

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA CRÍTICA SOBRE LA EMISIÓN DE RUIDO DE VEHICULOS ELÉCTRICOS (EVs) E HÍBRIDOS (HVs).

PACS: 43.28.Js

Torres, Jeniffer¹, Godinho Luis²;

¹ Depp. Física, Universidade de Alicante, Ap. de Correos 99, 03080 Alicante, España
Tel. +34 96 590 3400
jtr17@alu.ua.es

² CICC, Dep. Eng. Civil Univ. de Coimbra, Portugal
Rua Luís Reis Santos, Pólo II da FCTUC, 3030-788 Coimbra, Portugal
Tel. +351-239797198
lgodinho@dec.uc.pt

Abstract

This paper presents a critical literature revision regarding the outdoor noise generation and propagation by electrical and hybrid vehicles, performed within the scope of the COST action TU1105. Existing works show it would be useful to incorporate the special characteristics of the electric and hybrid vehicles (frequency, directivity, etc.) in existing outdoor noise propagation models. When compared to conventional vehicles, EVs and HVs differ mostly at low speeds (below 50 km/h), in acceleration, deceleration and braking. Another critical aspect is the special relation of such vehicles with the pedestrian; research regarding Acoustic Vehicle Alerting Systems is crucial.

Resumen

Este documento presenta una revisión bibliográfica crítica realizada para la acción COST TU 1105 sobre la generación y propagación de ruido al aire libre de los vehículos eléctricos e híbridos. La literatura existente indica que sería de utilidad incorporar las características especiales como frecuencia y directividad de los vehículos eléctricos e híbridos en los modelos de cálculo existentes. En comparación con los vehículos convencionales, estas propiedades difieren sobre todo a bajas velocidades (debajo de 50 Km/h) y en procesos como acelerar, desacelerar y el frenar; estos procesos van ligados al uso de un sistema de alerta (AVAS) para evitar conflictos con los peatones, por lo que incluir estos parámetros en los modelos de cálculo sería una gran herramienta para la evaluación de esta tecnología.

1. INTRODUCCION

Como es sabido, los vehículos eléctricos (EV's) e híbridos (HV's) son más silenciosos que los vehículos con motores de combustión interna (ICEV'S *Internal Combustion Engines*). De hecho, las asociaciones relacionadas con la comunidad de ciegos han anunciado que esto es una desventaja ya que los peatones tienen dificultades en reconocer algunas maniobras que

realizan los vehículos, por lo que un amplio estudio sobre la interacción de estos vehículos con el medio ambiente es necesario.

Este documento presenta los resultados de la revisión bibliográfica realizada acerca de la generación de ruido exterior de los vehículos eléctricos e híbridos, con especial atención a su modelación numérica. En esta revisión, se consultaron 33 documentos técnicos de investigación desarrollados entre el año 2000 y el 2014. La revisión se orientó a responder los siguientes tres interrogantes:

- a. ¿Cómo se caracterizan acústicamente los vehículos eléctricos e híbridos y cuáles son las principales diferencias de estos con el ruido producido por el motor de combustión interna (ICEV'S)?
- b. ¿De qué manera se caracteriza en los modelos de cálculo de propagación de tráfico vehicular existentes; la fuente (vehículos), cambios de velocidad y la radiación en campo cercano?, ¿Existen nuevos modelos de cálculo para fuentes móviles?
- c. ¿Cuáles son los principales desafíos (límite en frecuencia y directividad) del nuevo sistema de sonido artificial AVAS (*Acoustic Vehicle Alerting Systems*) en los EV's e HV's?

Los principales Journals consultados se referencian en la tabla 1:

Tabla 1: Los principales Jornales consultados y el número de papers por cada uno

Journal	Número de papers
Accident Analysis and Prevention	1
Acoustical Science and Technology	1
Environmental Impact Assessment Review	1
Acta Acustica united with Acustica	4
Journal Sound and Vibration	3
Governmental- technical reports	11
Applied Acoustics	5
Proceedings in congress	7

En primer lugar en esta revisión, se referencian los resultados experimentales que comparan a los ICEV'S Vs. los EV e HV. En el segundo apartado se presenta un cuadro comparativo de los modelos más importantes de propagación de sonido al aire libre. El propósito de la comparación de los modelos es comprender cómo estos abordan el fenómeno de propagación a bajas velocidades, la caracterización de fuentes y la propagación de campo cercano, al final de esta sección se comentan algunos modelos alternativos de propagación al aire libre que quizás pueden ser utilizar para estudiar el problema planteado. En la tercera parte se aborda los principales desafíos del AVAS, con el fin de identificar cómo serán los tipos de sonido y los patrones de directividad de estos. Finalmente se plantean algunas conclusiones y recomendaciones.

2. CARACTERIZACIÓN DE VEHÍCULOS ELECTRICOS E HIBRIDOS

En la revisión de la literatura científica relativa a la emisión de ruido al aire libre de los EV's e HV's, se encontró que países como EE.UU. [1, 2], Noruega [3] y Holanda [4] han realizado bastantes medidas bajo el test propuesto en la norma *ISO 362 pass-by noise test*. Esto se hace con el propósito de identificar las características de los EV's e HV's a baja velocidad con y sin AVAS y todos estos experimentos son comparados con los vehículos ICE's. Existen otros

estudios distintos a estos y son resumidos en [5]. La Figura 1 ilustra una de estas comparaciones

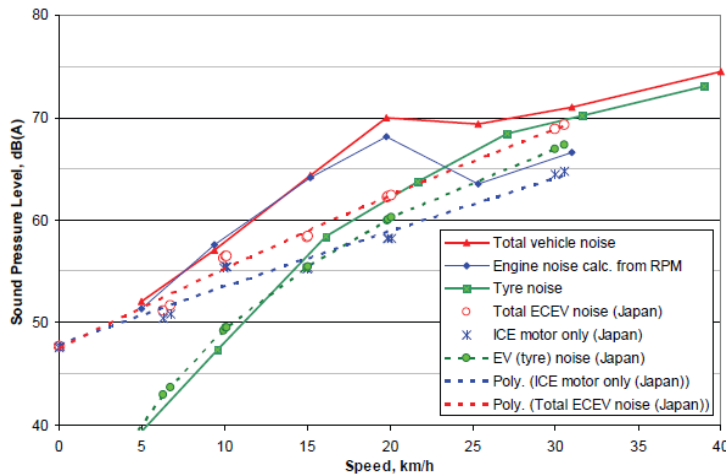


Figura 1. Comparación del reporte danés (Línea continua) y el japonés (Línea punteada). Referenciado in [3] figure 24.

La anterior figura confirma que la gran diferencia entre los EV's –HV's y los ICEV's es a bajas velocidades, ya que el ruido que predomina en la interacción del sonido del motor con el ambiente.

Como es bien sabido, el ruido de los vehículos convencionales proviene principalmente de dos fuentes; la propulsión (motor) y el contacto entre los neumáticos y la carretera. El ruido de neumático-carretera aumenta más con el aumento de velocidad que el ruido de la propulsión, y por lo tanto el ruido de neumático-carretera domina al ruido de la propulsión a altas velocidades.

Resumiendo este apartado, se puede afirmar que estos estudios son de gran relevancia para obtener los datos relativos a las emisiones sonoras de los EV's y los HV's, estos estudios técnicos-experimentales son una buena base para la alimentación y comparación con los modelos numéricos hasta ahora desarrollados y para la generación de nuevos modelos que recreen de manera satisfactoria la interacción de los EV's y los HV's con el entorno y la simulación de supuestos donde se incluyan en gran proporción esta tecnología en las ciudades.

3. MODELOS DE RUIDO DE TRÁFICO Y CARACTERIZACIÓN DE LA FUENTE SONORA

3.1. Modelos de propagación al aire libre tradicionales

La siguiente tabla resume los 9 modelos más importantes de propagación al aire libre incluidos en los softwares comerciales de simulación de mapas de ruido. En la revisión de la literatura se buscó información sobre cómo estos modelos abordan la inclusión de los EV's e HV's, la propagación a baja velocidad, aceleración, desaceleración, frenado y el modelado de fuentes. [11], [12], [13], [14].

Tabla 1 Resumen de los métodos de propagación de ruido para tráfico vehicular

Modelo	FHWA [15]	CoRTN [16,17]	RLS90 [12]	SON ROAD [18]	NORD 2000 [19]	HARMONOISE [20, 21, 22, 23]	ASJ RTN 2008 [24]	NMPB-ROUTES 2008 [25, 26]	CNOSSOS [27]
Usuario	USA	UK	Germany	Switzerland	Scandinavian	Europe	Japan	France	Europe
Año	1998	2001/2008	2001/2010	2004	2001/2010	2007/2010	2010	2012	2012
Categoría Vehículos	(1) Autos, (2) Camión mediado, (3) Camión pesado, (4) buses (5) motocicletas	(1) Ligeros (2) Pesados	(1) ligeros (masa total hasta 3.500 Kg) (2) Pesados (dependiendo cilindrada del motor y el sistema de propulsión (otto / diesel).	(1) Vehículos de pasajeros (2) Camiones	(1) vehículos ligeros ((2) s pesados de doble eje , (3) pesados de varios ejes, (4) Motocicletas (5) ciclomotores.	(1) ligero (2) Medio pesado (3) Pesados Otras dos categorías se definen: (4) otros pesados y (5) vehículos de dos ruedas	(1) Ligeros (2) Pesados (3) Motocicletas	(1) Ligeros con un peso inferior a 3,5 toneladas. (2) pesados con peso mayor o igual a 3,5 toneladas.	(1) Ligeros (2) Mediano (3) Pesados (4) Dos ruedas (4.a) Ciclomotores (4.b) motos más potentes. (5) otros
Característica de la fuente	Muestra única Dos: uno en el pavimento y el otro a 1,5 m por encima del pavimento, excepto para los camiones pesados, donde el alto superior es 3,66 m por encima del pavimento	Muestra única Los niveles de ruido se obtienen a una distancia referencia de 10 m desde el borde de calzada de la carretera más cercana	Muestra única El punto de partida es el cálculo es L_{me} (nivel de emisión de ruido) medido a una distancia de 25 m del centro del carril de la carretera. El modelo también es capaz de evaluar la emisión de ruido de la zona de aparcamiento.	Vehículo individual con la posición del micrófono a una distancia de 7,5 m y una altura de 1,2 m	Líneas de carreteras están representados por un número de fuentes puntuales espaciadas verticalmente y horizontalmente. Los autos son representados por las fuentes de ruido a la altura de 0,01 m, 0,30 m y 0,75 m. Los vehículos pesados tienen una altura de fuente extra de 3,5 m.	Distribuye el 80% del ruido de neumático / carretera en una fuente de 0,01 m por encima del suelo y el 20% ya sea en 0,30 m o 0,75 m dependiendo del tipo de vehículo.		Cada línea de la fuente se divide en un conjunto de fuentes puntuales de sonido, colocado 0,05 m por encima de la calzada. GdBN08 describe el paso de los niveles máximos en dB (A) medido a 7,5 m de distancia horizontal y 1,2 m de altura por encima de la superficie del suelo.	Cada vehículo (Cat. 1, 2 y 3) está representada por dos fuentes puntuales. Dos ruedas (Cat. 4) están representados por una sola fuente puntual, ya que la contribución de ruido de rodadura para estos vehículos se supone despreciable.
Velocidad	Incluye toda velocidad los niveles de emisión de ruido y vehículos en aceleración de distancia: ejm. * Signos de parada; * Cabinas de	La velocidad del tráfico es la composición del tráfico y el gradiente de la carretera a la superficie de la carretera. Considera velocidades	Velocidad constante, casi-intersecciones, interrupciones	Las velocidades de los vehículos reales que se insertarán con la fuente En general, las velocidades de los vehículos son diferentes	Cada auto es representado por al menos tres fuentes, a diferentes alturas. Un vehículo pase por es simulada por una distribución de fuentes puntuales	Velocidad constante, modo de aceleración / deceleración, correcciones de deslizamiento y la aceleración definida / deceleración	En las intersecciones con semáforos, los modos de tránsito de funcionamiento constante, aceleración, desaceleración generan por el control de las	Velocidad constante, aceleración, y desaceleración.	La emisión de ruido de un flujo de tráfico está representada por una línea de fuente que se caracteriza por su directividad, potencia acústica por metro y por frecuencia. Eso corresponde a la

	peaje: Ajusta el modelo ajuste para el flujo de tráfico según una simple función del volumen del número de vehículos por hora y la velocidad.	entre 108 km/ h y 50 km/h		para los vehículos de pasajeros y camiones, sobre todo en las carreteras. la velocidad efectiva tiene a medirse de manera individual.	colocadas a lo largo de la línea de recorrido. Los modelos de origen contienen directividad horizontal, que es particularmente importante en el cálculo de los niveles máximos de ruido. Considera Velocidades de 20 a 180 km / h.		señales de tráfico. Considera dependiendo el caso velocidades entre 0 y 140 Km/h		suma de la emisión sonora de los vehículos individuales en el flujo de tráfico,
Modelo de propagación	Se basa, la combinación de dos secciones transversales para representar un "triángulo elemental," elementos en el trayecto de propagación, y el flujo y el modelado de la geometría de los elementos de vía de acceso. Los algoritmos de propagación acústica y matemáticas se basan en la "geometría vertical.". Trayectos de propagación siempre comienzan en el origen o en una fuente imagen.	Supone una fuente lineal y la velocidad del tráfico constante, la hipótesis principal es de una fuente de línea larga homogénea con radiación cilíndrica, pero con ángulos de vista dado. Se trata de un modelo de energía.	Tiene un algoritmo para estacionamientos. La atenuación se calcula con los métodos habituales de trazado de rayos. Barreras, elevados y carreteras con depresión son tratados de la forma habitual para fuentes de línea incoherentes.	Se supone que la sección del terreno incluyendo todos los reflectores y los posibles obstáculos se dan como un polígono que consta de segmentos rectos a trozos. Cada segmento puede ser el suelo o un segmento de un reflector como una barrera	El cálculo del efecto de suelo se ha basado en la teoría de rayos y el efecto de la difracción de la pantalla en la teoría geométrica.	Modelo energético, emplea a tres modelos de propagación: Ecuación Parabólica (PE), Trazado de rayos (RAY) y Boundary Element Method (BEM).	En el cálculo del ruido del tráfico basado en LAeq, El Procedimiento básico es obtener la evolución temporal de LAeq, observado en un punto de predicción (el patrón de unidad) para un solo vehículo considerado como una fuente puntual omnidireccional usa la teoría de rayos para este tipo de casos. Para estructuras viales complicadas usa método de elemento de contorno (BEM) o el dominio de tiempo en diferencias finitas método (FDTD)	La fuente es modelado como geometría lineal - el término utilizado es "Fuente lineal" - y la distribución de la potencia del sonido sobre la anchura de los carriles de circulación; El modelo adoptado aquí se basa en la descomposición de la infraestructura en fuentes puntuales de sonido. trayectorias de	La emisión de ruido de un flujo de tráfico está representada por una línea de fuente se caracteriza por su direccional de potencia acústica por metro y por frecuencia. Eso corresponde a la suma de la emisión sonora de los vehículos individuales en el flujo de tráfico, teniendo en cuenta el tiempo dedicado por los vehículos en el tramo de carretera considerado.
Rango de Frecuencia [28]	1/3 de octava [63 Hz- 8kHz]	1/3- de octava [63Hz-5kHz]	1/3- de octava [63Hz-5kHz]	1/3- de octava [50 Hz- 10kHz]	1/3 o de octava [63 Hz - 8 kHz]	1/3 de octava [63 Hz - 8 kHz]	1/3 de octava [125 Hz- 4 kHz]	1/3 de octava [100 Hz - 5 kHz]	1/3 de octava [63 Hz - 8 kHz]

De la anterior tabla resumen, se puede indicar que el único modelo que incluye una categoría de vehículo alternativa para las nuevas tecnologías es CNOSSOS. Los 9 modelos estudian la fuente como una fuente de sonido puntual omnidireccional y por lo general, se hace referencia a dos fuentes; la primera corresponde a una fuente cercana a la superficie de la carretera que se atribuye al ruido de la interacción neumático-carretera y una fuente a una mayor altura de la anterior para simular el ruido del motor. El modelo numérico al aire libre más popular es el método de propagación de rayos que funciona muy bien en la propagación de campo lejano, para el estudio de problemas de difracción y para modelar los fenómenos meteorológicos. Sin embargo, el modelo japonés incluye en su modelo de propagación la posibilidad de utilizar aproximaciones numéricas como el método de los elementos de contorno (BEM) o diferencias finitas en el dominio del tiempo (FDTD). Es complejo cómo se aborda cada modelo a baja velocidad y la propagación en campo cercano. Se puede concluir que es necesario reforzar los modelos de propagación existentes para atender mejor las nuevas cualidades de los EV's e HV's. La incorporación de estos vehículos en los softwares de simulación para la generación de los mapas de ruido puede ser vista como un paso importante para cuantificar el efecto beneficioso de estos en las ciudades.

3.2. Modelos complementarios de propagación al aire libre

En términos generales, la herramienta más común para estimar la propagación del sonido al aire libre ha sido el método de trazado de rayos [20, 29]. Sin embargo, el trazado de rayos plantea serias limitaciones en el rango de la baja frecuencia, con las interacciones con estructuras sólidas no completamente rígidas. Para abordar estos fenómenos de propagación complejos y también otras características como la directividad y la variación de presión acústica de campo cercano en la proximidad de la fuente, métodos numéricos más robustos basados en la solución de la ecuación de onda, tales como FEM o BEM, pueden permitir un mejor desempeño [30].

Un buen ejemplo ha sido publicado en el *Journal of Sound and Vibration*, en el que mediante múltiples funciones de transferencia de fuente-receptor se evalúa el campo de presión numéricamente empleando el *Fast Multipole Boundary Element Method* (FMBEM) [31]. Los autores afirman que el enfoque propuesto permite la estimación del ruido usando de aplicaciones de ingeniería asistida por ordenador (CAE-CAD). Este tipo de herramienta puede ser muy útil en el estudio detallado del campo acústico generado por los vehículos.

Otro método de cálculo diferente, es el basado en el *Wave Superposition Approach* (WSA) [33]. El método fue desarrollado para la determinación del campo acústico de una estructura vibrante en movimiento. Según los autores, hereda las ventajas del enfoque del cálculo de la superposición de ondas acústicas en el que se utiliza un método de mover fuentes simples para eliminar la influencia del efecto Doppler. Este método propone que la radiación acústica de una estructura vibrante en movimiento se puede calcular fácilmente con el mismo proceso de la superposición de onda convencional realizado en campo acústico estacionario. Este método puede ser útil en el análisis de la segunda pasada por el ruido emitido por los vehículos en movimiento.

4. LOS DESAFÍOS DE LOS NUEVOS SISTEMAS DE ALERTA DE SONIDO ARTIFICIAL PARA LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.

La actual generación de EV's e HV's son demasiado silenciosos y por lo tanto representan una amenaza para los peatones cuando los vehículos están viajando a velocidades bajas. La comunidad de ciegos ha hecho varias denuncias reclamando por el ruido para este tipo de vehículos, ya que especialmente a bajas velocidades son más silenciosos que los vehículos comunes por lo que en lugares como intersecciones y pasos de peatón son difíciles de identificar para esta comunidad y en general para los peatones [7]. En la figura 2 se presenta la diferencia del patrón de directividad a baja velocidad entre un ICEV'S y el hipotético patrón polar de un EV o HV cuando usan AVAS.

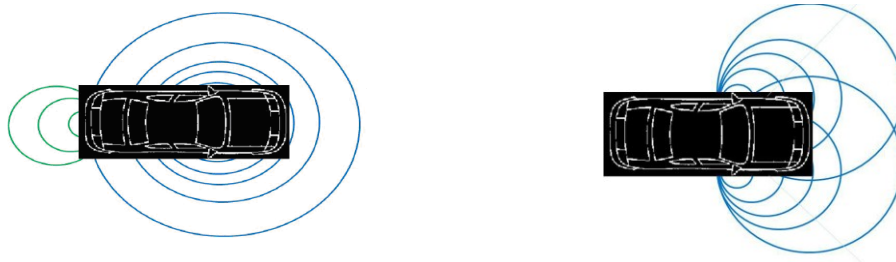


Figura 2. Patrón de directividad. Izquierda. ICEV'S. Derecha. AVAS para Vehículos Eléctricos e Híbridos. Figura referida en [7]

Algunos de estos informes [1], [4], [2] incluyeron pruebas subjetivas realizadas con la comunidad de ciegos, ciclistas y peatones comunes para observar la eficiencia de la AVAS y la instalación de los diferentes actores para detectar el sistema de ruido artificial. Después de eso, la conclusión es que el ruido emitido por el vehículo es utilizado por los peatones para localizar la fuente e identificar la maniobra. Esto indica que la interacción en el campo cercano de los EV's e HV's es importante para identificar cómo estos vehículos interactúan con los peatones. Adicionalmente, este año (2014), en el diario oficial de la Unión Europea C82E / 1 03.21.2014 [6], recomienda la instalación de la AVAS para los EV's e HV's, y en su anexo VIII establece las medidas para caracterizar a los AVAS y contempla que el nivel de ruido generado por el AVAS no excederá el nivel sonoro aproximado de un vehículo de la categoría M1 de ICEV's (vehículos destinados al transporte de pasajeros, ≤ 120 kW / 1 000 kg) operando bajo las mismas condiciones. Esto significa que el nivel de ruido debe ser inferior a 71 dB (A).

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En general se puede indicar que se encontró una gran cantidad de información literaria sobre la simulación de emisiones sonoras de los vehículos, pero la mayoría se refiere al caso de los vehículos de ICEV'S convencionales. De hecho, fue encontrado muy poca literatura sobre los EV's y los HV's, por lo que se hace necesario realizar estudios detallados sobre la simulación de la propagación del ruido generado por estos al aire libre.

En este momento se pueden expresar las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Aunque no se encontró un proyecto que indique como hacer la modelización de la propagación del ruido generado por los EV's y HV's. Si, se encontraron 5 estudios experimentales meritorios (aunque algunos se contradicen) ya que son una herramienta básica para conocer el comportamiento de los EV's y HV's en distintas condiciones, como por ejemplo, velocidad, aceleración, desaceleración, frenado y arranque.
- Existen modelos bien establecidos para la simulación de la propagación del ruido exterior, para la predicción y simulación de tráfico rodado para la generación de mapas de ruido la mayoría de ellos integrados en los programas comerciales. Razón por la cual, valdría la pena reforzar los modelos de propagación existentes para atender mejor las nuevas cualidades de los EV's y HV'S. La incorporación de estos en los actuales programas de propagación puede ser importante para evaluar los pros y contras que tiene la incorporación de esta nueva tecnología en las actividades de tráfico de las ciudades.
- Dentro de la revisión se identificaron trabajos científicos y técnicos significativos que se relacionan con la modelización detallada de vehículos IEC, utilizando métodos como BEM, FEM, FDTD, sus variantes y combinaciones. Como se ha dicho anteriormente, se encontró muy poca información relacionada con el caso concreto de los EV's o los HV's. Pero estos métodos permitir el análisis de múltiples fuentes para describir un solo vehículo y distintos patrones directivos para cada una de ellas, por lo

que serían una buena alternativa para modelar condiciones particulares como la baja velocidad y la interacción con el entorno en campo cercano para tipo de vehículos.

- Tal vez uno de los temas más importantes respecto a la emisión de ruido externo de los EV's y los HV's está relacionada con la emisión de sonido del nuevo sistema AVAS. A pesar de la importancia de este asunto, así como las recomendaciones y reglamentos existentes, no fue encontrada ninguna referencia sobre la modelización numérica del sonido emitido por estos dispositivos (como las restricciones a baja frecuencia del sistema, ya que su propósito es no generar la misma molestia que los IEC). Métodos bien establecidos, como el método de los elementos de contorno (BEM), y muchos otros, pueden resultar útiles para estudiar este fenómeno, y su aplicación a este tipo de análisis debe ser sencillo para el caso de velocidades bajas

Algunos posibles caminos para desarrollar nuevas las herramientas y adaptar las existentes herramientas de modelación numérica pueden ser:

- La simulación del campo cercano alrededor de un EV's o HV's es de gran importancia, ya que hace parte del proceso de identificación de estos vehículos por parte de personas con discapacidad visual y peatones comunes. Esto se puede adaptar a los modelos existentes incluyendo efectos tales como la directividad en las ecuaciones de propagación.
- En cuanto a los mapas de ruido y herramientas de simulación al aire libre, un paso sencillo pero esencial corresponde a la posibilidad de definir un porcentaje de los EV's y los HV'S en la flota global, con el fin de estimar su efecto "beneficioso" en términos del ruido global en una ciudad bajo estudio. Este paso es simple y puede conducir a una demostración sencilla de las ventajas de estos vehículos para el medio ambiente (en términos de ruido).
- Los modelos simplificados utilizados dentro de modelo de cálculo fuentes equivalentes (dos fuentes omnidireccionales), por lo que se puede sugerir el desarrollar un modelo donde la fuente tenga la directividad correspondiente a los nuevos AVAS, para así poder predecir con mayor precisión la interacción de este sistema en el medio. Para esto se sugiere el uso de métodos sin malla como el Método de Soluciones Fundamentales (MFS) ya que permite desarrollar modelos detallados que usan un pequeño conjunto de fuentes y su interacción en entornos complejos, por lo que emplear esta técnica puede ser de gran utilidad.
- Usar modelos numéricos como el BEM y sus variantes permiten el análisis de distintas directividades y respuestas en frecuencia de los nuevos sistemas AVAS porque su utilización puede ser adecuada para ver la aplicabilidad de este tipo de dispositivos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha podido realizar gracias a la ayuda concedida por la acción COST NVH *Analysis Techniques for Design and Optimization of Hybrid and Electric Vehicles* (COST STSM ECOST-STSM-TU1105-17610) para la realización de una estancia de corta duración en la Universidad de Coimbra desde el 1 de abril de 2014 hasta el 1 de junio de 2014.

REFERENCIAS

1. Hanna R. Incidence of Pedestrian and Bicyclist Crashes by Hybrid Electric Passenger Vehicles: Technical Report. OFFICEv's of Traffic Records and Analysis National Center for Statistics and Analysis National Highway Traffic Safety Administration U.S. Department of Transportation 1200 New Jersey Avenue SE., Washington, DC 20590.2009.
2. Garay-Vega L., Hastings A., Pollard J. K., Zuschlag M., Stearns M. D. Quieter Cars and the Safety of Blind Pedestrians: Phase I. U.S. Department of Transportation National Highway Traffic Safety Administration Human Factors Engineering Integration Division Vehicle Safety Research OFFICEv's, NVS-331 Washington, DC 20590. 2010.
3. Pedersen T. H., Gadegaard T., Kjems K., Skov U., Report White paper on external warning sounds for electric cars - recommendations and guidelines.Delta.2011.

4. Verheijen E. Jabben J. Effect of electric cars on traffic noise and safety. Report 680300009/2010. National Institute for public Health and the Environment Netherlander 2010.
5. [5] Marbjerg G. Noise from electric vehicles – A literature survey Danish Road Directorate, DRD. 2013.
6. POSITION (EU) No 3/2014 OF THE COUNCIL AT FIRST READING with a view to the adoption of a regulation of the European Parliament and of the Council on the sound level of motor vehicles and of replacement silencing systems, and amending Directive 2007/46/EC and repealing Directive 70/157/EEC Adopted by the Council on 20 February 2014 (2014/C 82 E/01).
7. Goodes P., Bai Y. B., Meyer E., Investigation into the Detection of a Quiet Vehicle by the Blind Community and the Application of an External Noise Emitting System. SAE International. 2009-01-21895. 2009.
8. Mendonça C., Freitas E., Ferreira J.P., Raimundo I.D., Santos J.A. Noise abatement and traffic safety: The trade-off of quieter engines and pavements on vehicle detection, Accident Analysis and Prevention Vol. 51, [11– 17], 2013.
9. Braun M.E., Walsh S.J., L. Horner a J., Chuter R., Noise source characteristics in the ISO 362 vehicle pass-by noise test: Literature review, Applied Acoustics Vol.74, 2013, [1241– 1265]. Garg N., Sagar M., A critical review of principal traffic noise models: Strategies and implications, Environmental Impact Assessment Review Vol. 46, [68–81], 2014.
10. ISO/TC 43 / SC 1 N 1898. Acoustics – Measurement of minimum noise emitted by road vehicles [DRAFT] 2012.
11. Garg N., Sagar M., A critical review of principal traffic noise models: Strategies and implications, Environmental Impact Assessment Review 46 (2014) 68–81
12. Steele C., A critical review of some traffic noise prediction models. Applied Acoustics 62, [271-287], 2001.
13. Ecotiere D., Foy C., Dutilleux G., Comparison of engineering models of outdoor sound propagation: NMPB2008 and Harmonoise-Imagine. Proceedings of the Acoustics 2012 Nantes Conference, 2012.
14. Cho D. S., Mun S. Development of a highway traffic noise prediction model that considers various road surface types. Applied Acoustics Vol. 69, [1120–1128], 2008.
15. Steele C., A critical review of some traffic noise prediction models. Applied Acoustics 62, [271-287], 2001.
16. FHWA Traffic Noise Model. Technical manual, FHWA-PD-96-010. U.S Dept. of Transportation Washington: U.S Dept. of Transportation; [1–180]. 1998.
17. Quartieri J., Mastorakis N. E., Iannone G., Guarnaccia C., D'Ambrosio S., Troisi A., Lenza TLL., A Review of Traffic Noise Predictive Models. ISBN: 978-960-474-140-3, 2009.
18. Heutschi K. SonRoad: New Swiss Road Traffic Noise Model, ACTA ACUSTICA UNITED WITH Acustica, Vol. 90, [548 – 554] 2004.
19. Kradh J., Plovsing B., Storeheier S. A., Jonasson H. G., Nordic Environmental Noise Prediction Methods, Nord 2000 Summary Report General Nordic Sound Propagation Model and Applications in source-Related Prediction Methods Delta Acoustic Vibration. 2002.
20. Walerian E., Janczur R., Czechowicz M., The role of mutual screening by vehicle bodies in traffic noise propagation throughout a built-up area. Applied Acoustics, 76 291–299, 2014.
21. Salomons E., van Maercke D., Defrance J., de Roo F., The HARMONOISE Sound Propagation Model, Acta Acustica United with Acustica Vol. 97, [62 – 74], 2011.
22. Bullen R., The Harmonoise noise prediction algorithm: Validation and use under Australian conditions. Proceedings of Acoustics Australia 2012.
23. Van Maercke D., Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment. IMAGINE – WP1 Specifications for GIS-NOISE databases. Project funded by the EC under sixth framework programme. 2007.
24. Yamamoto K., Road traffic noise prediction model 'ASJ RTN-Model 2008': Report of the Research Committee on Road Traffic Noise. Acoustic. Sci. & Tech. Vol. 31-1, 2010.
25. Dutilleux G., Defrance J., Ecotière D., Gauvreau B., Bérengier M., Besnard F., Le Duc E., NMPB-Routes-2008: The Revision of the French Method for Road Traffic Noise Prediction. ACTA ACUSTICA UNITED WITH ACUSTICA Vol. 96, [452 – 462], 2010.

26. Road noise prediction 2-Noise propagation computation method including meteorological effects (NMPB 2008). Technical Department of the Ministry of Ecology, Energy Sustainable Development and the Sea, Sétra, is an engineering and expertise reference in the fields of transport, road infrastructure and engineering structures. 2009.
27. Kephelopoulos S., Paviotti M, Anfosso-Lédée F. Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU). EUR 25379 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012, 180 pp. European Commission Joint Research Centre Institute for Health and Consumer Protection TP 281 21027 - Ispra (VA) Italy. 2012.
28. Cho D. S., Kim J. H., Choi T. M., Kim B. H., Manvell D., Highway traffic noise prediction using method fully compliant with ISO 9613: comparison with measurements. Applied Acoustics Vol. 65, [883–892]. 2004.
29. O'Boy D.J., Dowling A.P., Tyre/road interaction noise—Numerical noise prediction of a patterned tyre on a rough road surface. Journal of Sound and Vibration 323, 270–291, 2009.
30. Brinkmeiera M., Nackenhorsta U., Petersenb S., von Estorff O., A finite element approach for the simulation of tire rolling noise, Journal of Sound and Vibration Vol. 309, [20–39]. 2008.
31. Huijssen J., Hallez R., Pluymers B., Desmet W. A synthesis procedure for pass-by noise of automotive vehicles employing numerically evaluated source–receiver transfer functions. Journal of Sound and Vibration Vol. 332, [3790–3802], 2013.
32. Huijssen J., Fiala P., Hallez R., Donders S., Desmet W., Numerical evaluation of source-receiver transfer function with the Fast Multipole Boundary Element Method for predicting pass-by noise levels of automotive vehicles, Journal of Sound and Vibration Vol. 331, [2080-2096], 2012.
33. Zhang Y.B, Bi C.X., Chen X. Z., Chen J. Computation of acoustic radiation from vibrating structures in motion. Applied Acoustics Vol. 69, [1154–1160], 2008.