

ERRORES EN LA VALORACIÓN DE COMPONENTES DE BAJA FRECUENCIA SEGÚN RD 1367/2007 Y D176/2009

PACS: 43.50.Yw

Dr. Robert Barti
Miembro fundador de ACUSTILAB
Laboratorio LEM
Pol. Ind. Cova Solera
Av. Can Sucarrats, 110, nave 11
08191 Rubí (Barcelona). España
Tel: 935 862 680
Fax: 935 862 681
E-mail: robert@lem-sl.com

ABSTRACT

The RD 1367/2007, introduces the concept of measurement and evaluation of low frequency components. The methodology described is based on simultaneous measurement with L_{eqA} and L_{eqC} at 20 Hz to 20 kHz frequency band. At regional level, the D176/2009 uses a similar method which RD1367/2007 consisting of rating indicators L_{eqC} and L_{eqA} between 20 Hz and 160 Hz, and can also apply the criterion of audibility according to ISO 226:2003. Applied both methods to the same real cases, we see that the value of these components are not well suited to reality. Based on these disappointing results, this paper proposes an alternative method for the evaluation of low frequency components, much more accurate and reliable.

RESUMEN

El RD 1367/2007, introduce el concepto de medida y evaluación de componentes de baja frecuencia. La metodología expuesta se basa en la medición simultánea con L_{eqA} y L_{eqC} entre 20 Hz y 20 kHz. A nivel autonómico, el D176/2009 utiliza una variante del método del RD1367/2007, consistente en valorar los indicadores L_{eqA} y L_{eqC} entre 20 Hz y 160 Hz, y además aplicarles el criterio de audibilidad según ISO 226:2003. Aplicados ambos métodos a los mismos casos reales, se observa que la valoración de dichas componentes no se ajusta bien a la realidad. En base a estos decepcionantes resultados, esta comunicación propone un método alternativo para la evaluación de las componentes de baja frecuencia, mucho más preciso y fiable.

INTRODUCCIÓN

La valoración del contenido de baja frecuencia de un ruido, es una de las novedades que ha introducido el RD 1367/2007. Esta valoración resulta especialmente interesante en aquellos casos en que la fuente de ruido genera bajas frecuencias. Es el caso por ejemplo, de las actividades musicales. El sonido que se percibe dentro de una sala colindante a una actividad musical, viene determinado por el grado de aislamiento acústico de los elementos constructivos, y del nivel sonoro dentro del local. Generalmente la reproducción musical de la música actual suele enfatizar el contenido de las bajas frecuencias, a veces hasta límites

exagerados que no pueden ser absorbidas por las estructuras de la actividad. Por otro lado, es bien conocido que el aislamiento acústico de los elementos constructivos en las bandas de baja frecuencia suele ser menor que en las frecuencias elevadas. De todo ello resulta que el sonido que se puede percibir con mayor nitidez en inmisión, tiene un elevado contenido de baja frecuencia. Las mediciones de nivel sonoro realizadas con ponderación A, no reflejan en estos casos el grado de contaminación acústica y de molestia reales a que se ven sometidos los residentes. La valoración de las componentes llamadas de baja frecuencia, tiene por objetivo, matizar el valor sonoro medido expresado en dB(A), y añadir una corrección “a posteriori” que penaliza en mayor o menor grado el nivel obtenido por el sonómetro. En cierta manera se trata de corregir, o al menos se intenta, lo que se hace mal.

TOMA DE MUESTRAS. MEDICIONES EN 16 ACTIVIDADES MUSICALES

El RD 1367/2007 anexo 3.4.2.b. permite hacer mediciones para actividades, de 5 segundos de duración. Es imposible determinar las componentes de baja frecuencia con una señal de esta duración. Nótese además que las señales musicales con fragmentos de 5 segundos pueden oscilar mucho dependiendo del tipo de música y del momento de la canción, influyendo en los niveles sonoros de inmisión. Además, el volumen sonoro dentro del local en el momento de la reproducción también puede variar de una música a otra de forma imprevisible.

Respecto del D176/2009, la metodología expuesta propone realizar 3 mediciones y los resultados se consideran válidos, cuando la diferencia entre ellos sea menor a 3 dB(A), sin especificar una duración mínima. Este método obtendrá valores que se ajustan a los requisitos si las mediciones tienen una duración suficiente. Nótese que con éste procedimiento, otros ruidos ajenos a la actividad son imputados a ésta, dando en consecuencia valores de presión acústica falseados.

El método correcto de medida en estos casos es el registro continuo suficientemente largo para captar el fenómeno y la posterior selección de datos, eliminando aquellos fragmentos que son dudosos o que proceden claramente de otras fuentes de ruido ajenas a la actividad. El registro se hace tanto para la actividad en marcha como parada. Esto requiere siempre una selección o validación de los datos obtenidos. Notemos que en un registro de ruido de fondo es prácticamente imposible obtener un registro de unos minutos que sea limpio. La práctica demuestra que en general los fragmentos netos son de algunas decenas de segundos de duración. En consecuencia, no es posible dar valores del nivel sonoro “in situ” como se hace en algunos casos, porque con toda probabilidad esos niveles tienen la influencia de fuentes acústicas ajenas a la actividad. Cuando los valores de inmisión sonora son muy cercanos a los del ruido de fondo, debe tenerse en cuenta que los promedios temporales suavizan los resultados, acercando ambos valores.

PRESENCIA DE COMPONENTES DE BAJA FRECUENCIA SEGÚN RD 1367/2007

La metodología descrita en el anexo IV, parte de la medición simultánea de los niveles de ruido expresados en dB(A) y dB(C). En general cuanto mayor sea la diferencia entre ambos indicadores, mayor proporción de baja frecuencia respecto las frecuencias medias y altas y por tanto mayor percepción de los graves. El método expuesto en el anexo IV determina L_f , como la diferencia entre $L_{eqC} - L_{eqA}$ debidamente corregidos por el ruido de fondo. Cuando esta diferencia es inferior a los 10 dB, se considera que no hay percepción de componentes de baja frecuencia. Cuando este indicador está entre 10 y 15 dB, se considera que hay una percepción neta, y cuando se superan los 15 dB, se considera que la percepción es fuerte. Este procedimiento no tiene en cuenta las condiciones acústicas del entorno ni el espectro de ruido residual, que altera a la capacidad sensitiva del oído.

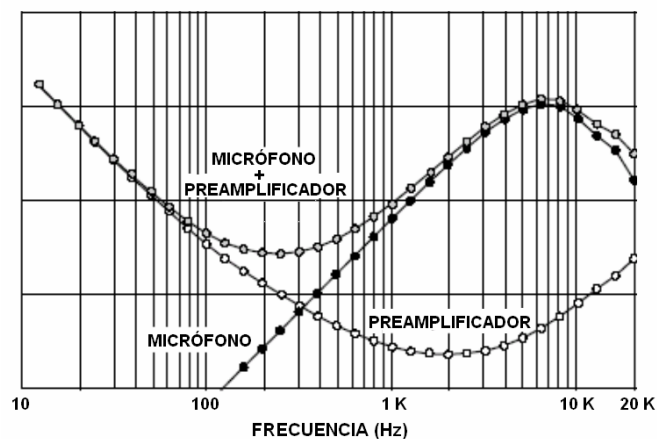
Nótese que tanto la ponderación A como la ponderación C, son aproximaciones de la curva de respuesta real del oído humano (monoaural) para niveles de 40 Fons y 70 Fons respectivamente normalizadas según el estándar IEC 60651 (1979), substituida por la IEC

61672 (2002). Recordemos que en el año 1933 la firma americana General Radio diseñó un sonómetro de calidad. Arnold Peterson diseñó e implementó un circuito electrónico que permitía introducir la respuesta del oído en el equipo de medida. Trabajó con un filtro pasivo formado por células R-C, siendo el filtro de ponderación C el primero en diseñarse. Peterson encontró un método para pasar de la ponderación C a la B utilizando un simple par condensador y resistencia. Añadiendo otro par R-C se pasaba de la ponderación B a la A. Pero la resonancia del canal auditivo, que entre 2 y 5 kHz que puede llegar a enfatizar entre 8 y 10 dB el nivel sonoro, no se podía implementar fácilmente con elementos pasivos R-C. Ante la dificultad técnica se decidió que la cuestión no era importante ya que en aquella época aun existían grandes diferencias entre las curvas isofónicas americanas e inglesas.

Por otro lado, al considerar todo el margen audible, se presupone implícitamente la hipótesis de que el contenido de altas frecuencias es decreciente, lo cual no siempre es cierto. Una energía de alta frecuencia hará subir el nivel del indicador dB(C), respecto del dB(A), introduciendo un error notable en la valoración del Lf, al imputar este incremento erróneamente a un mayor contenido de baja frecuencia. Esto puede parecer algo bastante inusual en la práctica, pero es más frecuente de lo que parece.

En las mediciones de nivel de ruido en ambiente interior, se suelen medir valores de presión acústica entre 20 y 30 dB(A). En período nocturno los valores pueden llegar a ser inferiores a los 20 dB(A), incluso dentro del tejido urbano de una gran ciudad. Aunque se utilicen sonómetros de tipo 1 / clase 1 convenientemente calibrados y verificados y en perfecto estado de funcionamiento, no todos estos equipos pueden medir estos niveles de presión acústica. La pieza clave está en el conjunto micrófono – preamplificador. El “sonómetro” en si, es realmente la parte menos importante en el aspecto de la sensibilidad del sistema de medida, ya que la calidad del conversor A/D es similar en todos los casos. Si disponemos de un conjunto micrófono – preamplificador con una figura de ruido muy baja, podremos tener un límite inferior de medida inferior a los 20 dB(A) con micrófonos de ½” pulgada. Sin embargo en el mercado hay dispositivos que no permiten medir con fiabilidad por debajo de los 25 dB(A).

Cuando la señal acústica se acerca al límite inferior de medida, lo que aparece como señal eléctrica es la suma de la señal de audio más el ruido generado por el micrófono – preamplificador siendo la parte de altas frecuencias la que aporta el micrófono, y la de baja frecuencia la que aporta el preamplificador. La figura siguiente, muestra la distribución espectral del ruido eléctrico introducido por el conjunto micrófono – preamplificador. Se observa como las componentes a bajas y altas frecuencias son más elevadas que a frecuencias medias, y por tanto el desnivel entre dB(C) y dB(A) aumenta “artificialmente” cuando se utiliza un conjunto transductor inadecuado para medir niveles bajos de sonido. Nótese que se presupone que el conjunto micrófono – preamplificador es siempre de tipo 1 / clase 1. Este error es muy común entre los mal llamados “profesionales” del sector acústico, que por ignorancia creen que con su equipo tipo 1 / clase 1, pueden medir cualquier nivel sonoro.



PRESENCIA DE COMPONENTES DE BAJA FRECUENCIA SEGÚN D176/2009

La metodología utilizada de base es la misma del RD 1367/2007, pero limita la banda de frecuencias entre 20 Hz y 160 Hz. El método tiene dos partes: en un primer paso, se considera que no hay percepción de baja frecuencia si el desnivel $L_{eqC} - L_{eqA}$ (20Hz-160Hz) es menor de 20 dB. Caso de obtener un desnivel superior se aplica al nivel sonoro sin ponderar, un segundo criterio basado en la audibilidad del sonido según norma ISO 226:2003. Se determina el índice L_B como la suma del contenido energético de las bandas que superan el umbral audible. Finalmente se considera que no hay percepción de baja frecuencia si L_B es menor de 25 dB. Se considera percepción neta cuando este indicador se encuentra entre 25 y 35 dB, y se considera una percepción fuerte para niveles de L_B superiores a los 35 dB.

En éste método, el reducir el margen de análisis entre 20 Hz y 160 Hz, favorece en principio su mayor precisión, al centrarse justamente en las bandas de baja frecuencia. No obstante el uso de la norma ISO 226:2003 quizás no sea lo más adecuado. La norma ISO 226:2003, determina el umbral audible del oído humano obtenido con auriculares. Algunos recordaremos la época pasada en los años 40 cuando los científicos a ambos lados del Atlántico no se ponían de acuerdo en la determinación de las curvas del umbral auditivo humano. Ambos obtenían curvas de sensibilidad auditivas distintas, y ambos tenían razón. Unos median en campo libre y otros con auriculares. El método del D176/2009 reabre pues el mismo problema que hubo hace 70 años. La aplicación del criterio de audibilidad, no tiene en cuenta los siguientes aspectos:

1. La percepción rítmica de la señal musical.
2. La percepción por vía corpórea de la baja frecuencia.

El cerebro humano es capaz de percibir y “seguir” el ritmo musical aunque éste esté ocasionalmente por debajo del ruido de fondo. En el proceso de decodificación de la información captada por los oídos, tenemos la habilidad de “poner” el compás que falta aunque realmente no lo escuchemos. En cierta manera, nuestro cerebro “busca” constantemente ese ritmo musical. En estos casos se pone de manifiesto que el silencio es la peor herramienta contra la molestia, porque permite la detección de las componentes rítmicas de muy baja intensidad con mucha facilidad. Nótese que la energía del ritmo musical puede pasar desapercibida con una medida sonométrica. Este aspecto es especialmente delicado cuando se hacen evaluaciones de actividades, y se utiliza ruido rosa. Estas señales son carentes de ritmo musical. El comportamiento del equipo de sonido es, en principio, independiente del tipo de señal aplicado. Pero nuestra percepción auditiva tiene en cuenta un aspecto muy simple que las mediciones “clásicas” no tienen en cuenta: las pausas. El ritmo musical tiene una cadencia basada en “señal – no señal”, y eso es relativamente fácil de detectar. En buena parte de los casos de quejas y denuncias por ruidos, las personas afectadas dicen “escuchar” la música cuando realmente perciben “únicamente” el ritmo musical. Realizando mediciones sonométricas no se consigue dar con el problema, llegando a la conclusión equivocada de que no existe contaminación.

Por otro lado, para frecuencias inferiores a los 150 Hz la sensibilidad de la percepción por vía ótica va disminuyendo, mientras que la percepción por vía “corpórea” aumenta. La percepción por vía corpórea, nos permite escuchar registros que por vía ótica no es posible. Por ejemplo, si escuchamos una fragmento musical de un órgano de viento en una iglesia con registros de 10 Hz, que teóricamente son inaudibles, se percibe una gran y clara diferencia entre poner y quitar esos registros. Luego, nuestro sentido auditivo percibe esas frecuencias, aunque el oído no es capaz de transmitirlos. La cóclea responde perfectamente y el cerebro procesa la señal correctamente, lo que falla o no funciona es el canal de transmisión timpánica. Este fenómeno debería tenerse en cuenta cuando se evalúan ruidos procedentes de actividades musicales.

Una persona dentro de una sala cerrada recibe el sonido a través de las estructuras que le separan de la actividad, generalmente un forjado o una pared. Estas estructuras están ligadas entre si, de manera que cuando aparecen vibraciones en una de ellas, pasan al resto de estructuras con facilidad. Esto significa que no hay un solo punto emisor en inmisión, sino muchos puntos emisores, podríamos hablar en el caso de baja frecuencia, de superficies radiantes. Estas superficies radiantes vibran, y ésta vibración es transmitida al aire con facilidad

debido a las superficies importantes que tienen las paredes y forjados, en comparación con la de un altavoz. Los aspectos expuestos no deberían ser obviadas cuando se trata de valorar el grado de contaminación acústica de una actividad musical.

PRESENCIA DE COMPONENTES DE BAJA FRECUENCIA. MÉTODO ALTERNATIVO

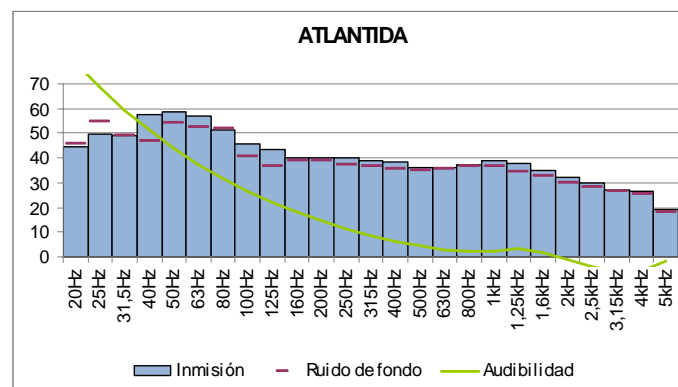
Este método tampoco da respuesta a las dos cuestiones expuestas anteriormente, pero ofrece unos resultados más cercanos a los esperados. Se trata de un método sencillo que aplica técnicas bien conocidas y experimentadas. Está basado en la evaluación de sonoridad según Zwicker para las bandas de baja frecuencia. Calcular la sonoridad no se puede hacer en “tiempo real”, pero eso no es importante puesto que la evaluación de componentes de baja frecuencia se realiza en base a los datos previamente validados. Se establece un escalado tal que si el valor del indicador es menor de 0,1, no hay percepción de baja frecuencia. Si el valor está comprendido entre 0,1 y 0,3 hay percepción neta, y si es superior a 0,3 se considera que hay percepción fuerte. Se trata pues de un método muy sencillo y fácil de implementar.

ESTUDIO DE CASOS REALES

Se aplican los tres métodos de evaluación de componentes de baja frecuencia a los mismos casos reales, utilizando exactamente los mismos fragmentos de señal. Se parte del nivel espectral de inmisión acústica medido en diferentes actividades, tanto en espacios cerrados, como también en espacios abiertos. Los focos sonoros en todos los casos eran actividades musicales que trabajaban con total normalidad, puesto que las mediciones se hacían sin conocimiento de éstas. La fuente principal de ruido era la música, que destacaba suficientemente del ruido de los clientes de los locales. Seguidamente se muestran algunos de los casos más representativos estudiados.

Caso 1.

Se trata de una actividad musical que trabaja en espacio abierto. El receptor o punto de inmisión acústica se encuentra alejado de dicha actividad en una zona urbanizada. El gráfico siguiente muestra en color azul, el nivel de inmisión sonora en ambiente exterior, medido en la fachada de la vivienda más afectada.



En color rojo el ruido de fondo en la zona con la actividad parada, y en color verde el índice de audibilidad según la norma ISO 223:2003. Se puede observar que los niveles de inmisión sonora destacan muy ligeramente del ruido de fondo entre los 40 Hz y 63 Hz.

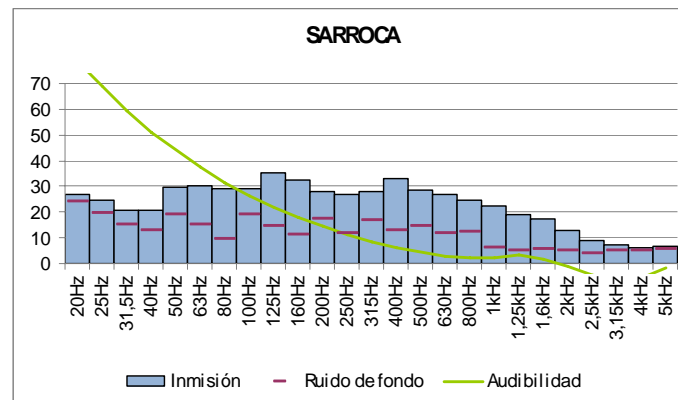
La tabla siguiente muestra el resumen de los resultados de ésta actividad. La percepción subjetiva “in situ” por parte del técnico, indicaba ausencia de componentes de baja frecuencia. Este resultado coincide con el obtenido por el método alternativo. No obstante se puede observar como según el RD 1367/2007 detecta una componente de baja frecuencia fuerte (+ 6 dB), y según el D176/2009 se detecta una componente neta (+ 3 dB). En ambos casos la

valoración es errónea, puesto que el nivel de inmisión sonora apenas destaca del ruido de fondo. El nivel sonoro absoluto parece ser un condicionante que perjudica a ambos métodos en la determinación real del contenido de baja frecuencia.

ATLANTIDA		
Según RD1367/2007	18,5	Fuerte
Según D176/2009	25,7 / 27,8	Neta
Método alternativo	-0,54	No BF
Percepción	--	No BF

Caso 2.

Se trata de una actividad musical en espacio cerrado situada en los bajos de un edificio inmerso en la ciudad. El punto sensible está situado en el piso superior. El gráfico siguiente muestra en color azul el nivel de inmisión sonora en ambiente interior, en color rojo el ruido de fondo con la actividad parada y en color verde, el índice de audibilidad según la norma ISO 223:2003. En este caso los niveles de inmisión sonora destacan claramente sobre el ruido de fondo.

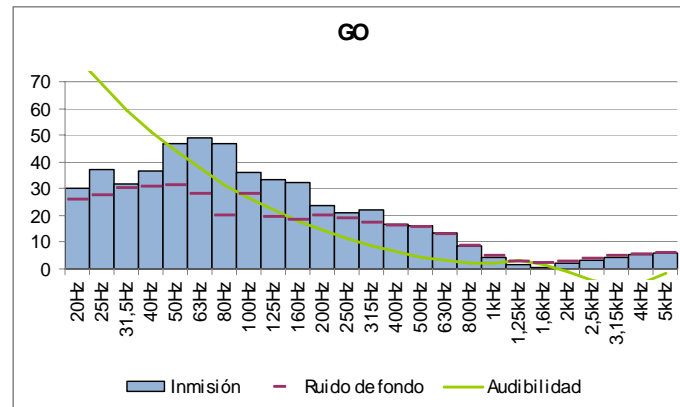


La tabla siguiente muestra el resumen de ésta actividad. Tanto el RD 1367/2007, como el D176/2009, concluyen erróneamente en su evaluación que no hay baja frecuencia. Se observa que las bandas de 125 y 160 Hz destacan por encima del ruido de fondo en unos 20 dB, aspecto que permite la detección rítmica de la música.

SARROCA		
Según RD1367/2007	7,6	No BF
Según D176/2009	16,6 / 17,2	No BF
Método alternativo	0,17	Neta
Percepción	--	Neta

Caso 3.

Se trata de una actividad musical en espacio cerrado. El punto sensible está situado en la planta adyacente, es decir la separación en este caso es una pared múltiple, dado que se han hecho diferentes revestimientos superpuestos para mejorar supuestamente su aislamiento acústico. El gráfico adjunto muestra en color azul el nivel de inmisión sonora en ambiente interior, en color rojo el ruido de fondo con la actividad parada y en color verde, el índice de audibilidad según la norma ISO 223:2003.



La tabla siguiente muestra el resumen de ésta actividad. El RD 1367/2007 evalúa que hay componentes fuertes. El D176/2009, concluye erróneamente en su evaluación que no hay baja frecuencia. Se observa que las bandas de 50 a 80 Hz destacan por encima del ruido de fondo en más de 20 dB, aspecto que permite la detección rítmica de la música con facilidad.

GO		
Según RD1367/2007	23,1	Fuerte
Según D176/2009	23,6 / 20	No BF
Método alternativo	0,37	Fuerte
Percepción	--	Fuerte

RESUMEN DE RESULTADOS

Tras el análisis de los 16 casos, la tabla siguiente resume los resultados obtenidos. Se observa que los métodos para la detección de componentes de baja frecuencia del RD 1367/2007 y del D176/2009 dan resultados muy similares, con 5 y 4 aciertos sobre 16 respectivamente. Cabe destacar que en el caso del D176/2009, el doble análisis no siempre es coincidente. De los casos analizados en 9 de ellos hace una evaluación contradictoria.

EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE BAJA FRECUENCIA			
SOBRE UNA MUESTRA DE 16 CASOS	Según RD 1367/2007	Según D176/2009	Método alternativo
Evaluación correcta	5	4	15
Evaluación errónea	11	12	1

CONCLUSIONES

A la vista de los resultados obtenidos con la muestra, se puede concluir que los métodos para evaluar el contenido de baja frecuencia según el RD 1367/2007 y el D176/2009, parece que presentan graves carencias cuando se aplican al ruido producido por actividades musicales, tanto para ambiente exterior como interior. Esto supone un inconveniente importante en el momento de la valoración de la capacidad contaminante de una actividad musical. Nótese que en la mayoría de los casos de quejas por ruido producido por éste tipo de actividades, las personas afectadas manifiestan que “escuchan” la música. Siendo las quejas por ruido de actividades musicales, una de las más habituales y de número creciente y que en ocasiones acaba en conflicto ante la justicia, sería recomendable revisar los métodos de la legislación actual para adaptarlos a ésta tipología de ruido.

En la evaluación del nivel sonoro en ambiente exterior, el ruido de fondo impide en general hacer una valoración precisa del grado de afectación, especialmente a distancias de varios centenares de metros donde la propagación acústica puede ser muy variable afectando a los niveles sonoros medidos. No siempre es posible realizar las mediciones con las condiciones de

propagación más desfavorables, ya que no es posible predecir con exactitud tal circunstancia “a priori”. Esto es especialmente delicado en la práctica para los profesionales del sector, puesto que se concierta un día de medición con cierta antelación. En ambiente interior, las condiciones acústicas están más controladas, y es el propio ruido eléctrico del equipo, el que generalmente presenta las limitaciones para medir bajos niveles de presión acústica.

El método propuesto está basado en un ajuste sobre los 16 casos analizados, debiéndose extender a otros casos para valorar la bondad del método. Respecto al cálculo del índice de sonoridad, se puede realizar “off line” a partir de fragmentos de señal previamente validados por el operador. La implementación de éste método en un sonómetro evitaría realizar cálculos, y permitiría obtener resultados casi en “tiempo real”, aunque lo recomendable es siempre hacer una selección de datos previa al análisis, y esto no se puede hacer con comodidad “in situ”.

Debería tenerse en cuenta la variabilidad temporal de la señal, y sobre todo, en el caso de actividades musicales, la percepción rítmica. Ningún ruido debería por su duración, por su nivel y por su repetibilidad, atentar contra el descanso de las personas. Para ello sería necesario introducir nuevos conceptos. Por ejemplo el “espectro emergente”, la “duración acumulada” o la “percepción rítmica”.

En este momento se está trabajando para introducir alguno de estos aspectos e incorporarlos al proceso de valoración, pero con resultados hasta ahora negativos. Probablemente la causa sea que nuestra percepción binaural de los sonidos nos permite realizar funciones que con un simple sonómetro no podemos detectar. Por ejemplo el seguimiento del ritmo musical con niveles sonoros muy cercanos al ruido de fondo, es muy fácil con una señal binaural pero casi imposible con una señal monoaural. Gracias a la percepción binaural del sonido, podemos “cancelar” parcialmente el ruido ambiente y detectar componentes que nos interesen, sea voz o música.

Todo ello dificulta enormemente obtener indicadores universales que se ajusten perfectamente a la percepción humana para cualquier situación y fuente sonora. Probablemente una “especialización” de los indicadores para determinados tipos de ruido, ofrecerían unos resultados más ajustados a la realidad. La excesiva simplificación y uniformización de los métodos de evaluación del ruido de la Legislación vigente dificulta e impide la obtención de resultados que se ajusten a la verdad. Las metodologías actuales, pueden dar resultados satisfactorios para señales de banda ancha, como puede ser el ruido de tráfico. Esta divergencia entre Legislación y realidad puede ser foco de litigios y problemas en un futuro cercano.

Finalmente, apuntar que sería interesante y de gran ayuda, que para agilizar el proceso de medida y evaluación del ruido, se incorporaran en los sonómetros indicadores de los parámetros de penalización por componentes de baja frecuencia, tonales e impulsivas. Una cosa no puede hacer el equipo de medida, que es la selección de datos, pero mientras se realiza una medición “in situ” tener en pantalla algo más que el espectro y los niveles Leq, resultaría muy ventajoso.