



## EL VEHICULO ELECTRICO Y LA REDUCCION DEL RUIDO AMBIENTE EN CIUDADES

**Dr. Robert Barti**

Director de RBD-Acústica  
{robert@rbd-acustica.com}

### Resumen

La principal fuente de ruido ambiental en las ciudades es la causada por la circulación de vehículos. Es sabido que la tipología y dimensiones de las calles tienen su influencia en los niveles de ruido medidos, y con la incorporación en la circulación de vehículos con propulsión eléctrica, se espera que en un futuro, se reduzcan los niveles de ruido ambiental. En éstos vehículos el propulsor es muy silencioso, el ruido de los neumáticos es la principal fuente de ruido. Distintos estudios apuntan a una reducción del nivel de ruido se produce únicamente para velocidades inferiores a los 50 Km/h. En este trabajo se estudian las variaciones de nivel de ruido cualitativamente a partir de los espectros de ruido medidos, con el objetivo de valorar con más detalle la percepción de los peatones. Los vehículos eléctricos no deben ofrecer similares prestaciones mecánicas que los de combustión interna. Se constata que en el futuro inmediato sería necesario un redimensionado de los neumáticos, reduciendo apreciablemente su sección para adecuarlos a unas prestaciones sostenibles del vehículo eléctrico, y para reducir eficazmente el nivel de ruido ambiente en las ciudades. Por otro lado se hace patente que las sensaciones percibidas por los peatones no se reflejan correctamente con los actuales indicadores como el  $L_{Aeq}$  o el  $L_{den}$ .

**Palabras-clave:** ruido ambiente, vehículo eléctrico, transporte eficiente, sonoridad, peatón.

### Abstract

Traffic noise in cities is the main environmental noise source. It's well known that the type and dimensions of the streets have their own influence on the measured noise levels, and a reduction of environmental noise with the incorporation of e-vehicles, is expected in the future. In these vehicles the engine is very quiet, and tire noise is the main source of noise. Several studies point to that a reduction of the noise level occurs at speeds below 50 km/h only. This paper discusses the variations of noise level qualitatively from the measured noise spectra, in order to assess in more detail the perception of pedestrians. Electric vehicles should not provide similar mechanical performance than internal combustion vehicles. It's noted that in the immediate future a resize of tires would be necessary, in order to match with the sustainable electric vehicle performance, and reduce the environmental noise level in cities. On the other hand it's clear that the sensations perceived by pedestrians, will not be reflected with the current indicators such as  $L_{Aeq}$  or  $L_{den}$ .

**Keywords:** environmental noise, electric vehicle, efficient transport, loudness, pedestrian.

**PACS no. 43.50.Rq**



## 1 Introducción

La incorporación de los vehículos con propulsión eléctrica en la circulación urbana, abre las esperanzas a que el ruido ambiental que se ha mantenido casi constante durante las dos últimas décadas, finalmente se reduzca. Cabe recordar que los niveles máximos de ruido permitidos por los vehículos automóviles en la UE, se definieron en la Directiva 96/20/CE que ha permanecido inalterada en 74 dBA para los coches. Próximamente el reglamento 540/2014, modifica la Directiva 2007/46/CE estableciendo unos nuevos límites máximos de ruido que pasan de 74 dBA a 69 dBA previsto en tres fases que terminan el 2024. Los vehículos con propulsión eléctrica aportan muchas ventajas, menor ruido, cero emisiones (del vehículo), rendimiento superior, y además se consideran en general más respetuosos con el medio ambiente.

Distintos trabajos muestran que la reducción de ruido por debajo de los 50 Km/h será apreciable. En todas estas informaciones, se muestran previsiones en base a valores globales de ruido  $L_{eq}$  en dBA, y en algunos casos con el  $L_{Amax}$ . En ésta comunicación, se consideran únicamente los vehículos automóviles de gasolina, y se establece una comparación entre los vehículos con motor de combustión interno (MCI), y los vehículos con motor eléctrico (ME). No se han considerado autobuses o motos por no disponer de vehículos de éstas categorías.

## 2 Origen del ruido de vehículos

Los vehículos automóviles tienen multitud de fuentes de ruido. Las principales son, el motor incluyendo escape y admisión, los neumáticos, el ruido aerodinámico y la transmisión. La fuente de ruido dominante depende de la velocidad del vehículo y de su funcionamiento. Para velocidades inferiores a los 50 Km/h aproximadamente, domina el grupo motor, mientras que para velocidades superiores domina el ruido de neumático y por encima de los 80 Km/h empieza a notarse el ruido aerodinámico. La circulación urbana tiene restringida la velocidad máxima de los vehículos, estableciendo en general, los límites de 30, 50 Km/h para las vías urbanas, y los 80 Km/h para las vías de circunvalación. La situación más frecuente en entornos urbanos es la arrancada de los vehículos cuando están parados en un semáforo. En este proceso, el ruido del grupo motriz destaca notablemente, radiando energía de baja frecuencia, que no puede ser absorbida por los elementos constructivos cercanos. En las vías más rápidas (80 Km/h), o cuando la circulación es fluida a 50 Km/h, domina el ruido de neumático. El aumento de las potencias de los vehículos en los últimos años ha hecho que la sección de los neumáticos se incremente para poder transmitir esa potencia a la calzada y controlar el vehículo, generando más ruido.

Las componentes de baja frecuencia radiadas por el grupo motor, están relacionadas con el tipo de motor y su régimen de giro. En los propulsores de 4 cilindros y 4 tiempos, que son los más usuales en el parque automovilístico, domina el segundo orden motor. El margen de frecuencias radiado en ciudad en general, va de los 30 Hz al ralentí, hasta los 100 Hz aproximadamente que corresponde a las 3.000 r.p.m. Esta energía de baja frecuencia es la que entra con facilidad en los domicilios que dan a la calle, generando molestias en la vida cotidiana. A pie de calle, las componentes de baja frecuencia dificultan la comunicación verbal entre otros efectos.

El propulsor eléctrico ofrece una serie de ventajas interesantes: es mucho más silencioso, tiene un funcionamiento equilibrado y carente de vibraciones, un rendimiento superior al MCI, un par motor muy superior a igualdad de potencia que un MCI, no emite gases, y su mantenimiento es nulo. Mecánicamente las ventajas son muy interesantes. Algunos vehículos con ME sólo tienen una marcha,

simplificando la mecánica y aligerando el peso del vehículo. En todo caso su elevado par motor, permite usar cajas de cambio con pocas relaciones.

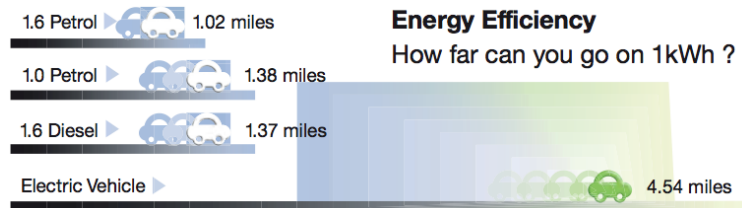


Figura 1. Eficiencia del ME frente a los MCI diesel o gasolina, según [3].

El único inconveniente es el almacenamiento de la energía eléctrica, la autonomía y la recarga. Desde el punto de vista acústico, la ausencia de vibraciones y de ruido, lo hacen especialmente atractivo. Los vehículos eléctricos son muy silenciosos en circulación urbana, y sólo radian ruido los neumáticos. En general los vehículos eléctricos suelen tener una sección de neumático ligeramente inferiores a los vehículos equivalentes con MCI. La figura 2 muestra el resultado de un estudio donde se compara el ruido emitido por unos vehículos con MCI y un vehículo con ME, para velocidades de 0 a 30 Km/h. La mejora es de 10 dB a 5 Km/h.

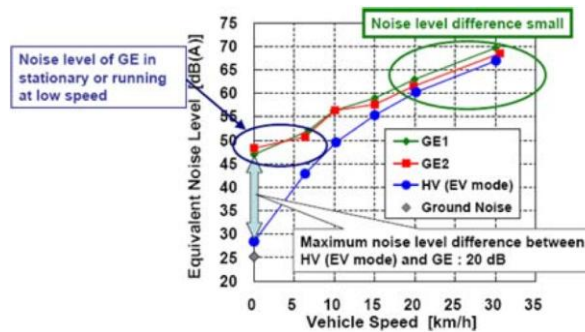


Figura 2. Comparación entre el ruido emitido por vehículos con MCI y con ME, según [2].

### 3 Tipología de vehículos eléctricos

Hasta la fecha existen diferentes tipologías de vehículos eléctricos. Entre el vehículo con MCI i el vehículo con ME, llamado 100% eléctrico, existen diferentes opciones que combinan un ME con un MCI dando origen a los vehículos híbridos. La figura 3 muestra las distintas tipologías de vehículos.

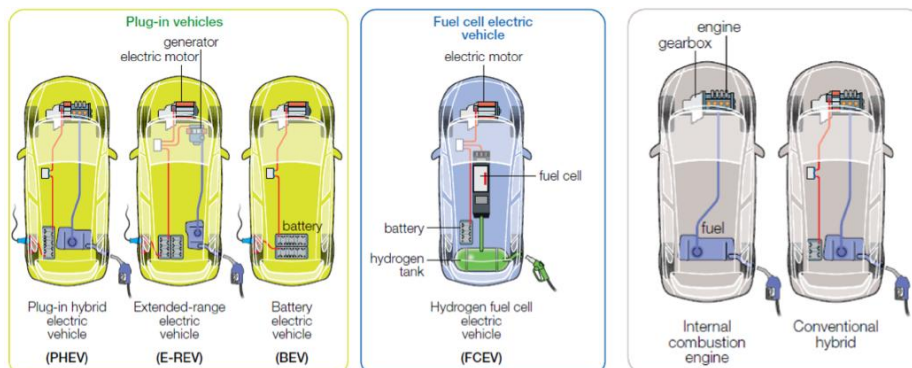


Figura 3. Tecnologías y sistemas actuales y futuros de vehículos eléctricos, según [3].



## 4 Objetivos del estudio

Se trata de valorar mediante mediciones de ruido, la mejora que supone el uso de los vehículos eléctricos. El estudio valora el espectro de ruido medido a 4 m. de distancia del paso de vehículos, que es la distancia media a que se encuentra un peatón en una calle céntrica de una ciudad, y permite obtener un buen fragmento de señal. No se pretende obtener valores absolutos del nivel de ruido, sino valores comparativos para un mismo punto, por lo que la distancia de éste a los vehículos, no es importante. Los resultados se analizarán cualitativamente, con el objetivo de valorar las mejoras con algo más que el simple nivel global expresado en dBA.

## 5 Toma de muestras

Para éste trabajo sólo se consideran los vehículos de gasolina por ser “per se” más silenciosos que los diesel. Se han seleccionado 12 vehículos de gasolina de tipo medio con cambio manual, bastante nuevos (2 a 6 años) y en buen estado de conservación. Los neumáticos están en buen estado y los vehículos no presentan defectos mecánicos de escape. Por otro lado se han dispuesto de 2 vehículos eléctricos de la misma marca y modelo, aunque de series diferentes, uno de 1 año y otro de 4 años de antigüedad. Las pruebas se realizan de noche para evitar la influencia de otros vehículos que pudieran circular por las inmediaciones, en una calle ancha. Todos los vehículos son conducidos por sus propietarios para reflejar la conducción real en las distintas pruebas.

Se realizan dos pruebas distintas: la de arrancada de parado, que correspondería a la situación en un semáforo, y la pasada a velocidad constante y con la marcha seleccionada habitualmente por el conductor que considere oportuna para cada velocidad. La arrancada de parado se realiza con una aceleración progresiva, ni muy rápida ni muy lenta. Se escogen las velocidades constantes de 30, 50 y 80 Km/h por ser los límites de velocidad más habituales en las ciudades. Cada prueba se repite cuatro veces, para poder promediar los resultados. La climatología fue favorable con ausencia de lluvia o suelo mojado y viento. Se ha escogido una calle ancha para facilitar las pruebas y maniobras. El asfaltado está en buen estado y la calle presenta una ligera pendiente, alrededor del +0,5%.

## 6 Equipo de medida y análisis

El equipo de medida está formado por un sonómetro tipo 1 con salida de audio que se graba en un soporte digital en formato PCM 44.1 KHz. El punto de medida se encuentra a unos 4 m. del paso del vehículo, y a una altura de 1,6 m que corresponde a la del oído de una persona de estatura media, sin obstáculos que impidan la visión directa. El objetivo no es obtener valores precisos del nivel sonoro sino comparar los niveles espectrales entre los vehículos con MCI y los vehículos con ME.

En la fase de análisis, se descartan aquellas pruebas que presentan irregularidades o ruidos extraños que pueden alterar los resultados. Las señales obtenidas se analizan en 1/3 de octava, para obtener su distribución espectral y los valores globales en dBA, y se analiza también la sonoridad con el método de Zwicker para determinar su sonoridad por bandas y la global. El método de cálculo se basa en un programa en Basic elaborado por Kuwano y Namba (1984). Este programa se adapta a Matlab para su implementación sobre plataforma MAC.

## 6.1 Resultado de las mediciones

Primero se muestran los resultados en 1/3 de octava para la velocidad constante. Se espera que el ruido de los neumáticos sea la parte más influyente, por lo que los niveles de ruido a 50 y 80 Km/h sean bastante similares entre la tecnología gasolina y eléctrica. Para velocidades de 30 Km/h, es donde en principio se espera más diferencia, ya que el ruido de los neumáticos se reduce bastante.

### 6.1.1 Resultados a velocidad constante de 80 Km/h

La figura 4 muestra a la izquierda, el espectro promedio obtenido de todas las mediciones, para los vehículos con MCI y los ME. Se muestra también el ruido ambiental promedio de todas las mediciones. A la derecha la tabla resumen de los niveles globales.

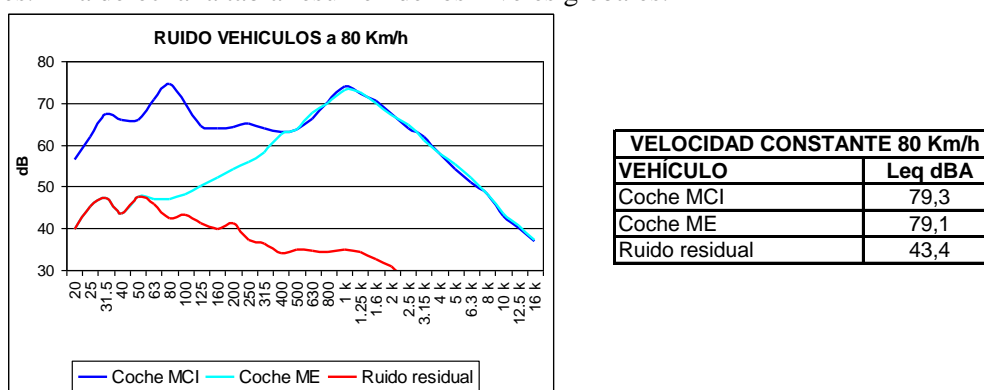


Figura 4. Distribución espectral del ruido de vehículos con MCI y ME a 80 Km/h.

Como se puede observar el pico sobre 1 KHz debido al ruido de los neumáticos es muy similar en las dos tecnologías de vehículos. Los vehículos de MCI presentan el pico alrededor de los 80 Hz que corresponde a unas 2.400 r.p.m. Como era previsible, los niveles de ruido de ambas tecnologías es prácticamente igual, ya que la principal fuente de ruido procede de los neumáticos. Sorprende que la diferencias de contenido de baja frecuencia no incrementa el valor de ruido global en los vehículos con MCI. Debe tenerse en cuenta que la ponderación A, “elimina” las bajas frecuencias.

### 6.1.2 Resultados a velocidad constante de 50 km/h

La figura 5 muestra el espectro promedio obtenido de todas las mediciones, para los vehículos con MCI y los de ME. Se muestra también el ruido ambiental promedio de todas las mediciones.

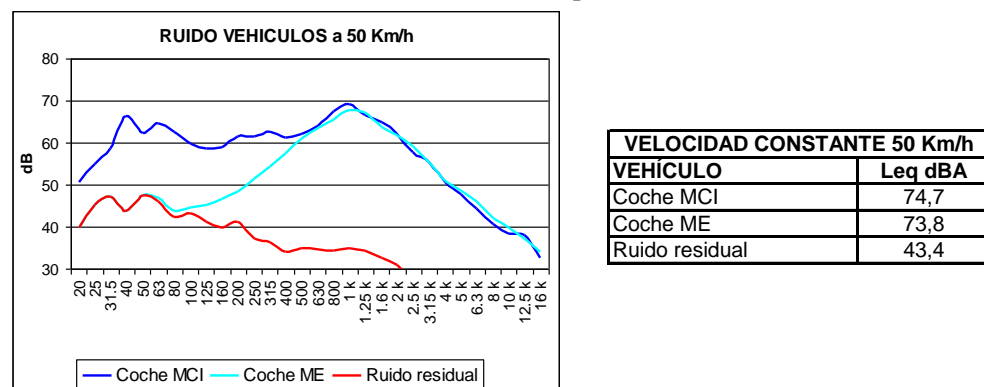


Figura 5. Distribución espectral del ruido de vehículos con MCI y ME a 50 Km/h.

Como se puede observar el pico sobre 1 KHz debido al ruido de los neumáticos es muy similar en las dos tecnologías de vehículos. Los resultados en esta ocasión tampoco arrojan diferencias entre las tecnologías MCI y ME.

### 6.1.3 Resultados a velocidad constante de 30 Km/h

La figura 6 muestra el espectro promedio obtenido de todas las mediciones, para los vehículos con MCI y los de ME. Se muestra también el ruido ambiental promedio de todas las mediciones.

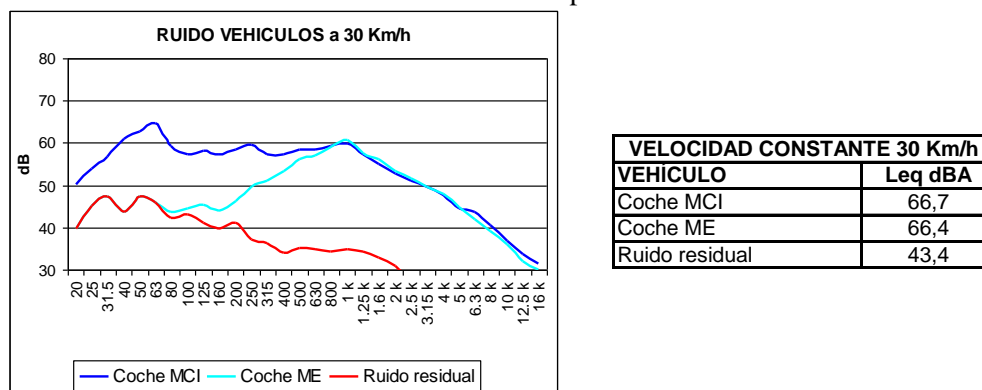


Figura 6. Distribución espectral del ruido de vehículos con MCI y ME a 30 Km/h.

Como se puede observar el pico sobre 1 KHz debido al ruido de los neumáticos es muy similar en las dos tecnologías de vehículos.

De los resultados obtenidos se desprende que las diferencias entre los niveles de ruido de los vehículos con MCI y con ME, circulando a velocidad constante, son prácticamente nulas. Estos resultados coinciden con los obtenidos por [2]. No obstante la diferencia espectral es notable, por lo que a la vista de estos resultados se realiza un segundo análisis de sonoridad, con el objetivo de obtener más información, que permita complementar la mostrada con los espectros de ruido.

### 6.1.4 Sonoridad a velocidad constante

A partir de los espectros de ruido de los distintos vehículos, se obtiene la sonoridad por bandas y global utilizando el método de Zwicker. A fin de ahorrar espacio, se muestra sólo el resultado a 80 km/h. A la izquierda de la figura 7 se muestra la sonoridad por bandas del ruido. A la derecha de la figura 7, se resumen los niveles de sonoridad obtenidos.

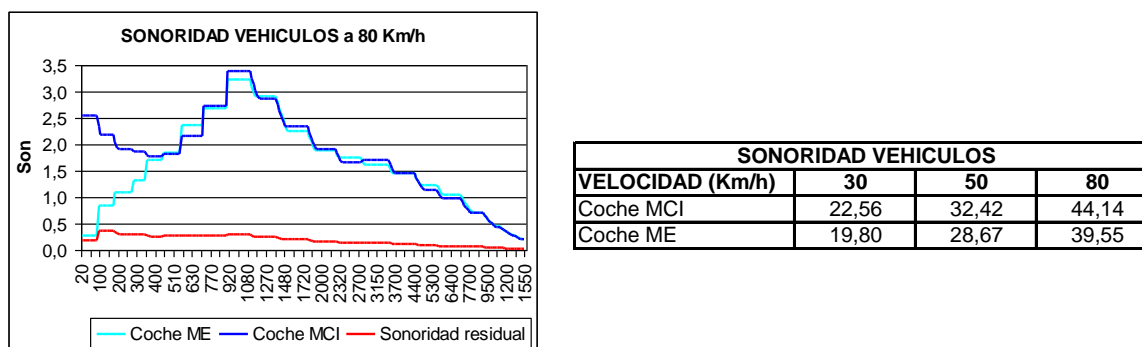


Figura 7. Sonoridad del ruido de vehículos con MCI y ME a 80 Km/h.

Los niveles de sonoridad son ligeramente inferiores para el propulsor eléctrico, para las tres velocidades seleccionadas. Dicha reducción es debida a los bajos niveles de ruido en bajas frecuencias. Las pruebas a velocidad constante, muestran que los niveles de ruido procedentes de los vehículos con MCI son muy similares a los procedentes de los vehículos con ME. En éste sentido no se aprecia ninguna ventaja en el uso de vehículos con propulsión eléctrica, cuando estos se desplazan a velocidades entre 30 y 80 Km/h. Nótese que el neumático es el elemento clave en los niveles de ruido en circulación urbana. Los vehículos con ME probados, tienen unos neumáticos de dimensiones similares a los vehículos con MCI, por lo que su ruido será muy similar, como demuestran los resultados. Una característica común en la circulación en cualquier ciudad, es la presencia de semáforos en los cruces de las calles. Esto obliga a los vehículos a pararse durante unos segundos, para reemprender la marcha pasado el tiempo de regulación. La situación más frecuente en la circulación urbana es sin duda las paradas de los semáforos. La siguiente prueba trata de valorar el ruido generado por los vehículos con MCI y ME cuando arrancan desde parado.

## 6.2 Resultados de la prueba de arrancada

En esta prueba el vehículo está parado, y acelera hasta alejarse lo suficiente, sin pasar de los 50 Km/h que es la velocidad máxima permitida en entorno urbano. La aceleración se hace ni muy rápida ni muy lenta. La pericia de cada conductor y su hábito en la conducción, tiene su influencia en esta prueba, como se refleja en los resultados. Sobre el gráfico de los vehículos con MCI en la parte superior de la figura 8, se observa el pico de la arrancada desde parado que se sitúa entre los 50 y los 63 Hz que se corresponde con un margen de 1.500 a 1.900 r.p.m. aproximadamente. Nótese que el espectro refleja únicamente el ruido mecánico procedente del compartimento motor y de los sistemas anexos (inyección, embrague, transmisión, etc.), ya que la velocidad del vehículo inicialmente es cero, y al alejarse disminuye la contribución del ruido procedente de los neumáticos.

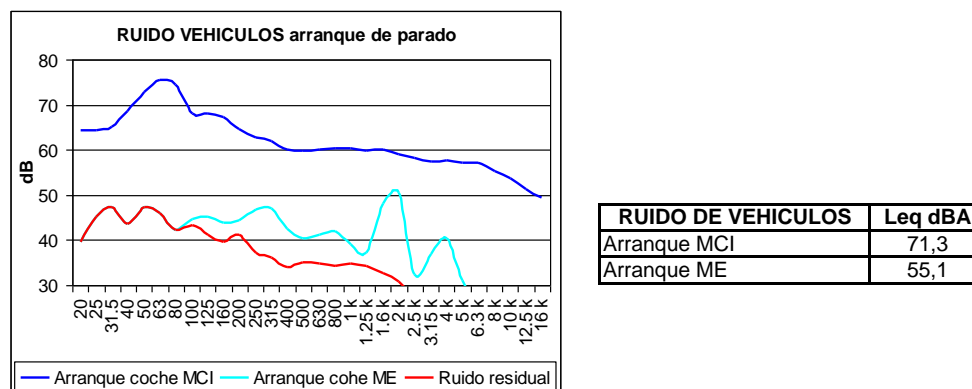


Figura 8. Espectro del nivel de ruido de vehículos con MCI y ME en arrancada de parado

En esta ocasión la diferencia de niveles es muy notable. Se observa como el espectro del ME queda siempre bastante por debajo del MCI. Esto se traduce en una reducción del nivel global de ruido de 16,2 dBA.

### 6.2.1 Sonoridad en arrancada de parado

A partir de los espectros de ruido de los distintos vehículos en el proceso de arrancada de parado, se obtiene la sonoridad por bandas y global utilizando el método de Zwicker. A la izquierda de la figura 9 se muestra la sonoridad por bandas del ruido al arrancar de parado. A la derecha de la figura 9, se resumen los niveles de sonoridad obtenidos. Se puede observar que no se obtiene ninguna información relevante, respecto de la obtenida con la distribución espectral.

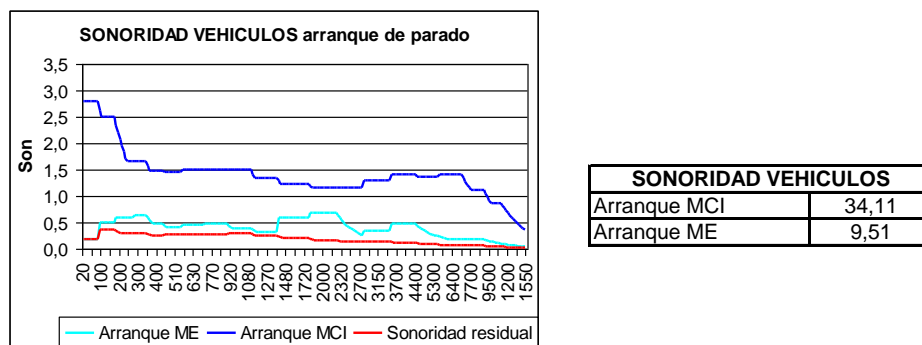


Figura 9. Sonoridad del ruido de vehículos con MCI y ME en arrancada de parado

### 6.3 Niveles de ruido con tráfico

Hasta ahora se han medido y mostrado los niveles de ruido de vehículos solos. La circulación en ciudades implica un mayor número de vehículos que suman sus energías sonoras. Esto redundaría en que los espectros de ruido se suavizan y los niveles sonoros aumentan. El nivel sonoro que llega a un punto receptor, depende de las fuentes de ruido que tenga más cercanas. Por muchos vehículos que circulen por las calles, los que contribuyen al nivel sonoro en un punto concreto, serán los que estén dentro de un radio de acción. Las distintas calles de una ciudad tienen regulación semafórica en los cruces. Mientras unos vehículos circulan por una calle a velocidades, digamos constantes, los de la calle adyacente están parados. La proliferación de vehículos con la función “start-stop” activada, permite observar cómo el nivel de ruido durante las pausas en las cercanías de los semáforos se va reduciendo, lo que se percibe como un “alivio” por los peatones.

Actualmente no es posible conseguir que sólo los vehículos eléctricos circulen por las calles de una ciudad, por lo que no se pueden realizar mediciones de comprobación de los niveles de ruido cuando todos los vehículos sean con propulsión eléctrica. Sin embargo se puede realizar una aproximación partiendo de los niveles individuales de las distintas tipologías de vehículos, y mediante un modelo, establecer por cálculo, las diferencias entre la circulación actual con mayoría de vehículos con MCI y con sólo vehículos con ME. Esto permitiría saber hasta donde se puede reducir el ruido ambiente en las ciudades.

Se parte de un modelo sencillo donde se valora el nivel de ruido presente en un cruce de calles, con regulación semafórica. Los intervalos de regulación de un semáforo dependen de diversos factores. Para un cruce convencional con calles de similar densidad de vehículos, los tiempos suelen oscilar entre los 70 seg. y los 110 seg. Para el modelo se toma un valor medio de 90 seg. Se estima que el nivel sonoro que llega a un receptor situado en la cruce de las calles, tendría la siguiente configuración: durante 15 seg. vehículos que arrancan de parado, los 30 seg. siguientes, vehículos a velocidad constante, y durante 45 seg. vehículos parados (ruido residual), no se tiene en cuenta la contribución de la vía adyacente. Aunque este modelo es muy simplista, nos permite valorar la reducción de ruido que se produciría en el caso de una circulación únicamente con vehículos con ME y con vehículos con MCI.

La figura 10, muestra a la izquierda, el espectro de ruido integrado durante el ciclo semafórico de 90 seg., obtenido en las condiciones antes mencionadas. A la derecha se muestran los niveles globales correspondientes medidos a pie de calle. Como se puede observar en la tabla de la figura 10, la reducción sonora no llega a 2 dBA, a pesar de la importante reducción de energía emitida, que supone pasar de vehículos con MCI a ME.



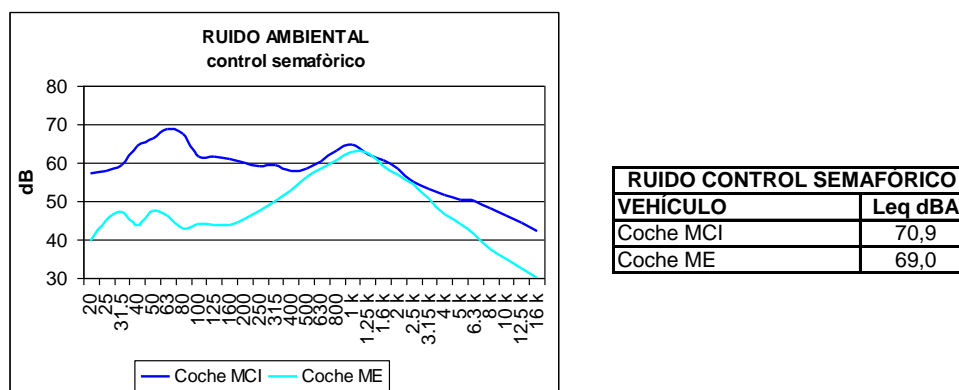


Figura 10. Espectro del nivel de ruido de vehículos con MCI y ME en un cruce

#### 6.4 Niveles de inmisión en ambiente interior con ruido ambiental

A partir de los niveles de ruido calculados en el apartado anterior para vehículos con MCI y con ME, se determinan los niveles de ruido en ambiente interior, partiendo de un aislamiento típico de ventana. Se ha seleccionado un cierre de calidad que ofrece un aislamiento global de 30 dBA. No se trata de determinar los valores absolutos sino las diferencias de niveles que generan las dos tecnologías de vehículos analizadas. Por ello no se tiene en cuenta ni la distancia ni la presencia de balcones u otros elementos arquitectónicos. La figura 11, muestra los resultados obtenidos. A la izquierda se muestra el aislamiento por bandas seleccionado, y a la derecha los niveles de inmisión previstos. La reducción sonora global introducida por los ME es de 2,9 dBA. No obstante la reducción del nivel enmascarante de las bajas frecuencias, mejora apreciablemente el confort acústico en el interior.

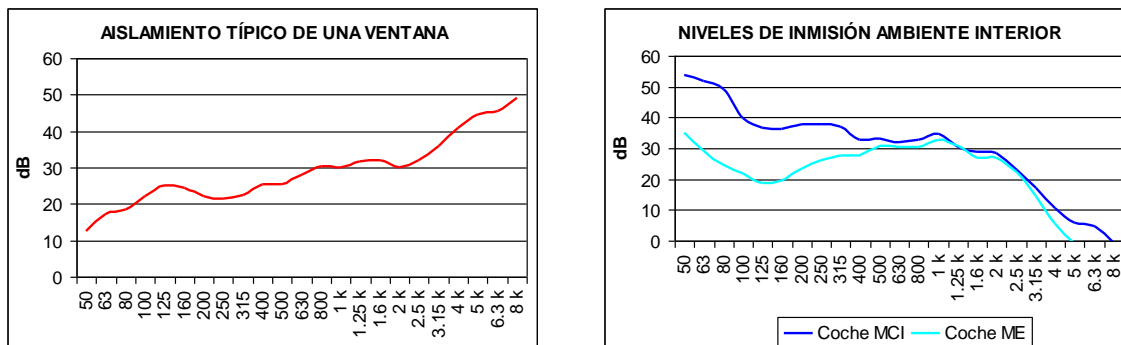


Figura 11. Izquierda, aislamiento típico ventana. Derecha, inmisión espectral en ambiente interior, producida por vehículos con MCI y ME en un cruce.

#### 6.5 Reducción del ruido de los neumáticos

La reducción de la sección de los neumáticos reduce el nivel de ruido, aunque no es el único factor. El diseño del dibujo, y los compuestos del neumático, externos e internos, definen el ruido emitido. Según el gráfico de la figura 11, si se desea reducir unos 6 dBA el nivel global de ruido, la sección media de los neumáticos actualmente de 195, debería pasar a 95. Obviamente las prestaciones mecánicas se deberían adecuar a estas secciones. Otro aspecto a tener en cuenta son los nuevos diseños de neumáticos sin cámara de aire, que posibilitarán una reducción de ruido adicional al eliminar el "torus noise", una de las fuentes de ruido más influyentes. Cabe destacar que actualmente los neumáticos se diseñan para poder circular con seguridad a determinadas velocidades. Existen en el mercado, neumáticos tipo M para velocidades máximas de 130 Km/h.

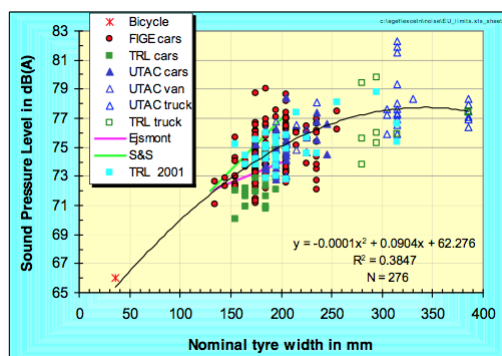


Figura 11. Nivel de ruido global en dBA en función de la sección del neumático, según [4]

## 7 Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en este estudio, se llega a la conclusión de que si bien la reducción de ruido del propulsor de los vehículos eléctricos es muy notable, permanece el ruido de los neumáticos como principal causa de contaminación acústica, en la circulación urbana. Una de las mejoras más apreciables por los peatones será sin duda, el nivel de ruido en los semáforos. Los vehículos eléctricos parados no harán ningún ruido, por lo que la sensación sonora, que no los niveles de ruido medidos en dBA, será de auténtico confort. Se muestra una vez más que las mediciones con el dBA no reflejan las sensaciones percibidas por los peatones a pie de calle. Nótese que los niveles de ruido entre vehículos con MCI y ME, salvo en el caso de arrancada de parado, son muy similares. El diseño del vehículo eléctrico, debe orientarse mas hacia el transporte eficiente y sostenible, focalizando en el menor consumo, y emisiones, y dejando a un lado la “competencia” con los vehículos con MCI tratando de igualar sus prestaciones mecánicas. Nótese que en las dos últimas décadas, se ha mantenido la cilindrada de los MCI, y la potencia media se ha duplicado, exigiendo mayor calzado para poder soportar las prestaciones del motor. Para una velocidad máxima de, digamos 130 Km/h, no hacen falta 200 CV y neumáticos de 225. La reducción del ruido en las ciudades sólo será posible si se reducen significativamente las secciones de los neumáticos, y a la par la reducción de las prestaciones mecánicas de los vehículos. Todo ello requerirá campañas de educación y sensibilización por los medios de transporte eficientes, empezando por los más pequeños, para que en un futuro no muy lejano, la reducción del ruido ambiente en las ciudades sea una realidad.

## Referencias

- [1] Bérengier M.; Pallas M-A; Kennedy J.; Morgan P.; Gasparoni S.; Reinhard W. Noise emission levels for electric and hybrid vehicles – First results of FOREVER project. *Transport Research Arena 2014*, Paris.
- [2] Sandberg U. Adding noise to quiet electric and hybrid vehicles: an electric issue, *Acoustics Australia*. Vol 40, n° 3, 2012, pp 211-220.
- [3] OLEV. *Driving the future Today. A strategy for ultra low emission vehicles in the UK*, Office for Low Emission Vehicles. September 2013.
- [4] Sandberg U. Tyre/road noise – Myths and realities Proceedings of The 2001 International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering. The Netherlands, 2001.