



BANDAS SONORAS Rumble Strips



Publicación especial

LanammeUCR - Centro de Transferencia Tecnológica

Publicación Especial Bandas Sonoras (Rumble Strips).

Diagramación y diseño: Daniela Martínez Ortiz.

Control de calidad: Óscar Rodríguez Quintana.

Marzo, 2020.

Bandas Sonoras (*Rumble Strips*)

Guerrero Aguilera, Sergio ¹; Sequeira Rojas, Wendy ²;
Zamora Rojas, Javier ³ y Oviedo Lorío, Bianca ⁴

1. Ingeniero auditor, Unidad de Auditoría Técnica, LanammeUCR
2. Ingeniera coordinadora, Unidad de Auditoría Técnica, LanammeUCR
3. Ingeniero coordinador, Unidad de Seguridad Vial y Transporte, PITRA - LanammeUCR
4. Asistente, Unidad de Auditoría Técnica, LanammeUCR

Palabras clave

Bandas sonoras, seguridad vial, reducción de accidentes, medidas de seguridad.

Resumen

Esta publicación es producto de una detallada revisión bibliográfica acerca del uso de bandas sonoras en carreteras. Se explica brevemente en qué consisten estas como medida de seguridad integral de la infraestructura vial. Además, se enlistan sus aplicaciones, métodos constructivos y lugares aptos para ser implementadas.

Se detallan algunos parámetros de diseño tanto de la vía, como de las bandas en sí mismas, que deben ser considerados previo a la ejecución de esta medida; aspectos generales sobre su mantenimiento, costos, experiencia internacional y efectividad de su implementación.

Key words

Rumble strips, road safety, reduction of road traffic accidents, safety measures.

Abstract

This publication is the product of a detailed literature review about the use of rumble strips on roads. It briefly explains what they consist of as a comprehensive safety measure for road infrastructure. In addition, it provides a list of their applications, construction methods and places suitable for their implementation.

Some design parameters of both the road and the rumble strips themselves, which must be considered prior to the execution of this measure; general aspects about their maintenance, costs, international experience and effectiveness of their implementation, are detailed on this article.

Contenido

Introducción	1
Descripción de la medida	2
Aplicaciones	2
Tipos de intervenciones y procesos constructivos	4
Sitios de implementación	5
Dimensionamiento de bandas sonoras	6
Mantenimiento	8
Costos generales	8
Experiencia internacional en la implementación de bandas sonoras	8
Efectividad de la medida	9
Conclusiones	10
Referencias bibliográficas	11

Introducción

Las bandas sonoras son elementos rugosos conformados al lado o en el centro del carril de circulación de los vehículos en una carretera y es considerada, internacionalmente, como una medida de seguridad de bajo costo para los usuarios de la misma. Esta rugosidad genera fuertes vibraciones y sonido en el instante en que algún vehículo circule sobre ellas, alertando al conductor que se encuentra cerca de salirse de la vía o de su carril de circulación, por lo cual representa una medida de seguridad vial que busca minimizar los accidentes por salida de vehículos de la vía o por invasión de carril.



Figura 1. Accidente de tránsito por salida de la vía de vehículo ruta nacional 2.
Fuente: La nación, 2019 [1]

De acuerdo con las estadísticas del Consejo de Seguridad Vial, en el año 2018 se produjeron un total de 445 muertes en sitio por accidentes de tránsito. 100 de estos decesos ocurrieron por invasión al carril contrario, es decir, cerca del 23% del total, mientras que 66 de las muertes se produjeron por la salida de la vía de vehículos (cerca del 15%). Al mes de agosto de 2019 el número de fallecidos por accidentes de tránsito alcanzó las 265 personas, con porcentajes similares en sus causas: 21% por invasión al carril contrario y 13% por salida de la vía [2]. En la Figura 1, se muestra, a manera de ejemplo, uno de los accidentes registrados en el año 2019 por salida de la vía en una de las principales rutas nacionales.

Con el fin de reducir cifras como las anteriormente mencionadas, los ingenieros de carreteras deben analizar la ejecución de contramedidas integrales de seguridad vial, cuya implementación permita, desde el punto de vista del factor carretera o entorno, reducir la probabilidad de ocurrencia de accidentes de tránsito por este tipo de causas.

Una de las medidas internacionalmente utilizadas para disminuir los accidentes por salida del carril de circulación de los vehículos es el uso de bandas sonoras o *"rumble strips"*, sin embargo, en nuestro país este tipo de intervención no ha sido implementada debido a un desconocimiento de la técnica o a la falta de innovación. Por lo que esta publicación busca brindar un panorama más amplio sobre alcance de esta contramedida de seguridad vial, analizando sus ventajas y desventajas. A continuación, se explica brevemente en qué consisten las bandas sonoras, sus aplicaciones, los tipos de intervención, lugares aptos para ser aplicada, así como algunos parámetros de diseño, aspectos generales sobre su mantenimiento, costos, experiencia internacional y efectividad de su implementación.

Descripción de la medida

Las bandas sonoras (*rumbles strips*) son ranuras o corrugaciones conformadas en la capa de ruedo de la estructura del pavimento, de manera tal que cuando los neumáticos de un vehículo entren en contacto con éstas, produzcan vibración y sonido [3]. El ruido y la vibración producida por las bandas sonoras (BS) permite alertar al conductor sobre una inminente salida del espacio físico donde transita, o da un aviso sobre un cambio en la geometría de la vía más adelante.

Este tipo de contramedidas es empleado con el propósito de disminuir accidentes en los que los usuarios se desvían o se salen de sus carriles de circulación debido a falta de atención, distracción, somnolencia o fatiga [4].



Figura 2. Bandas sonoras conformadas al lado de una vía de circulación.

Fuente: asphaltmagazine.com [5]

Aplicaciones

Existen diferentes tipos de aplicación para este tratamiento. Dependiendo de la posición donde sean implementadas en la vía, las bandas sonoras desempeñarán una función específica en busca de disminuir diferentes tipos de accidentes. Se consideran cuatro aplicaciones de bandas sonoras [4]:

1

Bandas sonoras en espaldones (*Shoulder Rumble Strips*): Se conforman en el espaldón de la carretera, fuera del carril de circulación, o en carreteras multicarril separadas por una medianera. Tienen como propósito disminuir los accidentes por salida de la vía (Ver Figura 3 y Figura 4).

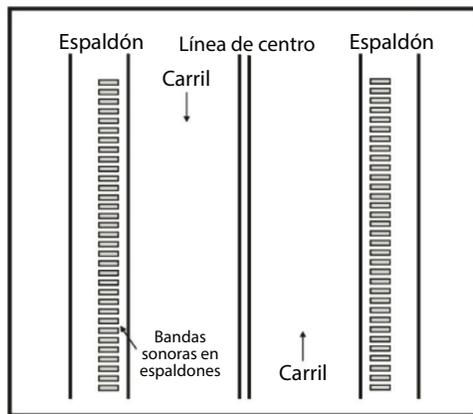


Figura 3. Instalación típica de bandas sonoras en espaldones.

Fuente: NCHRP, 2009 [6]



Figura 4. Bandas sonoras en el espaldón de la vía.

Fuente: FHWA, 2013 [4]

2

Bandas sonoras en el centro de la vía (Centerline Rumble Strips): Se colocan sobre o cerca de la línea central de la calzada. Diseñados principalmente para mitigar los choques frontales entre vehículos (Ver Figura 5 y Figura 6).

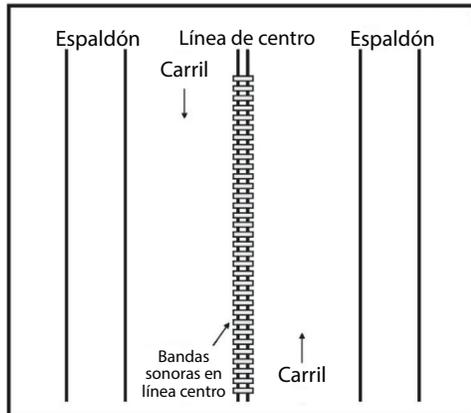


Figura 5. Instalación típica de bandas sonoras en el centro de la vía.
Fuente: NCHRP, 2009 [6]



Figura 6. Bandas Sonoras en el centro de la vía.
Fuente: TAC, 2013 [7]

3

Bandas sonoras en el centro del carril (Midlane Rumble Strips): Son colocadas en el centro del carril y tienen como propósito contribuir a evitar accidentes tanto por salida de vía de vehículos, como colisiones frontales, y son utilizadas especialmente en carreteras que no cuentan con espaldón (Ver Figura 7).

4

Bandas sonoras transversales (Transverse Rumble Strips): Son implementadas a lo ancho del carril (de forma transversal a la vía). Su objetivo principal es alertar a los conductores sobre la proximidad a intersecciones, estaciones de peaje, curvas horizontales, entre otras (Ver Figura 8).

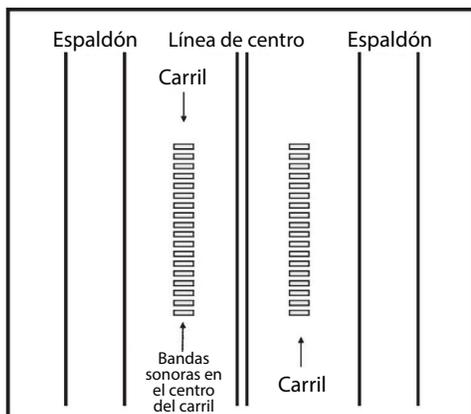


Figura 7. Instalación típica de bandas sonoras en el centro del carril.
Fuente: NCHRP, 2009 [6]

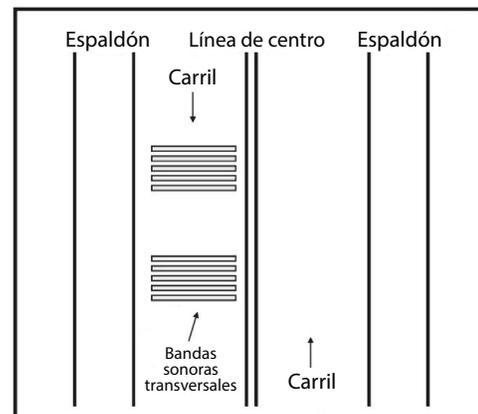


Figura 8. Instalación típica de bandas sonoras transversales en el centro del carril.
Fuente: NCHRP, 2009 [6]

Tipos de intervenciones y procesos constructivos

Según su proceso constructivo, existen cuatro tipos de bandas sonoras, cada uno de estos difiere en la cantidad de vibración y sonido que genera con el paso de la llanta de un vehículo [8].

1. **Fresado (*Milled*):** este tipo de bandas sonoras son producidas por una máquina de fresado generando un ranurado en superficie del pavimento, las cuales a su vez producen una gran cantidad de ruido y vibración. Se instalan fácilmente en pavimentos nuevos o existentes ya sean pavimentos flexibles o de concreto. La Figura 9 muestra la conformación de bandas sonoras utilizando este método. La máquina de fresado puede ajustarse para cortar las dimensiones deseadas, así como el espaciamiento, la profundidad y la forma de las ranuras [9].



Figura 9. Conformación de bandas sonoras mediante fresado.

Fuente: Rumble Strip Roads, s.f. [10]

2. **Amasado o estampadas (*Rolled*):** instaladas durante el proceso de compactación de la superficie de un pavimento nuevo o rehabilitado. Las ranuras son formadas al compactar la superficie de asfalto en caliente con un rodillo con tubos de acero soldados a los tambores (ver Figura 10). La calidad de las bandas sonoras, depende de la temperatura del pavimento a la hora de hacer pasar el rodillo [9]. Este tipo de conformación de las bandas sonoras suele presentar números desfavorables en costo, productividad, efectividad y calidad, con respecto al método de fresado [6].



Figura 10. Conformación de bandas sonoras mediante amasado.

Fuente: Morena, 2017 [11]

3. **Corrugaciones u ondulaciones (*Formed*):** 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 (Ver Figura 11).

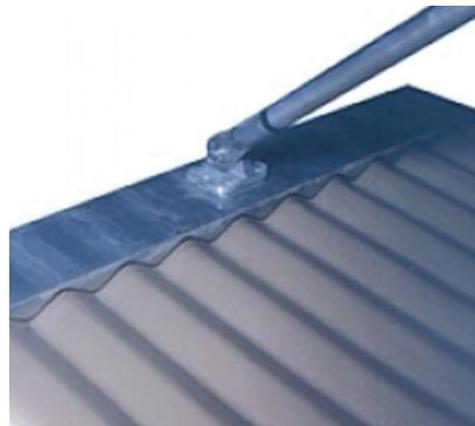


Figura 11. Conformación de bandas sonoras mediante herramienta manual.

Fuente: Sears.com [12]

4. Adheridas o elevadas (*Raised*): son tiras o líneas de material que se adhieren a las superficies nuevas o existentes en el pavimento (ver Figura 12). Su altura depende del tipo de material utilizado, sin embargo, todas están restringidas a utilizarse en zonas que no requieran de la remoción de nieve, pues se podrían deteriorar durante estas operaciones. Al momento de su colocación, es fundamental asegurar su total adherencia a la superficie, de manera que estas no vayan a ser lanzadas con el paso de los vehículos.



Figura 12. Bandas sonoras adheridas.
Fuente: FHWA, 2015 [9]

Sitios de implementación

Las bandas sonoras pueden ser implementadas sobre una gran cantidad de carreteras, como se muestra en la Tabla 1, siempre y cuando cumplan con los siguientes requerimientos físicos y funcionales:

-  Ancho mínimo requerido de espaldón de 0,9 m. Ancho recomendado de 1,2 m, y 1,5 m en el caso de presencia de ciclistas [8].
-  Claro libre en espaldón de 0,6 m a 2,1 m, corresponde a la distancia entre el borde exterior de la banda sonora y el borde exterior del espaldón [13].
-  Tránsito promedio diario mínimo entre 400 y 3 000 vehículos [13].
-  Espesor requerido de la estructura de pavimento de 25 mm a 152 mm [13].

Tabla 1. Zonas de implementación de bandas sonoras

BS	Se podrán implementar	No se podrán implementar
Espaldones	<ul style="list-style-type: none"> ● Carreteras urbanas y rurales de dos carriles o múltiples carriles con espaldones pavimentados [4] y [7]. ● Carreteras con medianeras [7]. ● Túneles [14]. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Cuando no existan las dimensiones en el espaldón para su implementación [7]. ● En caso de deterioro o agrietamiento del pavimento [7]. ● En tableros de puentes [7]. ● Rutas con tránsito de ciclistas donde su construcción represente un impedimento para la circulación segura de este tipo de usuario.
Centro de línea	<ul style="list-style-type: none"> ● En carreteras urbanas o rurales de dos carriles o múltiples carriles con zonas de prohibición de adelantamiento [7]. ● En curvas horizontales con altos índices colisión. ● Curvas con radios pequeños [7]. ● En pendientes o carriles de ascenso con zonas de prohibición de adelantamiento [7]. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Dentro de 200 metros antes de una zona residencial o urbana [7]. ● En tableros de puentes [7]. ● En zonas de adelantamientos en rutas de dos carriles [7]. ● En intersecciones o accesos de una carretera [7].

Dimensionamiento de bandas sonoras

La Figura 13 denota las diferentes dimensiones que deben ser consideradas en el diseño de las bandas sonoras en los espaldones. Se debe mencionar que la denotación de las dimensiones de bandas sonoras en el centro de la vía respeta esta misma simbología, con la variación de que el posicionamiento del tratamiento se realiza en la línea de centro de separación entre carriles.

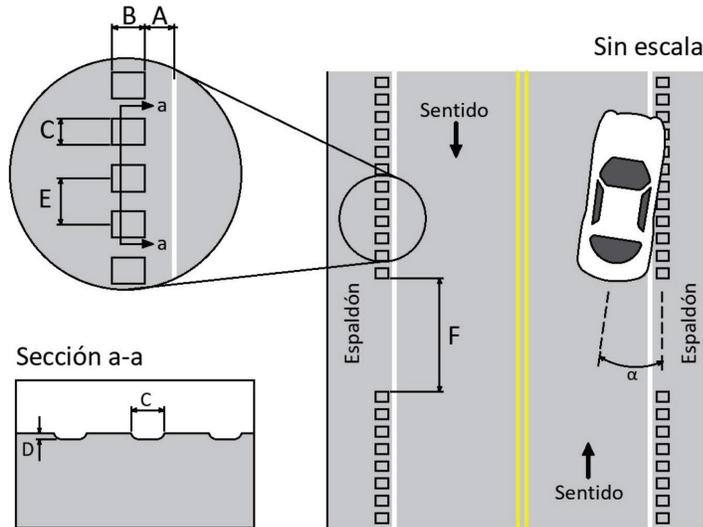


Figura 13. Parámetros de diseño asociados a bandas sonoras en espaldón.

Fuente: modificado de FHWA, 2019 [8]

- (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.
- (α): Ángulo con el que un vehículo sale de su carril

Las dimensiones de los parámetros de diseño de las bandas sonoras dependerán de las diferentes condiciones que se presenten en la vía en relación con la geometría (anchos de carril, anchos de espaldón) funcionalidad (tipo de tránsito, velocidad) y usuarios potenciales (motociclistas y ciclistas). Se muestran en la Tabla 2, algunas de las recomendaciones de dimensiones sugeridas en diferentes fuentes bibliográficas.

Tabla 2. Medidas sugeridas para el diseño de bandas sonoras

Parámetro de diseño	Medidas sugeridas para el diseño de bandas sonoras	
	BS fresado en espaldón	BS fresado en centro de línea
(A): Distancia entre el borde de la calzada y el borde interior de la BS	0 - 200 mm [7]	No aplica
(B): Dimensión del largo BS	300 mm [7] 500 mm (Vehículos pesados)	400 - 300 mm [13]
(C): Dimensión del ancho BS	178 mm [13]	150 mm - 200 mm [14]
(D): Profundidad de la ranura	13 mm [13]	13mm - 16 mm [13]
(E): Distancia entre centros de las BS	300 mm [13]	300 mm [7]
(F): Distancia entre los grupos de patrones BS	Cada 4 m con un patrón de 12 bandas sonoras [7]	-

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

Adicionalmente a las dimensiones mencionadas, deben contemplarse las siguientes consideraciones 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 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 [7].
-  Las bandas sonoras en espaldones deben concluirse 60 m antes del comienzo de una intersección o acceso y reanudarse 30 m después de la misma [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 [6]. El modelo de regresión de Donnell et al. [15] estima el aumento del nivel de ruido dentro del vehículo cuando este transita sobre las bandas sonoras (ΔSL), siendo la profundidad el parámetro con mayor influencia en el cálculo, como se muestra a continuación en la Ecuación (1).

$$\Delta SL = 8,56 + 0,03V - 0,27\alpha + 0,24B + 0,70C + 4,17D - 0,36E - 1,24fu + 2,70ft - 072fp - 2,15fch \quad (1)$$

Donde

V , velocidad máxima permitida (mph)	E , espaciamiento entre ranuras (pulgadas)
α , ángulo de salida del vehículo con respecto al eje de carril (grados)	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
B , largo de la banda sonora (pulgadas)	ft , tipo de intervención: 1 ranurado; 0 amasado o estampado
C , ancho de la banda sonora (pulgadas)	fp , tipo de pavimento: 1 concreto; 0 asfalto
D , profundidad de la ranura (pulgadas)	fch , condición de humedad: 1 húmedo; 0 seco

-  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. [16], 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 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.

Mantenimiento

El mantenimiento de este tratamiento a lo largo de su periodo de vida útil es reducido. 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 [7].

En relación con el mantenimiento de las bandas sonoras, se recomienda:

-  Después de la construcción o rehabilitación de las ranuras, se debe barrer la orilla del espaldón y desechar los residuos de una manera apropiada.
-  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.
-  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.

Costos generales

Debido a que en Costa Rica no se cuenta con un registro de costos de este tratamiento, se hace necesario consultar precios de la actividad a nivel internacional. En Estados Unidos el costo de la implementación de bandas sonoras se encuentra entre \$0,33 y \$3,94 por metro lineal (\$0,10 a \$1,20 por pie lineal) o el equivalente a un rango de entre \$311 a \$3 728 por kilómetro (\$500 a \$6 000 por milla) [8]. Por ejemplo, el Departamento de Transporte de Pensylvania, en el año 2015, estimó un costo promedio de \$1 267 por milla (\$787 por kilómetro) para una sola línea de bandas sonoras y \$3 800 por milla (\$2 361 por kilómetro) para bandas sonoras en centro del carril y en espaldones de una carretera de dos carriles, sin considerar costos de mantenimiento para un ciclo de vida de 7 años [17].

Experiencia internacional en la implementación de bandas sonoras

En Costa Rica no existe experiencia con la aplicación de este tipo de tratamiento en espaldones o línea de centro en beneficio de la seguridad vial del usuario. Sin embargo, a nivel internacional el uso de bandas sonoras ha sido implementado con éxito en diferentes países europeos y americanos.

Por ejemplo, Islandia, Finlandia, Alemania y Suecia han utilizado bandas sonoras en espaldones en algunas carreteras rurales y en algunos tramos seleccionados de autopistas, con resultados de eficiencia positivos en la reducción de accidentes por salida de la vía del vehículo. También países como Italia y Austria, han innovado con aplicación de bandas sonoras en túneles [18].

Por otro lado, en Estados Unidos, el uso de bandas sonoras tanto en el espaldón como en el centro la vía en algunas carreteras de distintos estados como Pennsylvania, Kentucky y Missouri se ha vuelto práctica común como una contramedida de bajo costo para la reducción de accidentes, generando resultados positivos con su implementación [8].

El sistema ha sido utilizado con frecuencia en vías importantes en Argentina, en donde se ha aplicado especialmente a lo ancho del carril para advertir a los conductores que están próximos a una intersección que requiere de un alto grado de alerta; y, más recientemente, ha sido implementada en Panamá, a lo largo de la vía Interamericana, la cual forma parte de la ruta Panamericana. Por ejemplo, en el proyecto Santiago - David, una ruta de circulación de 185 km inaugurada en enero de 2018, se construyeron estas bandas sonoras en los espaldones, como se muestra en la Figura 14.



Figura 14. Bandas sonoras construidas en el proyecto Santiago - David, Panamá.
Fuente: Ministerio de Obras Públicas de Panamá, 2018 [19]

Efectividad de la medida

En relación con la efectividad de la implementación de las bandas sonoras como medida desde el punto de vista de la seguridad vial, se han realizado múltiples estudios para determinar el porcentaje de reducción de accidentes y los factores de modificación de accidentes, según las diferentes aplicaciones del tratamiento. Se muestra, a continuación, una recopilación de porcentajes de reducción de accidentes producto de la implementación de bandas sonoras en el espaldón y en el centro de la vía respectivamente. En la Tabla 3 se muestran los porcentajes de reducción de accidentes por salida de vía del vehículo y la Tabla 4, los porcentajes de reducción de accidentes por colisión frontal.

Tabla 3. Reducción de accidentes por salida de vía por implementación de BS en el espaldón

País o ciudad de análisis	Reducción accidentes por salida de vía (BS en espaldón de la vía)			
	Total de accidentes	Carreteras		
		Rural (2 carriles)	Urbana (2 carriles)	Múltiples carriles
Estados Unidos [4] y [20]	-	14% - 15%	18%	22%
Canadá [6] y [21]	30%	21%	-	14%
Noruega [22]	25%	-	-	-
Francia [23]	12%	-	-	-

(-) No se reporta información en las fuentes consultadas.

Tabla 4. Reducción de accidentes frontales por implementación de BS en el centro de la vía

País o ciudad de análisis	Reducción accidentes por colisión frontal (BS en centro de la vía)			
	Total de accidentes	Carreteras		
		Rural (2 carriles)	Urbana (2 carriles)	Múltiples carriles
Estados Unidos [6]	-	9%	40%	-
Canadá [21]	-	14%	-	10%
Noruega [22]	24%	-	-	-

(-) No se reporta información en las fuentes consultadas.

Conclusiones

Se considera las bandas sonoras como una medida de seguridad versátil, ya que puede ser adaptada a las necesidades de cada proyecto vial o, incluso, de cada tramo del proyecto. Además, pueden ser implementadas en carreteras tanto rurales como urbanas, siempre y cuando se cumpla con los requerimientos de diseño geométrico y funcional expuestos anteriormente.

La implementación de las bandas sonoras, como parte del diseño de infraestructura vial, genera costos relativamente bajos, si se compara con las demás tareas que deben llevarse a cabo en un proyecto de obra nueva. Inclusive, los costos de mantenimiento son bajos aun cuando se implemente dentro de las labores de mejoramiento y conservación de carreteras existentes.

Finalmente, resulta ser una contramedida efectiva, con un impacto positivo en la reducción de accidentes de tránsito ocasionados por la salida de vehículos de la vía o por falsos adelantamientos, según lo demuestran estudios internacionales realizados en vías donde se han construido las bandas sonoras. Por lo tanto, se recomienda que Costa Rica adopte este tipo de contramedidas de seguridad vial en las rutas que cuenten con las condiciones necesarias para adaptarlas, en busca de brindar mejores condiciones de seguridad vial a los usuarios de la red vial.

Referencias bibliográficas

- [1] La Nación, «La Nación,» 06 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://www.nacion.com/sucesos/accidentes/conductor-muere-cuando-furgon-se-sale-de-la/4ACHWEAA3BGKBOGEPVF7PZE3QM/story/>. [Último acceso: 11 Setiembre 2019].
- [2] COSEVI, «Estadísticas de muertos en sitio provisionales en accidentes de tránsito 2018- Agosto 2019,» MOPT, San José, 2019.
- [3] Washington State Department of Transportation, «Rumble Strips,» [En línea]. Available: <http://www.wsdot.wa.gov/Design/Policy/RumbleStrips.htm>. [Último acceso: 6 Agosto 2019].
- [4] Federal Highway Administration (FHWA), «Rumble Strips info,» 2018. [En línea]. Available: <http://safety.fhwa.dot.gov/provencountermeasures>. [Último acceso: 6 Agosto 2019].
- [5] K. Butler, «Rumble strips keep drivers on the road,» 2011. [En línea]. Available: <http://asphaltmagazine.com/rumble-strips-keep-drivers-on-the-road/>. [Último acceso: 3 septiembre 2019].
- [6] National Corporate Highway Research Program, «Report Guidance for the Design and Application of Shoulder and Centerline Rumble Strips,» Transportation Research Board, Washington, 2009.
- [7] G. Bahar, J. Wales y L. Longtin-Nobel, «Best Practices for the Implementation of Shoulder and Centreline Rumble Strips,» Transportation Association of Canada, Ottawa, 2001.
- [8] Federal Highway Administration (FHWA), «Rumble Strips and Rumble stripes,» 2019. [En línea]. Available: http://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/pavement/rumble_strips/faqs.cfm. [Último acceso: 7 Agosto 2019].
- [9] Federal Highway Administration (FHWA), «Rumble strip implementation guide: addressing pavement issues on two-lane roads,» Abril 2015. [En línea]. Available: https://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/pavement/rumble_strips/media/RumbleStripGuide_Pavement/pavement_bpg.pdf. [Último acceso: 5 Agosto 2019].
- [10] Rumble Strip Roads, «Rumble Strip Pictures,» Rumble Strip Roads, [En línea]. Available: <https://www.rumblestrips.com/technical-specifications/centerline-rumble-strips/>. [Último acceso: 3 septiembre 2019].
- [11] Morena, D., «Rumbling Toward Safety,» 18 Septiembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/03sep/06.cfm>. [Último acceso: 5 Agosto 2019].
- [12] Sears, «Sears,» Sears, [En línea]. Available: <https://www.sears.com/>. [Último acceso: 9 septiembre 2019].
- [13] Federal Highway Administration, «State of the practice for shoulder and center line rumble strip implementation on non-freeway facilities,» Turner-Fairbank Highway Research Center, Virginia, 2017.
- [14] Russell, E., Rys M., Brin T., «US Experience with Centerline Rumble Strips on Two Lane Roads,» de *Proceedings of the 2003 Mid-Continent Transportation Research Symposium*, Ames, Iowa. 7, 2003.
- [15] E. Donnell, H. Sommer, P. Garvey, S. Himes y D. Torbic, «Statistical model of in-vehicle noise generated by highway rumble strips,» *International Journal of Vehicle Noise and Vibration*, vol. IV, nº 5, pp. 308-328, 2009.
- [16] T. Gates, P. Savolainen, T. Datta y B. Russo, «Exterior Roadside Noise Associated with Centerline Rumble Strips as a Function of Depth and Pavement Surface Type,» *Journal Of Transportation Engineering*, vol. 140, nº 3, 2014.
- [17] Federal Highway Administration (FHWA), «PUBLICATION NO. FHWA-HRT-15-048 Safety Evaluation of Centerline Plus Shoulder Rumble Strips,» US Department of Transportation (USDOT), Washington, 2015.
- [18] CEDR's TG Road Safety, «Shoulder and median rumble strips,» CEDR's Secretariat General, Marius Aufan, Francia, 2010.

- [19] Ministerio de Obras Públicas de Panamá, «MOP de Panamá,» twitter.com, 11 enero 2018. [En línea]. Available: <https://twitter.com/MOPPma/status/951520419781185536>. [Último acceso: 3 septiembre 2019].
- [20] Khan, M., Abdel, A., Williams, C, «Potential crash reduction benefits of shoulder rumble strips in two lane rural highways. Accident. Analysis and Prevention.,» de *Transportation Research Record and Presentation at the 93rd 32 Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C., 2013.
- [21] Sayed, T., de Leur, P., Collision Modification Factors for British Columbia, Engineering Branch BC Ministry of Transportation & Infrastructure, 2008.
- [22] Elvik, R., Høy, A., Vaa, T., & Sørensen, M., The Handbook of Road Safety Measures, Emerald Group Publishing Limited, 2009.
- [23] RISER, European Best Practice for Roadside Design: Guidelines for Roadside Infrastructure on New and Existing Roads, Chalmers University of Technology, 2005.



11501-2060 San José, Costa Rica



(506) 2511-2500



direccion.lanamme@ucr.ac.cr



www.lanamme.ucr.ac.cr

UCR