

DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE PRESIÓN DE EMISIÓN POR LOS MÉTODOS DE PRESIÓN E INTENSIDAD

REFERENCIA PACS: 43.20.Ye

Marta Herráez, Juan Asurmendi, Manuel San Juan
Dpto. Ingeniería Mecánica e Ingeniería de Materiales
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
Universidad de Valladolid
Paseo del Cauce s/n
47011 Valladolid
Tel: 983 423 000 ext. 2.44.29
Fax: 983 423 310
E-mail: marher@dali.eis.uva.es

ABSTRACT

Traditionally, the determination of emission sound pressure levels has been done measuring the sound pressure level at different positions, following the standards series ISO 11200 [2], composed by different parts specifying the determination in different environments or with room corrections, for different precision degrees. Some of the sources of error of this method are the background noise and the influence of reflected sound or other machines. Both sources of error tend to overestimate the emission sound pressure level determined at one position. A new ISO work item, a future ISO 11205, has been approved, based on a similar Nordtest standard [1], presenting a new method, measuring sound intensity levels at the same positions as prescribed in the ISO 11200 series. This method is intended for in situ application, since the measured intensity in a diffuse sound field is very small. The intensity level is less affected by the reverberant contribution, of background noise and reflections, than the pressure level and is a better measure for the emission sound pressure determination.

INTRODUCCIÓN

Para describir la emisión sonora de máquinas o equipos, se pueden utilizar dos magnitudes complementarias. Por una parte, el nivel de potencia sonora y, por otra, el nivel de presión acústica de emisión en una posición especificada. Los niveles de presión acústica de emisión L_p^{emision} son los niveles de presión acústica que se generan en uno o varios puntos situados en las proximidades de una máquina a la vez que se ejecuta una operación especificada, en unas condiciones de funcionamiento dadas, de acuerdo con un montaje particular y en un entorno acústico definido. Las posiciones comprenden los puestos de trabajo habitualmente ocupados por uno o varios operadores de la máquina (que, en este trabajo se denominarán posiciones de operador) y otras posiciones susceptibles de ocupación ocasional de otras personas, que se denominarán posiciones de ayudante [1].

Tradicionalmente, el nivel de presión acústica de emisión se ha determinado mediante la medida experimental de niveles de presión acústica, en lo que se denomina el método de presión, que se describirá con detalle más adelante. Las dos fuentes de error este método son la presencia de ruido de fondo y la existencia de reflexiones o absorciones en partes de la sala, por lo que, el nivel de presión sonora medido es corregido por factores relacionados con ellos.



En la actualidad, se está trabajando en la elaboración de un nuevo método, que consiste en la determinación del L_p^{emision} mediante la medida experimental de la intensidad sonora. La razón de esta nueva metodología es que la intensidad sonora es menos sensible a la presencia de un campo sonoro reverberante y, por ello, parece que inducirá un error menor en la estimación de L_p^{emision} . Es el denominado método de intensidad, ya desarrollado en la normativa escandinava [2], que también se describirá en el apartado siguiente.

El objetivo de este trabajo es hacer una presentación del método de intensidad, tanto de cómo se lleva a cabo como qué tipo de resultados proporciona. En primer lugar, se chequeará el método, midiendo en condiciones controladas, como son las de campo libre sobre plano reflectante (cámara semianecoica) y comparando sus resultados con los obtenidos por el método de presión. Y en segundo lugar, se aplicarán ambos métodos in situ y se realizará un análisis de las estimaciones obtenidas en ambos casos.

LA DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA DE EMISIÓN

Método de presión

El método de presión se describe en la serie EN ISO 11200 [1], con distintas normas según el nivel de precisión y el entorno con que se trabaje. Concretamente, se realiza una evaluación del tipo de entorno mediante la determinación del Indicador del entorno K_2 . Es un término que refleja la influencia de la reflexión o de la absorción acústica procedente de las superficies de las paredes de la sala sobre todas las posiciones en general (superficie de medida). Es función de la frecuencia y se expresa en dB. Para el nivel global con ponderación A, se denomina K_{2A} .

El método, fundamentalmente, consiste en la obtención del nivel de presión acústica de emisión L_p^{emision} a partir de la medida del nivel de presión sonora L'_p en una serie de posiciones del trabajador, al que se aplica una serie de correcciones debidas a contribuciones de la sala. Concretamente, estas correcciones son:

- a) Corrección del ruido de fondo K_1 : es el término corrector que refleja la influencia del ruido de fondo sobre el nivel de presión acústica de emisión en las posiciones de medida de la máquina en ensayo. Es función de la frecuencia y está expresado en dB. Para el nivel global con ponderación A, esta corrección K_{1A} , debe determinarse a partir de los valores medidos ponderados en dBA.
- b) Corrección local de entorno K_{3A} : es un término que refleja la influencia de la reflexión o de la absorción acústica procedente de las superficies de las paredes de la sala sobre cada posición en concreto. Es función de la frecuencia y de la posición y se expresa en dB. Su definición para el nivel global en dBA es similar al caso anterior.

Con respecto a las posiciones de medida, se clasifican en posiciones de operador y de ayudante. Las posiciones de ayudante se definen a 1m de la máquina por cada uno de sus lados, y se denominan derecha, izquierda, frontal y posterior. Las posiciones de operador están situadas en las posiciones habituales que tiene el trabajador al manejar la máquina.

En cada una de ellas, la expresión del nivel de presión acústica de emisión viene dada por:

$$L_p^{\text{emision}} = L'_p - K_1 - K_3$$

En principio, los métodos de determinación de los niveles de presión acústica de emisión descritos en la serie ISO 11200 (11201-11204), cubren todos los tipos de máquinas y de equipos. Dependiendo del entorno de ensayo disponible y la precisión requerida, se tiene:

1. La norma ISO 11201 proporciona un método de ingeniería para la determinación de los niveles de presión acústica de emisión de las máquinas y equipos en condiciones que se aproximan a las del campo libre sobre



plano reflectante, sin corrección de ambiente ($K_{3A} = 0$), siempre que $K_{2A} \leq 2$.

2. La norma ISO 11202 proporciona un método de control para la determinación in situ con corrección de ambiente de acuerdo con un método simplificado; siempre que $K_{2A} \leq 7$ y limitando la corrección a $K_{3A} < 2.5$.
3. La norma ISO 11204 proporciona un método de medición in situ, que permite obtener resultados de precisión ingeniería, siempre que $K_{2A} \leq 7$ y con una corrección $K_{3A} < 2$, o de control siempre que $K_{2A} \leq 7$ y con una corrección $K_{3A} < 7$. Esta norma no ha sido aplicada en este estudio, debido a la dificultad de su aplicación.

Método de Intensidad

El método de intensidad consiste en la determinación experimental de los niveles de intensidad L_{Ix} , L_{Iy} , L_{Iz} , componentes en tres direcciones cartesianas (horizontal perpendicular hacia la máquina, vertical hacia abajo y horizontal paralela a la máquina), en cada una de las posiciones de medida. A partir de ellas se determina el nivel del módulo de la intensidad, que se calcula como:

$$L_{I_{xyz}} = 10 \log \sqrt{\left(10^{\frac{L_{Ix}}{10}}\right)^2 + \left(10^{\frac{L_{Iy}}{10}}\right)^2 + \left(10^{\frac{L_{Iz}}{10}}\right)^2}$$

donde el nivel de cada componente L_{I_i} se evalúa considerando sólo el módulo, sin tener en cuenta el signo del vector.

El nivel de presión acústica de emisión se estima como:

$$L_p^{\text{emission}} = L_{I_{xyz}}$$

y para verificar la validez de la medida, se evalúa el valor del indicador de presión-intensidad del campo sonoro en cada posición como:

$$F_{pI_{xyz}} = L_p - L_{I_{xyz}}$$

La definición de este indicador es similar a la que se tiene en la normativa de determinación del nivel de potencia sonora por el método de intensidad [3]. Sólo que, en este caso, este indicador se define a partir del valor del módulo del vector, no como habitualmente, a partir del valor de una componente, e indica lo reactivo que es el campo en la posición de medida. El valor ideal $L_p = L_i$ es característico de condiciones de campo libre. Los valores negativos no tienen ningún significado físico, pueden ser debidos a presencia de alguna interferencia. En la normativa escandinava, su valor está sometido a ciertos límites, todos ellos obtenidos de forma experimental limitado [4]. Concretamente, debe ser menor de 12dB y los valores mayores de 5dB tienden a sobrestimar el nivel de presión de emisión. Aún no se ha determinado el nivel de precisión del método. La cadena de medida utilizada debe cumplir los requisitos de clase 1 especificados en la norma IEC 1043 [5].

PUESTA A PUNTO DEL MÉTODO

En este estudio, la fuente de ruido es un aspirador que consiste en una depósito de forma cilíndrica, con una manguera que conecta el depósito con el brazo del aspirador. La superficie de referencia que engloba al mismo salvo el brazo tiene unas dimensiones de 0.45×0.5 m por 0.7m de altura.

Las medidas se han realizado con una sonda de intensidad de configuración cara a cara, compuesta por dos micrófonos de 1/2" separados por un espaciador de 12mm (BK- 3545). Dichas señales son procesadas por un analizador de dos canales en tiempo real (BK 2133), donde se evalúa la estimación de la presión media y la componente de la intensidad en la dirección de la sonda, ambas evaluadas en el centro acústico de la misma y en bandas de tercios de octava. Todos estos equipos son de clase 1 [5].



Las primeras medidas de verificación del método de intensidad se han realizado en una cámara semianecoica y, las segundas, en una sala amueblada. En ambos casos, se definieron cuatro posiciones de ayudante y tres de operador. Las primeras, denominadas frontal, derecha, izquierda y posterior, según la posición relativa al depósito, todas a un 1m del centro de cada lado del depósito y a 1.55m de altura. Y respecto a las posiciones de operador, la primera corresponde a la posición próxima al interruptor de encendido; la segunda, próxima al asa para desplazar el depósito de un lado a otro; y la tercera, característica de cuando se está aspirando, entre el brazo del aspirador y el depósito.

En todas estas posiciones, se estimaron los niveles de presión e intensidad en tres direcciones perpendiculares, eligiendo en todos los casos la dirección x positiva como la perpendicular a la superficie de referencia y en sentido hacia afuera.

A partir de estos valores, se estimaron los niveles de presión sonora, los del módulo de la intensidad y el indicador de reactividad.

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Verificación del Método: Ensayos en Cámara Semianecoica

Los resultados obtenidos aplicando el método de intensidad (11205) en la cámara semianecoica se compararon con los obtenidos bajo el método de presión (11201), calculando el error de estimación:

$$\Delta L = L_{11205} - L_{11201}$$

Sus valores, para el nivel global en dBA se presentan en la figura 1. Y los espectros correspondientes, en las figuras 2 y 3, para posiciones de operador y ayudante, respectivamente.

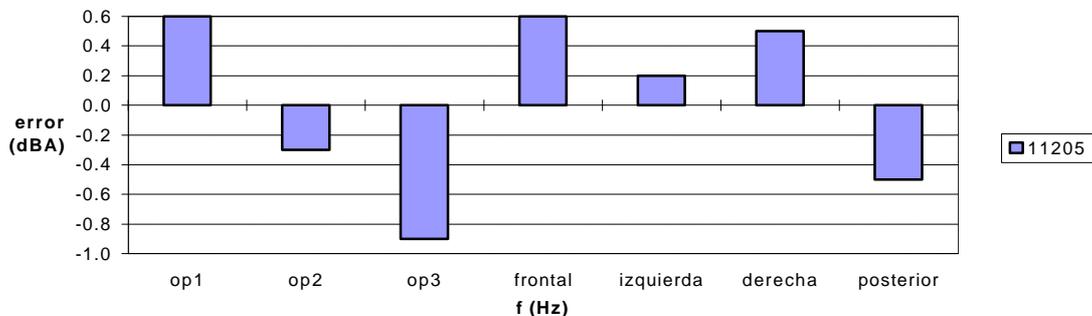


Figura 1: Error del nivel de presión de emisión global en dBA en todas las posiciones. Medidas en la cámara.



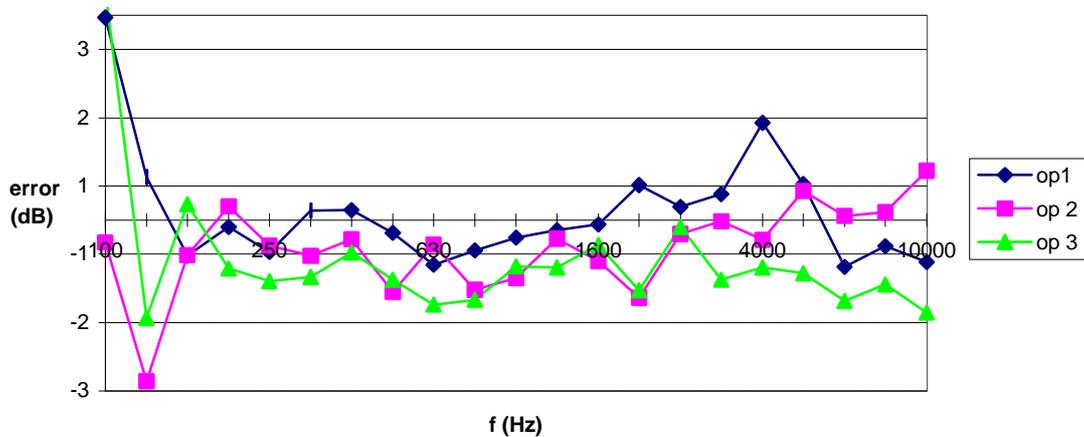


Figura 2: Error del nivel de presión de emisión en las posiciones de operador. Medidas en la cámara.

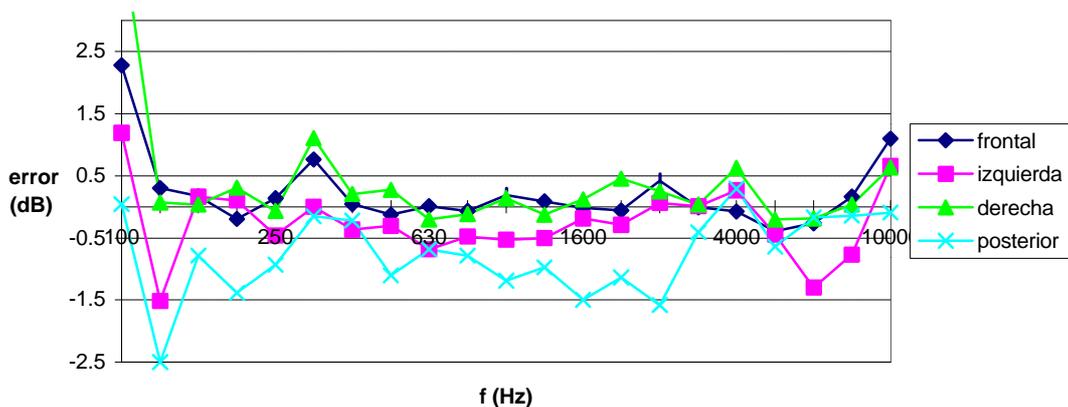


Figura 3: Error del nivel de presión de emisión en las posiciones de ayudante. Medidas en la cámara.

Aplicación General del Método: Ensayos en una Sala

Los resultados obtenidos en la sala, tanto por el método de presión (11202) como por intensidad (11205), se compararon con los obtenidos bajo el método de presión en cámara semianecoica (11201), calculando el error de estimación:

$$\Delta L_p = L_{11202} - L_{11201}$$

$$\Delta L_I = L_{11205} - L_{11201}$$

En las gráficas que hay a continuación se representan estos errores, en color azul para el método de presión y en verde para el de intensidad. Concretamente, en la figura 4, sus valores para el nivel global en dBA. Y los espectros correspondientes, en las figuras 5 y 6, para posiciones de operador 1 y ayudante derecha, respectivamente. En el resto de las posiciones se obtuvieron resultados similares. La figura 7 presenta los valores de reactividad del campo en dichas posiciones, comparados con la capacidad dinámica del equipo, obtenida en la calibración del mismo.

Con respecto a la aplicación del método de presión, en la normativa que se utiliza se proponen dos métodos de determinación del valor del indicador K_{2A} . La primera, partir de la tabla A.1 con los valores del coeficiente medio de absorción acústica que viene descrita en el anexo A de la norma ISO 3746 [6]. Esta tabla presenta una descripción muy pobre de las características de la sala, pocos valores para el coeficiente de

absorción y, además, independiente de la frecuencia. Así pues, para las medidas realizadas, tomando un coeficiente de absorción $\alpha=0.25$, se obtiene $K_{2A}=6.3$ para las posiciones de ayudante y valores de 3, 4.3, 8 para las posiciones de operador. Sin embargo, tomando valores de α inferiores, la norma no sería aplicable ($K_{2A}>7$).

El otro método, más preciso y que además contempla la dependencia con la frecuencia, evalúa K_{2A} a partir de la medida del tiempo de reverberación de la sala, según indica el apartado A.3.2.2 del anexo A de la norma ISO 3746 [6]. Este método es el que se ha utilizado para la presentación de los resultados de este trabajo y se han obtenido para las posiciones de medida unos valores de K_{2A} que varían, según la frecuencia, entre 5.2-6.1 para las posiciones de operador y entre 8.2-9.3 para las de ayudante.

Con respecto a la corrección local de entorno K_3 , en la norma 11202 se limita su valor a 2.5dB como máximo. Es decir, si al calcularlo, su valor es mayor, sólo se puede aplicar esa corrección. Dado que en este caso se han encontrado muchas ocasiones en que este máximo se superaba y, además, la comparativa entre las curvas azul y verde de las figuras 5 y 6 no es muy buena, se ha representado, en esta ocasión con una curva de color rosa, el valor que se obtendría por el método de presión sin esta limitación. Y se ha encontrado que los resultados son más parecidos a los obtenidos en la cámara (11201).



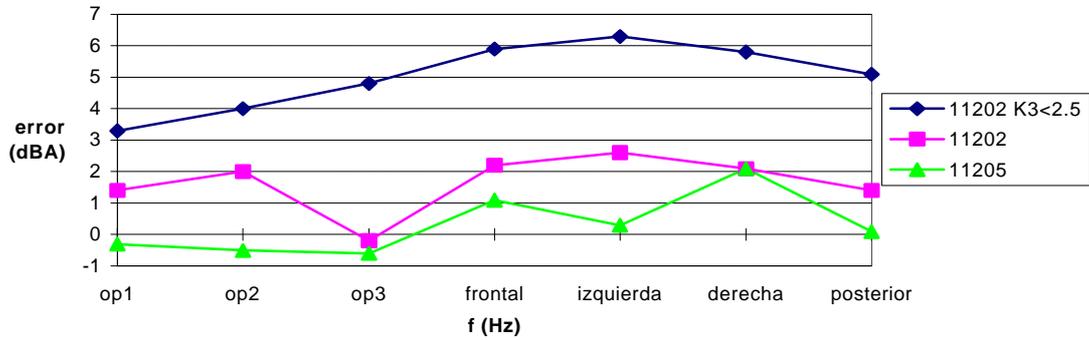


Figura 4: Error del nivel de presión de emisión global en dBA en todas las posiciones. Medidas en la sala.

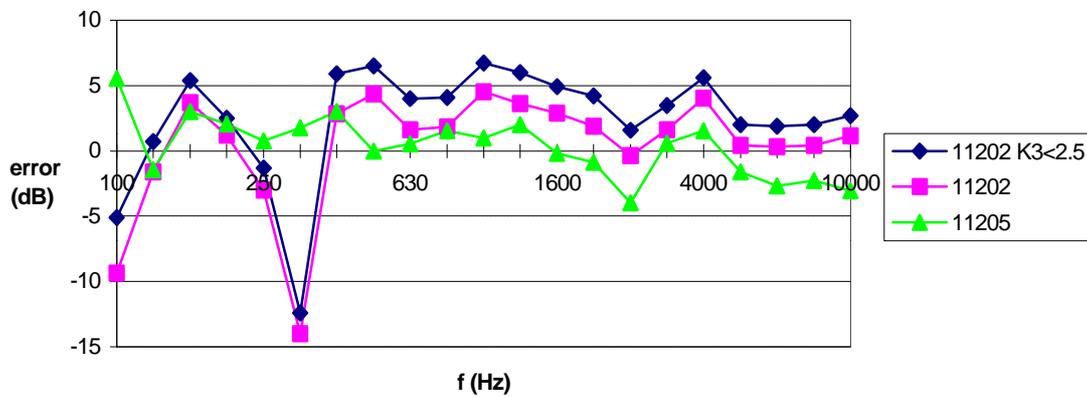


Figura 5: Error del nivel de presión de emisión en la posición de operador 1. Medidas en la sala.

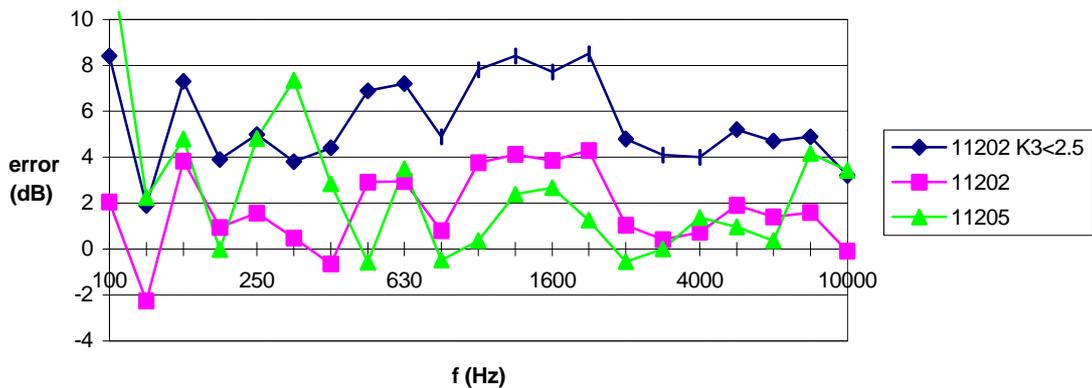
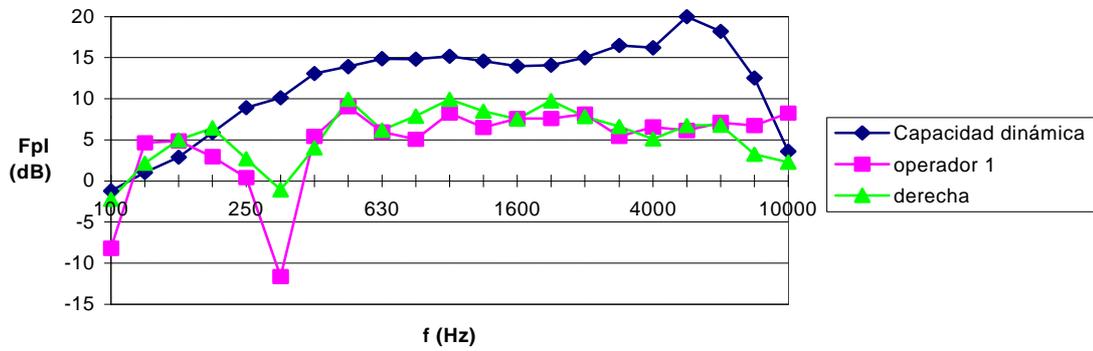


Figura 6: Error del nivel de presión de emisión en la posición de ayudante derecha. Medidas en la sala.





sala.

Figura 7: Valores del indicador F_{pl} en las posiciones de operador y ayudante derecha. Medidas en la sala.



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Respecto a la verificación del método de intensidad en las medidas de la cámara semianecoica, se observan los siguientes resultados. En la evaluación de los niveles globales de emisión sonora en dBA, se han obtenido estimaciones válidas, siempre con un error asociado menor que 1dB. En concreto, la posición 3 de operador, que es la que presenta un error mayor, es una posición conflictiva, por encontrarse entre dos fuentes de ruido: la del depósito cilíndrico y la del brazo del aspirador, con lo cual se da presencia de intensidades negativas.

Respecto a los espectros obtenidos en cada posición, se ve que el método de intensidad es adecuado para todas las posiciones. En concreto, con errores menores de 1.5dB, para las posiciones de ayudante, y errores un poco mayores en las de operador, debido a que son menos adecuadas para este método por tener más contribución de campo directo que reverberante. Sólo a bajas frecuencias el error es mayor, pero es debido a la capacidad dinámica del equipo, como se comentará más adelante. Por lo tanto, queda verificado que el método de intensidad es un método válido.

Respecto a la aplicación general del método, se ha elegido como sala de ensayo, una sala bastante reverberante; de hecho, está en el límite de aplicación de la norma por el método de presión. En la evaluación de los niveles globales ya se observa un error muy grande asociado al nivel global calculado por el método de presión, en el cual existe la limitación de que la corrección aplicada por el entorno no puede ser mayor de 2.5dB. Si no existe esta limitación, se encuentran mejores resultados, con valores de error menores de 3dB. Con el método de intensidad, se obtienen mejores resultados.

Si se observan los espectros asociados, de nuevo se verifica que la limitación de que la corrección de entorno sea de 2.5dB es excesiva, y que sería mejor aplicar correcciones mayores cuando la sala lo exija. El método de intensidad da resultados similares, o incluso mejores que el de presión sin la limitación de la corrección, salvo a bajas frecuencias y en algunos casos particulares, como en la banda de 315Hz en la posición ayudante derecha, que el error se dispara. Para analizar el porqué, se observa el valor del indicador de reactividad asociado a cada posición y se compara con la capacidad dinámica de la cadena de medida. Ahí se observa con claridad cómo, el error a bajas frecuencias es debido a que la capacidad dinámica del equipo es muy mala, y por ello no es capaz de medir con la suficiente precisión a bajas frecuencias. De hecho, sólo a partir de la banda de 315Hz, en la que la capacidad dinámica supera los valores de reactividad, las medidas serán adecuadas con ese equipo. Y con respecto a los errores en algún caso particular, no se observa un valor excesivo de reactividad asociado, con lo cual se muestra que el indicador de reactividad definido no es suficiente para asegurar un determinado nivel de precisión en la aplicación del método de intensidad, como ya se ha demostrado en otros estudios [7]. Será pues necesario, profundizar más en el estudio de los indicadores. Pero el método de intensidad se perfila como un buen método para aplicación in situ en salas con una contribución importante de campo reverberante.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Serie EN ISO 11200 Acústica. Ruido emitido por máquinas y equipos. Determinación de los niveles de presión acústica de emisión en el puesto de trabajo y en otras posiciones especificadas.
- [2] Nordtest method. Machines: Determination of emission sound pressure levels using sound intensity (1997).
- [3] UNE EN ISO 9614-1 Acústica: Determinación de los niveles de potencia acústica emitidos por las fuentes de ruido por intensidad del sonido. Medida en puntos discretos (1995).
- [4] H. G. Jonasson, G. Andressen, Measurement of emission sound pressure levels using sound intensity. Nordtest project 1129-93. SP report 1995:75.
- [5] IEC 1043 Instruments for the measurement of sound intensity (1993).
- [6] ISO 3746 Acústica: Determinación de los niveles de potencia acústica emitidos por las fuentes de ruido. Método de ensayo (1995).
- [7] M. Herráez, M. Machimbarrena. On the requirements on the F_{pi} indicator when determining emission sound pressure levels using sound intensity. INTERNOISE' 98.

