

SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL RUIDO GENERADO POR UNA SCOOTER ELÉCTRICA

PACS::43.50

Campello-Vicente, Héctor¹; Campillo-Davo, Nuria¹; Peral-Orts, Ramón¹; Godinho, Luis²; Amado-Mendes, Paulo²; Poveda-Martínez, Pedro³; Ramis-Soriano, Jaime³

¹Departamento de Ingeniería Mecánica y Energía, Universidad Miguel Hernández de Elche, Avda. de la Universidad, s/n. 03204, Elche, España

Telf. +34 965 222 446

Email: hcampello@umh.es

²CICC, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Rua Luís Reis Santos - Pólo II da Universidade

3030-788 Coimbra, Portugal

E-mail: lgodinho@dec.uc.pt

³Grupo de Acústica Aplicada de la Universidad de Alicante, Instituto Universitario de Física Aplicada a las Ciencias y las Tecnologías de la Universidad de Alicante.

Universidad de Alicante, 0369 San Vicente del Raspeig, Alicante, España

ABSTRACT

The quietness of electric cars is the main safety problem of these types of vehicles. Their reduced acoustic detectability has given rise to develop this work, where the noise of an electric scooter using the Boundary Element Method has been simulated.

The results of this research are the starting point to study the installation of Acoustic Vehicle Alerting System (AVAS) to increase their acoustic detectability in electric vehicles.

RESUMEN

La baja sonoridad del vehículo eléctrico es uno de los problemas asociados a este tipo de vehículos en cuanto a temas de seguridad vial. La reducida detectabilidad sonora del vehículo eléctricos ha dado pie a este trabajo, en el cual se simula el ruido generado por un scooter eléctrico empleando para ello Boundary Element Method.

Los resultados del trabajo son el punto de partida para el estudio de la instalación de sistemas de alerta que incrementen la detectabilidad acústica de este tipo de vehículos, tomando como referencia un vehículo en circulación sobre una vía con las condiciones de contorno controladas.

INTRODUCCIÓN

La propulsión eléctrica es una realidad en el mercado automovilístico ya sea en forma de vehículos eléctricos (EVs) o híbridos (HEVs), siendo una de las mayores apuestas por parte de los fabricantes a la hora de dar soluciones a los problemas medioambientales derivados del tráfico rodado en las ciudades.

Por un lado esta tecnología ayuda a reducir la emisión de gases a la atmosfera, aumentando así la calidad del aire y por otro lado mejorando la contaminación acústica debido a la desaparición del ruido provocado por los motores de combustión interna.

Esta desaparición de los sonidos tradicionales de un vehículo, se presupone como una ventaja competitiva en el mercado automovilístico desde el punto de vista de la protección frente a ruido y vibraciones [1]. Dicho cambio sonoro puede generar que tanto en conductores como en peatones (o ciclista) experimenten una percepción sonora diferente en comparación con el vehículo convencional, pudiéndose generar en ocasiones situaciones de peligro debido al descenso de la sonoridad.

Estas situaciones de peligro pueden acentuarse cuando el vehículo eléctrico es una motocicleta, debido a que el cambio sonoro es completamente diferente y la diferencia de niveles es mucho más acusada. En este sentido la solución adoptada por los fabricantes y reglada desde enero de 2017 [2], es la instalación de sistemas de alerta que incrementen la detectabilidad de los vehículos eléctricos.

La instalación de dichos sistemas incrementa considerablemente la detectabilidad de los EVs [3], sin embargo pueden generar un inconveniente al reducir los beneficios del silencio de estos vehículos incluso empeorar la situación actual. En este sentido la directividad del sistema de advertencia tendría un papel fundamental a la hora de aumentar los niveles de percepción en los peatones sin empeorar la situación sonora global del entorno.

Con todo lo expuesto en los párrafos anteriores, el objetivo de este trabajo ha sido analizar de forma computacional el comportamiento sonoro de un scooter eléctrico bajo las condiciones de circulación Pass-By. El estudio se ha llevado a cabo mediante la aplicación de la técnica Boundary Element Method (BEM), con la intención de reproducir condiciones de circulación reales.

NUMERICAL SET-UP

La metodología empleada para el estudio de un scooter eléctrico ha sido como se ha comentado anteriormente BEM, este método emplea técnicas numéricas utilizadas para el análisis de la propagación del sonido, particularmente en dominios que implican medios no limitados o semi-infinitos.

Independientemente de estas condiciones, para evitar posibles problemas de resolución por el tamaño del entorno a simular se ha empleado una aproximación al método convencional (Adaptive-Cross-Approximation Algorhithm) tal y como se describe en [4] y aplicado en [5]

En dicha adaptación empleada, la ecuación diferencial parcial de Helmholtz ha sido modificada para representar la propagación del sonido en el espacio para la frecuencia bajo estudio. Por lo tanto, la solución fundamental para la presión sonora en un punto ha sido evaluada localizando una fuente de ruido en el espacio, contemplando para ello diferentes factores relacionados con la propagación del sonido como planos de reflexión o condiciones atmosféricas

DESARROLLO DEL TRABAJO

El trabajo llevado a cabo ha sido dividido en 2 partes, una primera parte se han realizado mediciones experimentales bajo condiciones Pass-By y por otro lado se ha modelizado bajo las condiciones del Boundary Element Method.

Las mediciones experimentales se llevaron a cabo en las instalaciones de la Universidad Miguel Hernández de Elche, empleado para ello un scooter eléctrico circulando a varias velocidades sobre una pista cuyas condiciones de contorno estaban controladas.

Durante las mediciones de ruido, se registró el LAmax según las condiciones expuestas por la ISO 11819-1 [6] para velocidades urbanas (<50km/h) a 7,5 metros de distancia de la línea de paso y de forma adicional a 3 metros de esta línea central. Esta segunda medición más cercana de lo estipulado fue añadida con la intención de conocer de una forma aproximada cuales serían los valores que percibiría un peatón a la hora de cruzar una vía.

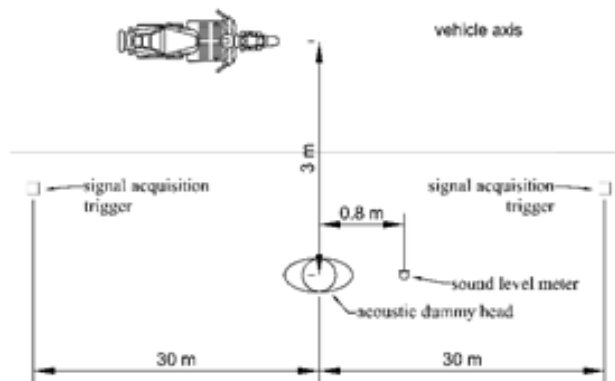


Figura 1. Configuración de los ensayos

Independientemente del uso posterior de esta segunda localización, ambos puntos se han empleado como puntos de control para la calibración del modelo empleado para el análisis bajo Boundary Element Method.

Dando paso al trabajo computacional desarrollado en este estudio, el primer paso para la simulación del escenario real ha sido la modelización geométrica del vehículo empleado, en este caso fue una scooter eléctrica de pequeña motorización la cual está siendo empleada en algunas ciudades por servicios de mensajería.

Debido a la complejidad de las operaciones de computación del método, la geometría original del scooter ha tenido que ser simplificada en lo medida de los posible, reduciendo así pequeñas áreas o aristas redondeadas las cuales generan un volumen de cálculos extra con una diferencia en cuanto a resultados irrelevante.



Figura 2. Vehículo simplificado para la modelización.

En cuanto a las fuentes de ruido aplicadas en el modelo, se han modelizado las fuentes aplicadas en la superficie de contacto entre las el neumático y el asfalto contemplando así el ruido de rodadura como la única fuente en los vehículos eléctricos [7]. Dichas fuentes, debido a las pequeñas dimensiones de las ruedas del vehículo, han sido modelizadas como 2 fuentes puntuales englobando en ellas los diferentes efectos sonoros generados en el ruido de rodadura [8].

Con todo ello el modelo genera una mallado de resultados en el espacio, aplicando niveles de potencia por frecuencia sobre las fuentes de ruido y dibujando un mapa de resultados mediante líneas isófonas a lo largo de una superficie bajo estudio definida previamente.

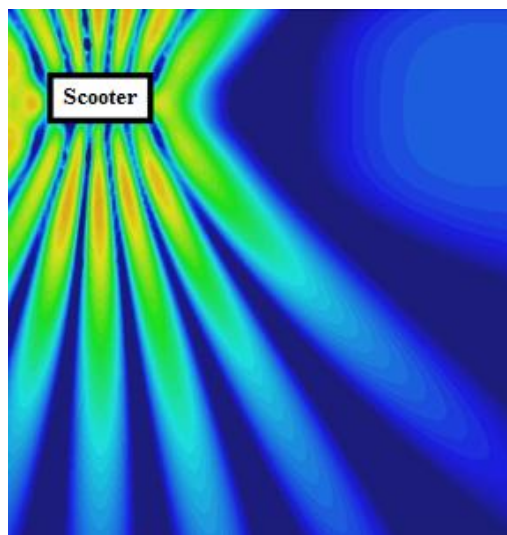


Figura 3. Ejemplo de salida de datos BEM

Las validación y calibración del modelo se ha realizado mediante la comparación de los resultados obtenidos en la simulación con las con las mediciones experimentales nombradas anteriormente. Estos resultados no solo se han evaluado en a perpendicular al paso del vehículo, sino también a lo largo del paso del vehículo dentro del área bajo estudio.

RESULTADOS

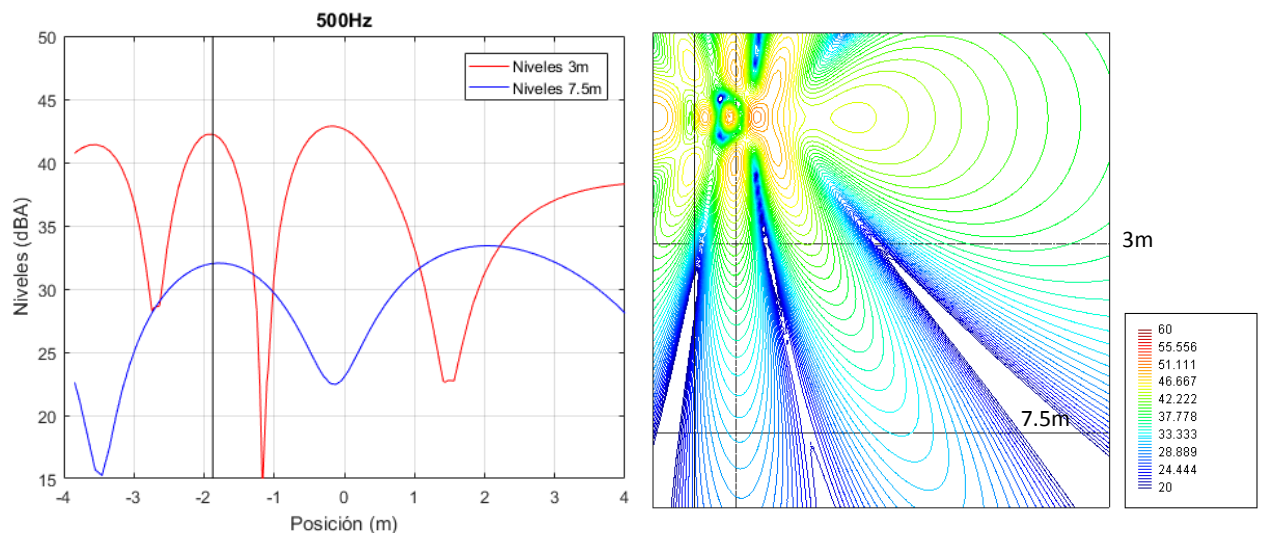
Atendiendo al comportamiento del sonido en los ensayos, se observa que el comportamiento del sonido emitido por el vehículo eléctrico es similar al que aparece en vehículos de 4 ruedas eléctricos. Por ello se ha creído conveniente realizar el estudio sobre velocidades urbanas más concretamente sobre 20km/h en vistas a la futura aplicación de los sistemas de advertencia sobre estos vehículos.

Por otro lado se ha centrado la atención en las 3 frecuencias centrales de mayor repercusión en el ruido de tráfico rodado (500Hz 1000Hz y 2000Hz), con la intención de comparar resultados de directividad en base a mediciones empleado un array de micrófonos [9].

Una vez citadas las frecuencias sobre las que se ha centrado el estudio, para cada una de ellas se ha estudiado la distribución de líneas isófonas sobre el área bajo estudio, así como los niveles recogidos a las distancias mencionadas en apartados anteriores, 3 y 7,5 metros respectivamente.

El análisis de resultados va a iniciarse por la banda de frecuencia de 500Hz, esta frecuencia es la más cercana a las frecuencias empleadas por los fabricantes para reproducir sus señales de alerta

Sobre esta frecuencia se observa como para el ensayo planteado sobre 7,5metros es prácticamente imposible diferenciar el sonido generado por el vehículo del ruido de fondo, pero para la distancia de 3 metros se observa que los niveles serian bajos y cercanos al ruido de fondo en el momento de los ensayos, 40 dB.



Esta proximidad del ruido generado por la fuente al ruido de fondo podría ser empleada para una futura aplicación de un sistema de alerta sonora, estudiando previamente la directividad del sonido. Esta directividad se puede observarse mediante el grafico de isófonas expuesto en la figura anterior (der), visualizándose la generación de "lobulos" por la propagación del sonido de las 2 fuentes omnidireccionales aplicadas sobre el modelo planteado.

Esta directividad del sonido difiere de la condición de omnidireccionalidad y guarda una similitud relativa con la huella acústica planteada para un vehículo por el Dr Peral [9], pudiendo usarse estas isófonas para el futuro diseño directivo de sistemas alerta.

Siguiendo con la exposición de los resultados, a continuación se presentan los resultados para la banda de frecuencia de 1000Hz. Esta es la banda de frecuencia característica del ruido generado por la rodadura [10], por tanto debería ser la frecuencia con mayores niveles dentro de las frecuencias estudiadas en este trabajo.

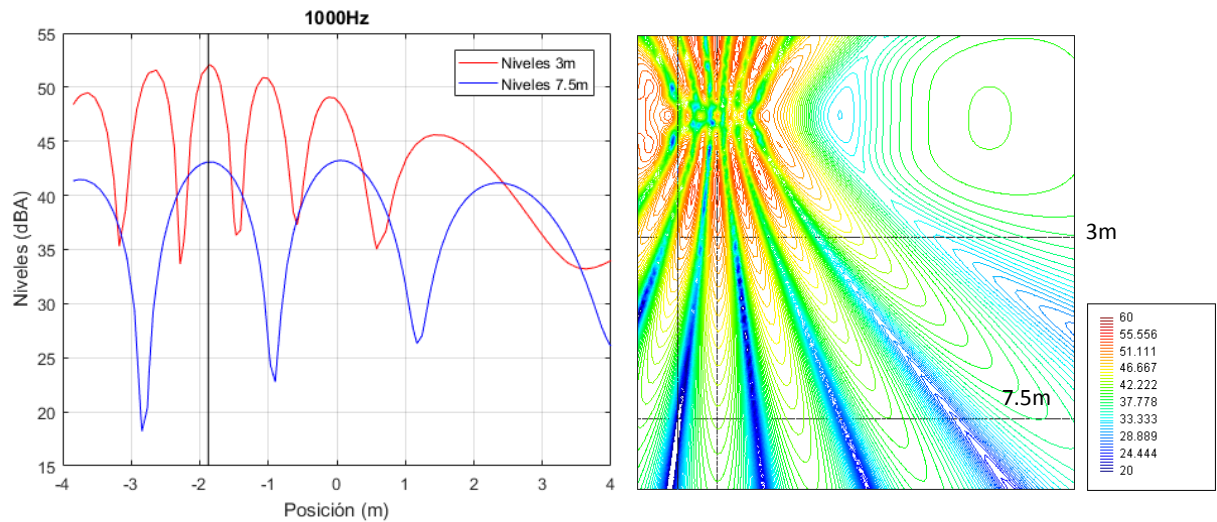


Figura 5. Resultados para la frecuencia de 1000Hz

Diferenciando los resultados entre las dos distancias de recepción bajo estudio, puede observarse como los valores estarían cerca de los 50 dB en el punto más cercano al vehículo. Estudiando estos 50 dB desde el punto de vista de la percepción sonora ante la aproximación del vehículo serían suficientes para que un peatón se percatase de la aproximación del mismo, debido a que estos niveles sobrepasan los 8dB el ruido de fondo [11]. Por otro lado, los datos sobre la distancia de 7,5 metros a la perpendicular del vehículo no aportan información alguna tampoco en este caso.

Por último quedaría por comentar la frecuencia de 2000Hz, esta es una frecuencia la cual genera la distribución de lóbulos poco uniforme a medida que la distancia de recepción aumenta.

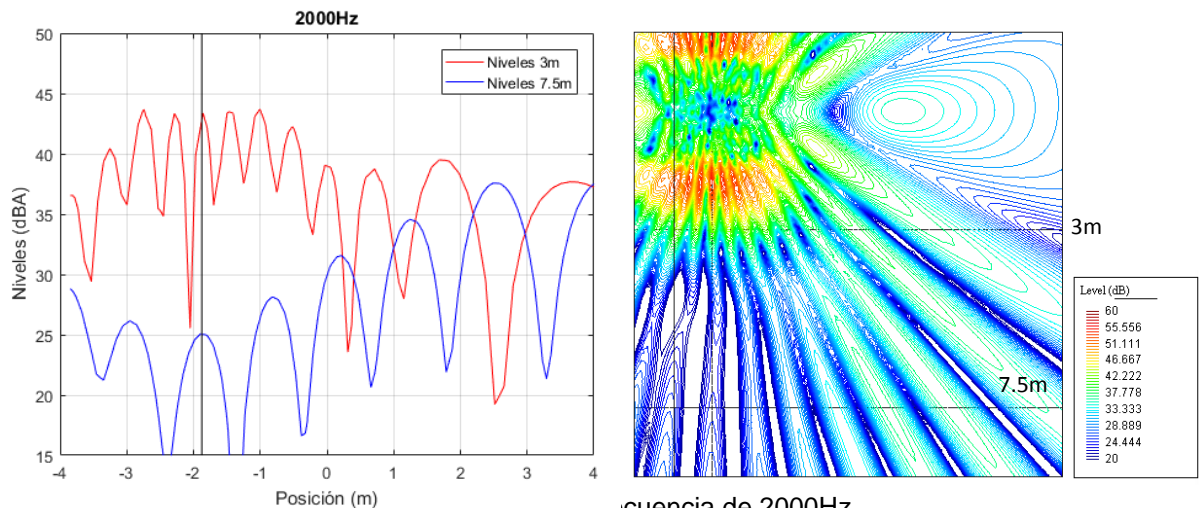


Figura 6. Resultados para la frecuencia de 2000Hz

Los niveles registrados en esta frecuencia demuestran que podría ser una frecuencia válida para la reproducción de las señales de alerta, debido al gran descenso de niveles entre las distancias estudiadas. En ambas distancias los niveles de ruido serían próximos a los niveles de fondo iniciales y por tanto sería difícilmente perceptible la llegada del vehículo por sí solo.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

A la vista de los resultados extraídos del presente trabajo, puede llegarse a diferentes conclusiones y plantear con ellas trabajos futuros. La primera de las conclusiones es la total necesidad de la instalación de sistemas de alertas en vehículos eléctricos de dos ruedas o ligeros, debido a la baja sonoridad del ruido de rodadura en velocidades urbanas.

El principal problema para la detección sonora de estos vehículos es el ruido de su entorno, en el caso de haber otros vehículos durante la circulación se hace imposible diferenciar el ruido característico de estos vehículos pudiéndose producirse así situaciones de peligro tanto con otros vehículos como con peatones.

En vista a los resultados, cabe destacar que la mayor sonoridad del vehículo se genera en la banda de frecuencia de 1000Hz, por tanto la aplicación de sonidos de alerta en frecuencias diferentes a esta podría aumentar la percepción sonora empleando para ello una menor emisión sonora.

En base a los resultados puede concluirse que la detección sonora de este tipo de vehículos tendría una dificultad muy elevada, y por tanto se hace imprescindible el uso de sistemas de alerta que aumenten la percepción sonora de peatones y ciclistas para evitar atropellos.

Cabe destacar en este punto la importancia de la directividad sonora de los futuros sistemas de alerta, este apartado el uso de Boundary Element Method puede ser una herramienta de gran ayuda.

La continuación de este trabajo parte de la aplicación de fuentes de ruido adicionales a los largo del propia geometría del vehículo, simulando así la instalación de un sistema de alerta intentando predecir el lugar óptimo para lograr el equilibrio entre la mínima emisión de ruido y la máxima percepción sonora por parte del peatón.

El posicionamiento de la fuente de ruido adicional se estudiará en estático y posteriormente se simulara en BEM por separado al vehículo, con la intención de integrar dicha fuente posteriormente al modelo presentado en este trabajo.

Con todo esto se pretende dar un posicionamiento inicial a las futuras fuentes de alerta, validando estos modelos mediante mediciones experimentales del mismo tipo a las realizadas en este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Campillo-Davo, N.; Rassili, A. (eds). *NVH analysis techniques for design and optimization of hybrid and electric vehicles*, Shaker Verlag, Aachen (Germany), 2016.

- [2] Reglamento nº 138 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE). Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos silenciosos de transporte por carretera en lo relativo a su audibilidad reducida.
- [3] Wall Emerson, R.; Kim, D; Naghshineh, K; Pliskow, J; Myers, K. Detection of quiet vehicles by blind pedestrians. *Journal of Transportation Engineering*, Vol 139, 2013, pp 50–6.
- [4] Godinho, L.; Amado-Mendes, P.; Santos, P. G.; Cordeiro, M. An efficient and accurate numerical model for the 3D analysis of sonic crystals. *Proceedings of 22nd International Congress on Sound and Vibration*, Florence, Italy, July 12-16, 2015.
- [5] Godinho, L.; Costa, E.; Santiago, J.; Pereira, A.; Amado-Mendes, P. 3D analysis of the sound reduction provided by protective surfaces around a noise source. *International Journal of Acoustics and Vibrations*, Vol 19(2), 2014, pp 78-88.
- [6] ISO 11819-1, Acoustics – Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise – Part 1: “The Statistical Pass-By Method”. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1997.
- [7] Campello, H.; Peral, R.; Campillo, N.; Velasco, E. Sanchez. The effect of electric vehicles on urban noise maps *Appl. Acoust.*, 116 (2017), pp. 59-64
- [8] U. Sandberg, J.A. Ejsmont Tyre/road noise reference book. Informex, Kisa, Sweden (2002)
- [9] Peral-Orts, R.; Velasco-Sanchez, E.; Campillo-Davo, N.; Campello-Vicente, H. Using microphone arrays to detect moving vehicle velocity, *Archives of Acoustics*, Vol 38 (3), 2013, pp 407-415.
- [10] CAMPILLO, N. Modelización experimental del ruido de rodadura en ensayos de homologación de neumáticos. Tesis Doctoral. Universidad Miguel Hernández de Elche (2013).
- [11] ROSENBLUM, L. D. Testing the audibility of quiet cars. Presentation at the National Highway Transportation Safety Administration Public Forum on Quiet Cars, 23rd June 2008.