

INCERTIDUMBRE DE MEDIDA EN RUIDO AMBIENTAL SEGÚN LA ISO 1996-2:2007. APLICACIÓN A UN ESTUDIO ACÚSTICO

PACS: 43.50.-X

Escuder Silla, Eva¹ ; Alba Fernández, Jesús¹; del Rey Tormos, Romina¹; Ramis Soriano, Jaime²

¹Escuela Politécnica Superior de Gandía.
Universidad Politécnica de Valencia
Carretera Nazaret-Oliva S/N
Grao de Gandia 46730 (Valencia)
Teléfono (96) 284.93.14 - (96) 284.93.00
E-mail: roderey@doctor.upv.es, jesalba@fis.upv.es, evescude@fis.upv.es

²Dpto. Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal
Universidad de Alicante
Apdo. Correos, 99; 03080 Alicante
e-mail: jramis@ua.es

ABSTRACT

The GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) establishes general rules for evaluating and expressing uncertainty of measurement that can be applied in most fields of physical measurements. It uses a mathematical model to assess the uncertainty, this model should include all quantities that can make a significant contribution to the uncertainty associated with the test result. It consists of several components, some related to the statistical distribution of results of series of measurements and others assumed probability distributions, based on experience or other information such as calibration certificates for example. ISO 1996-2: 2007 is based on GUM and apply to environmental noise. The uncertainty of the sound pressure levels depends on the sound source and the time interval measurement, the operating conditions (repeatability), soil conditions and climate, distance from the source, the method of measurement and instrumentation and the residual sound. The uncertainty in measurement is expressed as an expanded uncertainty based on the combined standard uncertainty multiplied by a coverage factor of 2, which gives a coverage probability of approximately 95%. The uncertainty associated to an acoustic study based on a road with continuous noise is calculated.

Keywords: uncertainty, environmental noise, GUM, residual noise

RESUMEN

La GUM (Guía para la Expresión de la incertidumbre de medida) establece normas generales para la evaluación y la expresión de la incertidumbre de medida que pueden aplicarse en la mayoría de los campos de mediciones físicas. Utiliza 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 de ensayo. Comprende varias componentes, unas relacionadas con la distribución estadística de resultados de series de medidas y otras que se evalúan suponiendo distribuciones de probabilidad, basándose en la experiencia que se posee o en otras informaciones como certificados de calibración por ejemplo. La norma ISO 1996-2: 2007 se basa en la GUM y la aplica al ruido ambiental. La

incertidumbre de los niveles de presión sonora depende de la fuente sonora y el intervalo de tiempo de medida, las condiciones de operación (repetibilidad), las condiciones del suelo y el clima, la distancia a la fuente, el método de medida y la instrumentación y del sonido residual. La incertidumbre de medida se expresa como una incertidumbre expandida basada en la incertidumbre estándar combinada multiplicada por un factor de cobertura de 2, que proporciona una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. Se determina la incertidumbre asociada a un estudio acústico basado en una carretera con ruido continuo.

Palabras-clave: incertidumbre, ambiental, GUM, ruido residual

1 INTRODUCCIÓN

La Norma ISO 1996 bajo el título general Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental, tiene dos partes. En la parte 1 se describen las magnitudes básicas y métodos de evaluación del ruido medioambiental y la parte 2 se centra en la determinación de niveles de presión acústica y su incertidumbre asociada. Actualmente la evaluación de la molestia producida por el ruido a largo plazo parece llevarse a cabo mejor adoptando el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A corregido, denominado "nivel de evaluación" [1, 2]. Basándose en estos niveles de evaluación se puede estimar la respuesta social a largo plazo. La norma ISO 1996-2:2007 se basa en la GUM, contiene una guía para determinar la incertidumbre del resultado de una evaluación de ruido. La incertidumbre depende de la fuente sonora, las condiciones de operación, el intervalo de tiempo de medida, las condiciones climatológicas, la distancia a la fuente sonora, el método de medida, la instrumentación y el sonido residual. La incertidumbre en la medida se determina de acuerdo con la GUM [3], que establece normas generales para la evaluación y la expresión de la incertidumbre de medida. Utiliza 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 de ensayo. Las posibles fuentes de incertidumbre provienen de los diversos factores involucrados en la medición, por ejemplo: resultados de la calibración del instrumento, la repetibilidad de las lecturas, reproducibilidad de las mediciones por cambio de observadores, instrumentos u otros elementos; características del propio instrumento, como resolución, etc.; variaciones de las condiciones ambientales; la definición del propio mensurando. En la tabla 1 se muestran las contribuciones a considerar para la evaluación de la incertidumbre según la ISO 1996-2: 2007. En la legislación de Valencia, en los estudios acústicos sujetos a evaluación de impacto ambiental, así como aquellos proyectos de instalación de actividades a los que resulte de aplicación la normativa vigente en materia de licencias ambientales que sean susceptibles de producir ruidos o vibraciones, se deben analizar en detalle: a) El Nivel de ruido en el estado preoperacional, informe $L_{Aeq,t}$ en el ambiente exterior del entorno de la actividad, infraestructura o instalación, tanto en diurno como en nocturno; b) El Nivel de ruido estimado en el estado de explotación, mediante la predicción de los niveles sonoros en el ambiente exterior durante los periodos diurno y nocturno; c) La evaluación de la influencia previsible de la actividad, mediante comparación del nivel acústico en los estados preoperacional y pos operacional, con los valores límite definidos en el reglamento para las zonas o áreas acústicas que sean aplicables; d) Definición de las medidas correctoras en caso de resultar necesarias [4, 5]. En este trabajo se determina la incertidumbre en la medida de ruido ambiental asociada a un estudio acústico basado en dos carreteras con ruido continuo.

Instrumentación	Incertidumbre estándar (dB)			Incertidumbre estándar combinada σ_t (dB)	Incertidumbre de medida expandida (dB)
	condiciones de operación	clima y suelo	sonido residual		
W	X	Y	Z	$\sqrt{W^2 + X^2 + Y^2 + Z^2}$	$\pm 2 \sigma_t$

Tabla 1. Incertidumbre de medida del L_{Aeq} según la ISO 1996-2.

2 GUM

2.1 Guía para la expresión de la incertidumbre en la medida

La incertidumbre de medida es un parámetro, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que pueden atribuirse razonablemente al mensurando. La función modelo f representa el procedimiento de medición y el método de evaluación. Describe cómo se obtienen los valores del mensurando o magnitud de salida, Y , a partir de los valores de las magnitudes de entrada X_i . Las magnitudes de entrada X_i pueden agruparse en dos categorías, según la forma en que se haya calculado el valor de la magnitud y la incertidumbre asociada al mismo [6,7]: magnitudes cuyo valor estimado y cuya incertidumbre asociada se determinan directamente en la medición (nivel de presión, la temperatura ambiental, etc.) y magnitudes cuyo valor estimado e incertidumbre asociada se incorporan a la medición desde fuentes externas (certificados o datos de referencia obtenidos de manuales). La estimación de salida, y , es la estimación del mensurando Y , se obtiene utilizando las estimaciones de entrada x_i como valores de las magnitudes de entrada X_i . Cuando las magnitudes de entrada no están correlacionadas, el cuadrado de la incertidumbre típica asociada a la estimación de salida y , viene dado por:

$$u^2(y) = \sum_{i=1}^N u_i^2(y) \quad u_i(y) = c_i u(x_i) \quad c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} = \frac{\partial f}{\partial X_i} \Big|_{X_1=x_1 \dots X_N=x_N} \quad (1)$$

La magnitud $u_i(y)$ ($i = 1, 2, \dots, N$) es la contribución a la incertidumbre típica asociada a la estimación de salida y , resultante de la incertidumbre típica asociada a la estimación de entrada x_i , en donde c_i es el coeficiente de sensibilidad asociado a la estimación de entrada x_i , es decir, la derivada parcial de la función modelo f con respecto a X_i evaluada para las estimaciones de entrada x_i . c_i describe el grado en que la estimación de salida y se ve afectada por variaciones en la estimación de entrada x_i . La incertidumbre expandida de medida U , se calcula multiplicando la incertidumbre típica $u(y)$ de la estimación de salida y por un factor de cobertura k , $U = k u(y)$. Cuando se puede atribuir una distribución normal al mensurando y la incertidumbre típica asociada a la estimación de salida tiene la suficiente fiabilidad, debe utilizarse el factor de cobertura usual $k = 2$. La incertidumbre expandida asociada corresponde a una probabilidad de cobertura de, aproximadamente, un 95%. El resultado completo de la medición debe expresarse en la forma $(y \pm U)$. Donde y es el estimado del mensurando y U la incertidumbre expandida asociada.

2.2 ISO 1996-2: 2007

La ISO 1996-2:2007 da una guía para determinar la incertidumbre de ruido ambiental. Según la tabla 1, para determinar la incertidumbre de un nivel equivalente en primer lugar es necesario conocer la incertidumbre debida a la instrumentación [8, 9]. Si la instrumentación es de clase 1 la incertidumbre será como máximo 1 dB, incluido el micrófono, la pantalla antiviento, el cable y los grabadores, se ajustarán a los requisitos de la IEC 61672-1:2002. Siempre se debe utilizar una pantalla antiviento durante las mediciones al aire libre. Para las mediciones en octavas y tercio de octava, los instrumentos clase 1 deben cumplir los requisitos de los filtros de clase 1, especificados en IEC 61260:1995. Inmediatamente antes y después de cada serie de mediciones de acuerdo con IEC 60942:2003 se aplicará un calibrador de sonido al micrófono para comprobar la calibración del sistema de medición completo en una o más frecuencias. Respecto a la incertidumbre debida a las condiciones de operación como mínimo se deben hacer 3 medidas, aunque preferiblemente 5 y bajo condiciones de repetibilidad (el mismo procedimiento, los mismos instrumentos, el mismo operador, el mismo lugar) y en una posición en la que las variaciones en las condiciones meteorológicas tengan poca influencia sobre los resultados. Para mediciones a largo plazo, se necesitan más mediciones para determinar la repetibilidad de la desviación estándar. La fuente debe operar en condiciones de

funcionamiento que sean estadísticamente representativas del ruido ambiental que se examina. Para obtener una estimación fiable, el intervalo de tiempo de medición deberá incluir un número mínimo de eventos de ruido. La medición directa del nivel equivalente es posible cuando el ruido es estacionario o variable con el tiempo, como es el caso del ruido de tráfico rodado y plantas industriales. Para medir el nivel equivalente de tráfico rodado se debe contar el número de vehículos que pasan durante el intervalo de tiempo de medida. Se deben distinguir vehículos ligeros y pesados ($m > 3\,500$ kg). Anotar la velocidad media del tráfico y el tipo de pavimento. La incertidumbre estándar, X , se puede determinar mediante la ecuación 2:

$$X \cong 10 / \sqrt{n} \text{ dB} \quad (2)$$

Al aumentar el número de vehículos, n , la incertidumbre decrece exponencialmente. Los niveles de presión sonora varían en función de las condiciones meteorológicas, éstas deberán ser representativas. La superficie de carretera o los raíles deberá estar seca. Hay que considerar condiciones favorables a la propagación del sonido. Las condiciones climatológicas se caracterizan mediante el radio de curvatura del camino sonoro (R). R depende de la velocidad del viento y los gradientes de temperatura cerca del suelo. R positivos corresponden a curvaturas de los rayos sonoros hacia abajo (viento hacia abajo o inversión de temperatura) (Condiciones de propagación "favorables", es decir, los niveles de presión sonora son altos). La desviación estándar, σ_m , debida a la variación inducida por el clima en la atenuación de la propagación sonora es válida para condiciones de propagación específicas y no puede usarse para niveles de ruido promedio a largo plazo debido a las contribuciones de la propagación de sonido bajo una variedad de condiciones. Es válido para medir intervalos de tiempo de 10 min hasta unas pocas horas. La incertidumbre asociada al clima, σ_m , se puede determinar utilizando la ventana meteorológica, véase figura 1. En situaciones bajas los requerimientos en las condiciones del clima durante la medida son más estrictos. Cuando toda la superficie del terreno entre la fuente y la posición de medición sea dura, la σ_m , puede despreciarse siempre y cuando no haya sombra acústica, $\sigma_m \sim 0.5$ dB hasta 25 m en "situación baja" y hasta 50 m en "situación alta".

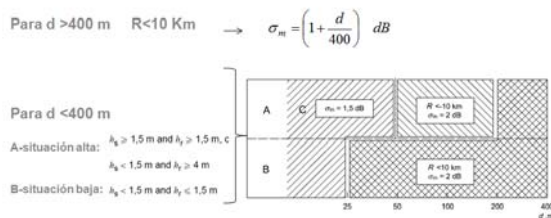


Figura 1. Ventana meteorológica. Se aplica a terreno poroso y plano, como pastizales



Figura 2. Estado pre-operacional:



Figura 3. Estado pos-operacional

Para la mapas de ruido se ubica el micrófono a una altura de $(4,0 \pm 0,5)$ m en zonas residenciales con varias alturas de pisos. En zonas residenciales de una altura y áreas recreativas, a una altura de $(1,2 \pm 0,1)$ m o $(1,5 \pm 0,1)$ m. En promedios a corto plazo, a menos que la condición de la ecuación $(h_s + h_r) / r \geq 0,1$ se cumpla, la medida será de al menos 10 minutos para promediar las variaciones asociadas al clima. Si la condición en la ecuación se cumple, 5 minutos suele ser suficiente.

3 DESARROLLO. INCERTIDUMBRE EN UN ESTUDIO ACÚSTICO

En las figuras 2 y 3 se presenta el caso a estudio. Es una zona poco habitada con dos carreteras en la que se quiere construir una urbanización con nuevos viales. En la figura 2 se muestra una fotografía del estado preoperacional, en la que se seleccionaron 5 puntos para realizar las mediciones acústicas. Se analizan en detalle los puntos 1 y 2 situados cercanos a

carreteras existentes. En la figura 3 se muestra el estado pos operacional. En cada punto se realizan tres medidas de 10 min en cada una de las franjas horarias día, tarde y noche. Se analiza en detalle la franja del día. La incertidumbre asociada a las mediciones del nivel equivalente en el estado pre-operacional se calcula según la expresión (3). El coeficiente de sensibilidad del sonido residual se expresa en (4), el resto de coeficientes son 1.

$$u(L_{Aeq,T}) = \sqrt{(u_{sonometro})^2 + (u_{cond\ operacion})^2 + (u_{clima\ y\ suelo})^2 + (C_{residual} \cdot u_{residual})^2} \quad (3)$$

$$C_{residual} = \frac{10^{L_{residual}/10}}{10^{L_{total}/10} - 10^{L_{residual}/10}} \quad (4)$$

La incertidumbre debida al sonido residual depende principalmente del parámetro medido y de la diferencia entre los valores totales medidos y el sonido residual. El nivel sonoro residual influye en la medición del nivel sonoro específico. El nivel de sonido específico es el nivel sonoro total corregido con el nivel sonoro residual, se calcula según (5):

$$L_{corregido} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{total}}{10}} - 10^{\frac{L_{residual}}{10}} \right) \quad (5)$$

La incertidumbre del nivel sonoro residual, Z, se calcula en función de la incertidumbre del nivel sonoro específico, σ_s , y el nivel total medido actual, σ_o [10].

$$Z = \sqrt{\sigma_s^2 - \sigma_o^2} \quad (6)$$

Si el nivel de presión sonora residual está 10 dB o más por debajo del nivel de presión sonora medido, no es necesario hacer correcciones. Si esa diferencia es de 3 dB no hacer correcciones porque la incertidumbre es muy grande. Cuando la diferencia está entre 3 y 10 dB se puede aplicar la corrección (5). En la tabla 2 se presentan los resultados para los puntos de medida 1 y 2. Se determina cada una de las incertidumbres respecto al nivel total, el residual y el específico.

Franja 1	Ltotal	Caudal (veh/h)	Lresidual Franja1		Lespecifico		Ltotal	Caudal (veh/h)	Lresidual		Lespecifico Franja 1
Leq pto 1	59,3	420	45		59,1	Leq pto 2	48,4	24	40,2		47,7
	58,7	411	45,2		58,5		47,9	19	39,2		47,3
	58,2	400	44,6		58,0		48,2	22	39,5		47,6
sigma 0	0,5	sigma r	0,3	sigma s	0,5	sigma o	0,3	sigma r	0,5	sigma s	0,2

Tabla 2

En la tabla 3, se muestra la incertidumbre asociada al sonido residual para cada uno de los puntos y en cada franja. Se observa que el punto 2, que tiene una diferencia de nivel respecto al fondo menor, presenta una incertidumbre mayor respecto a la del punto 1

Z (dB)	Franja1	Franja2	Franja3	Z promedio (dB)
pto 1	0,1	0,1	0,2	0,1
pto 2	0,1	0,2	0,5	0,3

Tabla 3. Z (dB) de los puntos 1 y 2

$C_{residual}$ punto 1 Franja1	$C_{residual}$ punto 2 Franja1
0,04	0,18
0,05	0,16
0,05	0,16

Tabla 4. C residual de puntos 1 y 2

Los coeficientes de sensibilidad del sonido residual se presentan en la tabla 4. Se observa, en líneas generales, que el punto 2 presenta valores mayores. En la tabla 5 se especifican las contribuciones de las incertidumbres, la combinada y la expandida. Se cogen los valores del

peor caso. Como incertidumbre global del estudio acústico se considera el valor mayor de la incertidumbre obtenida para cada uno de los puntos estudiados.

instrumentación	condiciones de operación	clima y condiciones del suelo	Cresidual	sonido residual	Incertidumbre estándar σ (dB)	Incertidumbre expandida $\pm 2,0 \sigma$ (dB)
0,7	0,5	0,5	0,18	0,3	0,8	1,7
	repetibilidad	situación baja $h_s > 1,5$ m y $h_s > 1,5$ m, asfalto a 5 m		máximo de los residuales		

Tabla 5

Por lo que el resultado final para los dos puntos evaluados en la franja día resulta:

$$L_{Aeq} \text{ pto 1} = 58,6 \pm 1,7 \text{ dB(A)}$$

$$L_{Aeq} \text{ pto 2} = 47,5 \pm 1,7 \text{ dB(A)}$$

4 CONCLUSIONES

Se ha evaluado la incertidumbre en las mediciones de ruido ambiental asociadas a un estudio acústico mediante la GUM y la ISO 1996-2. La incertidumbre depende de la fuente sonora, de las condiciones de operación, las condiciones climatológicas, la distancia a la fuente sonora, el método de medida, la instrumentación y el sonido residual. Se aprecia que el sonido residual supone una contribución importante en la incertidumbre del ruido ambiental.

REFERENCIAS

- [1] UNE-ISO 1996-1:2005. Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental: Parte 1: Magnitudes básicas y métodos de evaluación.
- [2] ISO 1996-2:2007. Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental: Parte 2: Determinación de niveles de presión acústica.
- [3] *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, primera edición, 1993, revisada y reeditada en 1995, International Standardization Organization (Ginebra, Suiza).
- [4] Decreto 266/2004 de la Generalitat Valenciana, de 3 de diciembre, por el que se establecen normas de prevención y corrección de la contaminación acústica en relación con actividades, instalaciones, edificaciones, obras y servicios.
- [5] Decreto 104/2006 de la Generalitat Valenciana DOGV 4901, de 13-12-04, de planificación y gestión en materia de contaminación acústica
- [6] W. Schmid y R. Lazos, *Guía para estimar la incertidumbre de la medición*, CENAM, Mayo 2000
- [7] Expresión de la incertidumbre de medida en las calibraciones. EA-4/02 (EAL-R2 "Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration" Edition 1 April 1997)
- [8] José Alfonso Mondaray, Francisco Javier Yebra y Luis Lorenzo. *Empleo en campo de los sonómetros. Factores a considerar y su contribución a la incertidumbre de medida*, 3º Congreso español de metrología. Zaragoza, 11-13 de mayo de 2005
- [9] Richard Payne: NPL report DQL-AC 002. Uncertainties associated with the use of a sound level meter. April 2004.
- [10] D. Manvell, E. Aflabo, *Uncertainties in Environmental Noise Assessments-ISO 1996. Effects of instrument class and residual sound*, Forum Acusticum 2005