

Percepción Sonora de Vehículos Eléctricos



Pedro Poveda-Martínez¹; Jaime Ramis-Soriano¹; Etienne Parizet²; Karl Janssens³

¹ University of Alicante, Spain.

² LVA, INSA-Lyon, Villeurbanne, France.

³ LMS International NV, Leuven, Belgium

pedro.poveda@ua.es

PACS: 43.50.Lj

Resumen

Los vehículos eléctricos e híbridos (EVs y HEVs) están llamados a ser el futuro del transporte en ciudades inteligentes y la clave para la reducción total del ruido y la contaminación en áreas urbanas. Sin embargo, para garantizar la seguridad vial deben solucionarse diversos problemas asociados a este tipo de vehículos. Hasta el momento, el uso de HEVs ha puesto de manifiesto el incremento del riesgo en entornos urbanos debido a la presencia de un sistema de transporte completamente silencioso. Las distintas administraciones están analizando el problema, siendo la medida más significativa hasta ahora el uso de Sistemas Acústicos de Alerta de Vehículos (AVAS). El objetivo de este artículo es analizar el comportamiento acústico de los vehículos híbridos y eléctricos a partir de las principales contribuciones científicas.

Abstract

Electric and hybrid Electric vehicles (EVs and HEVs) seem to be the future of transport in smart cities and the key for the total reduction of noise disturbance and pollution in urban areas. However, several problems have to be solved in order to guarantee the safety of these types of vehicles. So far, the use of HEVs has shown the danger of a «quiet» transport system in urban environments. The Competent Authorities are addressing the problem and the most significant proposal up to now is the use of Acoustic Vehicles Alerting Systems (AVAS). The aim of this chapter is to collect the main contributions regarding the acoustic behaviour of hybrid electric vehicles and electric vehicles.

1. Introducción

La utilización de sistemas de propulsión eléctricos presenta numerosas ventajas medioambientales que no solo suponen una disminución en la emisión de gases contaminantes, sino también una reducción significativa de la contaminación sonora en ambientes urbanos. Una de las principales diferencias entre vehículos de combustión interna y vehículos eléctricos es el bajo nivel de ruido generado por estos últimos a baja velocidad. Esta diferencia plantea serias dudas en cuanto a la seguridad vial de peatones y ciclistas, especialmente para aquellos grupos más vulnerables como niños, ancianos o invidentes, puesto que la ausencia de ruido supone una disminución drástica de la detectabilidad del vehículo, de modo que impide al viandante percibir su aproximación a una distancia segura. De este modo, debe garantizarse un comportamiento acústico aceptable no solo en el interior del

vehículo, sino también en el exterior del mismo, lo cual ha llevado a las diferentes agencias gubernamentales de todo el mundo a establecer la necesidad de emplear sistemas de advertencia. Estos dispositivos pretenden, por medio de una fuente de emisión de ruido instalada en el vehículo, disminuir el riesgo de atropello incrementando la detectabilidad del vehículo.

Con el fin de analizar la problemática existente en relación a los vehículos eléctricos se crea la Acción COST TU1105 «NVH analysis techniques for design and optimization of hybrid and electric vehicles», quedando enmarcadas las actividades relacionadas con la calidad sonora del vehículo en el seno del grupo de trabajo 4. El presente trabajo tiene como objetivo analizar el comportamiento acústico de vehículos eléctricos e híbridos a partir de las principales contribuciones científicas, prestando especial atención a la problemática existente por la ausencia de

ruido a bajas velocidades. En primer lugar, se establece un análisis comparativo entre el ruido generado por vehículos de combustión interna y vehículos eléctricos. En segundo lugar, se examinan diferentes contribuciones científicas dedicadas al estudio de la detectabilidad acústica de vehículos y su incidencia en la seguridad vial. En tercer lugar, se analizan varios estudios encargados de abordar la efectividad de los sonidos de advertencia indicados por la normativa actual. Por último, se describen algunos de los sistemas comerciales propuestos por la industria para mejorar la detectabilidad del vehículo.

2. Percepción del ruido generado por vehículos

El ruido generado por los vehículos tiene su origen en numerosas fuentes sonoras, pudiendo relacionar cada una de ellas con diferentes partes del automóvil. El efecto de cada fuente dependerá en mayor o menor medida de la posición en la que se sitúe el receptor, distinguiendo entre interior o exterior del vehículo. Algunas de estas fuentes están directamente ligadas al sistema de propulsión empleado y por tanto, se verán afectadas en mayor medida por la utilización de motores eléctricos.

Desde el punto de vista del ruido generado en el exterior del vehículo, podemos destacar dos fuentes principales: el sistema de propulsión y el contacto neumático-calzada. A baja velocidad, el ruido generado por el sistema de propulsión actúa como fuente principal, su-

perando de forma notable al originado por la rodadura del vehículo. Sin embargo, según se incrementa la velocidad, el ruido producido por el contacto neumático-calzada adquiere mayor relevancia, superando al generado por el sistema de propulsión.

De acuerdo con el estudio realizado por J. Lelong y R. Michelet [1], a baja velocidad los vehículos eléctricos/híbridos resultan muy silenciosos en comparación con los vehículos de gasolina o diésel (figura 1). Esta diferencia en el nivel de ruido generado puede superar los 6 dB(A) a 10 km/h, disminuyendo según se incrementa la velocidad. El ruido generado por ambos sistemas de propulsión se iguala a una velocidad aproximada de 50 km/h, momento en el que el ruido de rodadura comienza a ser dominante.

Según I. Sakamoto et al. [2], el espectro de frecuencias de un vehículo de combustión interna y un vehículo eléctrico difieren considerablemente a baja velocidad (10 km/h), especialmente para frecuencias altas (ver figura 2). Conforme la velocidad se incrementa, esta diferencia disminuye, llegando a ser prácticamente similares.

Atendiendo a la percepción sonora en el interior del vehículo, cabe destacar que el ruido generado por el motor eléctrico se caracteriza por la existencia de componentes tonales de alta frecuencia. Estas componentes tienen un origen electromagnético y están ligadas a la velocidad del motor. A pesar de que los sistemas de propulsión eléctricos resultan más silenciosos que los de combustión interna, la presencia de armónicos de alta

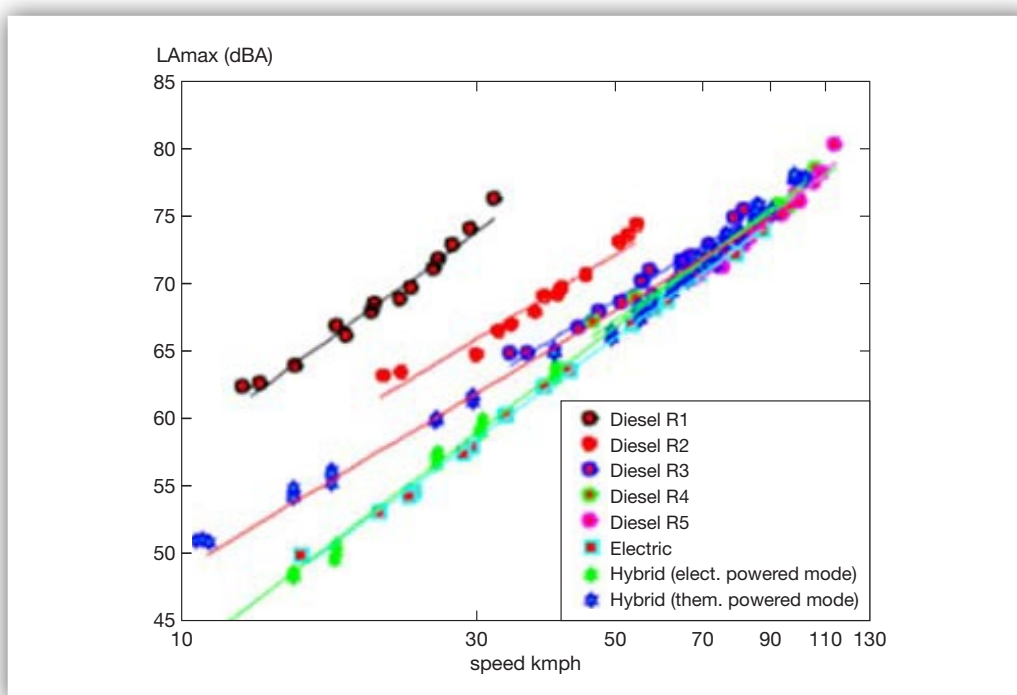


Figura 1. Nivel máximo de ruido para diferentes tipos de vehículos. Medidas realizadas en ensayos pass-by [1].

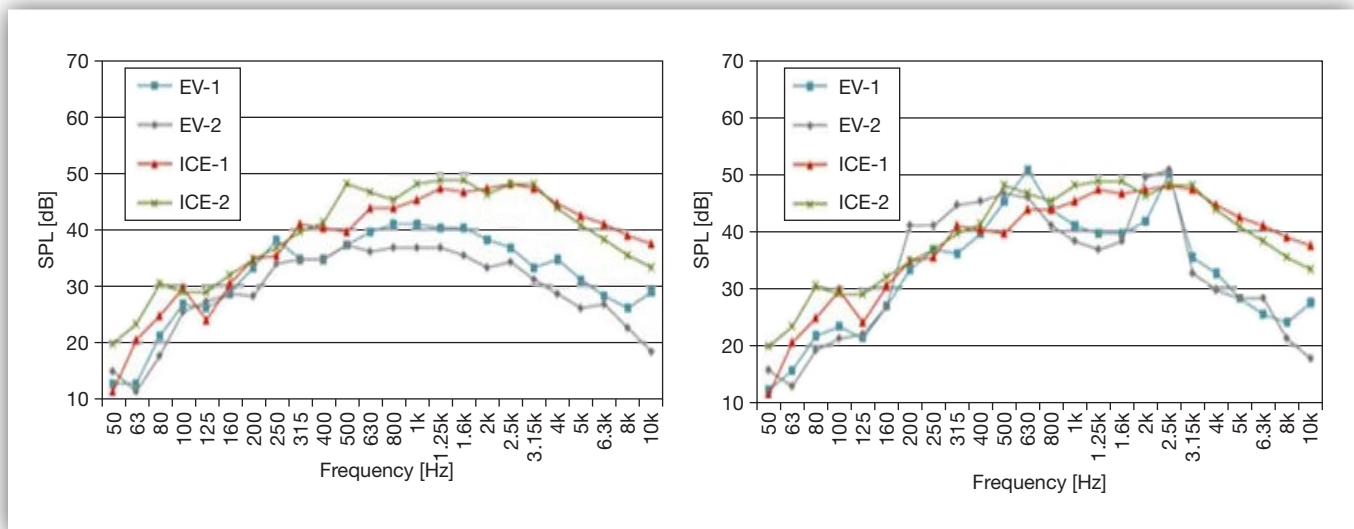


Figura 2. Espectro de frecuencias para vehículos de combustión interna y vehículos eléctricos a velocidad constante (arriba 10km/h; abajo 20 km/h) [2].

frecuencia puede dar lugar a mayor molestia desde el punto de vista del oyente [3, 4].

3. Detectabilidad de vehículos eléctricos

El bajo nivel de ruido generado por los vehículos eléctricos puede suponer un verdadero problema para la seguridad vial. En condiciones de circulación a baja velocidad, los vehículos eléctricos pueden verse enmascarados por el ruido ambiente y por el resto de vehículos en circulación, lo que dificulta su detección por parte del peatón. La reducción en el nivel de ruido tiene lugar exclusivamente en situaciones de aceleración y frenado, y en circulación normal a baja velocidad. Por tanto, es necesario evaluar el comportamiento de dichos vehículos en entornos urbanos, donde los escenarios de riesgo (marcha atrás, acceso a garajes, giros) son más habituales [5].

K. Glaeser et al. [6] estudió la detectabilidad de diferentes vehículos, eléctricos y de combustión interna, en un experimento in-situ en 2012. El ensayo, llevado a cabo sobre 12 personas con discapacidad visual, consistía en detectar la aproximación de un vehículo circulando en una carretera con asfalto muy fino, a una velocidad máxima de 30 km/h. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto el riesgo que supone la ausencia de ruido en el vehículo para el peatón. A velocidades muy bajas (10 km/h), los vehículos eléctricos fueron detectados a pocos metros del sujeto. Otro trabajo, llevado a cabo por L. Garay-Vega et al. [7], analizó la detectabilidad acústica en diferentes escenarios donde la seguridad podía ser crítica y estudió la influencia de los sistemas eléctricos en la reacción de personas con visión reducida. El estudio, llevado a cabo en laboratorio, con-

sistía en reproducir grabaciones binaurales de vehículos en modo pass-by a distintos oyentes. En los resultados se apreció un aumento del tiempo de reacción de los sujetos en presencia de un vehículo eléctrico. Resultados similares se obtuvieron en [8] por medio de dos experimentos: pruebas de umbral y pruebas de tiempo de reacción. En este caso, diferentes sonidos de vehículo fueron presentados al oyente junto con un ruido de fondo determinado. De nuevo, la aproximación de los vehículos eléctricos a baja velocidad dio como resultado tiempos de reacción superiores a los obtenidos para vehículos de combustión interna. Las mismas conclusiones se derivan en [9], donde se obtuvo por medio de 37 sujetos el tiempo de reacción frente a 14 vehículos de combustión interna, 4 vehículos híbridos y 6 eléctricos. Por el contrario, un estudio alemán publicado en 2010 [10], no encontró evidencias de un riesgo excesivo para el peatón en presencia de vehículos eléctricos o híbridos.

La implicación real de los vehículos eléctricos en accidentes de tráfico no es clara debido a lo reducido del parque móvil actual. En 2009, un estudio realizado por la NHTSA [11] establecía un ratio de incidentes con peatones de 1.2% para vehículos eléctricos e híbridos y de 0.6% para vehículos de combustión interna. Sin embargo, en el momento del estudio, sólo circulaban 8400 vehículos eléctricos por las carreteras de Estados Unidos, cantidad muy inferior a la de vehículos con sistema de propulsión tradicional. A pesar de todo, no hay duda de que un nivel de ruido bajo supone una dificultad añadida en la detección del vehículo, especialmente para personas invidentes o con problemas visuales. Con objeto de resolver este fenómeno, las distintas administraciones han propuesto el uso de sistemas acústicos de advertencia en vehículos eléctricos e híbridos.

4. Normativa

La problemática generada por los vehículos con sistema de propulsión eléctrico ha provocado que la Comisión Europea, el Congreso de Estados Unidos y el Gobierno Japonés trabajen en sendas regulaciones para normalizar el uso de este tipo de vehículos. Las primeras directrices tienen por objeto establecer el nivel de ruido mínimo emitido por los vehículos eléctricos cuando circulan a baja velocidad.

En Estados Unidos, la legislación se encuentra en una fase muy avanzada, involucrando diferentes actores con gran influencia como son el Departamento de Transporte y la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico (NHTSA). En 2010, el Senado de los Estados Unidos aprobó la Ley de Mejora de la Seguridad Peatonal [12], que animaba al Departamento de Transporte a investigar sobre el problema de la ausencia de ruido en vehículos eléctricos y a concebir un sistema de advertencia que garantizara la seguridad del peatón. En enero de 2013, la NHTSA, después de muchas investigaciones, estableció la necesidad de un ruido adicional en los vehículos para velocidades inferiores a 30 km/h [13]. Se acordó que los fabricantes de vehículos podrían diseñar sus propios sonidos de advertencia de acuerdo con ciertas directrices básicas: el sonido debía ser similar al emitido por un vehículo de combustión interna tradicional, debía instalarse obligatoriamente en todos los vehículos y no podría ser desactivado por el conductor de forma manual. La ley fue aprobada en 2014 y se otorgó a los fabricantes una moratoria de tres años a partir de su publicación para adaptar los vehículos a los requerimientos de la norma.

En 2010, el Ministerio de Territorio, Infraestructura, Transporte y Turismo (MLIT) de Japón publicó unas directrices en relación a un sistema audible de aproximación de vehículos. Este dispositivo venía a solventar el proble-

ma existente con los vehículos eléctricos e híbridos. Las directrices establecían algunos requerimientos básicos para el sistema acústico de advertencia: tipo de sonido emitido, nivel o tiempo de operación. Del mismo modo, facilitaba algunas indicaciones en relación a la instalación del sistema de advertencia en el vehículo.

La Unión Europea ha estado trabajando durante varios años en un sistema denominado AVAS, Acoustic Vehicle Alerting System, cuyo propósito es alertar a los peatones de la presencia de un vehículo a velocidades inferiores a 20 km/h. En abril de 2014, el Parlamento Europeo aprobó la legislación que establecía la necesidad de usar AVAS en todos los vehículos eléctrico e híbridos [14]. La entrada en vigor de esta normativa dictaba una moratoria de 5 años a partir de la fecha de aprobación. El documento establecía una serie de directrices en relación a los sistemas de alerta, como el método de generación del sonido, el tipo de sonido o nivel del mismo.

5. Sistemas acústicos de advertencia para vehículos eléctricos, AVAS

Los sistemas acústicos de advertencia para vehículos eléctricos, AVAS, consisten en sonidos emitidos por un altavoz localizado generalmente en la parte frontal del vehículo, tal y como se representa en la figura 3. Los sonidos empelados tienen por objeto alertar al peatón de la presencia de un vehículo aproximándose a baja velocidad. Una de las preguntas más importantes que surgen a la hora de diseñar un sistema de advertencia son las características que debe poseer el sonido, ya que debe incrementar la detectabilidad del vehículo manteniendo el nivel de ruido en un margen aceptable. A su vez, el sonido de alerta utilizado no debe resultar molesto para el peatón ni comprometer la imagen de marca del vehículo.

Las primeras recomendaciones normativas establecen ciertas directrices en relación a las características del

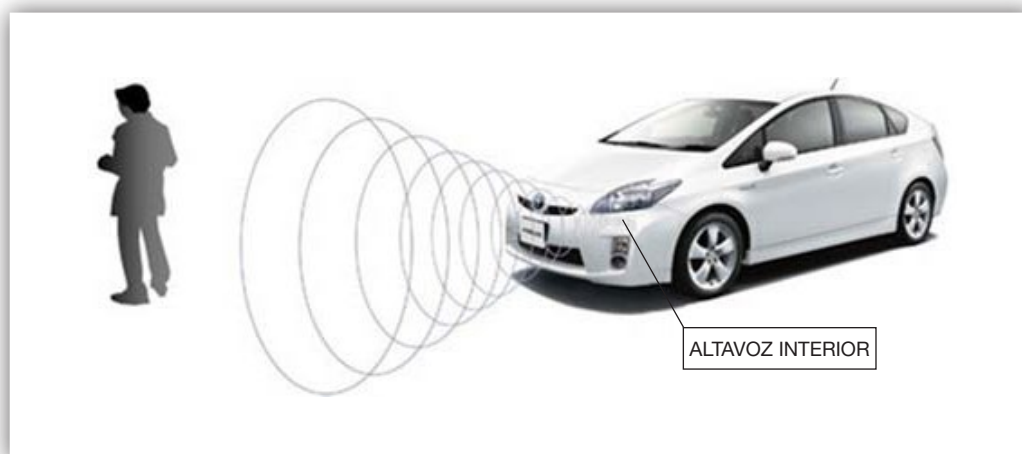


Figura 3. Representación del sistema de advertencia instalado en el modelo Prius de Toyota.

sonido a emplear y su régimen de operación. El sistema debe activarse para el rango de velocidades que va desde el inicio de la marcha y hasta aproximadamente 20 km/h, además de cuando el vehículo circule en sentido contrario de la marcha. El sonido debe ser continuo, similar al ruido generado por un vehículo de la misma categoría equipado con un motor de combustión interna. El nivel de sonido generado por el AVAS queda limitado al nivel de ruido emitido por un vehículo de clase M1 de combustión interna y operando en las mismas condiciones. De acuerdo con las recomendaciones del grupo informal de trabajo Quiet Road Transport Vehicles (QRTV) de Naciones Unidas [14], los sonidos de advertencia deben cumplir ciertos requisitos desde el punto de vista de la seguridad vial y el medioambiente. El sonido debe estar diseñado de acuerdo con varios pilares básicos: debe ser fácilmente audible y localizable; su directividad debe ser tal que pueda percibirse de forma adecuada por los peatones; debe ser socialmente aceptable, sin incrementar la contaminación acústica de las ciudades y alterar el paisaje sonoro.

5.1. Efectividad de los sistemas acústicos de advertencia

Mientras existe una gran cantidad de artículos enfocados al estudio de sonidos de advertencia en espacios de trabajo, solo unos pocos se centran en el análisis de los sonidos de alerta para vehículos eléctricos. K. Yamachi et al. en [15] analizaron tres sonidos de advertencia: ruido de motor, bocina de coche y ruido paso-banda. El estudio tuvo lugar en el laboratorio e implicaba a oyentes alemanes y japoneses. La audibilidad de cada sonido se analizó bajo condiciones de ruido de fondo diferentes. Los resultados mostraron diferencias de hasta 10 dB en el nivel de detección del ruido paso-banda (más fácil de detectar) y de la bocina de coche. No se apreciaron diferencias inter-culturales en la detectabilidad. W. Emerson et al. [16] realizaron un experimento in-situ en el que cinco sonidos artificiales fueron emitidos por medio de un altavoz montado en un vehículo eléctrico. 15 personas ciegas participaron en el ensayo. Los oyentes, situándose a un lado de la calzada, debían indicar el momento en el que detectaban el vehículo aproximándose. Se emplearon diferentes trayectorias - línea recta, giro a la derecha - y una velocidad de circulación inferior a 20 km/h. Se observaron diferencias significativas en la detectabilidad de los cinco sonidos de advertencia utilizados, llegando a la conclusión los autores de que la efectividad del sonido de advertencia dependía de la energía en torno a 500 Hz y de la modulación en amplitud. N. Misdariis et al. [17] realizaron un estudio similar con 10 sonidos, clasificándolos en función de dos características: modulación temporal y espectro plano (distinguiendo entre ruido aleatorio y

ruido tonal). La amplitud de las señales fue modificada para simular un vehículo acercándose a 20 km/h. Seis participantes debían detectar los sonidos bajo condiciones de ruido de fondo determinadas. De nuevo, se obtuvo una gran diferencia en la detectabilidad de los sonidos, con tiempos de reacción inferiores para el sonido de sirena y más largos para un ruido tipo zumbido eléctrico con modulación. Entre 2010 y 2014, un proyecto financiado por la Comisión Europea, eVADER, desarrolló un prototipo de sistema acústico de advertencia para vehículos eléctricos. El dispositivo incluía un sistema de detección automática de peatones y un array de altavoces capaz de focalizar el sonido en la dirección del peatón [18]. Este proyecto se centró a su vez en la definición de sonidos de advertencia y los resultados, plasmados por E. Parizet en [19], demuestran que es posible incrementar la detectabilidad del vehículo eléctrico mediante sistemas de advertencia sin incrementar el ruido ambiental.

5.2. Sistemas de advertencia actuales

Debido a la falta de legislación sobre sistemas de advertencia que ha existido durante años, muchos fabricantes comenzaron a implementar sus propios equipos. Marcas como Toyota, General Motors o Nissan comenzaron a instalar estos dispositivos en sus nuevos vehículos eléctricos e híbridos a principios de la década.

En 2010, Toyota comenzó a vender un dispositivo acústico de advertencia para el modelo Prius. Este sistema estaba preparado para emitir un sonido de advertencia cuando el vehículo circulara en modo eléctrico a velocidades inferiores a 25 km/h. Conforme el vehículo modificaba su velocidad, el sistema cambiaba el tono del sonido. Toyota introdujo el sistema en el mercado estadounidense en 2012 por medio del vehículo familiar Prius. El dispositivo de advertencia se denominó Sistema de Notificación de Proximidad de Vehículos (VPNS). Hyundai desarrolló su propio equipo, Virtual Engine Sound System (VESS), presentándolo en septiembre de 2010. El sistema emulaba el sonido de un vehículo de combustión interna en ralentí y comenzó a instalarse en la serie Sonata híbrida. General Motors desarrolló un sistema denominado Pedestrian-Friendly Alert System que apareció por primera vez en el vehículo híbrido Chevrolet Volt, en diciembre de 2010 y permitía ser activado/desactivado de forma manual por el conductor. Por su parte, Nissan introdujo el Vehicle Sound for Pedestrians (VSP) en el Nissan Lead y en el Nissan Fuga en 2011. Este sistema, más avanzado que el de la competencia, incluía diferentes sonidos en función del sentido de la marcha del vehículo o la aceleración del mismo.

Existen numerosas propuestas de otros fabricantes y laboratorios de investigación, destacando los sistemas

fabricados por Lotus Engineering de Inglaterra, Enhance Vehicle Acoustics Company de Silicon Valley, Soundracer de Suecia o Fisker Automotive (ahora The New Fisker) de California. Todos ellos implementan dispositivos hardware y software basándose en las directrices establecidas por los primeros borradores legislativos.

6. Desafíos y futuros trabajos

Los vehículos eléctricos suponen un gran reto para la industria automovilística, especialmente para los ingenieros acústicos, acostumbrados a tratar con motores ruidosos. La aparición de vehículos más silenciosos representa un cambio drástico de escenario, lo que requiere un mayor esfuerzo en investigación para conocer de forma precisa las fuentes de ruido que se nos presentan.

Pese a que en la actualidad se han llevado a cabo numerosos estudios relacionados con el comportamiento acústico de los vehículos eléctricos, todavía son muchas las cuestiones que quedan por resolver, especialmente desde el punto de vista de la calidad sonora. Un ejemplo de ello es la relación entre la tonalidad de un sonido y la percepción de calidad que tiene el usuario. Los motores eléctricos, tal y como se indicó en la sección 2, generan componentes tonales de alta frecuencia que son percibidos de forma molesta por el oyente [3, 4]. En la actualidad, existen diferentes métricas para evaluar este tipo de comportamiento - Tone to Noise Ratio, Prominence Ratio o Tonalidad de Aures - sin embargo, ninguna de ellas explica de manera exacta las implicaciones de un espectro puramente tonal en la percepción subjetiva de calidad por parte del usuario.

Por otro lado, es importante resaltar que el ruido generado por el motor proporciona gran cantidad de información al usuario. En vehículos de combustión interna el conductor puede conocer en tiempo real el estado del motor, la potencia del vehículo o la velocidad de circulación tan solo por el ruido que este genera. Este tipo de información no se encuentra disponible en sistemas de propulsión eléctricos. Se desconocen las implicaciones que tendrá para el conductor la ausencia de pistas sonoras provenientes del motor, debiendo investigar si realmente son necesarias o no.

Respecto a la seguridad vial y de acuerdo con los resultados obtenidos en numerosas investigaciones, existe una necesidad real de introducir determinado ruido en el vehículo para garantizar la integridad de los peatones y otros usuarios de la vía. Hasta la fecha, tanto la administración como la comunidad científica han centrado sus esfuerzos en vehículos ligeros de cuatro ruedas, dejando de lado otros sistemas de transporte habituales en zonas urbanas. El uso de vehículos eléctricos de dos

ruedas, como motocicletas y ciclomotores, puede tener un efecto importante en la seguridad vial y por tanto, debe estudiarse en profundidad.

En relación con los sonidos de alerta empleados, es importante destacar que no deben superar el nivel de ruido actual de los vehículos de combustión interna y a su vez, no deben resultar molestos para el oyente. La aparición del vehículo eléctrico es una oportunidad inmejorable para reducir la contaminación acústica en entornos urbanos. En la actualidad, el número de automóviles eléctricos circulando por ciudades es todavía reducido, sin embargo, este escenario puede verse modificado con el tiempo, lo que provocará un cambio sustancial en el paisaje sonoro. El nivel de emisión de los sistemas de advertencia deberá corregirse, previsiblemente a la baja, conforme se incrementa el parque móvil.

Enfocando el problema desde otro punto de vista, es la primera vez que los fabricantes de coches van a poder diseñar completamente el sonido exterior que identifique a sus vehículos. Estamos por tanto ante una nueva herramienta que definirá la imagen de marca, los sonidos de advertencia. Cabe esperar que la imagen sonora de los vehículos eléctricos se defina de forma progresiva teniendo en cuenta la percepción exterior y la calidad sonora en interior del habitáculo.

7. Agradecimientos

Los autores quieren agradecer su participación a todos los investigadores, universidades y empresas, que de algún modo han colaborado en la Acción COST TU1105 y en la consecución de los objetivos planteados durante sus cuatro años de duración.

8. Referencias

- [1] Lelong, J.; Michelet, R., «Passenger cars. Power unit and tyre-road noise, driving behaviour: what are the stakes?». In *Inter.noise*, The Hague, 2001.
- [2] Sakamoto, I.; Houzu, H.; Tanaka, T.; Sekine, M.; Morita, K.; Nagai, Y.; Suehiro, K., «Report on basic research for standardization of measures for quiet vehicles in Japan (Intermit report)». In *Internoise*, New York, 2012.
- [3] Toepken, S.; Verhey, J.; Weber, R., «Perceptual space, pleasantness and periodicity of multi-tone sounds.» *J. Acoust. Soc. Am.* 138 (2015), 288-298.
- [4] Parizet, E.; Bolmont, A.; Fingerhuth, S., «Subjective evaluation of tonalness and relation between tonalness and unpleasantness.» *Proc. Internoise 2009*. Ottawa.

- [5] NHTSA, «Incidence of Pedestrian and Bicyclist Crashes by Hybrid Electric Passenger Vehicles.» Technical Report. September 2009.
- [6] Glaeser, K.; Marx, T.; Schmidt, E., «Sound detection of electric vehicles by blind or visually impaired persons.» In Proc. Internoise (2012).
- [7] Garay-Vega, L.; Pollard, J.; Guthy, C.; Hastings, A., «Auditory detectability of hybrid electric vehicles by blind pedestrians.» Accident Reconstruction Journal (2013), 55-59.
- [8] Grosse, J.; Weber, R.; Van de Par, S., «Comparison of detection threshold measurements and modelling for approaching electric cars and conventional cars presented in traffic and pink noise.» In: Proc. ICA 2013, Montreal, Acoustical Society of America (ASA); 2013. doi:10.1121/1.4800370.
- [9] Altinsoy E. «The detectability of conventional, hybrid and electric vehicles sounds by sighted, visually impaired and blind pedestrians.» In: Proc. Internoise, Innsbruck; 2013.
- [10] Verheijen E., Jabben J., «Effect of electric cars on traffic noise and safety.» RIVM letter report 680300009/2010 (2010).
- [11] Hanna, R., «Incidence of Pedestrian and Bicyclist Crashes by Hybrid Electric Passenger Vehicles.» NHTSA report DOT HS 811 204 (2009).
- [12] S. 841 Pedestrian Safety Enhancement Act of 2010. Legislative Digest. 2010-12-15. <http://www.gov.gov/bill/111/2/s841>.
- [13] NHTSA, «Minimum sound requirements for hybrid and electric vehicles - draft environmental assessment.» January, 2013.
- [14] UNECE Regulation 28. Uniform provisions concerning the approval of audible warning devices and of motor vehicles with regard to their audible signals. UNECE E/ECE/324-E/ECE/Trans/505, Rev.1/add27. 1972 and Amendments 1984 and 2001
- [15] 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.
- [16] Wall Emerson, R., Kim, D., Naghshineh, K., Pliskow, J., and Myers, K. (2013). «Detection of Quiet Vehicles by Blind Pedestrians.» J. Transp. Eng., 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000478, 50-56.
- [17] Misdariis N., Gruson A., Susini P., «Detectability study of warning signals in urban background noise: A first step for designing the sound of electric vehicles.» In Proc. International Congress on Acoustics (2013).
- [18] eVADER project. Seventh Framework programme. Theme 7. Transport – SST.2011.RTD-1 GA No. 285095. «Electric Vehicle Alert for Detection and Emergency Response». Workgroup 2.
- [19] Etienne Parizet, Wolfgang Ellermeier, Ryan Robart, «Auditory warnings for electric vehicles: Detectability in normal-vision and visually-impaired listeners.» Applied Acoustics, Volume 86, December 2014, 50-58.



Bienvenidos a la acústica

Acústica ambiental y arquitectónica

- Sonómetros y vibrómetros
- Analizadores multicanal
- Redes de monitorización acústica
- Software de simulación acústica

Seguridad e higiene laboral

- Dosímetros
- Medidores de vibración
- Calibradores

Transductores y calibradores

- Excitadores de vibración
- Micrófonos e hidrófonos
- Acelerómetros
- Fuentes sonoras
- Máquinas y martillos de impacto

Análisis avanzado

- Analizadores multicanal
- Localización de fuentes sonoras
- Calidad acústica
- Análisis estructural
- Maquinaria rotativa

Ensayos acústicos

- Cámaras anecoicas y semianecoicas
- Cámaras reverberantes
- Tubos de impedancias
- Cámaras portátiles

Audio y Broadcast

- Sistemas de telefonometría
- Analizadores de calidad de audio