



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

PAVIMENTOS CON ALERTA ACÚSTICA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

PACS: 43.66.Lj

Poveda-Martínez, Pedro¹; Carbajo-San-Martín, Jesús²; Ramis-Soriano, Jaime¹; Ávila-Freire, Cristina³; Simón-Grau, José³; López-Ayera, Julio⁴

¹Instituto Universitario de Física Aplicada a las Ciencias y las Tecnologías. Universidad de Alicante – Campus de San Vicente del Raspeig

²Departamento de Ingeniería Civil. Escuela Politécnica Superior de Alicante – Edif. Politécnica II - Universidad de Alicante

³CHM Obras e Infraestructuras, S.A.

⁴Centro Tecnológico de la Construcción R. Murcia - CTCON

Email: pedro.poveda@ua.es;

Palabras Clave: detectabilidad, vehículos, eléctricos, pavimentos

ABSTRACT

Electric vehicles can be an effective solution to the problem of pollution in urban environments. However, the low level of noise emitted by this type of vehicle is a risk for pedestrians and cyclists. The acoustic vehicle alerting system (AVAS) helps to improve the vehicle's detectability and therefore guarantee the safety of passers-by. As an alternative, this work shows some configurations of pavements that could be effective to generate noise. In the first place, the process followed for the acquisition of sound samples is described, as well as the method used during the auditory tests. Finally, the results obtained for different pavements are exposed.

RESUMEN

Los vehículos eléctricos pueden ser una solución efectiva al problema de la contaminación en entornos urbanos. Sin embargo, el bajo nivel de ruido emitido por este tipo de vehículos supone un riesgo para peatones y ciclistas. Los sistemas acústicos de alerta (AVAS) ayudan a mejorar la detectabilidad del vehículo y por tanto garantizan la seguridad de los viandantes. Como alternativa, en este trabajo se muestra algunas configuraciones de pavimentos que podrían resultar eficaces a la hora de generar ruido. En primer lugar, se describe el proceso seguido para la adquisición de muestras sonoras, así como el método empleado en los ensayos auditivos. Finalmente, se exponen los resultados obtenidos para diferentes pavimentos.

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental en zonas urbanas se debe fundamentalmente al tráfico y a las emisiones de gases contaminantes por la combustión de carburantes. Una de las soluciones a este problema consiste en la incorporación del vehículo eléctrico al parque móvil. De acuerdo con la Natural Resources Defense Council [31], los EV pueden ayudar a disminuir las emisiones de gases contaminantes contribuyendo a frenar el cambio climático. Sin embargo, la

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

ausencia de motor de combustión interna hace que estos vehículos sean muy silenciosos a bajas velocidades [2, 3], lo que implica un incremento del riesgo para el peatón [4, 5].

Para evitar este problema, se ha establecido la necesidad de un sistema acústico de alerta (AVAS) en los EV. Su función consiste en proporcionar una señal acústica que indique al peatón la presencia de un vehículo. El uso de sistemas de advertencia (WS) se ha estudiado en numerosos trabajos [6, 7], en los cuales se pone de manifiesto la validez del AVAS como medida de seguridad para peatones y ciclistas.

Existen sin embargo medidas alternativas que podrían solventar el problema en situaciones específicas como la salida de garajes, las proximidades de pasos de peatones y semáforos, los cruces de calles, o incluso vías secundarias con carril bici. Una solución alternativa pasaría por modificar el pavimento utilizado en las zonas de riesgo para mejorar la detectabilidad del vehículo.

En este trabajo se muestra el efecto de diferentes pavimentos sobre la detectabilidad del vehículo. Para ello, en primer lugar se describen las características del firme diseñado. Seguidamente se detalla el proceso seguido para la adquisición de muestras sonoras de rodadura de vehículo. A continuación se describe la metodología empleada para realizar los ensayos auditivos y establecer la detectabilidad de los pavimentos seleccionados. Finalmente, se exponen los resultados obtenidos del análisis acústico realizado.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Pavimentos

Para la realización de los ensayos se emplearon dos configuraciones distintas de pavimento asfáltico, ejecutando un tramo de prueba en cada caso. Para el primer y segundo tramo de prueba se diseñó una mezcla bituminosa con macrotextura positiva HRA 35/16C con betún 35/50. Este tipo de pavimento se fabrica en la planta asfáltica de forma similar a las mezclas tipo AC, por lo que no implica ninguna modificación en el proceso productivo. Sin embargo, en relación a la puesta en obra, presenta diferencias sustanciales respecto a un asfalto común. El pavimento HRA requiere, después de extender la mezcla fabricada, la colocación sobre la superficie de áridos engravillados para conferirle la macrotextura y microtextura necesarias (ver figura 1).

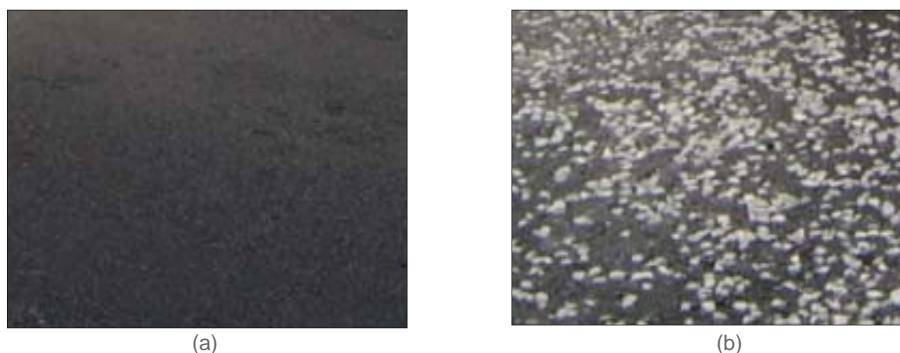


Figura 1. Efecto de la textura superficial: (a) mezcla sin árido; (b) mezcla con árido engravillado.

Para la inserción del árido se diseñó un prototipo de esparcidor, formado por una tolva dosificadora de 0,8 m³ aproximadamente. El dispositivo se instaló en la parte frontal una apisonadora con tambor metálico (figura 2).

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre



(a)



(b)

Figura 2. Detalles de esparcido de árido. Prototipo.

Para la correcta ejecución de los tramos de prueba fue necesario establecer la inclinación de la tolva y la velocidad de paso adecuada del esparcidor. El árido pórfido empleado en los tramos de prueba 1 y 2 correspondió a un tipo 12/20 mm con una dotación de 8 kg/m² y 10 kg/m² respectivamente (figura 3). Para aumentar la fijación del árido engravillado, se extendió en la capa superior una emulsión bituminosa termoadherente.

El tercer tramo de prueba correspondió a una mezcla bituminosas convencional tipo AC16 SURF S 35/50 de árido porfídico para capa de rodadura empleada comúnmente en viales de zonas urbanas. Este tipo de firme se empleó como elemento de control a la hora de evaluar la detectabilidad del vehículo.



(a)



(b)

Figura 3. Aspecto de macrotextura mezcla HRA 35/16C. (a) Tramo 1. (b) Tramo 2.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

Las diferencias más significativas entre las dos mezclas utilizadas, asfalto común y HRA, se encuentra en la cantidad de betún empleado (4.5% y 6% respectivamente). Para cada tramo de prueba se establecieron las prestaciones mecánicas según la normativa vigente (PG-3 artículo 542). Los resultados se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados mecánicos según PG-3.

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	NORMA	AC16 SURF 35/50 S	HRA 35/16C SURF 35/50	VALORES ÓPTIMOS- PG-3
Contenido de ligante sobre mezcla	%	UNE-EN 12697-39	4,53	5,98	> 4,5
Granulometría del árido, tamiz mm, % pasa					
22			100	100	
16			92	97	
11				74	
8			70		
4			45		
2			30	54	
0,5			15	30	
0,25			11	22	
0,063			5,1	7	
Relación filler/betún			1,10	1,1	
Densidad máxima	Kgs/m ³	UNE-EN 12697-5	2598	2525	
Densidad aparente	Kgs/m ³	UNE-EN 12697-6	2458	2402	
Huecos mezcla - Vm	%	UNE-EN 12697-8	5,30	4,80	3-6
Estabilidad	kN	NLT-159	18,9	14,7	> 10
Deformación	mm		2,6	3,0	2-3,5
Resist. T. Indirecta (ITS)- seco	Mpa	UNE-EN 12697-12	2,45	2,3	
Resist. T. ind. conservada (ITSR)	%		93,7	90,9	85
WTS aire	mm/10º ciclos	UNE-EN 12697-22	0,045	0,093	0,10 - 0,15
RD aire	mm		2,7	2,5	
PRD aire	%		4,5	4,17	

2.2. Configuración del proceso de medida

Con objeto de establecer la detectabilidad de un vehículo circulando por los diferentes tramos fabricados se llevó a cabo el registro de muestras sonoras. Para ello, se utilizó una variación del método CPX - *close proximity method* - descrito en la norma ISO/CD 11819-2. El dispositivo empleado estaba compuesto por una sonda de intensidad sonora colocada muy próxima a la rueda (figura 4 y 5). Los archivos de audio obtenidos fueron procesados para simular las condiciones de un ensayo tipo *pass-by*, propagando la señal hasta la posición del peatón.



Figura 4. Configuración del sistema OBSI utilizado.

La adquisición de muestras sonoras se llevó a cabo a diferentes velocidades. Con objeto de evitar la posible influencia del ruido producido por el motor, éste se apagó durante la duración de los registros. Cada tramo se midió a tres velocidades distintas: 10, 20 y 30 Km/h; realizando

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

al menos 3 iteraciones por cada una. A partir de los registros obtenidos por la sonda, se calculó el nivel de presión sonora, SPL; y el nivel de intensidad sonora, SIL.

2.2. Ensayos de detectabilidad

Las muestras sonoras adquiridas fueron empleadas para la realización de ensayos de detectabilidad. Para ello, los registros sonoros fueron procesados tratando de recrear una situación real en la que un peatón se encuentra erguido sobre la acera, a una distancia de 3 metros del eje de circulación de los vehículos, dispuesto a cruzar la calzada. A lo largo del ensayo se presentaron al oyente los diferentes sonidos simulando la circulación en ambos sentidos. Se recreó la aproximación al oyente de forma individual, a una velocidad aproximada de 20 km/h, desde una distancia de 60 metros. Para hacer más real la situación, los sonidos se presentaron junto con un ruido de fondo. El oyente debía indicar, mediante la pulsación de una tecla, el momento exacto en que percibía la aproximación del vehículo. De esta forma, se obtuvo el tiempo de reacción del oyente ante el sonido generado y por tanto, la detectabilidad de un vehículo en función del firme empleado.



Figura 5. Realización del ensayo para adquisición de muestras sonoras.

3. RESULTADOS

La figura 6 representa el nivel de presión sonora para cada una de las velocidades ensayadas para los tres tramos de prueba. De acuerdo con los resultados, los niveles resultaron superiores para los tramos de mezcla HRA, aumentando la diferencia conforme aumentaba la velocidad. En relación al nivel de intensidad sonora, los resultados indicaron un comportamiento similar al de la presión (figura 7a). Los valores resultaron superiores para los tramos de mezcla HRA en comparación con el pavimento AC16 SURF S. Del mismo modo, un aumento en la velocidad dio lugar a un incremento de la intensidad sonora (figura 7b).

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

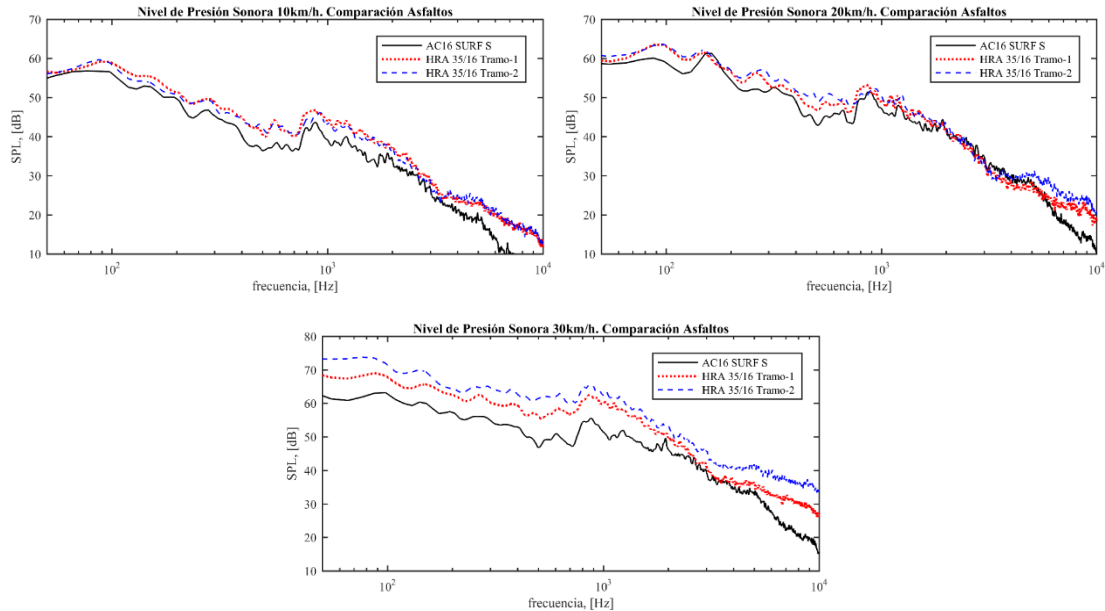


Figura 6. Niveles de presión sonora medidos a velocidades de 10, 20 y 30 km/h.

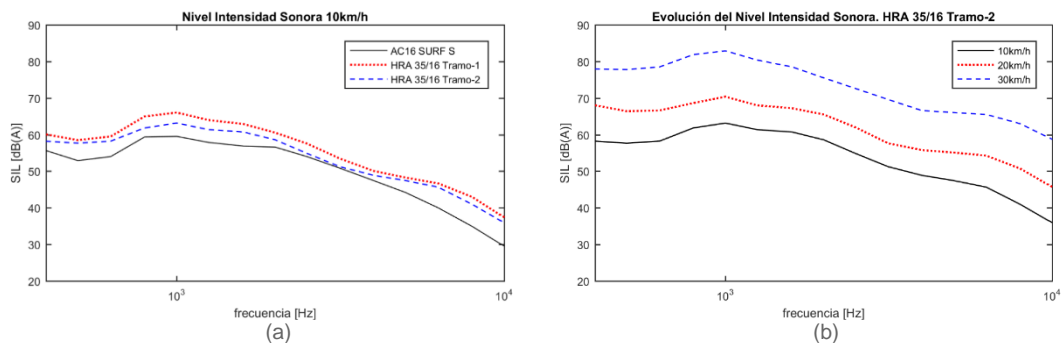


Figura 7. (a) Niveles de intensidad sonora para diferentes firmes a 10 km/h. (b) Evolución de la intensidad sonora con la velocidad para el tramo 2.

La figura 8 muestra los tiempos de reacción obtenidos a través de los ensayos de detectabilidad. Como puede observarse, la muestra correspondiente al tramo AC16 SURF S (asfalto tradicional) presentó un tiempo de reacción mayor que el resto de tramos. Un tiempo de reacción más elevado se traduce una detección más tardía del vehículo y por tanto, un riesgo mayor para el peatón. Los tramos HRA 35/16C presentaron una mejor detectabilidad, constituyendo una opción más segura para los viandantes, especialmente para la muestra con una mayor dosificación de árido.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

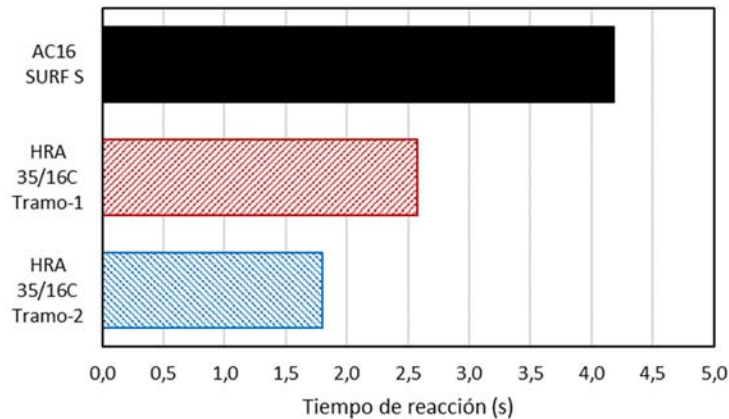


Figura 8. Tiempo de reacción de un oyente según la rodadura del vehículo en los diferentes tramos de prueba.

3. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados obtenidos se puede concluir que, para un oyente medio, el ruido generado por la interacción entre el neumático y el asfalto fue detectado de forma más temprana en los firmes tipo HRA35/16C. Este comportamiento, en comparación con un asfalto convencional tipo AC16 SURF S, implica un riesgo menor de atropello en presencia de un vehículo eléctrico.

Al mismo tiempo, el tipo de mezcla diseñada presenta numerosas ventajas medioambientales. El uso de mezclas HRA 35/16C SURF 35/50 en sustitución de mezclas AC16 SURF 35/50 S permitiría una disminución en el transporte de materias primas debido al uso de materiales por lo general cercanos a las obras. Esto contribuiría a una reducción de las emisiones de GEI y por tanto de la huella ambiental. Del mismo modo, se ayuda a rebajar el uso de recursos naturales escasos como son los áridos porfídicos y se aumenta la durabilidad de la capa rodante con respecto a las mezclas AC16 S, lo que supone un ahorro económico y de recursos naturales importante.

[1] Electric Power Research Institute, NRDC. Environmental Assessment of Full Electric Transportation Portfolio: Executive Summary. Sep 17, 2015.

[2] Old I., Kaliski K., Blomberg L. Sound emissions from a plug-in electric vehicle. In: Proc. Internoise, New York; 2012.

[3] Cai. C. Noise emission from electric cars. Master's thesis. Department of Electrical Engineering. Acoustic Technology (ACT). Technical University of Denmark. Kgs. Lyngby, Denmark. July, 2012.

[4] Garay-Vega L., Hastings A., Pollard J., Zuschlag M., Stearns M. Quieter cars and the safety of blind pedestrians: Phase I, report DOT HS 811 304, Tech.rep., National Highway Traffic Safety Administration, U.S. Department of Transportation, April; 2010.

[5] Altinsoy E. The detectability of conventional, hybrid and electric vehicles sounds by sighted, visually impaired and blind pedestrians. In: Proc. Internoise, Innsbruck; 2013.

[6] Yamauchi K., Menzel D., Takada M., Nagahata K., Ichro Iwamiya S., Fastl H. Psychoacoustic examination of feasible level of additional warning sound for quiet vehicles. Acoust. Sci. & Tech. 36, 2, 2015, p. 120-125. doi:10.1250/ast.36.120.

[7] Parizet E., Ellermeier W., Robart R. Auditory warnings for electric vehicles: Detectability in normal-vision and visually-impaired listeners. Applied Acoustics 86, 2014, p. 50-58. doi:10.1016/j.apacoust.2014.05.006.