



48º CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA
ENCUENTRO IBÉRICO DE ACÚSTICA
EUROPEAN SYMPOSIUM ON UNDERWATER ACOUSTICS
APPLICATIONS
EUROPEAN SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE BUILDING
ACOUSTICS

NIVEL DE RUIDO SOSTENIBLE EN LAS CIUDADES DEL FUTURO

PACS: 43.50.Rq

Dr. Robert Barti

Asesor y consultor acústico

RBD acoustic engineering

Calle Alexander Fleming, 33 ático

08100 Mollet del Vallès

España

TI: +34 619 983 384

e-mail: robert@acústica-rbd.com

ABSTRACT.

The reduction of ambient noise in urban environments, will be a reality in the not too distant future, when the vast majority of vehicles that circulate in the streets of the city will be electrically powered. However, the absence of noise has already raised safety concerns because of the increased risk of collision between pedestrians and electric vehicles. Social habits, and the need to be permanently connected to social networks, make many people, especially young people, disregard the most elementary standards of pedestrian circulation, and this significantly increases the risk of accidents. Several entities, led by NHTSA and the EU, have proposed that electric vehicles make noise for speeds lower than 30 km/h, which in principle seems a contradiction, considering that for many decades the automotive industry has been reversed a lot of money in reduce vehicle noise. But in the necessary and inevitable transition from thermal to electric motors, perhaps this is the price to pay for greater security, or not? How much noise will be necessary to make? This work proposes to take into account the concept of minimum level of contamination (MLC), as an objective that allows an effective noise reduction levels in cities of the future.

RESUMEN.

La reducción del ruido ambiente en entornos urbanos, será una realidad en un futuro no muy lejano, cuando la gran mayoría de vehículos que circulen por las calles de la ciudad tengan propulsores eléctricos. No obstante, la ausencia de ruido ya ha suscitado problemas de seguridad por el mayor riesgo de colisión entre peatones y vehículos eléctricos. Los hábitos sociales, y la necesidad de estar permanentemente conectados a las redes sociales, hace que muchas personas, especialmente jóvenes, desatiendan las más elementales normas de circulación peatonal, y eso aumenta significativamente el riesgo de sufrir accidentes. Diversas entidades, encabezados por la NHTSA y la UE, han propuesto que los vehículos eléctricos, hagan ruido cuando circulan a velocidades inferiores a los 30 Km/h, lo cual en principio parece un contrasentido, teniendo en cuenta que durante muchas décadas la industria automovilística ha invertido mucho dinero en reducir el ruido de los vehículos. Pero en la necesaria e inevitable transición de los motores térmicos a los eléctricos, quizás esto sea el precio a pagar en aras de una mayor seguridad, o no?. Pero hasta que punto hay que hacer ruido? Este trabajo propone tener en cuenta el concepto de mínimo nivel contaminante (MNC), como un objetivo que permita una reducción efectiva de los niveles de ruido en las ciudades del futuro.

1. INTRODUCCIÓN.

En el año 1978 Sony lanzó el Walkman. El dispositivo tuvo mucho éxito, ya que permitía escuchar la música deseada en cualquier parte y a cualquier hora, lo que hasta ese momento no era posible. Fue una forma de liberación que sintonizaba muy bien con los movimientos juveniles de la época que demandaban más libertad.

Las llamadas ciudades inteligentes “Smart cities” (SC), son ciudades conectadas que permiten proporcionar más y mejores servicios a los ciudadanos, que mediante el uso de sensores conectados a IoT y el tratamiento masivo de datos Big Data, permiten ofrecer servicios impensables hace poco más de una década. Las ciudades inteligentes no son el futuro, son el presente. No obstante, aparecen voces críticas que matizan algunos aspectos. Si bien nadie cuestiona las ventajas que la tecnología puede ofrecer, no está claro que esta tecnología llegue a toda la ciudadanía, como lo hizo el Walkman. Es importante que las facilidades que puede ofrecer el concepto SC, llegue a todas las personas, independientemente de su estatus social, cultural, o de cualquier índole, para que puedan disfrutar de los servicios de las nuevas tecnologías.

No obstante el concepto de SC, no debería limitarse al uso de aplicaciones concretas para saber si el contenedor de basura está lleno, o para saber el nivel de ruido en una calle concreta. Estos datos no aportan nada interesante o nuevo al ciudadano. Las SC, deben tener por objetivo proporcionar una mejor calidad de vida a los residentes en una población y eso no se consigue únicamente con el uso de aplicaciones.

El ruido ambiente en las poblaciones, ha sido, y es un tema que preocupa a la población. La principal fuente de ruido son los vehículos que circulan por las calles de la ciudad. Lo que espera la mayoría de la población de las SC, no son aplicaciones, sino que, con toda la excelencia tecnológica de que se dispone actualmente, se pueda solucionar de forma definitiva el problema del ruido ambiental del cual se lleva hablando varias décadas, sin que por ahora se haya reducido de forma significativa [1].

2. AMBIENTES SONOROS.

Reciben este nombre los niveles de ruido presentes en distintas partes de una ciudad, básicamente espacios abiertos o semi-abiertos como calles y plazas. Por ejemplo, en el interior de un parque se espera que el nivel de ruido sea más bajo que en la calle, ya que habitualmente el observador se encuentra más alejados de los vehículos. Los diseñadores de estos ambientes, también llamados en inglés “Soundscapes”, tratan de hacer que el sonido sea amigable con las personas.

El ambiente sonoro en las plazas de poblaciones pequeñas, es muy distinto al de poblaciones mayores. El mayor volumen de tráfico en los alrededores de la plaza, suele ser la causa.

3. CONCEPTO “SMART CITY”.

La definición más usual es que una SC sitúa a las personas en el centro del desarrollo, incorpora las tecnologías TIC en la gestión urbana, y usa estas herramientas para fomentar un gobierno eficiente que incluya procesos de planificación colaborativa y participación ciudadana. Una SC tiene cuatro focos de aplicación: la sostenibilidad de los recursos, la generación de riqueza, la transparencia de la gestión, y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

Unos de los aspectos que más preocupa en la planificación del futuro de las ciudades, es lo relativo a la contaminación del aire en todas sus formas. La creciente demanda de energía precisa de generación eléctrica mediante energías renovables, y a la par es necesario un aumento de la eficiencia energética de los edificios, y del transporte urbano en particular. La electrificación del transporte urbano, tiene un notable beneficio sobre la calidad del aire, y sobre el nivel de ruido.

Otros condicionantes que deben ser tenidos en cuenta en las ciudades del futuro son las mayores exigencias de los ciudadanos derivadas de la mejora de su nivel de vida, como, por ejemplo, en cuanto a la calidad del aire o bien en cuanto al requerimiento de que todos los servicios urbanos funcionen de forma ininterrumpida y sin incidencias. También debe ser tomada en cuenta la enorme importancia de utilizar políticas públicas para disminuir la exclusión social y la pobreza energética con el objetivo de que todos los habitantes de la ciudad puedan desarrollar una vida digna, algo absolutamente esencial desde el punto de vista de la justicia y la paz sociales.

Las SC, se caracterizan por un uso masivo de la tecnología. Esto lleva asociado una mayor fragilidad para poder hacer frente a situaciones imprevistas. La caída de los sistemas de comunicación, colapsaría toda la actividad. Es por ello que debe aumentarse la resiliencia de las SC, mediante una planificación ordenada. Después de unos años en los que la perspectiva dominante ha sido la tecnológica, han ido ganando protagonismo aquellos planteamientos que ponen el foco en el ciudadano como epicentro. Se trata del paso de un ciudadano-consumidor, que se limitaba a usar la tecnología y convertirse en emisor de datos, a un ciudadano inteligente que hace un uso activo de todas las herramientas que tiene a su alcance. Y que protagoniza su condición de ciudadanía con una tecnología que le permite re-apropiarse de la ciudad, de sus espacios públicos, y de sus servicios.

Dentro del amplio abanico de soluciones y propuestas tecnológicas enfocadas a las SC, existen las relativas al ruido. La mayoría de soluciones tecnológicas para las SC se centran en el ahorro energético, y el impacto medioambiental. Dentro de éste último, se tratan los vectores de contaminación del agua, de la tierra y del aire, y la gestión de residuos. Respecto del ruido apenas hay referencias, como si se tratara de un campo poco atractivo para el negocio de las SC.

Las tecnologías aplicadas al ruido se centran en redes de sensores que permiten captar el nivel sonoro en distintos puntos del tejido urbano. Normalmente estos puntos se seleccionan en base a su importancia estratégica. El objetivo es obtener datos del nivel de ruido ambiente, y que permitan por ejemplo actualizar los mapas de ruido. En el mercado existen diversas soluciones que permiten obtener resultados similares. El punto en común son la distribución de redes de micrófonos, que recogen los niveles de ruido y procesan la información para obtener algunos de los índices más usuales (Leq, percentiles, espectro). Se debe combinar la simplicidad de diseño con la eficacia de los resultados, para que los costes no se disparen ya que el número de sensores, para monitorizar una población, suele ser bastante elevado. En algún caso se usan micrófonos de bajo coste, que no están sometidos a metrología legal, lo cual restringe la validez de los datos obtenidos. Los datos obtenidos por las redes de micrófonos muestran el nivel sonoro, con un grado de integración de algunos minutos. No se obtienen espectros u otros datos que podrían aportar información más útil. El problema que aparece es la transmisión de todos estos datos obtenidos por los sensores repartidos por la ciudad, a un punto central. Cuanta más información se procese, más datos hay que enviar y eso complica enormemente el dimensionado de los sistemas de comunicación.

4. QUE ESPERA EL CIUDADANO DE LAS SC?

El ciudadano recibe información de lo que son las SC a través de los medios de comunicación. Uno de los aspectos que más se destaca de esa información hace referencia a conseguir una mayor calidad de vida y al uso de la tecnología. Algunas encuestas [2] revelan que la mayoría de población desconoce lo que significa el término “smart citizen” y en menor medida “smart city”.

5. SOLUCIONES ACÚSTICAS PARA SC.

La mejora de la calidad de vida a nivel sonoro, está directamente relacionado con la contaminación acústica en las ciudades. La reducción del ruido ambiente es un objetivo muy debatido en las últimas décadas. Para reducir el nivel de ruido urbano hay varias acciones que se pueden implementar.

5.1. Acción sobre el asfalto.

Se trata de dotar al asfalto de las calles de una textura que presenta una cierta absorción acústica. Los asfaltados absorbentes, presentan una superficie porosa que permite que el aire atrapado entre la superficie y el dibujo del neumático, pueda liberarse a través de las cavidades en el interior del asfalto, reduciendo el “air-pumping” y por tanto el nivel de ruido radiado por el neumático es menor.

Los asfaltos llamados poro-elásticos, añaden un grado de elasticidad, gracias a incorporar elementos de goma procedentes de neumáticos reciclados, que reducen la impedancia mecánica en la superficie consiguiendo una mayor reducción de ruido, a costa de tener un asfalto que mecánicamente se puede deteriorar más rápidamente con el paso de vehículos. El uso de los asfaltos acústicamente eficientes, consiguen una mejora para todos los vehículos que pasan por su superficie. El uso de asfaltados poro-elásticos, con un elevado contenido de goma (40%) ofrece en este momento el mayor grado de reducción sonora, llegando a los 9 – 10 dBA de reducción respecto de un asfalto convencional para velocidades de 100 Km/h. Para una velocidad de 30 Km/h la reducción de ruido se sitúa en 6 – 7 dBA. El espectro de ruido presenta la máxima reducción en las bandas de 1 KHz a 2 KHz [3].

No obstante otros estudios con un contenido de goma inferior del asfalto poro-elástico [4] [5], consiguen reducciones de ruido entre 3 y 6 dBA, y con un espectro de atenuación similar al poro-elástico con el 40% de goma. Los niveles de reducción de ruido mostrados pueden variar en función del tipo de neumático usado. La reducción de ruido mediante el uso de asfalto sonoreductor es una de las soluciones acústicas más eficaces para reducir el ruido de los neumáticos.

5.2. Uso de barreras acústicas.

Esta solución no es aplicable en entornos urbanos, donde existe una continuidad entre los edificios y la calle a través de una acera. Las barreras acústicas suponen un obstáculo físico que impide el paso de objetos. Su uso se centra esencialmente en carreteras o vías de circulación fuera del tejido urbano. Hay algunas excepciones, como las salidas y entradas a estacionamientos subterráneos cubiertas parcialmente por pantallas acústicas para minimizar el impacto acústico generado sobre las viviendas más cercanas.

5.3. Reducción del ruido de los vehículos.

El vehículo eléctrico dispone de un propulsor silencioso. En los modelos actuales sólo se percibe el ligero zumbido del control electrónico del motor eléctrico (ME). Respecto del ruido de los neumáticos, no varía respecto a los vehículos con motor de combustión interna (MCI), dado que sus características y dimensiones pueden ser las mismas. Diversos trabajos constatan que a partir de los 30 Km/h aproximadamente, y hasta los 50 Km/h en circulación urbana sin aceleraciones fuertes, la principal fuente de ruido es el neumático. La incorporación de una motorización eléctrica, reducirá el nivel de ruido básicamente a bajas velocidades, entre 0 y 30 Km/h aproximadamente. Durante un cierto tiempo, la coexistencia de vehículos con MCI, y vehículos con ME, hará que la reducción de ruido sea poco perceptible, hasta que la gran mayoría de vehículos usen ME.

La incorporación de fuentes de ruido a los vehículos con ME, en principio tiene que alertar a los peatones en las cercanías del vehículo eléctrico de su presencia, para velocidades inferiores a los 30 Km/h, y esto puede reducir o eliminar el beneficio del uso de vehículos con ME.

6. NUEVAS TECNOLOGIAS DE TRANSPORTE EN SC.

Los vehículos van incorporando cada vez más tecnología, para controlar su funcionamiento y seguridad. Así tenemos diversos sistemas como el ABS, el EDS, el BAS, el TCS, el ESP, etc. que permiten básicamente mantener el vehículo en la calzada evitando que las ruedas deslicen sobre el asfalto. Los vehículos de diseño más reciente, incorporan sensores que permiten ayudar al conductor en las situaciones límite. Detectar peatones, incrementar la potencia de frenado, etc. También la incorporación de cámaras, será habitual. Estos dispositivos registran las imágenes frontales y posteriores. En los países del Este de Europa, su uso es bastante frecuente para evitar disputas con las compañías de seguros. El uso de radares de corto alcance ya se incorporan en algunos modelos de gama media y alta, para evitar colisiones posteriores, o alertar de la presencia de un vehículo en los ángulos muertos de los laterales. Todas estas tecnologías quedan en el “interior” del vehículo, es decir son sistemas autónomos.

Pero en los últimos años se incorporan otros sistemas que permiten la conectividad del vehículo con el exterior. Y esto permite la conectividad inteligente con otros vehículos, como el sistema V2V. Esta tecnología permite entre otras cosas, la comunicación entre vehículos, con el objetivo de prever y evitar situaciones de riesgo. El sistema V2V toma el control de algunas partes del vehículo cuando se detecta una posible incidencia como una colisión. Funcionan a corta distancia, mediante un enlace parecido al Wi-Fi, con vehículos próximos. Sin embargo esta abertura al exterior conlleva algunos problemas de ciber-seguridad. Es posible “hackear” externamente el sistema y controlar algunas partes del vehículo, a distancia.

Si nos centramos en el ruido, la aparición de los vehículos con ME, lleva asociada la necesidad de emitir sonidos, cuando circula por debajo de los 30 Km/h, que alerten de su posición a los peatones cercanos. Estos nuevos ruidos deben ser perceptibles en el entorno donde se encuentra el vehículo. Surgen algunas cuestiones a las que habrá que dar una respuesta:

1. El vehículo tiene que emitir siempre ruido cuando circula por debajo de los 30 Km/h?
2. El nivel de ruido es constante o se va a regular en función del ruido ambiente?
3. Todos los vehículos van a emitir el mismo tipo de ruido o cada fabricante tiene el suyo?
4. Los sonidos emitidos por los vehículos con ME, es una medida para siempre, o solo durante la transición de MCI a ME?

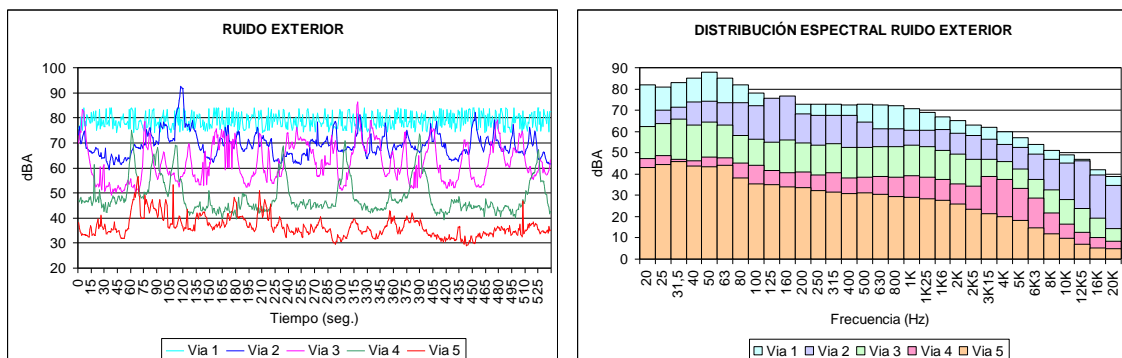
7. NIVEL DE RUIDO SOSTENIBLE.

Los habitantes de una población, tienen la percepción auditiva del ruido ambiental “adaptada” a su localización, es decir, su experiencia cotidiana los ha familiarizado con unos niveles y una calidad sonora del ruido ambiental percibido. Cuando estas personas se desplazan a otras ciudades donde el nivel sonoro es distinto, pueden llegar a detectar estas diferencias, ya sea por el nivel o por la calidad del sonido (distribución espectral). Por ejemplo, las poblaciones ubicadas en montaña o zonas rurales con inviernos duros, suelen tener más vehículos de tipo diesel. Una persona que vive en una población pequeña, percibirá el ruido de una gran ciudad con mayor nivel sonoro, quizás con una distribución espectral distinta (suena distinto) y sobre todo, con fluctuaciones temporales de nivel sonoro mucho menores. Lo mismo sucede a la inversa, cuando “vamos al campo” donde hay más momentos de silencio que de ruido.

El balance entre silencios y ruidos, es lo que nos permite valorar el grado de molestia del ruido ambiental. Nadie espera tener silencio absoluto, esto es hoy en día, impensable. Pero entre tener un silencio notable o un nivel de ruido insoportable, se establece una zona, suficientemente alejada de los extremos, donde muchas personas de distinta procedencia, pueden estar de acuerdo con hacer una valoración aceptable del nivel sonoro percibido. Este nivel o margen de niveles, sería el nivel de ruido sostenible.

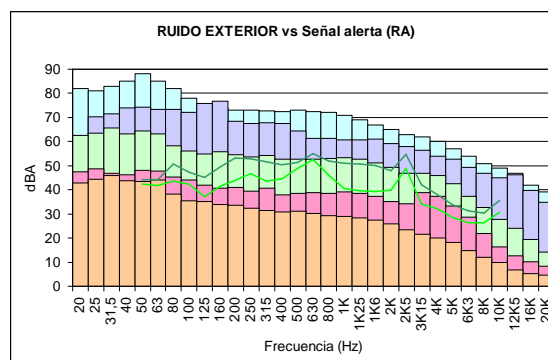
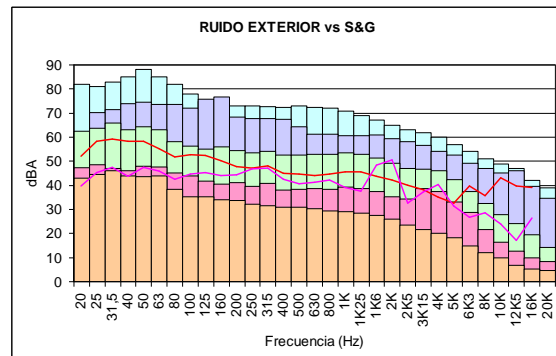
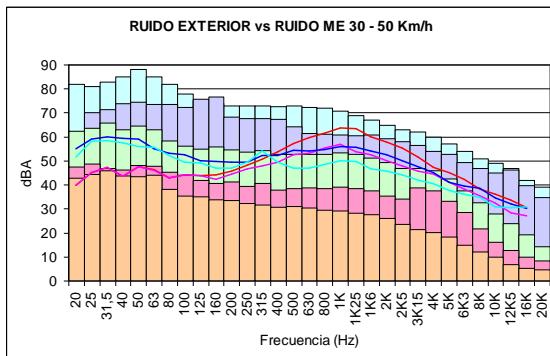
La figura siguiente muestra un ejemplo de ruido exterior en cinco vías de circulación. Las características de cada vía son distintas, así como el volumen de tráfico que circula por ellas en el momento de hacer la medición. Los fragmentos mostrados tienen una duración de 15 minutos. Los niveles globales medidos correspondientes a los fragmentos mostrados, se resumen en la tabla siguiente.

VIA	Leq dBA
Via 1	79,6
Via 2	72,7
Via 3	69,8
Via 4	57,4
Via 5	40,5



A la izquierda en azul claro se muestra el nivel de ruido de la vía 1 que presenta una circulación de vehículos muy intensa. En rojo se muestra el nivel de ruido de la vía 5 sin circulación de vehículos, que aunque es bastante silenciosa, pasan algunos peatones al principio del registro. Entre ambos casos, se muestran los niveles de ruido de distintas vías de circulación con diferentes densidades de tráfico. A la derecha se muestra la distribución espectral para cada vía.

Todos los ejemplos mostrados anteriormente son con vehículos con MCI. En el período de coexistencia con los vehículos eléctricos, la energía radiada por los vehículos con ME en las diferentes situaciones de circulación urbana producirán algunos cambios en el ruido ambiente. Se han considerado tres situaciones distintas. La primera para velocidades constantes de 30 y de 50 Km/h [6] [7]. La segunda para la situación de arranque desde parado (S&G) [6] [7], y la tercera cuando el vehículo con ME lleva activado el sistema de alerta para peatones (RA) circulando a velocidad constante de 10 y 20 Km/h [8]. Superponiendo los tres casos considerados de circulación de vehículos con ME al espectro de la 5 vías de circulación mostradas se obtienen los siguientes resultados.



De los gráficos anteriores se puede deducir lo siguiente.

a. Primera gráfica a la izquierda. Cuando los vehículos con ME circulan a velocidad constante entre 30 y 50 Km/h, el ruido que generan queda enmascarado por las vías por donde hay más circulación y por tanto más ruido. En consecuencia el ruido generado no se puede distinguir para las vías 1 y 2, estando la vía 3 muy al límite.

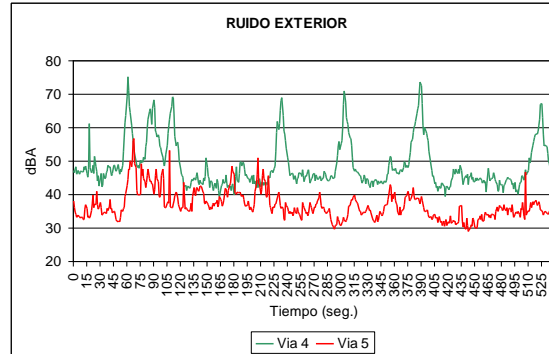
b. Primera gráfica a la derecha. Para la arranada de parado (S&G) de los vehículos con ME, el ruido generado no se puede distinguir para las vías 1, 2 y 3. En éste caso para algunos vehículos se detectan componentes de elevada frecuencia (10 a 16 KHz), que a tenor de la mermada sensibilidad auditiva de la población, no van a poder ser detectadas por una gran mayoría de peatones.

c. Segunda gráfica centro. Los vehículos con ME circulan por debajo de los 30 Km/h, concretamente a 10 y 20 Km/h, pero con el sistema de aviso sonoro (RA). Se pueden observar los tonos, de los casos analizados, en las bandas de 630 Hz y 2,5 KHz. A 20 Km/h en las vías 1 y 2 no serían distinguibles, y a 10 Km/h, no son distinguibles para las vías 1, 2 y 3.

La conclusión que se extrae de este análisis es que las vías 4 y 5, las más silenciosas, permiten en principio la detección de los vehículos con ME, con y sin sistema de alerta para peatones (RA). La tabla siguiente muestra de nuevo el nivel de ruido de las vías 4 y 5.

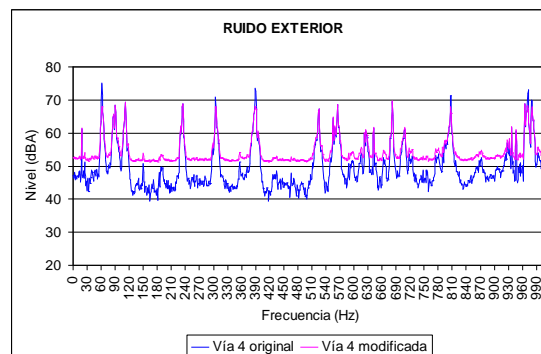
VIA	Leq dBA
Vía 4	57,4
Vía 5	40,5

Veamos con detalle la evolución temporal de estas señales, en la gráfica siguiente.



Para la vía 4 (color verde) se aprecian perfectamente los picos correspondientes al paso de siete vehículos por delante del punto de medida. Los niveles máximos se sitúan alrededor de los 70 dBA. Nótese que la señal de vehículo está presente durante el 23% del tiempo, mientras que para el 77% del tiempo restante, queda el ruido de fondo del lugar. El índice L90, es un buen indicador de este nivel que se sitúa en este caso en 43,3 dBA. Por lo tanto el oído está sometido la mayor parte del tiempo a una presión de 43,3 dBA. La sensación que se tiene “in situ” es de un nivel moderado de ruido, que durante unos segundos se ve alterado por el paso de siete vehículos.

Siendo el nivel equivalente de 57,4 dBA este indicador refleja realmente lo que se percibe? Nótese que el Leq no se puede aplicar indiscriminadamente para señales que tengan fluctuaciones importantes, a mayores desniveles mayor desviación respecto a la percepción sonora. y parece que la sensación sonora no se corresponde con el valor del Leq medido. Ilustramos este concepto con un ejemplo. La figura siguiente muestra la señal de la vía 4 y la misma señal modificada electrónicamente para crear un ruido de fondo más elevado, en éste caso el L90 pasa de 43,3 dBA a 51,7 dBA.



El nivel Leq de ambas señales es exactamente el mismo: Leq = 57,43 dBA, sin embargo la sensación que producen es bastante distinta. La señal modificada electrónicamente “suena” más fuerte que la original, ya que no baja de los 51 dBA aproximadamente, mientras que en la original, el L90 está unos 8 dB por debajo. El menor nivel de L90 hace que se perciba una mayor grado de silencio [9]. Por tanto si este indicador se sitúa entre 45 y 50 dBA, estaríamos en principio en un ambiente sonoro aceptable.

Respecto del nivel de ruido de la vía 5, se observan unos picos correspondientes a gente que pasa hablando cerca del punto de medida. Se oyen las voces y los pasos, que van decreciendo en amplitud. El fragmento indicado presenta un nivel equivalente $Leq = 47,3$ dBA y un $L90 = 39,9$ dBA. Esta situación se da en calles peatonales con muy poca o nula actividad comercial.

Se observa que cuando el ruido ambiental en una calle está por debajo de los 45 dBA aproximadamente, se pueden escuchar los pasos de las personas. Por otro lado es muy fácil mantener una conversación con otras personas que andan “en paralelo”, a pesar de que la directividad vocal, junto con el ruido ambiente, merma la inteligibilidad. En estos ambientes, no es preciso alzar la voz para hacerse entender. Este nivel sonoro podría definir de una forma muy simple un grado de “confort” o “agradabilidad” sonora para una gran mayoría de población.

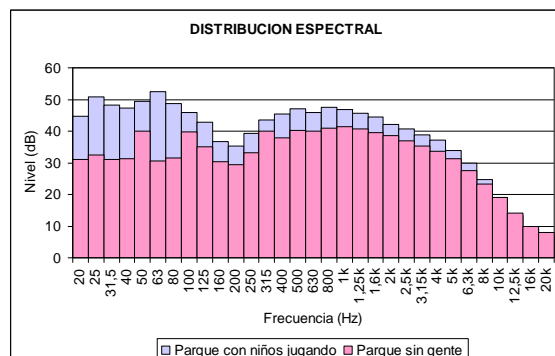
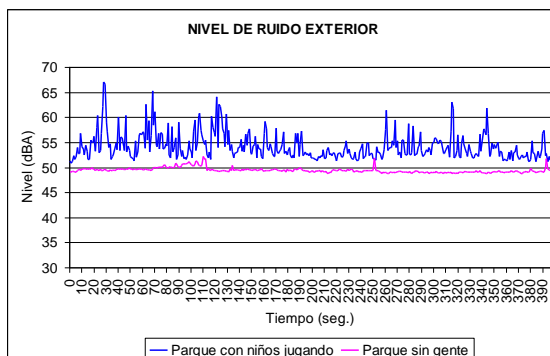
El nivel de ruido sostenible sería aquel que no precisa de acciones para modificar su nivel, es decir no supone un coste económico añadido. Obviamente cuanto más bajo sea el nivel sonoro mejor, pero eso no sería realista, en un entorno urbano donde coexisten multitud de fuentes sonoras.

A la vieja demanda de minorar el ruido de las calles, se añade un problema: como justificar a los ciudadanos, que además del ruido de los vehículos actuales, se añade más ruido para “detectar” a los eléctricos, y eso se hace principalmente en las operaciones de arranque de parado (S&G) y estacionamientos, que son situaciones bastante silenciosas, o la circulación por las llamadas “zonas 30” donde entre otras cosas, se persigue minorar el nivel de ruido.

8. DISEÑO DEL SONIDO DE LOS AMBIENTES SONOROS.

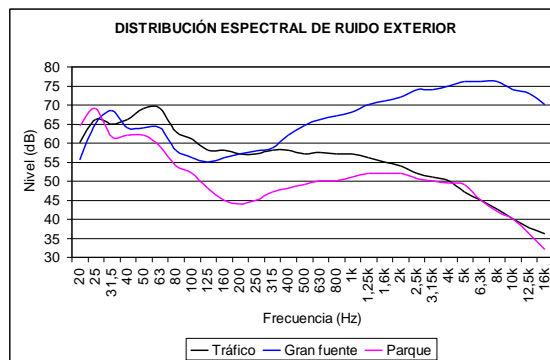
Por un lado tenemos los sonidos de las voces de las personas que transitan o están en los espacios abiertos (por ejemplo plazas) de una ciudad. Estos sonidos en general, aportan información, y por tanto “captan” fácilmente la atención de nuestro sistema auditivo. Esto no es deseable en un espacio donde las personas desean desconectar, y sentirse tranquilas. Por tanto hay que evitar que las voces se perciban con nitidez, para que nuestro sentido auditivo no intente descodificar la información y por tanto captar nuestra atención.

Por otro lado tenemos los sonidos procedentes de elementos naturales. Por ejemplo los saltos de agua, fuentes y similares y el viento. Los saltos de agua y las fuentes generan un ruido que permite, tratado adecuadamente, enmascarar otros sonidos como las voces, creando un entorno acogedor y agradable. El gráfico siguiente muestra a la izquierda, el registro temporal del ruido en un parque cercano a un río que pasa a unos 60 m de distancia.



A la derecha se muestra la distribución espectral correspondiente. El punto de medida es el mismo. Nótese con color rosa, el nivel sonoro cuasi-constante producido por el ruido del agua que transcurre por el río. El nivel sonoro medido desde el punto de medida con la gente paseando y hablando es de 55,1 dBA, mientras que el nivel sin gente, es de 49,5 dBA. En este caso el ruido del correr del agua, actúa como sonido enmascarante que “diluye” los sonidos procedentes de las personas que transitan por el parque. En estos casos tampoco el Leq es un buen indicador de la calidad sonora del espacio. Es preferible el uso del L90. Un valor bajo de éste indicador en el espacio considerado, hace que las personas estén más tranquilas, incluso ante sonidos externos que lleguen puntualmente con elevados niveles [10].

Los saltos de agua o fuentes son bastante usuales en los parques por un tema de estética y cultural. Pero desde el punto de vista acústico son una potente herramienta para transformar sonidos. La gráfica siguiente muestra el espectro del ruido de tráfico, de una fuente grande, y del interior de un parque urbano, medidos a distancias similares en el caso de ruido de tráfico y de la fuente. El ruido del parque se mide dentro de él. A la derecha se muestran los niveles globales de los tres ruidos para tener un orden de magnitud, aunque lo importante no es el nivel que obviamente cambia en función de la distancia, sino la distribución espectral (que también puede cambiar pero menos).



FUENTE SONORA	Leq (dBA)
Ruido tráfico	65,9
Ruido fuente grande	84,9
Ruido interior parque	61,7

Podemos observar en el caso de una gran fuente como los niveles radiados de alta frecuencia son muy notables, lo que hace que sean muy fácilmente perceptibles por el sentido auditivo, y “captan” la atención de éste, permitiendo que otros sonidos no deseados, como por ejemplo el ruido de tráfico, quede “tapado” completamente. Nótese que las grandes fuentes también aportan baja frecuencia. Este sonido también permite enmascarar a las voces.

Las preferencias de las personas en cuanto a los sonidos se establece en tres niveles. El primer nivel es la preferencia esencial, donde las personas tienen una opinión sobre determinados tipos de sonidos. El ruido de medios de transporte y de construcción suelen ser bastante in-populares, mientras que los de origen humano suelen tener un carácter neutro. En segundo lugar está el factor cultural y la experiencia sonora acumulada, que juega un papel fundamental a la hora de emitir juicios o establecer preferencias. El tercer nivel son las diferencias por sexo, y edad [11].

Diversos estudios sobre ambientes sonoros, encuentran que las preferencias están influenciadas por valoraciones subjetivas basadas en la edad, la experiencia sonora anterior, los aspectos culturales, etc. lo que dificulta encontrar ambientes sonoros que sean aceptados positivamente por una mayoría de personas. Sin embargo, el ruido del agua en sus diversas formas (fuentes, saltos, discurrir, etc.) tiene una valoración transversal independiente de la cultura, etnia, sexo, y en menor medida la edad.

9. CONCLUSIONES.

La incorporación paulatina del vehículo eléctrico conlleva dos cuestiones que en principio, pueden parecer contradictorias a la vista de los ciudadanos. Por un lado el uso de propulsores eléctricos reduce el ruido, pero por otro, cuando están parados (sin ruido) o estacionando (sin ruido), deben emitir ruido para alertar a los peatones de su presencia.

Durante el período de coexistencia entre los vehículos con MCI y los ME, es asumible que los silenciosos emitan un ruido para ser detectados, pero este ruido debería ser emitido cuando realmente fuera necesario, por ejemplo siempre ante la presencia personas con discapacidad, y en algunas situaciones ante la presencia de peatones. Dicho sistema de alerta, debería tener una fecha de caducidad, una vez el número de vehículos con MCI sea residual.

Son muchas las generaciones que han interiorizado el ruido de automoción con MCI. En previsión de la inminente electrificación del transporte, sería aconsejable una educación a los pequeños, con los sonidos que van a encontrar en las calles en un futuro no muy lejano. También sería aconsejable, una re-educación (bastante más compleja) sobre estos ruidos para los adultos.

En ocasiones se ha tendido con exceso al uso de aplicaciones para facilitar algunos trámites, o permitir consultas, como elementos de mejora en las SC. La tecnología debe aportar elementos que sean percibidos por los ciudadanos de las SC realmente como una mejora de la calidad de vida. En éste sentido, en la reducción del ruido en las ciudades, se debería pasar a la acción.

10. BIBLIOGRAFIA.

- [1] R. Barti. *Modelización del grado de molestia del ruido de automoción*. Tesis Doctoral Universidad Ramón Llull. Barcelona (2000).
- [2] Fundación Telefónica. *El componente humano de las smart cities*. Revista Telos Octubre 2016.
- [3] U. Sandberg, B. S. Zurek, J. A. Ejsmont, G. Ronowski. *Tyre/road noise reduction of poroelastic road surface tested in a laboratory*. Proceedings of Acoustics 2013- Victor Harbor, Australia.
- [4] W. Gardziejczyk, P. Gierasimiuk, M. Motylewicz. *Noisiness of the Surfaces on Low-Speed Roads*. MDPI. Coatings 2016, 6, 15.
- [5] M. Liu, X. Huang, G. Xue. *Effects of double layer porous asphalt pavement of urban streets on noise reduction*. International Journal of Sustainable Built Environment. 2016, 5.
- [6] R. Barti. *El vehículo eléctrico y la reducción del ruido ambiente en ciudades*. Euroregio 2016, Porto Portugal.
- [7] D. W. Wachter, *Schallpegelmessungen an Elektrofahrzeugen („VLOTTE“)*, Amt der Voralberger Landesregierung, Bregenz, 2009.

[8] I. Sakamoto, H. Houzu, T. Tanaka, M. Sekine, K. Morita, Y. Nagai and K. Suehiro, *Report on basic research for standardization of measures for quiet vehicles in Japan (Intermit report)*. Internoise, New York, 2012.

[9] J. Kang, *The practice and potential of urban soundscape design*. University of Sheffield (2007)

[10] J. Kang, W. Yang, M. Zhang. *Sound Environment and Acoustic Comfort in Urban Spaces*. University of Sheffield (2004)

[11] W. Yang, J. Kang. *A cross-cultural study of soundscape in urban open public spaces*. Proceedings of 10th International Congress on Sound and Vibration. Stockholm 2003.