

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE EQUIPOS DE MEDIDA DE PRESIÓN ACÚSTICA DE TIPO 1 Y TIPO 2

PACS: 43.50.Yw

Barti Domingo, Robert
Director Área de Acústica. Laboratorio LEM
Pol. Ind. Cova Solera
Avd. Can Sucarrats, 110, nave 11
08191 Rubí. Barcelona. España
Tel: 935 862 680
Fax: 935 862 681
E-mail: robert@lem-sl.com

ABSTRACT

This paper presents a technical discussion about the correct way for selection of the electronic equipment for measurement of sound. The degree of precision showed by electronic equipment type 1 vs type 2 where obtained from sound samples, recorded in real life in most common situations. Finally some conclusions about the convenience in the use of each type of electronic device for different kind of "in situ" measurement is given.

RESUMEN

Este trabajo pretende hacer una aportación técnica de cara a realizar una correcta elección del tipo de equipo a utilizar en función de su uso. Se analiza a partir de muestras de sonido reales y de ensayos acústicos, el grado de precisión de equipos de medida de tipo 1 y de tipo 2, estableciendo las desviaciones reales entre ambos. Se discute la idoneidad de uso de ambos equipos para la medición de señales acústicas "in situ".

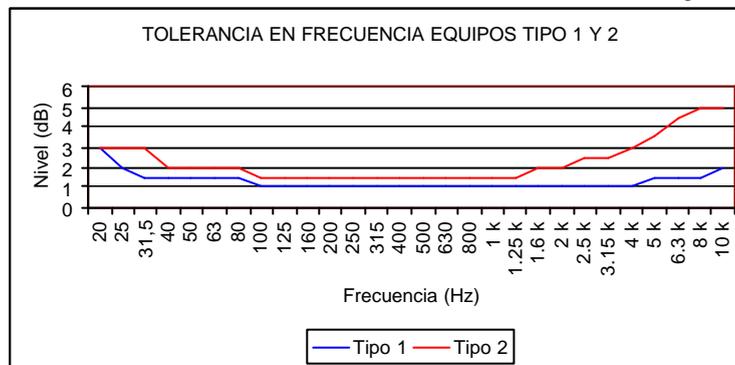
INTRODUCCIÓN

Para evaluar el grado de contaminación acústica o para evaluar ciertos parámetros acústicos en la construcción, es necesario realizar unas mediciones acústicas "in situ". Es un requisito bastante aconsejable, que se disponga de equipos electrónicos portátiles. Hace unas décadas estos equipos aunque ofrecían buenas precisiones, tenían serios problemas de fiabilidad, ya que se desajustaban con frecuencia. Las mejoras tecnológicas en el campo de la electrónica, especialmente la incorporación de las técnicas digitales tanto en la adquisición de la señal, como en su tratamiento, permiten disponer de equipos portátiles con una fiabilidad y reproducibilidad notable. Además estos equipos, ofrecen un amplio surtido de posibilidades al poder incorporar programas específicos que transforman un simple sonómetro en un completo analizador. El grado de precisión de los equipos se indica mediante una clase. Las normas IEC actualmente vigentes 651 y 804 consideran 4 clases: tipo 0, 1, 2 y 3. La nueva norma IEC 61672 sigue los mismos criterios que las anteriores, pero teniendo en cuenta la tecnología actual, elimina los hasta ahora existentes tipo 0 y tipo 3 estableciendo solamente dos niveles de precisión denominados como Clase 1 y Clase 2. El coste de un equipo de tipo 1 es notablemente superior al de tipo 2. Por otro lado, es bien conocido que en las mediciones acústicas en general, y en

particular en las mediciones “in situ” el margen de error imputable a la correcta elección del punto de medida y las condiciones de contorno, pueden ser muy influyentes.

2. EQUIPOS DE MEDIDA

Los equipos de medida electrónicos han sufrido una evolución importante en los últimos años. El diseño de los circuitos electrónicos basados en el uso de circuitos integrados de aplicación específica, ha permitido lograr un mayor grado de especialización técnica y en consecuencia unas mejores prestaciones. Por otro lado los avances logrados en materia de conversores AD más precisos y fiables, ha permitido realizar el salto al campo digital. A partir de éste punto las diferencias tecnológicas entre los distintos fabricantes se ha reducido. En la era analógica, el “know how” de las marcas era fundamental para marcar diferencias técnicas. Hoy los mismos CI básicos, son utilizados por distintas marcas de equipos de medida. La incorporación de las tecnologías digitales, ha propiciado la aparición del software de control, que permite realizar funciones que con equipos analógicos eran impensables. Podemos decir pues que los equipos de medida digitales actuales son más precisos y fiables que sus antecesores analógicos. La electrónica de un equipo de tipo 1 y 2 en algunos casos es la misma. La diferencia de precisión recae en el tipo de micrófono y preamplificador. Fundamentalmente dichas diferencias se centran en un margen de tolerancia en frecuencia distinto como se muestra en la figura siguiente.



Hay que destacar que algunas mediciones normalizadas utilizan un margen restringido de frecuencias entre 100 Hz y 5 KHz. Por otro lado el ruido presenta mayoritariamente un mayor contenido en baja frecuencia, por lo que en la práctica las diferencias de precisión entre ambos equipos se reduce considerablemente.

3. BANCO DE PRUEBAS

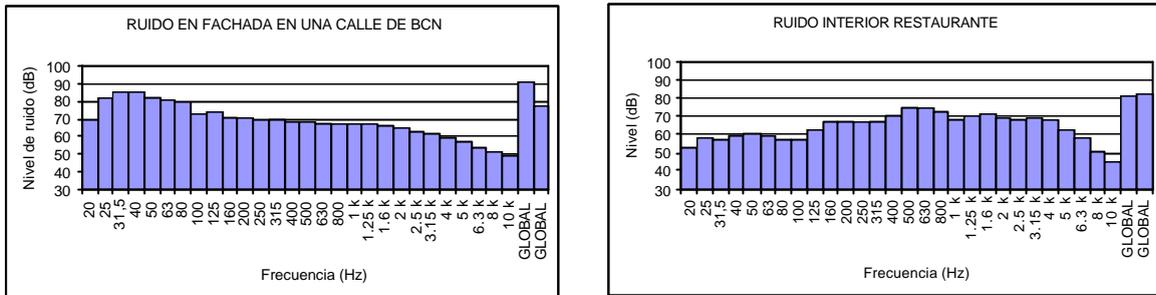
Para poder comparar las prestaciones en situaciones reales entre equipos de tipo 1 y tipo 2, se realizan dos bancos de mediciones: medidas en las que no se controla la fuente de ruido y medidas en las que se controla la fuente de ruido. Por un lado se realizan mediciones de ruido procedente de distintas fuentes de ruido, con distintos niveles y distinto contenido espectral, y con condiciones de contorno distintas, para obtener un amplio abanico de situaciones. Las distancias de medición y ángulo de incidencia del sonido también son distintos en todos los casos. Por otro lado se realizan los llamados ensayos acústicos, consistentes en evaluar las cualidades acústicas de la construcción. Las mediciones siguen los procedimientos ISO-1996, para las medidas de ruido ambiental, en aquellos caso donde era posible y la ISO-140-4 para la medida de aislamiento acústico “in situ”.

Las fuentes de ruido seleccionadas para realizar éste estudio fueron muy diversas, ruido en calles de diferente tipología, ruido en restaurantes, en bares, en ludotecas, en áreas comerciales, aeropuertos, aviones, etc. En las mediciones del ruido interior del avión, se realizó el registro colocando el micrófono en el lugar que ocuparía la cabeza de la persona. La grabación se hizo en primera clase, concretamente en primera y tercera fila respectivamente, y al lado izquierdo del avión. En el momento de realizar los registros de ruido en el interior de 2 aviones en pleno vuelo y con distintas configuraciones se midieron niveles de ruido a altura de crucero, y

también del nivel de los mensajes por megafonía. Respecto del ruido medido en las 36 calles de BCN están medidos en el balcón de la fachada de distintas viviendas distribuidas por la ciudad y que abarcan calles con distintas densidades de tráfico. Todos los puntos medidos tienen en común que la principal fuente de ruido es el tráfico.

4. ANÁLISIS FRECUENCIAL.

Los espectros de señal utilizados para la medición de ruido son muy variados tanto en nivel como en espectro. La figura siguientes muestran dos ejemplos.



A la izquierda tenemos ruido de tráfico. En ésta situación predomina el contenido de baja frecuencia. La fuente de ruido es omnidireccional debido a las distintas fuentes distribuidas a lo largo de la calle, y la incidencia del sonido tiene una dirección preferente levemente matizada por la presencia de los edificios cercanos. Además la fuente se encuentra separada del punto de medida, en todos los casos a más de 8 metros y generalmente con visión directa entre fuentes y micrófono. Se podría considerar a la mayoría de puntos en campo libre con algunas reflexiones en los edificios cercanos. A la derecha se muestra una situación muy distinta. El principal contenido energético se centra en las frecuencias medias. Las fuentes son más directivas (voces) y el punto de medición es más cercano, aproximadamente a unos 1,2 m de la fuente más próxima. El campo acústico es más reverberante (espacio cerrado de poco volumen). Son muchos los factores que influyen en una medida. De todos ellos éste trabajo considera exclusivamente la contribución del contenido espectral sobre la precisión, para evaluar las diferencias entre las mediciones de los equipos de tipo 1 respecto a los de tipo 2. La incidencia del sonido se supone siempre aleatoria.

5. INCERTIDUMBRE DE LA MEDIDA DE NIVEL SPL EN UN PUNTO. (TIPO 1).

La lectura obtenida por el equipo de medida puede diferir del nivel de presión acústica real, ya que se introducen ciertas incertidumbres. Tanto las condiciones ambientales (temperatura, humedad) como de la lectura del indicador numérico. Tanto la temperatura T como la presión P están acotadas entre T_1 , T_2 y P_1 , P_2 respectivamente. La incertidumbre compuesta de la medida de nivel de presión sonora en un punto, teniendo en cuenta todos los factores expuestos estará determinada por la expresión:

$$(u_{SPL})^2 = \left(\frac{\text{Incertidumbre}_{\text{certificado}}}{K_{\text{calibracion}}} \right)^2 + (u_{\text{ind}})^2 + d_T^2 \left(\frac{|T_2 - T_1|}{\sqrt{12}} \right)^2 + d_P^2 \left(\frac{|P_2 - P_1|}{\sqrt{12}} \right)^2$$

Tomando valores típicos de equipos de tipo 1: $\delta_T = 0,01 \text{ dB/}^\circ\text{C}$ y $\delta_P = 0,008 \text{ dB/kPa}$ y considerando un margen de variación de las condiciones climáticas: margen de temperatura de 0°C a 50°C y un margen de presiones de 850 hPa a 1.100 hPa . La incertidumbre típica del certificado de un equipo tipo 1 es de $\pm 0,2 \text{ dB}$. Para un intervalo de confianza del 99% se toma $K = 2,576$ y por tanto la incertidumbre expandida será:

$$U_{SPL} = K \cdot u_{spl} = 2,576 \cdot 0,178 = \pm 0,46 \text{ dB}$$

6. INCERTIDUMBRE DE LA MEDIDA DE NIVEL SPL EN UN PUNTO. (TIPO 2)

Repetiendo los cálculos anteriores pero con las tolerancias típicas del tipo 2 obtenemos la incertidumbre compuesta de la medida de nivel de presión sonora en un punto, teniendo en cuenta todos los factores expuestos y que estará determinada por la expresión:

$$(u_{SPL})^2 = \left(\frac{\text{Incertidumbre}_{\text{certificado}}}{K_{\text{calibracion}}} \right)^2 + (u_{\text{ind}})^2 + d_T^2 \left(\frac{|T_2 - T_1|}{\sqrt{12}} \right)^2 + d_P^2 \left(\frac{|P_2 - P_1|}{\sqrt{12}} \right)^2$$

Tomando valores típicos de equipos de tipo 1: $\delta_T = 0,02 \text{ dB/}^\circ\text{C}$ y $\delta_p = 0,008 \text{ dB/kPa}$ y considerando un margen de variación de las condiciones climáticas: margen de temperatura de 0°C a 50°C y un margen de presiones de 850 hPa a 1.100 hPa . Para un intervalo de confianza del 99% se toma $K = 2,576$ y por tanto la incertidumbre expandida será:

$$U_{SPL} = K \cdot u_{spl} = 2,576 \cdot 0,387 = \pm 1 \text{dB}$$

7. RESULTADO DE LAS MEDIDAS CON FUENTE DE RUIDO NO CONTROLADA

Los valores de nivel teóricos, que medirían los equipos tipo 1 y 2, teniendo en cuenta las diferencias en sensibilidad espectral se reflejan en la tabla siguiente. Como se puede observar, las incertidumbres del Tipo 2 son superiores entre los 0,6 dB y los 1,2 dB respecto los márgenes del Tipo 1.

FUENTES DE RUIDO	Tipo 1	Tipo 2	Diferencia
36 Calles de BCN	71,1	71,9	-0,8
Carretera N-II Premià Mar	78,9	79,8	-0,9
GranVia Premià Mar	71,9	72,8	-0,9
Megafonia Exterior Pk Centro Comercial	85,7	86,9	-1,2
Voces zona comercial	79,2	80,2	-1
Calle peatonal atardecer	58,5	59,3	-0,8
Centro comercial	73	74,4	-1,4
Restaurante (100 pax) al 70%	82,2	83,1	-0,9
Habitación Hotel (***)	43,7	44,6	-0,9
Interior A320	80,2	80,8	-0,6
Interior MD86	89,6	90,2	-0,6
Entrada Avión pie pista	80,1	81,2	-1,1
Interior Bus ralenti	75,6	76,3	-0,7
Sala espera superior aeropuerto BCN	57,4	58,3	-0,9
Sala espera inferior aeropuerto BCN	60,3	61,2	-0,9
Taconeo en espacio grande	63,6	64,2	-0,6
Máquina juegos1	95,9	97	-1,1
Máquina juegos2	96,1	97,2	-1,1
Bolera	81,8	82,5	-0,7
Sala video-juegos	92,7	93,5	-0,8
Tranvia en curva1	64,7	65,8	-1,1
Tranvia	73	73,6	-0,6
Cortadora césped gasolina	64,6	65,4	-0,8
Recogida basura	61,3	62,1	-0,8
Moto 2T	62,7	63,6	-0,9

7.1. VARIABILIDAD DE LAS MEDICIONES DE RUIDO AMBIENTAL

En las mediciones "in situ" es realmente imposible establecer la variabilidad de la medida, ya que no se tiene control sobre la fuente de ruido, y por tanto al repetir la medida ésta varía. Por otro lado la elección del punto de medida exacto varía de un técnico a otro. Partiendo de unas

mediciones de ruido realizadas en 36 puntos la Ronda del Mig de BCN se muestran los resultados de dos mediciones realizadas en el mismo punto con unos minutos de diferencia. La densidad de tráfico se mantuvo inalterada, pero no su tipología de vehículos. Como se observa los niveles son distintos, y especialmente su distribución estadística. Notamos que en los ejemplos mostrados la variación máxima de Leq oscila entre 0,6 dBA y 2,2 dBA.

PUNTO	LEQ	L90	L10
A1	76,3	69,9	79,3
A2	78,5	73,7	82,2
B1	76,7	70,7	79,7
B2	77,3	69,9	80,7

8. RESULTADO DE LAS MEDIDAS CON FUENTE DE RUIDO CONTROLADA

Para ello se utiliza una fuente de ruido controlada y se realizan múltiples mediciones en diferentes salas. Para el cálculo del aislamiento se parte de la diferencia de niveles entre el nivel SPL en emisión y en recepción.

La incertidumbre de la diferencia de niveles será:

$$D_i = L_{1i} - L_{2i}$$

$$u_{D_i}^2 = (u_{L_{1i}}^2 + u_{L_{2i}}^2)$$

8.1. Para equipos de tipo 1 tendremos:

$$u_{D_i} = \pm 0,25 \text{ dB}$$

Para un intervalo de confianza del 99% se toma $K = 2,576$ y por tanto la incertidumbre expandida será:

$$U_D = K \cdot u_{D_i} = 2,576 \cdot 0,25 = \pm 0,64 \text{ dB}$$

Las mediciones indirectas se obtienen de tres variables, a saber, el volumen (V) y superficie (S) de la sala, y su tiempo de reverberación (TR). La ecuación utilizada es la siguiente:

$$f(V, S, TR) = 10 \cdot \log \left(\frac{S \cdot TR}{0,16 \cdot V} \right)$$

Admitiendo un error en la toma de medidas de la sala de 10 mm, y con los tiempos medios de TR60 habituales en salas de pequeño volumen (habitación, salón –comedor) la incertidumbre asociada será:

$$u_{\text{ind}} = \sqrt{\left(-10 \frac{\log e}{V} 0,00041 \right)^2 + \left(10 \frac{\log e}{S} 0,0041 \right)^2 + \left(10 \frac{\log e}{TR} u_{TR} \right)^2}$$

Resulta bastante evidente que la mayor contribución a la incertidumbre viene dada por el cálculo del TR60. Este cálculo es especialmente delicado en volúmenes pequeños y con determinadas dimensiones de sala, donde la concentración de modos propios puede dejar en jaque al software de medida. Tomando diversas muestras de TR60 para distintas salas con formas dimensiones y volúmenes distintos, se establece un perfil de incertidumbre para el cálculo del TR60 que se resume en la tabla siguiente:

	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 k	1,25 k	1,6 k	2 k	2,5 k	3,15 k	4 k	5 k	6,3 k	8 k	
Umesura	0,25	0,24	0,22	0,21	0,19	0,18	0,16	0,14	0,13	0,11	0,10	0,08	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Para un intervalo de confianza del 99% se toma $K = 2,576$ y por tanto la incertidumbre expandida será:

$$U_{R'} = K \cdot u_{R'} = 2,576 \cdot 0,90 = \pm 2,32 \text{ dB}$$

Para las bandas bajas (< 250 Hz) la incertidumbre es notablemente superior:

$$U_{R'} = K \cdot u_{R'} = 2,576 \cdot 1,92 = \pm 4,95 \text{ dB}$$

8.2. Para equipos de tipo 2 tendremos:

$$u_{D_i} = \pm 0,55 \text{ dB}$$

Para un intervalo de confianza del 99% se toma $K = 2,576$ y por tanto la incertidumbre expandida será:

$$U_D = K \cdot u_{D_i} = 2,576 \cdot 0,548 = \pm 1,41 \text{ dB}$$

Admitiendo los mismos errores indicados anteriormente llegamos al resultado:

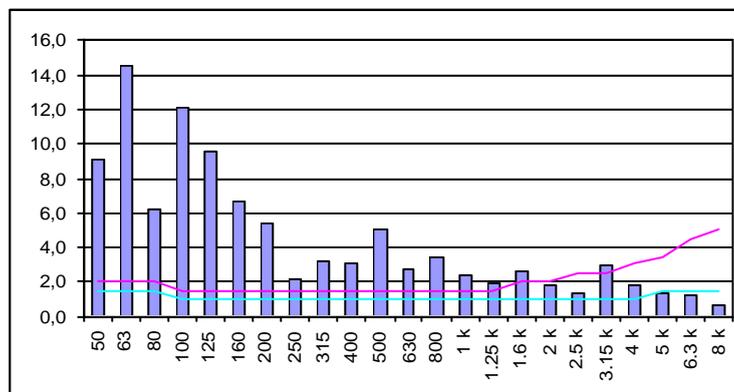
$$U_{R'} = K \cdot u_{R'} = 2,576 \cdot 1,03 = \pm 2,65 \text{ dB}$$

Para las bandas bajas (< 250 Hz) la incertidumbre es notablemente superior:

$$U_{R'} = K \cdot u_{R'} = 2,576 \cdot 1,98 = \pm 5,1 \text{ dB}$$

9. INFLUENCIA DEL TÉCNICO QUE REALIZA LA MEDICIÓN

Un aspecto no debe olvidarse: aunque los equipos de medida, sean de tipo 1 o de tipo 2, son muy fiables, quien decide dónde medir, cómo y medir y cuando medir, es la persona encargada de realizar la medición. El equipo no sabe lo que se pretende medir, no se le puede pues trasladar la responsabilidad de la medición al equipo. A continuación se muestra un resultado comparativo de mediciones de aislamiento acústico de elemento vertical, efectuadas por personal cualificado y otras por personal no cualificado. En promedio, las desviaciones en la medida del aislamiento acústico efectuadas por personal no cualificado superan ampliamente los márgenes que la norma IEC fija para los equipos de medida.



Es deseable pues que a la mayor exigencia y control metrológico que se realiza actualmente sobre la instrumentación, vaya unida a un mayor grado de exigencia sobre la calificación profesional de quien utiliza dicho equipo.

10. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados obtenidos en este estudio se puede concluir:

1. En la medida de niveles SPL de ruido:
 - a. Equipos de Tipo 1: margen de incertidumbre total: $\pm 0,46$ dB
 - b. Equipos de Tipo 2: margen de incertidumbre total: ± 1 dB
 - c. Las mediciones arrojan un margen de variación de 0,6 y 1,2 dB de manera que el Tipo 1 es superior al Tipo 2.

Para las medidas con fuente no controlada, los errores de medida imputables al equipo son inferiores a los propios de la medida. (Posición del micrófono de medida, distancias a las fuentes, variabilidad de la fuente...).

2. En la medida de aislamiento:
 - a. Equipos de Tipo 1: Incertidumbre expandida: $\pm 2,32$ dB para bandas > 300 Hz
 - b. Equipos de Tipo 1: Incertidumbre expandida: $\pm 4,95$ dB para bandas < 250 Hz
 - c. Equipos de Tipo 2: Incertidumbre expandida: $\pm 2,65$ dB para bandas > 300 Hz
 - d. Equipos de Tipo 2: Incertidumbre expandida: $\pm 5,1$ dB para bandas < 250 Hz

Se obtiene una mejora de 0,33 dB en el cómputo de R' para frecuencias > 300 Hz, mientras que dicha mejora queda en 0,15 dB para frecuencias < 250 Hz.

Con los resultados obtenidos resulta evidente que la influencia de las condiciones de contorno, esencialmente la elección de los puntos de medida, donde y como se mide, influye mucho más que la propia precisión de los equipos. En consecuencia, para las mediciones con fuente controlada, es aconsejable usar equipos de medida de tipo 1, ya que su mayor precisión repercutirá favorablemente en los resultados, mientras que en las mediciones de fuentes no controladas, el uso de equipos de tipo 1 no mejora los resultados frente al uso de equipos de tipo 2. Sería pues aconsejable que en las medidas de control o supervisión donde se pretende evaluar el nivel de ruido "in situ" producido por una actividad, se usaran equipos de tipo 2. Siendo éstos más económicos, podría haber más equipos de control y por tanto una mayor eficacia de la administración local en las tareas de control y supervisión de niveles de ruido en su municipio.