

## ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDIDA EN ENSAYOS DE AISLAMIENTO ACÚSTICO EN LA EDIFICACIÓN

PACS: 43.50.Jh

López Quílez, Antonio<sup>1</sup>; López Quílez, Eva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Estadística e I.O., Universitat de València

Doctor Moliner 50, 46100 Burjassot, Spain

Tel: 963 543 792

Fax: 963 543 238

Email: [Antonio.Lopez@uv.es](mailto:Antonio.Lopez@uv.es)

<sup>2</sup>Consultoría Promedio, S.L.

Obispo Jaime Pérez 24-17, 46006 Valencia, Spain

Tel / Fax: 963 361 175

Email: [Eva.Lopez@consultoriapromedio.com](mailto:Eva.Lopez@consultoriapromedio.com)

### ABSTRACT

The laboratories of acoustics must provide the estimation of the uncertainty of measurement when they realize essays of soundproofing. The calculation of the variability in the results is complex and can be approached by means of simulation techniques. The uncertainty of the global magnitudes is obtained from the uncertainty of the primary measurements.

### RESUMEN

Los laboratorios de acústica deben proporcionar la estimación de la incertidumbre de medida cuando realizan ensayos de aislamiento acústico en la edificación. El cálculo de la variabilidad en los resultados es complejo y puede aproximarse mediante técnicas de simulación. A partir de la incertidumbre de las mediciones primarias, se obtiene la incertidumbre de las magnitudes globales.

### INTRODUCCIÓN

La incertidumbre de medida es un parámetro asociado con el resultado de una medición que caracteriza la dispersión de los valores que pudieran ser atribuidos razonablemente al mesurando. La estimación de la incertidumbre asociada a los resultados de ensayo consiste en el cálculo de la desviación típica de las magnitudes finales, empleando el procedimiento pertinente al método de obtención a partir de las mediciones iniciales.

Los laboratorios de acústica deben expresar los resultados de las mediciones de aislamiento acústico en la edificación junto con la estimación de la incertidumbre asociada. Las características del procedimiento de cálculo de las magnitudes globales conllevan cierta complejidad que dificulta el cálculo analítico de la incertidumbre.

En este trabajo se presenta la problemática surgida para el cálculo de la incertidumbre de medida en el ámbito de la acústica en la edificación y se propone la aproximación mediante técnicas de simulación.

## ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDIDA

Todos aquellos laboratorios de ensayo (incluidos los laboratorios de acústica) que deseen acreditarse deben adecuar su sistemática de trabajo y definir un sistema de gestión de la calidad según los requisitos de la norma internacional ISO/IEC 17025. En ella, en el punto 5.4.6.2, se establece la necesidad de dar una estimación de la incertidumbre de medida:

“Los laboratorios de ensayo deben disponer y aplicar procedimientos para estimar la incertidumbre de medida. En ciertos casos, la naturaleza del método de ensayo no permite realizar un cálculo riguroso, metrológica y estadísticamente válido, de la incertidumbre de medida. En tales casos, el laboratorio debe, al menos tratar de identificar todos los componentes de la incertidumbre y realizar una estimación razonable...”

En la medida de lo posible, los laboratorios de ensayo acreditados tienen que indicar las incertidumbres asociadas a los resultados cuantitativos según se establece en la Guía para la expresión de la incertidumbre de medida elaborada por la Organización Internacional de Normalización (GUM). Por tanto, la GUM y la ISO/IEC 17025 constituyen los documentos básicos donde se enmarca y tiene su origen el cálculo de incertidumbres.

La GUM establece como requisito básico la utilización de un modelo matemático para evaluar la incertidumbre. Dicho modelo debe incluir todas las magnitudes que puedan realizar una contribución significativa a la incertidumbre asociada al resultado del ensayo.

El procedimiento básico de evaluación que se presenta en la GUM es la ley de propagación de la incertidumbre. Este método analítico es aplicable a los modelos lineales o linealizados y debe utilizarse siempre que resulte apropiado, puesto que es sencillo y fácil de aplicar. Ahora bien, en algunos casos se necesitan métodos más avanzados, como la expansión del modelo a un orden superior o la propagación de las distribuciones de probabilidad. En las situaciones más complejas la propagación de las distribuciones de probabilidad puede realizarse mediante técnicas de simulación de Monte Carlo.

## MEDICIÓN DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO EN LA EDIFICACIÓN

Las mediciones in situ de aislamiento acústico conllevan el análisis espectral del sonido, proporcionando valores en cada banda de frecuencia.

En la medición del aislamiento a ruido aéreo entre locales se pretende obtener el índice de reducción sonora aparente  $R'$  o la diferencia de nivel normalizada  $D_n$ , o la diferencia de nivel estandarizada  $D_{nT}$ , para todas las frecuencias de medida. Estas magnitudes se expresan con una cifra decimal, de forma tabular y en forma gráfica. A partir de estos valores se definen magnitudes globales y sus correspondientes términos de adaptación espectral ( $C$  y  $C_{tr}$ ) expresados con números enteros.

Según la norma UNE-EN ISO 140-4 y UNE-EN ISO 717-1, esto implica la realización de 10 mediciones del nivel de emisión, 10 del nivel de recepción, 3 medidas del ruido de fondo y 6 medidas del tiempo de reverberación, como mínimo.

Para el aislamiento acústico al ruido aéreo de una fachada, se dan los valores de  $D_{is,2m,nT}$  para todas las frecuencias de medida, con una cifra decimal, de forma tabular y en forma de curva, así como su valor global  $D_{is,2m,nT,w}$  con sus correspondientes términos de adaptación espectral ( $C$ ,  $C_{tr}$ ).

Para el aislamiento acústico al ruido de impactos se dan los valores de  $L'_n$  o  $L'_{nT}$  para todas las frecuencias de medida, con una cifra decimal, de forma tabular y en forma de curva, así como sus valores globales  $L'_{n,w}$  o  $L'_{nT,w}$ .

La evaluación de las magnitudes globales se hace por el método de comparación según la norma UNE-EN ISO 717 (partes 1 y 2), donde también explica el cálculo de los términos de

adaptación espectral. En este método gráfico se desplaza la curva de referencia en saltos de 1 dB, por lo que conlleva ese error intrínseco.

## INCERTIDUMBRE ASOCIADA A LOS ENSAYOS DE AISLAMIENTO ACÚSTICO

Los procedimientos analíticos de evaluación de propagación de la incertidumbre son inapropiados para la evaluación de las magnitudes globales de las propiedades de aislamiento acústico de los elementos de construcción debido al tipo de cálculos y operaciones matemáticas necesarios para su obtención. Las expresiones de los cálculos no son lineales, ni linealizables, por lo que hay una falta de adecuación de los métodos analíticos de cálculo de incertidumbres. Además, el método de comparación empleado para la obtención de las magnitudes globales no es expresable funcionalmente, sino que se alcanza mediante un algoritmo iterativo.

Por todo esto, la estimación de la incertidumbre debe realizarse mediante simulación por métodos de Monte Carlo. A partir de la incertidumbre experimental observada en múltiples mediciones, la simulación de muchas muestras de valores en condiciones análogas proporciona magnitudes globales simuladas. La incertidumbre obtenida por simulación es una estimación de la incertidumbre asociada a los resultados finales de ensayo.

A partir de una situación de ensayo real se estiman los niveles medios y las desviaciones típicas de los niveles de emisión, recepción, tiempos de reverberación y del ruido de fondo en todas las bandas de frecuencias registradas. Asumiendo la normalidad de dichas observaciones, se generan aleatoriamente valores con las mismas medias y desviaciones típicas que las calculadas. Con esos valores simulados se calcula la medida global de aislamiento acústico. Este procedimiento se repite tantas veces como se quiera. La desviación típica de las medidas globales simuladas es una estimación de la incertidumbre en las condiciones de ensayo.

A modo de ejemplo, se realizó una medición de aislamiento acústico de una medianera, obteniéndose un índice de reducción sonora global:

$$R_w(C;C_{tr}) = 67 (-1 ; -4)$$

Realizando 1000 simulaciones en las mismas condiciones de este ensayo real se obtuvieron valores muy parecidos a los anteriores tanto para  $R_w$ , como para su corrección espectral  $R_w+C$ .

Valores de $R_w$ obtenidos	66	67
Número de simulaciones	52	948

Valores de $R_w+C$ obtenidos	65	66
Número de simulaciones	144	856

La desviación típica de los valores simulados es de 0.22 para la  $R_w$  y de 0.35 para  $R_w+C$ . En este ensayo se aprecia que la incertidumbre obtenida es inferior a 1dB, que es el valor mínimo que puede tener debido al propio procedimiento de cálculo.

Todos los cálculos y las simulaciones han sido realizados con el lenguaje de programación estadística R. Es una aplicación de software para manipulación de datos, cálculo y visualización gráfica, que es de libre distribución y se puede obtener en la página web <http://cran.r-project.org>

## REFERENCIAS

Kurowicka, D. y Cooke, R. (2006). *Uncertainty analysis with high dimensional dependence modelling*. John Wiley and Sons, Chichester.

ISO (1995). *Guía para la expresión de la incertidumbre de medida*. BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, OIML. Organización Internacional de Normalización, Suiza.

ISO (2005). *ISO/IEC 17025: 2005, Requisitos generales relativos a la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración*. Organización Internacional de Normalización, Suiza.

R Development Core Team (2000). *An introduction to R*. <http://cran.r-project.org>