

ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE LA MEDIDA DE RUIDO SEGÚN EL RD 1367/2007

PACS: 43.50.Rq

Carlos Díaz Franco
Universidad de Extremadura.
Avda. de la Universidad, s/n
10071 Cáceres
Tel.: 34 927 257 195
Fax: 34 927 257 203
E-mail: cdiazfra@alumnos.unex.es

ABSTRACT

When expressing the result of a measure (sound test) is required to give a quantitative indication of the quality of result, so that it is appropriate for assessing the conformity / non conformity of the acoustics of the item tested.

The calculation of the uncertainty is not an easy task due to the difficulty of identifying and quantifying all the sources present in the measurement process. Several strategies have been proposed to estimate the uncertainty by providing a range within the result of the measure would be found.

RESUMEN

A la hora de expresar el resultado de una medida (ensayo acústico), es obligado dar una indicación cuantitativa de la calidad del resultado, de forma que éste sea apropiado para evaluar la conformidad / no conformidad de las condiciones acústicas del ítem ensayado.

El cálculo de la incertidumbre no es una tarea fácil debido a la dificultad de identificar y cuantificar todas las fuentes presentes en el proceso de medida. Esto ha hecho que se hayan propuesto varias estrategias para calcular la incertidumbre, proporcionando un intervalo en el que se podría encontrar el resultado de la medida.

1 INTRODUCCIÓN

Los Laboratorios Acreditados deben emitir informes certificados que incluyen, entre otros requisitos, el resultado completo de la medición y la incertidumbre expandida asociada.

La incertidumbre de un resultado de medida que consta generalmente de varias componentes que pueden agruparse en dos categorías según la forma en que se estime su valor numérico, categoría A y categoría B.

La incertidumbre combinada deberá caracterizarse por el valor numérico obtenido al aplicar el método habitual de combinación de varianzas. La incertidumbre combinada y sus componentes deben expresarse en forma de desviaciones típicas.

La incertidumbre expandida U , se obtiene multiplicando la incertidumbre típica $u(y)$ asociada a la estimación de salida por un factor de cobertura k .

Luego para expresar el resultado de la medición de una magnitud física, es preciso dar alguna indicación cuantitativa de la calidad del resultado, de forma que quienes utilizan dicho resultado puedan evaluar su idoneidad. Sin dicha indicación, las mediciones no pueden compararse entre sí, ni con otros valores de referencia dados en especificaciones o normas. Por ello, es necesario establecer un procedimiento fácilmente comprensible y aceptado universalmente para caracterizar la calidad del resultado de una medición, es decir, para evaluar y expresar su incertidumbre.

Con el propósito de armonizar la evaluación de la incertidumbre de medida y ayudar a los organismos de acreditación a aplicar un enfoque coherente se establecen una normas y recomendaciones en la Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM).

Los objetivos de la GUM se podrían concretar en los siguientes:

- Proporcionar una información completa sobre la forma de abordar la expresión de la incertidumbre
- Proporcionar una base para la comparación internacional de los resultados de medida

En los Certificados de Calibración, que emiten los Laboratorios de Calibración Acreditados, el resultado completo de la medición consiste en el estimado y del mensurando y la incertidumbre expandida asociada U , debe expresarse en la forma $y \pm U$.

También debe incluirse una nota que, en el caso general, debería tener el siguiente contenido:
“La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura $k = 2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. La incertidumbre típica de medida se ha determinado conforme al documento EAL-R2.”

2 CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE

Los cálculos descritos se refieren a ensayos de niveles de Ruido de acuerdo a la metodología del Anexo IV del Real Decreto 1367/2007.

Preferiblemente, el nivel de ruido objeto del ensayo acústico debe ser superior al menos en 3 dB al nivel de ruido de fondo (con la instalación ruidosa detenida).

2.1 Definiciones

Incetidumbre: Parámetro asociado al resultado de una medida, que caracteriza la dispersión de los valores que pueden ser razonablemente atribuidos al mensurando.

Evaluación de la incertidumbre tipo A: Método de evaluación de la incertidumbre mediante el análisis estadístico de series de observaciones. Serán componentes tipo A las estimaciones de repetibilidad de los ensayos o de otro tipo de influencias al resultado final, expresadas como una desviación estándar.

Evaluación de la incertidumbre tipo B: Método de evaluación de la incertidumbre mediante un procedimiento distinto del análisis estadístico de series de observaciones. Serán componentes tipo B las desviaciones debidas a las condiciones meteorológicas o a la precisión de los equipos usados.

Incetidumbre estándar ($u(x_i)$): Incetidumbre de un resultado x_i expresado como una desviación estándar.

Incertidumbre estándar combinada ($u_c(y)$): Incertidumbre estándar del resultado de una medición, cuando el resultado se obtiene a partir de otras magnitudes. igual a la raíz cuadrada de una suma de términos, siendo éstos las varianzas o covarianzas de esas otras magnitudes, ponderadas en función de la variación del resultado de la medida con la variación de dichas magnitudes:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{j=1}^J (c_j \cdot u(x_j))^2}$$

c_j : coeficiente de sensibilidad de la componente j

Incertidumbre expandida (U): Magnitud que define un intervalo en torno al resultado de una medición, y en el que se espera encontrar una fracción importante de la distribución de valores que podrían ser atribuidos razonablemente al mensurando. La incertidumbre expandida U se calcula a partir de una incertidumbre estándar combinada u_c , multiplicada por un factor de cobertura k .

$$U = k \cdot u \quad k = 2, \text{ para un 95\% de confianza y distribución normal.}$$

Estimación del resultado de una muestra de n resultados: valor medio de la muestra, eliminando previamente aquellos valores anómalos o anormalmente desviados de la media:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Desviación estándar o error cuadrático medio de una muestra (s): Estimación de la desviación estándar de una población a partir de una muestra de n resultados:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Condiciones de repetibilidad: Condiciones en las que se obtienen resultados de ensayo, independientes entre sí, mediante el mismo método, sobre el mismo material, en el mismo laboratorio, con el mismo equipo, por el mismo operador, en un intervalo de tiempo pequeño.

Expresión de dB en porcentaje: $x(\%) = 100 \left(10^{\frac{x(\text{dB})}{20}} - 1 \right)$

Expresión de porcentaje en dB: $x(\text{dB}) = 20 \log \left(\frac{x(\%)}{100} + 1 \right)$

2.2 Identificación de las componentes tipo A

2.2.1 Repetibilidad de los ensayos ($u_A(I)$)

En estas condiciones se realizarán un mínimo de 5 ensayos completos empleando en condiciones de repetibilidad (mismo sonómetro, operador, periodo de tiempo determinado...). Los parámetros a reportar para cada ensayo serán:

- L_{Keq}
- $L_{\text{eq em}}$ (sin penalizaciones).
- Penalizaciones obtenidas: K_f, K_t, K_i .

La contribución a la incertidumbre asociada a la medida (u_A) se calculará a partir de la desviación típica del ensayo considerando por separado los niveles obtenidos sin penalización ($L_{Aeq\ corr}$) y cada una de las penalizaciones (K_f , K_t , K_i).

Se obtendrán las siguientes desviaciones típicas:

- Del nivel del emisor (corregido por ruido de fondo): u_{Aeq} .
- De la penalización por tonalidad: u_{At}
- De la penalización por bajas frecuencias: u_{Af}
- De la penalización por impulsividad: u_{Ai}

2.3 Identificación de las componentes tipo B

2.3.1 Resolución del sonómetro (U_{RES})

El último dígito significativo del indicador del sonómetro es r_s dB (es decir, el último decimal: 0,01 dB). La incertidumbre debida a la resolución finita del indicador del sonómetro obedece a una distribución rectangular con un semirango $r_s/2$ y será:

$$u_{RES} = \frac{r_s}{2\sqrt{3}}$$

El coeficiente de sensibilidad para esta componente será 1.

2.3.2 Influencia de la temperatura (U_{TEM})

La contribución a la incertidumbre debida a la variación de la temperatura, entre el momento de calibración del equipo y el momento del ensayo, depende del coeficiente de variación con la temperatura del equipo ($x = -0,001$ dB/°C para los sonómetros Brüel & Kjaer 2250). La expresión para calcular dicha componente es la siguiente:

$$u_{TEM} = \frac{x \cdot \Delta t}{2\sqrt{3}}$$

Donde $\pm\Delta t$ °C es la diferencia entre la temperatura anteriormente mencionada. Para un rango de medida general el denominador será ($2\sqrt{3}$). Para mediciones en cada ensayo tomaremos $\sqrt{3}$ como denominador.

2.3.3 Influencia de la presión atmosférica (U_{PRES})

La contribución a la incertidumbre debida a la variación de la presión atmosférica entre el momento de calibración del equipo y el momento del ensayo depende del coeficiente de variación con la presión del equipo ($x = -0,01$ dB/mBar para los sonómetros Brüel & Kjaer 2250). La expresión para calcular dicha componente es la siguiente:

$$u_{PRES} = \frac{x \cdot \Delta P}{2\sqrt{3}}$$

Donde $\pm\Delta P$ mBar es la diferencia entre la presión anteriormente mencionada. Para un rango de medida general el denominador será ($2\sqrt{3}$). Para mediciones en cada ensayo tomaremos $\sqrt{3}$ como denominador.

2.3.4 Influencia de la humedad relativa (U_{HUM})

Según las especificaciones técnicas del micrófono (type: 4189) del sonómetro Brüel & Kjaer 2250, la influencia (h) es menor de 0,1 dB en ausencia de condensación. Esta incertidumbre típica obedece a una distribución rectangular, con lo que se tiene que:

$$u_{HUM} = \frac{h}{2\sqrt{3}}$$

2.3.5 Calibración de equipos (U_{CAL})

Los certificados de calibración de los sonómetros incluyen el cálculo de la incertidumbre acústica del equipo, que depende de la frecuencia de la señal medida, dato que será empleado para la estimación de la incertidumbre debida a la calibración del equipo. Por seguridad, se tomará el valor más alto de cuantos aparezcan en el certificado, que suele corresponder a las frecuencias más altas.

Si en el certificado aparece un valor de incertidumbre expandida $\pm U$ (dB), la contribución a la incertidumbre combinada será:

$$u_{CAL} = \frac{U}{k}$$

La distribución será normal, y el coeficiente de sensibilidad es 1.

2.3.6 Deriva del equipo con el tiempo (U_{DER})

Incertidumbre asociada a la deriva con el tiempo del sonómetro.

Se calcula a partir de los datos del fabricante, considerando una deriva media en el intervalo de calibración (anual). Cuando no existe dicha deriva durante los dos últimos períodos de calibración se considerará 0.

$$u_{DER} = \frac{d}{\sqrt{3}}$$

3 RESULTADOS OBTENIDOS DE EJEMPLO PRÁCTICO

3.1 Tipo A

Ensayo	Muestra	$L_{Aeq,corr}$	K_t	K_f	K_i
1	1	58,8	0	0	0
	2	58,1	0	0	0
	3	59,0	3	0	0
2	1	59,0	0	0	0
	2	57,9	0	0	0
	3	58,9	3	0	0
3	1	58,8	0	0	0
	2	57,7	0	0	0
	3	58,4	3	0	0
4	1	58,6	0	0	0
	2	57,8	0	0	0
	3	57,2	0	0	0
5	1	59,1	0	0	0
	2	58,7	0	0	0
	3	59,0	3	0	0
DesVest		0,58	1,37	0,00	0,00
u_A		0,15	0,35	0,00	0,00

3.2 TIPO B

U_{RES}

La distribución de probabilidad es rectangular.

$$u_{RES} = \frac{0,01}{2\sqrt{3}} = 0,003$$

U_{TEM}

Se considera una diferencia general de temperatura de -10 °C a 50°C. La distribución de probabilidad es rectangular.

$$u_{TEM} = \frac{-0.001(-10 - 50)}{2\sqrt{3}} = 0.017$$

U_{HUM}

La distribución de probabilidad es rectangular.

$$u_{HUM} = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.028$$

U_{PRE}

Se considera un rango de variación de la presión atmosférica general de 150 mBar.

$$u_{PRE} = \frac{-0.01 \cdot 150\text{mbar} \cdot 0.1\text{KPa/mbar}}{2\sqrt{3}} = 0.043$$

U_{CAL}

La incertidumbre asociada a la calibración del aparato es la correspondiente a la precisión que posee el sonómetro según al Tipo que pertenezca. El sonómetro Brüel & Kjaer 2250 es de Tipo 1 cuya incertidumbre es:

$$u_{CAL} = 1 \text{ (Según UNE EN ISO 1996:2007)}$$

U_{DER}

Incertidumbre asociada a la deriva con el tiempo del sonómetro.

Se calcula a partir de los datos del fabricante, considerando una deriva media en el intervalo de calibración (anual). Cuando no existe dicha deriva durante los dos últimos períodos de calibración se considerará 0.

$$u_{DER} = \frac{d}{\sqrt{3}} = 0$$

3.3 Resumen de incertidumbres de tipo B

	U _{RES}	U _{TEM}	U _{HUM}	U _{PRE}	U _{CAL}	U _{DER}
u _B	0,003	0,017	0,028	0,043	1	0

3.4 Resultado de la incertidumbre de ensayo

La incertidumbre final del ensayo ha de calcularse por frecuencias, y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$u_B = \sqrt{u_{CAL}^2 + u_{TEM}^2 + u_{PRE}^2 + u_{DER}^2 + u_{HUM}^2 + u_{RES}^2}$$

$$u_A = \sqrt{u_L^2 + u_{Kt}^2 + u_{Kf}^2 + u_{Ki}^2}$$

El cálculo de la incertidumbre expandida se realizará mediante la siguiente fórmula:

$$U_{total} = k \cdot u_{total} = k \cdot \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

Fórmula válida dado que se presupone que todos los coeficientes de correlación son nulos.

La incertidumbre expandida se determinará multiplicando la incertidumbre combinada por el factor de cobertura $k=2$, que para una distribución normal otorga un nivel de confianza del 95%:

$$U = K \cdot u_c$$

dB													U _c	k	U(dB)
u _A				u _B											
L _{Aeq corr}	K _t	K _f	K _i	u _{RES}	u _{FEM}	u _{HUM}	u _{PRE}	u _{CAL}	u _{DER}						
0,15	0,35	0,00	0,00	0,003	-0,017	0,029	-0,043	1	0	1,07308163	2	2,1	2		

%														
u _A				u _B						U _c	k	U(%)	U(dB)	
L _{Aeq corr}	K _t	K _f	K _i	u _{RES}	u _{FEM}	u _{HUM}	u _{PRE}	u _{CAL}	u _{DER}					
1,75	4,17	0,00	0,00	0,03	-0,20	0,33	-0,50	12,20	0,00	13,0274802	2	26	2,0	2

4 CONCLUSIONES

Tras los cálculos realizados se estima así una incertidumbre de **±2dB**, que aparecerá junto al valor de la medición.

Como se puede observar, la incertidumbre expandida nunca será menor que 2, ya que siempre se multiplica la incertidumbre combinada por un factor de cobertura de $K=2$.

REFERENCIAS

- MAN: Manual de Gestión integrado de Aistec Soluciones Acústicas.
- UNE-EN ISO/IEC 17025:2005: Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.
- UNE-EN ISO/IEC 17025:2005/Cor.1:2006: erratum 2006.
- ISO 1996-2:2007: Acoustics. — Description, measurement and assessment of environmental noise —Part 2: Determination of environmental noise levels.
- CGA-ENAC-LEC (Rev.4 octubre 2008): Criterios generales para la acreditación de laboratorios de ensayo y calibración según norma UNE-EN ISO/IEC 17025.
- G-ENAC-09 (Rev.1 julio 2005): Guía para la expresión de la incertidumbre en los ensayos cuantitativos.
- Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Supplement 1(Marzo 2004): Numerical Methods for the Propagation of Distributions.
- PFC (Curso 2006/2007): Evaluación de la incertidumbre de medida en un supuesto de aislamiento in situ a ruido aéreo. Javier Castillo Cid.
- Formación Técnica para Laboratorios (Octubre 2009): Estimación de Incertidumbres de Ensayo conforme a ISO/IEC 17025. Felab.
- Guía para estimar la incertidumbre de la medición (CENAN) (Mayo 2000). Wolfgang A. Schmid y Rubén J. Lazos Martinez.

- Calculo de incertidumbres para expresar la calidad de medida. Aplicación a la calibración de los instrumentos de medida electromagnética de distancias. M^a Teresa Fernández Pareja.
- CEM (2000): Guía para la expresión de la Incertidumbre de Medida. 2^o Edición.
- CEM. (2003): Procedimiento para la realización de procedimientos de calibración. 4^a Edición.
- CEM. (2000): Vocabulario internacional de términos fundamentales y generales de metrología (VIM). 2^o Edición en español.