



Incertidumbre en la medida de los niveles de potencia acústica según la norma ISO 5135:1997

J. Alba Fernández, J.A. Martínez Mora, F. Hernández García, M. Ardid Ramírez
y J. Cruaños Catalá

*Departamento de Física Aplicada, Escuela Politécnica Superior de Gandia, Universitat Politècnica de València,
Ctra. Nazaret Oliva s/n, 46730 Grau de Gandia (Spain). Tel: +34 962849300, Fax:+34 962809309
e-mail: jesalba@fis.upv.es*

RESUMEN: Hoy en día desde el sector industrial dedicado a la fabricación de dispositivos de aire acondicionado, existe un interés creciente en mejorar la calidad de sus productos. Uno de los objetivos es reducir los niveles de potencia acústica emitidos por estos elementos.

En este trabajo, presentamos un resumen de nuestra experiencia en medidas llevadas a cabo en cámara reverberante del ruido emitido por difusores y rejillas utilizados en sistemas de aire acondicionado, así como la problemática que se presenta al aplicar la norma ISO 5135:1997 para la medida de los niveles de potencia sonora emitida por estos dispositivos. Se analizan y discuten los criterios para el ajuste de los datos experimentales del nivel de potencia acústica L_W (dBA) en función del caudal volumétrico Q (m^3/h).

ABSTRACT: Nowadays there exists an increasing interest to improve the quality of the products in the industrial area dedicated to the production and manufacturing of the devices in air conditioning. One of the main objectives is to decrease the sound power levels produced by these air-terminals.

We report the experience in the measurements made at the reverberant room in order to obtain the sound power levels of noise emitted by diffusers and grilles used in air conditioning systems. We describe also the measurement procedure as the standards ISO 5135:1997. Finally, we analyse and discuss the criteria for adjusting and plotting the experimental data of the sound power levels L_W (dBA) versus the airflow Q (m^3/h).

1. INTRODUCCIÓN

A partir del año 2002 una empresa que diseña y fabrica elementos para la difusión y regulación del aire en instalaciones de climatización o ventilación entra en contacto con el grupo de investigación DISAO, Dispositius i Sistemes Acústics i Òptics, con el fin de llevar a cabo la caracterización de sus productos en cuanto a la potencia sonora radiada, lo que se determinaría en la cámara reverberante localizada en la Escuela Politécnica Superior de Gandia (EPSG). En primer lugar se llevaron a cabo las reformas pertinentes para habilitar la cámara para que reuniera las condiciones para tal objetivo y de acuerdo con la norma ISO-5135:1997 [1]. Después de un periodo inicial de caracterización de las propiedades acústicas de la cámara (tiempos de reverberación, coeficientes de absorción, ruido de fondo, etc.) y de

puesta a punto de las instalaciones propias del sistema de generación y difusión (motor ventilador, conductos, retornos, puertas, etc.).

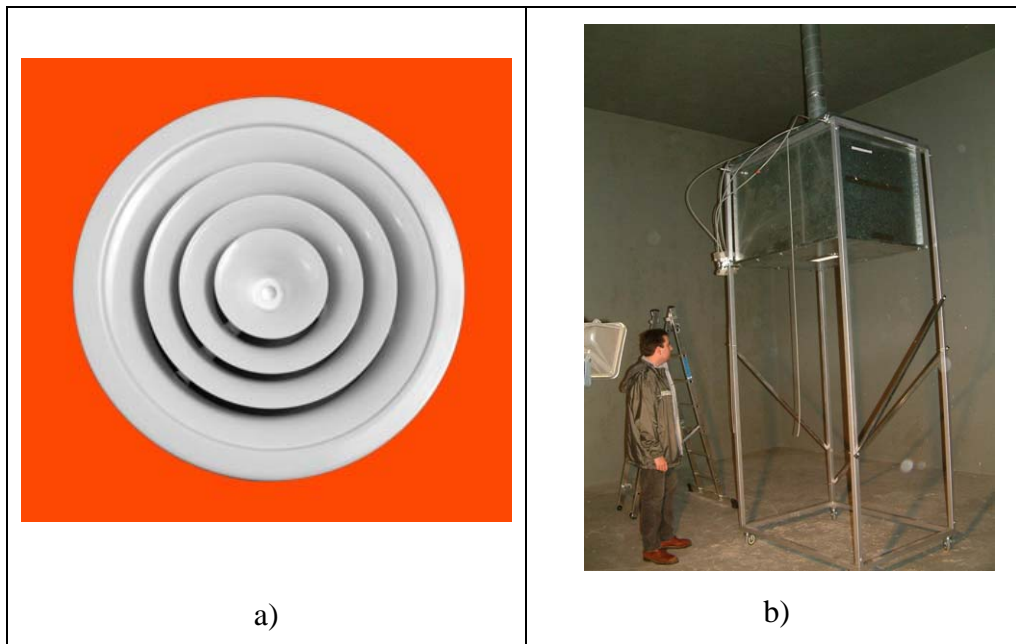


Figura 1:a) Difusor DCN b)Montaje para la medida de dispositivos de aire acondicionado en cámara reverberante.

En este trabajo, presentamos un resumen de nuestra experiencia en medidas llevadas a cabo en cámara reverberante del ruido emitido por difusores y rejillas utilizados en sistemas de aire acondicionado, así como la problemática que se presenta al aplicar la norma ISO 5135:1997 para la medida de los niveles de potencia sonora emitida por estos dispositivos. Después de dos años de trabajo se han caracterizado 120 de estos dispositivos del que se muestra uno de ellos en la figura 1a. En la figura 1b se muestra una fotografía tomada durante el montaje experimental en la cámara reverberante.

Se analizan y discuten con algún ejemplo los criterios y las dificultades que aparecen en el ajuste de los datos experimentales del nivel de potencia sonora L_{WA} en función del caudal volumétrico $Q(m^3/h)$. También se presentan las incertidumbres asociadas a cada medida de nivel de potencia sonora tanto en bandas de tercio de octava como en global.

2. DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA ACÚSTICA EN CÁMARA REVERBERANTE

2.1 Procedimiento de medida

La norma internacional ISO 5135 define los requisitos para el ensayo acústico en cámaras reverberantes de los equipos tales como unidades de salida de aire, reguladores y válvulas en sistemas de difusión y distribución de aire. Esta basada en el empleo de la norma ISO 3741 [2], la cual describe las instalaciones de ensayo acústico, la instrumentación y los procedimientos que se deben usar para la determinación de los niveles de potencia acústica en bandas de octava o tercio de octava, con precisión de laboratorio, emitidos por fuentes de ruido. Además describe dos métodos a través de los cuales se determinará la potencia de la fuente bajo estudio, calificados como métodos de precisión de grado 1, de los cuales se ha elegido el procedimiento directo. Éste último ha sido el que se ha elegido para los ensayos y permite calcular el nivel de potencia sonora de la fuente a partir del nivel de presión medido en la cámara reverberante así como del tiempo de reverberación y volumen de la misma. La potencia acústica vendrá dada por la siguiente expresión [2]:

$$L_w = \bar{L}_p + \left\{ 10 \log \frac{A}{A_o} + 4.34 \frac{A}{S} + 10 \log \left(1 + \frac{Sc}{8Vf} \right) - 25 \log \left[\frac{427 B}{400 B_o} \sqrt{\frac{273}{273 + \theta}} \right] - 6 \right\} \text{ dB} \quad (1)$$

donde para cada banda de frecuencia considerada:

- L_w es el nivel de potencia sonora de la fuente bajo estudio (dB);
- \bar{L}_p es el nivel de presión acústica medio en la cámara reverberante (dB);
- A es el área de absorción equivalente de la cámara reverberante (m^2);
- $A_o = 1$ (m^2);
- S es la superficie total de la cámara reverberante (m^2);
- V es el volumen de la cámara (m^3);
- f es la frecuencia central de la banda correspondiente (Hz);
- θ la temperatura ($^{\circ}C$);
- B es la presión atmosférica (Pa);
- $B_o = 1.013 \times 10^5$ (Pa);
- c es la velocidad del sonido a la temperatura θ , $c = 20.05 \sqrt{273 + \theta}$ (m/s).

Finalmente el término $4.34 A/S$ fue añadido para tener en cuenta la absorción del aire en cámara de ensayo [3].

La incertidumbre en las medidas de potencia sonora se obtiene aplicando la teoría de propagación de errores a la expresión anterior, quedando

$$\varepsilon(L_w) = \varepsilon(\bar{L}_p) + \frac{10}{\ln 10} \left\{ \frac{\varepsilon(A)}{A} + \frac{cV\varepsilon(S) + cS\varepsilon(V)}{VcS + 8V^2f} \right\} + \frac{4.34}{S} \left[\varepsilon(A) + \frac{A\varepsilon(S)}{S} \right] + \frac{25\varepsilon(B)}{B \ln 10} + \frac{25}{2 \ln 10} \frac{\varepsilon(T)}{273 + T} \text{ dB} \quad (2)$$

El volumen de la fuente sonora debe ser inferior al 2% del volumen de la cámara de ensayo, el ruido debe ser continuo de banda ancha y existe una limitación por ruido de fondo de al menos 10 dB. Se ha de obtener los niveles de potencia acústica en 1/3 de octava o en octava (ponderado A) con un mínimo de 6 puntos de medida. Otras consideraciones son que debe asegurarse que cualquier conducto de aire o tubería conectados con la fuente de ensayo no radien cantidades significativas de energía acústica en el entorno de ensayo, que la posición del micrófono en la cámara en ningún punto de medida debe estar a más de 1 m de cualquier superficie de la cámara. Se ha tomado un tiempo de medida de 30 s que es válido para todas las frecuencias.

Se mide el ruido de fondo con la fuente en funcionamiento. Los niveles de presión acústica, medidos en banda de frecuencias, deben corregirse debido a la influencia del fondo, restando un valor de K_1 , calculado por banda, según la ecuación:

$$K_1 = -10 \log (1 - 10^{-0.1 \Delta L}) \text{ dB} \quad (3)$$

siendo $\Delta L = L_p \text{ medido} - L_p \text{ ruido de fondo}$ (en cada banda y promediados expresados en dB). Si $10 \leq \Delta L \leq 15$ dB se realizan las correcciones de acuerdo con la ecuación anterior. Si $\Delta L > 15$ dB no se efectúan correcciones.

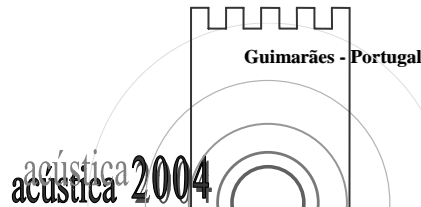
3. EQUIPO DE MEDICIÓN Y MEDIDAS

3.1 La cámara reverberante de la EPSG

Con el fin de obtener unas óptimas condiciones de campo difuso, es necesario reducir considerablemente la formación de modos normales, en especial en bajas frecuencias sin reducir en exceso los niveles de presión sonora en su interior.

El volumen de la cámara es un parámetro fundamental puesto que el número de reflexiones que se generan depende de éste. Así, su incremento disminuye el número de reflexiones para tiempos iguales, lo que produce una mayor concentración en los modos normales a bajas frecuencias y por tanto disminuye la difusión. Las medidas encaminadas a reforzar la difusión se han de incrementar a medida que aumenta el volumen. El volumen de la cámara, tiene el valor de: $V = (238 \pm 2) \text{ m}^3$ y La superficie lateral es $S = (236 \pm 2) \text{ m}^2$.

Para que la distribución de frecuencias en la cámara sea lo más uniforme posible, sus dimensiones de la cámara deben cumplir:



$$\frac{L_x}{1} = \frac{L_y}{\sqrt[3]{2}} = \frac{L_z}{\sqrt[3]{4}} \quad (4)$$

En todos los casos se ajusta a las dimensiones exigidas para medidas de coeficiente de absorción. Cumpliéndose además la recomendación : $1.9V^{1/3} > D$, donde D es la diagonal mayor y V es el volumen de la cámara. Por otra parte la otra recomendación $S_{\text{Total}} \approx 6V^{1/3}$ ($236 \text{ m}^2 \approx 230 \text{ m}^2$) también se verifica.

En la tabla 1 se presenta el tiempo de reverberación y el área de absorción en cámara vacía.

Tabla 1: Comparación del tiempo de reverberación y del área de absorción en cámara vacía con el Tr mínimo y A máximo exigidos por la norma.

f (Hz)	Tr (s) Norm	Tr (s)	A (m ²) Norm	A (m ²)
63		11,86		3,25
125	5	8,27	6.88	4,66
250	5	8,27	6.88	4,66
500	5	8,48	6.88	4,55
1000	4.5	7,83	7.41	4,93
2000	3.5	5,91	10.05	6,52
4000	2	4,00	13.75	9,65
8000		2,12		18,19

Además la exigencia de $T_r \geq V/S = 1.01$, se cumple en todas las bandas, así como las exigencias de Absorción mínima.

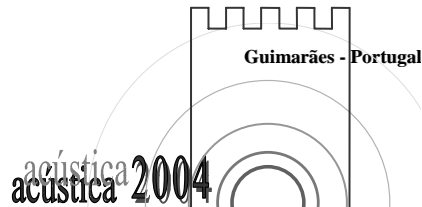
Por lo tanto, se ha verificado que los parámetros elegidos de la cámara son correctos y están dentro de las normas para poder medir coeficientes de absorción de materiales absorbentes y potencia de fuentes de ruido como es en nuestro caso.

3.2 Equipamiento utilizado y medidas realizadas

El equipo utilizado en las mediciones fue el siguiente: analizador B&K 2144 y 2 micrófonos prepolarizados B&K 4189 (1/2 pulgada) con respuesta en frecuencia plana, 1 calibrador portátil de 94 dB a 1 kHz junto con 2 protectores antiviento.

Como se ha comentado en la introducción, se ha realizado 500 medidas de L_w de 120 dispositivos difusores según el procedimiento de medida que se ha descrito.

Cada dispositivo se mide para diferentes caudales de aire ajustados siguiendo las instrucciones de la norma [1]. Se debe realizar las medidas acústicas para un mínimo de cuatro niveles de caudal de aire; uno para el mínimo, otro para el máximo, y al menos dos para niveles intermedios. Si el ensayo se ha realizado con un coeficiente de pérdida de presión constante, se representaran en una gráfica los valores de los niveles de potencia acústica ponderados A, L_{WA} , para cada banda de octava frente al caudal volumétrico, Q_v .



La norma propone la realización de un ajuste de una función logarítmica a los valores medidos según el método de los mínimos cuadrados. La desviación máxima entre los puntos y las rectas ha de ser de 3 dB. La norma permite extrapolar la función ajustada hasta la mitad del mínimo y hasta el doble del máximo de los valores de Q_v .

3. COMENTARIOS SOBRE LOS RESULTADOS DE LAS MEDIDAS

A continuación comentamos brevemente los resultados sobre las medidas realizadas para rejillas y difusores de aire acondicionado, e ilustraremos algunos de los comentarios con el ejemplo de medida del dispositivo DCN de MADEL acoplado a un tubo de 250 mm de diámetro. De los resultados globales se puede concluir que el ajuste logarítmico es adecuado tanto para la medida del nivel de potencia sonora ponderado L_{WA} , como para los niveles de potencia a diferentes frecuencias. Sólo se observan desviaciones apreciables para los casos de bajas frecuencias (donde existe un nivel de ruido de fondo mayor y la medida presenta mayor dificultad) y en algunos casos de medidas a altas frecuencias, siendo normalmente las frecuencias centrales las que presentan un mejor comportamiento.

En la figura 2 se observa los 4 valores medidos, tanto para L_{WA} como para la potencia correspondientes a las octavas de 250 Hz, 500 Hz y 4000 Hz respectivamente. Se ha realizado un ajuste con una función logarítmica y se ha extrapolado hasta la mitad del caudal mínimo medido. Para observar la bondad de la extrapolación se midió un quinto punto que se ha representado con el mismo símbolo de forma hueca. De forma global se observa que para las frecuencias centrales la extrapolación puede ser muy adecuada, para frecuencias altas puede haber alguna variación y donde se observa más desviación a la función logarítmica es para muy bajas frecuencias. Respecto al nivel L_{WA} se observa, en general, que aunque con algunas desviaciones sigue la tendencia del ajuste logarítmico. La única posible objeción, según nuestra experiencia, es que la extrapolación hasta la mitad del caudal mínimo medido puede parecer un poco optimista ya que se puede propagar en demasía posibles desviaciones.

En la figura 3 se compara el ajuste lineal con el ajuste logarítmico para el nivel de potencia L_{WA} . Aunque ambos se ajustan bastante bien a los puntos medidos, para el rango de caudales medidos, se observa que el ajuste logarítmico es mucho más apropiado para la extrapolación, lo que implica menores niveles de potencia a bajos caudales aproximándose al punto medido experimentalmente.

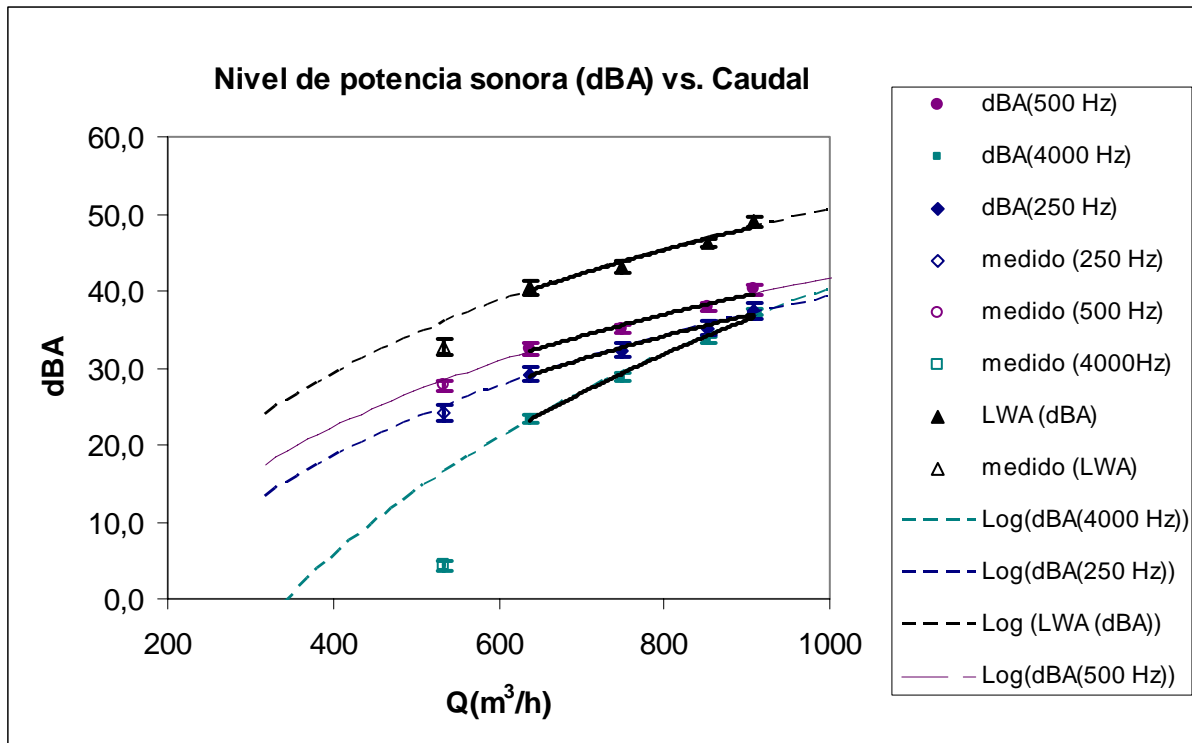


Figura 2: Resultados del nivel de potencia sonora en función del caudal de aire

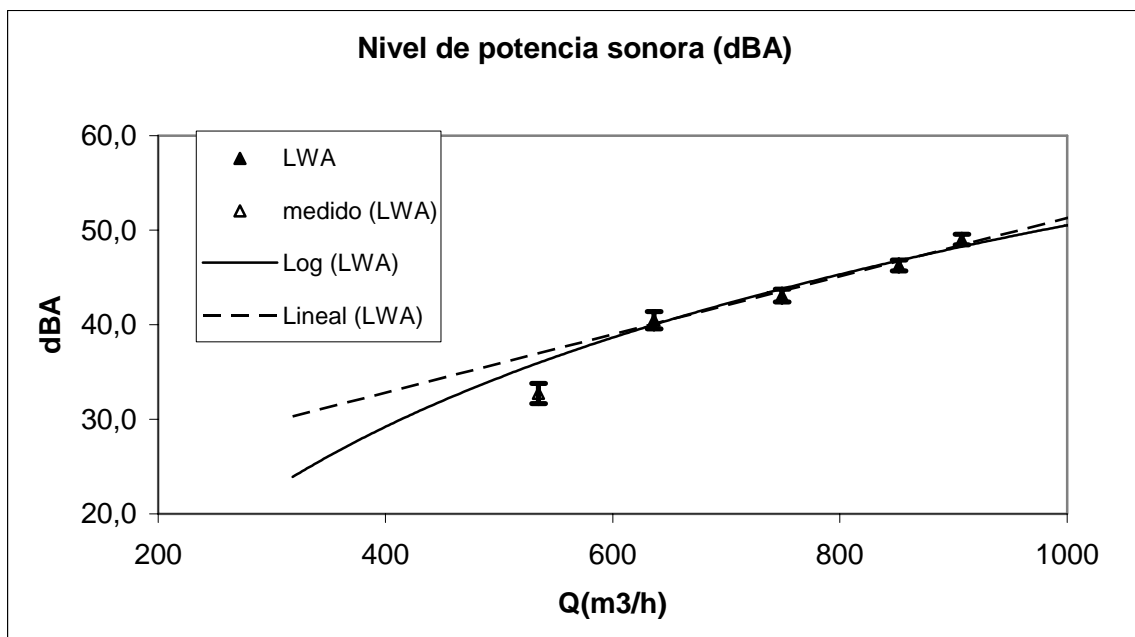
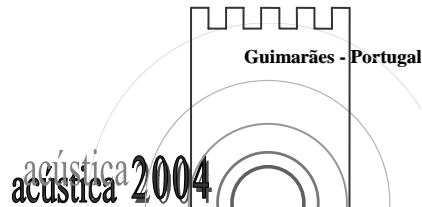


Figura 3: Comparativa del ajuste lineal y logarítmico para el nivel de potencia sonora ponderado en función del caudal de aire



4. CONCLUSIÓN

En esta comunicación se describe nuestra experiencia sobre la medida de niveles de potencia sonora de dispositivos para aire acondicionado según las normas ISO 5135 e ISO 3741. El trabajo desarrollado ha permitido sistematizar el proceso de medidas y así poder hacer frente al gran número de dispositivos a caracterizar. Según nuestra experiencia, dicha norma es adecuada y útil como referencia para los fines propuestos. La única observación al respecto es que según los datos de las medidas la extrapolación hasta la mitad del caudal mínimo medido es quizá demasiado optimista dado que puede haber casos donde esta extrapolación pudiera comportar la propagación de errores significativos.

Por otra parte a la vista de los resultados obtenidos para las incertidumbres asociadas a cada medida del nivel de potencia sonora tanto en bandas de octava como en global vemos que son perfectamente válidos salvo a la frecuencia de 63 Hz donde aumentan.

RECONOCIMIENTOS

Queremos agradecer a la empresa MADEL su interés y colaboración en las medidas del nivel de potencia sonora de sus difusores y rejillas.

REFERENCIAS

- [1] UNE-EN ISO 5135:1997 *Determinación de los niveles de potencia acústica de ruido emitido por salidas de aire, unidades de salida, reguladores y válvulas mediante medición en sala reverberante.*
- [2] UNE-EN ISO 3741:2000 *Determinación de los niveles de potencia acústica de las fuentes de ruido a partir de la presión acústica. Métodos de precisión en cámaras reverberantes.*
- [3] M. Vorlander; *Revised relation between the sound power and the average sound pressure level in rooms and the consequences for acoustic measurements*, *Acústica* **81**, 332-343, 1995.