

METODOLOGÍAS DE MUESTREO PARA EL DISEÑO DE SEÑALES DE ADVERTENCIA EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

PACS: 43.50.Lj

Peral Orts, Ramón²; Poveda Martínez, Pedro¹; Ramis Soriano, Jaime¹; Campello Vicente, Héctor²; Ivorra, Salvador¹; Campillo, Nuria²; Sánchez, Miguel²; Godinho, Luis³; Ferreira, Andreia³; Mendes, Paulo A.³; Barrigón, Juan M.⁴

¹ Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal. Universidad de Alicante.

Carretera San Vicente del Raspeig s/n. 03690 San Vicente del Raspeig, Alicante. España.

² Departamento de Ingeniería Mecánica y Energía. Universidad Miguel Hernandez de Elche.

³ Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Coimbra.

⁴ Departamento de Física Aplicada. Universidad de Extremadura.

Tel. 96 590 34 00. Fax. 96 590 34 64

Email: ramon.peral@umh.es; pedro.poveda@ua.es

ABSTRACT

At low speeds, relatively normal in urban areas, the use of electric or hybrid vehicles produces causes safety problems. This fact leads to the need to design some warning sound. It is therefore necessary to consider two issues. The signal must have a certain level, spectrum and an appropriate timing to be perceived in all urban environments where electric vehicles can be used. Besides, the sound should not disturb the people. To design and evaluate this signal will be necessary to define the different acoustic environments where it will be used. This is the main objective of this paper.

RESUMEN

A bajas velocidades, relativamente normales en el ámbito urbano, el uso de vehículos eléctricos o híbridos genera problemas de seguridad. Este hecho conduce a la necesidad de diseñar señales de advertencia y para ello es necesario considerar dos aspectos. La señal debe tener el nivel, espectro y temporalidad adecuada para que sea percibida en todos los ambientes urbanos donde se puedan utilizar los vehículos y no resulte molesta para las personas. Para diseñar y evaluar esta señal será necesario, en consecuencia, definir los tipos de entornos acústicos en los que será utilizada. Este es el objetivo de esta comunicación.

INTRODUCCIÓN

Las previsiones de demanda para vehículos eléctricos e híbridos vaticinan un crecimiento significativo durante la próxima década, estimándose un total de 8 millones en 2020 [1]. Este tipo de vehículos satisfacen las expectativas del consumidor reduciendo las emisiones de gases en las ciudades y garantizando una calidad del aire mayor en entornos urbanos. Sin embargo, el bajo ruido emitido por este tipo de vehículos puede suponer un riesgo para los peatones, especialmente para aquellos con algún tipo de discapacidad visual.

Para situaciones donde la velocidad de circulación supera cierto valor, el ruido generado por el contacto entre neumático y el firme puede ser suficiente para advertir al peatón de la presencia de un vehículo. Sin embargo, existen numerosas zonas del área urbana donde la circulación de vehículos está limitada a una velocidad baja. En este caso, el ruido emitido por un vehículo eléctrico puede ser enmascarado por el ruido de fondo existente, incrementándose así el nivel de riesgo para el peatón. Según un estudio realizado por la National Highway Traffic Safety Administration [2], la posibilidad de producirse un accidente para el peatón es dos veces superior en presencia de vehículos híbridos. Por esta razón es necesario el uso de sonidos de advertencia que alerten al peatón de la presencia de un vehículo en condiciones de baja velocidad.

Los sonidos de advertencia utilizados deberán poseer unas características físicas apropiadas y adecuadas al ambiente sonoro en el que se encuentren inmersos, garantizando que sean detectables en todos ellos y sin producir molestias a la población. Por ello, antes de diseñar estos sonidos es preciso conocer los diferentes entornos urbanos y establecer una clasificación en función de sus características acústicas. Esta clasificación será vital para determinar el grado de idoneidad de los sonidos de advertencia presentados por diferentes grupos y compañías automovilísticas [3][4], en lo referente a su detectabilidad y grado de molestia.

El objetivo del presente trabajo consiste en marcar las pautas previas de una metodología para la clasificación de entornos acústicos urbanos que puedan ser estadísticamente diferenciables, siendo sus características relevantes para el diseño y la evaluación de las señales de advertencia de los vehículos eléctricos o híbridos, así como la evaluación de la influencia de un sonido de advertencia. Es esencial considerar que los propios entornos, si son definidos sólo basándose en características urbanísticas, tendrán una variabilidad temporal en sus características acústicas, lo que podría afectar a la propia definición de entornos estadísticamente diferenciable. Por tanto, dicha variabilidad afectará también a las características de la señal de alerta adecuada para cada entorno y momento. Para definir esta metodología serán empleados parámetros característicos “no acústicos”, pero que definirán de forma clara la esencia sonora de un entorno urbano.

Este trabajo se enmarca dentro de un Proyecto SPIP2014-01406 (Estudio y Adecuación de los Sonidos de Advertencia en Vehículos Eléctricos), financiado por el Ministerio del Interior, Dirección General de Tráfico; y en el que participan conjuntamente la Universidad Miguel Hernández de Elche, la Universidad de Alicante, la Universidad de Extremadura y la Universidad de Coimbra (Portugal).

Clasificación sonora de ambientes sonoros

El método de caracterización de ambientes acústicos urbanos estará basado en trabajos previos del equipo investigador [5][6]. El método consiste en clasificar las distintas áreas en función de la capacidad y conexión con las diferentes zonas de la ciudad. Tendrá en cuenta que el tráfico es la fuente de ruido de mayor relevancia dentro de un área acotada y que, por tanto, puede ser considerada como la causa principal de la variación espacial y temporal del ruido. Algunos estudios [7] ponen de manifiesto la utilidad de diferentes parámetros para caracterizar temporalmente paisajes sonoros urbanos. Como resultado de investigaciones previas, se han empleado mediciones de corta duración para establecer las características sonoras de los entornos clasificados y poder así, realizar una evaluación previa sobre el enmascaramiento del ruido de advertencia en cada tipo de entorno sonoro.

De esta forma, es posible establecer una agrupación de ambientes sonoros típicos de una ciudad en función de sus características físicas.

En ciudades donde se dispone de mapas de ruido de acuerdo a la directiva 2002/49/CE es posible establecer una primera clasificación en función del nivel de ruido equivalente. Para cada localización es posible realizar un muestreo en diferentes puntos, realizando dos tipos de medida, corta duración (entre 10 y 20 min) y larga duración (1 semana). Los resultados mostrados en el presente trabajo son fruto del análisis y estudio de entornos sonoros a través de medidas de corta duración.

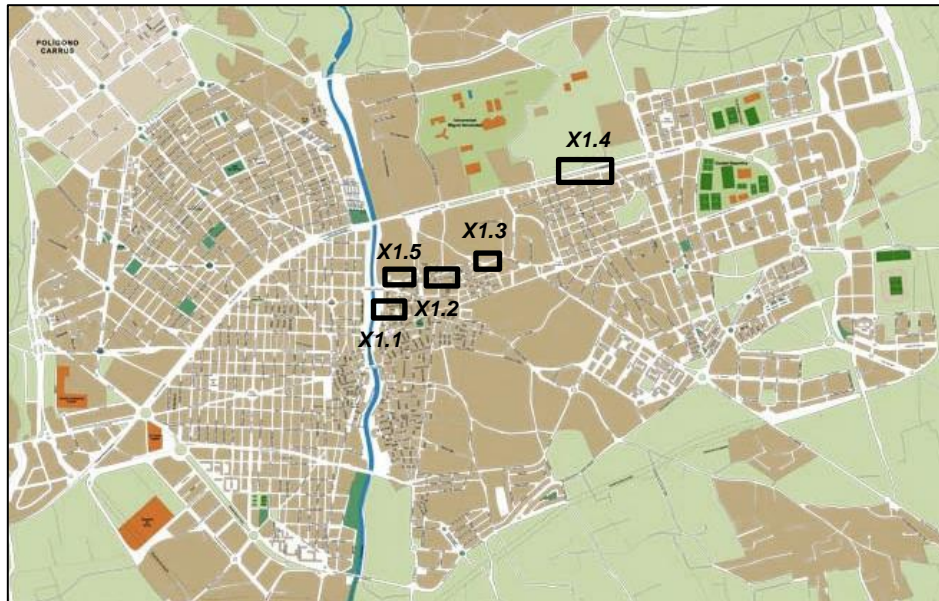


Figure 1. Zonas urbanas clasificadas según la metodología propuesta

A partir del análisis de los registros efectuados se dispondrá de la composición espectral del ruido para cada una de las localizaciones, así como su nivel de presión sonora y niveles máximos y mínimos durante el tiempo total de ensayo.

Variables para la clasificación de entornos sonoros

La agrupación de entornos sonoros urbanos propuesta se basa en una distribución cuantitativa de los niveles sonoros obtenidos durante las mediciones (LAeq) y un análisis cualitativo de un conjunto de parámetros “no acústicos” asociados a cada uno de los entornos. En esta fase previa de la investigación, estas variables cualitativas no directamente relacionadas con aspectos sonoros han sido agrupadas en tres bloques:

Asociados al tráfico rodado:

- Volumen medio de vehículos
- Velocidad de circulación
- Número de carriles
- Presencia de transporte público masivo (autobuses)
- Elementos frenado-aceleración, FA (rotondas, badenes, semáforos,...)

Asociados al medio:

- Elementos reflectantes
- Distancia de eje a fachada
- Espacios abiertos ajardinados

Asociados a otras fuentes de ruido

- Terrazas y/o zona de ocio
- Zona de influencia de otras fuentes de ruido tales como aeropuertos o líneas ferroviarias.

Tipologías de entorno

La metodología propuesta, y en fase de validación, se basará pues en la agrupación de entornos urbanos empleando las variables descritas en el apartado anterior. Esta clasificación de ambientes sonoros se ha estructurado en 5 estratos, donde los niveles sonoros van asociados a las características del entorno. La distribución propuesta para su análisis se compone de:

Entornos muy Silenciosos ($LA_{eq} < 60$ dBA):

- Calles peatonales o semi-peatonales con tránsito medio de personas y sin terrazas
- Calles con 1 sólo carril y tráfico muy bajo a baja velocidad y distancia entre fachadas
- Áreas de semi-peatonales del centro histórico de ciudad
- Sin circulación de transporte público masivo y sin elementos FA

Entornos Silenciosos (60 dBA $< LA_{eq} < 64$ dBA):

- Calles peatonales de mucho tránsito de personas y con terrazas y zonas de ocio próximas
- Vías con poco tráfico a baja velocidad y poca distancia entre fachadas y viales
- Velocidad de circulación entre 30 y 50 km/h
- Sin presencia significativa de medios de transporte público masivo y elementos FA

Entornos ni silenciosos ni ruidosos (64 dBA $< LA_{eq} < 68$ dBA):

- Vías de 1 o 2 carriles con tráfico medio-alto y dispuestas en espacios abiertos (zonas ajardinadas o parques)
- Vías de 1 carril con tráfico medio y fachadas próximas al vial
- Sin presencia significativa de medios de transporte público masivo

Entornos ruidosos (68 dBA $< LA_{eq} < 72$ dBA):

- Vías de 1 o 2 carriles con tráfico alto y dispuestas en espacios semi-abiertos o gran distancia entre fachada y viales
- Vías de 1 carril con tráfico alto y fachadas próximas al vial
- Vías con circulación evidente de transporte público masivo

Entorno muy ruidoso ($LA_{eq} > 72$ dBA):

- Vías de 2 o más carriles con tráfico muy alto, dispuestas en entornos con fachadas próximas a los viales con claros elementos de FA y/o elevada velocidad de circulación
- Vías con circulación evidente de transporte público masivo

Tabla 1: Características de los diferentes entornos sonoros

Variables cualitativas	Entornos sonoros				
	Muy Silencioso	Silencioso	Ni silencioso ni ruidoso	Ruidoso	Muy ruidoso
Volumen de tráfico	Bajo/nulo	Bajo	Bajo/Medio	Medio/alto	Alto
Velocidad de circulación	<30	30-50	30-50	50	50 o mas
Nº carriles	0-1	1	1-2	1-2	2 o más

Elementos de frenado	No	No	Si	Si	Si
Transporte público	No	No	No	Si	Si
Elementos reflectantes	No	No/si	No/si	Si/no	Si
Distancia entre eje del vial y fachadas	Elevada (Espacios abiertos)	Baja (sin tráfico)/ Elevada (poco tráfico)	Baja (poco tráfico)/ Elevada (tráfico medio)	Baja (tráfico medio)/ Elevada (tráfico elevado)	Baja
Presencia de terrazas (peatonales)	No	Si	Si	-	-

Caracterización de los sonidos de advertencia

En los últimos años, diversos grupos de investigación, compañías automovilísticas o reglamentos estatales, han establecido las características óptimas que deben cumplir los ruidos de advertencia para garantizar su detectabilidad y minimizar su molestia. Las conclusiones alcanzadas son muy dispares, presentando como resultado de su investigación una tipología de sonidos muy amplia.

Tras un análisis previo de diferentes publicaciones relacionadas con las características del ruido de advertencia, dos recomendaciones han sido empleadas para este trabajo:

- Norma Americana del Departamento de Transporte; National Highway Traffic Safety Administration [8]
- Sonidos propuestos como resultado del trabajo realizado en el Proyecto Europeo EVADER[9]

En la tabla 1 se muestran los espectros característicos para sonidos de advertencia extraídos de la bibliografía. Estos valores han sido normalizados y ajustados para un nivel de presión sonora equivalente de 60 dBA (nivel de presión sonora estimado percibido por el peatón).

Tabla 2. Espectros de referencia para los sonidos de advertencia, valores en dBA

Sonidos	Frecuencias															
	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1 KHz	1,6 KHz	1,2 KHz	2 KHz	3,15 KHz	4 KHz	5 KHz
FMVSS	-	-	-	-	52.5	53.5	53.5	-	-	-	-	-	52.5	49.5	47.5	44.5
EVADER1	-30.4	-26.9	-21.9	21.1	55.3	-4.7	18.7	52.9	49.5	55.6	-6.3	-12.4	-4.3	-11.2	-15.3	-12.7
EVADER2	-27.6	-24.8	-25.2	12.5	46.7	41.5	47.6	44.3	41.4	48.9	55.7	56.2	1.3	-15.3	-14.7	-12.4
EVADER3	1.4	3.7	8.1	30.5	48.5	41.6	59.2	29.5	15.3	51.2	17.5	-2.5	-8.7	-12.2	-14.2	-15.4

Estos espectros serán empleados para el estudio previo de la detección de un sonido de advertencia en cada uno de los ambientes sonoros propuestos en la presente investigación.

Muestras reales de los ambientes clasificados

A continuación se muestran los cinco ambientes sonoros caracterizados y medidos, que servirán de referencia para establecer el grado de detección (o enmascaramiento) de los sonidos de advertencia estudiados.

<p>Entorno muy silencioso Descripción:</p>		
<p>Zona semi-peatonal en la ladera del río Vinalopó, con una circulación muy reducida de vehículos para acceder a un área residencial. Sin elementos reflectantes significativos.</p>		
<p>Medición: Tiempo total de medida 10 min Adquisición y espectro cada 5 s</p>		
<p>L_{Aeq} 54,4</p>	<p>L_{Amax} 66,6</p>	<p>L_{Amin} 50,0</p>
<p>Entorno silencioso Descripción:</p>		
<p>Calle del centro histórico con circulación baja de vehículos (70 vehículos a la hora), sin circulación de transporte público masivo no elementos de FA. Distancia entre eje y fachada a ambos lados de la misma de 5,5 metros. Velocidad de circulación de 30 Km/h.</p>		
<p>Medición: Tiempo total de medida 10 min Adquisición y espectro cada 5 s</p>		
<p>L_{Aeq} 60,4</p>	<p>L_{Amax} 80,2</p>	<p>L_{Amin} 48,1</p>

Entorno ni silencioso ni ruidoso		
Descripción:		
<p>Avenida de 2 carriles con circulación de transporte público y sin elementos de FA. Sin edificios próximos a la vía y circulación media de vehículos (300 vehículos por hora)</p>		
Medición: Tiempo total de medida 10 min Adquisición y espectro cada 5 s		
L_{Aeq}	L_{Amax}	L_{Amin}
66,7	78,6	41.1



Entorno ruidoso		
Descripción:		
<p>Avenida de 2 carriles con circulación de transporte público y con elementos de FA (2 semáforos). Sin edificios próximos a uno de los lados de la vía y circulación elevada de vehículos (700 vehículos por hora)</p>		
Medición: Tiempo total de medida 20 min Adquisición y espectro cada 5 s		
L_{Aeq}	L_{Amax}	L_{Amin}
70,6	97,3	50,8



Entorno muy ruidoso		
Descripción:		
<p>Avenida de 2 carriles + carril Bus, con fachadas a ambos lados de la calzada y circulación permitida hasta 50 km/h. Volumen de tráfico muy alto ()</p>		
Medición:		
<p>Tiempo total de medida 10 min Adquisición y espectro cada 5 s</p>		
L_{Aeq}	L_{Amax}	L_{Amin}
73,6	92,2	60,1



En cada uno de ellos se han llevado a cabo medidas de corta duración (10-15 min) en las cuales se han realizados registros instantáneos de 5 segundos. Como resultado se dispone de los espectros de frecuencia medidos.

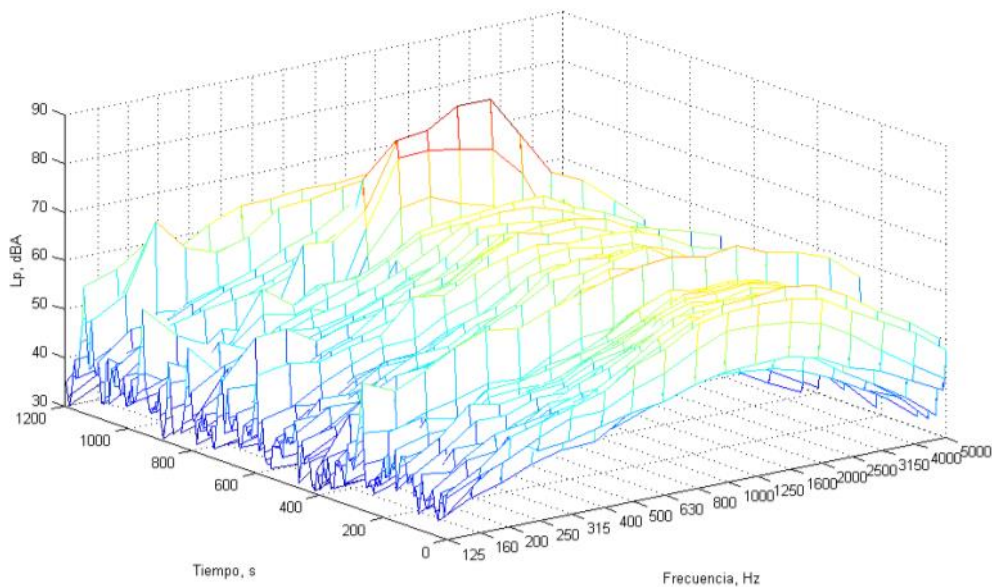


Figura 3. Diagrama espectral de la medida tomada en el entorno ruidoso

RESULTADOS

Con el propósito de analizar el grado de detección de los diferentes sonidos de advertencia, las siguientes figuras muestran:

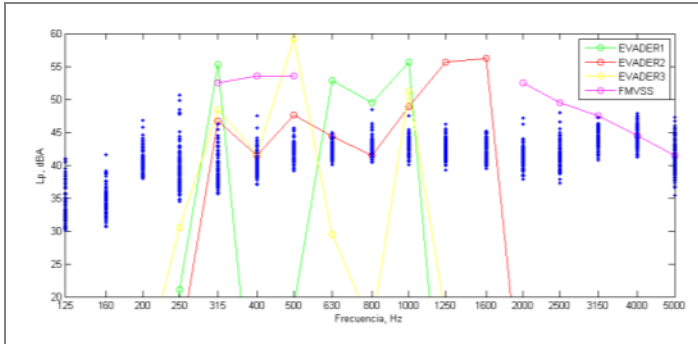


Figura 4. Entorno muy silencioso

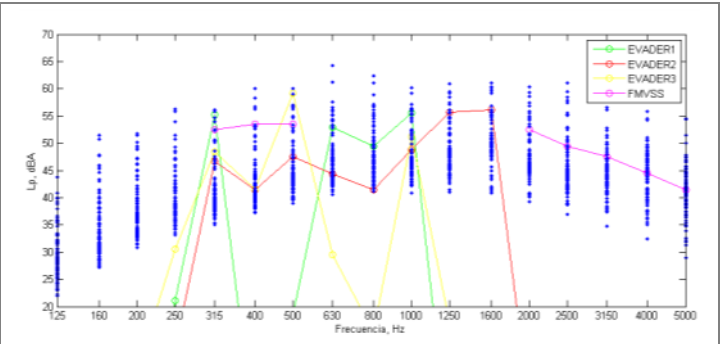


Figura 5. Entorno silencioso

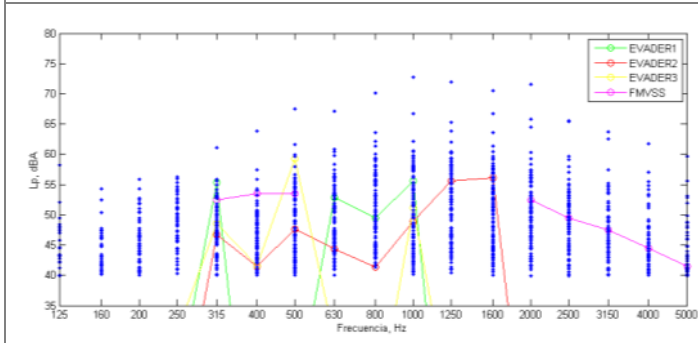


Figura 6. Entorno ni silencioso ni ruidoso

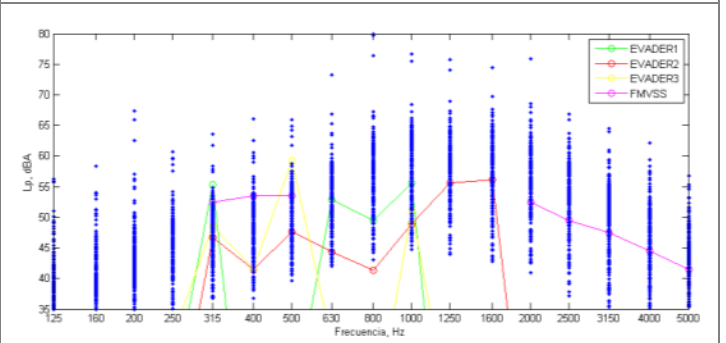


Figura 7. Entorno ruidoso

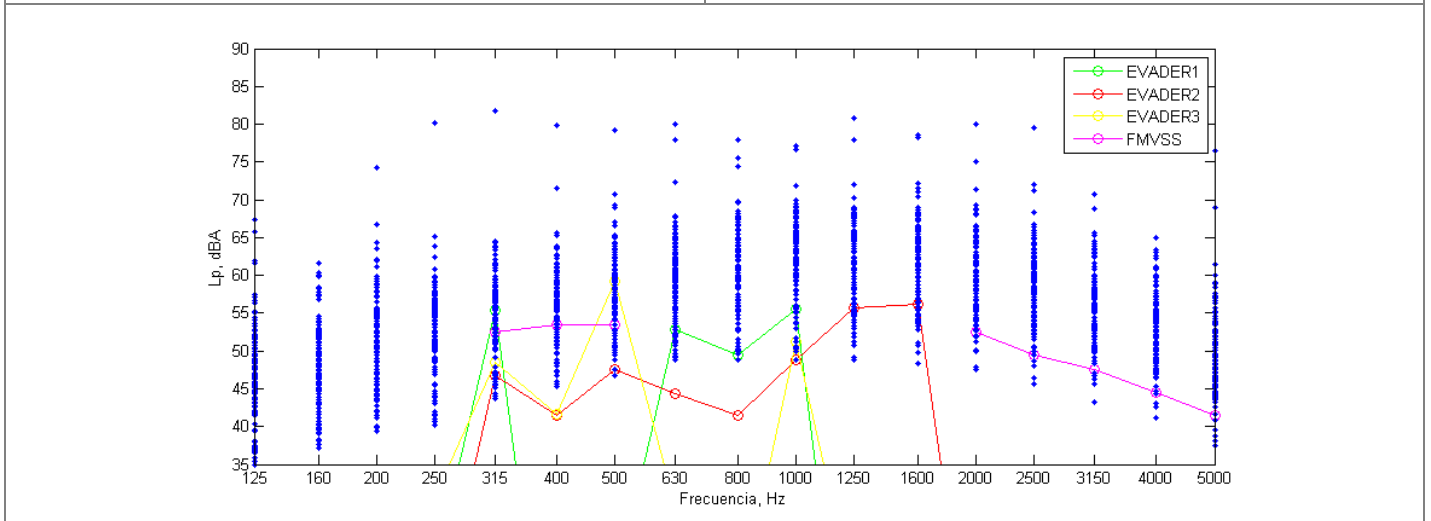


Figura 8. Entorno muy ruidoso

En todos los casos estudiados en este análisis previo, se ha calculado **un índice objetivo de detección**, basado en el porcentaje de espectros que cumple que la suma de las diferencias de niveles positivos entre el espectro del sonido de advertencia y cada uno de los espectros sonoros instantáneos en el entorno sonoro es mayor de 3 dB.

$$\text{Índice de detección: IDt} = \frac{N^{\circ} \Delta L_{p,3dB}}{N^{\circ} \text{muestras}}$$

Donde $N^{\circ} \Delta L_{p,3dB}$ se obtiene del cálculo del número de muestras que cumplen la siguiente desigualdad $\sum ||\Delta L_{p,WS} - \Delta L_{p,E}|| > 3dB^1$

Siendo

- $\Delta L_{p,WS}$ Los niveles de presión del sonido de advertencia por bandas de octava
- $\Delta L_{p,E}$ los niveles medidos en el entorno evaluado.

Tabla 3. Índice de detección de los sonidos de advertencia en los 5 entornos sonoros analizados

Índice de detección (%)				
Tipología de entorno	Sonidos de advertencia			
	FMVSS	EVADER 1	EVADER 2	EVADER 3
Entorno muy silencioso	100	100	100	100
Entorno silencioso	95	95,9	88,7	95
Entorno ni silencioso ni ruidoso	85	90,83	71,7	88,3
Entorno ruidoso	81,7	93,4	27,8	91,3
Entorno muy ruidoso	22,5	31,7	11,7	30

CONCLUSIONES

Con todo lo analizado anteriormente se puede determinar que el grado de detección de un sonido de advertencia se verá influenciado de forma muy significativa por el tipo de entorno por el que circule el vehículo que lo lleva insertado. Esta conclusión sirve como punto de partida para una nueva línea orientada hacia el estudio de la detectabilidad de sonidos de advertencia en diferentes entornos urbanos a través de ensayos psicoacústicos. Los ambientes sonoros registrados serán utilizados como ruido de fondo sobre los que se insertarán muestras de audio pertenecientes a vehículos eléctricos, híbridos y de combustión interna.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha llevado a cabo con la financiación de la Dirección General de Tráfico, a través del proyecto SPIP2014-01406 (Estudio y adecuación de advertencia suena en los vehículos eléctricos).

REFERENCIAS

- [1] The Freedomia Group, World Hybrid-Electric Vehicle, Oct. 2006.
- [2] NHTSA, Incidence of Pedestrian and Bicyclist Crashes by Hybrid Electric Passenger Vehicles. Technical Report, September 2009.
- [3] PARIZET, Etienne, et al. Detectability and annoyance of warning sounds for electric vehicles. En Proceedings of Meetings on Acoustics. Acoustical Society of America, 2013. p. 040033.
- [4] MISDARIIS, Nicolas; GRUSON, Anais; SUSINI, Patrick. Detectability study of warning signals in urban background noises: a first step for designing the sound of electric vehicles. En Proceedings of Meetings on Acoustics. Acoustical Society of America, 2013. p. 040032.

¹ Se incluirán en el sumatorio únicamente las diferencias positivas de niveles (simbolizado con ||)

- [5] G. Rey Gozalo, J. M. Barrigón Morillas, V. Gómez Escobar, R. Vílchez-Gómez, et al. Study of the Categorisation Method Using Long-term Measurements. Archives of Acoustics, Vol. 38, No. 3, pp 397-405, 2013.
- [6] Barrigón Morillas, J.M., Gómez Escobar, V., Méndez Sierra, J.A., Vílchez Gómez, R., and Trujillo Carmona, J. (2002b). An environmental noise study in the city of Cáceres, Spain. Appl. Acoust. 63, 1061-1070.
- [7] Antonio J. Torija, Diego P. Ruiz, A. Ramos-Ridao. Required stabilization time, short-term variability and impulsiveness of the sound pressure level to characterize the temporal composition of urban soundscapes. Applied Acoustics 72 (2011) 89–99.
- [8] Department of Transportation; National Highway Traffic Safety Administration. Federal Motor Vehicle Safety Standards; Minimum Sound Requirements for Hybrid and Electric Vehicles, 49 CFR Parts 571 and 585, 2013.
- [9] DUBOIS, Françoise; BAUDET, Guillaume; CHAMARD, Jean-Christophe. EVADER: Electric Vehicle Alert for Detection and Emergency Response. Acoustics 2012.