

INCERTIDUMBRE EN MEDIDAS ACÚSTICAS

PACS: 43.55

Tarrero Fernández, Ana Isabel¹; Arribas del Olmo Ángel; Martín Bravo, M^a Ángeles¹;
Machimbarrena Gutiérrez, María

1 E.I. Industriales, Universidad de Valladolid, c/ Francisco Mendizábal, 44014 Valladolid.

E-mail: anatarrero@eii.uva.es maruchi@eii.uva.es

RESUMEN

En general la calidad de los resultados de una medición la establece su incertidumbre, que si está bien calculada y es suficientemente pequeña se puede decir que la medición es de buena calidad. Sin embargo, en medidas acústicas no existe un método estandarizado para la estimación de la incertidumbre. En este trabajo se comparan los valores de la incertidumbre del aislamiento acústico (en 1/3 de octavas y para la magnitud global) obtenidos por distintos métodos considerando el mayor número de factores posibles que intervienen en el resultado final. También se analizan las ventajas e inconvenientes de los distintos métodos.

1 INTRODUCCIÓN

Una medición es un conjunto de operaciones que tiene por finalidad determinar el valor de una magnitud, pero no se puede asegurar que el resultado sea el valor verdadero ya que existen muchas fuentes de incertidumbre asociadas (muestra no representativa del mensurando, desconocimiento de la condiciones ambientales, valores inexactos de constante...). Siempre existe una duda acerca de la bondad con que el resultado final representa el valor de la magnitud medida. A la hora de expresar el resultado de una medición de una magnitud física, es obligatorio dar alguna indicación cuantitativa de la calidad del resultado, sin ella las medidas no pueden compararse entre sí. Por ello es necesario establecer un procedimiento para caracterizar la calidad del resultado de una medición, esto es, para evaluar y expresar su incertidumbre, ya que en esta era del mercado global es imprescindible que el método de evaluación y expresión sea uniforme en todo el mundo, de manera que las medidas realizadas en diferentes países puedan ser comparadas fácilmente.

La incertidumbre del resultado de una medición refleja la imposibilidad de conocer exactamente el valor del mensurando y es un parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente atribuidos al mensurando. Consta generalmente de varias componentes según su método de evaluación “Tipo A” y “Tipo B”. Ambos métodos se basan en distribuciones de probabilidad y ambas se cuantifican mediante varianzas o desviaciones típicas. La Guía para la Expresión de

la Incertidumbre de Medida (GUM de sus siglas en inglés) [1] es una guía de referencia que establece las reglas generales para la evaluación y la expresión de la incertidumbre de medida de una magnitud física bien definida, el mensurando.

La guía indica como determinar:

- La Incertidumbre típica (u): el tipo A la evalúa por métodos estadísticos a partir de desviaciones típicas de observaciones repetidas independientes, y el tipo B por otros medios basados en la experiencia u otra información (especificaciones del fabricante, datos suministrados por certificados de calibración, etc).
- La Incertidumbre típica combinada (u_c) se basa en la ley de propagación de las incertidumbres, combinando las componentes tipo A y tipo B, y es la que recomienda el Comité Internacional de Pesas y Medidas en comparaciones internacionales.
- La Incertidumbre expandida (U) es la incertidumbre combinada, afectada por un factor de cobertura, con el que se define un intervalo de confianza.

También la GUM indica que las estimaciones deben redondearse de acuerdo con sus incertidumbres.

En acústica todos los laboratorios de ensayo (incluidos los de calibración) que deseen acreditarse deben disponer y aplicar procedimientos para estimar la incertidumbre de medida. La norma 1725 [2] establece el requisito de dar una estimación de la incertidumbre de medida, y en el punto 5.4.6.2 dice “*los laboratorios de ensayo deben de tratar de identificar todos los componentes de incertidumbre y realizar una estimación razonable*”. También la norma 17020 [3] exige garantizar la trazabilidad de las medidas. La evaluación de la incertidumbre aporta a los resultados calidad, fiabilidad, etc., ya que los resultados pueden tener consecuencias económicas, sociales y legales.

Ya que en medidas acústicas no existe un método estandarizado para la estimación de la incertidumbre, y recientemente se han publicado trabajos en este campo [4-9], en esta comunicación se comparan los valores de la incertidumbre del aislamiento acústico (en 1/3 de octavas y para la magnitud global) obtenidos por distintos métodos y se analizan las ventajas e inconvenientes de los distintos métodos.

2 METODOLOGÍA

Para la elaboración de este trabajo se han realizado medidas in situ de niveles de presión sonora y de tiempo de reverberación siguiendo las indicaciones de la norma ISO 140 [10] y se ha calculado el aislamiento acústico, expresión (1), en 1/3 de octava (de 100 a 5000 Hz) y su valor global. También se ha calculado el valor de la incertidumbre en ambos casos. El equipo de medida utilizado estaba formado por un sonómetro (2260), una fuente sonora (4296) y un calibrador/verificador (4231) todo de Brüel & Kjaer. Para el tiempo de reverberación se ha medido el T30.

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log\left(\frac{T_R}{T_0}\right) \quad (1)$$

3 CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE

En este trabajo se han utilizado diferentes métodos para obtener el valor de la incertidumbre del aislamiento acústico, cada uno de ellos se resume a continuación.

3.1 Ley de Propagación de Incertidumbre

La ley de propagación de incertidumbre se basa en un modelo matemático completo del procedimiento de medida siguiendo las indicaciones de la GUM [1]. En este caso la incertidumbre calculada es válida solo para un ensayo.

En primer lugar se estiman todas las incertidumbres típicas, las debidas a la repetibilidad de las medidas de los niveles de presión sonora y del tiempo de reverberación, que son de tipo A, y las debidas a otras causas relacionadas principalmente con los instrumentos de medición, de tipo B.

Posteriormente se calcula la incertidumbre típica combinada y la incertidumbre expandida. Para esta última se calculan los grados efectivos de libertad y con el nivel de confianza deseado, se obtendrá el coeficiente K_p que permitirá su obtención para cada frecuencia.

Para calcular la incertidumbre asociada al TR también se puede utilizar la expresión (2) que indica la norma ISO 3382-2 [11] que es como se ha hecho en este trabajo.

$$\sigma(T_{30}) = 0,55 T_{30} \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{1,52}{n}\right)}{NBT_{30}}} \quad (2)$$

Siendo B el ancho de banda; n el nº de decrecimientos medidos en cada posición y N el nº de posiciones de medición independientes.

3.2 Método de MonteCarlo

Este método se ha utilizado para el cálculo de los valores globales del aislamiento y de su incertidumbre. Se basa en aplicar una distribución normal al valor de aislamiento de cada una de las frecuencias. Utilizando funciones estadísticas se generarán múltiples espectros destinados a ser comparados con la curva de referencia de la norma 717-1 [12]. Estos espectros tendrán su esperanza matemática en cada uno de los valores del aislamiento calculados y la varianza será la incertidumbre típica combinada ya calculada. El valor global único y definitivo del aislamiento será la media de todos los calculados y como incertidumbre asociada al valor global, se utilizará la desviación típica experimental de la media de todos los valores globales generados.

3.3. La norma ISO 20140-2

La norma ISO 20140-2 [13] utiliza los conceptos de repetibilidad y de reproducibilidad obtenidos de resultados de pruebas completas que ofrecen un modo sencillo de caracterizar la precisión de un método de medida y de las medidas llevadas a cabo con ese método. Es el método más tradicional. Los valores de repetibilidad r y de reproducibilidad R se determinan a partir de los resultados de los ensayos interlaboratorios siguiendo las indicaciones de la norma ISO 5725 [14] y vienen dados por las ecuaciones (3).

$$\blacksquare \quad r = 2,8 \cdot \sqrt{s_r^2} \quad R = 2,8 \cdot \sqrt{s_r^2 + s_L^2} \quad (3)$$

Siendo s_r^2 la media de las varianzas obtenidas en todos los laboratorios participantes ponderada de acuerdo a n y s_L^2 es la varianza inter-laboratorios.

Dicha norma aporta en la tabla A.3 del anexo A, los valores de la incertidumbre en función de la frecuencia para los valores de aislamiento a ruido aéreo obtenido mediante ensayos in situ realizados conforme a la norma ISO 140-4 y en el anexo B la incertidumbre para valores globales en laboratorio, todos estos valores son los que utilizaremos en nuestro trabajo.

3.4 La norma ISO/DIS 12999-1

Actualmente se está trabajando con un proyecto de norma [15] cuya finalidad es facilitar el cálculo de la incertidumbre en acústica arquitectónica. En este campo se considera que las medidas realizadas están influenciadas por muchos y considera tres situaciones de medida A, B y C. En la tabla 2 se exponen los valores de la incertidumbre para las tres situaciones, en el rango de frecuencias de 50 a 5000 HZ, y en la tabla 3 para los valores globales. En nuestro trabajo se utilizarán los valores correspondientes a las situaciones B y C por ser las correspondientes a medidas in situ.

3.5 La norma NWIP 16717-1

También se está trabajando con un proyecto de norma [16] cuyas novedades más significativas respecto a la 717-1 [12] son 2, la primera es ampliar el rango de frecuencias para determinar el aislamiento acústico abarcando de 50 a 5000 HZ, y la segunda es que modifica la forma de determinar el valor global del aislamiento y de su incertidumbre, que se calcularían con las expresiones (4). En la tabla del anexo A de la norma aparecen tres espectros de referencia diferentes para aplicar el que corresponda L_{living} (50-5000 Hz), L_{traffic} (50-5000 Hz) y L_{speech} (200-5000 Hz). En nuestro trabajo se utilizará L_{living} .

$$X = 10 \log \left[\frac{\sum 10^{L_i/10}}{\sum 10^{(L_i - R_i)/10}} \right] \quad u(X) = 10 \log \left[\frac{\sum 10^{\frac{L_i - R_i - u(R_i)}{10}}}{\sum 10^{\frac{L_i - R_i}{10}}} \right] \quad (4)$$

Siendo L_i el nivel de referencia del espectro correspondiente.

La ecuación (4) pone de manifiesto que en el cálculo de la incertidumbre del valor global interviene la incertidumbre calculada para cada valor del aislamiento en 1/3 de octava.

4 RESULTADOS

En la figura 1 se representan los resultados de la incertidumbre en 1/3 de octava obtenidos con la ley de propagación de incertidumbre de la GUM, con la ISO 20140 y con la ISO/DIS 12999 utilizando las situaciones B y C. En ella se observa que los valores proporcionados por la 20140 son muy superiores a los de los otros métodos, sobre todo de 100 a 630 HZ, donde hay diferencias de hasta 9 dB. Los resultados de la 12999 para las situaciones B y C tienen una tendencia similar de 50 a 2000 Hz y las diferencia entre ambas situaciones son más significativas a bajas frecuencias, entre 1 y 2 dB, de 630 a 2000 las diferencias son de 0,4 dB y para frecuencias superiores aumentan hasta 1,6 dB. Los resultados obtenidos con la GUM se aproximan más a los de la 12999, de 500 a 2000 Hz son muy similares a los de la situación B.

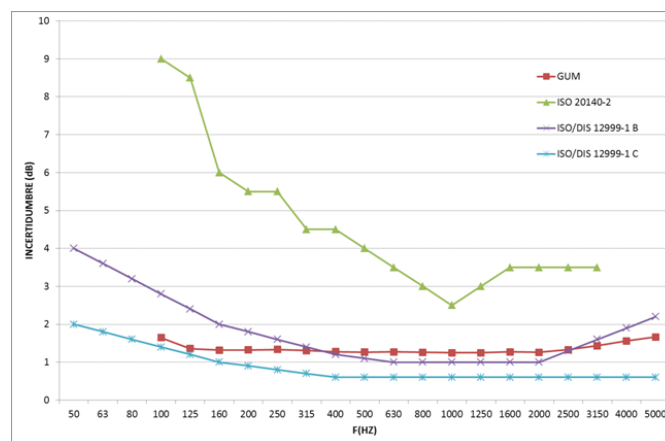


Figura 1: Incertidumbre del aislamiento acústico en tercios de octava calculada por varios métodos

En la figura 2 se representan los resultados de la incertidumbre del aislamiento acústico global obtenido con el método de Montecarlo, con la ISO 20140, con la ISO/DIS 12999, utilizando las situaciones B y C, y con la NWIP 16717. En ella se observa que el valor proporcionado por la 20140 es el más elevado a pesar de que se ha tomado un valor intermedio de 1.5 dB ya que la norma dice que varía de 1 a 3 dB. Los valores más bajos se obtienen con la 12999. Las diferencias entre los valores obtenidos con el método de Montecarlo y la 16717 difieren en 0,2 dB en el rango de 500 a 2000 HZ. Teniendo en cuenta que el valor global del aislamiento es de 58,6 dB, la incertidumbre relativa es del 0,1% en el caso más favorable y del 2,5% en el caso más desfavorable, las diferencias son de un 2,4%.

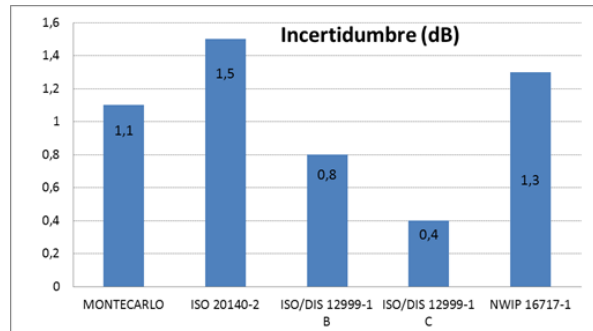


Figura 2: Incertidumbre del aislamiento acústico global calculada por varios métodos

5 DICUSIONES Y CONCLUSIONES

La determinación de la incertidumbre en ensayos de aislamiento acústico no tiene actualmente un método aceptado y consensuado. Para la realización de esta comunicación se han consultado diferentes trabajos y se ha observado que se emplean métodos muy diferentes.

En informes técnicos el valor de la incertidumbre de medida es un dato a disposición del cliente que lo solicite. Sin embargo, no suele darse de forma abierta al poder suponer un conflicto en caso de que la exigencia de aislamiento requerido en una solución constructiva, esté dentro del intervalo constituido por la medida más/menos la incertidumbre expandida.

Intuitivamente parece que un valor de incertidumbre “bajo” indica una mayor calidad de la medición, por lo que, comercialmente, puede ser interesante presentar un valor bajo de incertidumbre junto a los resultados de una medición. Sin embargo, la profesionalidad necesaria para la elaboración de informes acústicos rigurosos, obliga a dar el valor de incertidumbre más alto de los posibles para garantizar que los resultados estén dentro del intervalo definido.

Un ensayo con buenas condiciones de repetibilidad es susceptible de presentar una menor incertidumbre.

Como conclusiones más destacadas de este trabajo se pueden citar las siguientes:

- La norma ISO 20140 facilita mucho el cálculo de la incertidumbre pero sobre estima el valor haciendo disminuir la calidad de la medida. Esta norma no indica como determinar la incertidumbre del valor global solamente da un rango. Además la incertidumbre de todos los ensayos realizados con el mismo método es la misma. Los valores de incertidumbre aportados por el proyecto de norma ISO/DIS 12999 que sustituiría a la anterior son mucho más bajos.
- El cálculo de la incertidumbre siguiendo las indicaciones de la GUM y el uso del método de Montecarlo es laborioso pero es más representativo, y si se genera un programa de cálculo se puede disminuir mucho.

- La principal ventaja de calcular la incertidumbre siguiendo las indicaciones de la GUM y el uso del método de Montecarlo es que se obtiene el valor para cada ensayo, su principal inconveniente es el tiempo de cálculo.
- Si la norma 16717-1 sale adelante se simplificaría el cálculo tanto del valor global del aislamiento como el de su incertidumbre y se unificaría el procedimiento para caracterizar la calidad del resultado de una medición de aislamiento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa Audiotec por su colaboración en este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Evaluación de datos de medición. Guía para la expresión de la incertidumbre de medida. <http://www.cem.es/sites/default/files/gum20digital1202010.pdf>
- [2] UNE-EN ISO/IEC 17025-2005 “Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración”
- [3] UNE-EN ISO/IEC 17020-2012 “Evaluación de la conformidad. Requisitos para el funcionamiento de diferentes tipos de organismos que realizan la inspección”
- [4] J. Mahn; J. Pearse. The uncertainty of the proposed single number ratings for airborne sound insulation. *Building Acoustics* 19 (3) 2012
- [5] Cristian Mondaca Marino, Carolina R. A. Monteiro, María Machimbarrena, Sean Smith. Análisis de la variabilidad e incertidumbre de medidas “in situ” del aislamiento acústico a ruido aéreo de paredes pesadas. *Acústica* 2012, Evora
- [6] Borja Pendán Rebollo. Aislamiento a ruido aéreo entre locales. Estimación de la incertidumbre de medida. TFC 2011.
- [7] Vicente Verdú Gonzalez,. Medición y evaluación de la incertidumbre de auditorías en el aislamiento acústico. TFC 2010.
- [8] Javier Castillo Cid. Evaluación de la incertidumbre de medida en un supuesto de aislamiento in situ a ruido aéreo. PFC curso 2006-2007.
- [9] Pablo Luque, Dásil Fernández, Carlos de la Colina, Francisco Simón. Convergencia de la repetibilidad de ensayos de aislamiento a ruido aéreo in situ. *Tecniacústica* 2005.
- [10] UNE EN-ISO 140 4: 1999 [9] (Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Medición "in situ" del aislamiento al ruido aéreo entre locales.
- [11] UNE-EN ISO 3382-2:2008 . Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios.
- [12] UNE-EN ISO 717-1: 1997. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.
- [13] UNE EN ISO 20140-2:1994. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de edificación. Determinación, verificación y aplicación de datos de precisión
- [14] ISO 5725:1986 Precisión de los métodos de ensayo. Determinación de la repetibilidad y de la reproducibilidad para un método de ensayo normalizado mediante ensayos interlaboratorios
- [15] ISO/DIS 12999-1 Acoustics - Determination and application of measurement uncertainties in building acoustics.
- [16] DRAFT ISO 16717-1: Proposal Acoustics. Evaluation of sound Insulation Spectra by Single Number. Part 1: Airborne Sound Insulation