

Técnicas experimentales para el análisis sonoro y vibratorio de vehículos eléctricos e híbridos



Ramon Peral Orts¹; Stephen Walsh²; Héctor Campello-Vicente¹; Stephanos Theodossiades³

¹ Dpto. Ing. Mecánica y Energía. Universidad Miguel Hernández de Elche, Spain

² Dpto. Ing. Aeronáutica y Automovilística. Universidad de Loughborough, Inglaterra

³ Dpto. Ing. Mecánica, eléctrica y fabricación. Universidad de Loughborough, Inglaterra

ramon.peral@umh.es

PACS: 43.50.Lj

Resumen

El uso de técnicas experimentales para el análisis de ruido y vibraciones (en inglés Noise Vibration and Harshness, NVH) en vehículos convencionales de combustión interna (ICEV) ha propiciado avances técnicos asociados a las características mecánicas y aerodinámicas de los mismos, así como una mejora significativa en sus condiciones de confort interior. Así mismo, la creciente demanda social de vehículos híbridos-eléctricos (HEV) y eléctricos (EV), unido a sus características peculiares en materia de ruido y vibraciones, promueven la necesidad de estudiar y desarrollar técnicas experimentales para la correcta evaluación sonora de sus fuentes, el estudio de su transmisibilidad estructural y su radiación sonora al exterior. El presente artículo realiza un análisis de diferentes técnicas experimentales adaptadas y puestas en marcha para el estudio NVH en el interior de vehículos eléctricos, nuevas técnicas de ensayo para materiales ligeros empleados en cabina, así como sistemas de medición para la evaluación de los niveles exteriores de radiación de esta tipología de vehículos.

Abstract

The use of experimental techniques to analyse the NVH on Internal Combustion Engines Vehicles (ICE) has led to a significant improvement in the mechanical characteristics of those vehicles, as well as successful results on their internal comfort. With the increasing commercialization of Electric (EV) and Hybrid Electric Vehicles (HEV), the vibro-mechanical conditions of the vehicles have changed meaningfully, giving as a result, new empirical NVH challenges affected by a variety of sources. In this paper, some of the main experimental approaches have been analysed to determine their effectivity on Electric Vehicles, as well as some new experimental techniques to characterize new materials, NVH configurations and the external noise emission of EVs used.

1. Introducción

Las empresas del sector de la automoción se ven sometidas a una presión creciente para proporcionar vehículos cada vez más silenciosos. Sus objetivos se centran en conseguir minimizar el ruido emitido por el vehículo y aumentar el confort sonoro y vibratorio en la cabina durante su funcionamiento. Como consecuencia, el desarrollo de vehículos accionados por sistemas de propulsión eléctrica en combinación con motores de combustión, son cada vez más atractivos [1]. Sin embargo, sus potenciales mejores condiciones vibro-acústicas deben ser analizadas y estudiadas en profundidad para garantizar su efectividad.

Tradicionalmente, el estudio empírico de NVH (siglas en inglés de ruido, vibraciones y dureza) en vehículos ha

desarrollado una mejora significativa en el confort del conductor/pasajero, consiguiendo mejores condiciones de seguridad y un menor impacto sonoro derivado del uso de vehículos automóviles. El aumento en las ventas de vehículos híbridos-eléctricos (HEV) y Eléctricos (EV) está propiciando la adaptación o el desarrollo de procedimientos NVH experimentales para el estudio del comportamiento interior-exterior de este tipo de vehículos. Por otro lado, la presencia de nuevas fuentes de ruido y vibraciones en estos vehículos, así como la ausencia de los focos mecánicos tradicionales, hacen del vehículo eléctrico un sistema sensible que debe ser estudiado cuidadosamente [2]. El tamaño y potencia de los vehículos provoca cambios en el proceso metodológico, siendo necesaria su implementación en vehículos utilitarios, así

como vehículos más pesados destinados al transporte de personas y mercancías.

Por otro lado, los muy bajos niveles de ruido exterior irradiados a bajas velocidades por los vehículos eléctricos o híbridos [3] suponen un peligro reconocido para otros vehículos, peatones y ciclistas. Con el fin de minimizar este peligro potencial, varios fabricantes y equipos de investigación están desarrollando sistemas de generación de ruido de advertencia, AVAS (sus siglas en inglés) para este tipo de vehículos. Pero dos cuestiones pendientes pretenden ser resueltas empleando sistemas experimentales de ensayo y caracterización sonora. Por un lado, se persigue estudiar la directividad sonora de los sistemas de advertencia, para que cumplan su propósito de alertar al peatón, con el menor impacto posible sobre los paisajes sonoros urbanos. La segunda cuestión se refiere a las condiciones operacionales del EV en las que este sonido es necesario, velocidad, tipo de asfalto o condiciones de los neumáticos. Para ambas cuestiones se precisa desarrollar técnicas experimentales para determinar, con detalles, las características sonoras actuales de los vehículos eléctricos y como se verán afectadas por la inserción de sistemas AVAS.

En este artículo se recopilan algunas importantes contribuciones que pueden ayudar a mejorar el conocimiento vinculado a las técnicas experimentales para el estudio de ruido y vibraciones en vehículos híbridos y eléctricos, siendo clasificadas según se centren en el estudio en el interior o exterior del vehículo. La gran mayoría de estas contribuciones son fruto de la colaboración, sustentada gracias a la acción Europea COST TU1105, entre diferentes grupos de trabajo europeos.

2. Técnicas experimentales para el análisis interior del vehículo

En relación al comportamiento interior del vehículo, resulta vital discernir cómo la ausencia de sonidos mecánicos puede afectar a su utilización, así como la presencia de componentes eléctricos, emitiendo en frecuencias concretas, puede ser percibida por el conductor y los pasajeros. Para dar respuesta a esta necesidad, el desarrollo de técnicas experimentales de precisión es especialmente importante en el proceso de integración y desarrollo de motores y vehículos [4], así como el posible conflicto que puede producirse entre los equipos de transmisión de vehículos y en relación con los problemas de NVH en el desarrollo de futuras tecnologías eléctricos e híbridos [5]. Para ello, el método experimental de análisis basado en Fuente-Transmisión-Receptor está siendo implementado en HEVs y EVs con el fin de verificar su validez en el proceso de caracterización interior de los vehículos.

2.1. Implementación experimental de técnicas de análisis de transmisión de vibraciones para el diseño y optimización de vehículos eléctricos. (TPA y OPA)

Diversos estudios realizados en la Universidad de Loughborough, Inglaterra [6][7][8] han implementado técnicas de análisis de transferencia vibro-acústica en vehículos eléctricos. Entre las técnicas empleadas, cabe destacar el Análisis de Caminos de Transferencia (en inglés Transfer Path Analysis, TPA). Este ensayo se define como un procedimiento experimental mediante el cual se puede determinar el flujo de energía vibro-acústica desde la fuente, a través de estructuras sólidas y el aire, hasta una posición receptora determinada. Esta técnica permite determinar la matriz de inercia y funciones de transferencia de las diferentes fuentes y su influencia sobre los puntos de interés en el interior de la cabina del vehículo. Con propósitos similares pero diferente implementación el Análisis de Caminos Operacionales (en inglés Operational Path Analysis, OPA) también fue implementado. Este método se basa sólo en ensayos operacionales, simplificando sensiblemente el estudio de la transmisión vibro-acústica.

La Figura 1 muestra los puntos y direcciones de medición.

Los resultados obtenidos, ver figura 2, muestran que los valores sonoros computacionales obtenidos a través de la función de transferencia proporcionan niveles de presión sonora del mismo orden de los obtenidos a través de ensayos. A través de estos resultados es posible analizar los niveles de presión asociados a cada fuente, relacionado las frecuencias características con la velocidad del vehículo.

Como conclusión, los autores verifican que las metodologías evaluadas pueden ser aplicadas a EVs y HEVs, demostrando su versatilidad y las mismas limitaciones observadas en el análisis de vehículos tradicionales.

2.2. Técnicas experimentales para la caracterización de materiales ligeros y montajes tipo sándwich para cabina

Tradicionalmente, los motores de combustión interna han sido capaces de enmascarar gran parte del ruido generado por el tren de transmisión y otros componentes no mecánicos del vehículo. Sin embargo, en los vehículos híbridos y eléctricos esta situación ya no se produce. Por este motivo, el estudio y el uso de nuevos materiales ligeros pueden ayudar a adaptar la cabina y prevenir la transmisión vibro-acústica [9]. Los vehículos eléctricos precisan de materiales robustos, pero ligeros, capaces

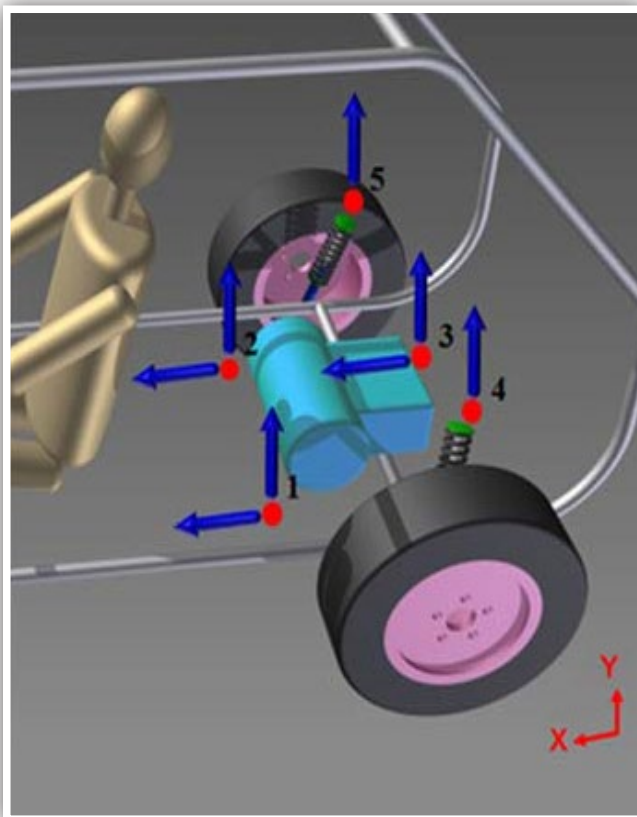


Figura 1. Localización de los puntos de medición durante los ensayos [6].

de garantizar condiciones sonoras apropiadas en su interior. Con el objetivo de caracterizar el comportamiento sonoro de estos materiales, se siguen desarrollando técnicas de ensayo que permitan optimizar recurso y determinar los materiales más apropiados para contener vibraciones estructurales y sonidos puros y en rangos de frecuencias muy variados [10][11].

La figura 3 muestra la configuración de ensayo a través de una cabina compacta propuesta por Jonckheere et. al [12] para el ensayo de materiales ligeros. Algunas de las peculiaridades de este sistema se deben a la capacidad de excitación aérea por medio de un altavoz de rango completo dentro de la cavidad, así como la presencia de un agitador electrodinámico o un martillo de impacto para la excitación sólida aplicada directamente a la muestra de ensayo. En consecuencia, tanto la acústica y la respuesta del sistema estructural se pueden medir en el mismo instante de tiempo. Para ello, la cabina está equipada con una red de micrófonos y la respuesta dinámica estructural se registra utilizando acelerómetros ligeros. La energía sonora radiada al exterior se puede medir mediante el escaneo de la superficie radiante con una sonda de intensidad.

Desde un punto de vista experimental, la configuración permite caracterizar acústica y estructuralmente materiales absorbentes acústicos y paneles ligeros de diferentes tamaños. La figura 4 muestra una gráfica en la que se comparan resultados experimentales y simulados de la pérdida de inserción de un material caracterizado.

D’Ortona et al.[13] persiguen el mismo objetivo empleando pequeñas cabinas con condiciones reverberantes (caracterización vibro-acústica). A su vez, publicaciones recientes [14] desarrollan técnicas de caracterización de materiales para otras aplicaciones basadas en el análisis modal y estudio de los modos de comportamiento de probetas de ensayos, ver figura 5.

2.3. Desarrollo de técnicas experimentales para el análisis NVH interior en autobuses híbridos

El proyecto de investigación CIVITAS DYN@MO realizado en la Universidad de Aachen, Alemania, ha centrado

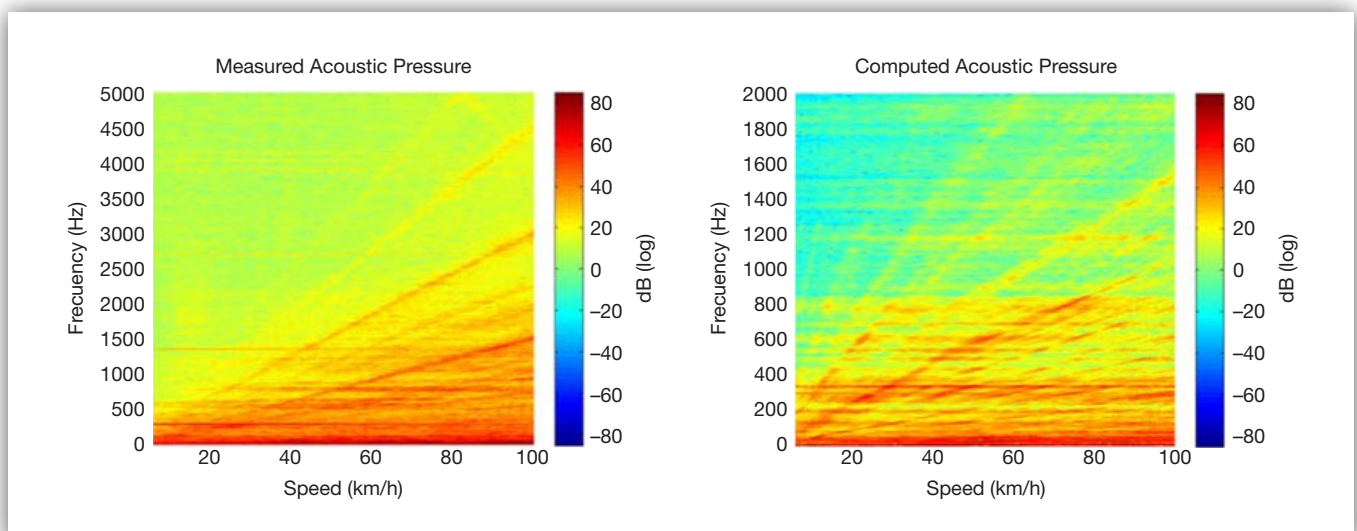


Figura 2. Niveles de presión sonora medidos y calculados a partir de la TPA [6].



Figura 3. Cabina de ensayo para la caracterización vibro-acústica de materiales ligeros [12].

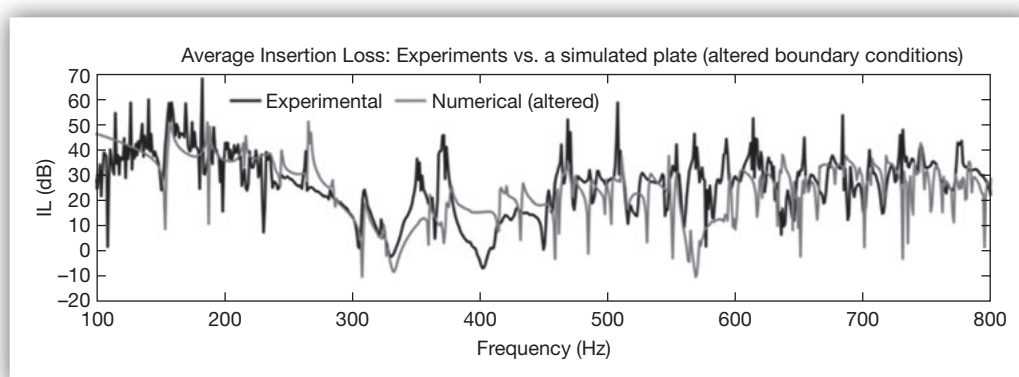


Figura 4. Comparativa entre resultados experimentales y numéricos de un panel de material ligero ensayado en cabina compacta [12].



Figura 5. Muestra de material ligero dispuesto para su ensayo (condiciones de contorno y malla con los puntos de ensayo) [14].

sus esfuerzos en el análisis sonoro y vibratorio de grandes vehículos híbridos y eléctricos, destinados al transporte público, con el propósito de determinar el grado de mejora en el confort interior de los mismos en función

Tabla 1. Ensayos ensayados en el proyecto CIVITAS DYN@MO [15].

Vehicle	Powertrain	Vehicle length
MAN Lion's City Hybrid	Diesel electric hybrid	12 m
Mercedes Benz Citaro G BlueTec Hybrid	Diesel electric hybrid	18 m (articulated)
ASEAG Electric (converted hybrid bus)	Fuel electric	18 m (articulated)
VDL Citea LLE-120 (lightweight bus)	Diesel engine	12 m
Mercedes Benz Citaro	Diesel engine	12 m
MAN Lion's City	Diesel engine	18 m (articulated)

de su sistema de propulsión (Híbrido en modo eléctrico, eléctrico o diésel) [15], ver tabla 1.

Los vehículos fueron equipados con acelerómetros y micrófonos en las zonas próximas a los ejes del vehículo, así como en las posiciones relevantes en cuanto al confort durante el funcionamiento del vehículo (puntos de agarre de los pasajeros, el suelo y los asientos). Todos los micrófonos se ubicaron a una altura de 1,50 m y una cabeza artificial adicional se instaló en la última fila de asientos. Con un micrófono dispuesto en la posición del conductor, también se evaluó el impacto de los diferentes sistemas de accionamiento del vehículo sobre las condiciones de trabajo del conductor. Las posiciones de los sensores interiores en un autobús articulado se muestran en la figura 6.

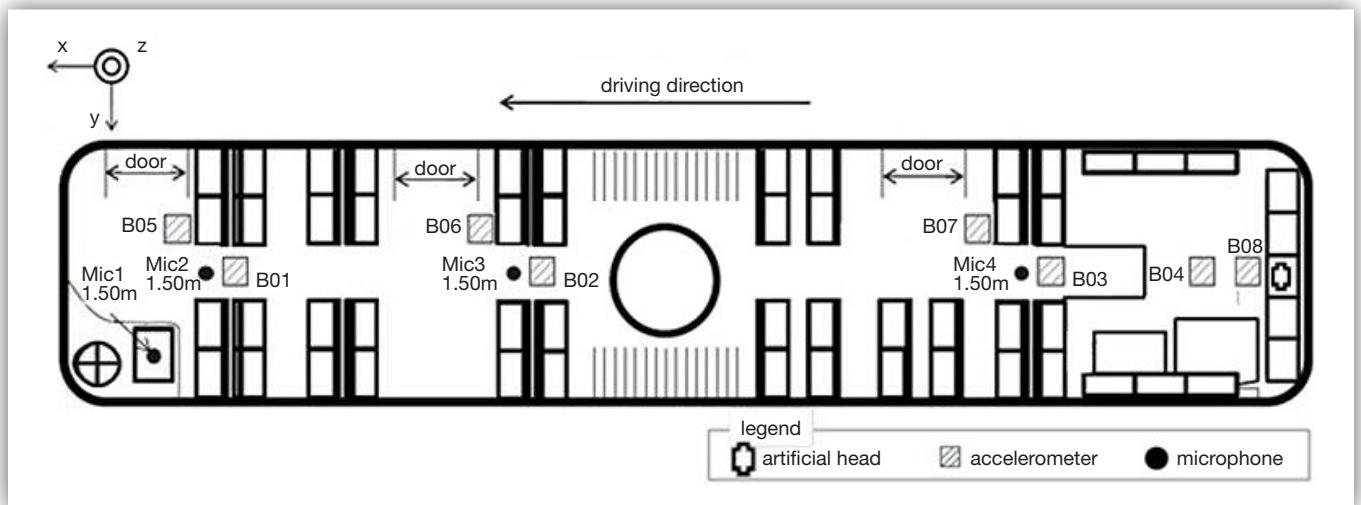


Figura 6. Posiciones de ensayo sonoro y vibratorio en el interior de un autobús articulado [15].

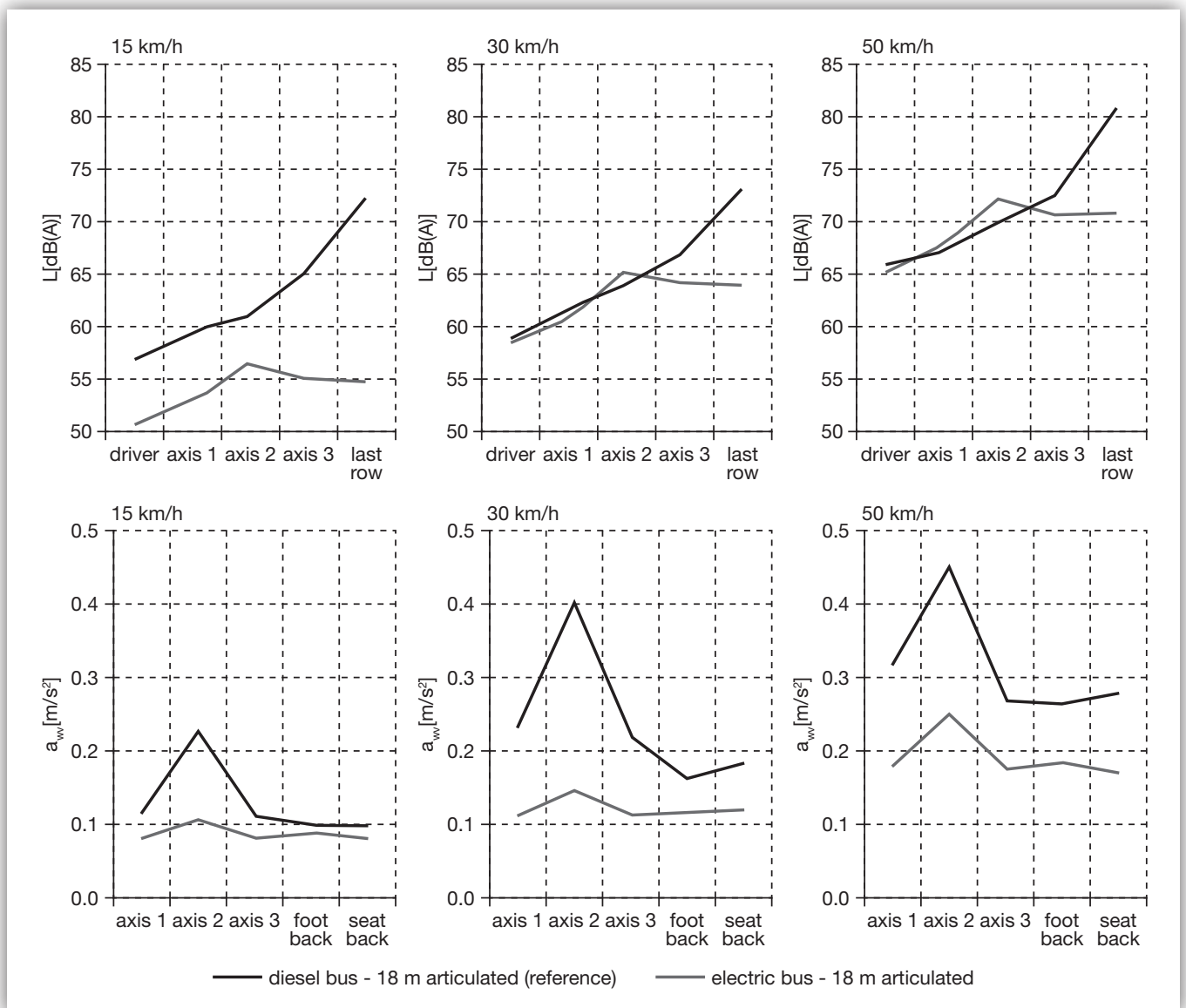


Figura 7. Niveles interiores de ruido y vibración para velocidades de circulación constante [15].

Las conclusiones que se alcanzaron, tras el estudio comparativo entre la circulación con un motor diésel y en modo eléctrico, muestran grandes diferencias en los niveles de ruido y vibraciones medidos, ver figura 7. El nivel de ruido medio se redujo un 14 dB con el vehículo en modo eléctrico, con diferencias máximas de 20 dB. A nivel acústico, las diferencias se minimizan sensiblemente al aumentar la velocidad, mientras que los valores absolutos de vibración crecen al aumentar la velocidad de circulación.

2.4. Otras técnicas para NVH en el interior de vehículos eléctricos

Otras investigaciones proponen montajes para el ensayo y validación de modelos de simulación de componentes del vehículo. La figura 8 muestra un banco de pruebas diseñado para la validación experimental de componentes asociados al sistema de transmisión del vehículo [16]. La configuración muestra una representación general de un sistema de transmisión de un vehículo eléctrico, dispuesto por medio de dos motores eléctricos conectados a través de una junta Cardan doble.

El Laboratorio de Tecnología para el Vehículo de la Universidad KU Leuven emplea un dispositivo tipo «CUBE» [17], sistema de tabla de excitación de alta frecuencia con 6 grados de libertad, ver figura 9, para la excitación de vehículos o sus componentes. Este dispositivo es capaz de reproducir condiciones reales de vibración mediante el uso de desplazamientos en X, Y, Z, así como rotaciones alrededor de estos ejes.

3. Técnicas experimentales para el análisis exterior del vehículo

La ausencia de niveles sonoros significativos emitidos por los EVs en determinadas condiciones de circulación están propiciando el desarrollo de sistemas AVAS, así como distintas tipologías de sonidos de advertencia. Las técnicas experimentales están permitiendo conocer las características sonoras de la emisión generada por los vehículos eléctricos (rangos de frecuencia, relación con la velocidad de circulación o la directividad en la emisión), así como la incidencia real de los diferentes AVAS propuestos en diferentes paisajes urbanos.

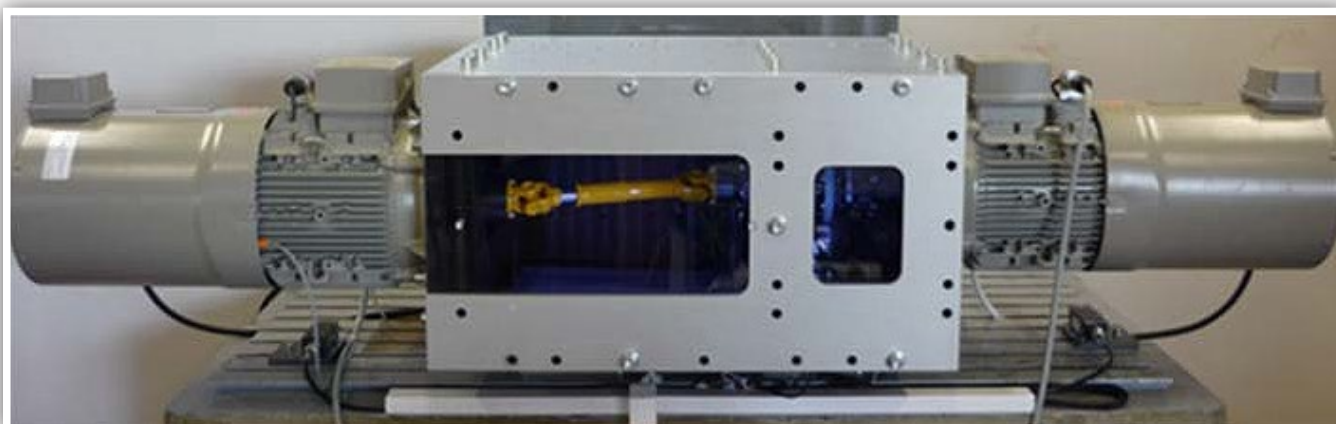


Figura 8. Banco de ensayos para la validación experimental de componentes de un EV [16].



Figura 9. Imágenes del «CUBE» en ensayos experimentales de vehículos y componentes [17].

3.1. Desarrollo de técnicas experimentales para el análisis NVH exterior en autobuses híbridos

Los vehículos recogidos en la tabla 1, también fueron ensayados en el exterior, empleando una cabeza artificial y micrófonos, ver figura 10. Los resultados alcanzados, ver figura 11, demuestran que los autobuses de propulsión eléctrica ofrecen beneficios significativos en términos de reducción de las emisiones de ruido en la zona de baja velocidad, hasta 15 km/h. A velocidades más altas, el ruido aerodinámico y de rodadura pasan a ser las principales fuentes sonoras, por lo que la ausencia de ruido mecánico no mejora los niveles sonoros de los vehículos eléctricos.

Teniendo en cuenta las condiciones reales de circulación de los autobuses en entornos urbanos (paradas, semáforos, zonas semi-peatonales) el estudio concluye que las mejoras sonoras de los autobuses eléctricos son especialmente significativas, ver figura 11.

3.2. Método de ensayo sonoro exterior OBSIe

La metodología de ensayo sonoro OBSIe es un método fácil y robusto que puede ser tratado como una alternativa al método CPX [18]. Esta metodología puede ser empleada con el vehículo circulando a cualquier velocidad pero está especialmente pensado para su uso en áreas urbanas o de baja velocidad, donde otras metodologías

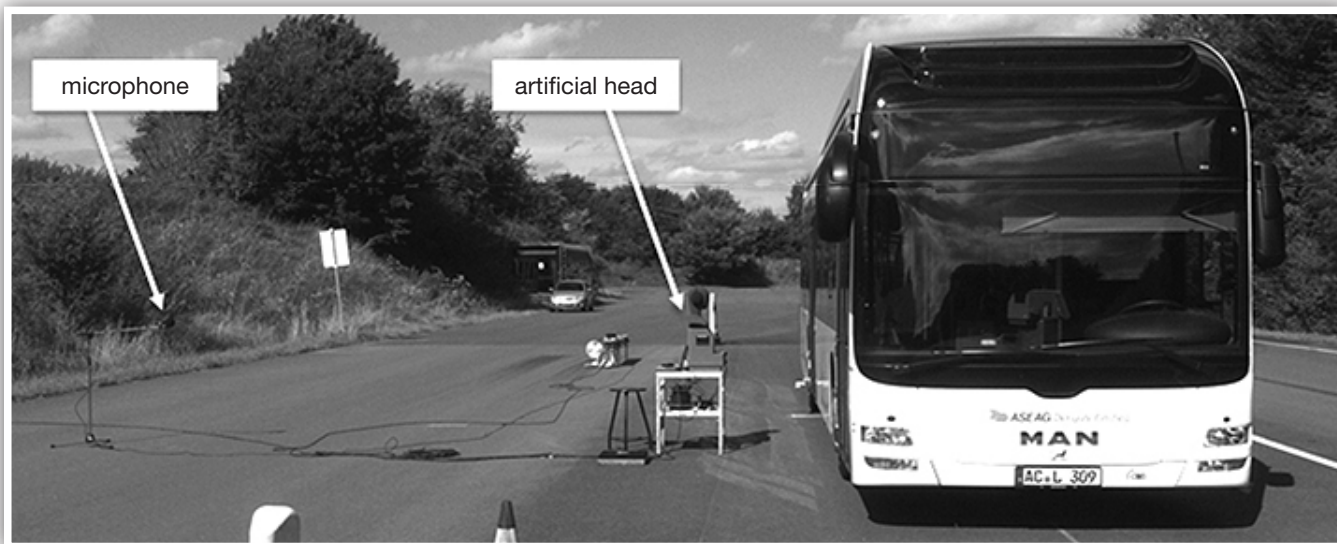


Figura 10. Configuración de los ensayos exteriores en autobuses eléctricos [15].

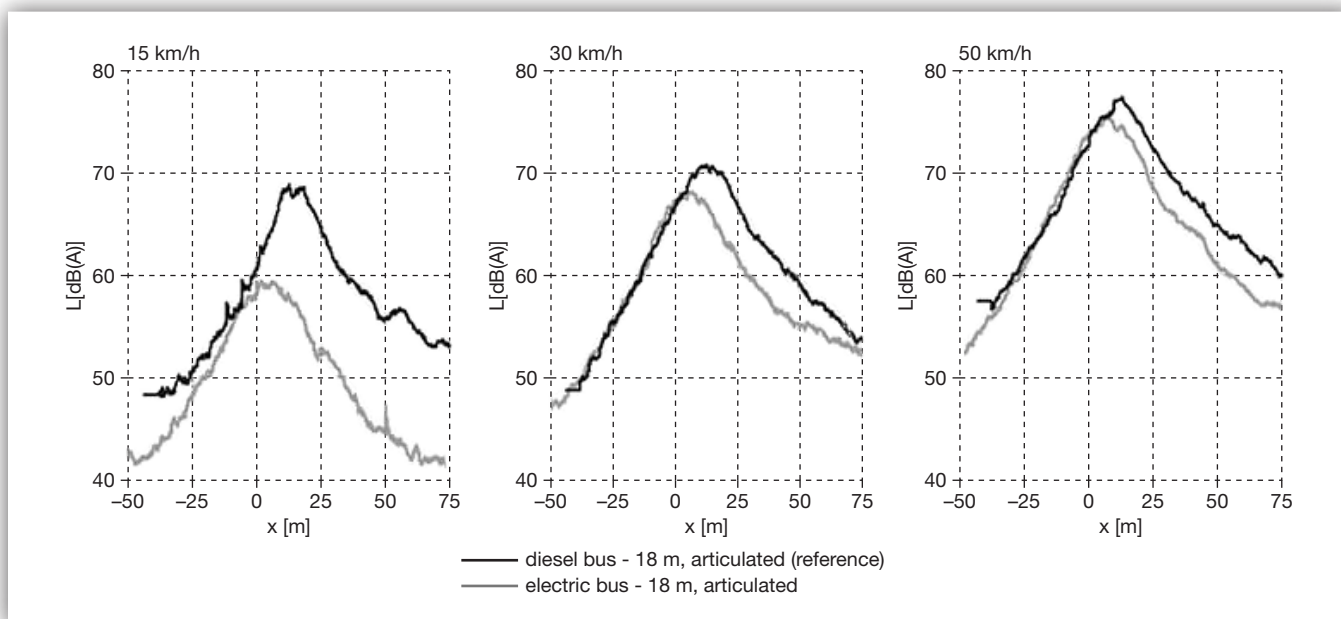


Figura 11. Niveles de presión sonora resultantes de ensayos realizados en condiciones Pass-By a velocidades constantes [15].

resultan de difícil aplicación [19]. Gracias a estas condiciones de ensayo, es especialmente útil para el estudio de los niveles de potencia sonora irradiados por vehículos eléctricos e híbridos. Tal y como se puede ver en la figura 12, la metodología se basa en dos pares de sondas de intensidad sonora embarcadas en un útil paralelo al plano de la rueda, un convertidor digital/análogo, un PC con software de registro y la interpretación y el cableado.

Los resultados de las pruebas preliminares, ver figura 13, muestran que las mediciones pueden llevarse a cabo a partir de 10 km/h. Como era de esperar, la vía adoquinada es la que presenta niveles sonoros más elevados.

3.3. Técnicas de ensayo de caracterización en vehículos eléctricos e híbridos

En la Universidad Miguel Hernandez de Elche [20], en colaboración con las Universidades de Alicante y Loughborough [21], se han llevado a cabo diversos ensayos de

caracterización sonora de vehículos eléctricos e híbridos, a través de ensayos tipo pass-by y ensayos de directividad con array de micrófonos (condiciones de circulación tipo pass-by), ver figura 14.

La figura 15 muestra los espectros obtenidos de los ensayos pass-by de un vehículo eléctrico y ensayos coast-by de un vehículo convencional circulando con diferente tipología de neumáticos. La conclusión de este trabajo permite asumir la equivalencia sonora de un vehículo eléctrico con la rodadura de un vehículo convencional.

Empleando técnicas de ensayo en pista similares, Pallas et al. [3] analizan en profundidad los niveles de emisión sonora de un camión híbrido mediano.

4. Conclusiones

El presente artículo muestra diferentes técnicas experimentales empleadas para el desarrollo y mejora en el



Figura 12. a) Sondas de intensidad sonora instaladas en la rueda [19]. b) Configuración OBSle instalada en un BMW i3 [19].

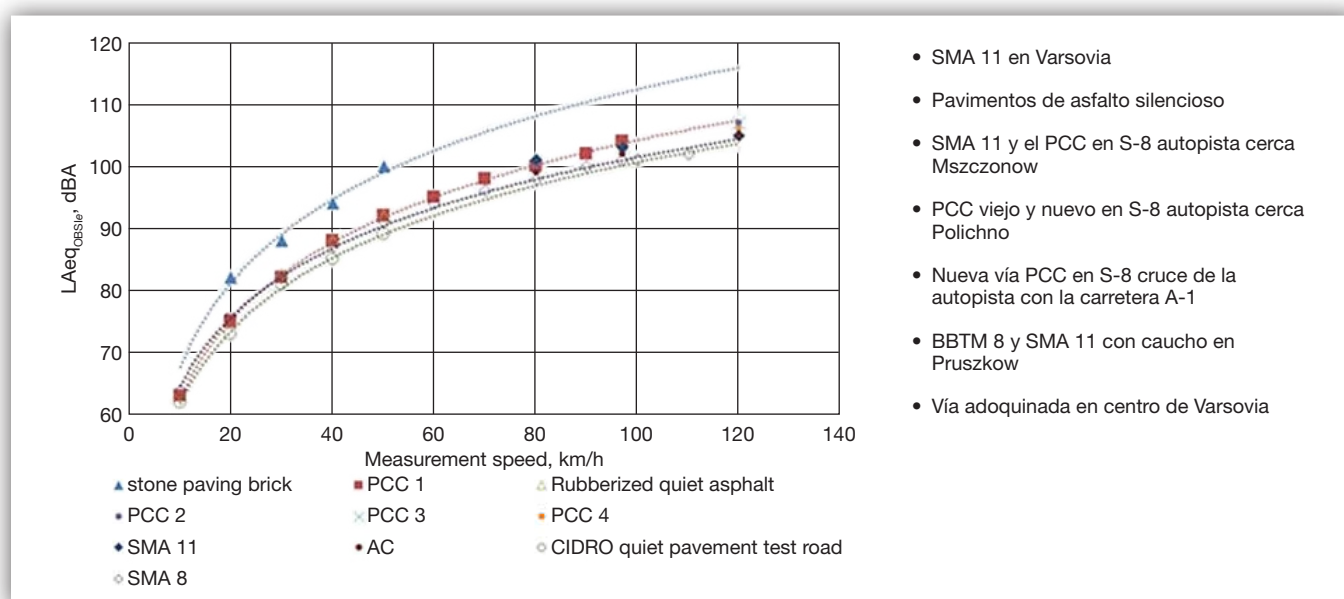


Figura 13. Resultados preliminares empleando el método OBSle [19].

conocimiento del comportamiento acústico y vibratorio de los vehículos eléctricos y sus componentes, tanto en el interior de su cabina como radiados al exterior. Para la identificación y caracterización de focos vibro-acústicos propios de los vehículos eléctricos, se han implementado técnicas de análisis de camino de transferencia (TPA y OPA). Para la caracterización vibro-acústica de materiales ligeros, se proponen configuraciones basadas en cabinas de ensayo y pequeñas cámaras reverberantes, así como dispositivos y bancos de ensayo para la validación del comportamiento vibro-acústico de componentes asociados a la cadena de transmisión y el tren de potencia. Por último se muestran configuraciones de ensayo y resultados asociados a ensayos en pista de vehículos eléctricos utilitarios, pequeños camiones y autobuses de transporte público.

5. Agradecimientos

Resulta vital destacar que la gran mayoría de las aportaciones mostradas en el presente artículo han sido desarrolladas gracias al proyecto europeo COST TU 1105 «NVH analysis techniques for design and optimization of hybrid and electric vehicles». Los autores quieren mostrar su agradecimiento a los investigadores de las entidades que han participado de forma activa en el desarrollo de técnicas experimentales para el estudio de los vehículos híbridos y eléctricos, destacando entre todas ellas a PSA, Loughborough University, KU Leuven, Universidad de Cantabria, Universidad de Alicante, RWTH Aachen, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Virtual Vehicle Research Center y Universidad Miguel Hernández de Elche.



Figura 14. Ensayo pass-by y pass-by con array de sendos vehículos eléctricos [20][21].

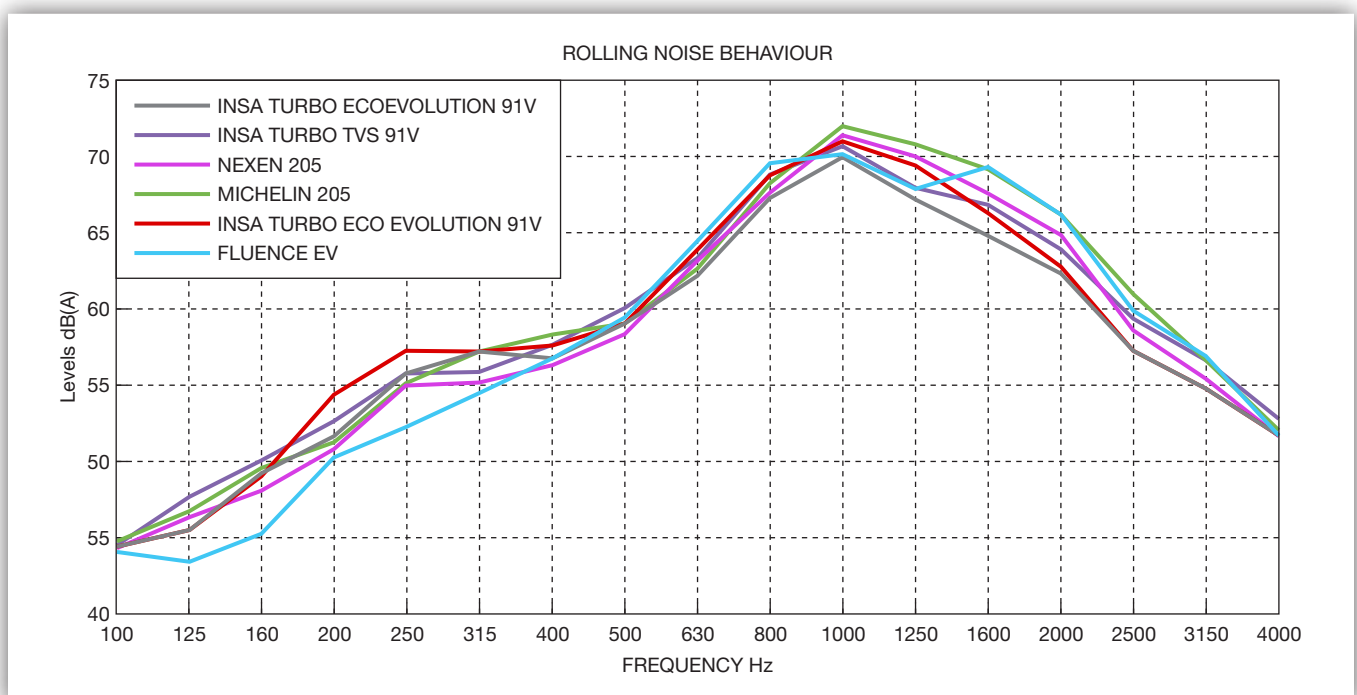


Figura 15. Comparación de sonido emitido por un vehículo eléctrico vs ruido de rodadura de un vehículo ICE con diferentes tipos de neumáticos [20].

6. Referencias

- [1] IHS Online, Global Production of Electric Vehicles to Surge by 67 Percent This Year, Southfield, Michigan, 2014.
- [2] Lindberg, E.; Hörlin, N.; Göransson, P. An experimental study of interior vehicle roughness noise from disc brake systems, *Applied Acoustics* 74-3(2013), pp 396-406.
- [3] Pallas, M.A.; Chatagnon, R.; Lelong, J. Noise emission assessment of a hybrid electric mid-size truck, *Applied Acoustics* 76(2014), pp 280-290.
- [4] Govindswamy K., T. Wellmann T., G. Eisele G. Aspects of NVH integration in hybrid vehicles. SAE Paper 2009-01-2085, 2009.
- [5] Bryant, M. Solving nvh issues in hybrid and EV powertrains, Transmission Engineer, Drive System Design Ltd, United Kingdom.
- [6] Fernández del Rincón, A.; Díez-Ibarbia, A.; Battarra, M.; Palenzuela, J.; Cervantes, G.; Walsh, S.; Theodossiades, S. NVH Analysis Techniques for Design and Optimization of Hybrid and Electric Vehicles; Subchapter 3A: Transfer Path Analysis for vehicle NVH refinement: Application on EV / HEV vehicles, Edit. Sahker Verlag, Aachen, Alemania, 2016.
- [7] Cervantes-Madrid, G; Palenzuela-Andújar, J; Díez-Ibarbia, A; Battarra, M; Theodossiades, S; Walsh, S; Peral-Orts, R; Campillo-Davo, N. An application of operational path analysis (OPA) on an electric car. 45º Congreso Español de Acústica– Tecniacustica, Murcia, 2014.
- [8] Palenzuela-Andújar, J; Cervantes-Madrid, G; Díez-Ibarbia, A; Theodossiades S; Walsh, S; Peral-Orts, R; Campillo-Davo, N. Transfer Path Analysis in an electrical vehicle. Comparison with Operational Path Analysis. 45º Congreso Español de Acústica– Tecniacustica, Murcia, 2014.
- [9] Pluymers, B.; Desmet, W. Design and dynamic characterization of lightweight materials that meet automotive NVH targets, 8th International Styrian Noise, Vibration & Harshness Congress, Graz, Austria, 2014.
- [10] Vivolo, M. Vibro-acoustic characterization of lightweight panels by using a small cabin, PhD thesis, K.U.Leuven, division PMA, 2013.
- [11] Jonckheere, S.; Vivolo, M.; Pluymers, B.; Vandepitte, D.; Desmet, W. Vibro-acoustic characterisation of lightweight structures: A numerical-experimental approach, 7th International Styrian Noise, Vibration & Harshness Congress, Graz, Austria, 2012.
- [12] Jonckheere, S.; Deckers, E.; Brandolisio, D.; Claeys, C.; Pluymers, B.; Desmet, W. NVH Analysis Techniques for Design and Optimization of Hybrid and Electric Vehicles; Subchapter 3C: Numerical-experimental vibro-acoustic characterisation of lightweight materials using a novel test setup, Edit. Sahker Verlag, Aachen, Alemania, 2016.
- [13] D'Ortona, V.; Vivolo, M.; Pluymers, B.; Vandepitte, D.; Desmet, W. Experimental identification of noise reduction properties of honeycomb panels using a small cabin. In Proceedings of Transport Research Arena 2014, TRA 2014, Paris, France, 2014.
- [14] de-Juan, A.; Garcia, P.; Fernandez del Rincon, A.; Díez-Ibarbia, A.; Iglesias, M.; Viadero, F., Analysis of human-induced vibrations in a lightweight framework, *Applied Acoustics*, Volume 108, July 2016, pp 19-25.
- [15] Alessandro Fortino, Jan-Welm Biermann, Lutz Eckstei, Jens Viehöfer. NVH Analysis Techniques for Design and Optimization of Hybrid and Electric Vehicles; Subchapter 3F: Interior and exterior noise evaluation of bus concepts for public transportation, Edit. Sahker Verlag, Aachen, Alemania, 2016.
- [16] B. Forrier, F. Naets and W. Desmet, «Virtual sensing on mechatronic drivetrains using multiphysical models», in ECCOMAS 2015.
- [17] Berckmans, D.; Pluymers, B.; Sas, P.; Desmet, W. Testing research activities at the Noise & Vibration Research Group of the K.U.Leuven. *European Journal of Mechanical Engineering*, 2011 (1), pp 15-21.
- [18] Campillo-Davo, N.; Peral-Orts, R.; Velasco-Sanchez, E.; Campello-Vicente, H. An experimental procedure to obtain sound power level of tyre/road noise under Coast-By conditions, *Applied Acoustics*, Volume 74, Issue 5, May 2013, pp 718-727.
- [19] Zofka, A.; Maliszewski, M.; Zofka, E. NVH Analysis Techniques for Design and Optimization of Hybrid and Electric Vehicles; Subchapter 3H: An Innovative noise measurement method using OBSle, Edit. Sahker Verlag, Aachen, Alemania, 2016.
- [20] Campello-Vicente, H.; Peral-Orts, R.; Campillo-Davo, N.; Velasco-Sanchez, E. The effect of electric vehicles on urban noise maps, *Applied Acoustics*, Volume 116, 15 January 2017, pp 59-64.
- [21] Peral-Orts, R.; Walsh, S. Experimental noise characterization of an electric vehicle. Final Conference TUD COST ACTION TU1105; NVH analysis techniques for design and optimization of hybrid and electric vehicles, Elche, 2016.



decustik®



Soluciones acústicas personalizadas
para sus proyectos



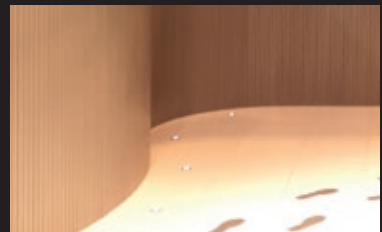
Sistema D+
Decustik
plus



Sistema PAR
Paneles acústicos
ranurados



Sistema PAP
Paneles acústicos
perforados



Sistema PAC
Paneles acústicos
curvados

Consulta todos los productos
y características en: www.decustik.com

Pol. Ind. Mas Les Vinyes
C/ Llevant 2 / 08570 Torelló (Bcn)
T 902006430 / comercial@decustik.com