

Caracterización sonora del ruido generado por estaciones de carga rápida para vehículos eléctricos

Sound characterization of the noise generated by fast charging stations for electric vehicles

Caracterização sonora do ruído gerado por estações de carregamento rápido para veículos elétricos

David Clar García, Miguel Fabra Rodríguez, Héctor Campello Vicente, Emilio Velasco Sánchez

Instituto de Investigación en Ingeniería de Elche, Universidad Miguel Hernández de Elche. Correo electrónico: dclar@umh.es

Resumen

Los vehículos eléctricos constituyen un elemento central en la descarbonización del transporte y contribuyen a la reducción de la contaminación acústica urbana. Sin embargo, este trabajo identifica una desventaja específica de las estaciones de carga rápida de corriente continua: la emisión de ruido de alta frecuencia durante la sesión de carga, que puede resultar molesta para los residentes próximos. Se analiza la emisión sonora de una muestra representativa de estaciones de carga rápida de corriente continua de los principales fabricantes del mercado europeo, con el fin de ofrecer herramientas concretas que permitan a fabricantes, instaladores y operadores reducir las molestias acústicas generadas por estos equipos.

Palabras clave: vehículo eléctrico; carga rápida en CC; emisión sonora; ruido ambiental; contaminación acústica.

Abstract

Electric vehicles are a central element in the decarbonisation of transport and contribute to the reduction of urban noise pollution. However, this work identifies a specific drawback of DC fast-charging stations: the emission of high-frequency noise during charging sessions, which may prove disturbing to nearby residents. The acoustic emissions of a representative sample of DC fast-charging stations from the leading manufacturers in the European market are analysed, with the aim of providing practical tools to help manufacturers, installers and operators reduce the noise disturbance generated by these stations.

Keywords: electric vehicle; DC fast charging; acoustic emission; environmental noise; noise pollution.

Resumo

Os veículos elétricos constituem um elemento central na descarbonização do transporte e contribuem para a redução da poluição sonora urbana. No entanto, este trabalho identifica uma desvantagem específica das estações de carregamento rápido em corrente contínua: a emissão de ruído de alta frequência durante a sessão de carregamento, que pode revelar-se perturbadora para os residentes próximos. Analisa-se a emissão sonora de uma amostra representativa de estações de carregamento rápido em corrente contínua dos principais fabricantes do mercado europeu, com o objetivo de disponibilizar ferramentas concretas que permitam a fabricantes, instaladores e operadores reduzir as perturbações acústicas geradas por estes equipamentos.

Palavras-chave: veículo elétrico; carregamento rápido em CC; emissão sonora; ruído ambiental; poluição acústica.

1. INTRODUCCIÓN

Los vehículos eléctricos representan una opción real para avanzar hacia la descarbonización del sistema energético, en particular en el sector del transporte. El cumplimiento de los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero del Acuerdo de París exige medidas concretas en sectores como el transporte por carretera, donde el fomento de la movilidad sostenible mediante el vehículo eléctrico ocupa un lugar central. Aun así, las limitaciones tecnológicas de los vehículos eléctricos frente a los de combustión siguen condicionando su penetración en el mercado.

La autonomía y el tiempo de recarga son las dos restricciones más citadas, aunque ambas han mejorado notablemente en los últimos años. En la mayoría de los escenarios de uso habitual, incluidos los desplazamientos de larga distancia, los tiempos de viaje con un vehículo eléctrico son solo entre un 11% y un 27% superiores a los de un vehículo de combustión interna (ICE) [1,2]. En recorridos largos, la disponibilidad de infraestructura de carga rápida resulta determinante para equiparar los tiempos totales de viaje; con cargadores de 350 kW se prevé que sea posible completar una parada de recarga cada 2–3 horas de conducción [3].

Desde el punto de vista acústico, la sustitución de vehículos de combustión por eléctricos ha reducido los

niveles de ruido en las ciudades, especialmente en zonas con alta densidad de tráfico [4,5]. Sin embargo, la expansión de la red de carga rápida en corriente continua —el método de recarga dominante en la actualidad [6]— ha introducido una nueva fuente de contaminación acústica. Estas estaciones, cada vez más presentes en entornos comerciales, laborales e incluso residenciales, generan ruido de alta frecuencia durante la sesión de carga que ha provocado quejas vecinales y, en algunos casos, restricciones operativas en instalaciones concretas.

El ruido es una de las principales molestias en entornos urbanos [7], y la Organización Mundial de la Salud lo ha identificado como el segundo factor ambiental con mayor contribución a la carga de enfermedad en los países de la Unión Europea [8]. Su impacto sobre las personas depende tanto de las características físicas del sonido como de variables individuales —sensibilidad personal, predisposición genética, estado psicológico, hábitos de vida— que modulan la respuesta subjetiva al ruido [10–12].

Este trabajo analiza la emisión y la propagación sonora de una muestra representativa de estaciones de carga rápida en corriente continua de los principales fabricantes del mercado europeo. El objetivo es proporcionar herramientas concretas que permitan a fabricantes, instaladores y operadores reducir las molestias acústicas generadas por estos equipos.

2. MATERIALES Y METODOLOGÍA

2.1. Procedimiento de medición del ruido

El procedimiento de medición aplicado se basa en el Anexo 4 del Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, que desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en materia de zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas [13], y en la norma ISO 1996:2016, Acústica—Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental [14]. Estas referencias establecen los criterios y límites para evaluar el ruido ambiental según el tipo de zona (residencial, industrial, sanitaria, etc.) y el período horario (día, tarde o noche).

Conforme a esta normativa, la fuente emisora debe operar en el modo más ruidoso posible durante la medición. En las estaciones de carga rápida, eso equivale a cargar al máximo de potencia disponible. Dado que el nivel de emisión varía según el lado del equipo, se realizaron mediciones en los cuatro lados. En cada uno se registraron 5 mediciones a 1,5 m de la superficie del cargador y a 1,5 m de altura sobre el suelo, expresadas como L_{Aeq} (dBA) con un período de integración de 10 segundos.

Con la estación detenida, se midió el ruido de fondo en los mismos puntos y con idéntico protocolo: 5 mediciones a 1,5 m de distancia y a 1,5 m de altura, expresadas como L_{Aeq} (dBA) durante 10 segundos.

2.2. Correcciones de las mediciones de ruido

Para aislar la contribución de la fuente y excluir el efecto del ruido de fondo, se aplicaron factores de corrección conforme a la normativa. El análisis de los valores registrados determina en cada caso qué correcciones son aplicables.

2.2.1. Correcciones por ruido de fondo

Cuando el nivel evaluado supera el ruido de fondo en más de 10 dBA no se aplica corrección. Si la diferencia está entre 3 y 10 dBA, se corrige el nivel según la ecuación (1):

$$L_{Aeq,corr} = 10 \cdot \log \left(10^{L_{Aeq}/10} - 10^{L_{Aeq,background}/10} \right) \quad (1)$$

Si el nivel evaluado no supera el ruido de fondo en 3 dBA, la medición se descarta y se repite cuando el ambiente sonoro desciende a valores admisibles.

2.2.2. Correcciones por componentes tonales emergentes (K_t)

Se realizó un análisis en tercios de octava con el cargador en funcionamiento y detenido. Cuando la diferencia entre nivel evaluado y ruido de fondo está entre 3 y 10 dB, se aplica la corrección según la ecuación (2):

$$L_{f_{eq},corr} = 10 \cdot \log \left(10^{L_{f_{eq}}/10} - 10^{L_{f_{eq},background}/10} \right) \quad (2)$$

Si la diferencia supera 10 dB no se aplica corrección; si no alcanza 3 dB, la medición se descarta. El componente tonal K_t se obtiene a partir de L_t , donde $L_t = L_f - L_s$ (L_f es el nivel de la banda emergente y L_s la media aritmética de las bandas adyacentes), conforme a los valores de la Tabla 1.

Tabla 1: Componente Tonal K_t .

	L_t (dB)	Tonal Component K_t (dB)
From 20 to 125 Hz	If $L_t < 8$	0
	If $8 \leq L_t \leq 12$	3
	If $L_t > 12$	6
From 160 to 400 Hz	If $L_t < 5$	0
	If $5 \leq L_t \leq 8$	3
	If $L_t > 8$	6
From 500 to 10000 Hz	If $L_t < 3$	0
	If $3 \leq L_t \leq 5$	3
	If $L_t > 5$	6

2.2.3. Correcciones por componentes de baja frecuencia

Cuando el nivel evaluado excede el ruido de fondo en más de 10 dBC no se aplica corrección. Si la diferencia está entre 3 y 10 dBC, se corrige L_{Ceq} según la ecuación (3):

$$L_{Ceq,corr} = 10 \cdot \log \left(10^{L_{Ceq}/10} - 10^{L_{Ceq,background}/10} \right) \quad (3)$$

Asimismo, si la diferencia en dBA está entre 3 y 10, se aplica la corrección L_{Aeq} según la ecuación (4):

$$L_{Aeq,corr} = 10 \cdot \log \left(10^{L_{Aeq}/10} - 10^{L_{Aeq,background}/10} \right) \quad (4)$$

El componente de baja frecuencia K_f se determina en función de L_f conforme a la Tabla 2.

Tabla 2: Componente de baja frecuencia K_f

L_f (dB)	Componente de baja frecuencia K_f (dB)
If $L_f \leq 10$	0
If $10 > L_f \leq 15$	3
If $L_f > 15$	6

2.2.4. Correcciones por impulsividad

Los sonidos con componentes impulsivos se caracterizan por niveles de presión elevados y duración breve. El esquema de corrección sigue el mismo criterio: sin corrección cuando el nivel evaluado supera el fondo en más de 10 dBA; corrección según la ecuación (5) si la diferencia está entre 3 y 10 dBA:

$$L_{Aeq,corr} = 10 \cdot \log \left(10^{L_{Aeq}/10} - 10^{L_{Aeq,background}/10} \right) \quad (5)$$

La componente impulsiva K_i se determina a partir de $L_i = L_{Aeq,corr,Ti} - L_{Aeq,corr,Ti}$ (ecuación 6), conforme a la Tabla 3.

Tabla 3: Componente impulsiva K_i

L_i (dB)	K_i (dB)
Si $L_i \leq 10$	0
Si $10 > L_i \leq 15$	3
Si $L_i > 15$	6

2.3. Estaciones de carga rápida de CC evaluadas

Para que los resultados fueran representativos y las conclusiones sólidas, se seleccionó una muestra amplia de estaciones de corriente continua de los principales fabricantes del mercado europeo, que incluye modelos de carga rápida (50 kW), superrápida (100–150 kW) y ultrarrápida (>150 kW). La relación completa de equipos ensayados figura en la Tabla 4.

Todas las estaciones evaluadas incorporan conectores CCS Combo 2, estándar de carga rápida en la UE. Algunos modelos más antiguos —como el Ingeteam Rapid 50 Trio— disponen también de conector Tipo 2 para carga alterna trifásica (11–43 kW) y CHAdeMO, el estándar japonés de carga rápida en CC (hasta 63 kW), desplazado por CCS en los modelos más recientes. El trabajo se centró exclusivamente en las emisiones asociadas al conector CCS, ya que la carga alterna rápida no produce ruido apreciable y el CHAdeMO no está presente en la nueva generación de cargadores.

Tabla 4: Estaciones de carga rápida

Fabricante	Modelo	Potencia Máxima de Carga (kW)
Ingeteam (Spain)	Rapid 50	50
	One/Duo/Trio	
	Rapid 60 Duo	60
	Rapid 180 Duo	180
Circuitor (Spain)	Rapid ST 200	200
	Rapid ST 400	400
	Raption 50 Trio	50
	Raption 100	100
Alpitronic (Italy)	HYC 50	50
Wall Box (Spain)	Supernova 60	60
ABB (Switzerland)	Supernova 150	150
	Terra 124HC CC	120
Tesla (U.S.A.)	HP CP500 CJ	175
	V2	150
GSS Power (Spain)	V3	250
	DP-ESC-193	160

La Figura 1 muestra, a la izquierda, un cargador de primera generación de 50 kW (Ingeteam Rapid 50 Trio) con los tres tipos de conector y, a la derecha, un cargador de 180 kW de última generación (Ingeteam Rapid 180) con conectores CCS Combo 2 únicamente.

2.4. Configuración de medición y disposición de los micrófonos

La configuración de la medición y la disposición de los micrófonos responden al mismo marco normativo: Anexo 4 del R.D. 1367/2007 e ISO 1996:2016. Las mediciones se realizaron en los cuatro lados de cada cargador, con los micrófonos situados a 1,5 m de cada superficie lateral y a 1,5 m de altura, tal y como muestra la Figura 2.

El registro sonoro abarcó el rango de 80 Hz a 20 kHz, con señales de 10 s y un tiempo de integración de 125 ms (modo Fast). Los datos se procesaron en bandas de un tercio de octava, considerando cinco mediciones por punto y por condición de ruido de fondo.

2.5. Instrumentación y condiciones ambientales

Todos los equipos de medición utilizados cumplen los requisitos de precisión Tipo 1/Clase 1 definidos en la norma IEC 61260 sobre filtros de banda de octava y fracciones de banda de octava [15]. La Tabla 5 recoge el instrumental empleado.

Tabla 5: Instrumentación utilizados en las pruebas.

Instrumentación	Modelo
Analizador de presión acústica modular tipo 1	Brüel & Kjær 2250
Analizador de presión acústica modular tipo 1	Brüel & Kjær 2260
Calibrador de sonido para micrófonos	Brüel & Kjær 4231
Termo-hidro-anemómetro	PCE-THA 10



Figura 1. Estaciones de carga rápida Ingeteam Rapid 50 Trio



Figura 2. Configuración de los micrófonos. Vista frontal y lateral

Las pruebas se realizaron en condiciones reales de operación. Para cada medición se registró el ruido de fondo y se aplicaron las correcciones pertinentes. Las mediciones en que el nivel evaluado no superaba en 3 dBA el ruido de fondo fueron descartadas y repetidas. Según la norma ISO 9613-2 [16], la velocidad del viento no superó en ningún caso los 5 m/s, verificado con el anemómetro calibrado PCE-THA 10. La temperatura ambiente se mantuvo entre 14 y 26 °C y la humedad relativa entre el 42% y el 73%, dentro de los rangos exigidos por el R.D. 1367/2007 (0–40 °C y 20–100%, respectivamente).

Parte de las mediciones se realizó en el Smart Mobility Lab de Iberdrola (Bilbao, España), en condiciones de laboratorio controladas y con un ruido de fondo muy

reducido. Este entorno permitió ensayar variables de carga adicionales, incluida la evaluación de un dispositivo de amortiguación acústica diseñado para los cargadores de primera generación.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Tras aplicar las correcciones normativas a cada estación de carga, se calcularon los niveles de presión sonora (SPL). La Figura 5 compara los valores de SPL —medidos y corregidos— para todos los cargadores evaluados. El límite de 65 dBA establecido por la normativa queda representado como una línea negra horizontal.



Figura 3. Pruebas en puntos de carga públicos.



Figura 4. Smart Mobility Lab de Iberdrola, Bilbao (España)

La mayor parte de los cargadores rápidos en CC superó dicho límite. El Ingeteam Rapid de 50 kW fue el equipo más ruidoso, mientras que algunos cargadores ultrarrápidos (>100 kW) resultaron más silenciosos que modelos de menor potencia nominal. Para comparar en detalle los espectros de los dieciséis equipos evaluados, se realizó un análisis frecuencial cuyos resultados se presentan conjuntamente en la Figura 6. Los modelos Ingeteam Rapid de 50 kW, identificados en negro, aparecen en la parte superior del gráfico. En el extremo opuesto, Wall Box Supernova 150 kW, Tesla V2 150 kW e Ingeteam Rapid ST 400 presentan los niveles de emisión más bajos.

La diferencia entre generaciones es pronunciada: los cargadores de primera generación (50 kW) son considerablemente más ruidosos que los de última generación (>100 kW). Solo los primeros superan los niveles máximos admisibles para zonas residenciales; varios cargadores de alta potencia presentan emisiones casi imperceptibles para el oído humano. La Figura 7 muestra los espectros promedio agrupados por potencia nominal: primera generación Ingeteam Rapid de 50 kW (negro), 100–150 kW (azul), 150–200 kW (verde) y más de 200 kW (rojo). El grupo de 50 kW concentra los niveles más altos en todo el espectro, con diferencias especialmente marcadas en las frecuencias altas.

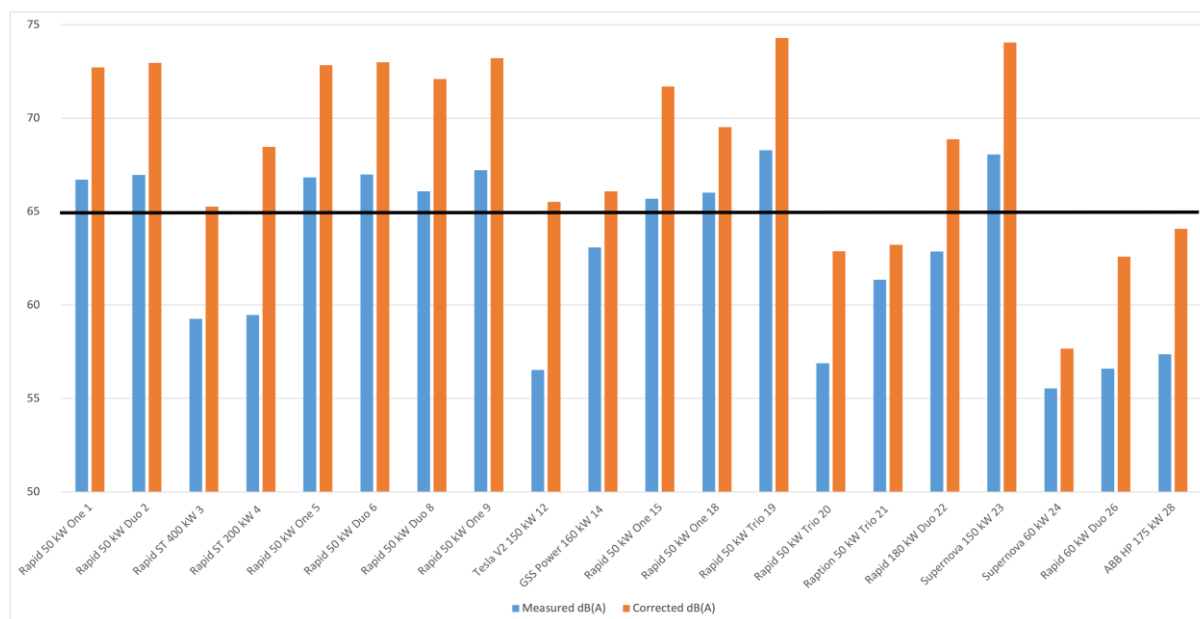


Figura 5. Niveles de presión sonora medidos y corregidos para todos los cargadores rápidos de CC evaluados

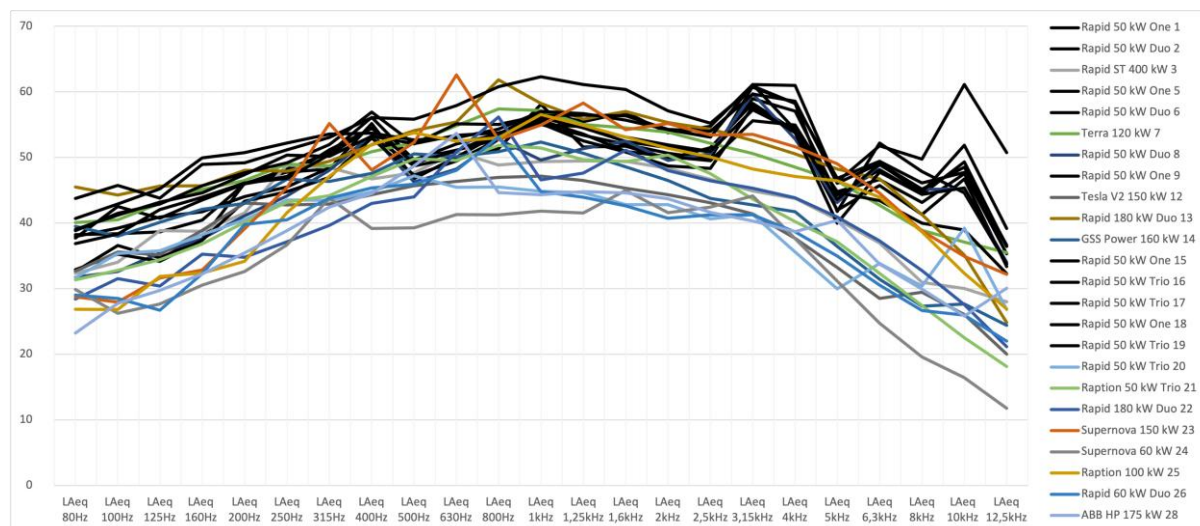


Figura 6. Espectros de emisión de ruido (dB(A)) para todos los cargadores rápidos de CC ensayados

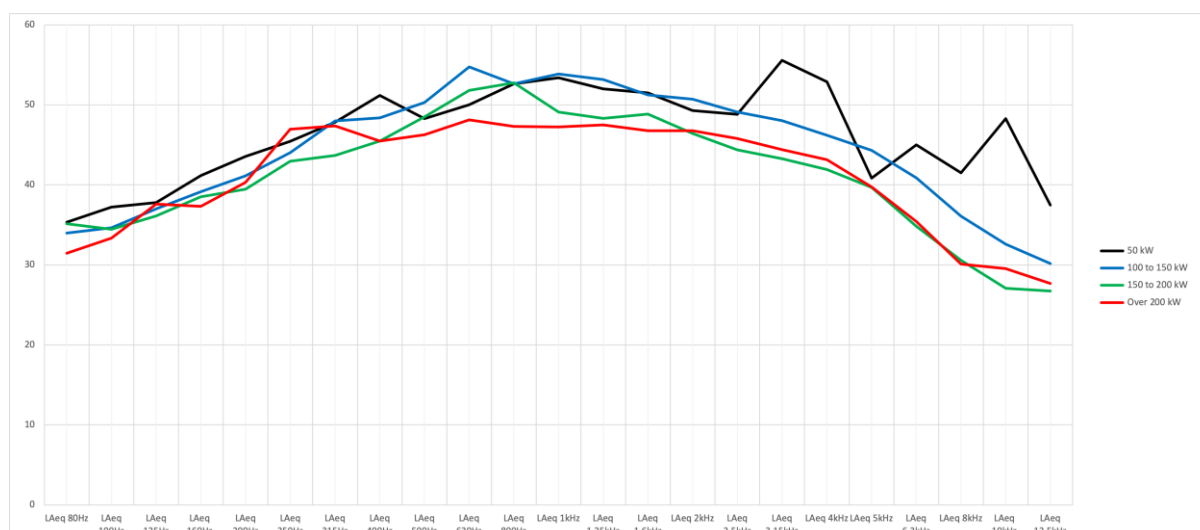


Figura 7. Espectros promedio de emisión de ruido (dB(A)) para los cargadores ensayados, clasificados por potencia nominal

Dado que solo los cargadores de primera generación incumplen la normativa de ruido, el análisis se centró en ellos para identificar y evaluar posibles estrategias de reducción de emisiones, incluyendo el estudio de la propagación sonora.

La Figura 8 recoge los espectros de los diferentes modelos Ingeteam Rapid de 50 kW (One, Duo y Trio).

Sus perfiles son muy similares entre sí, con dos picos tonales destacados: uno en torno a 3150–4000 Hz y otro en 10 000 Hz. Son precisamente estas frecuencias altas las que superan los límites normativos y las que generan mayor molestia subjetiva.

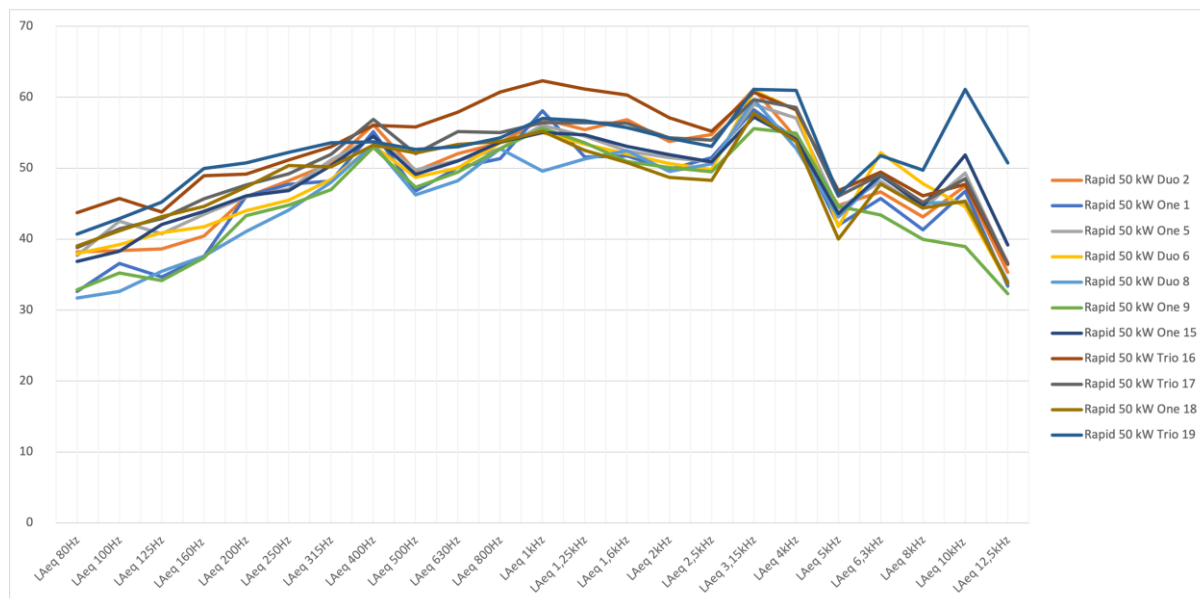


Figura 8. Comparación entre los espectros de emisión de ruido (dBA) de diferentes cargadores Ingeteam Rapid de 50 kW

Para reducir las emisiones, se ensayaron distintas estrategias. La primera consistió en instalar un dispositivo de amortiguación acústica sobre la superficie del cargador, compuesto por tres cubiertas

metálicas —dos laterales y una trasera— rellenas de paneles de espuma absorbente de alta densidad. La Figura 9 muestra este dispositivo montado sobre un Ingeteam Rapid 50 kW Trio.



Figura 9. Estación de carga rápida Ingeteam Rapid 50 kW Trio con dispositivo de amortiguación acústica instalado

Los resultados, recogidos en la Figura 10, indican que el dispositivo logró reducciones en prácticamente todas las bandas de un tercio de octava, pero de escasa magnitud: inferiores a 2 dB en las frecuencias de 4 y 10 kHz, que son las más determinantes para la molestia y para el cumplimiento normativo. Esta reducción

resulta insuficiente para que la mayoría de los cargadores ensayados queden por debajo del límite de 65 dBA, aunque tres equipos (Rapid ST 400 kW, Tesla V2 150 kW y GS Power 160 kW) sí podrían beneficiarse de ella.

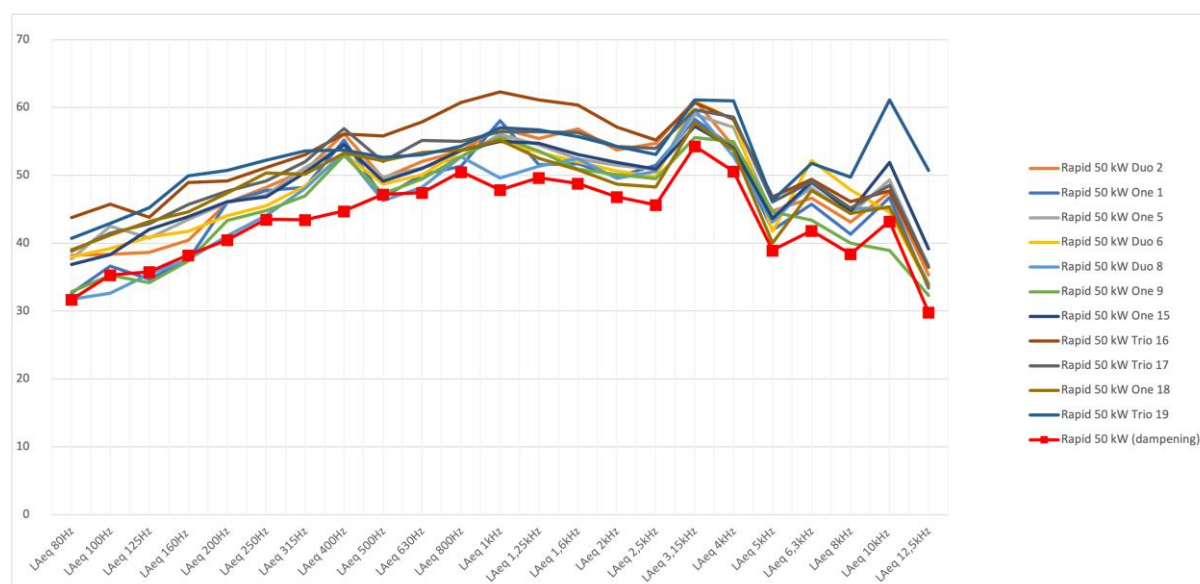


Figura 10. Espectros de emisión de ruido (dBA) de todas las estaciones de carga rápida Ingeteam Rapid de 50 kW analizadas

4. CONCLUSIONES

Se evaluaron dos estrategias para reducir las emisiones de ruido de los cargadores rápidos de primera generación (50 kW).

Dispositivo de amortiguación acústica superficial. La instalación de este dispositivo produjo reducciones modestas —inferiores a 2 dB en las bandas de 4 y 10 kHz— insuficientes para cumplir los límites normativos en la mayoría de los equipos ensayados. Considerando su coste y los resultados obtenidos, la relación coste/beneficio de esta solución es desfavorable frente a las alternativas disponibles.

Orientación del cargador. El análisis de propagación mostró que el lado frontal es el menos ruidoso, mientras que los restantes presentan niveles similares. Orientar el cargador de modo que el frente apunte hacia las zonas habitadas podría reducir levemente la molestia, pero su eficacia es limitada: existe un único lado más silencioso y otros condicionantes —orientación de la pantalla, disposición de los cables— restringen las opciones de instalación.

Los cargadores de última generación (>100 kW) no presentan problemas acústicos. El conflicto se concentra en los cargadores de primera generación de 50 kW, que exceden los límites normativos y para los cuales las medidas correctoras ensayadas resultan insuficientes o de eficacia limitada. En consecuencia, la solución más fiable no pasa por actuar sobre el equipo una vez instalado, sino por una planificación adecuada de su emplazamiento.

Los cargadores de 50 kW pendientes de instalación deberían ubicarse preferiblemente en áreas de servicio de autopista, junto a equipos de mayor potencia,

donde los usuarios pueden elegir la velocidad de carga y el entorno no impone restricciones acústicas. La instalación de estos equipos en entornos urbanos o residenciales no es recomendable, dado que sus emisiones no pueden mitigarse de forma efectiva con las medidas evaluadas. En esos entornos, los puntos de carga en corriente alterna de 11–22 kW, prácticamente silenciosos, constituyen una alternativa más adecuada.

FINANCIACIÓN Y AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por las ayudas a proyectos de investigación de la Universidad Miguel Hernández correspondientes al año 2024. Los autores agradecen el apoyo de los miembros del Laboratorio de Vehículos de la UMH y del equipo del Smart Mobility Lab de Iberdrola en Larraskitu, Bilbao (España).

REFERENCIAS

- [1] Collin, R.; Miao, Y.; Yokochi, A.; Enjeti, P.; von Jouanne, A. Advanced Electric Vehicle Fast-Charging Technologies. *Energies* 2019, 12, 1839. <https://doi.org/10.3390/en12101839>.
- [2] Hamednia, N.; Murgovski, J.; Fredriksson, J.; Forsman, M.; Pourabdollah; Larsson, V. Optimal Thermal Management, Charging, and Eco-Driving of Battery Electric Vehicles. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 2023, 72, 7265–7278. <https://doi.org/10.1109/TVT.2023.3240279>.
- [3] Baltazar, J.; Vallet, F.; Garcia, J. A model for long-distance mobility with battery electric vehicles. *Procedia CIRP* 2022, 109, 334–339. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.259>.

- [4] Campello-Vicente, H.; Peral-Orts, R.; Campillo-Davo, N.; Velasco-Sanchez, E. The effect of electric vehicles on urban noise maps. *Appl. Acoust.* 2017, 116, 59–64. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.09.018>.
- [5] Mastoi, M.S.; et al. An in-depth analysis of electric vehicle charging station infrastructure, policy implications, and future trends. *Energy Rep.* 2022, 8, 11504–11529. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.09.011>.
- [6] Leijon, J.; Boström, C. Charging Electric Vehicles Today and in the Future. *World Electr. Veh. J.* 2022, 13, 139. <https://doi.org/10.3390/wevj13080139>.
- [7] Kogan, P.; Arenas, J.P.; Bermejo, F.; Hinalaf, M.; Turra, B. A Green Soundscape Index (GSI). *Sci. Total Environ.* 2018, 642, 463–472. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.023>.
- [8] World Health Organization. Burden of Disease from Environmental Noise: Quantification of Healthy Life Years Lost in Europe. WHO Regional Office for Europe, 2011.
- [9] Riedel, N.; van Kamp, I.; et al. Considering non-acoustic factors as social and environmental determinants of health equity. *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.* 2021, 11, 100445. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100445>.
- [10] Mitchell, A.; et al. Effects of Soundscape Complexity on Urban Noise Annoyance Ratings. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19, 14872. <https://doi.org/10.3390/ijerph192214872>.
- [11] van Kamp, I.; Davies, H. Noise and health in vulnerable groups: A review. *Noise Health* 2013, 15, 153–159. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.112361>.
- [12] Waye, K.P.; et al. Low frequency noise enhances cortisol among noise sensitive subjects during work performance. *Life Sci.* 2002, 70, 745–758. [https://doi.org/10.1016/S0024-3205\(01\)01450-3](https://doi.org/10.1016/S0024-3205(01)01450-3).
- [13] Real Decreto 1367/2007, de 19 de Octubre. Zonificación Acústica, Objetivos de Calidad y Emisiones Acústicas. BOE-A-2007-18397.
- [14] ISO 1996:2016. Acoustics—Description, Measurement and Assessment of Environmental Noise. ISO: Geneva, 2016.
- [15] IEC 61260-1:2014. Electroacoustics—Octave-Band and Fractional-Octave-Band Filters. ISO: Geneva, 2014.
- [16] ISO 9613-2. Acoustics—Attenuation of Sound During Propagation Outdoors. ISO: Geneva, 1996.
- [17] Suarez, C.; Martinez, W. Fast and Ultra-Fast Charging for Battery Electric Vehicles—A Review. *IEEE ECCE 2019*, pp. 569–575. <https://doi.org/10.1109/ECCE.2019.8912594>.
- [18] Tu, H.; Feng, H.; Srdic, S.; Lukic, S. Extreme Fast Charging of Electric Vehicles: A Technology Overview. *IEEE Trans. Transp. Electrification* 2019, 5, 861–878. <https://doi.org/10.1109/TTE.2019.2958709>.