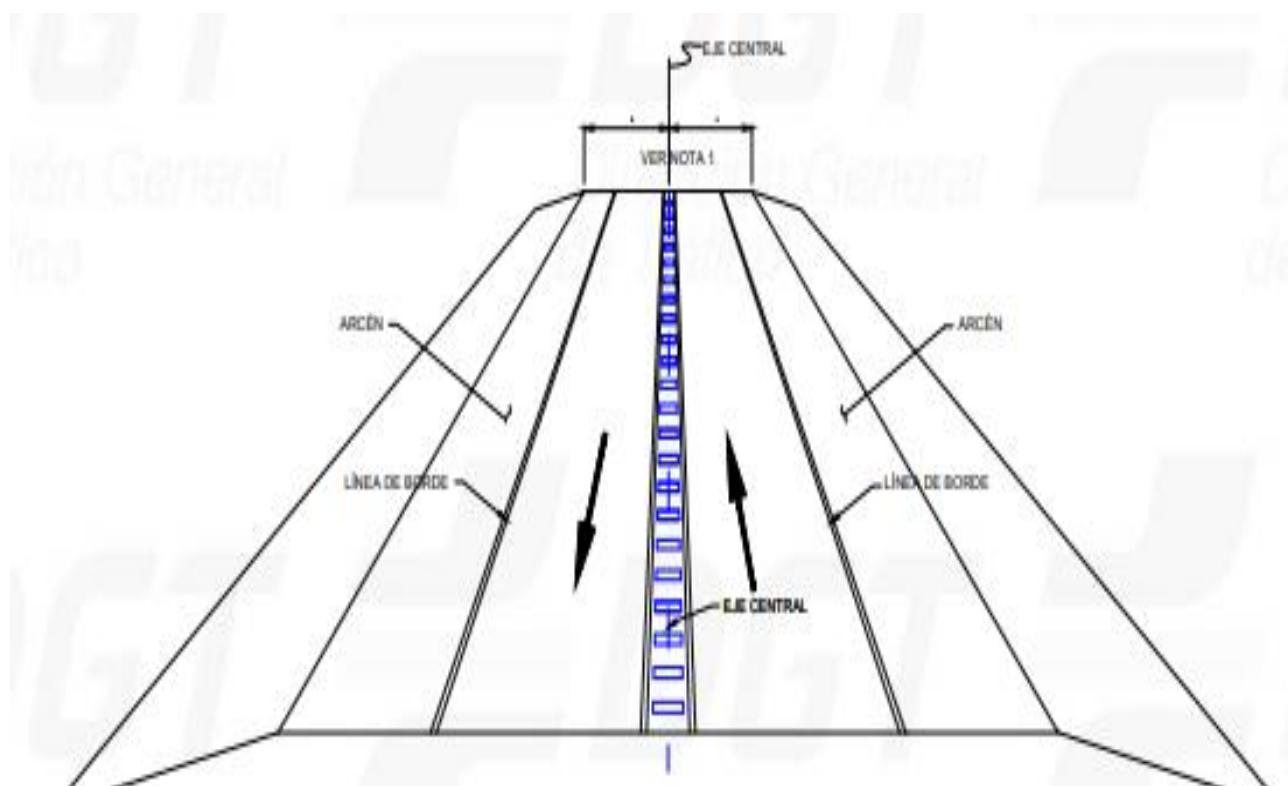


Figura 28. DGT (2018) Vista en perspectiva, vía de una sola calzada.

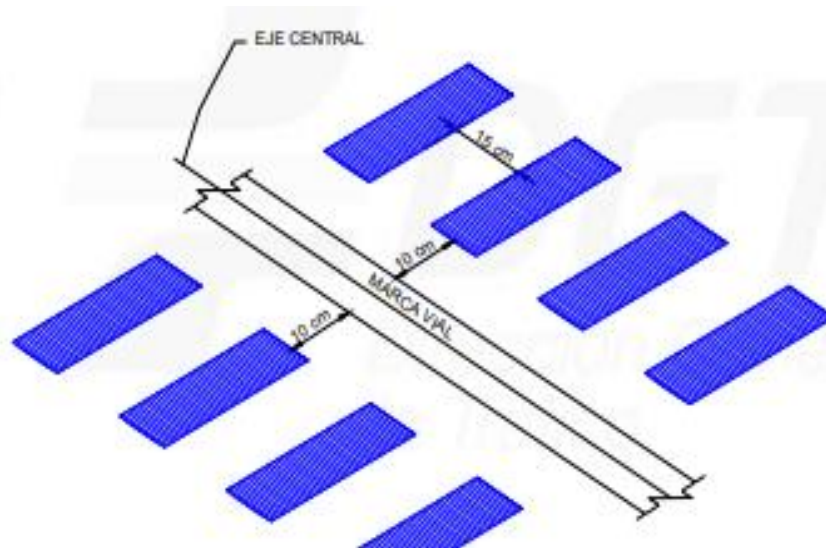


Figura 29. DGT (2018) Vista isométrica, patrón típico de separación de sentidos adyacente a la marca vial

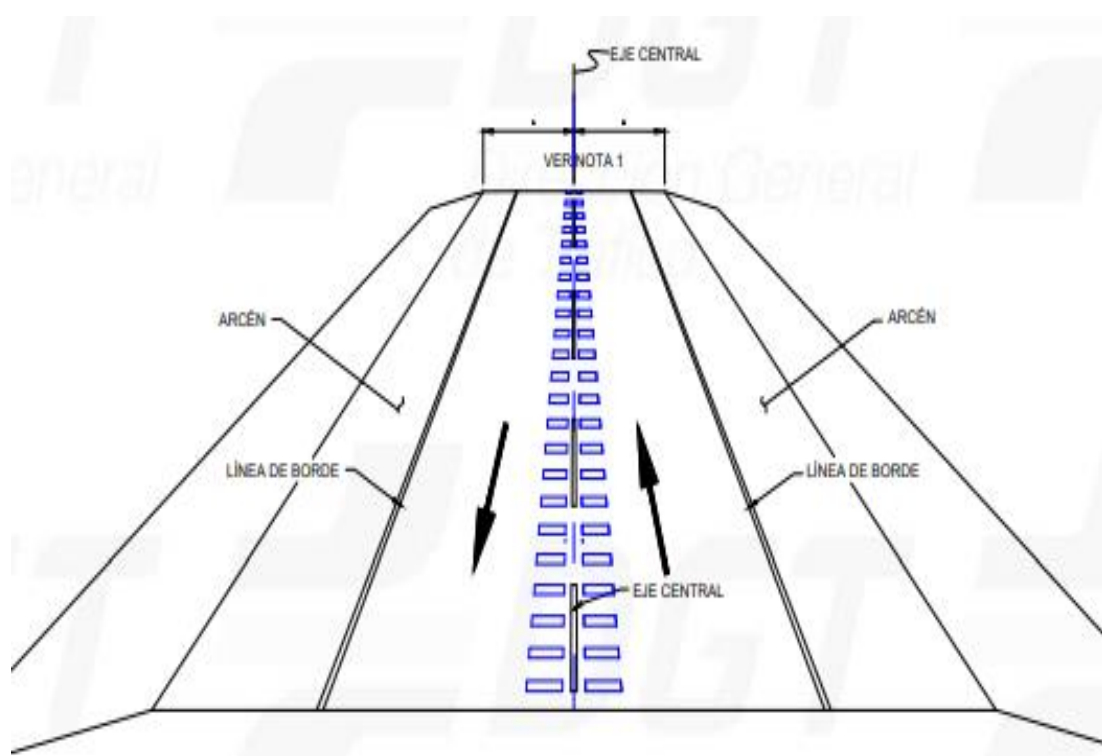


Figura 30. DGT (2018) Vista en perspectiva, vía de una sola calzada.



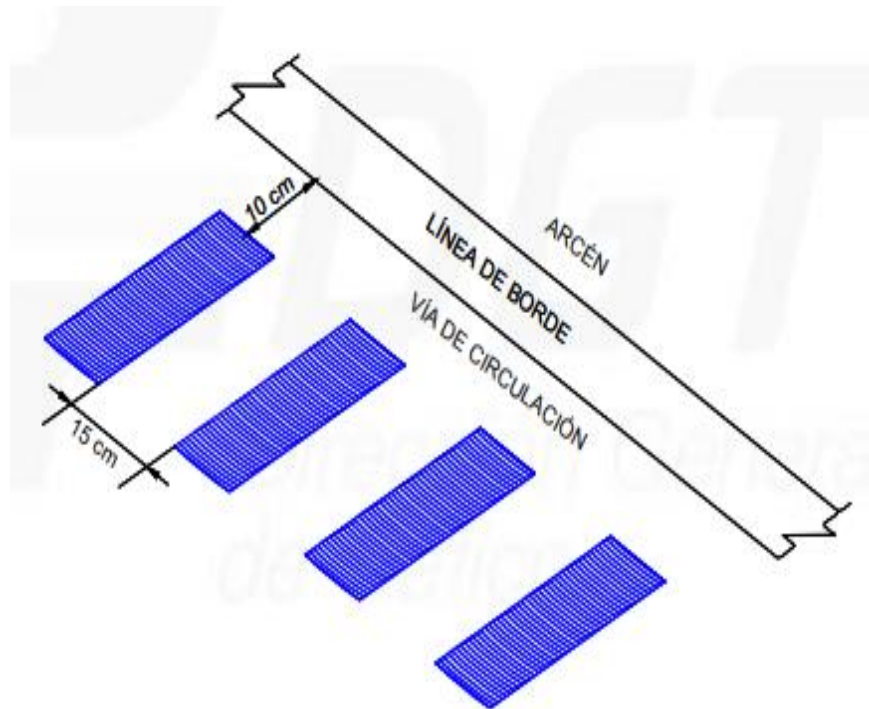


Figura 33. DGT (2018) Vista isométrica, patrón típico de borde de calzada adyacente a marca vial.

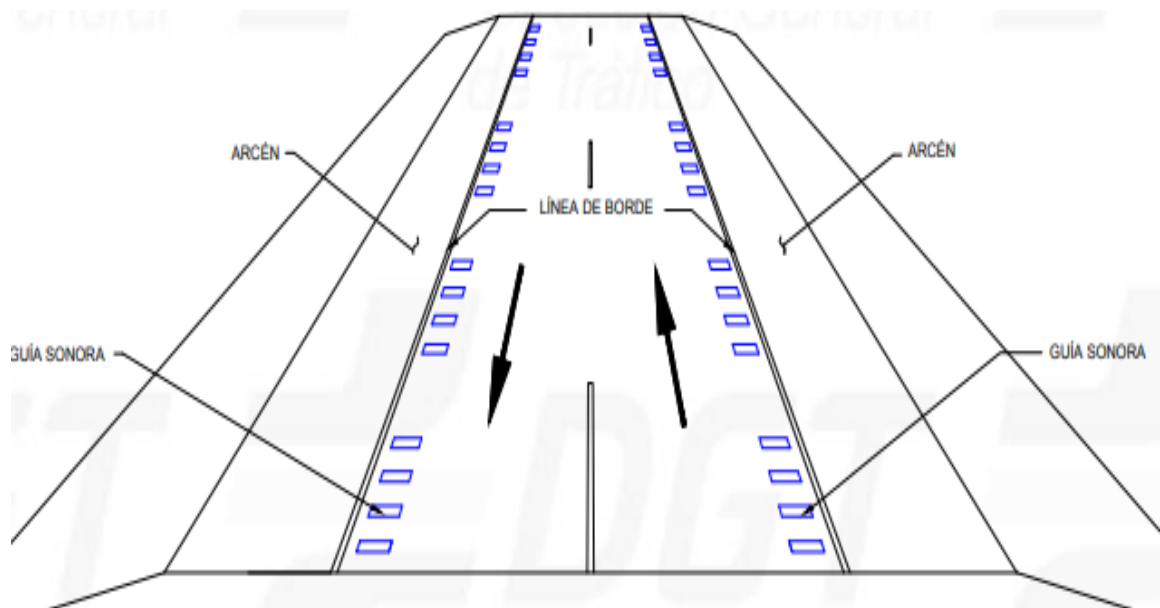


Figura 34. DGT (2018) Vista en perspectiva, vía de una sola calzada.

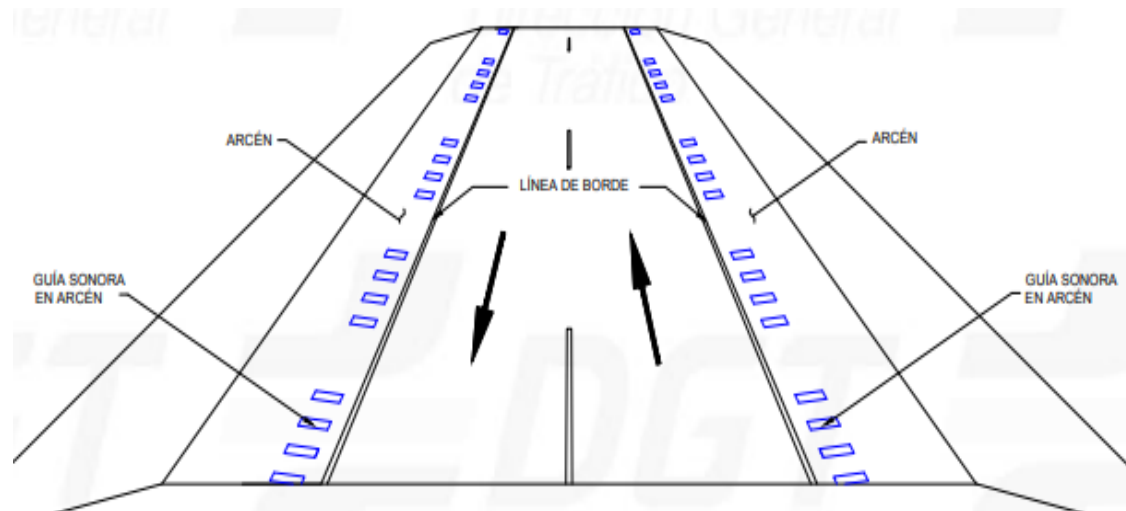


Figura 35. DGT (2018) Vista en perspectiva, vía de una sola calzada.

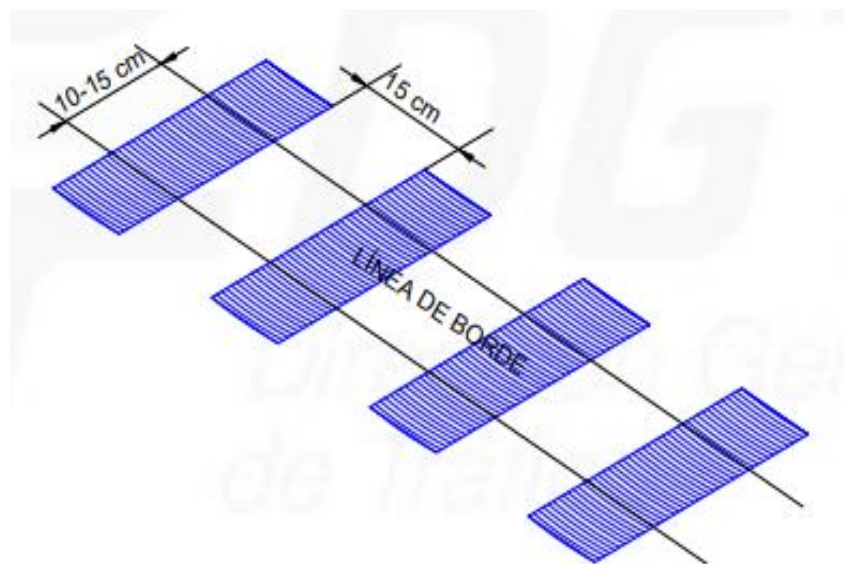


Figura 36. DGT (2018) Vista isométrica, patrón típico de borde de calzada en marca vial.

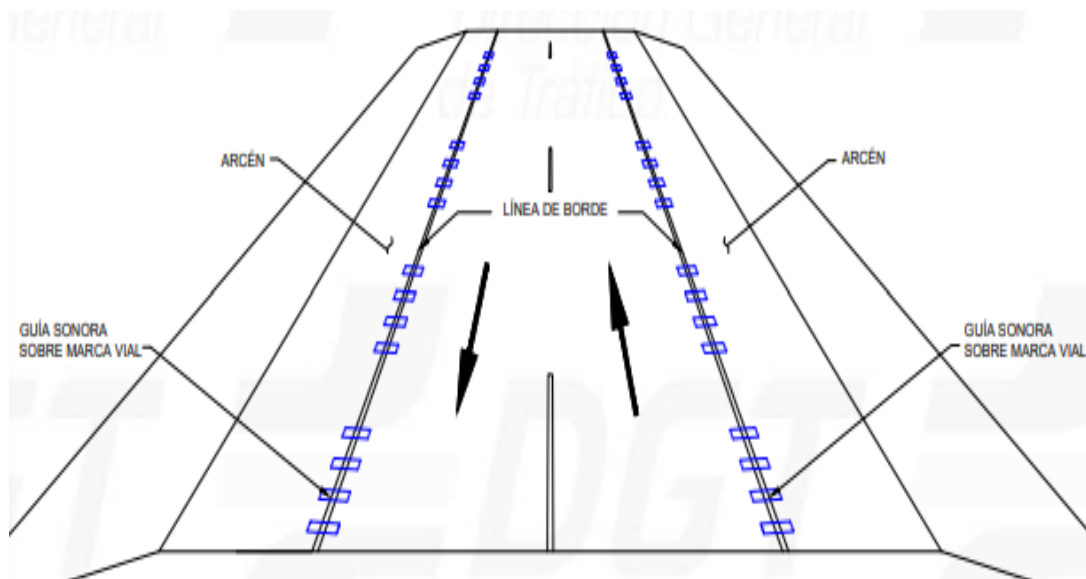


Figura 37. DGT (2018) Vista en perspectiva, vía de una sola calzada.

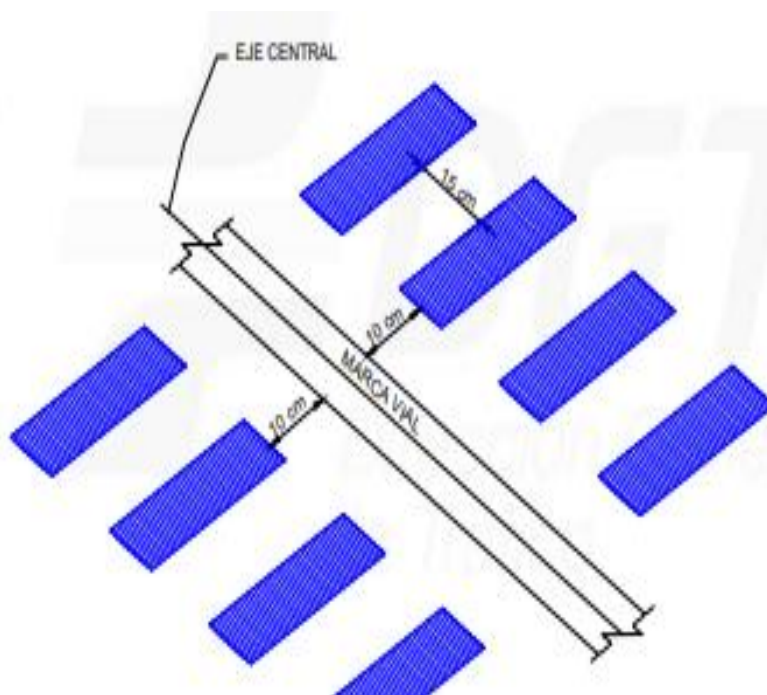


Figura 38 DGT (2018) Vista isométrica, patrón típico de separación de sentidos adyacente a la marca vial

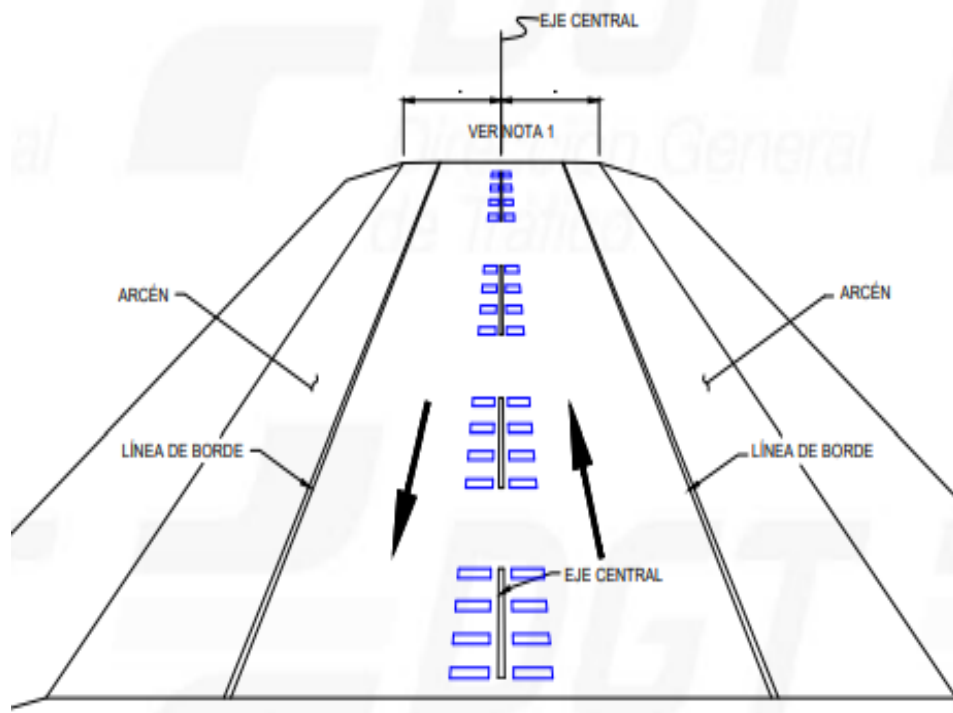


Figura 39. DGT (2018) Vista en perspectiva, vía de una sola calzada.

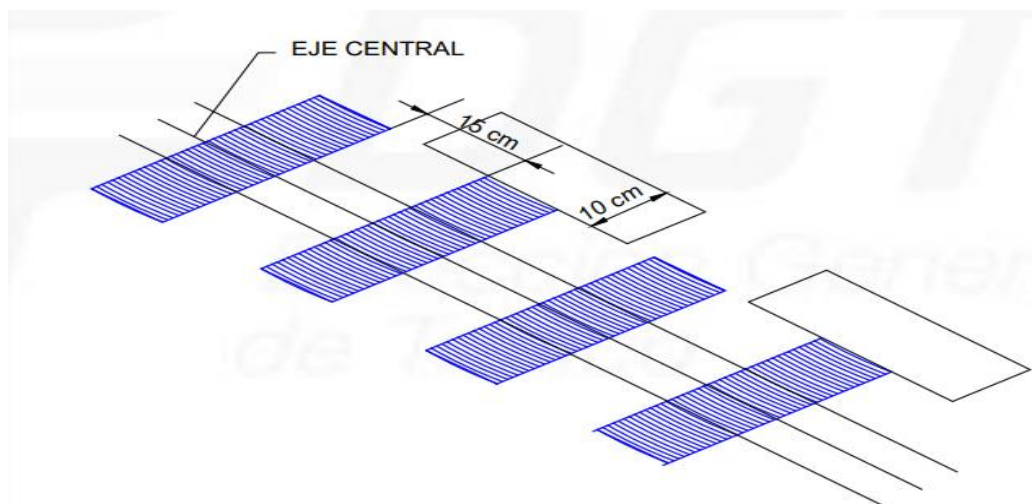


Figura 40. DGT (2018) Vista isométrica, patrón típico de separación de sentidos en marca vial.

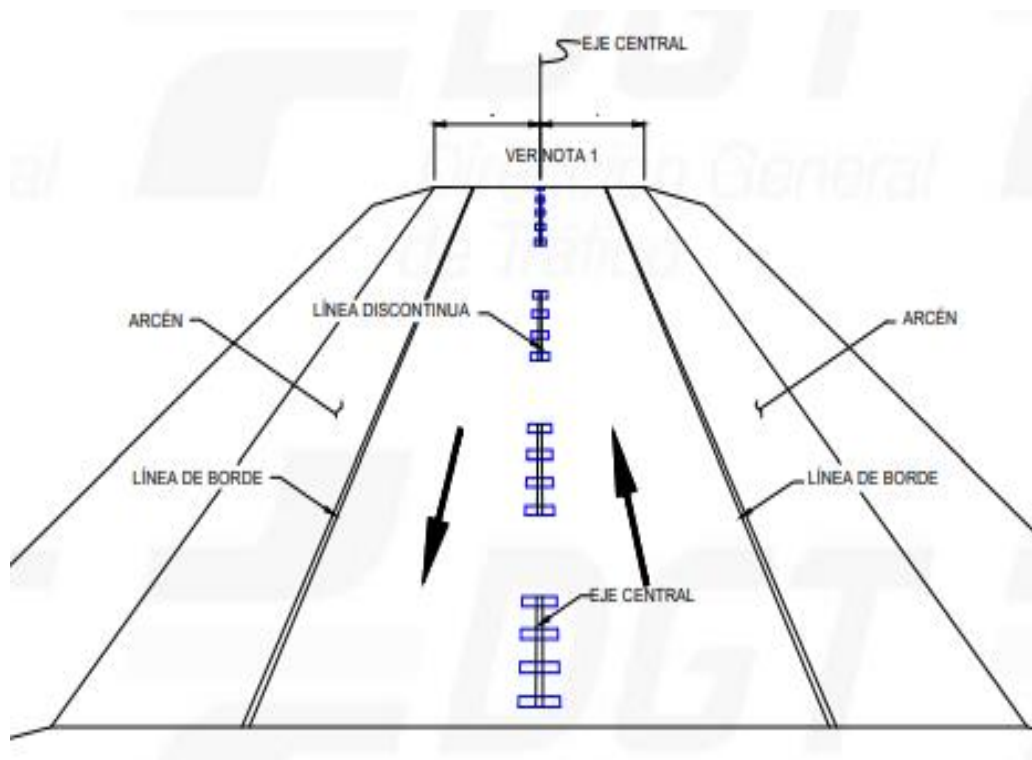


Figura 41. DGT (2018) Vista en perspectiva, vía de una sola calzada.

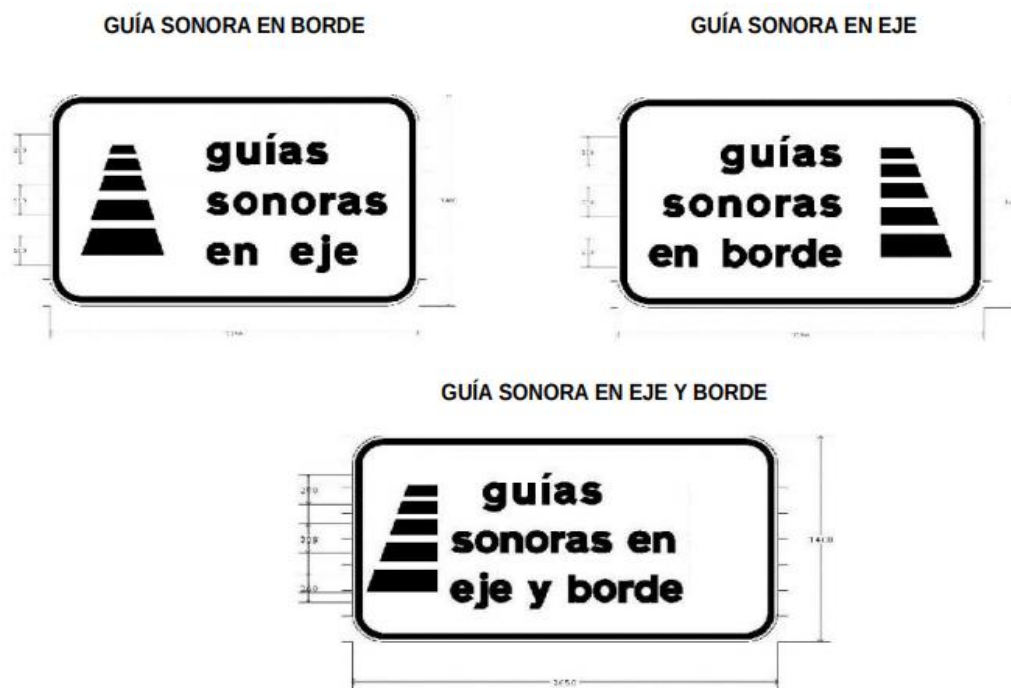


Figura 42. DGT (2018) Señales verticales para bandas sonoras



*Figura 43.* Ejemplo de máquina fresadora. Recuperado de <https://es.made-in-china.com/co>



*Figura 44.* LanammeUCR (2020) Bandas sonoras en el espaldón de la vía.

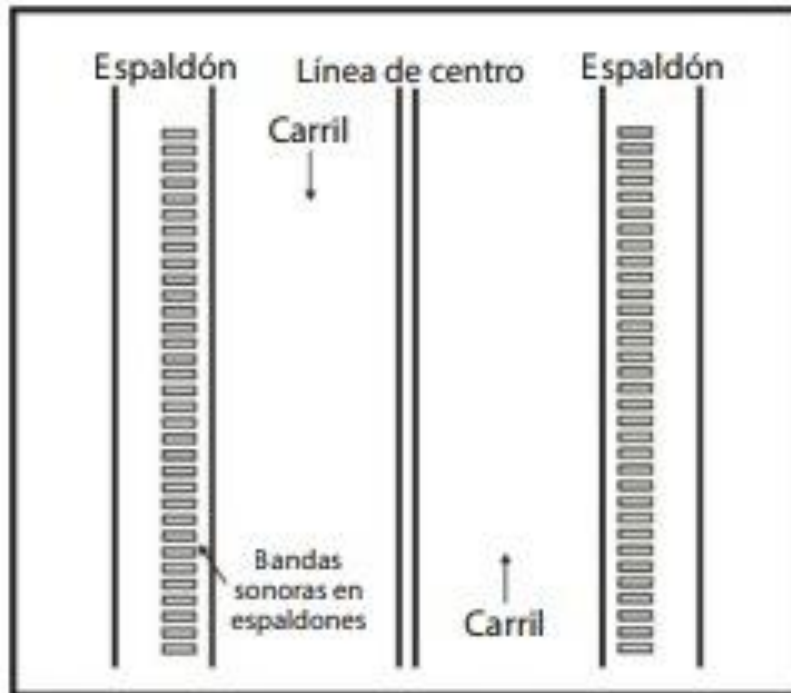


Figura 45. LanammeUCR (2020) Instalación típica de bandas sonoras.



Figura 46. LanammeUCR (2020) Bandas sonoras en el centro de la vía.

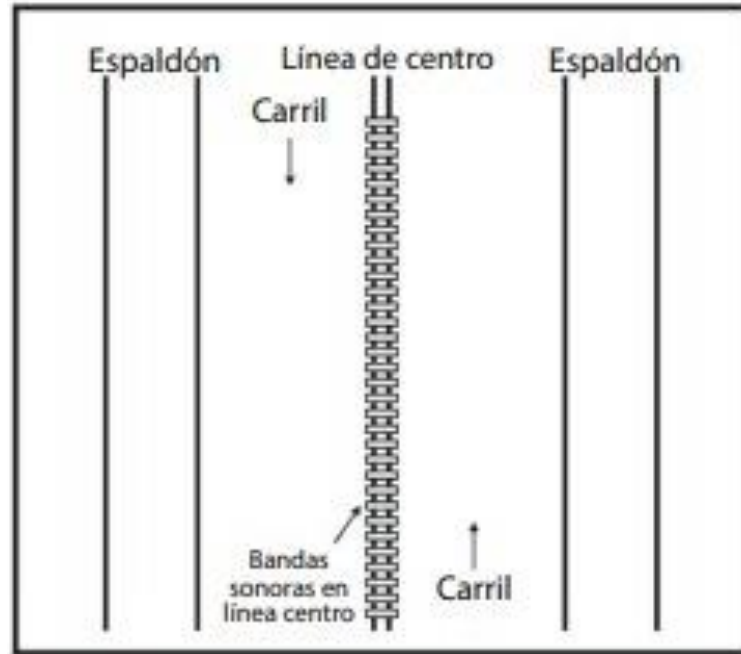


Figura 47. LanammeUCR (2020) instalación típica de bandas sonoras en el eje central de la vía.

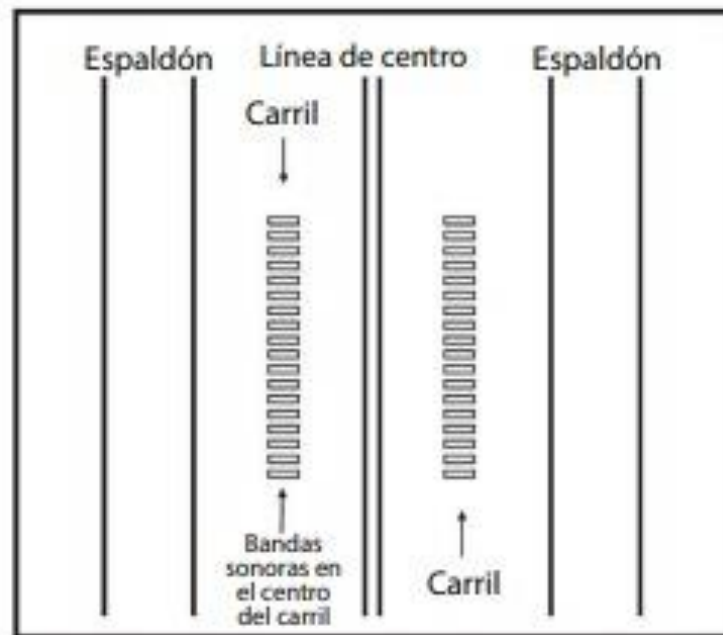


Figura 48. LanammeUCR (2020) instalación típica de bandas sonoras en el centro del carril.

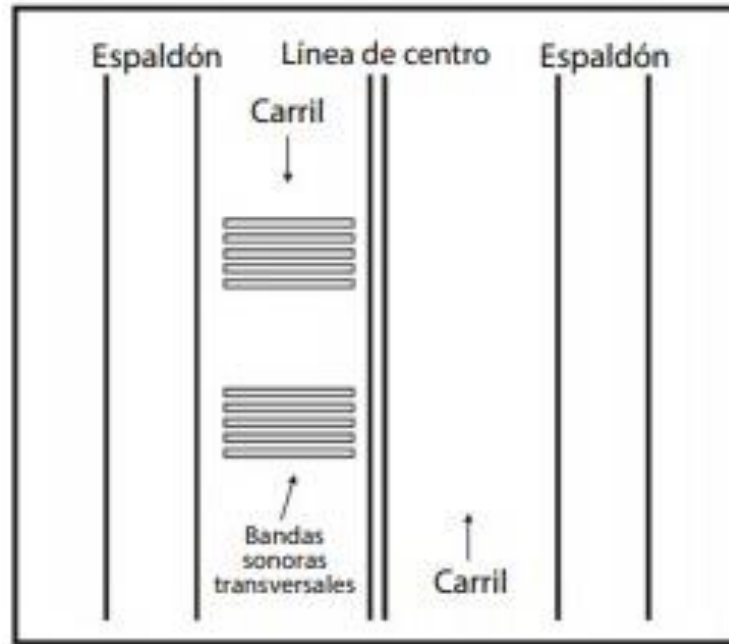


Figura 49. LanammeUCR (2020) instalación típica de bandas sonoras transversales en el centro del carril.

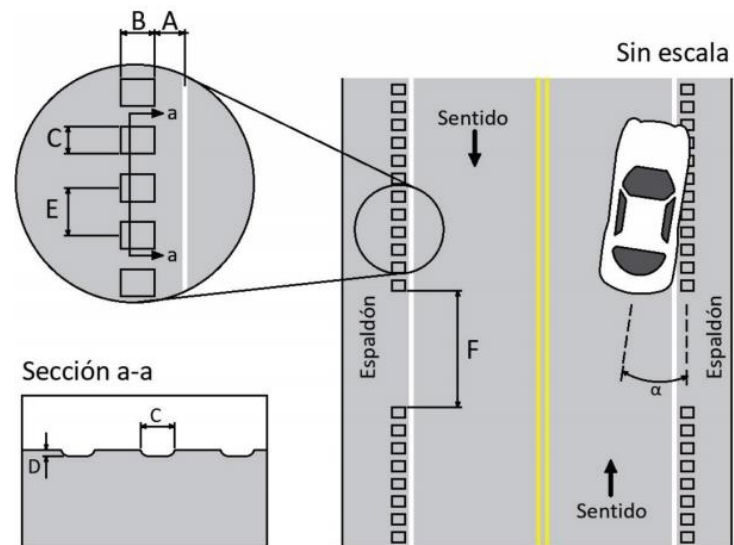


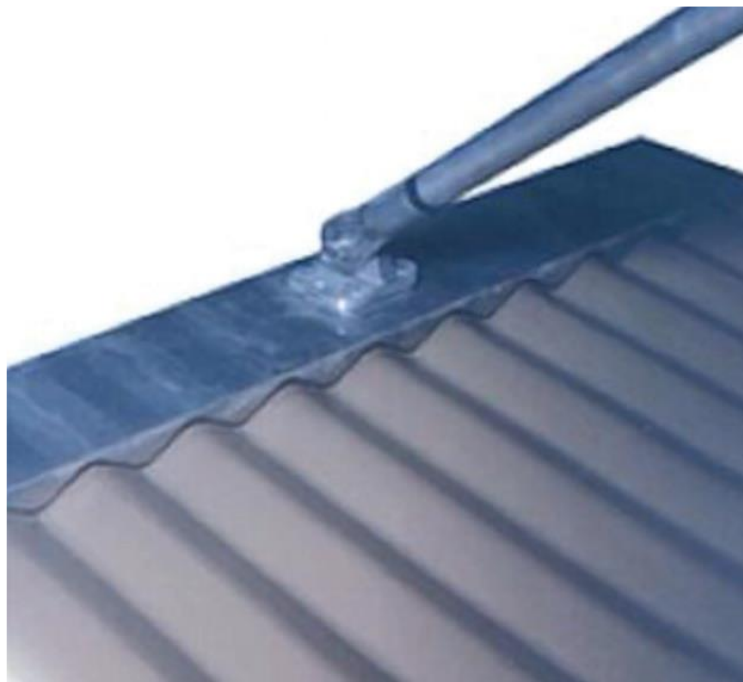
Figura 50. LanammeUCR (2020) Parámetros de diseño asociados a bandas sonoras a espaldón.



*Figura 51.* Conformación de bandas sonoras mediante fresado.



*Figura 52.* Conformación de bandas sonoras mediante amasado.



*Figura 53.* Conformación de bandas sonoras mediante herramienta manual.



*Figura 54.* Bandas sonoras adheridas.

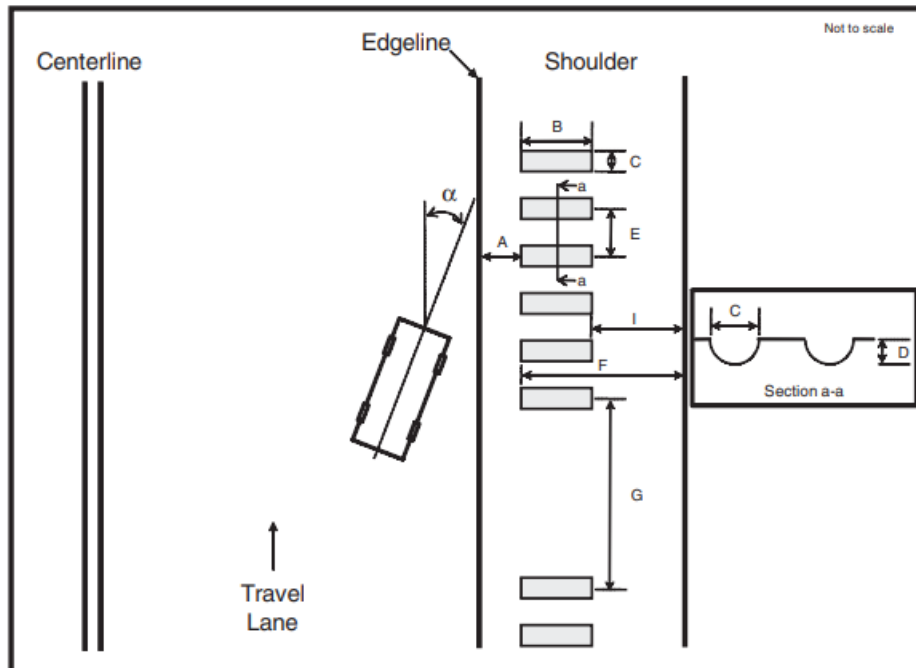


Figura 55. NCHRP (2009) Parámetros de diseño asociados con bandas sonoras de berma.

A continuación, se anexa el manual de bandas sonoras aplicadas en pavimentos convencionales, un documento técnico donde se describe la aplicación, Uso, Dimensiones y sugerencias sobre las bandas sonoras para Colombia. Con el propósito de brindar una información precisa de las bandas sonoras en su desarrollo en las vías del país.

**MANUAL DE BANDAS SONORAS APLICADAS EN PAVIMENTOS  
CONVENCIONALES**

**Juan Pablo Amórtegui Ardila  
Johan Arley Ardila Orellano**

**Barrancabermeja/Santander  
Enero 2021**



**Universidad  
Pontificia  
Bolivariana**

### Tabla de contenido

1.	Introducción.....	132
2.	Seguridad vial.....	133
3.	Marco legal.....	133
4.	¿Qué es el microsueño?.....	135
5.	¿Qué causa las salidas de la carretera?.....	135
6.	¿Cómo alertan las bandas sonoras?.....	136
7.	Sitios de implementación:.....	136
8.	Tipos de aplicación:.....	138
8.1.	Bandas sonoras longitudinales de separación de carriles.....	139
8.2.	Bandas sonoras longitudinales de borde de calzada.....	140
9.	Dimensiones.....	148
10.	Diseño.....	152
11.	Proceso constructivo.....	153
11.1.	Fresado:.....	153
11.2.	Amasado o estampadas:.....	153
11.3.	Corrugaciones u ondulaciones:.....	154
11.4.	Adheridas o elevadas:.....	154
12.	Señalización.....	154
12.1.	Función.....	155
12.2.	Visibilidad.....	155
12.3.	Uso.....	156
12.4.	Conservación.....	156
12.5.	Ubicación.....	157
12.5.1.	Ubicación lateral.....	157
12.5.2.	Tableros de las señales.....	158
12.5.3.	Ubicación longitudinal.....	158
13.	Mantenimiento de las bandas sonoras.....	159
14.	Acomodo a usuarios.....	160
14.1.	Ciclistas.....	160
14.2.	Motociclistas.....	161
14.3.	Camiones.....	161

## 1. Introducción

De acuerdo con las últimas estadísticas del Observatorio Nacional de Seguridad Vial (2020) sobre clases de accidente, en el año 2017 se produjeron un total de 6144 muertes en sitio por accidentes de tránsito. 3495 de estos decesos ocurrieron choques, es decir, cerca del 57% del total, mientras que 131 de las muertes se produjeron por la caída del vehículo al precipicio (cerca del 2,13%). Estas cifras son muy alarmantes para el país; por lo cual es necesario diseñar estrategias de seguridad vial que permitan reducir significativamente la ocurrencia de estas clases de accidentes de tránsito.

Se ha demostrado internacionalmente en algunos países, que una medida efectiva para minimizar la tasa de accidentalidad por salida o invasión del carril de circulación de los vehículos es la implementación de las Bandas Sonoras Longitudinales, más conocidas como Rumble Strips en los países desarrollados. Estas bandas, son franjas rugosas situadas al lado o en el centro del carril de circulación fabricadas con el fin de alertar a los conductores cuando los vehículos circulan involuntariamente sobre ellas, alertándolos con fuertes sonidos y vibraciones para que corrijan su trayectoria; evitando de esta manera, la invasión de carril o salida de la vía y asegurando la seguridad (Dirección General de Tráfico de España [DGT], 2018).

Como estudiantes del programa Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana, buscamos a través de este manual, generar un documento que contenga y recopile a continuación los aspectos básicos sobre el diseño, funcionamiento, sitios de implementación, tipos de aplicación y proceso constructivo, señalización y mantenimiento de las Bandas Sonoras Longitudinales, contramedida de seguridad vial que hasta el momento no han sido aplicadas en Colombia por falta de conocimiento o por falta de innovación.

En Colombia se manejan ciertos dispositivos para la regulación del tránsito en las vías, dichos dispositivos no son del todo parecidos a las bandas sonoras longitudinales, pero tienen un uso en común. Estos dispositivos son fabricados con aglomerados o estoperoles, sujetos al piso mediante el uso de pinturas epóxicas, resinas termoplásticas, etc., que causan trepidación y ruido. La altura de estas determina el nivel de impacto en los conductores, pueden usarse en secciones largas y continuas de una vía.

## **2. Seguridad vial**

Los accidentes de tránsito son un problema de salud pública en el mundo. **Según la organización mundial de la salud (OMS), 1,3 millones mueren en siniestros en las vías.**

Precisamente, el denominado microsueño hace parte de las principales causas de accidentes viales y siniestros en carretera. Este fenómeno que afecta directamente a los conductores, y que ha ocasionado, según el Observatorio Nacional de Seguridad Vial, que durante 2019 hayan muerto en el país 52 personas en 119 accidentes, está relacionada con la pérdida de la conciencia y la realidad por un espacio de tiempo muy breve.

El microsueño es uno de los graves problemas en los que se ven implicados los conductores que manejan largas jornadas sin descanso.

## **3. Marco legal**

En el capítulo 1, artículo 1, se plantea que el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) tiene como objetivo principal.

La ejecución de las políticas, estrategias, planes, programas y proyectos de la infraestructura no concesionada de la Red Vial Nacional de carreteras primaria y terciaria, férrea, fluvial y de la infraestructura marítima, de acuerdo con los

lineamientos dados por el Ministerio de Transporte. (Ministerio de Transporte, 2013).

Así mismo, el Ministerio de Transporte de Colombia [MT], (2004) según el artículo 5° de la ley 769 de 2002, refiere que le corresponde reglamentar todas las características técnicas de la demarcación y señalización de las infraestructuras viales con el fin de generar un ambiente seguro y eficiente para los usuarios de las vías.

Esto refiere que, INVIAS y El Ministerio Nacional de Transporte deben velar por el óptimo funcionamiento de la red de carreteras nacionales y la demarcación y señalización de la infraestructura y sus normas. Partiendo de esta afirmación, se pretende proponer la aplicación de unas líneas viales conocidas a nivel mundial como bandas sonoras longitudinales, en las principales vías nacionales de Colombia; exactamente, en tramos rectos. Aunque éstas no son muy conocidas a nivel de Latinoamérica, han sido implementadas con éxito en algunos países europeos como España. Por ejemplo, el Ministerio del Interior de España [MIR], (s.f) confirma que:

En los últimos años se ha producido un reconocido avance en materia de reducción de la siniestralidad, lesividad y mortalidad asociada a accidentes de tráfico, lo que ha permitido que España se sitúe en 5º lugar en cuanto a muertos por millón de habitantes se refiere dentro de la Unión Europea (...). (p.2)

(...)Según diversas investigaciones las bandas sonoras en el eje son una medida que estadísticamente ha demostrado una reducción entre 38 y 50 % de accidentes con víctimas en carreteras de calzada única y doble sentido de circulación, y en borde entre un 35 y un 63% (p.3).

Con base en lo anterior, mediante la ejecución de las bandas sonoras sobre el pavimento, se puede afirmar que es posible minimizar en cierto grado el número de

siniestros viales, ya que se ha comprobado en países como España, donde se ha implementado esta medida, una reducción considerable de accidentalidad y el refuerzo de la ordenación del tráfico. Incluso, en los casos en el que el conductor no consigue totalmente el control del vehículo las bandas sonoras le han servido de alerta, reduciendo la severidad del impacto (MIR, s.f).

#### 4. ¿Qué es el microsueño?

Un microsueño, explica el neurólogo Gustavo Castro, es una especie de parpadeo largo involuntario, acompañado de pérdida de conciencia, en el que los ojos se cierran al intentar permanecer despiertos durante una actividad monótona. Aunque los efectos más devastadores se relacionan con accidentes en las vías, los microsueños –insiste Castro– también pueden presentarse durante una reunión, en el cine o desempeñando un trabajo o actividad rutinaria.

El problema, asegura el neurólogo, es **que por un instante la persona se desconecta de la realidad, y es el caso de conductores con vehículos en movimiento.** “En ese breve período, un vehículo puede andar muchos metros sin el debido control”, añade Castro. Según el experto Víctor cantillo, el microsueño abarca un lapso entre 3 a 5 segundos. Si la persona se desplaza a 80 kilómetros por hora, puede recorrer más de 100 metros sin control.

Según estudios internacionales más de la mitad de las muertes por accidentes de tránsito ocurren después que un conductor cruce la línea central de la vía o el borde de esta. Dos tercios de estos accidentes fatales ocurren en áreas rurales.

#### 5. ¿Qué causa las salidas de la carretera?

Muchos factores contribuyen a que los conductores se salgan de la carretera o se desvíen de su carril. Estos incluyen fatiga y exceso de sueño del conductor; distracción al

conducir; mala tracción entre los vehículos y las superficies de la carretera y poca visibilidad en condiciones climáticas adversas. La fatiga del conductor puede ocurrir cuando los tramos de la carretera son largos y monótonos lo cual reducen la concentración del conductor. A veces, estos factores se ven agravados por conducir demasiado rápido. El alcohol y las drogas pueden contribuir tanto a la fatiga como a la velocidad.

### **6. ¿Cómo alertan las bandas sonoras?**

Las bandas sonoras crean ruido y vibración dentro del vehículo que alertan al conductor cuando cruzan la línea central o del borde. A menudo, esta alerta es lo suficientemente fuerte como para llamar la atención de un conductor distraído o somnoliento, quien rápidamente puede tomar una acción correctiva de la dirección para regresar a la carretera de manera segura. Las bandas sonoras también alertan a los conductores sobre los límites del carril cuando condiciones como lluvia, niebla, nieve o polvo reducen la visibilidad del conductor.

### **7. Sitios de implementación:**

Las bandas sonoras se pueden implementar sobre una gran variedad de carreteras como se muestra en la tabla 1, pero teniendo en cuenta los siguientes requisitos.

1. Ancho mínimo de espaldón de 0.9m. Ancho recomendado de 1.2 y 1.5 m en el caso de presencia de ciclistas.
2. Espacio libre de espaldón entre 0.6 a 2.1 m, esto corresponde a la distancia medida entre el borde exterior de la banda sonora y el borde exterior del espaldón.
3. Tener un tránsito de vehículo promedio entre 400 y 3000 vehículos.
4. Espeso requerido de la estructura de pavimento entre 25 a 152 mm.

<b>BS</b>	<b>Se podrán implementar</b>	<b>No se pueden implementar</b>
<b>Espaldones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carreteras urbanas y rurales de dos carriles o múltiples carriles con espaldones pavimentados.</li> <li>• Carreteras con medianeras.</li> <li>• Túneles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando no existen las dimensiones en espaldón para su implementación.</li> <li>• En caso de deterioro o agrietamiento del pavimento.</li> <li>• Rutas con tránsito de ciclas donde su construcción represente un impedimento para la circulación segura de este tipo de usuario.</li> </ul>
<b>Centro de línea</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En carreteras urbanas o rurales de dos carriles o múltiples carriles con zonas de prohibición de adelantamiento.</li> <li>• En curvas horizontales con altos índices colisión.</li> <li>• Curvas con radios pequeños.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dentro de 200 metros antes de una zona residencial o urbana.</li> <li>• En tableros de puentes.</li> <li>• En zonas de adelantamientos en rutas de dos carriles.</li> <li>• En intersecciones o accesos de una carretera.</li> </ul>

- En pendientes o carriles de ascenso con zonas de prohibición de adelantamiento.
- 

### **8. Tipos de aplicación:**

Según la Dirección General de Tráfico de España (DGT, 2018) Las bandas sonoras se clasifican de acuerdo con su funcionalidad y disposición, de la siguiente manera:

Bandas sonoras longitudinales de separación de sentidos.

Le indican al conductor de que su vehículo está abandonando el carril de circulación y corre el riesgo de invadir el carril contrario. Éstos pretenden evitar accidentes frontales, fronto-laterales y salida de la vía por el lado izquierdo.

Existen 3 tipos de líneas longitudinales de separación de sentidos. Guía sonora de separación de sentido en marca vial, que se ejecuta sobre la propia marca vial de eje.

Guía sonora de separación de sentidos adyacente a la marca vial, la cual se ejecuta contigua a la marca vial en el interior del carril y bandas sonoras de separación de sentidos entre líneas viales, que se ejecutan en el espacio central excluido a la circulación delimitada por las líneas viales.

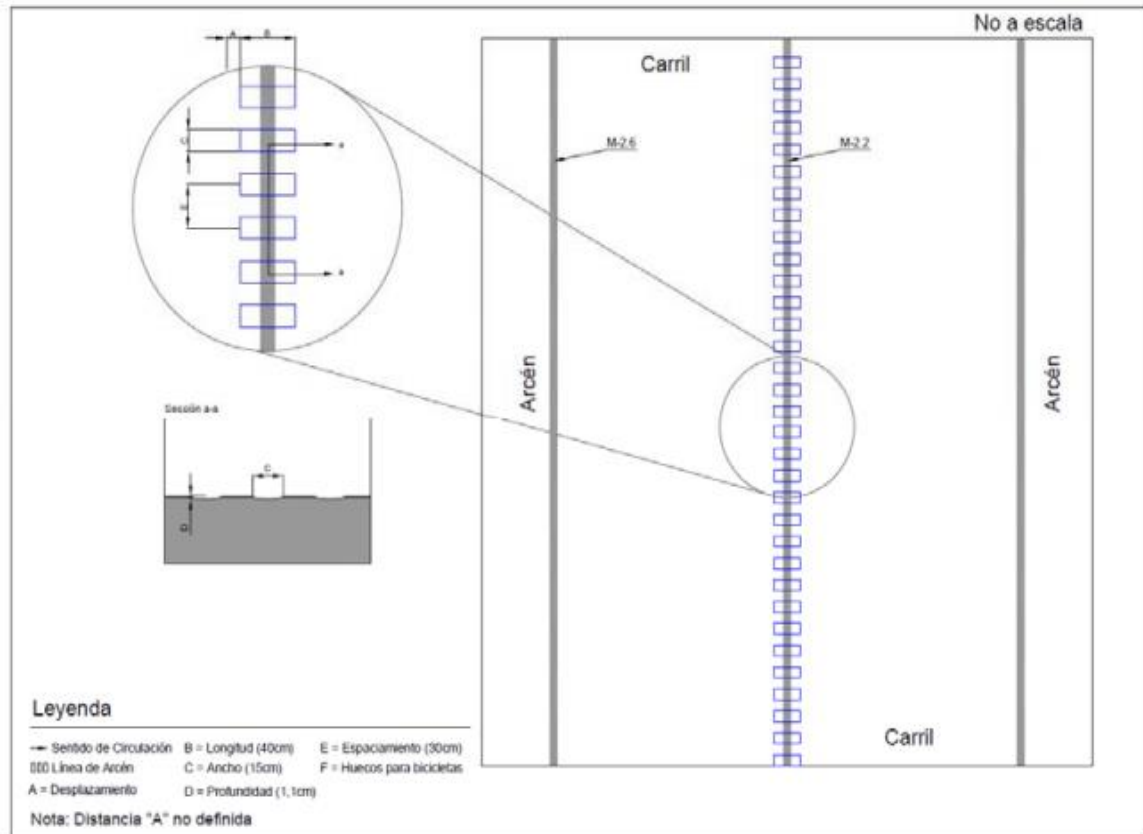


Figura 1. Bandas sonoras longitudinales de separación de sentidos

### 8.1. Bandas sonoras longitudinales de separación de carriles.

Advierten al conductor en las vías de 2 o más carriles por sentido de que su vehículo abandona el carril de circulación con riesgo de invasión de carril contiguo. Esto pretende evitar accidentes laterales y fronto-laterales.

Existen 2 tipos de líneas longitudinales de separación de carril. Bandas sonoras de separación de carriles en marca vial, que se ejecutan sobre la propia marca vial de separación de carriles; y bandas sonoras de separación de carriles adyacente a la marca vial, que se ejecutan contigua a ésta.

## 8.2. Bandas sonoras longitudinales de borde de calzada.

Advierten al conductor de que su vehículo pierde la trayectoria de la calzada con riesgo de salir de la vía.

Existen 3 tipos de líneas longitudinales de borde de calzada. Bandas sonoras de borde calzada en marca vial, se ejecutan sobre la propia marca vial de borde de calzada; bandas sonoras de calzadas adyacentes de la marca vial que se ejecuta contigua a la marca vial de borde de calzada, bien sobre el carril (interior) o sobre el arcén; y las bandas sonoras de borde de calzada sin marca vial las cuales se ejecutan en el borde de la calzada.

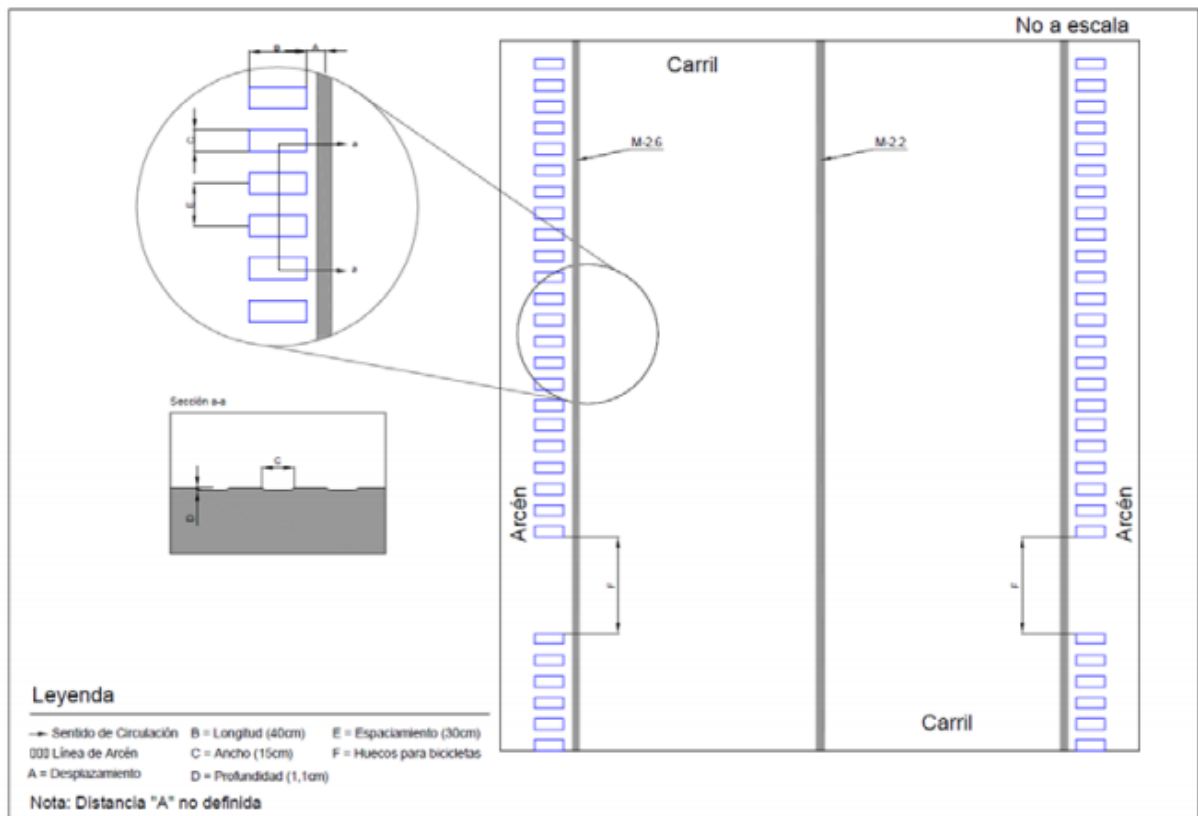


Figura 2. Bandas sonoras longitudinales de borde de calzada

Por otra parte, el DGT (2018), dispone que las bandas sonoras longitudinales se pueden clasificar teniendo en cuenta su perfil longitudinal y sección transversal de la siguiente forma.

### Sinusoidal.

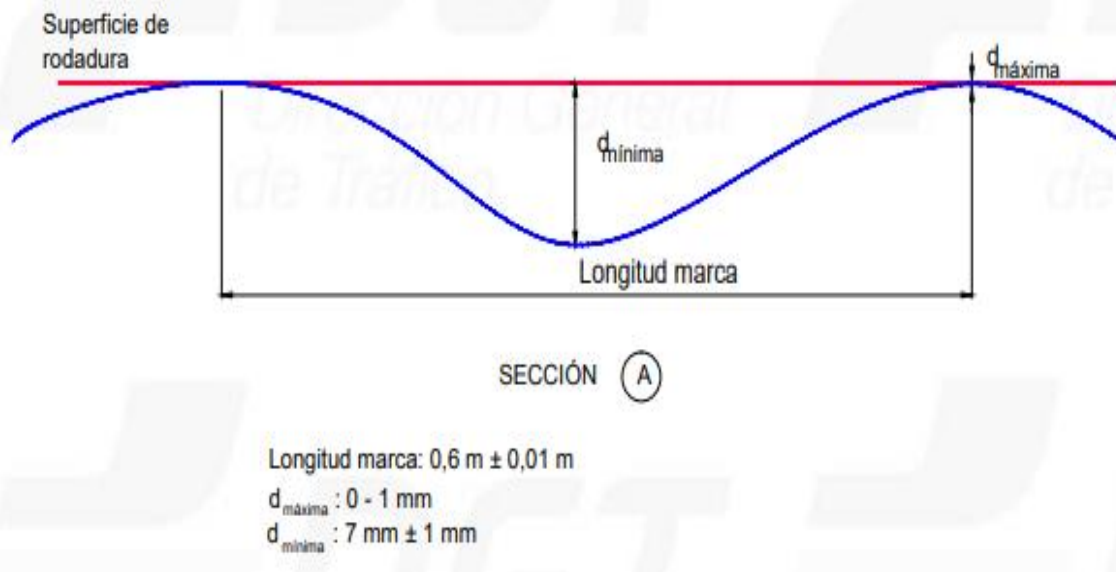


Figura 3. DGT (2018). Sección longitudinal de guía sonora longitudinal sinusoidal.

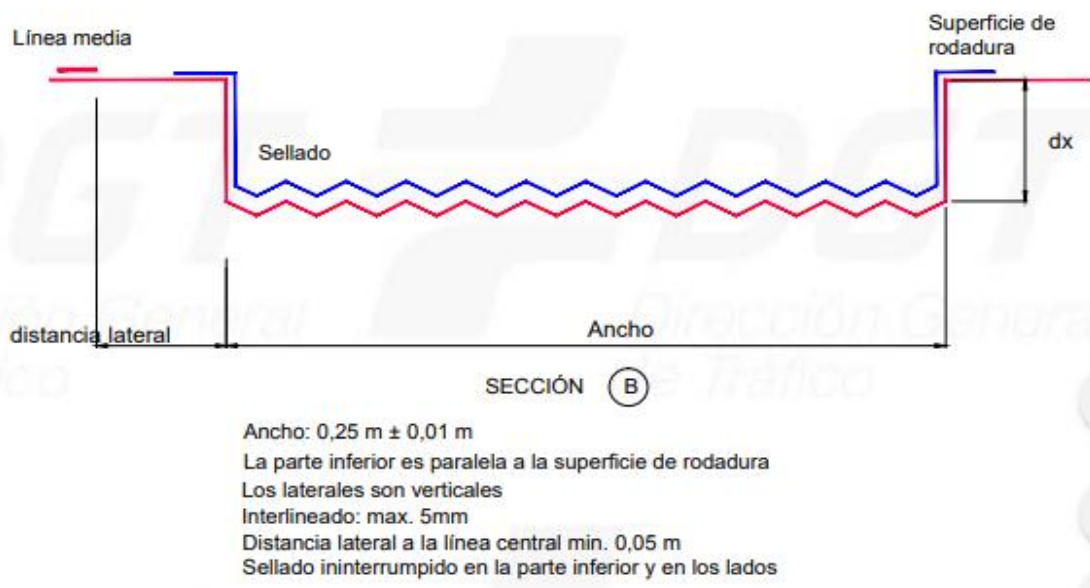


Figura 4. DGT (2018). Sección transversal de guía sonora longitudinal sinusoidal

**Paralelogramo.**

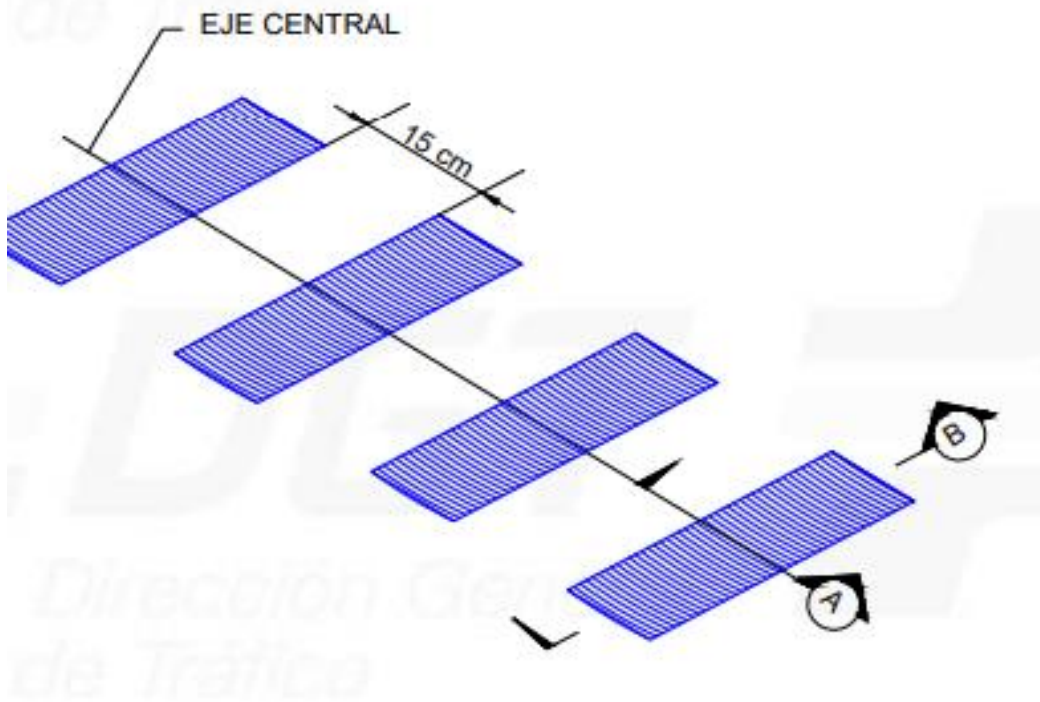


Figura 5. DGT (2018). Vista isométrica de guía sonora longitudinal de tipo paralelogramo.

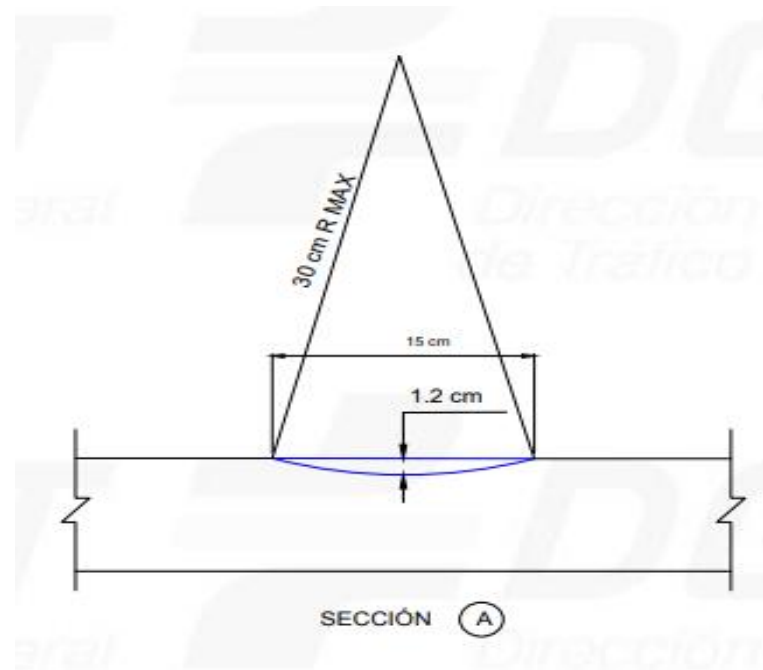


Figura 6. DGT (2018). Sección longitudinal de guía sonora longitudinal paralelogramo.

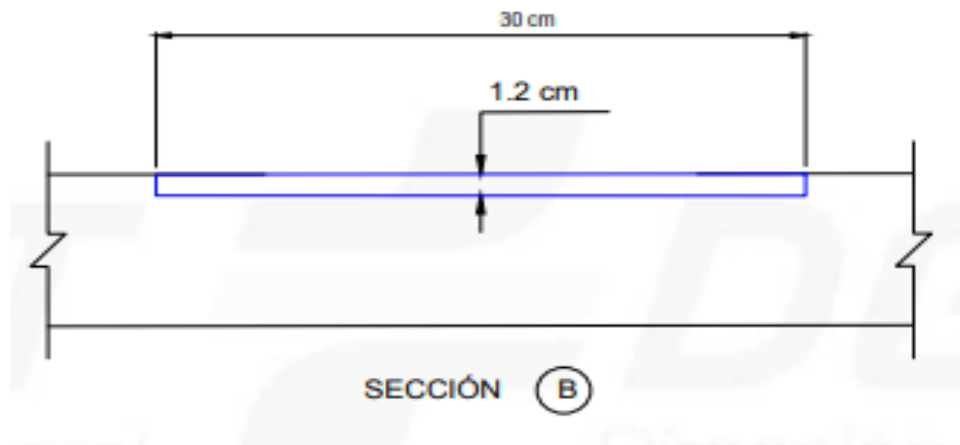


Figura 6. DGT (2018). Sección transversal de guía sonora longitudinal paralelogramo.

### Trapezoidal.

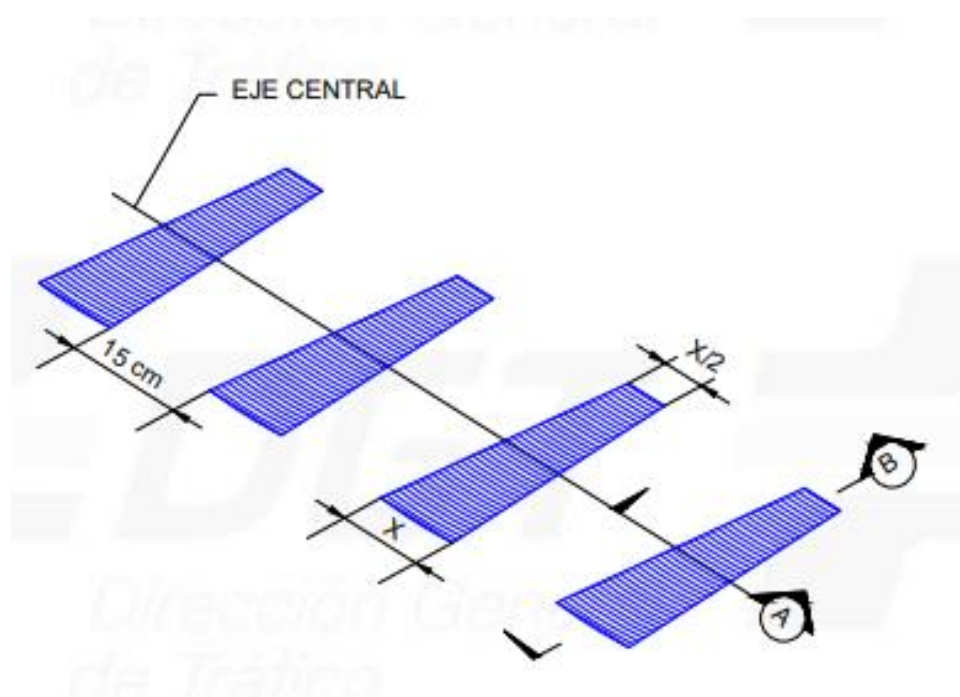


Figura 8. DGT (2018). Vista isométrica de guía sonora longitudinal de tipo trapecoidal

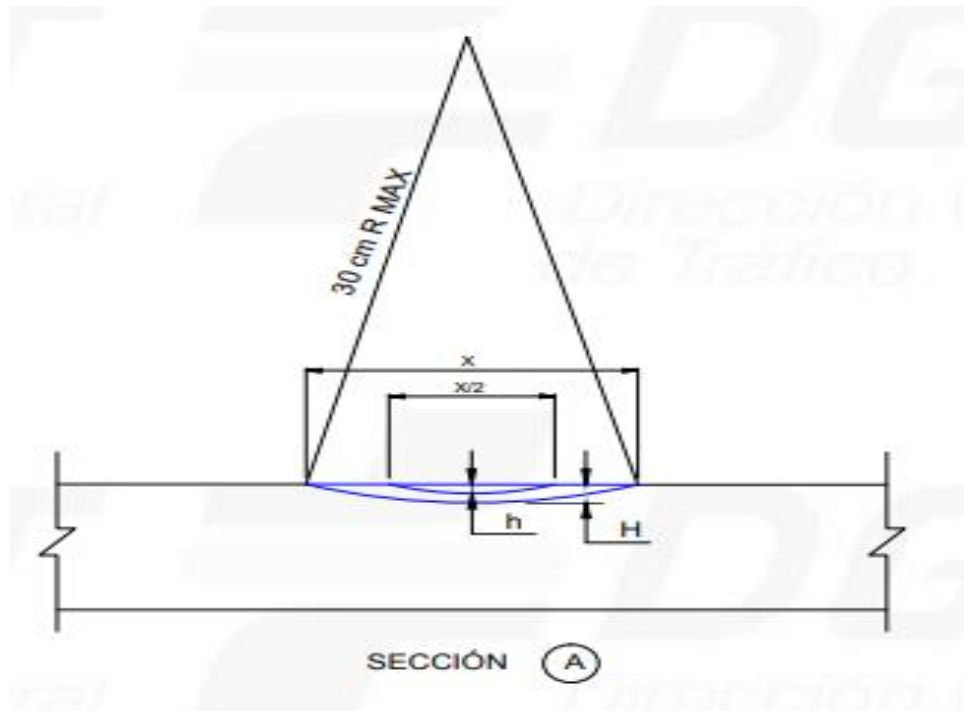


Figura 9. DGT (2018). Sección longitudinal de guía sonora longitudinal trapezoidal.

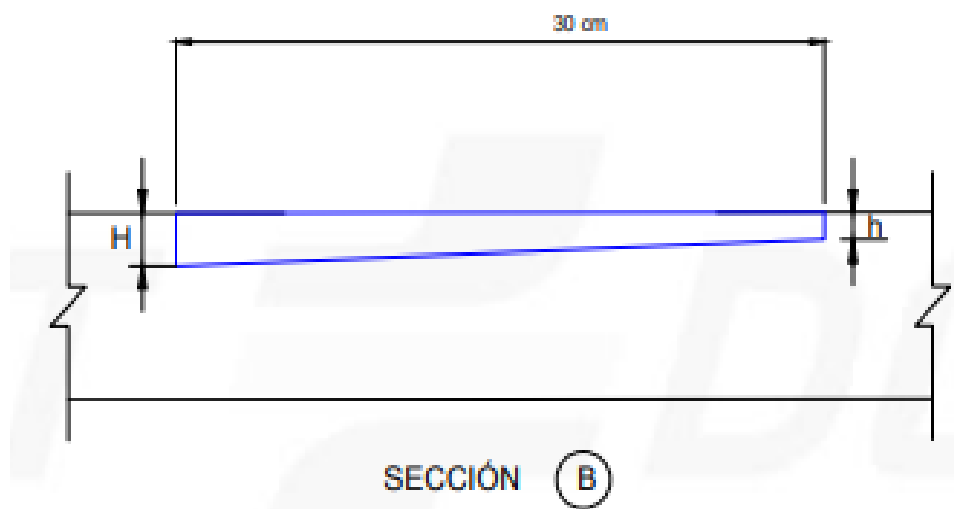
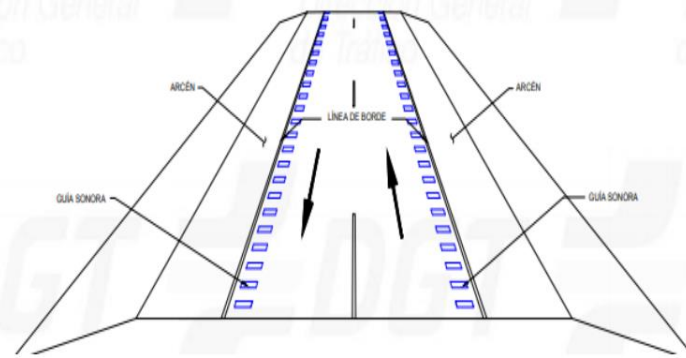


Figura 10. DGT (2018). Sección transversal de guía sonora longitudinal paralelogramo.

Por último, en cuanto a la disposición longitudinal, las guías sonoras longitudinales, se dividen en:

### Continuas.

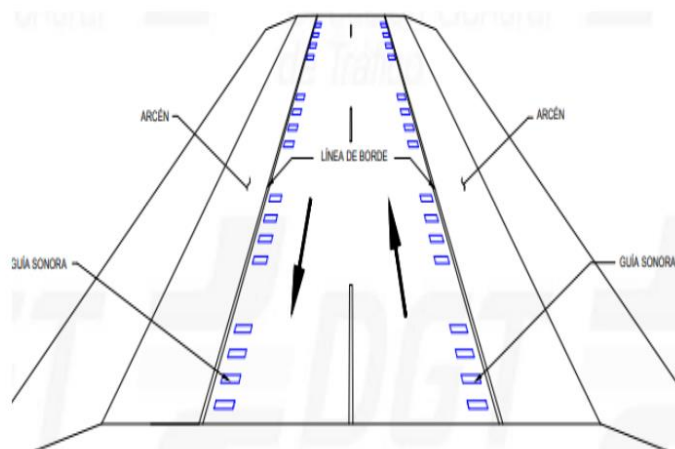
El patrón se mantiene constante longitudinalmente a lo largo del tramo en el cual se ejecuta.



*Figura 11, Ilustración de Bandas Sonoras continuas*

### Discontinuas.

Con carácter general se recomienda un patrón con tramos de bandas sonoras longitudinales de 3,5m de longitud con interrupciones sin bandas sonoras longitudinales de 1,5m.



*Figura 12. Ilustración de Bandas Sonoras Discontinuas.*

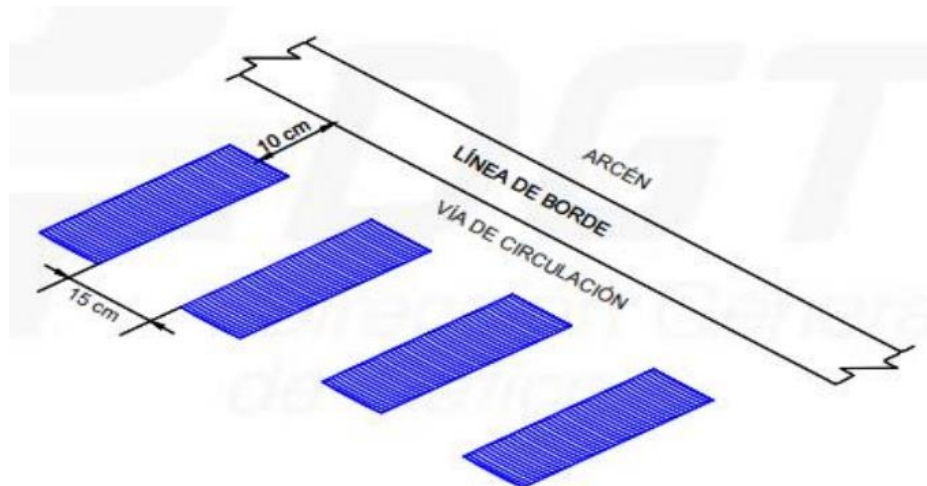


Figura 13. Guía sonora de borde interior de calzada adyacente a la marca vial.

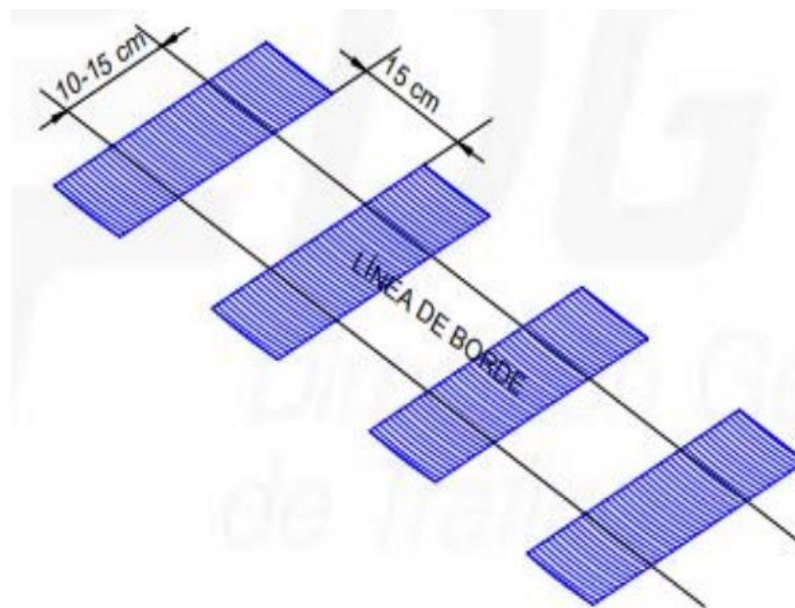


Figura 14. Bandas sonoras de borde de calzada en marca vial.



Figura 15. Bandas sonoras de separación de sentido entre líneas viales.

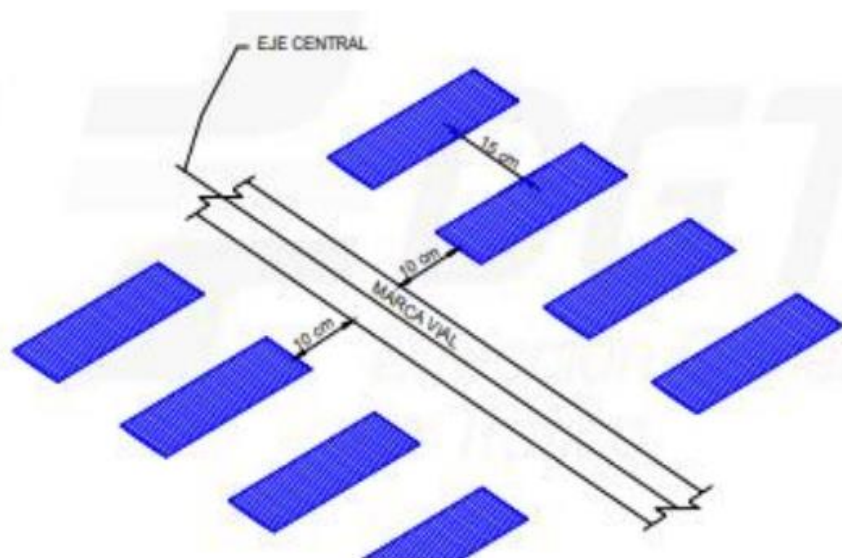


Figura 16. Bandas sonoras de separación de sentidos adyacente a la marca vial.

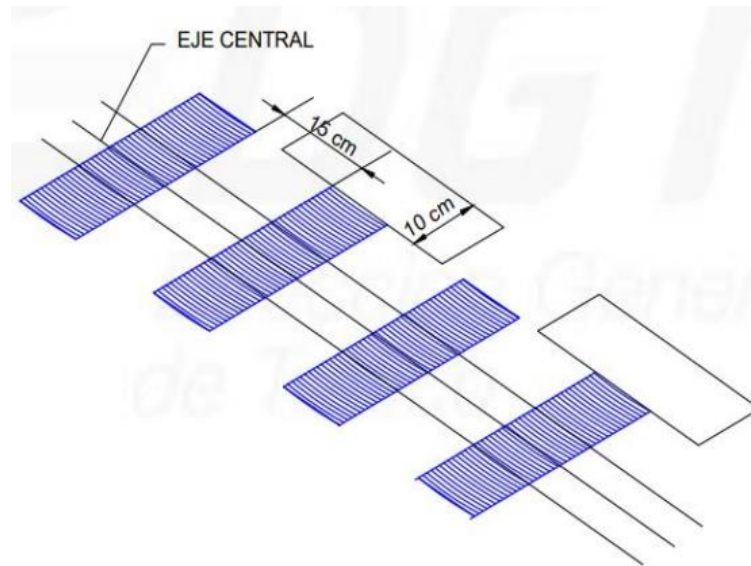


Figura 17. Bandas sonoras de separación de sentidos en marca vial.

### 9. Dimensiones.

La figura da a conocer las diferentes dimensiones que se deben considerar en la elaboración de los diseños de las bandas sonoras en espaldones. También se debe nombrar que la denotación de las bandas sonoras de eje central de la vida respeta las mismas medidas, con la diferencia de que su posición de implementación se realiza en la línea central de separación de carriles.

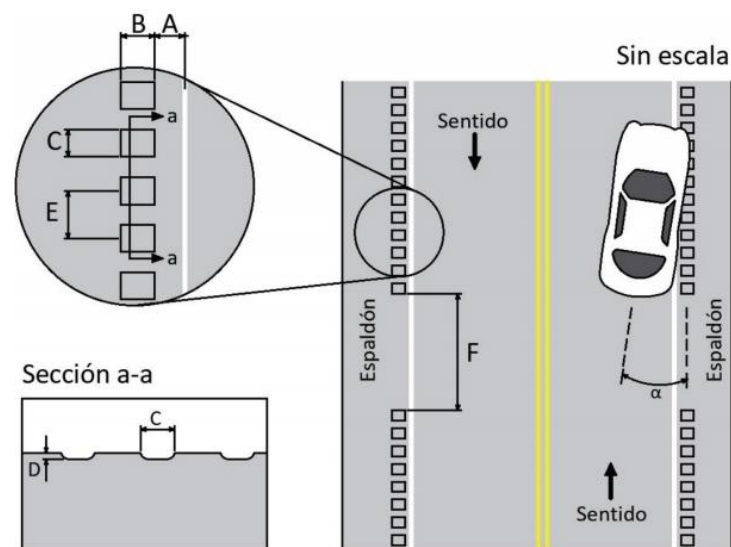


Figura 18. Parámetros de Bandas Sonoras.

- (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.
- ( $\alpha$ ): Ángulo con el que un vehículo sale de su carril.

Los parámetros de diseño de las bandas sonoras dependen de las condiciones en la cual se encuentra la vía en relación con la geometría (Ancho de carril, Ancho de espaldón), Funcionalidad (Tipo de tránsito, velocidad) y usuarios potenciales (Motociclistas y ciclistas). En la siguiente tabla se muestra algunas dimensiones recomendadas de las diferentes fuentes bibliográficas.

Parámetro de diseño	Medidas sugeridas para el diseño de bandas sonoras	
	BS fresado en espaldón	BS fresado en centro de línea
<b>(A): Distancia entre el borde de la calzada y el borde interior de la BS</b>	0 – 200 mm	No aplica
<b>(B): Dimensión del largo BS</b>	150 - 400 mm 400 - 500 mm (vehículos pesados)	300 - 400 mm

**(C): Dimensión del ancho** 150 - 200 mm 100 mm – 200 mm

**BS**

---

**(D): Profundidad de la** 10 - 15 mm 10 mm – 15 mm

**ranura**

---

**(E): Distancia entre** 300 - 400 mm 300 - 400 mm

**centros de las BS**

---

**(F): Distancia entre los** Cada 3 m con un patrón de -

**grupos de patrones BS** 16 bandas sonoras

---

**(-) No se reporta información en las fuentes consultadas, ya que en muchos países las BS se construyen de forma continua**

---

Guerrero, Sequeira, Zamora y Oviedo (2020) afirman respecto a las dimensiones, que se deben tener en cuenta para su implementación los siguientes aspectos:

1. En rutas con condiciones para el tránsito de ciclistas en vías o espaldones con velocidades de circulación menores a 60km/h, se recomienda que las dimensiones de las bandas sonoras se reajusten a fin de garantizar el claro libre para favorecer a este tipo de usuarios y evitar el ingreso a los carriles de tránsito.
2. La profundidad de ranurado debe ser adecuada para garantizar un cambio de nivel de sonido y vibración. En los diferentes estudios con respecto a nivel de sonido de las bandas sonoras es necesario un aumento de 3dBA, 4dBA, 6 dBA o 10dBa por encima del ruido ambiental para alertar al conductor. Donnell como se citó en Guerrero, Sequeira, Zamora y Oviedo (2020) en su modelo de regresión estima un aumento de nivel de ruido en el vehículo cuando este pasa por encima de las

bandas sonoras ( $\Delta SL$ ), siendo la profundidad la medida con mayor predominio en el cálculo, como se muestran en la siguiente ecuación.

$$\Delta SL = 8,56 + 0,03V - 0,27\alpha + 0,24B + 0,70C + 4,17D - 0,36E - 1,24f_u + 2,70f_t - 0,72f_p - 2,15f_{ch}$$

Donde:

V: velocidad máxima permitida (mph)

$\alpha$ : ángulo de salida del vehículo con respecto al eje de carril (grados)

B: largo de la banda sonora (pulgadas)

C: ancho de la banda sonora (pulgadas)

D: profundidad de la ranura (pulgadas)

E: espaciamiento entre ranuras (pulgadas)

$f_u$ : ubicación de las bandas con respecto al sentido de circulación del carril: 1 a la derecha de la vía; 0 a la izquierda de la vía

$f_t$ : tipo de intervención: 1 ranurado; 0 amasado o estampado

$f_p$ : tipo de pavimento: 1 concreto; 0 asfalto

$f_{ch}$ : condición de humedad: 1 húmedo; 0 seco

El nivel sonoro externo debe tenerse en cuenta, ya que puede afectar a las poblaciones aledañas a la carretera. Gates et al., como se citó en Guerrero, Sequeira, Zamora y Oviedo (2020) generaron un estudio en el que se estimó que, por cada 1,59 mm de profundidad de la ranura, se genera un aumento de 1,4 dB en los pavimentos con tratamiento superficial y 2,3 dB en los pavimentos con una superficie de mezcla asfáltica en caliente. Los dos casos para mediciones de sonido en carreteras rurales a 15,2 m desde las bandas sonoras centrales elaboradas mediante fresado y con velocidad límite de 88,5 km/h. Así mismo, el estudio propone un límite de profundidad de la ranura de las bandas

sonoras fresadas en la parte central de la vía de 1,6 cm a fin de evitar niveles de ruido no deseados.

### **10. Diseño**

Las bandas sonoras longitudinales consisten en unas ranuras que se ubican en el pavimento asfáltico o resaltos en las líneas viales. Éstas se sitúan a lo largo de la línea central o junto a las líneas laterales de la calzada. La principal función que cumplen es la de alertar de forma sonora y táctil a los conductores que se desvían del carril, gracias a la vibración y el sonido que generan en el vehículo al pasar los neumáticos sobre ellas, permitiendo que el conductor pueda corregir su dirección de circulación (Mascuñana, D., Iglesias, A., y Martínez, P., 2016).

Así pues, dentro de los beneficios se encuentra una intensidad significativa de alerta sobre el conductor, especialmente en buses y vehículos pesados; y menor coste de ejecución y mayor rendimiento de este debido a que no sufren deterioro ni desgaste por el paso de los vehículos ni por el repintado de las líneas viales. En condiciones de baja visibilidad, las bandas sonoras mejoran el reconocimiento por parte del conductor de los límites del carril (borde y eje) cuando las líneas viales no son visibles debido a las condiciones atmosféricas y meteorológicas.

Por otra parte, entre las características de las bandas, se considera que la vibración y el sonido interior y exterior dependen de las dimensiones del fresado de la guía sobre el firme, que incluye largo, ancho, profundo y espaciado. También, que la vibración del vehículo depende directamente de la profundidad del fresado, contrario al sonido del interior y el exterior, que dependen de la combinación del resto de variables.

Como norma general, la Dirección General de Tráfico emplea la Guía Sonora con las siguientes dimensiones:

Profundidad: 1-1,3 cm.

Ancho: 15-17cm.

Longitud: 20-30cm.

Equiespaciado: 25-35cm.

Los aspectos que se deben tener en cuenta al momento de seleccionar las dimensiones de las bandas sonoras son: el tipo de alerta sonora y vibratoria que se desea, la presencia de zonas residenciales, la composición del tráfico en la que se debe analizar el porcentaje de vehículos pesados que requieren mayor alerta interior por vibración/sonido, las dimensiones de la berma para limitar la longitud de la huella, el estado de la capa de rodadura que puede limitar la profundidad de la guía y la intensidad de ciclistas y motociclistas que puede recomendar limitar la profundidad o ejecutar interrupciones en las bandas.

## **11. Proceso constructivo**

### **11.1. Fresado:**

Elaboradas por una máquina de fresado, que generan un ranurado en superficie del pavimento. Se instalan fácilmente en pavimentos nuevos o existentes ya sean pavimentos flexibles o de concreto. Esta máquina permite ajustarse para cortar las dimensiones deseadas, espaciamiento, profundidad y forma de ranura.

### **11.2. Amasado o estampadas:**

instaladas durante el proceso constructivo, exactamente en la compactación de la superficie del pavimento nuevo o rehabilitado. Las ranuras son formadas al compactar la superficie de asfalto en caliente con un rodillo con tubos de acero soldados al tambor. La calidad de las bandas sonoras depende de la temperatura

del pavimento a la hora de hacer pasar el rodillo. Este método presenta altos costos en productividad y da resultados desfavorables en efectividad y calidad, con respecto al método de fresado.

### **11.3. Corrugaciones u ondulaciones:**

son generadas durante el proceso de acabado de pavimentos de concreto mediante el uso de formaletas, presionando elementos prefabricados o herramientas de uso manual contra el concreto fresco para dar el acabado de las franjas.

### **11.4. Adheridas o elevadas:**

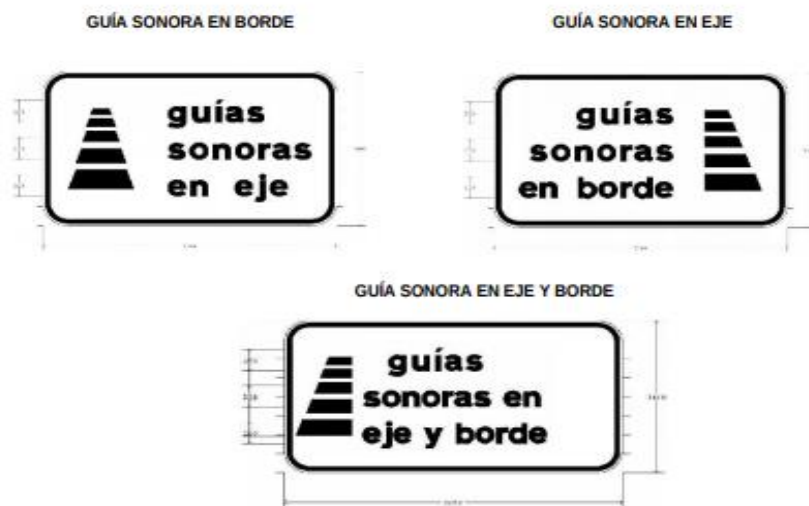
son tiras o líneas de material que se adhieren a las superficies nuevas o existentes en el pavimento. Su altura depende del tipo de material utilizado, este tipo de proceso está restringido en zonas que requieren remoción de nieve. Al momento de su instalación es importante asegurar su total adherencia a la superficie, de manera que no vayan a ser lanzadas con el peso de los vehículos.

## **12. Señalización**

Para que el usuario conozca que la vía por la que transita está equipada con bandas sonoras longitudinales, y además sea consciente del ruido y vibración en el interior del vehículo que se produce al momento de sobrepasar estas bandas; Se recomienda la instalación de señalizaciones verticales informativas al inicio de los tramos.

Estas también llamadas de prevención, se identifican con el código SP.

Son usadas en vías principales, autopistas o vías rápidas donde los vehículos circulan a grandes velocidades. A continuación, se recogen algunos ejemplos de los distintos tipos de carteles:



*Figura 19.* Señalización de las Bandas Sonoras.

### 12.1. Función

son placas fijadas en postes o estructuras instaladas sobre la vía o muy próximas a ella, que mediante unos símbolos advierten a los usuarios sobre la existencia de bandas sonoras longitudinales en la vía.

### 12.2. Visibilidad

las señales que se instalen deben cumplir con las normas estipuladas del manual de señalización vial 2015 del ministerio de transporte, en el cual indican que dichas señales deberán ser legibles para los usuarios y su ubicación debe ser acorde con lo establecido en el manual, para permitir que el usuario pueda reaccionar de manera rápida y segura aun cuando éste se acerque a la señal a altas velocidades.

Para garantizar la visibilidad de las señales y lograr la misma forma y color tanto en el día como en la noche, las placas deben ser elaboradas con materiales reflectivos o estar adecuadamente iluminados. En el caso que las señales sean reflectivas deberán elaborarse

con material retrorreflectante tipo 1 o de características superiores que cumplan con las especificaciones fijadas en la norma técnica colombiana NTC 4739.

Esto implica también que los postes cuenten con buena visibilidad, tamaño de letras adecuado.

### **12.3. Uso**

Los dispositivos para la regulación del tránsito, y en especial las señales verticales, no deberán ir acompañados por mensajes publicitarios, dado que le resta efectividad a la señal, convirtiéndose en distractor e incrementando el riesgo de accidentes.

Debe tenerse cuidado de no instalar un número excesivo de señales preventivas y reglamentarias en un espacio corto, ya que esto puede ocasionar la contaminación visual y la pérdida de efectividad de estas.

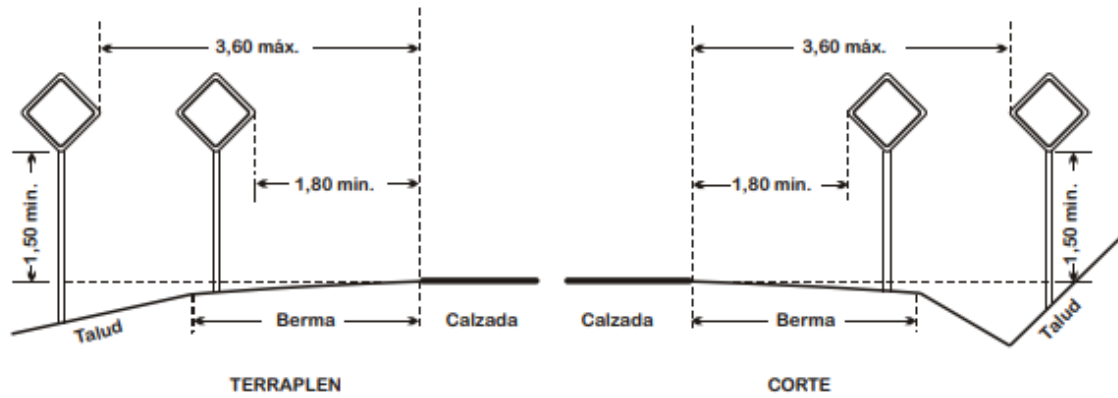
### **12.4. Conservación**

Todas las señales que normalicen el tránsito deben mantenerse una correcta posición, limpias y legibles durante su vida útil. Los programas de conservación deben incluir el cambio de los dispositivos defectuosos, el retiro de los que no cumplan su función para el cual fue diseñados y un mantenimiento rutinario de lavado.

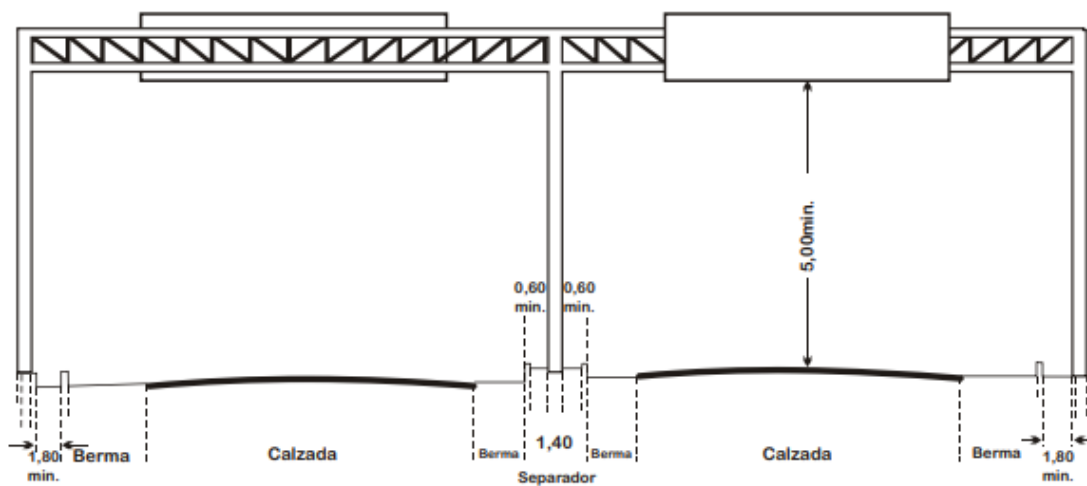
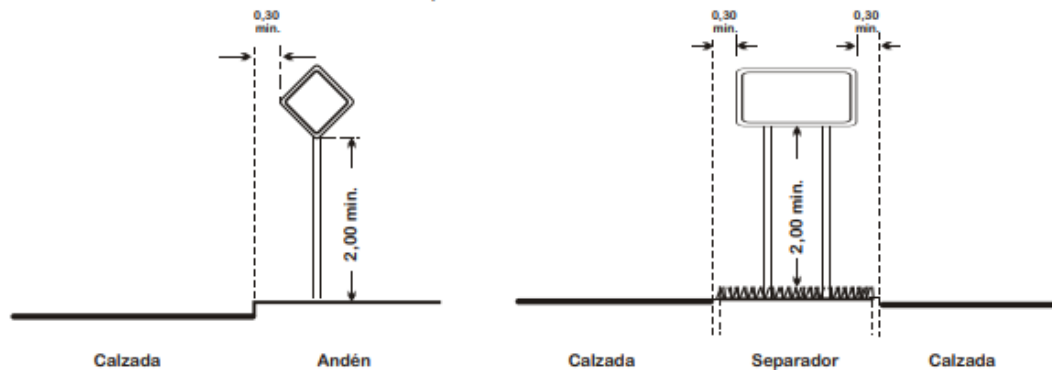
## 12.5. Ubicación

### 12.5.1. Ubicación lateral

Figura 5.1 Ubicación de las señales en metros



#### a) Rural



#### c) Suburbano

### 12.5.2 Tableros de las señales

Los tableros de las señales verticales empleadas para prevenir al usuario serán elaborados en lámina de acero galvanizado, aluminio o poliéster reforzado con fibra de vidrio. Los avisos de las señales serán elaborados sobre láminas retrorreflectivas que cumplan con los requisitos fijados en la norma técnica colombiana NTC 4739 y adheridos a la lámina metálica cumpliendo con las especificaciones fijadas en la misma norma. Las magnitudes de los tableros de las señales verticales son las indicadas en la tabla 5.1. Se escogerá el tamaño del tablero en funcionalidad del tipo de infraestructura sobre la cual se instale.

Tabla 5.1 Magnitudes de los tableros de las señales verticales (Dimensiones en cm)

Tipo de señal	Vías urbanas principales o de menor jerarquía y carreteras con ancho de coronas menor de 6 m	Vías urbanas de jerarquía superior a las principales y carreteras con ancho de corona entre 6 y 9 m	Autopistas y carreteras con ancho de corona entre 9 y 12 m	Carreteras con cuatro o más carriles con o sin separador
Preventivas	Cuadrado de 60 x 60 cm	Cuadrado de 75 x 75 cm	Cuadrado de 90 x 90 cm	Cuadrado de 120 x 120 cm
Preventiva SP-40	Rectángulo de 90 x 30 cm	Rectángulo de 120 x 40 cm	Rectángulo de 150 x 50 cm	Rectángulo de 180 x 60 cm

### 12.5.3. Ubicación longitudinal

Deberán ser colocadas antes de la presencia de una condición peligrosa y la naturaleza de esta, y así prevenir el riesgo que se corre en la vía. En vías arterias urbanas, o de menor importancia, se ubicarán a una distancia entre la señal y franjas que podrá variar entre 60 y 80 m. Para el caso de vías rurales, o urbanas de mayor importancia a las arterias, las señales preventivas se colocarán de acuerdo con la velocidad de operación del sector, así:

Tabla 5.2 Distancias para la ubicación de las señales preventivas en vías rurales o en vías urbanas de jerarquía superior a las arterias.

Velocidad de operación (Km/h)	Distancia (m)
40	50
60	90
80	120
100	150
Más de 100	No menos de 250

### 13. Mantenimiento de las bandas sonoras

Bahar, G., Wales, J., & Longtin-Nobel, L. (2001) refieren que, ya instaladas las bandas sonoras de berma, se generan pocos inconvenientes en el mantenimiento que se debe realizar. Se ha demostrado en Canadá y Estados Unidos que la implementación de las bandas sonoras no produce ningún deterioro en el pavimento. La preocupación sobre la acumulación de escombros o el agua carecen de fundamento, ya que estas mismas se limpian con la vibración o el viento producidos por los vehículos que transitan sobre ellas; esto provoca que los residuos que puedan depositarse a través del tiempo sean removidos de manera automática.

A continuación, se mencionan las pautas para garantizar un mantenimiento adecuado sobre las bandas sonoras:

1. Después de realizar el fresado, se debe barrer la banda sonora y eliminar los escombros de manera adecuada.
2. Para los departamentos o municipios donde se presenta el invierno, los trabajos de arado y deshielo los deben aplicar aquellos entes responsables del mantenimiento de carreteras.
3. Si es necesario se debe realizar una inspección para identificar el deterioro y hacer sus respectivas correcciones: como sellado de grietas, parcheo de baches, medidas para asegurar un drenaje positivo, rehabilitación de rectificado, pavimentación y re-ranurado de pavimentos.

4. Las bandas sonoras adheridas requieren de una revisión periódica, ya que a través del tiempo éstas se van desplazando o soltando por el tránsito de vehículos; lo cual, representaría un peligro para los usuarios de la vía.

## **14. Acomodo a usuarios**

las bandas sonoras son consideradas una medida de seguridad muy versátil, ya que se pueden adaptar al servicio de todos los usuarios que transiten las vías de Colombia. Una parte del éxito de las bandas sonoras es su flexibilidad en el diseño y la colocación de estas. Se recomienda recolectar información verídica de la vía, sobre la cual se van a implementar las bandas.

### **14.1. Ciclistas**

En el caso de trayectos que presenten tránsito de ciclistas en la vía o en la berma se recomienda reajustar las dimensiones de las bandas sonoras y así evitar que se vean afectados. Algunas claves para considerar son:

- ✓ se recomiendan bermas lo suficientemente altas para el tránsito de ciclistas y que estén libres de cualquier material o escombros. Los ciclistas optarán por utilizar las bermas y así no generar conflictos con vehículos que se mueven a altas velocidades.
- ✓ En aquellos tramos con alta intensidad de ciclistas, se recomienda ejecutar sea un fresado o cualquier otro tipo de guía sonora a manejar sobre la propia marca vial de borde de la calzada o incluso corrida lateralmente entre 5-10 cm hacia el interior del carril.
- ✓ Se pueden diseñar pequeñas brechas o espacios en el patrón de franjas de las bandas sonoras para permitir el movimiento simple y seguro de los ciclistas de un

lado de la berma hacia el interior del carril, utilizando espacios de 3 a 4 metros entre tramos de bandas de 14 a 20 metros de largo.

### **14.2. Motociclistas**

Aunque los estudios indican que las bandas sonoras de la línea central que se utilizan en las zonas de adelantamiento no impiden el paso de los motociclistas, es importante que el motociclista sea consciente de la existencia de las bandas sonoras sobre la vía. También se puede implementar un diseño con profundidades de fresado menores a las suministradas.

### **14.3. Camiones**

Cuando las vías transportan un volumen significativo de tráfico de camiones, los diseñadores pueden tener en cuenta tanto la aplicabilidad de las propiedades de advertencia de las bandas sonoras a los camiones como la ubicación adecuada dentro de la sección transversal del pavimento.

- ✓ Debido a los neumáticos más grandes de los camiones, para alertar a un conductor de camión que cruza la línea central o del borde, la longitud, el ancho y la profundidad son fundamentales y no se pueden reducir.
  
- ✓ En la alineación curvilínea se puede considerar el potencial de desvío. Aumentar el desplazamiento de las bandas sonoras de las bermas puede ser apropiado en las curvas.

- ✓ En los segmentos con franjas sonoras tanto en la línea central como en la línea de borde (o berma), la distancia entre los dos conjuntos de franjas sonoras se puede considerar cuidadosamente.

## 10. Referencias

- Castro, J., Rosales, E., & Egoavil, M. (2009). Somnolencia y cansancio durante la conducción: accidentes de tránsito en las carreteras del Perú. Recuperado de: <http://www.scielo.org.pe/pdf/amp/v26n1/a11v26n1.pdf>
- Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental [CORPONOR], (2019) PLAN ESTRATEGICO DE SEGURIDAD VIAL. Recuperado de [https://corponor.gov.co/corponor/sigescor2010/GESTION%20ADMINISTRATIVA/DESCRIPT/MPA-02-D-05\\_PROTOCOLO\\_ATENCION\\_ACCIDENTES\\_VIALES\\_v1.pdf](https://corponor.gov.co/corponor/sigescor2010/GESTION%20ADMINISTRATIVA/DESCRIPT/MPA-02-D-05_PROTOCOLO_ATENCION_ACCIDENTES_VIALES_v1.pdf)
- Dirección General de Tráfico de España [DGT], (2018) Bandas sonoras longitudinales fresadas. Recuperado de [http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/normativa-legislacion/otras-normas/modificaciones/2018/18\\_TV\\_102\\_guias\\_sonoras\\_longitudinales\\_fresadas.pdf](http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/normativa-legislacion/otras-normas/modificaciones/2018/18_TV_102_guias_sonoras_longitudinales_fresadas.pdf)
- Dirección General de Tráfico de España [DGT], (2018) Preguntas frecuentes bandas sonoras longitudinales. Recuperado de [http://www.dgt.es/Galerias/el-trafico/FAQ\\_rumble\\_strip\\_DGT.PDF](http://www.dgt.es/Galerias/el-trafico/FAQ_rumble_strip_DGT.PDF)
- Escobar, C. Medina, D. y Medina, M. (2017). Accidentes de tránsito. Rescate in situ. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/14109>
- García-García, H. I., Vera-Giraldo, C. Y., & Zuluaga-Ramírez, L. M. (2011). Características de los accidentes de tránsito con personas lesionadas atendidas en un hospital de tercer nivel de Medellín, 1999-2008. *Revista Gerencia y Políticas de Salud*, 10(21).
- Instituto de Desarrollo Urbano (2015) *ESPECIFICACIÓN TÉCNICA: FRESADO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS*. Recuperado de <https://www.idu.gov.co/web/content/7629/540-11.pdf>
- Lorenzo y Menchaca (1999). *Biomecánica del accidente de tráfico*. (Tesis de maestría). Departamento Medicina Intensiva. Hospital 12 de Octubre. Madrid. SAMU (Sevilla). Recuperado de <https://www.kimerius.com/app/download/5783679599/Biomec%C3%A1nica+del+accidente+de+tr%C3%A1fico.pdf>

- Mascuñana, D., Iglesias, A., y Martínez, P. (2016). Carreteras autoexplicativas: mejorando la seguridad vial de los usuarios más vulnerables. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5722524>
- Ministerio del Interior de España [MIR], (s.f) Preguntas frecuentes bandas sonoras longitudinales. Recuperado de [http://www.dgt.es/Galerias/el-traffic/FAQ\\_rumble\\_strip\\_DGT.PDF](http://www.dgt.es/Galerias/el-traffic/FAQ_rumble_strip_DGT.PDF)
- Ministerio de fomento de España (2012). *Guía para el proyecto y ejecución de obras de señalización horizontal*. Recuperado de [https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/pdfhandler.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/pdfhandler.pdf)
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (2011) *Manual de Carreteras de Paraguay*. Recuperado de <https://www.mopc.gov.py/userfiles/files/Senalizacion%20Horizontal.pdf>
- Ministerio de Transporte (2013). Decreto 2618 de 2013. Recuperado de <http://web.mintransporte.gov.co/jspui/handle/001/110>
- Ministerio de Transporte de Colombia [MT], (2004) Aspectos generales de la señalización vial- capítulo 1. Recuperado de <https://www.mintransporte.gov.co/documentos/29/manuales-de-senalizacion-vial/>
- Ministerio de Transporte de Colombia [MT], (2017) Decreto 2618 de 2013. Recuperado de <http://www.suin-juriscal.gov.co/viewDocument.asp?id=1473359>
- Ministerio de Transporte de Colombia [MT], (2004) Señalización horizontal- capítulo 3. Recuperado de <https://www.mintransporte.gov.co/documentos/29/manuales-de-senalizacion-vial/>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2009. Guidance for the Design and Application of Shoulder and Centerline Rumble Strips. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/14323>.
- Norza C., E. H., Granados L., E. L., Useche H., S. A., Romero H., M. & Moreno R., J. (2014). Componentes descriptivos y explicativos de la accidentalidad vial en Colombia: incidencia del factor humano. *Revista Criminalidad*, 56 (1): 157-187. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/crim/v56n1/v56n1a09.pdf>
- Observatorio Nacional de Seguridad Vial (2020). Víctimas fallecidas y valoradas por INMLCF 2019. Recuperado de

<https://ansv.gov.co/observatorio/index0978.html?op=Contenidos&sec=76&page=80>

Organización Mundial de la Salud (2017). 10 datos sobre la seguridad vial en el mundo. Recuperado de <https://www.who.int/features/factfiles/roadsafety/es/>

Ospina, J. (2018) *DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO RÍGIDO DE LAS VÍAS URBANAS EN EL MUNICIPIO DEL ESPINAL – DEPARTAMENTO DEL TOLIMA* (Tesis de especialización). Universidad Cooperativa de Colombia, Ibagué. Recuperado de [https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/7482/1/2019\\_dise%C3%B1o\\_structural\\_pavimento\\_r%C3%ADgido.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/7482/1/2019_dise%C3%B1o_structural_pavimento_r%C3%ADgido.pdf)

Pérez, R. (2014) *REALIDADES Y PERCEPCIONES DEL USO DE LOS ASFALTOS MODIFICADOS EN COLOMBIA*. (Tesis de especialización). Universidad Militar Nueva Granada. Santa Fé de Bogota. D.C. Recuperado de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/12236/TRABAJO%20FINAL%20MODIFICADOS%2017-06-2014.pdf;jsessionid=4C8E6E7F7B6C490A87BD7A24DC868C74?sequence=1>

Policía Nacional (2017) *Caracterización de la Accidentalidad en Colombia: Análisis del Fenómeno desde el Estudio del Factor Humano* (1). Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/308901102\\_Caracterizacion\\_de\\_la\\_Accidentalidad\\_en\\_Colombia\\_Analisis\\_del\\_Fenomeno\\_desde\\_el\\_Estudio\\_del\\_Factor\\_Humano](https://www.researchgate.net/publication/308901102_Caracterizacion_de_la_Accidentalidad_en_Colombia_Analisis_del_Fenomeno_desde_el_Estudio_del_Factor_Humano)

Rodríguez, J. M., Armindo Camelo, F., & Chaparro, P. E. (2017). Seguridad vial en Colombia en la década de la seguridad vial: resultados parciales 2010-2015. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, 49(2).

The Asphalt Institute (1961) *Manual del asfalto, Traducido por Manuel Velázquez* (1). Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/123896961/Manual-Del-Asfalto>

Torres E. (2015). *Sueño y condiciones de trabajo y salud en conductores de transporte especial. Un enfoque psicosocial, ciudad de Bogotá, 2012–2013*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/51571/1/SUE%C3%91O%20Y%20CONDICIONES%20DE%20SALUD%20Y%20TRABAJO%20EN%20CONDUCTORES.pdf>

Dirección General de Tráfico de España [DGT], (2018) *Bandas sonoras longitudinales fresadas*. Recuperado de <http://www.dgt.es/Galerias/seguridad->

[vial/normativalegislacion/otrasnormas/modificaciones/2018/18\\_TV\\_102\\_guias\\_sonoras\\_longitudinales\\_fresadas .pdf](#)

Bahar, G., Wales, J., & Longtin-Nobel, L. (2001). *Best Practices for the Implementation of Shoulder and Centreline Rumble Strips* (No. 08).

Guerrero, Sequeira, Zamora y Oviedo (2020). Bandas Sonoras.

[https://investigacion.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/2064/rumble\\_strips-bandas\\_sonoras.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://investigacion.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/2064/rumble_strips-bandas_sonoras.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Observatorio Nacional de Seguridad Vial (2020). Víctimas fallecidas y valoradas por

INMLCF 2017. [https://ansv.gov.co/es/observatorio/estad%C3%ADsticas\\_analitica](https://ansv.gov.co/es/observatorio/estad%C3%ADsticas_analitica)