

## INCORRECCIONES EN LA EVALUACIÓN DE COMPONENTES IMPULSIVAS, BAJA FRECUENCIA Y RUIDO DE FONDO.

PACS: 43.50.Yw

Barti Domingo, Robert  
[robardom@hotmail.com](mailto:robardom@hotmail.com)  
619983384

**Palabras Clave:** evaluación ruido, impulsos, baja frecuencia, ruido de fondo.

### ABSTRACT.

When sound level is measured using current legislative procedures, level corrections are applied based on the presence of tonal, low-frequency and impulsive components. Tonal components are assessed using the ISO 1996 simplified method, which generally gives good results. However, the evaluation of the impulsive and low-frequency components uses methods that are not correct, introducing notable errors in the results. In the communication, the errors that are made are described, and solutions that are easy to implement with alternative methods are proposed. The goodness of the proposals is shown, assessing the presence of impulsive and low-frequency components, with data extracted from real cases. On the other hand, current measurement equipment equipped with 1/2" microphones does not allow reliable measurements below 25 dBA. Different options are exposed to fix the problem.

### RESUMEN.

Cuando se mide el nivel sonoro utilizando los procedimientos legislativos actuales, se aplican unas correcciones de nivel basados en la presencia de componentes tonales, de baja frecuencia e impulsivas. Las componentes tonales se valoran mediante el método simplificado de la ISO 1996, que generalmente da buenos resultados. No obstante, la valoración de las componentes impulsivas y de baja frecuencia, utilizan métodos que no son correctos, introduciendo errores notables en los resultados. En la comunicación, se describen los errores que se cometen, y se proponen soluciones fáciles de implementar con métodos alternativos. Se muestra la bondad de las propuestas, valorando la presencia de componentes impulsivas y de baja frecuencia, con datos extraídos de casos reales. Por otro lado los equipos de medida actuales equipados con micrófonos de 1/2", no permiten realizar mediciones fiables, por debajo de los 25 dBA. Se exponen distintas opciones para solucionar este problema.

### 1. INTRODUCCIÓN.

Las mediciones convencionales, se basan en la medida de la presión sonora, como indicador principal del grado de contaminación acústica. Las mediciones convencionales o clásicas, establecen en general unos puntos de medida, y unos procedimientos de evaluación del nivel de ruido que se basan en la hipótesis de que a mayor presión sonora, mayor contaminación y mayor grado de molestia. Las distintas legislaciones que podemos encontrar en el territorio, utilizan los métodos de medida convencionales, donde se especifican unos procedimientos de medida en función del tipo de fuente que se va a medir, y un procedimiento para la evaluación del sonido, donde a los resultados obtenidos de la medida física, se le aplican unos factores correctores  $K_i$ , en función de si el sonido se considera que tiene componentes tonales ( $K_t$ ), componentes de baja frecuencia ( $K_f$ ), y/o componentes impulsivas ( $K_i$ ). El resultado final llamado evaluado, se compara con unas tablas donde se indica el nivel sonoro máximo que se permite. Un error en la determinación de los factores correctores  $K$ , puede significar que una fuente sonora cumpla o no, con la legislación vigente.

Si el nivel evaluado supera éstos valores, se considera que hay una afectación por ruido y se infringe la legislación por parte del causante del ruido. Si por el contrario los niveles evaluados son inferiores a los indicados en las tablas, se considera que no hay afectación alguna y se cumple la legislación. Sin embargo cumplir la legislación, no significa en absoluto que no haya afectación producida por los niveles sonoros, sobre las personas [2], [3], [4]. Estos efectos no son físicos sobre el oído, sino psicológicos. Los casos más complejos y delicados en una medición, aplicando los procedimientos que establece la legislación vigente, se dan generalmente en interiores, con niveles de inmisión por debajo de los 30 dBA. En estas situaciones hay algunos elementos clave que deberían tenerse en cuenta, en aras a obtener unos resultados ajustados a la realidad del problema.

## 2. CORRECCIÓN POR COMPONENTES IMPULSIVAS.

La metodología usada actualmente para el cálculo de componentes impulsivas, no solo es erróneo, sino que además el anexo C de la norma para sonómetros IEC 61672:2014, cita:

*Varias investigaciones han concluido que la ponderación temporal I (Impulse), no es adecuada para la valoración de los sonidos impulsivos en relación a su sonoridad. La ponderación temporal I tampoco es adecuada para evaluar el riesgo de daño auditivo, ni para determinar la “impulsividad” de un sonido. Debido a la posibilidad de obtener resultados equivocados, la ponderación Impulse no se recomienda para los propósitos descritos antes.*

La llamada ponderación “impulse”, realmente no existe como tal, es un “apaño” técnico que se ha heredado de los sonómetros analógicos. Esta función, que se puede encontrar en todos los sonómetros digitales, se utiliza actualmente para la supuesta detección de componentes impulsivos dentro de una señal sonora. El sonido impulsivo se puede generar ya sea por la liberación rápida de gases comprimidos, o por la colisión de objetos sólidos entre ellos. El impulso se puede definir como el cambio instantáneo en la presión del sonido durante un corto período de tiempo. La duración de los impulsos puede variar desde decenas de microsegundos para disparos de armas pequeñas hasta varios cientos de milisegundos para un estampido sónico, el cierre de una puerta o la caída de un objeto duro sobre un suelo también duro. Los sonidos impulsivos pueden ser perjudiciales para el oído, si estos tienen presiones muy elevadas, como en el caso de petardos o disparos en las cercanías. Salvo estos casos, la mayoría de impactos medidos en entornos residenciales, no resultan perjudiciales para el oído, pero producen molestias.

La función “Impulse” de los equipos de medida de sonido, se desarrolló en la década de los años 60 para que los sonómetros o analizadores analógicos, pudieran mostrar de forma aproximada, el nivel del impulso (de duración muy breve) al usuario. Esta función estaba pensada para los equipos de medida analógicos que tenían indicadores de aguja que no permitían una lectura fiable, pudieran mostrar el resultado y “retenerlo” unos instantes para que el observador tuviera tiempo de ver el valor aproximado y anotarlo, ya que no se disponía de “memoria”. Nótese que la función “impulse” permitía a la aguja del indicador, subir rápidamente (constante de tiempo de 35 ms.), mientras que el decrecimiento es de 1.500 ms. Este decrecimiento suave del desplazamiento de la aguja, permitía que ésta bajara lentamente, y así daba tiempo al observador de ver el nivel del impulso, facilitando una lectura aproximada. La función “impulse” fue una solución técnica para suplir unas carencias de los indicadores de aguja analógicos. Recordar que mientras se medía con la función impulse, no se podía medir el nivel sonoro, ya que ambas medidas eran excluyentes. Hoy en día los equipos son digitales, con procesado digital, y con indicadores digitales, que analizan todos los parámetros simultáneamente y almacenan toda la información en la memoria, de manera que no hay que estar pendiente de ver el indicador todo el rato. Esta función no se puede usar con estos equipos de medida, puesto que no cumple el cometido original. Notemos que la función  $L_{eq}$ , no se podía hacer con equipos analógicos.

No parece razonable utilizar la función “Impulse” con los equipos actuales con el mismo fin que con los analógicos, puesto que éstos no tienen aguja que controlar en el indicador. El uso de la función “Impulse” en los equipos digitales actuales, para supuestamente medir los impulsos que contiene una señal, no es correcto por dos motivos. En primer lugar porque produce una sobrevaloración debido al exagerado nivel integrador del tiempo de caída, y en segundo lugar porque su cometido era variar la velocidad de respuesta de la aguja del

indicador y conseguir una visualización adecuada, es decir se trata de un control de la visualización y no es una función integradora temporal. Finalmente no existe ningún documento ni estudio que demuestre que la función integradora temporal Impulse, permita “medir” componentes impulsivas.

Las legislaciones actuales confunden la integración visual pensada para controlar el desplazamiento de la aguja de un indicador analógico, con la integración temporal como cadencia de integración de la toma de muestras, que no es lo mismo. Los documentos legislativos reproduciendo los mismos textos (copia y pega) de mediados del siglo XX, sin tener en cuenta los avances técnicos, utilizan este indicador para valorar la presencia de componentes impulsivas en el sonido, confundiendo integración visual con el muestreo (que no tienen nada que ver) y propiciando con ello, evaluaciones erróneas. Incomprendiblemente, los fabricantes, tampoco ayudan a hacer bien las cosas, si sus equipos implementan la mal llamada “función impulse” en equipos 100% digitales, posibilitando errores de bulto en la evaluación de dichas componentes. La excesiva sencillez de esta función “impulse” se basa en la subida repentina del nivel de sonido con el objetivo de “detectar” la presencia de impulsos dentro de una señal, pero eso en la práctica no siempre es cierto. Los cambios bruscos de nivel de señal, aún sin tener impulsos, pueden favorecer que la función “Impulse” presente un resultado positivo, a pesar de que dicha señal no tenga impulsos, esa es la perversión de éste método tan arcaico y obsoleto. Nótese que además, la subida repentina de nivel sonoro se interpreta como un impulso, mientras que el decrecimiento repentino no. Una señal impulsiva tiene una subida repentina de nivel, y una bajada de nivel similar en un corto espacio de tiempo muy inferior a 1 segundo. Si la señal sólo presenta una subida o sólo una bajada, no se trata de un impulso.

### 2.1. Ejemplo con una señal de voz.

Un ejemplo de señal carente de componentes impulsivas, es la voz humana. La vocalización, produce oscilaciones notables del nivel sonoro emitido por la voz, pero estas grandes oscilaciones de nivel no se pueden considerar en ningún caso señales impulsivas. Sin embargo una locución con niveles de ruido ambiente o de fondo moderados, presenta según la función “Impulse”, componentes impulsivas. Para mostrar lo comentado anteriormente, la figura 1, muestra una locución obtenida en un estudio de grabación, es decir en un entorno extraordinariamente silencioso y con el micrófono situado a unos 20-30 cm de la boca. El registro de la voz presenta una gran dinámica, mostrada en color azul  $L_{Aeq}$ . La gráfica en rojo, corresponde a la función “Impulse”  $L_{AI}$ .

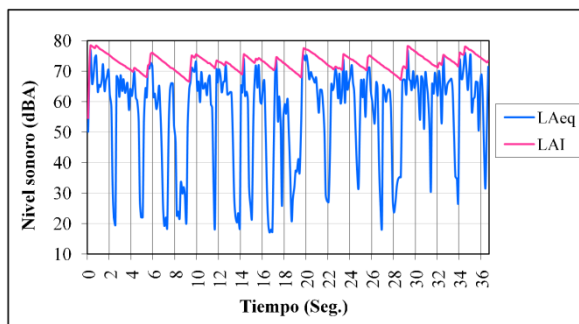


Figura 1. Evolución temporal de una locución, en un estudio de grabación.

En el registro anterior se puede observar cómo el nivel sonoro en las pequeñas pausas de la locución, momento en que el locutor respira o toma aire, llegan a los 20 dBa, que sería el ruido de fondo del estudio o sala de grabación. El elevado desnivel entre el ruido de fondo y el nivel sonoro de la voz, hace subir a la función “Impulse” mostrada en color rojo en la figura 1. El tiempo de caída de dicha función es constante (1.500 mseg), y son las pendientes inclinadas que podemos ver en el gráfico de color rojo. Se observa que la dinámica de la voz (color azul) es de unos 50 dBa. Para contrastar lo anterior la figura 2, muestra unas voces grabadas en un mercado donde se aprecian unos desniveles sonoros pequeños (curva en azul), ya que el ruido ambiente es notablemente superior al del estudio de grabación. Se puede observar como la

dinámica de la locución, en color azul, es bastante inferior respecto de la locución en estudio de grabación, siendo en este caso de unos 14 dBA.

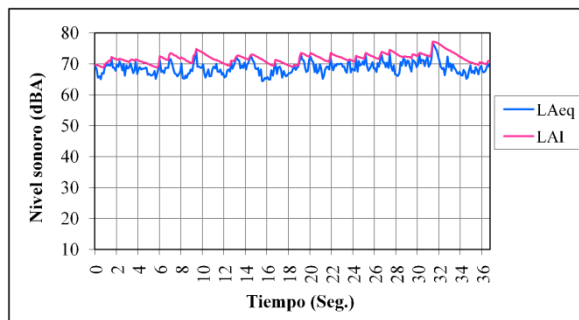


Figura 2. Evolución temporal de una locución, en un mercado.

La figura 1, mantiene la misma escala que la figura 2, para poder comparar fácilmente ambos resultados. Los valores promedio de los indicadores  $L_{Aeq}$  y  $L_{AI}$  correspondientes a las gráficas anteriores, se resumen en la tabla 1.

NIVELES SONOROS	LAI	L <sub>Aeq</sub>
Locución estudio	73,6	67
Voces mercado	71,7	68,8

Tabla 1. Niveles sonoros globales  $L_{AI}$  y  $L_{Aeq}$ , correspondientes a las figuras 1 y 2.

Las ordenanzas municipales más recientes utilizan la diferencia de niveles  $L_{AI} - L_{Aeq}$  para valorar la presencia de componentes impulsivas. Al hacer la diferencia entre  $L_{AI} - L_{Aeq}$  estamos restando la energía bajo las curvas rojo y azul, como se muestra en la figura 3. El resultado de la diferencia energética, es la diferencia de las dos áreas bajo cada una de las curvas.

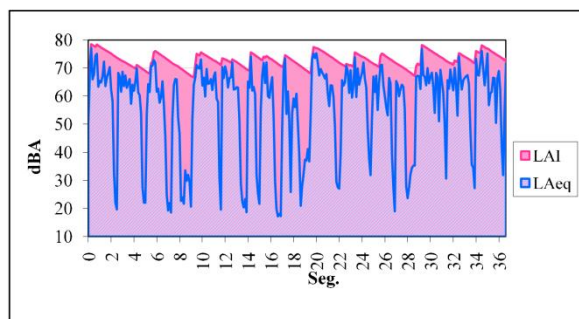


Figura 3. Ejemplo de cálculo de la “impulsividad” de un sonido según método de la legislación vigente mediante la diferencia  $L_{AI} - L_{Aeq}$ .

Gráficamente,  $L_{AI}$  es el área de color rosa, y  $L_{Aeq}$  es el área gris con rallas rosa. La diferencia  $L_{AI} - L_{Aeq}$  en este caso es de 6,6 dBA para la locución en estudio, y de 2,9 dBA para la locución en el mercado. De forma arbitraria, y sin ningún documento técnico que lo avale, algunas legislaciones, consideran que hay componentes impulsivas, si la diferencia supera los 10 dBA, por lo que en éste caso no habría componentes impulsivas. Sin embargo hay otras legislaciones, donde se considera que si la diferencia es de 3 dBA, hay presencia de señales impulsivas. En el caso mostrado, la voz grabada en estudio tendría componentes impulsivas, mientras que la locución en el mercado no. Realmente la locución humana carece de componentes impulsivas. Es destacable que usando los resultados de la misma medición, y aplicando distintas legislaciones, se obtienen diferentes resultados para el mismo caso, lo cual es bastante incongruente. Independientemente del valor del desnivel de la señal sonora, la metodología utilizada es incorrecta, por bien que al aumentar el valor de corte se acierte de casualidad el resultado, en algún caso. Hay que tener mucho cuidado con el uso del indicador  $L_{AI}$ , si se aplica sistemáticamente puede conducir a errores de bulto, como el ejemplo de la voz

humana. Resumiendo, la función que podemos encontrar actualmente en los sonómetros llamada "Impulse", no sirve para medir impulsos y se desaconseja su uso.

## 2.2. Componentes impulsivas. Métodos alternativos.

Si bien los métodos de ingeniería pueden conseguir una mayor precisión y veracidad en los resultados, los niveles de presión sonora y las frecuencias asociadas, no son suficientes para reflejar lo que perciben las personas expuestas a un sonido. El elemento más trabajado y buscado durante décadas, era cómo valorar el grado de molestia que genera un sonido sobre la población. Los primeros trabajos se remontan a finales de los años 20 (siglo XX), pocos años después del descubrimiento del micrófono de condensador por E.C. Wente en 1917. Los primeros equipos de medida funcionaban a válvulas y no eran portátiles por el gran consumo de energía eléctrica. En las décadas de los 40 a 60, se buscó encontrar un indicador para valorar el grado de molestia que el sonido podía producir sobre las personas. Sin embargo no es hasta la irrupción del transistor en el mercado a finales de los años 50, que propició la aparición de equipos portátiles para la medida del sonido. A partir de este momento realmente se hicieron avances importantes, sobre todo, por la mayor estabilidad y precisión de los equipos electrónicos de medida del sonido. A pesar de las mejoras de la tecnología y de los múltiples trabajos de investigación realizados, no se consiguió encontrar un indicador capaz de coincidir con las percepciones del sonido por los humanos.

A finales de los años 80, cuando empieza a irrumpir la tecnología digital en los equipos de medida. Los primeros modelos tenían un indicador digital en lugar de analógico y podían calcular el nivel equivalente, pero todo el tratamiento de señal seguía siendo analógico. A finales de la década de los 90 al disponer de convertidores A/D con suficiente precisión y fiabilidad, apareció el concepto de "medir todo", gracias a que el sonómetro ya era 100% digital, y los datos se almacenaban en formato electrónico en el sonómetro y ya no era necesario ir tomando lecturas, mientras se estaba pendiente del indicador de aguja del equipo de medida. Con el paso del tiempo, las necesidades también han evolucionado. La industria automovilística en la década de los 70, impulsó y desarrolló nuevos conceptos y nuevas métricas para poder diseñar el sonido de sus productos y diferenciarse de la competencia, un aspecto que era imposible conseguir usando únicamente el  $L_{eq}$  expresado en dBA, que se usó y se usa únicamente para la homologación.

### 2.2.1. Factor de cresta acumulativo.

Una primera alternativa para medir señales impulsivas, consiste en aplicar el concepto de factor de cresta acumulativo (FC) para clasificar los entornos de ruido en impulsivos o no impulsivos [20]. Según este método, un entorno de ruido se considera impulsivo cuando la diferencia entre los niveles de pico y RMS de una señal sonora es igual o superior a 15 dB. La diferencia entre los niveles de pico y efectivo varía aleatoriamente en función del tipo de señal. Por lo tanto, el método calcula la función de distribución acumulada, que consiste en cálculos de la FC en pequeños intervalos de tiempo. De esta forma, el método determina el porcentaje de tiempo en la muestra, donde el CF supera los 15 dB. Sin embargo, el método no establece un valor límite con respecto al porcentaje de tiempo que el factor de cresta debe exceder los 15 dB para que un ruido se considere impulsivo. Por lo tanto, en lugar de indicar que el método permite clasificar los entornos ruidosos en impulsivos / no impulsivos, se puede afirmar que los entornos ruidosos pueden clasificarse en función de su impulsividad.

### 2.2.2. Método Nordtest.

Otros trabajos publicados posteriormente, desarrollaron una metodología basada también en la curtosis para calcular el carácter impulsivo de una señal [15]. El método tiene como objetivo predecir la prominencia de los sonidos impulsivos en correspondencia con los juicios subjetivos promedio. Basado en la prominencia predicha P, se define un ajuste graduado, KI, del  $L_{Aeq}$  medido. El método se basa en la presunción de que la molestia aumenta con el aumento de la audibilidad (prominencia percibida) de los impulsos. La audibilidad de los impulsos se expresa por la prominencia, que debe superar un cierto límite antes de realizar un ajuste del nivel equivalente ( $L_{Aeq}$ ). Por debajo de este límite no se realiza ningún ajuste. Cuando la prominencia aumenta, el ajuste aumenta. La prominencia P se define mediante una medida logarítmica basada en la diferencia de nivel y la tasa de inicio del nivel de presión sonora ponderado A con ponderación temporal Fast. En la práctica, la escala logarítmica junto con la

ponderación temporal Fast establece un límite superior para el ajuste. Este método a diferencia del anterior, está orientado a valorar la molestia y no es aplicable para la evaluación del riesgo de pérdida auditiva. La señal debe muestrearse con un tiempo de 10 a 25 mseg. El método detecta el inicio de un impulso cuando el tiempo de subida de la señal supera los 10 dB/s y acaba la subida cuando ésta pendiente queda por debajo de los 10 dB/s.

### 2.2.3. Curtosis.

La tercera alternativa para medir señales impulsivas, consiste en utilizar las propiedades de la curtosis. Una de las primeras técnicas para medir el carácter impulsivo de una señal, se desarrolló usando esta función, basada en la distribución estadística de muestras de la señal sonora [8]. También se tenía en cuenta el TTS auditivo provocado por los impulsos [18]. El enfoque de este trabajo era valorar la presencia del carácter impulsivo en cuanto a su nocividad fisiológica sobre el oído, y no a la simple detección de éstas [9]. La curtosis es un parámetro estadístico que sirve para caracterizar la distribución de probabilidad de una variable aleatoria, indicando el grado de concentración de los valores alrededor de la medida central. Esto también se conoce como “grado de pico”. Se utiliza para caracterizar la morfología de una distribución. Justamente esta propiedad es la que resulta tan interesante para la detección de picos, de forma independiente a los niveles de la señal. La curtosis calcula el pico de un sonido en función de su evolución temporal [10]. La ventaja de usar la curtosis sobre otras técnicas, es que todos los picos se tienen en cuenta en el cálculo y además también se incorpora la diferencia relativa entre el nivel máximo y el nivel de fondo. Un valor bajo o negativo indica que no hay picos, mientras que un valor superior a 20, indica la presencia de señales impulsivas en la señal [21], [23].

### 2.2.4. Ejemplo 1. Dormitorio con sonidos impulsivos.

Se parte del registro de 27,25 seg. de duración, en un dormitorio con un nivel sonoro muy bajo (23,3 dBA). A esta señal se le añaden tres impactos de forma aleatoria. La posición de los impactos así como su intensidad se varían. Se añaden las señales de impacto con niveles muy bajos que no son perceptibles, pero están, y se sube su nivel hasta hacerlos perceptibles. La tabla 2, resume los niveles sonoros medidos. Como se muestra, sin impactos el índice  $L_{AI} - L_{eq} = 1,1$  correspondiente al ruido de fondo, donde realmente no hay componentes impulsivas. Este valor debería restarse a los valores obtenidos ante la presencia de componentes impulsivas. Nótese que en el caso del impacto perceptible, el indicador  $L_{AI} - L_{eq} = 1,9$  dB que según el D179/2009, no tiene penalización, y según el RD1367/2007, tampoco. Sin embargo dado el nivel sonoro tan bajo dentro del dormitorio, los impactos son claramente perceptibles. Como se muestra en la tabla 2, la curtosis detecta perfectamente los impactos, presentando un valor superior a 20, mientras que los métodos legislativos no detectan la presencia de impactos.

Ruido fondo dormitorio I	Sin impacto	Impacto no perceptible	Impacto perceptible
Leq	23,3	23,3	23,4
LAI	24,4	24,7	26,4
LAI-Leq	1,1	1,4*	3*
* valor corregido		0,3	1,9
Curtosis	3,84	3,61	22,97

Tabla 2. Niveles medidos del ejemplo 1.

### 2.2.5. Ejemplo 2. Dormitorio con voces.

Se parte de un registro de 16,75 s. de duración, en un dormitorio distinto al anterior caso, con un nivel sonoro medido “in situ” muy bajo (23,5 dBA). A esta señal se le añaden voces procedentes de otra unidad familiar. Se añaden las señales de voces con niveles muy bajos que no son perceptibles, pero están, y se sube su nivel hasta hacerlos perceptibles. Las señales resultantes, se analizan y se obtiene los indicadores  $L_{eq}$  y  $L_{AI}$ , para calcular su diferencia y determinar el grado de impulsividad según la legislación vigente. También se aplica el indicador de curtosis, para comparar resultados. La voz no tiene componentes impulsivas, no obstante el indicador  $L_{AI} - L_{eq}$  como es sensible a los desniveles, y no discrimina el carácter impulsivo, suele indicar presencia de componentes impulsivas, sin haberlas. No debe

confundirse a las señales de vocalización explosivas, con señales impulsivas. La tabla 3 resume los niveles sonoros medidos.

Ruido fondo dormitorio 2	Sin impacto	Voces no perceptibles	Voces perceptibles
Leq	23,5	23,7	27,3
LAI	24,5	25,0	31,9
LAI-Leq	1	1,3*	4,6*
* valor corregido		0,3	3,6
Curtosis	-0,1	-0,1	1,38

Tabla 3. Niveles medidos correspondientes al ejemplo 2, con voces.

Como se muestra en la tabla 3, en el interior del dormitorio 2 sin voces (ruido de fondo), el índice  $L_{AI} - L_{eq} = 1$ . Este valor debería restarse a los valores obtenidos ante la presencia de componentes impulsivas. Notamos que en el caso de las voces perceptibles, el indicador  $L_{AI} - L_{eq} = 3,6$  dB que según el D179/2009, tiene una penalización de 3 dB, y según el RD1367/2007, ninguna. Sin embargo dado el nivel sonoro tan bajo dentro del dormitorio, las voces son claramente perceptibles auditivamente, aunque la voz carece de componentes impulsivas. Nótese que en este caso, la curtosis distingue perfectamente las señales de voz que no tienen carácter impulsivo, y presenta un bajo valor, indicando que no existen componentes impulsivos en la muestra analizada.

### 3. CORRECCIÓN POR COMPONENTES DE BAJA FRECUENCIA.

Cuando se habla de componentes de baja frecuencia, nos referimos al sonido no deseado que se produce dentro de la región más baja del rango audible. Las dos fuentes de ruido más destacables en entornos urbanos, que generan elevados niveles de baja frecuencia y que son muy familiares, son el ruido de automoción (motor) y el ritmo musical. El primero afecta tanto en exteriores como en interiores, mientras que el segundo principalmente se percibe en interiores. Las legislaciones establecen unos límites de inmisión sonora valorados en dBA. En ocasiones los niveles de inmisión sonora están por debajo de los límites máximos, pero se percibe claramente esa energía de baja frecuencia que molesta. Las llamadas correcciones  $K_f$  tienen por objetivo, “compensar” los resultados. Esta valoración resulta especialmente interesante en aquellos casos en que la fuente sonora genera bajas frecuencias. Es el caso por ejemplo, de las actividades musicales y del tráfico rodado, entre otros. 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. De aquí la necesidad de “corregir” estos valores con los llamados factores  $K_f$ .

Los procedimientos legislativos para valorar la presencia de componentes de baja frecuencia, se basan en su mayoría en calcular la diferencia entre el nivel sonoro medido en dBC y el nivel medido en dBA. Esta técnica ha sido usada durante muchas décadas para valorar la presencia de baja frecuencia en un sonido. Aunque es un método muy simple y fácil de usar, no es un método infalible. Funciona correctamente para niveles sonoros moderados superiores a los 30 dBA, pero es especialmente nefasto para niveles por debajo de los 30 dBA. Es el caso del D176/2009, que modifica el método del RD 1367/2007. La modificación tiene dos partes. En primer lugar, se utiliza la diferencia entre dBC y dBA, pero se restringe el margen de frecuencias entre 20 Hz y 160 Hz, en lugar de hacerlo de 20 Hz a 20 KHz, como propone el RD1367. Este procedimiento parece más razonable, dado que para niveles bajos de señal, el ruido generado por el conjunto micrófono – preamplificador, incrementa la energía a las medias y altas frecuencias posibilitando de ésta manera que el nivel medido de baja frecuencia se vea influenciado por la energía a medias y altas frecuencias. En segundo lugar, se aplica el llamado criterio de audibilidad, basado en la ISO 226. Esta norma evalúa la sensibilidad auditiva del oído humano, para diferentes niveles de sonoridad. Para medir este umbral auditivo, las pruebas se realizan en un entorno muy silencioso y acondicionado acústicamente, y consisten en escuchar dióticamente, señales tonales de corta duración.

Sin embargo el oído humano no se encuentra en un entorno ideal acústicamente. Por un lado, los sonidos que recibimos habitualmente, no son componentes tonales puras, sino señales complejas con multitud de frecuencias y niveles sonoros. Por otro lado, la propagación

sonora no es siempre en campo libre. Y finalmente, no solemos estar en entornos muy silenciosos y con un acondicionamiento acústico notable. Esto hace que la curva de sensibilidad auditiva, no sea la más baja (umbral auditivo). Por tanto es incorrecto usar el umbral audible, para determinar si un sonido puede ser escuchado o no, independientemente al nivel sonoro "in situ". Por todo ello, el uso de la ISO 226 para establecer unos límites de audibilidad en una situación real (no de laboratorio) produce resultados erróneos, puesto que tanto la exposición al sonido, el entorno, y el tipo de sonidos son completamente distintos a los usados por la ISO 226.

### 3.2. Componentes de baja frecuencia. Métodos alternativos.

No existe ningún método aceptado como modelo o estándar para la detección de componentes de baja frecuencia. Sin embargo, existen distintos métodos que tratan de dar respuesta a esta necesidad. La tabla 4 resume los métodos usados por algunos países.

PAIS	PUNTOS MEDIDA	UBICACIÓN PUNTOS	PUNTO EN ESQUINA	RANGO FRECUENCIAS	DIST. MIN. PAREDES	ALTURA
Alemania	1	1 tecnico		10 - 80		
Austria	1	1 tecnico		10 - 80		
Dinamarca	3	2 usuario	1	5 - 160	0,5	
España	3 +	3 técnico		20 - 20.000	1	1,2 - 1,5
Finlandia	múltiples	usuario		20 - 200	1	
Holanda	1	1 tecnico / usuario	1 opcional	20 - 100	0,2 a 0,5	
ISO 16032	3	2 usuario	1	20 - 200	0,1	0,1
Japón	1	1 usuario		10 - 80		
Suecia	3	2 usuario	1	31,5 - 200	0,5	0,6-1,2-1,6

Tabla 4. Métodos usados por varios países, para medir las componentes de baja frecuencia.

La tabla 4 muestra comparativamente como la mayoría de métodos se centran en la baja frecuencia mayoritariamente entre 20 Hz y 200 Hz. Solo el RD 1367/2007 usa toda la banda de frecuencias de 20 Hz a 20 KHz. Por otro lado los puntos de medida son múltiples, y las distancias a los elementos constructivos suelen ser inferiores a 1 m. Resulta destacable que en algunos de estos métodos, los puntos de medida los determina el afectado, sin ninguna restricción. Las mediciones en las esquinas, siempre presentan niveles de baja frecuencia superiores a otros puntos dentro del recinto. En éste aspecto no hay unanimidad, probablemente porque en general los puntos donde se encuentran mayoritariamente las personas no suelen ser las esquinas de los recintos, por lo que hacer una medición en la esquina, no es ventajoso y tampoco nos indica el grado de afectación real, al que se ve sometida la población.

Respecto de los niveles máximos permitidos para las distintas bandas de frecuencia, no todos los métodos establecen un límite máximo. La tabla 5 resume los niveles máximos permitidos para distintas legislaciones y muestra como la mayoría de países optan por extender el margen de frecuencias notablemente por debajo de los 20 Hz. Resulta bastante obvio que los niveles de baja frecuencia medidos dependen en gran medida de la posición elegida. Para valorar la molestia generada por la baja frecuencia, los promedios entre distintas mediciones no son adecuados, ya que las personas presentes en los puntos de mayor nivel sonoro, no se benefician de que en otros puntos de la sala, el nivel sonoro sea inferior. Por esto parece que lo más aconsejable es escoger los puntos de medida, allí donde el usuario manifiesta que oye el ruido con más intensidad [19].

Algunos métodos proponen medir únicamente en las cuatro esquinas del recinto, se realiza un promedio energético buscando el máximo valor y se le resta 4 dB [16]. Las incertidumbres asociadas a este método son muy bajas, y hay una buena correlación con la molestia. Sin embargo la distribución de energía de baja frecuencia no siempre es simétrica y por otro lado los resultados prácticos muestran que con éste método, en general se sobrevaloran los niveles percibidos por los afectados [17]. Algunos trabajos muestran que la molestia del ruido de baja frecuencia disminuye cuando hay energía a frecuencias altas [12]. Con las ventanas abiertas,



el ruido exterior de frecuencias altas, puede entrar libremente haciendo que la percepción de las bajas frecuencias disminuya [22].

Hz	ISO 226	Nº9 1997 Dinamarca	SP INFO 1996:17 Suecia	Defra 2005 Reino Unido	DIN45680 Alemania 1997	DIN 45680* Alemania 2013	DNAF 2002 Holanda	Finlandia
8					103	100		
10		90,4		92	95	92	92	
12,5		83,4		87	87	84	88	
16		76,7		83	79	76	84	
20	78,5	70,5		74	71	68,5	74	74
25	68,7	64,7		64	63	58,7	64	64
31,5	59,5	59,4	56	56	55,5	49,5	55	56
40	51,1	54,6	49	49	48	41,1	46	49
50	44	50,2	43	43	40,5	34	39	44
63	37,5	46,2	41,5	42	33,5	27,5	33	42
80	31,5	42,5	40	40	33	21,5	27	40
100	26,5	39,1	38	38	33,5	16,5	22	38
125	22,1	36,1	36	36		12,1	18	36
160	17,9	33,4	34	34			14	34
200	14,4		32				10	32
250	11,4							

Tabla 5. Niveles sonoros máximos permitidos, para cada banda de frecuencia, para los distintos procedimientos legislativos.

### 3.3. Análisis de casos reales.

Se analizan un total de 78 casos. De todos ellos se obtienen el nivel de inmisión y el nivel de ruido de fondo. Se muestran seguidamente algunos de los casos más representativos que evidencian algunas diferencias notables entre los métodos del RD1367/2007 y del D176/2009. Las figuras siguientes, muestran con sombreado azul, el nivel de inmisión por bandas de tercio de octava entre 20 Hz y 20 KHz. Con línea escalonada roja, se muestra el nivel de ruido de fondo y en trazo verde, el criterio de audibilidad de la ISO 226. El primer caso que exponemos se muestra en la figura 4, donde podemos observar que los niveles de inmisión sonora son iguales al nivel de ruido de fondo, para las bandas de 20 Hz a 200 Hz excepto para las bandas de 125 Hz y de 160 Hz. Aplicando los métodos de cálculo, se obtiene que tanto para el RD1367 como para el D176, no hay componentes de baja frecuencia. Sin embargo, la percepción “in situ” revela una percepción neta del ritmo musical.

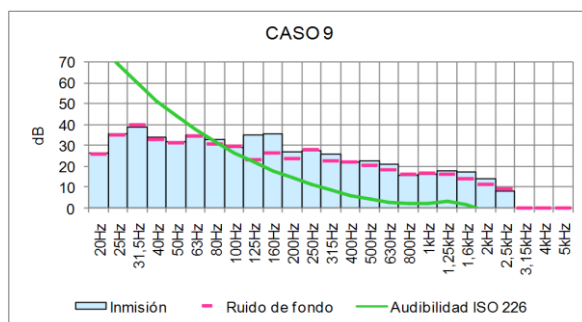


Figura 4. Caso 9, donde los niveles de inmisión y ruido de fondo son muy coincidentes en las bandas de baja frecuencia (de 20 Hz a 200 Hz).

El segundo caso expone una situación opuesta a la anterior y se muestra en la figura 9.18. En esta ocasión los niveles de inmisión sonora entre los 40 Hz y los 160 Hz son muy evidentes y destacables. El resto de superaciones en las bandas de 20 Hz, 25 Hz, 200 Hz y 315 Hz se pueden considerar poco significativas. En este caso la percepción “in situ” de baja frecuencia es fuerte, que coincide con lo calculado por el RD 1367/2007. Sin embargo el D176/2009 da un resultado sorprendente: no hay componentes de baja frecuencia.

Los casos expuestos, son algunos ejemplos que evidencian que los métodos utilizados en el RD 1367/2007 y en el D176/2009, no ofrecen unos resultados acordes con las sensaciones percibidas y además dan valoraciones contradictorias.

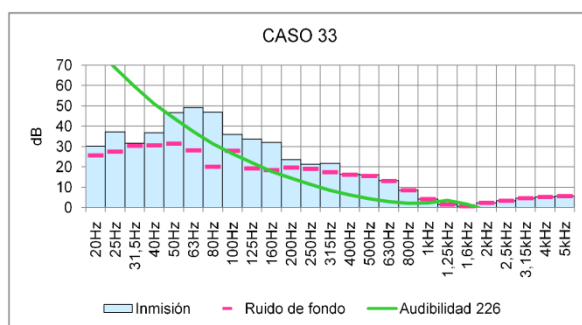


Figura 5. Caso 33, donde se destacan claramente componentes de baja frecuencia entre las bandas de 40 Hz y 160 Hz, que son claramente perceptibles.

La tabla 6 resume los resultados obtenidos en los 78 casos. Se muestran los resultados de la evaluación según RD1367 comparados con los del D176. Nótese que los datos utilizados por ambos métodos son exactamente los mismos. La columna “percepción” corresponde a la valoración “in situ” realizada durante las mediciones. Se trata obviamente de una valoración subjetiva. Las valoraciones subjetivas más fáciles se corresponden con la ausencia o la percepción fuerte de componentes de baja frecuencia. Sin embargo la percepción neta no está exenta de dificultad, especialmente cuando la sensación está en la frontera de considerar percepción neta o nula, por lo que los resultados podrían variar ligeramente.

Caso	RD1367	D176	CBF	Percepción	Caso	RD1367	D176	CBF	Percepción	Caso	RD1367	D176	CBF	Percepción
1	No	No	Fuerte	Fuerte	27	Neta	No	Fuerte	Fuerte	53	Neta	Neta	No	No
2	No	No	No	No	28	No	No	Neta	Neta	54	No	No	No	No
3	No	No	No	No	29	Fuerte	No	Fuerte	Fuerte	55	Fuerte	No	Neta	Neta
4	Fuerte	No	Fuerte	Fuerte	30	No	No	No	No	56	Fuerte	Neta	Fuerte	Fuerte
5	No	No	No	No	31	No	No	No	No	57	No	No	No	No
6	Fuerte	No	Neta	No	32	Fuerte	No	Neta	Neta	58	Neta	Neta	Fuerte	Fuerte
7	Neta	No	No	No	33	Fuerte	No	Fuerte	Fuerte	59	Neta	No	Neta	Neta
8	No	Neta	Neta	No	34	Fuerte	No	Fuerte	Fuerte	60	Neta	No	Neta	Neta
9	No	No	Neta	Neta	35	No	No	No	No	61	Fuerte	No	No	No
10	No	Neta	Neta	Neta	36	No	No	No	No	62	Fuerte	No	Fuerte	Fuerte
11	Fuerte	No	Neta	Neta	37	No	Forta	No	Neta	63	Fuerte	No	Neta	Neta
12	Neta	Neta	Neta	Neta	38	No	No	Fuerte	No	64	Neta	No	Fuerte	Fuerte
13	Neta	No	Neta	Neta	39	Fuerte	No	Fuerte	Fuerte	65	No	Fuerte	Fuerte	Fuerte
14	No	No	No	No	40	Fuerte	No	Fuerte	Fuerte	66	No	No	No	No
15	Fuerte	Forta	Neta	Neta	41	No	No	Neta	Neta	67	No	Neta	Fuerte	Fuerte
16	Fuerte	No	Neta	No	42	Neta	No	Fuerte	Fuerte	68	Neta	No	Neta	Neta
17	No	Neta	No	No	43	Fuerte	No	Fuerte	Fuerte	69	No	No	Fuerte	Fuerte
18	No	No	No	No	44	No	No	Neta	No	70	Fuerte	No	Fuerte	Fuerte
19	No	Neta	No	No	45	No	Neta	No	No	71	Neta	No	Fuerte	Fuerte
20	Fuerte	No	Neta	Neta	46	Neta	No	Fuerte	Fuerte	72	No	No	Neta	Fuerte
21	No	No	Fuerte	Fuerte	47	No	No	No	No	73	Fuerte	No	Fuerte	Neta
22	No	No	No	No	48	Fuerte	Neta	Fuerte	Fuerte	74	No	No	No	No
23	Neta	No	Fuerte	Fuerte	49	Fuerte	Neta	Fuerte	Fuerte	75	No	No	No	No
24	No	No	No	No	50	Fuerte	No	Fuerte	Fuerte	76	Fuerte	No	Fuerte	Fuerte
25	No	No	Neta	Neta	51	Fuerte	Neta	Fuerte	Fuerte	77	No	No	Neta	Neta
26	No	No	No	No	52	Fuerte	No	Fuerte	Fuerte	78	No	Neta	No	No

Tabla 6. Resultados de la evaluación de componentes de baja frecuencia según el RD 1367/2007 y el D176/2009 para los 78 casos analizados. Se destaca en color rojo las valoraciones opuestas entre el RD 1367 y el D 176.

Los resultados dejan en evidencia que ambos métodos no son equivalentes. Los resultados obtenidos por ambos métodos son coincidentes en el 42,3% de los casos, pero son distintos en el 28,2% de las muestras analizadas. La parte más negativa quizás sea que la valoración que hacen de la presencia de componentes de baja frecuencia, son opuestas y contradictorias, en un 29,5% de los casos analizados, lo que puede crear desconcierto y confusión.

El resultado opuesto significa en la práctica, que para los mismos datos y por tanto la misma situación acústica, en función de la localización geográfica, se puede penalizar con 6 dB o con 0 dB, al nivel de inmisión, lo que puede significar que se supere o no la inspección acústica de una actividad por ejemplo, situación totalmente injusta.

En cuanto a las valoraciones efectuadas por ambos métodos, se observa como el RD1367, presenta un perfil parecido al de la percepción subjetiva “in situ”, mientras que el D176, presenta un perfil muy distinto, con una desproporción bastante acusada, hacia el dictamen negativo. Los resultados mostrados en la figura 7, parecen indicar que el D176 aparentemente “favorece” las valoraciones negativas respecto a la presencia de componentes de baja frecuencia en más del 83% de los casos analizados, mientras que encuentra componentes de baja frecuencia fuertes por debajo del 4% de los casos analizados.

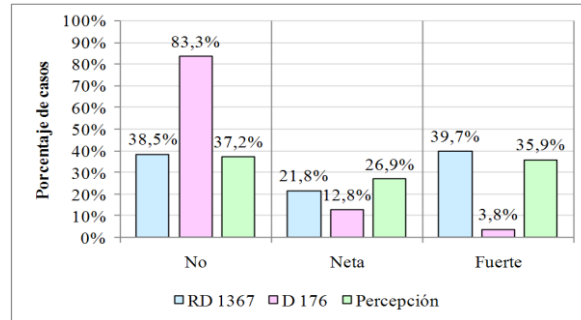


Figura 7. Porcentaje comparativo de acierto en las evaluaciones de la presencia de componentes de baja frecuencia, para los métodos del RD 1367 y del D 176, comparado con la percepción subjetiva “in situ”.

### 3.4. Método alternativo CBF.

La resolución del problema en la búsqueda de un indicador más preciso y cercano a las valoraciones subjetivas, debe basarse en una visión holística de la situación. En general se puede afirmar, que cuando se trata de abordar un amplio abanico de casos y situaciones distintas en acústica, las soluciones simples funcionan mucho mejor que las más complejas, siendo éstas habitualmente más específicas para resolver un problema muy concreto. En la percepción sonora, juegan un papel importante los desniveles sonoros que son fácilmente detectables en determinadas circunstancias.

Por otro lado la diferencia  $L_{eqC} - L_{eqA}$  se ha experimentado favorablemente durante décadas y además resulta fácil de implementar en dispositivos de medida en “tiempo real”. Se observa que los incrementos tanto en dBC como en dBA producidos por la inmisión sonora sobre el ruido de fondo o residual, pueden ser una estrategia adecuada para valorar el contenido de baja frecuencia. La figura 8, muestra en la parte superior, los tres niveles de evaluación subjetiva (nula, neta y fuerte) de la baja frecuencia para los 78 casos analizados. Se puede observar como las diferencias entre los incrementos  $\Delta dBC$  y  $\Delta dBA$ , están directamente relacionados con el nivel de componentes de baja frecuencia. Una función entre ambos parámetros podría ser una solución.

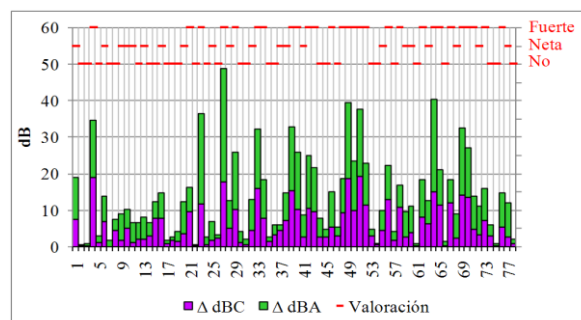


Figura 8. Relación entre los incrementos  $\Delta dBC$  y  $\Delta dBA$  de la inmisión sonora y el ruido de fondo o residual, respecto a la valoración subjetiva de la presencia de baja frecuencia.

Mediante un análisis de regresión lineal, se obtiene un indicador llamado CBF (Cálculo de Baja Frecuencia) basado en los parámetros anteriores,  $\Delta dBC$  y  $\Delta dBA$  y que minimiza el error en la predicción de la presencia de componentes de baja frecuencia, mediante la expresión 1.

$$CBF = \Delta dBA + \left[ \frac{\Delta dBC}{2,1} \right] \quad (1)$$

El escalado se resume en la tabla 7.

Escala CBF	Puntuación
< 5,5	No
5,6 a 11	Neta
>11	Fuerte

Tabla 7. Escalado propuesto para la función CBF.

Aplicando el CBF a los 78 casos analizados se obtienen los resultados que se resumen gráficamente en la figura 9, donde se observa que la predicción del CBF supera el 92% de acierto respecto de la percepción “in situ”. Este porcentaje de acierto, se reduce al 57% para el RD1367 y al 34% para el D176.

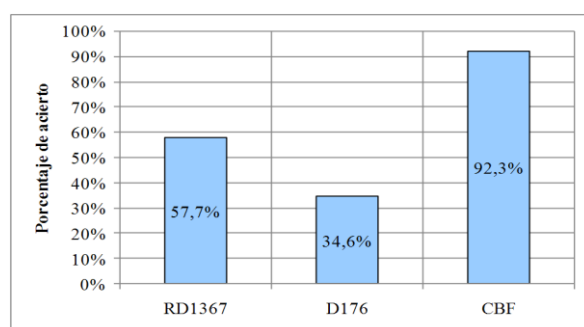


Figura 9. Comparación de los resultados de la valoración de la presencia de componentes de baja frecuencia, por el RD1367 el D176 y el método CBF.

Nótese que los espectros, no desvelan la evolución temporal de la señal sonora. Es bien conocido que el sentido auditivo tiene una facilidad innata para detectar señales con una cadencia rítmica. Esto se debe a que la presencia de esta cadencia muestra un origen “inteligente” de la señal sonora, que junto con alertar de los peligros, es una de las funciones básicas del sentido auditivo. Su utilidad se remonta a los tiempos de la prehistoria donde los primeros seres humanos se comunicaban a distancia con señales rítmicas. En la naturaleza no hay señales rítmicas salvo algún caso muy puntual como el goteo de la lluvia sobre un objeto. Sin embargo algunos animales por ejemplo, envían señales sonoras rítmicas para alertar a otros semejantes en la zona, de la presencia de depredadores, lo que denota una inteligencia.

#### 4. CORRECCIÓN POR RUIDO DE FONDO.

Es una cuestión de acústica básica: el ruido de fondo debe descontarse siempre y en todos los casos, del nivel sonoro medido. Esto aplica solo cuando el desnivel entre la fuente sonora y el ruido de fondo es igual o inferior a 10 dB. Cuando la diferencia entre el nivel de inmisión y el ruido de fondo es de 3 dB, la fuente sonora tiene el mismo nivel que el ruido de fondo. Salvo que se estén haciendo mediciones con métodos de ingeniería, y se utilice instrumentación con dos o más canales de medida simultáneos, por debajo de los 3 dB no es recomendable descontar el ruido de fondo, ya que la incertidumbre de la medida es elevada. Algunas legislaciones sugieren repetir otro día o momento las mediciones. En estos casos el texto legislativo presupone que la actividad evaluada, contamina acústicamente siempre, lo cual no tiene porque ser cierto. Se ha sugerido que en estos casos, se descuente directamente los 3 dB del nivel de inmisión, por ruido de fondo. Respecto a la corrección por ruido de fondo, sorprende ver que una ordenanza municipal de una gran ciudad, da un paso más allá y especifica que, no se puede aplicar la corrección por ruido de fondo, si existe una penalización por componentes K. Este concepto no figura en ninguna norma, y no existe ningún estudio ni documento técnico que avale dicha afirmación. Las entidades de inspección acreditadas, que actúan en nombre de la administración, tienen un grave problema al aplicar esta ordenanza municipal en sus informes. Por un lado cualquier entidad acreditada, debe respetar escrupulosamente el documento legislativo. Pero por otro lado, cuando el ruido de fondo se

acerca al nivel de inmisión (está a menos de 10 dB de éste), debe restarse siempre su influencia, para obtener el valor verdadero de la inmisión sonora, que no hay que olvidar, es el objetivo prioritario de cualquier inspección acústica. Los criterios de calidad permiten que la entidad acreditada, pueda enmendar, suplir o modificar, aquellos procedimientos de medida con carencias técnicas en aras a obtener la veracidad del resultado. Las entidades ante el dilema generado, optan por el camino más fácil y seguir al pie de la letra el documento legislativo, a sabiendas de que los resultados no son correctos. Para el caso que nos ocupa, la ley 16/2002 de 28 de Junio y el reglamento que la despliega 176/2009 de 10 de Noviembre, de protección contra la contaminación acústica, en los anexos 3 y 4, (medida de niveles de inmisión acústica en ambiente exterior e interior respectivamente) especifican claramente que siempre hay que restar la influencia del ruido de fondo, cuando este se encuentra entre 3 y 10 dB por debajo del nivel de inmisión, y en este apartado, no hacen referencia para nada a la presencia o no de componentes K. A nivel jurídico, el Principio de Jerarquía Normativa es una cuestión clave para interpretar las leyes y normas jurídicas en general. Un Principio no admite ninguna excepción en ningún caso. Las normas jurídicas se vertebran por el rango de importancia, o relevancia jurídica. Las ordenanzas municipales, aunque tienen rango reglamentario, quedan por debajo de los Decretos. Se podría evitar este problema sin falsear resultados, modificando el redactado de la ordenanza, añadiendo que, cuando los niveles de inmisión estén cercanos al ruido de fondo, no deben detectarse componentes K en la inmisión.

#### 4.1. Limitaciones de los micrófonos de precisión.

El diámetro del micrófono define tanto la banda de frecuencias a la que responde como sobre todo, su sensibilidad y nivel sonoro máximo que puede soportar. Los diámetros de los micrófonos están estandarizados en unidades submúltiplos de la pulgada (25,4 mm). Los diámetros comerciales van de 1" a 1/8". El más usado con diferencia es el de 1/2". El rango de frecuencias por la parte superior queda limitado por el diámetro del micrófono. A mayor diámetro, menor rango de frecuencias. Por ejemplo el micrófono de 1" tiene un límite de frecuencia ligeramente superior a los 10 KHz, mientras que el de 1/8" tiene un límite de 140 KHz. El micrófono de 1/2" cubre los 20 KHz.

En cuanto a la capacidad de medida de presión sonora, los de 1" van de niveles inferiores a 0 dB, hasta los 140 dB aproximadamente, y los de 1/8" van de los 40 dB a los 172 dB aproximadamente. Los de 1/2" abarcan de los 17 dB a los 140 dB aproximadamente. Si analizamos todas las prestaciones, el micrófono de 1/2" abarca todo el margen de audio, y los niveles sonoros "más habituales" desde poco menos de 20 dB hasta los 140 dB. Por este motivo se adoptó este diámetro como el más adecuado para medir el nivel sonoro al que puede estar sometido el humano en distintas condiciones y lugares. Para aplicaciones y mediciones en determinadas situaciones, es posible utilizar otros micrófonos más adecuados. Sin embargo todas las mediciones "legislativas" se hacen con micrófonos de 1/2". Usar otro tipo de micrófono haría que las mediciones, aun siendo técnicamente correctas, no cumplieran con lo establecido en la legislación. Los fabricantes establecen mayoritariamente un margen de 6 dB entre el nivel medido y el límite inferior de medida. Eso quiere decir que si por ejemplo nuestro equipo tiene un límite inferior de medida de 20 dB, las medidas por debajo de los 26 dB, deben descartarse, por ofrecer una incertidumbre elevada. No obstante algún fabricante establece que son 3 dB los que considera suficientes entre el nivel de inmisión y el ruido de fondo. Esta afirmación puede ser cierta cuando se hacen mediciones en entornos controlados (laboratorio), en salas concretas, con fuente sonora controlada y con determinados sonidos. En mediciones "in situ" donde no se conoce la sala, no se controla la fuente o fuentes sonoras, ni tampoco el ruido de fondo, es una temeridad admitir un margen de 3 dB entre límite inferior de medida y el nivel de inmisión medido.

Los micrófonos de 1/2" de tipo o clase 1 usados en las mediciones "in situ", suelen tener su límite inferior de medida sobre los 16-17 dBA aproximadamente. Con este umbral inferior, sumando 6 dB el nivel mínimo medible sería de 22-23 dBA. Las lecturas por debajo de estos valores, no son precisas y deberían descartarse, aunque los procedimientos de las ordenanzas municipales, no lo indican. Por encima de los 22-23 dBA y hasta los 26-27 dBA los resultados pueden en algunas ocasiones, ser bastante discutibles. Para mejorar la precisión y exactitud de los resultados, en entornos con muy bajo nivel sonoro (valores inferiores a los 30 dBA), es aconsejable utilizar micrófonos más sensibles. Existen dos posibilidades: usar micrófonos de 1", o usar los micrófonos de 1/2" LN (Low Noise). El micrófono de 1" es más sensible que el de 1/2" y

proporciona mayor nivel de señal, gracias a su mayor diámetro. Esto permite reducir en nivel de ruido de fondo generado por el conjunto micrófono-preamplificador. En la práctica significa que con un micrófono de 1" podemos medir sonido desde los 16,7 dBA, mientras que con el de ½" podemos medir sonido desde los 23,4 dBA, una diferencia muy notable. Los micrófonos de 1" no se aceptan en medidas legislativas.

Como alternativa existen los micrófonos de precisión llamados Low Noise (LN). Estos micrófonos tienen una sensibilidad entre 800 mV/Pa y 1.200 mV/Pa aproximadamente. La respuesta en frecuencia cubre todo el margen de audio hasta los 20 KHz. El uso de los micrófonos de ½" LN, permitirían cumplir con las "especificaciones" de la legislación vigente y a su vez se conseguirían hacer mediciones de bajo nivel sonoro con total garantía, pudiendo medir a partir de los 10,2 dBA que permite detectar y separar con precisión el ruido de fondo de cualquier inmisión sonora, aspecto que con los micrófonos de ½" convencionales es imposible de conseguir.

## 5. CONCLUSIONES.

Los métodos legislativos para la medida y evaluación del ruido, en cuanto a los factores correctores K, no son adecuados e inducen a errores y resultados alejados de la realidad. Teniendo en cuenta que en la mayoría de casos se dirime si hay o no afectación sobre las personas, los procedimientos legislativos actuales deberían actualizarse, para evitar los perjuicios que se pueden producir actualmente sobre la salud de los ciudadanos.

Es significativo que la norma para sonómetros IEC 61672:2014 (y versiones posteriores) que establece las características técnicas que deben cumplir los equipos de medida de sonido, en su anexo C, desaconseja el uso de la función "impulse". La legislación no puede ser ajena a estas recomendaciones. El método usado por la legislación basado en el indicador mal llamado "impulse", de que disponen los equipos de medida, no sirve para valorar la presencia de componentes impulsivas en una señal sonora. Por otro lado los métodos para la detección de componentes de baja frecuencia usados por la legislación vigente, son muy deficientes. Se ha propuesto el método CBF, para la medida y evaluación de componentes de baja frecuencia, que ofrece unos buenos resultados, aunque obviamente, debe ser perfeccionado con el estudio de más casos. Finalmente con los medios técnicos usados actualmente, no es posible medir correctamente y con precisión el nivel sonoro por debajo de los 23 dBA. Esta circunstancia es bastante significativa, ya que las mediciones de nivel sonoro en período nocturno y en un dormitorio, suponen un auténtico reto para los equipos de medida actuales.

Los procedimientos de medida y evaluación del nivel sonoro de las legislaciones actuales, no están exentos de errores y deberían mejorar para medir y evaluar correctamente el nivel sonoro. Existen métodos de medida y evaluación alternativos, que ofrecen mayor exactitud y veracidad en los resultados, que podrían adoptarse. Por otro lado fomentar, el uso de medios técnicos adecuados, con micrófonos de bajo ruido que permitan medir bajos niveles sonoros con precisión, permitiría obtener valoraciones y resultados más cercanos a la realidad. Con estas mejoras se acabarían las eternas discusiones, lamentablemente en sede judicial, con informes y contra-informes de las distintas partes implicadas en un litigio, y que perjudican gravemente el prestigio y la imagen del sector.

## REFERENCIAS.

- [1] Andersen, J., Moller, H. *Equal Annoyance Contours for Infrasonic Frequencies*. Journal of Low Frequency Noise and Vibration. (1984)
- [2] Barti, R. *La Percepción Auditiva y el Paisaje Sonoro*. SEA (2022).
- [3] Barti, R. *Acústica Medioambiental Vol 1 y Vol 2*. Barcelona ECU (2010)
- [4] Barti, R. *Medida y Evaluación del Ruido*. Barcelona. EAE (2019)
- [5] Berlung, B., Lindvall, T. (1995). *Community Noise*. (1995)
- [6] Broner, N. *The effects of low-frequency noise on people - a review*. Journal of Sound and Vibration. (1978)

- [7] Earshen, J. *Sound measurement: Instrumentation and noise descriptors*. Noise and Hearing Conservation Manual. (1986)
- [8] Erdreich, J. *A distribution based definition of impulse noise*. Journal of Acoustical Society of America. (1986)
- [9] Fuente, A. Qiu, W. Zhang, M., Xie, H., Kardous, C., Campo, P., y otros. *Use of the kurtosis statistic in an evaluation of the effects of noise and solvent exposures on the hearing thresholds of workers: An exploratory study*. The Journal of Acoustical Society of America. (2018)
- [10] Goley, G., Song, W., Kim, J. *Kurtosis corrected sound pressure level as a noise metric for risk assessment of occupational noises*. The journal of Acoustical Society of America. (2010)
- [11] Krahé, D. *Why is sharp-limited low-frequency noise extremely annoying?* Acoustics. (2008)
- [12] Krahé, D. *Low frequency noise. Strain on the brain*. 14th International Meeting on Low frequency Noise and Vibration and its Control. (2010)
- [13] Lindberg, S., Backteman, O. *Loudness of impulse and community noises*. Journal of Low frequency Noise, Vibration and Active Noise Control. (1988)
- [14] Moller, H., Pedersen, S. *Hearing at low and infrasonic frequencies*. Noise & Health. (2004)
- [15] Nordtest. *Prominence of impulsive sounds and for adjustment of  $L_{Aeq}$* . (2002)
- [16] Pedersen, S. *Indoor measurements of noise at low frequencies. Problems and solutions*. Journal Low Frequency Noise, Vibration and Active Control. (2007)
- [17] Persson, K., Björkman, M., Rylander, R. *Loudness, Annoyance and dBA in Evaluating Low Frequency Sounds*. Journal of Low frequency Noise, Vibration and Active Control. (1990)
- [18] Qiu, W., Hamernik, R., Davis, R. *The value of a kurtosis metric in estimating the hazard to hearing of complex industrial noise exposures*. The Journal of Acoustical Society of America. (2013)
- [19] Simmons, C. *Measurements of sound Pressure levels at Low frequencies in Rooms. Comparison of Available Methods and Standards with respect to Microphone Positions*. SP Report. (1997)
- [20] Starck, J; Pekkarinen, J. *Industrial Impulse Noise. Crest Factor as an additional parameter in exposure measurements*. Applied Acoustics. (1987)
- [21] Xie, H., Qiu, W., Heyer, N., Zhang, M., Zhang, P., Zhao, Y., y otros. *The use of kurtosis-adjusted cumulative noise exposure metric in evaluating the hearing loss risk for complex noise*. Ear and Hearing. (2016)
- [22] Yamada, S., Ikuji, M., Fujikata, S., Watanabe, T., Kosaka, T. *Body sensation of low frequency noise of ordinary persons and profoundly deaf persons*. Journal of Sound and Vibration. (1983)
- [23] Zhao, Y., Qiu, W., Zeng, L., Cheng, X., Davis, R., Hamernik, R. *Application of the kurtosis statistic to the evaluation of the risk of hearing loss in workers exposed to high-level complex noise*. Ear and Hearing. (2010)