

## Empleo en campo de los sonómetros. Factores a considerar y su contribución a la incertidumbre de medida

José Alfonso Mondaray<sup>(1)</sup>, Francisco Javier Yebra<sup>(2)</sup>, y Luis Lorenzo<sup>(3)</sup>

<sup>(1, 2, 3)</sup>Laboratorio Oficial de Metrología de Galicia. Parque Tecnológico de Galicia – TECNÓPOLE  
San Ciprián de Viñas, 32901 Ourense

<sup>(1, 2, 3)</sup>Teléfono: 988 36 81 24 y correo electrónico: lomg@lomg.net

**RESUMEN:** De los datos obtenidos en la calibración de un sonómetro y de las especificaciones declaradas por el fabricante, se calcula la incertidumbre de uso del equipo, a partir de una función modelo en la que se recogen las correcciones más significativas en la medida del nivel de presión sonora con ponderación A. Se pone de manifiesto la falta de consideración de la incertidumbre asociada a medidas acústicas, tanto en la normativa aplicable como en la legislación vigente, de forma que sea tenida en cuenta en la toma de decisiones (aceptación o rechazo) respecto a los límites establecidos.

Paralelamente se realiza una simulación estadística – método Monte Carlo – para validar el cumplimiento de la ley de propagación de incertidumbres para la función modelo propuesta y con valores reales de medida con un sonómetro. Así mismo, se señalan consideraciones sobre la utilización del equipo, para minimizar en la medida de lo posible, el valor de su incertidumbre de uso.

### 1. INTRODUCCIÓN

El ruido, entendido como sonido no deseado, ha constituido siempre un problema para el ser humano. Ya en la Antigua Roma, existían normas para controlar el ruido emitido por las ruedas de hierro de los carros que golpeaban las piedras del pavimento y perturbaban el sueño y molestaban a los romanos. En algunas ciudades de Europa medieval no se permitía el uso de carruajes, ni cabalgar durante la noche, para asegurar el descanso de la población. Sin embargo, los problemas de ruido del pasado no son comparables con los que se originan en la sociedad moderna. El número de automóviles que transitan regularmente por nuestras ciudades y campos, tanto de día como de noche, los aviones y trenes, contribuyen al incremento del ruido ambiental. Además, en la industria la maquinaria utilizada emite altos niveles de ruido y los centros de esparcimiento perturban la tranquilidad del ciudadano.

La dimensión del problema del ruido es amplia. En la Unión Europea, alrededor del 40% de la población está expuesta a ruido de tránsito con un nivel equivalente de presión sonora que excede 55 dB(A) durante el periodo diurno, y el 20% está expuesto a más de 65 dB(A). Si se considera la exposición total al ruido de tránsito, se puede calcular que aproximadamente la mitad de los europeos vive en zonas de gran contaminación acústica. Es oportuno añadir también, que más del 30% de la población está expuesta durante la noche a niveles de presión sonora que exceden los 55 dB(A) y como colofón indicar que las carreteras más transitadas registran niveles de presión sonora que exceden los 80 dB(A) durante las veinticuatro horas del día.

No obstante, aunque tanto el ruido ambiental como el registrado en el propio lugar de trabajo se han reconocido como un problema, a nivel local, nacional, europeo e internacional, las acciones destinadas a su control y reducción no han tenido históricamente el éxito que cabría esperar. Esta y otras circunstancias similares ha llevado al incremento de las actividades legislativas.

En la Unión Europea, a principios de los años 90, la Comisión incluyó el ruido ambiental en su Libro Verde sobre política futura de lucha contra el ruido como uno de los mayores problemas ecológicos en Europa y anunció el desarrollo de una directiva para la reducción de las

emisiones de ruido de los equipos que se utilizan en el exterior; en mayo de 2000 se publicó la directiva 2000/14/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre la aproximación de las leyes de los estados miembros relativas a la emisión de ruido al ambiente originadas por equipos que se utilizan en el exterior; esta es una directiva de nuevo enfoque que detalla procedimientos de ensayo referidos a normas armonizadas internacionales que deben ser utilizadas por los fabricantes para demostrar el cumplimiento de sus especificaciones. Esta directiva rompe con el enfoque regulador de los pasados veinte años, tendente a concentrarse en la reducción de la emisión de ruido en las fuentes, tales como reducir el ruido de exposición de los trabajadores, así como limitar la emisión de ruido industrial al ambiente. Con las directivas de nuevo enfoque, se requiere que los fabricantes midan los niveles de emisión de ruido y declaren los niveles de potencia sonora de sus máquinas y productos, regulado todo ello por un organismo independiente. Sin embargo, dentro de los estados miembros, incluso presenta distintas interpretaciones y origina gran número de reclamaciones a los fabricantes. Se puede dar el caso de que un equipo acceda al mercado en otro país de la Unión con un nivel de potencia 1 dB por encima de lo que sería aceptable en España y este hecho llevaría asociado costes adicionales para nuestros fabricantes e importadores, así como una distorsión del mercado, lo que deterioraría la competitividad de los productos europeos en el mercado internacional. Dentro de este ámbito tan exigente, parece conveniente no sólo armonizar los métodos de medida para la evaluación de los niveles de potencia acústica declarados, sino establecer la instrumentación apropiada y sobre todo determinar la incertidumbre de medida asociada, para delimitar claramente las zonas de aceptación del producto, teniendo en cuenta el error máximo permitido, la incertidumbre de medida obtenida y el riesgo que se asume.

El sonómetro es el instrumento básico de medida absoluta de niveles sonoros. La evolución de los sonómetros hacia analizadores de mayores prestaciones, permite disponer de equipos compactos que realizan todas las tareas a las que deba enfrentarse un organismo de control. El tipo de ruido a medir (continuo, impulsivo, aleatorio, eventos...), los parámetros que puedan ser analizados durante la medición o después de ésta, las posibilidades de ampliación y la conectividad con elementos externos (software de procesado, fuentes de ruido) son algunos de los elementos que deben tenerse en cuenta para identificar el equipo óptimo y su potencialidad.

Hay que tener en cuenta que la inmensa mayoría de las determinaciones del nivel de potencia acústica que se hacen para declarar el ruido emitido se obtienen a través de métodos de medida del nivel de presión sonora, tal y como se especifica en las normas ISO 3741 a la ISO 3747, normas que precisamente están siendo objeto de revisión entre otras circunstancias, para armonizar el tratamiento de la incertidumbre de medida y expresarla de forma consistente con la Guía para la expresión de la incertidumbre de medida [2].

En este trabajo, se pone de manifiesto la no consideración de la incertidumbre de medida asociada a medidas acústicas, tanto en la normativa aplicable como en la legislación vigente, de forma que sea tenida en cuenta en la toma de decisiones (aceptación o rechazo) respecto a los límites establecidos. Se propone una función modelo para la medida del nivel de presión sonora con ponderación A, justificándolo a partir de las correcciones obtenidas en la calibración del sonómetro, así como las derivadas de su utilización en un sistema de medida, calculando a partir de dicha función las distintas componentes de incertidumbre asociadas a cada una de las correcciones, para terminar declarando la incertidumbre expandida; incertidumbre que se calculará paralelamente utilizando un método alternativo de simulación estadística, método Monte-Carlo, comparándolo con el método tradicional de aplicación de la ley de propagación de varianzas.

## **2. DESARROLLO/DESCRIPCIÓN**

Aunque el valor de la incertidumbre asociada a la utilización del sonómetro está basada en las tolerancias dadas en las normas UNE-EN 60651 [6, 7] y UNE-EN 60684 [8, 9] (esta última en el

caso de que el sonómetro sea promediador-integrador), que en ausencia de los valores medidos en su verificación constituye un primer paso para la determinación de la incertidumbre para una medida llevada a cabo con éste, sin embargo, el valor que se obtendría representaría un límite superior que no sería estrictamente aplicable al uso del propio sonómetro.

Lo que se plantea es utilizar los datos obtenidos en la verificación del sonómetro según las normas UNE-EN 60651 y UNE-EN 60684, con sus correspondientes incertidumbres asignadas por un laboratorio acreditado, que junto con las especificaciones declaradas por el fabricante del sonómetro constituyen la base para poder calcular su incertidumbre de uso, utilizado para la medida del nivel de presión sonora con ponderación A. La función modelo que se propone es la siguiente:

$$L_A = L_S + \delta_{PFE} + \delta_{PFA} + \delta_{LS} + \delta_{RMS} + \delta_{PT} + \delta_{CA} + \delta_{CC} + \delta_{ES} + \delta_{OB} + \delta_{TS} + \delta_{PS} + \delta_{CS} + \delta_{PA}$$

donde:

- $L_A$ : es el nivel de presión sonora con ponderación A que se quiere determinar
- $L_S$ : es el nivel de presión sonora con ponderación A medido con el sonómetro
- $\delta_{PFE}$ : representa la corrección de calibración eléctrica del nivel de presión sonora con ponderación A
- $\delta_{PFA}$ : representa la corrección de calibración acústica del nivel de presión sonora con ponderación A
- $\delta_{LS}$ : representa la corrección asociada con la linealidad del sonómetro en su rango de referencia
- $\delta_{RMS}$ : representa la corrección asociada con detector RMS del sonómetro evaluada eléctricamente
- $\delta_{PT}$ : representa la corrección asociada con la función de ponderación temporal
- $\delta_{CA}$ : representa la corrección asociada con el ajuste inicial del sonómetro utilizando un calibrador acústico
- $\delta_{CC}$ : representa la corrección de utilización del calibrador acústico sobre su valor certificado
- $\delta_{ES}$ : representa la corrección asociada a la resolución finita del valor de la indicación del sonómetro
- $\delta_{OB}$ : representa la corrección asociada con la influencia del observador
- $\delta_{TS}$ : representa la corrección asociada con la influencia de las variaciones de temperatura
- $\delta_{PS}$ : representa la corrección asociada con la influencia de las variaciones de la presión atmosférica
- $\delta_{CS}$ : representa la corrección asociada con la influencia de la carcasa del sonómetro
- $\delta_{PA}$ : representa la corrección asociada con la influencia de la pantalla antiviento

Las correcciones enumeradas se pueden dividir en dos grupos: el primero es el que englobaría a aquellas que están relacionadas con la operativa del sonómetro y que se obtienen de los valores de verificación conforme a las normas UNE-EN 60651 y UNE-EN 60684 y son  $\delta_{PFE}$ ,  $\delta_{PFA}$ ,  $\delta_{LS}$ ,  $\delta_{RMS}$ ,  $\delta_{PT}$ ,  $\delta_{CA}$ ,  $\delta_{CC}$  y  $\delta_{ES}$ . El segundo grupo lo componen aquellas que están asociadas con el uso del sonómetro, al que pertenecen  $\delta_{OB}$ ,  $\delta_{TS}$ ,  $\delta_{PS}$ ,  $\delta_{CS}$  y  $\delta_{PA}$ .

Las componentes de incertidumbre asociadas con estas correcciones son:

- a) Las diferentes indicaciones  $L_S$  del sonómetro son las causantes de la incertidumbre debida a su repetibilidad, denominada incertidumbre tipo A. Si se toman  $n$  lecturas en las mismas condiciones de medida, siempre que existan variaciones en la indicación del sonómetro de más de un dígito. En caso contrario, esta contribución no se considerará, por tener un valor nulo. Para estimarla se utiliza la desviación típica de la media, es decir, teniendo en cuenta que se realizan  $n$  medidas:

$$u(\bar{L}_S) = \frac{s_{L_S}}{\sqrt{n}}$$

donde  $s_{L_S}$  es la desviación típica de las  $n$  lecturas del sonómetro.

- b) Para evaluar la red de ponderación A eléctricamente se sustituye el micrófono por su capacidad equivalente y utilizando un generador de señal de generan tonos a las frecuencias de octava o de tercio de octava en todo el rango entre 31,5 Hz y 16 kHz incluyendo 12,5 kHz, seleccionando el nivel de señal a 1 kHz para dar una indicación del nivel de presión sonora de referencia; esta prueba se realiza mediante la inversa de la curva de ponderación frecuencial, en el rango de referencia del sonómetro, de forma que a

la señal generada se aumenta la misma cantidad que la atenuación de la ponderación. Si se supone que el nivel de presión sonora que se va a medir por el sonómetro es ruido blanco es necesario evaluar lo que suponen las desviaciones sobre el valor ponderado ideal, en todo el rango de frecuencias considerado.

La componente de incertidumbre asociada es la declarada en el certificado de calibración del sonómetro por el laboratorio para esta prueba. Como el valor certificado de la incertidumbre viene recubierto por un factor  $k_n$  (en la mayoría de los casos  $k_n=2$ , o lo que es lo mismo, una probabilidad de encontrar el verdadero valor de la magnitud en el intervalo señalado por la incertidumbre ampliada del 95,45%) la componente de incertidumbre estándar quedará:

$$u(\delta_{PFE}) = \frac{U_E}{k_n}$$

donde  $U_E$  es la incertidumbre expandida certificada.

- c) La verificación de la respuesta acústica del sonómetro, conjuntamente con su micrófono, se hace en el rango de 31,5 Hz a 16 kHz a frecuencias de octava utilizando un calibrador acústico y en el rango de referencia del sonómetro. Si de nuevo se considera que el nivel de presión sonora corresponde a ruido blanco es necesario evaluar lo que suponen las desviaciones sobre el valor ponderado ideal en todo el rango de frecuencias considerado.

Nuevamente la componente de incertidumbre asociada será la declarada en el certificado de calibración del sonómetro. Equivalentemente al caso anterior la componente de incertidumbre estándar será:

$$u(\delta_{PFA}) = \frac{U_A}{k_n}$$

donde  $U_A$  es la incertidumbre expandida certificada.

- d) Para verificar la linealidad del sonómetro en el rango de referencia se utilizará una señal sinusoidal generada eléctricamente (condensador sustituido por su capacidad equivalente) y se recorrerá todo el rango en pasos de 10 dB y de 1 dB, barriendo el intervalo de frecuencia de 31,5 Hz a 12,5 kHz, por ejemplo: 31,5 Hz, 1 kHz, 4 kHz, 8 kHz y 12,5 kHz. La corrección por linealidad,  $\delta_{LS}$ , será la media aritmética de las desviaciones a la característica ideal y la incertidumbre será la desviación típica de dichas desviaciones,  $\sigma_L$ , es decir:

$$u(\delta_{LS}) = \sigma_L$$

En el caso de que la determinación del nivel de presión sonora no se haga en el rango de referencia del sonómetro, sería necesario evaluar la linealidad del nuevo rango de trabajo, que se puede obtener a partir de los datos de linealidad en el de referencia y teniendo en cuenta la exactitud del atenuador para el rango considerado.

- e) La detección del valor eficaz se verifica eléctricamente, micrófono sustituido por capacidad equivalente, en el rango de referencia para factores de cresta de 3, 5 y 10; se compara la lectura obtenida para una secuencia de ráfagas con la obtenida para una señal sinusoidal continua. La corrección por detección del valor eficaz,  $\delta_{RMS}$ , será también la media aritmética de las desviaciones a la característica ideal del detector y la incertidumbre será la desviación típica de dichas desviaciones,  $\sigma_R$ , es decir:

$$u(\delta_{RMS}) = \sigma_R$$

- f) Para verificar la ponderación temporal *FAST* del sonómetro se hace en el rango de referencia, aplicando una ráfaga sinusoidal simple de duración 200 ms a una frecuencia de 2 kHz y una amplitud que produce una indicación 4 dB por debajo del límite superior del indicador primario. En el caso de la ponderación *SLOW*, se procede análogamente pero

con la salvedad de que la ráfaga tiene ahora una duración de 500 ms. La corrección asociada con la ponderación temporal,  $\delta_{PT}$ , será también la media aritmética de las desviaciones a la característica ideal y para la incertidumbre, suponiendo una distribución uniforme de los posibles valores en el intervalo determinado por la desviación máxima obtenida  $\Delta_{PT}$ , se tendrá:

$$u(\delta_{PT})_{FAST \text{ o } SLOW} = \frac{\Delta_{PT}}{\sqrt{3}}$$

- g) Antes de efectuar las medidas con el sonómetro es necesario comprobar su sensibilidad utilizando para ello un calibrador acústico o un pistófono, realizando un ajuste de acuerdo con las instrucciones del fabricante al valor certificado de nivel de presión sonora generado por el calibrador. La corrección  $\delta_{CA}$  tendrá un valor nulo pero su incertidumbre será debida a la propia resolución del sonómetro, es decir:

$$u(\delta_{CA}) = \frac{E_S}{2 \cdot \sqrt{3}}$$

siendo  $E_S$  la resolución del sonómetro o lo que es lo mismo el dígito menos significativo; se ha considerado también una distribución rectangular centrada en la indicación y con intervalo de variación su resolución.

- h) El valor del nivel de presión sonora generado por el calibrador no es el que tenemos certificado porque las condiciones ambientales en que lo estamos utilizando pueden ser distintas a las de calibración y además su valor deriva con el tiempo; por lo tanto la corrección  $\delta_{CC}$  modela este hecho y su incertidumbre asociada será la incertidumbre de uso del calibrador, luego:

$$u(\delta_{CC}) = \frac{U_C}{k_n}$$

donde  $U_C$  es la incertidumbre expandida de uso del calibrador

- i) Aunque el valor de la corrección debida a la resolución del sonómetro es nulo, su incertidumbre asociada,  $u(\delta_{ES})$ , no lo es. Dado que la indicación del sonómetro es de tipo digital la componente de incertidumbre asociada será:

$$u(\delta_{ES}) = \frac{E_S}{2 \cdot \sqrt{3}}$$

análogamente a como se consideró para  $u(\delta_{CA})$ .

- j) La contribución del observador varía con su tamaño, su posición relativa con respecto al sonómetro y es muy dependiente de la frecuencia. El fabricante puede declarar en sus especificaciones el efecto del observador en función de la distancia al sonómetro y su variación con la frecuencia. El valor de la corrección asociada se considera nulo, pero para evaluar su incertidumbre, se seleccionan ventanas en el rango de frecuencia y se determina en cada una de ellas el máximo de desviación sobre el cero (se supone que se va a determinar el nivel de presión sonora de ruido blanco gaussiano). La media ponderada con el ancho de las ventanas,  $\Delta_{OB}$ , definiría el intervalo donde se supondrá una variación media uniforme de la corrección, con lo que la componente de incertidumbre será:

$$u(\delta_{OB}) = \frac{\Delta_{OB}}{\sqrt{3}}$$

- k) Las variaciones de temperatura en el sonómetro originan cambios en la sensibilidad del micrófono lo que se traduce en variaciones en su indicación. Los sonómetros junto con su micrófono se calibran a una temperatura de 23 °C por lo que una utilización a otra

temperatura distinta implicaría corregir la lectura del instrumento un valor  $\delta_{TS}$ . Además ese cambio de sensibilidad del micrófono es dependiente de la frecuencia por lo que para la determinación de la corrección, dado que se va a medir ruido blanco, se calculará el coeficiente de variación con la temperatura,  $\alpha_M$ , ponderando sobre el rango de frecuencia y se multiplicará por la diferencia de temperatura entre la temperatura a la que se realizan las medidas  $T_M$  y 23 °C, es decir:

$$\delta_{TS} = \alpha_M \cdot (23^\circ\text{C} - T_M)$$

A partir del coeficiente de temperatura calculado anteriormente,  $\alpha_M$ , se valorará la componente de incertidumbre asociada a  $\delta_{TS}$ , suponiendo una distribución rectangular sobre el intervalo de variación de la temperatura,  $T_M \pm \Delta T$ , siendo:

$$u(\delta_{TS}) = \frac{\alpha_M \cdot \Delta T}{\sqrt{3}}$$

- l) Análogamente a como se ha tratado la corrección por efecto de la temperatura, se haría con la debida al efecto de la presión,  $\delta_{PS}$ , dado que como en el caso anterior hay una variación de la sensibilidad del micrófono sensible también a la frecuencia. Siendo  $P_M$  la presión atmosférica de medida y  $\gamma_M$  el coeficiente de variación de la presión ponderado en frecuencia, la corrección será:

$$\delta_{PS} = \gamma_M \cdot (1013\text{hPa} - P_M)$$

y suponiendo una distribución rectangular sobre el intervalo de variación de la presión atmosférica,  $P_M \pm \Delta P$ , la componente de incertidumbre será:

$$u(\delta_{PS}) = \frac{\gamma_M \cdot \Delta P}{\sqrt{3}}$$

- m) Teniendo en cuenta que la presencia del sonómetro en el campo sonoro perturba la medida, la corrección  $\delta_{CS}$  modela ese efecto, siendo además dependiente de la frecuencia. De las especificaciones del fabricante, suponiendo la corrección nula y calculando una desviación sobre cero máxima,  $\Delta_{CS}$ , ponderada con la frecuencia ya que se supone medida de ruido blanco, la incertidumbre asociada será:

$$u(\delta_{CS}) = \frac{\Delta_{CS}}{\sqrt{3}}$$

- n) Equivalentemente al caso de la carcasa se tiene con el efecto de la pantalla antiviento que se coloca al micrófono; no obstante hay sonómetros que presentan un filtro corrector para minimizar ese efecto. Al igual que con otros efectos éste es dependiente de la frecuencia por lo que si se supone que la corrección  $\delta_{PA}$  es nula, la incertidumbre asociada se obtendrá a partir de la desviación máxima (obtenida como media ponderada con la frecuencia),  $\Delta_{PA}$ , suponiendo una distribución uniforme en el intervalo  $\pm \Delta_{PA}$ , es decir:

$$u(\delta_{PA}) = \frac{\Delta_{PA}}{\sqrt{3}}$$

Podrían haberse considerado otras correcciones en la función modelo, como la debida a la utilización de cables de extensión para el micrófono, o el efecto del trípode donde se monta en sonómetro, sin embargo se puede razonar que, para un uso general, su contribución a la incertidumbre total es despreciable frente a las componentes relatadas anteriormente. Por supuesto, en cada sistema de medida habrá que considerar otras, particulares de éste, como por ejemplo la corrección por las reflexiones de las superficies próximas, cuando los niveles de presión sonora se miden cerca de la fuente de sonido.

Para calcular la incertidumbre combinada se aplicará la ley de propagación de incertidumbres tal y como se indica en la referencia [2]. La incertidumbre expandida de medida,  $U$ , se obtendrá

multiplicando la incertidumbre combinada por un factor de cobertura  $k$ , que se obtendrá teniendo en cuenta los grados de libertad, tal y como se indica en el anexo E de EA-4/02 [4].

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La ley de propagación de incertidumbres se espera que funcione adecuadamente en la mayoría de las situaciones. No obstante, suele ser difícil cuantificar los efectos de las aproximaciones que se hacen, tales como la linearización de las variables de entrada, la fórmula de Welch-Satterthwaite para calcular los grados de libertad efectivos y la suposición de que la magnitud de salida sigue una distribución normal, es decir, que el Teorema del límite central es aplicable. Realmente el grado de dificultad para hacerlo es bastante alto, comparado con el requerido para realizar una simulación por método Monte-Carlo, utilizando el software adecuado. Dado que la propagación de distribuciones es más general, es recomendable aplicar la ley de propagación de incertidumbres y la simulación Monte-Carlo y comparar los resultados. En el caso de obtenerse resultados similares, se utilizará la ley de propagación de incertidumbres para esa ocasión y para problemas similares en el futuro; en caso contrario, se utilizará la simulación Monte-Carlo.

A la hora de aplicar la ley de propagación de incertidumbres hay que tener en cuenta dos detalles: el primero es que debido a consideraciones de tipo práctico, es mejor que todas las correcciones planteadas en la ecuación modelo sean nulas, lo que acarreará un aumento de la componente de incertidumbre asociada a cada una de ellas; la forma de proceder es la indicada en el punto F.2.4.5 de la referencia [2]. La segunda es que para evitar tratar la unidad  $dB$  como lineal, siendo una unidad logarítmica, habría que convertir todas las componentes de incertidumbre a una que si lo fuera, como por ejemplo indicarlás en tanto por ciento, para una vez obtenida la incertidumbre expandida pasarla otra vez a  $dB$ .

Sobre la calibración real de un sonómetro Clase 1 (según norma UNE-EN 60651) y utilizando sus especificaciones, se han obtenido los siguientes valores de incertidumbre para las componentes relacionadas en el apartado anterior en condiciones de laboratorio ( $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ ) y con repetibilidad despreciable. En la siguiente tabla aparecen recogidos los valores obtenidos:

Componente de incertidumbre	Valor obtenido	Componente de incertidumbre	Valor obtenido	Componente de incertidumbre	Valor obtenido
$u(\bar{L}_S)$	0,000 dB	$u(\delta_{PT})_{SLOW}$	0,058 dB	$u(\delta_{TS})$	0,017 dB
$u(\delta_{PFE})$	0,075 dB	$u(\delta_{CA})$	0,029 dB	$u(\delta_{PS})$	0,052 dB
$u(\delta_{PFA})$	0,150 dB	$u(\delta_{CC})$	0,100 dB	$u(\delta_{CS})$	0,012 dB
$u(\delta_{LS})$	0,050 dB	$u(\delta_{ES})$	0,029 dB	$u(\delta_{PA})$	0,017 dB
$u(\delta_{RMS})$	0,200 dB	$u(\delta_{OB})$	0,115 dB		

**Tabla 1: Componentes de incertidumbre**

Teniendo en cuenta que todos los coeficientes de sensibilidad son unitarios, aplicando la ley de propagación de incertidumbres y presuponiendo el cumplimiento del teorema del límite central, la incertidumbre expandida es 0,62 dB para un nivel de confianza del 95,45%.

Con las funciones de distribución consideradas para los valores de incertidumbre propuestos, si se realiza una simulación por el método Monte-Carlo, el valor obtenido para la incertidumbre expandida es también 0,62 para el mismo nivel de confianza que en el caso de aplicación de la ley de propagación de incertidumbres.

### 4. CONCLUSIONES

Aplicando el criterio de comparación propuesto en el punto 7 de la referencia [3] se puede concluir que, para la función modelo propuesta, la ley de propagación de incertidumbres es adecuada para este problema y problemas similares, ya que la diferencia con la simulación por

el método Monte-Carlo está dentro del intervalo de exactitud de la comparación definido en la forma indicada en el punto indicado, tal y como cabía esperar.

Paralelamente y utilizando la misma función modelo, se han modificado los distintos valores de las componentes de incertidumbre dentro de un intervalo de variación razonable apoyado en la utilización de otros sonómetros (incluso algunos de Clase 2) obteniéndose resultados de comparación dentro de la exactitud fijada. De igual forma se han cambiado las funciones de distribución asignadas, por ejemplo una de tipo arco-seno para la variación de la temperatura, y los resultados de comparación han sido igualmente equivalentes.

También se pueden extraer conclusiones relacionadas con la propia utilización del equipo: para reducir la incertidumbre expandida obtenida, es recomendable utilizar el sonómetro con ponderación temporal *SLOW*, dado que la corrección asociada y su incertidumbre son menores que en el caso de utilizar *FAST*. El efecto del operador introducido en el campo sonoro se debería evitar, para disminuir también la incertidumbre de uso, cuestión que es fácilmente resoluble en la actualidad, ya que la mayoría de los sonómetros permite el registro y su posterior volcado a un ordenador para el procesado de los datos. Por último, en aquellos que presenten filtro corrector, es recomendable activarlo cuando se utiliza la pantalla antiviento, ya que minimiza el efecto de la perturbación originada por éste.

## 5. REFERENCIAS

- [1] Vocabulario Internacional de Términos Fundamentales y Generales de Metrología (VIM). CEM. 2ª Edición en español. 2000.
- [2] Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida. CEM. 2ª Edición en español. 2000.
- [3] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Supplement 1. Numerical Methods for the Propagation of Distributions. March 2004.
- [4] Guide EA-4/02. Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration. EA. December 1999.
- [5] Norma UNE-EN ISO 10012. Sistemas de gestión de las mediciones. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición. Abril 2003.
- [6] Norma UNE-EN 60651. Sonómetros. Junio 1996
- [7] Norma UNE-EN 60651/A1. Sonómetros. Julio 1997
- [8] Norma UNE-EN 60804. Sonómetros integradores-promediadores. Julio 1996
- [9] Norma UNE-EN 60804/A2. Sonómetros integradores-promediadores. Julio 1997
- [10] Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental
- [11] Directiva 98/37/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 junio de 1998 relativa a la aproximación de legislaciones de los Estados miembros sobre máquinas
- [12] Directiva 2000/14/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 8 de mayo de 2000 relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre emisiones sonoras en el entorno debidas a las máquinas de uso al aire libre
- [13] Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. B.O.E. num. 276, 18 de noviembre de 2003.
- [14] Consellería de Medio Ambiente: Decreto 320/2002, de 7 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece las ordenanzas tipo sobre protección contra la contaminación acústica. D.O.G. num. 230, 28 de noviembre de 2002.
- [15] NPL report DQL-AC 002. Uncertainties associated with the use of a sound level meter. April 2004.
- [16] NPL report DQL-AC 006. Measurement uncertainties associated with sound power level determination due to source operating conditions. August 2004.
- [17] Measurement uncertainty and the propagation of distributions. M.G. Cox and P.M. Harris.
- [18] Manual de usuario del sonómetro Brüel & Kjær 2238 Mediator