

INTERCOMPARACIÓN NACIONAL SOBRE VERIFICACIÓN DE SONÓMETROS

PACS: 43.58.Fm

Pfretzschner Jaime
Instituto de Acústica
Serrano 144
28006 Madrid
Spain
Tel: 34.91. 5 61 88 06
Fax: 34 91 4 11 76 51
E-mail: iacjp36@ia.cetef.csic.es

ABSTRACT

The results of the first national intercomparison of measurements on Sound Level Meters are presented. Six accredited laboratories participated during the period of 2001-02, in the verification of the acoustical and electrical characteristics of a S.L.M. previously calibrated in accordance with the IEC 60804 standard. This standard is compulsory in Spain by law (Ministerial Order of 16.12.98 by The Spanish Ministerio de Fomento.) for SLM verification.

The Round Robin Test was intended to check the reproducibility of the measurements made by the participant laboratories, and the suitability of the proposed measuring test in order to accomplish with the above mentioned ministerial order.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO.

La intención de esta intercomparación, nacida en el seno del Subcomité Técnico de Acústica y Vibraciones de ENAC, tuvo por objeto detectar la posible dispersión de los valores encontrados en la verificación de un sonómetro de precisión Brüel & Kjaer, calibrado en Dinamarca, y cedido por la representación de esta firma en España.

En la intercomparación han intervenido seis laboratorios actuando como laboratorio piloto el de la firma Brüel & Kjaer de Madrid. El protocolo de medida fue diseñado por el Laboratorio de Acústica de la Generalidad de Cataluña conjuntamente con el citado laboratorio piloto, y distribuido a los participantes con la intención de recoger sus sugerencias.

El protocolo de medida, en sus ocho hojas de toma de datos, sigue fundamentalmente los requisitos establecidos para la verificación simplificada de un sonómetro, basada en las normas UNE-EN 60651 y UNE-EN 804, y recogidos en la Orden de 16.12.1998 del Ministerio de Fomento para la verificación de estos instrumentos.

El objetivo principal de esta primera intercomparación que se hace en España sobre sonómetros de precisión consiste en realizar una verificación simplificada no sobre todos los puntos que prescriben las distintas normativas sino sobre una cantidad significativa que permita

mantener el rigor de una verificación completa y refleje la verificación tipo que los laboratorios realizan frente a una solicitud exterior.

Ante todo se trata de comparar los bancos de ensayo de los distintos laboratorios con objeto de determinar la reproducibilidad entre ellos al utilizar todos la misma muestra que circulará según un orden preestablecido.

Entre los principales objetivos de este proyecto cabe destacar:

- Contrastar los resultados siguiendo las pautas de la verificación de sonómetros expuestas en la Orden Ministerial.
- Obtener resultados sobre incertidumbres y dispersiones asociadas a las mediciones realizadas en los distintos laboratorios.
- Comparar distintos procedimientos de medida, en su caso.
- Detectar posibles puntos débiles en las cadenas de medida y/o procedimientos.
- Comparar resultados interlaboratorios.
- Considerar la posible revisión del procedimiento en alguno de sus puntos

Por último, la intercomparación puede ofrecer una idea de la dispersión obtenible entre los distintos laboratorios participantes, acreditados por ENAC, que a su vez, la mayoría sirven como laboratorios acreditados por los distintos gobiernos autonómicos para la calibración y/o verificación oficial según la citada orden ministerial.

ORGANIZACIÓN Y PREPARACIÓN.

La intercomparación comenzó el día 17 de septiembre de 2001 en forma secuencial, disponiendo cada laboratorio de quince días para la realización de las mediciones y su envío al laboratorio siguiente. Por último el laboratorio piloto volvió a recalibrar el instrumento. Los datos encontrados en las mediciones se enviaron a ENAC y al presidente del Subcomité par su procesado y análisis.

El calendario fue el siguiente:

- **BRÜEL & KJAER** del 17/09/01 al 30/09/01 (o)
- **INSIA** 1/10/01 al 14/10/01 ()
- **IA** 15/10/01 al 28/10/01 ()
- **CEM** 29/10/01 al 11/11/01 ()
- **LGAI** 12/11/01 al 25/11/01 (-<)
- **LABEIN** 26/11/01 al 9/12/01 (+)
- **BRÜEL & KJAER** 10/12/01 al 23/12/01 (●)

Cada laboratorio aporta su transfer de referencia (calibrador acústico) para la medida de la presión acústica (a 1 kHz) y su instrumentación para la eléctrica, debiendo adjuntar las incertidumbres asociadas a cada tipo de medición.

El instrumento en circulación fue un sonómetro B&K modelo 2230, N° de serie 1033346, equipado con micrófono B&K modelo 4189, N° de serie 1939751, calibrado por DANAK.

Para la calibración previa del sonómetro todos los laboratorios emplearon un calibrador de frecuencias B & K modelo 450, calibrado, utilizando la salida de 1 kHz.

Para la verificación eléctrica la mayoría de los laboratorios utilizaron el sistema controlado por ordenador de la firma B & K excepto LGAI e IA que utilizó su propio banco de ensayo automatizado en el primero de estos y en el segundo se realizó de forma manual.

El laboratorio piloto, después de ajustar el sonómetro para realizar la verificación de partida, precintó el tornillo de ajuste para evitar posteriores manipulaciones. Tras el recorrido del sonómetro por todos los laboratorios se ha comprobado que el precinto no ha sido manipulado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La figura 1 presenta la variación temporal de la calibración de referencia realizada por cada laboratorio, junto con las incertidumbres que cada uno aporta para estas medidas (con $k=2$).

Ajuste con calibrador (1000hz, 94 db)

La secuencia de recorrido en la figura, corresponde al orden de los laboratorios descrito en el apartado "Organización y Preparación".

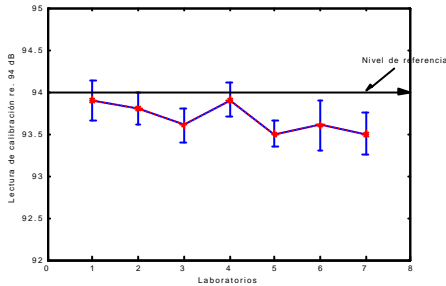


Figura 1. Ajuste secuencial del nivel de referencia por los distintos laboratorios participantes.

Puede comprobarse como entre el primero y segundo laboratorios, se ha producido un desajuste en el nivel de calibración de 0.1 dB, desajuste que se incrementa a 0.3/0.4 dB en las lecturas efectuadas por los siguientes laboratorios; exceptuando las mediciones efectuadas por el cuarto laboratorio que presenta una desviación de 0.3/0.4 dB respecto a los restantes.

Los distintos laboratorios no declaran el tipo de calibrador acústico que han empleado para el ajuste acústico del sonómetro.

La variación de la sensibilidad en la calibración del sonómetro únicamente puede tener su origen en un desajuste mecánico del potenciómetro de ajuste de lectura sucedido durante la segunda y tercera calibraciones. En este sentido merece la pena destacar que las condiciones climobáricas durante las verificaciones realizadas por el laboratorio piloto fueron casi las mismas, es decir: $T=21^{\circ}\text{C}$, $\text{HR}=51\%$ y $\text{Patm}=944$ mb durante la primera verificación y : $T=21^{\circ}\text{C}$, $\text{HR}=51\%$ y $\text{Patm}=945$ mb en la verificación final.

En estas condiciones el valor medio de las lecturas sería de 93.7 dB con una desviación estándar de ± 0.18 dB.

REPRODUCIBILIDAD INTERLABORATORIOS

Al objeto del estudio de la intercomparación de resultados, hubiera sido deseable aplicar el criterio de "reproducibilidad interlaboratorios" establecido en la norma ISO 5725 que permitiría evaluar la proximidad entre los resultados obtenidos en cada uno de los laboratorios habiendo realizado las mediciones bajo condiciones de reproducibilidad, que son aquellas en las que se obtienen resultados de ensayo con el mismo método sobre idéntico material en diferentes laboratorios con diferentes operadores usando diferente equipamiento.

En nuestro caso se cumplen estas condiciones, pero no las correspondientes asociadas a la obtención de diferencias críticas ($C_r D_{95}$) con un nivel de probabilidad del 95% válidas para dos resultados cualesquiera de ensayo obtenidos en condiciones de reproducibilidad, al ser el número de laboratorios participantes menor de ocho y al haber realizado cada laboratorio una única medida (al menos deberían haber realizado siete mediciones).

Una estimación de la reproducibilidad en condiciones ideales de medida, viene dada por la expresión:

$$R = 2.8\sqrt{s_r^2} = 2.8\sqrt{s_r^2 + s_L^2} \quad (1)$$

en donde s_r^2 es la media de las variancias obtenidas en todos los laboratorios participantes y s_L^2 la variancia interlaboratorios tomada sobre todos los laboratorios participantes.

Si bien, como hemos dicho anteriormente, en esta intercomparación no se dan todas las circunstancias para poder aplicar la ecuación anterior, y a fin de obtener una cierta

aproximación que sirva de cota superior a este dato, se propone, para este trabajo calcular el valor del parámetro R a partir de las incertidumbres declaradas por cada laboratorio y asociadas a cada tipo de medición (con $k=2$), en sustitución del estimador s_r^2 .

El valor de la variancia interlaboratorios se obtiene a partir de la desviación estándar de los resultados remitidos.

Las curvas R(f) forzosamente tienen que dar valores superiores a las de las desviaciones aportadas (a modo de envolventes) ya que en R también se tiene en cuenta las incertidumbres asociadas a cada tipo de medición que declara cada laboratorio y que muchas veces son superiores a las desviaciones encontradas durante la medida.

Aplicando este criterio a la reproducibilidad en la sensibilidad de la calibración de ajuste a 1000 Hz, se obtiene un valor de $R=0.56$ dB; es decir, se puede esperar una dispersión máxima de 0.6 dB entre los resultados de la calibración (ajuste) entre todos los laboratorios con un margen de confianza del 95%.

Este mismo criterio se ha aplicado a las figuras siguientes (de la 2 en adelante) que aparecerán

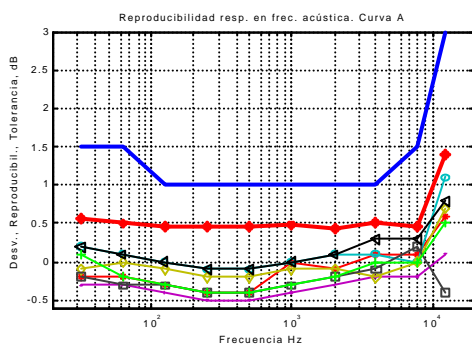


Figura 2. Respuesta en frecuencia acústica (Curva A)

en rojo y con valores puntuales en forma de diamante. En todas las figuras se incorporará también los márgenes superiores de tolerancia, en trazo azul oscuro, dadas por la correspondiente normativa

Pruebas acústicas

Si bien para estas pruebas estaba prevista la posibilidad de realizarlas en campo acústico libre o en un campo de presión, todos los laboratorios se han decantado por

esta última posibilidad utilizando para ello un calibrador multifrecuencia.

Todos los laboratorios han utilizado el mismo modelo de calibrador acústico multifunción B&K 4226, capaz de emitir señales sinusoidales en los centros de octava desde 31.5 hasta 8000 Hz mas la frecuencia de 12500Hz.

En el valor esperado, referido a la frecuencia de 1000 Hz se tendrá en cuenta tanto las correcciones correspondientes a la curva sonométrica A y la lineal respectivamente, como las correcciones debidas al incremento de presión por difracción del micrófono correspondiente a su situación de campo libre. Todo ello debería conducir a una equivalencia entre las mediciones con el calibrador multifrecuencia y la calibración acústica propiamente dicha, en campo libre.

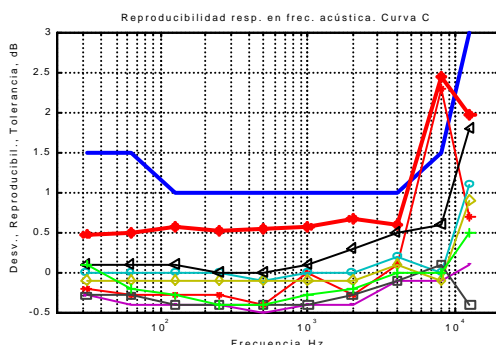


Figura 3. Respuesta en frecuencia acústica (Curva Lineal)

Puede observarse en ambas figuras una desviación interlaboratorios de ± 0.2 dB en el rango de bajas y medias frecuencias, excepto para las altas frecuencias (8 – 12 kHz) en donde se disparan las desviaciones : $-0.4 \div 1.1$ dB y $-0.5 \div 2.2$ dB respectivamente

No está claro el origen del aumento de las desviaciones encontradas para las altas frecuencias, pudiéndose achacar, en principio a un peor cierre del acoplador al micrófono o al establecimiento de algún

modo propio de vibración en la cavidad del mismo. Debe observarse que este hecho se considera por los distintos laboratorios, ya que los márgenes de incertidumbre que aportan, son mayores para esa banda de frecuencias. La reproducibilidad es del orden de 0.5 dB para

ambos tipos de curvas, disparándose su valor para aquellas frecuencias con mayor dispersión entre los resultados aportados por los laboratorios como se aprecia en las figuras 2 y 3.

Pruebas eléctricas

Se harán para todos los tercios de octava entre 31.5 y 16 kHz y para un nivel de entrada de la señal eléctrica correspondiente a una lectura de 70 dB a 1kHz, leyendo directamente en las pantalla del sonómetro. Las figuras 4 y 5 muestran las desviaciones absolutas entre el valor

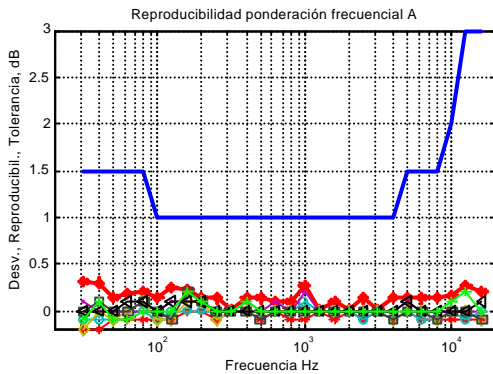


Figura 4. Respuesta en frecuencia eléctrica (Curva A)

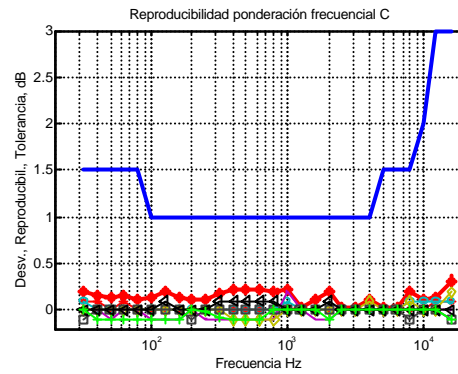


Figura 5. Respuesta en frecuencia eléctrica (Curva C)

medido y el esperado para las curvas de ponderación A y C respectivamente. Se han añadido las gráficas correspondientes a la reproducibilidad y margen superior de tolerancia.

Puede comprobarse que en este caso las mediciones quedan restringidas a ± 0.1 dB en todo el margen de frecuencias (exceptuando puntos particulares) y con un tipo de distribución lineal. La reproducibilidad se sitúa entorno de los 0.2 dB.

Si se comparan estas gráficas con la de excitación acústica, puede inferirse que la curvatura que presentan en la zona de altas frecuencias debe estar relacionados con los modos propios de la cavidad, o lo mas probable, su origen puede deberse a un desajuste entre los valores de corrección del incremento de nivel por efectos de la difracción que la firma B&K atribuye a un modelo determinado de micrófono de condensador, y los que en realidad ocurren para un micrófono en particular, que no solo dependen de la geometría del mismo, sino también de la impedancia mecánica de la membrana.

Otros resultados

En la intercomparación se tenían que verificar dieciocho ítems, de los cuales se presentan en este trabajo los cinco primeros, que sin duda, constituyen además los más representativos.

A continuación se presenta la enumeración de los mismos, cuyos resultados gráficos no se pueden incluir por condicionantes de espacio de la publicación:

- Control de rango de nivel (exactitud del atenuador)
- Linealidad del indicador: -
 - 1.5 Hz (Lin –Slow)
 - 1kHz (A – Fast)
 - 8kHz (Lin – Fast)
- Detección cuadrática. Ensayos con salvas senoidales:
 - Factor de cresta 3
 - Factor de cresta 5
 - Factor de cresta 10
- Ponderaciones temporales:
 - Ensayos con pulsos rectangulares: Factor de cresta 3
 - Fast Lin Max 200ms
 - Slow Lin Max 500ms
 - Detector de pico 100 μ s
 - Promedio temporal
- Detectores de sobrecarga

Como puede apreciarse todos estos ensayos están encaminados a comprobar las características dinámicas del sistema en distintos rangos de frecuencias y distintos intervalos de su dinámica de funcionamiento

CONCLUSIONES.

- En este trabajo, y a través de un conjunto de resultados y de figuras se analizan las “desviaciones absolutas” (diferencias entre el valor nominal y el valor medido), que los distintos laboratorios han obtenido a través de sus mediciones sobre el mismo sonómetro de clase 1, de las distintas magnitudes a determinar en la Verificación de Sonómetros; magnitudes recogidas en la orden ministerial [1], y medidas según las especificaciones de las normas [2,3,4];
- Para esta intercomparación no se pueden utilizar los procedimientos de reproducibilidad prescritos en la norma [5] ya que los grados de libertad del conjunto de medidas es insuficiente para realizar la estadística, al estar constituida esta intercomparación por cinco laboratorios que solo han realizado una única medición de cada uno de los parámetros a determinar.
- El análisis de datos considerados en esta intercomparación forzosamente solo puede ser comparativo y descriptivo en algunas ocasiones. Sin embargo, este análisis puede considerarse “realista” ya que corresponde a las situaciones reales de verificación de un sonómetro según la [1] y por otra parte, constituye la práctica común de estos laboratorios de control, muchos de ellos designados y/o autorizados por diferentes Autonomías.
- Se observa en la gran mayoría de las gráficas (correspondientes a los laboratorios que han utilizado un método de medida gobernado por ordenador), que las curvas correspondientes a cada laboratorio presentan siempre valores o desviaciones en una dirección, bien sobre el cero, o valores negativos, al modo de un “bias” constante. Este desplazamiento sería susceptible de corregirse.
- La experiencia obtenida durante este proceso servirá de guía a los diferentes laboratorios para conocer sus posibles desviaciones y establecer posibles repeticiones en determinados márgenes de medida:
 1. Se debe profundizar en las causas de las mayores desviaciones en la zona de altas frecuencias en el estudio de las respuestas en frecuencia acústica, desviaciones no perceptibles en el caso de las respuesta en frecuencia eléctricas.
 2. Idem. Para la linealidad del indicador en 31.5 y 8000 Hz.
 3. Detectores de sobrecarga en la zona de bajas frecuencias.
- Como conclusión general de esta primera intercomparación nacional sobre calibración y/o verificación de sonómetros, puede decirse que los resultados obtenidos por todos los laboratorios se encuentran dentro de las tolerancias admitidas, ofreciendo una dispersión media entre sí inferior a ± 0.6 dB (con un nivel de probabilidad del 95%), lo que garantiza el sistema de calidad de los mismos y el posible reconocimiento y aceptación de los certificados legales asociados a un determinado espécimen calibrado dentro del sistema.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Orden del Ministerio de Fomento de 16.12.1998 “Control metrológico del Estado sobre los instrumentos destinados a medir niveles de sonido audible” .BOE 29.12.1998
2. IEC 651 y UNE 60651 Sonómetros (1997)
3. IEC 804 y UNE 60804. Sonómetros integradores promediadores (1997)
4. BS 7580 Specification for the verification of Sound Level Meters (1997)
5. ISO 5725 Precisión de los métodos de ensayo. Determinación de la repetibilidad y reproducibilidad para un método de ensayo normalizado mediante ensayos interlaboratorios. (1986).