

PROPUESTA DE NUEVO DESCRIPTOR PARA LA DIRECTIVIDAD DE FUENTES ACÚSTICAS

PACS: 43.55.Mc

San Martín, R; Arana, M.
Laboratorio de Acústica, Departamento de Física
Universidad Pública de Navarra
Campus de Arrosadía, 31006, Pamplona
Tel: 948 168 541
Fax: 948 169 565
E-mail: ricardo.sanmartin@unavarra.es

ABSTRACT

The classification method proposed by ISO 3382 to describe the directivity of the sources – deviations in decibels of levels when averaged over “gliding” 30° arcs referenced above the averaged energy level in the measurement plane – can lead to erroneous conclusions about their behaviour. A new descriptor based on a three dimensional approach is proposed. The *directivity index in the direction of maximum level* ($DI_{L_{max}}$) shows (for a large number of auditoriums analysed) a correlation between directional deviation and condition, which greatly improves the value obtained in the case of ISO 3382 descriptor.

RESUMEN

El método de clasificación propuesto por la ISO 3382 para describir la directividad de las fuentes – desviaciones en decibelios de los niveles promediados en arcos deslizantes de 30° referenciados sobre el promedio energético en el plano de medida – puede dar lugar a conclusiones erróneas sobre su comportamiento y se ha propuesto un nuevo descriptor basado en un enfoque tridimensional. El denominado *índice de directividad en la dirección de nivel máximo* ($DI_{L_{max}}$) muestra (para un elevado número de auditorios estudiados) una correlación, entre desviación direccional y afección, que mejora notablemente el valor obtenido para el caso del descriptor ISO 3382.

INTRODUCCIÓN

A la vista de estudios anteriores que han determinado el efecto de la orientación de la fuente en los resultados de los parámetros acústicos bien mediante medidas [1] o basándose en simulaciones [2], el requisito establecido por la ISO 3382 de realizar un promediado de tres orientaciones de fuente diferentes cuando su directividad tenga una influencia significativa sobre los parámetros acústicos [3] (ISO 3382) no debería descartarse incluso para aquellos

altavoces dodecaédricos que cumplen las especificaciones de omnidireccionalidad mencionadas por la propia norma.

Ahora bien, si el objetivo es favorecer la precisión en la comparación de medidas entre diferentes equipos humanos y equipamientos técnicos, el estándar probablemente relaje en exceso los requisitos de omnidireccionalidad para las altas frecuencias y quizás debieran considerarse alternativas para describir la directividad de las fuentes, puesto que el método de clasificación propuesto por la ISO puede dar lugar a conclusiones erróneas sobre su comportamiento debido a su implementación por medio de arcos de medida en un único plano.

En este trabajo se proponen dos nuevos descriptores, el primero de ellos basado en un estudio realizado por T.W. Leishman [4] y el segundo en la definición clásica de *directividad*. Ambos tienen en común considerar la radiación sonora en un marco tridimensional, en contraste con el método tradicional que únicamente tiene en cuenta las diferencias encontradas en un único plano de medida, habitualmente aquél que divide la esfera por su ecuador y que por la particular simetría de la fuente dodecaédrica no cruza ninguno de los centros geométricos de los doce altavoces que la forman.

CARACTERÍSTICAS DIRECTIVAS DE LAS FUENTES DODECAÉDRICAS

Para el estudio se utilizaron cuatro fuentes omnidireccionales diferentes (*Figura 1*). Tres de ellas – a partir de ahora S1, S2 y S3 – fueron fuentes dodecaédricas comerciales mientras que una cuarta, S4, consistió en la fuente desarrollada en el Institute of Technical Acoustics (ITA) en Aachen, Alemania [5]. Consiste en un altavoz de medida de 3 vías en el que un subwoofer es empleado para lograr la potencia sonora requerida a bajas frecuencias y dos altavoces dodecaédricos especialmente diseñados con diferentes diámetros son utilizados para mejorar la omnidireccionalidad de la radiación sonora en comparación con aquella obtenida a través de dispositivos de medida dodecaédricos convencionales.

El procedimiento habitual para medir el campo radiado de una fuente sonora en una cámara anecoica suele incluir montar la fuente sobre una plataforma giratoria y tomar datos bien mediante un array de micrófonos formando un cuarto de círculo o con un micrófono móvil según el esquema representado en la *Figura 1*.

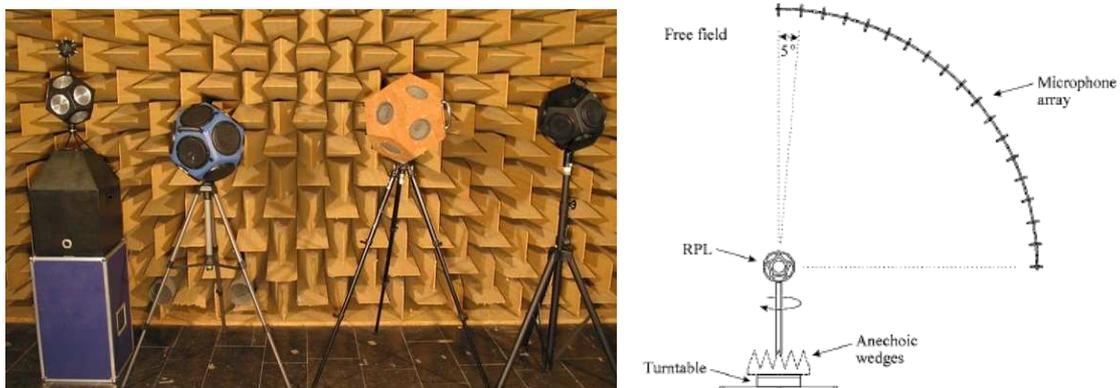


Figura 1. Fuentes analizadas (izda) y esquema de la configuración típica para medir diagramas de directividad de fuentes sonoras en cámara anecoica (dcha) [4].

Si el incremento angular tanto para el giro de la plataforma como para cada posición de micrófono es de $\Delta\phi = \Delta\theta = 5^\circ$, se obtienen un conjunto de 2,664 niveles sonoros – $L_{m,n}(f)$ –

para cada posición m del micrófono y n de la fuente¹, y para cada rango de frecuencias f medido.

A la hora de hallar un promedio energético, se ponderan los niveles $L_{m,n}(f)$ por un factor $w_{m,n}$ determinado por la integración superficial de cada sección (m,n) muestreada por una posición de micrófono y normalizado con respecto al área de la esfera completa.

$$w_{m,n} = \frac{1}{4\pi r^2} \int_{\phi_n - \Delta\phi/2}^{\phi_n + \Delta\phi/2} \int_{\theta_m - \Delta\theta/2}^{\theta_m + \Delta\theta/2} r^2 \sin(\theta) d\theta d\phi = \frac{\Delta\phi}{2\pi} \sin\left(\frac{\Delta\theta}{2}\right) \sin\theta_m \quad (1)$$

para $0 < m < \pi$

Esta definición es consistente para todos los valores de n . Sin embargo, la peculiaridad de las áreas muestreadas en ambos polos nos lleva a cambiar los límites de integración para la primera de las integrales de 0 a $\Delta\theta/2$ y $(\pi - \Delta\theta/2)$ a π respectivamente, quedando de la siguiente manera:

$$w_{0,n} = w_{\pi,n} = \frac{\Delta\phi}{2\pi} \sin^2\left(\frac{\Delta\theta}{4}\right) \quad (2)$$

De esta manera, el promedio energético de niveles ponderados por área – $\overline{L_w(f)}$ – viene dado por:

$$\overline{L_w(f)} = 10 \log \left(\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} w_{m,n} 10^{L_{m,n}(f)/10} \right) \quad (3)$$

Los dos nuevos descriptores propuestos, que llamaremos STD_{L_w} – desviación estándar de niveles ponderados – y $DI_{L_{\max}}$ – índice de directividad en la dirección de nivel máximo², se expresan en dB y se definen, para cada banda de frecuencia f , como:

$$STD_{L_w}(f) = \sqrt{\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} w_{m,n} [L_{m,n}(f) - \overline{L_w(f)}]^2} \quad (4)$$

$$DI_{L_{\max}}(f) = \max[L_{m,n}(f)] - \overline{L_w(f)} \quad (5)$$

La *Figura 2* representa los dos nuevos descriptores definidos junto con el basado en los requisitos que establece la ISO 3382, donde los niveles de presión medidos para cada banda de octava son promediados en arcos deslizantes de 30° y referenciados sobre el promedio energético en el plano de medida para calcular la desviación direccional en decibelios.

Pese a que las tendencias son similares, una inspección detallada revela diferencias para las desviaciones obtenidas mediante cada uno de los descriptores. Así por ejemplo, si nos fijamos

¹ m varía de $-\pi$ hasta π radianes (elevación) en 37 pasos y n de 0 hasta $2\pi - \pi/36$ (azimut) en 72. Para los valores de m de $-\pi$ hasta 0 se invierte la fuente en el dispositivo de medida o dependiendo de la simetría se reconstruye directamente la segunda mitad de la esfera.

² Dirección que coincidirá generalmente con el centro geométrico de uno de los doce altavoces que forman la fuente dodecaédrica.

en la banda de 8 kHz, en una clasificación que ordenara las cuatro fuentes de mejor a peor comportamiento en cuanto a radiación omnidireccional, el mejor puesto sería ocupado siempre por S4. Sin embargo, la ordenación del resto de fuentes sería diferente según el criterio empleado: S3-S2-S1 si utilizamos la definición ISO por S2-S1-S3 aplicando cualquiera de las otras dos. Similares conclusiones, con respecto a la posible diferente ordenación de las fuentes, pueden extraerse si se analizan el resto de las bandas.

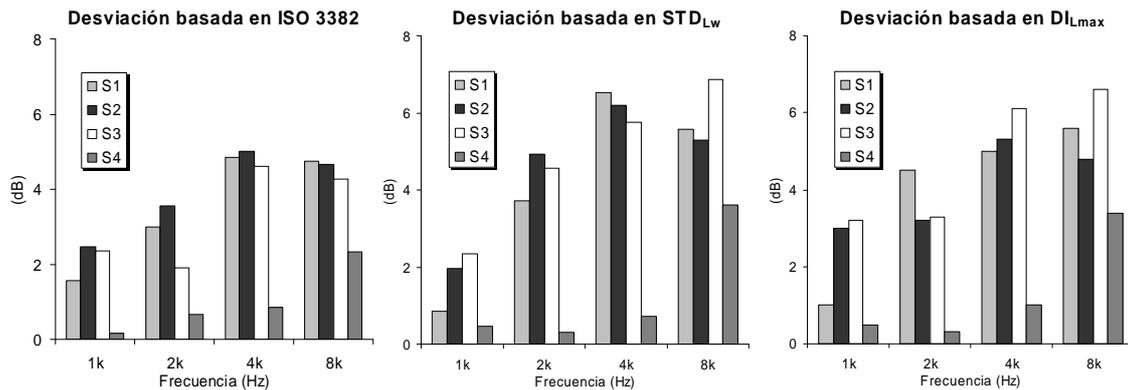


Figura 2. Desviaciones direccionales (dB) para las bandas de frecuencia de 1 a 8 kHz basadas en los tres descriptores: ISO 3382, STD_{Lw} y DI_{Lmax}.

DESVIACIÓN DIRECCIONAL VS AFECCIÓN

El objetivo de los descriptores debiera ser reflejar fielmente, en los parámetros acústicos medidos, la afección que producen las desviaciones direccionales que éstos representan. La incertidumbre debida a la directividad de la fuente puede representarse por medio de la desviación estándar STD_s de un conjunto razonable de valores obtenidos con diferentes orientaciones de fuente [1,2]. Si, como es habitual, se desea expresar los resultados de una medición con un nivel de confianza de al menos el 95%, esta STD_s, como límite de tolerancia, debiera ser inferior a medio *jnd*³. De esta forma, la incertidumbre de una medición será menor que el cambio mínimo subjetivamente perceptible en el parámetro medido.

De los análisis realizados en estudios anteriores [1,2] – basados en medidas y simulaciones sobre un conjunto de recintos representativos de las condiciones donde la ISO 3382 es habitualmente aplicada –, y considerando el porcentaje de receptores con STD_s superior a medio *jnd*, la representación de la afección que cada tipo de fuente provocaría en los parámetros D₅₀ y C₈₀, por ejemplo, puede observarse en la Figura 3.

Puede observarse diferente comportamiento para las fuentes dependiendo de sus características directivas. Dos de ellas obtienen resultados satisfactorios hasta 1 kHz, otra incrementa ese límite hasta la banda de 2 kHz mientras que la fuente diseñada por el Institute of Technical Acoustics (ITA) alemán – destinada a formar parte de procedimientos de medida especializados – no introduce desviaciones hasta la banda de 8 kHz. En las bandas de frecuencia más altas, 4 y 8 kHz, el criterio de tolerancia establecido para un nivel de confianza del 95% no se cumplió en más del 80% de los receptores para los tres altavoces comerciales y para un parámetro tan habitual como C₈₀. Para las bandas de 1 y 2 kHz, cuyos valores son utilizados en la derivación de valores promediados en frecuencia para diferentes parámetros, este criterio no se cumple para dos de las fuentes comerciales en al menos el 30% y 50% de los receptores respectivamente.

³ *just noticeable difference*: mínima diferencia en el valor de un parámetro acústico perceptible por el oyente.

Por otra parte, estas gráficas debieran ser similares a alguna de las obtenidas en la *Figura 2*. Mientras a simple vista no resulta evidente qué descriptor es el que mejor refleja la influencia que la falta de omnidireccionalidad de las fuentes produce en la medida de los parámetros acústicos derivados de la respuesta al impulso en salas, la representación de la *Figura 4* es más clarificadora.

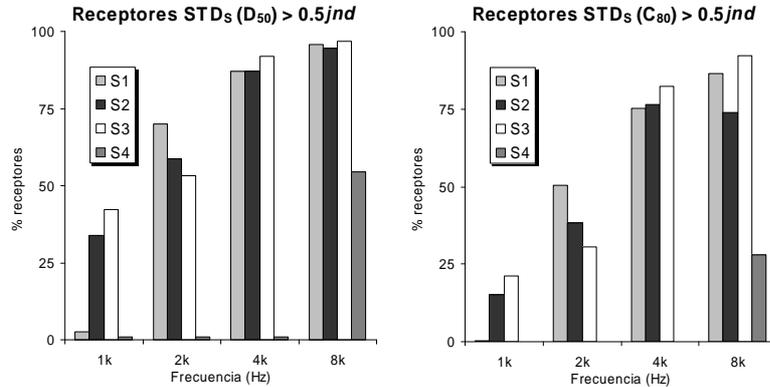


Figura 3. Porcentaje de receptores con STD_S para C_{80} (izda) y D_{50} (dcha) $> 0.5jnd$ según el tipo de fuente empleada.

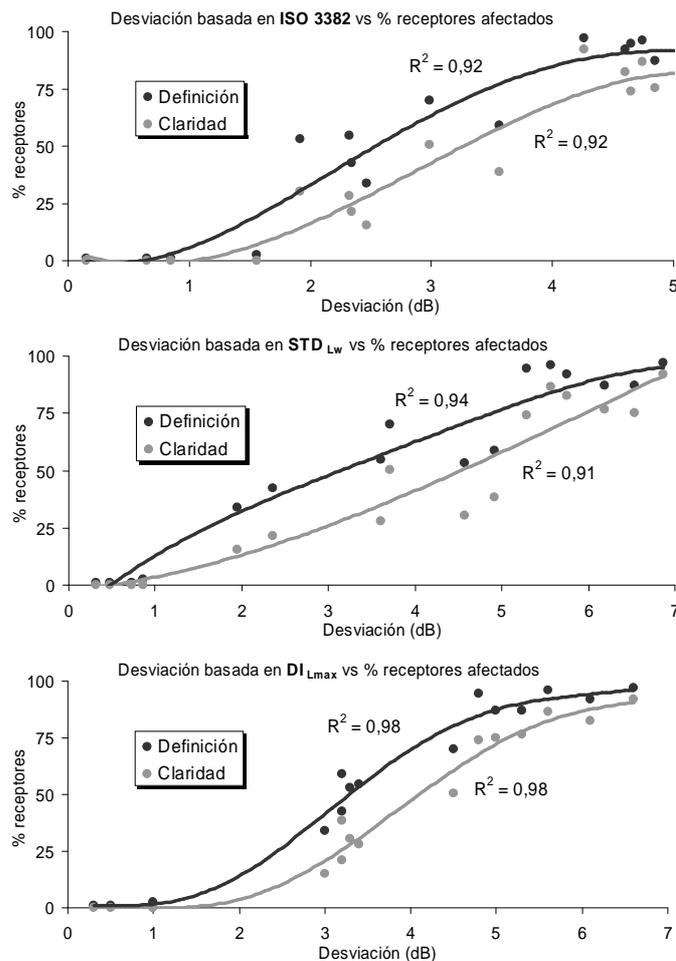


Figura 4. Porcentaje de receptores con STD_S para C_{80} y $D_{50} > 0.5jnd$ frente a las desviaciones basadas en cada uno de los descriptores: ISO 3382, STD_{Lw} y DI_{Lmax} .

Las líneas de tendencia muestran una correlación de 0.92 entre desviación direccional y afección para el caso del descriptor ISO 3382. Para el caso del descriptor basado en STD_{Lw} esta correlación mejora para el parámetro D_{50} pero es peor para C_{80} . Por último, el índice de directividad en la dirección de nivel máximo DI_{Lmax} es el descriptor con el que se obtienen mejores correlaciones, alcanzando valores de 0.98 en ambos casos.

CONCLUSIONES

El método de clasificación propuesto por la ISO 3382 para describir la directividad de las fuentes – desviaciones en decibelios de los niveles promediados en arcos deslizantes de 30° referenciados sobre el promedio energético en el plano de medida – puede dar lugar a conclusiones erróneas sobre su comportamiento. Se ha propuesto un nuevo descriptor basado en un enfoque tridimensional. El denominado *índice de directividad en la dirección de nivel máximo* (DI_{Lmax}) mostró una correlación de 0.98 entre desviación direccional y afección, mejorando notablemente el valor de 0.92 obtenido para el caso del descriptor ISO 3382.

REFERENCIAS

[1] San Martín R., Witew I.B., Arana M., Vorländer M., “Influence of the source orientation on the measurement of acoustic parameters”, *Acta Acustica united with Acustica* 93, 387-397, ISSN: 1610-1928, 2007.

[2] San Martín R., Arana M., “Uncertainties caused by source directivity in room-acoustic investigations”, *Journal of the Acoustical Society of America* 123, EL133-138, ISSN: 0001-4966, 2008.

[3] ISO 3382:1997 “Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters”, *International Organization for Standardization (ISO)*, 1997.

[4] Leishman T.W., Rollins S., Smith H.M., “An experimental evaluation of regular polyhedron loudspeakers as omnidirectional sources of sound”, *Journal of the Acoustical Society of America* 120, 1411-1422, 2006.

[5] Behler G.K., Müller S., “Technique for the derivation of wide band room impulse response”, *Proceedings of EAA Symposium on Architectural Acoustics, Madrid (ES)*, 2000.