

Estrategias de medición y valoración de la exposición a ruido (III): ejemplos de aplicación

Strategies for measuring and assessing noise exposure (III): Examples of application
Stratégies pour mesurer et évaluer l'exposition au bruit (III) : exemples d'application

Redactores:

Julia García Ruiz-Bazán
Lda. en Ciencias Químicas

CENTRO NACIONAL DE NUEVAS
TECNOLOGÍAS

Pablo Luna Mendaza
Ldo. en Ciencias Químicas

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES
DE TRABAJO

En el Anexo II (Medición del ruido) del Real Decreto 286/2006, se establece la filosofía en que debe basarse tanto el planteamiento de las mediciones como la comparación de los resultados que se obtienen a través de ellas, con los valores de referencia. En esta Nota Técnica de Prevención, que forma un conjunto con las 950 y 951, se pretende mostrar las posibles estrategias, consideradas técnicamente aceptables, para la medición del ruido, el tratamiento posterior de los resultados y la toma de decisiones para cumplir con el citado real decreto. En esta NTP se muestran casos prácticos y se incluye la bibliografía correspondiente al documento completo.

Vigencia	Actualizada	Observaciones
VÁLIDA		Complementada por las NTP 950 y 951. Junto con las NTP 950 y 951 sustituyen a la NTP 270

1. CONSIDERACIONES PREVIAS

El decibelio es la unidad adimensional empleada para medir niveles de presión acústica. Es el logaritmo decimal de la razón entre el valor eficaz de la presión acústica medida y una presión acústica de referencia, expresadas ambas en Pascales. Se trata por tanto de una unidad (decibelio) que fluctúa en una escala logarítmica con una amplitud de rango de 0 a 140 frente a otra (Pascal) que varía en una escala aritmética normal con una amplitud muchísimo mayor, cuyo rango va de 20 a 200.000.000.

Debido a la diferencia de escalas entre ambos parámetros, pequeñas diferencias en la medición de un ruido expresadas en decibelios, representan un importante aumento de la energía asociada a ese ruido. Pero al mismo tiempo, esa diferencia en la amplitud de ambas escalas supone que las variaciones en decibelios expresadas a nivel de decimales se corresponden con variaciones poco significativas en la presión acústica.

Por ello, mientras en los cálculos de decibelios se puede emplear un decimal, al expresar el resultado final en las mediciones de ruido conviene redondear al número entero que corresponda.

Lo mismo ocurre en lo referente a la expresión de la incertidumbre asociada. No obstante, en los ejemplos de la presente NTP se ha optado por mantener un decimal para hacer notar las ligeras variaciones entre la aplicación de los diferentes factores de cobertura, k .

En lo que respecta a la valoración de los resultados, una vez calculado el nivel de exposición diario equivalente y el intervalo de incertidumbre asociado se debe comparar el resultado con los valores de referencia. La Norma UNE EN ISO 9612:2009 sólo considera un intervalo de confianza unilateral, de manera que lo que compara con el valor de referencia es la suma $L_{Aeq,d} + U$.

Sin embargo, la Guía Técnica del Real Decreto 286/2006 asume un intervalo de confianza bilateral, de forma que se compara el valor de referencia con el intervalo comprendido entre $L_{Aeq,d} - U$ y $L_{Aeq,d} + U$. En este caso, puede darse

la situación contemplada en el Anexo II del Real Decreto 286/2006, en la que el valor de referencia se sitúa dentro del intervalo de incertidumbre, esto es entre los valores $L_{Aeq,d} - U$ y $L_{Aeq,d} + U$. Se puede optar entonces bien por suponer que se supera dicho valor de referencia o bien por incrementar el número de medidas y/o su duración con el objetivo de reducir el intervalo de incertidumbre.

Esta filosofía queda resumida en la tabla 1, extraída del Apéndice 5 de la Guía Técnica del Real Decreto 286/2006.

Si $L_{A,eq,d} - U \leq L_{ref} \leq L_{A,eq,d} + U$	No se puede extraer una conclusión respecto a la superación del valor de referencia. Debe repetirse o ampliarse el muestreo y conseguir mayor precisión. Se puede optar, a efectos de prevención, por considerar que se sobrepasa el valor de referencia, L_{ref}
Si $L_{A,eq,d} + U \leq L_{ref}$	No se sobrepasa el valor de referencia
Si $L_{A,eq,d} - U > L_{ref}$	Se sobrepasa el valor de referencia

Tabla 1. Intervalos de decisión

Es importante señalar en este punto que el intervalo bilateral es el adecuado para conocer y expresar el valor de la exposición a ruido. Sin embargo, para la comparación con los valores de referencia, resulta más práctico emplear el intervalo unilateral superior, que para el mismo valor de coeficiente k , aporta un mayor nivel de confianza.

En los ejemplos de esta parte III de la NTP se reflejan ambos para dejar constancia de las diferencias que puede llegar a haber.

2. EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN DE RUIDO EN LA ESTRATEGIA BASADA EN LA TAREA

Se desea valorar la exposición a ruido en un puesto de trabajo de recuperación de vidrio en el que se realizan las siguientes operaciones:

- transporte con traspalé del material de vidrio
- descarga en tolva de molino con polipasto
- control del molino de triturar
- descargar molienda en container

Se puede optar por preguntar el tiempo de duración de cada tarea pero para mayor seguridad, en esta ocasión se mide el tiempo de duración de las operaciones que se indica en la tabla 2.

TAREA	Tiempo (minutos)		
Transporte con traspalé	10	9	9
Descarga en tolva	7	10	9
Control del molino	30	31	30
Descargar molienda en container	5	7	6

Tabla 2. Tiempo de duración de las tareas

Los trabajadores que ocupan el puesto a estudiar realizan el trabajo en tres turnos durante 8 horas por turno con 30 minutos de descanso, donde el nivel de presión sonora es menor de 72 dBA.

Se calcula que en cada turno realizan 7 ciclos completos del conjunto total de las cuatro tareas identificadas, repitiéndose tras la descarga el transporte con los traspalé vacíos. De este modo, las duraciones totales de las tareas serían las que se indican en la tabla 3.

TAREA	Tiempo (horas)		
Transporte con traspalé	2,33	2,10	2,10
Descarga en tolva	0,82	1,17	1,05
Control del molino	3,50	3,50	3,62
Descargar molienda en container	0,58	0,82	0,72

Tabla 3. Tiempo acumulado de duración de las tareas

Se decide realizar mediciones del $L_{Aeq,T}$ durante las distintas operaciones, diferenciando bien entre ellas para conocer la aportación de las diferentes fuentes de ruido, con dosímetros personales y se obtienen los resultados indicados en la tabla 4.

TAREA	$L_{Aeq,T}$ (dBA)		
Transporte con traspalé	79,0	81,9	80,2
Descarga en tolva	90,6	92,2	90,0
Control del molino	85,8	86,2	85,0
Descargar molienda en container	85,4	80,2	79,5

Tabla 4. Niveles de presión sonora medidos en las tareas

Como la diferencia entre los valores obtenidos al descargar la molienda es demasiado grande se hacen otras tres mediciones aumentando un poco la duración de cada una. Los resultados se indican en la tabla 5.

TAREA	$L_{Aeq,T}$ (dBA)		
Descargar molienda en container	80,1	82,4	80,6

Tabla 5. Mediciones adicionales en la tarea de descarga

Cálculo de la duración de la tarea

Se calculan las medias aritméticas, T , de la duración de cada tarea a partir de los valores obtenidos (Ecuación (1) de la parte II de esta NTP) (tabla 6).

TAREA	T (h)
Transporte con traspalé	2,2
Descarga en tolva	1,0
Control del molino	3,5
Descargar molienda en container	0,7

Tabla 6. Duración media acumulada de cada tarea

Cálculo de los niveles de exposición equivalentes y diarios de cada tarea en dB(A)

(Ecuaciones (4) y (5) de la parte II de esta NTP) (tabla 7).

TAREA	$L_{Aeq,T}$	$L_{Aeq,d}$
Transporte con traspalé	80,5	74,9
Descarga en tolva	91,0	82,1
Control del molino	85,7	82,2
Descargar molienda en container	81,9	71,3

Tabla 7. Niveles de presión sonora medios por tarea

Cálculo del nivel de exposición diario de la jornada habitual

(Ecuación (6) de la parte II de esta NTP)

El $L_{Aeq,d}$ obtenido es de 86 dB(A)

Cálculo de la incertidumbre asociada al nivel de exposición diario obtenido

El cálculo de los coeficientes de sensibilidad se realiza según las ecuaciones (9) y (10) de la parte II de esta NTP, los coeficientes de sensibilidad debidos al muestreo por tareas, C_{1a} , y al cálculo de la duración de la tarea, C_{1b} , para cada una de las cuatro tareas identificadas son los indicados en la tabla 8.

El cálculo de las incertidumbres estándar de cada tarea se efectúa según las ecuaciones (11) y (12) de la parte II de esta NTP, las incertidumbres estándar debidos al

TAREA	C_{1a}	C_{1b}
Transporte con traspalé	0.08	0.17
Descarga en tolva	0.43	1.86
Control del molino	0.44	0.55
Descargar molienda en container	0.04	0.23

Tabla 8. Coeficientes de ponderación C_{1a} y C_{1b} por tarea

muestreo por tareas, u_{1a} , y al cálculo de la duración de la tarea, u_{1b} , para cada una de las tres tareas identificadas se indican en la tabla 9.

TAREA	u_{1a}	u_{1b}
Transporte con traspalé	0,85	0,08
Descarga en tolva	0,66	0,10
Control del molino	0.35	0.04
Descargar molienda en container	0.93	0.07

Tabla 9. Incertidumbre estandar u_{1a} y u_{1b} por tarea

Según la parte I de esta NTP, los valores de la *incertidumbre combinada estándar* debidas al instrumento de medida empleado, u_2 , y a la posición del micrófono, u_3 , en este caso serían: $u_2 = 1,5$ y $u_3 = 1$.

Según la ecuación (8) de la NTP 951 la incertidumbre combinada estándar, u , sería la indicada en la tabla 10.

Resultando $u^2 = 1,44$ y $u = 1,2$

Cálculo de la incertidumbre expandida, U

La Norma UNE EN ISO 9612:2009 aplica un factor de cobertura, k , para un intervalo unilateral de manera que, considerando un nivel de confianza del 95%, quedaría:

$$L_{Aeq,d} + U = 86 + 2,0 \text{ dB(A)}$$

Si aplicamos un factor de cobertura, k , para un intervalo bilateral simétrico, considerando un nivel de confianza del 95%, quedaría:

$$L_{Aeq,d} \pm U = 86 \pm 2,3 \text{ dB(A)}$$

Al comparar con los valores de referencia del Real Decreto 286/2006, en el primer caso el nivel de exposición diario equivalente es menor o igual que 88dB(A) en el 95% de los casos, de manera que se supera el nivel superior de exposición, sin lugar a dudas.

En el segundo caso, tendríamos un nivel de exposición diario equivalente que oscilaría entre los valores de 83,7 y de 88,3 dB(A). Siguiendo con la filosofía de la Guía Técnica, a efectos de prevención, se optaría por considerar que se supera el nivel superior de exposición.

3. EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN DE RUIDO EN LA ESTRATEGIA BASADA EN EL PUESTO DE TRABAJO (FUNCIÓN)

Se trata de una pequeña empresa de artes gráficas con varios equipos de impresión offset en una misma nave. Los 5 trabajadores son considerados como un Grupo de Exposición Homogénea, desarrollando todos ellos su trabajo en diferentes puntos de la nave y estando expuestos de manera similar a las máquinas en funcionamiento. Realizan jornadas de 8 horas con media hora de descanso en una zona donde el nivel de ruido se estima inferior a 70 dB(A). Se desea valorar la exposición al ruido de los trabajadores.

Según la Norma UNE EN ISO 9612:2009, la duración mínima acumulada de la medición para un GEH de 5 trabajadores es de 5 horas. Por lo tanto el plan de medición consiste en medir 1 hora a cada uno de los trabajadores de la empresa. Se emplean dosímetros personales.

Se obtienen los siguientes valores de nivel de exposición equivalente indicados en la tabla 11.

$L_{Aeq,T}$ (dBA)	85,5	84,8	86,2	83,9	82,9

Tabla 11. Mediciones sobre un GHE

Para el cálculo del nivel de exposición equivalente y diario del puesto de trabajo en dB(A) se emplean las ecuaciones (14) y (15) de la NTP 951, obteniéndose $L_{Aeq,Te}$ (dBA) = 84,8 y $L_{Aeq,d}$ (dBA) = 84,5.

Cálculo de la incertidumbre asociada al nivel de exposición diario obtenido

Según la ecuación (17) de la NTP 951, se calcula el valor de la *incertidumbre debida al muestreo basado en el puesto de trabajo (función)*, u_1 , para luego obtener el valor del factor $c_1 * u_1$, en la tabla 3 de dicha NTP¹.

$$u_1 = 1,30$$

$$c_1 * u_1 \approx 1$$

1. En abril de 2011 se publicó un erratum de la norma UNE EN ISO 9612:2009 consistente en un archivo Excel que permite calcular la incertidumbre de medida del ruido y que aporta este factor $c_1 * u_1$, sin necesidad de recurrir a la tabla 3 de la parte II de esta NTP y aproximar. El valor en este caso es de 0,94.

TAREA	$(u_{1a}^2 + u_2^2 + u_3^2)$	$c_{1a}^2 * (u_{1a}^2 + u_2^2 + u_3^2)$	$c_{1b} * u_{1b}$
Transporte con traspalé	3,97	0,03	0,01
Descarga en tolva	3,69	0,69	0,19
Control del molino	3,33	0,67	0,02
Descargar molienda en container	4,12	0,01	0,02

Tabla 10. Factores para el cálculo de la incertidumbre combinada

Según la ecuación (16) de la NTP 951, se calcula el valor de la *incertidumbre combinada estándar*, u , teniendo en cuenta que en esta estrategia $c_2 = c_3 = 1$, obteniéndose:

$$u^2 = 4,13 \quad u = 2$$

Para el cálculo de la *incertidumbre expandida*, U la norma UNE EN ISO 9612:2009 aplica un factor de cobertura, k , para un intervalo unilateral de manera que, considerando un nivel de confianza del 95%, quedaría:

$$L_{Aeq,d} + U = 85 + 3,3 \text{ dB(A)}$$

Si aplicamos un factor de cobertura, k , para un intervalo bilateral simétrico, considerando un nivel de confianza del 95%, quedaría:

$$L_{Aeq,d} \pm U = 85 \pm 4 \text{ dB(A)}$$

En el primer caso, al comparar con los valores de referencia del Real Decreto 286/2006 asumiríamos como nivel de exposición diario equivalente muy probable un valor de 88 dB(A) aproximadamente, de manera que se supera el nivel superior de exposición, sin lugar a dudas.

En el segundo caso, el nivel de exposición diario equivalente oscilaría entre los valores de 81 y 89 dB(A). Siguiendo con la filosofía de la Guía, a efectos de prevención, se optaría por considerar que se supera el nivel superior de exposición.

4. EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN DE RUIDO EN LA ESTRATEGIA BASADA EN LA JORNADA COMPLETA

Se desea valorar la exposición al ruido de los trabajadores del departamento de mantenimiento de una industria. Se trata de un equipo de 6 trabajadores que realizan labores a demanda y muy diversas a lo largo de su jornada laboral. Trabajan en turnos de 8 horas, por las mañanas y por las tardes.

Tras analizar las condiciones de trabajo se destacan las siguientes tareas:

- Arreglos en despachos de oficinas de la industria
- Arreglos con radial en el taller
- Sala de calderas
- Transporte con carretillas elevadoras
- Mantenimiento de instalaciones (cambio de luminarias, electricidad, etc)

Se deben muestrear tres jornadas de trabajo diferentes. Por lo tanto, el plan de medición consiste en medir a tres trabajadores: dos en turno de mañana y uno de tarde durante 7,5 horas, que es lo que se considera que dura la jornada efectiva de trabajo. Se emplean dosímetros personales.

Se obtienen los siguientes valores de nivel de exposición equivalente:

$L_{Aeq,T}$ (dBA)	83,4	81,5	78,9
-------------------	------	------	------

Como los resultados obtenidos difieren en más de 3 dB(A) se miden dos jornadas más, dos trabajadores, uno en turno de mañana y otro de tarde.

Se obtienen los siguientes valores de nivel de exposición equivalente:

$L_{Aeq,T}$ (dBA)	82,8	80,4
-------------------	------	------

Cálculo del nivel de exposición equivalente y diario del puesto de trabajo en dB(A)

(Ecuaciones (14) y (15) de la NTP 951)

$L_{Aeq,Te}$ (dBA)	81,7
$L_{Aeq,d}$ (dBA)	81,4

Cálculo de la incertidumbre asociada al nivel de exposición diario obtenido

Para el cálculo de la *incertidumbre estándar debida al muestreo basado en la jornada completa* se siguen los mismos pasos que en el caso del muestreo basado en el puesto de trabajo (función). Así que según la ecuación (17) de la NTP 951, se calcula el valor de la incertidumbre debida al muestreo, u_1 , para luego obtener el valor del factor $c_1 * u_1$ en la tabla 3 de dicha NTP².

$$u_1 = 1,82$$

$$c_1 * u_1 \approx 1,5$$

Para el cálculo de la *incertidumbre combinada estándar*, según la ecuación (16) de la NTP 951, se calcula el valor de la incertidumbre combinada estándar, u , teniendo en cuenta que en esta estrategia $c_2 = c_3 = 1$.

$$u = 2,3$$

Para el cálculo de la *incertidumbre expandida*, U , la norma UNE EN ISO 9612:2009 aplica un factor de cobertura, k , para un intervalo unilateral de manera que, considerando un nivel de confianza del 95%, quedaría:

$$L_{Aeq,d} + U = 81 + 3,8 \text{ dB(A)}$$

Si aplicamos un factor de cobertura, k , para un intervalo bilateral simétrico, considerando un nivel de confianza del 95%, quedaría:

$$L_{Aeq,d} \pm U = 81 \pm 4,5 \text{ dB(A)}$$

En el primer caso, para comparar con los valores de referencia del Real Decreto 286/2006 asumiríamos como nivel de exposición diario equivalente un valor máximo de 84.8 dB(A), de manera que no se supera el nivel superior de exposición. Siguiendo con la filosofía del Anexo II del Real Decreto 286/2006, se optaría tomar más medidas para intentar estrechar el intervalo de incertidumbre y así quedar por debajo del nivel superior de exposición con mayor nivel de seguridad.

En el segundo caso, tendríamos un nivel de exposición diario equivalente que oscilaría entre los valores de 76,5 y de 85,5 dB(A). Siguiendo con la filosofía de la Guía Técnica, a efectos de prevención, se optaría tomar más medidas para intentar estrechar el intervalo de incertidumbre y así quedar por debajo del nivel superior de exposición con mayor nivel de seguridad.

2. En Abril de 2011 se publicó un erratum de la Norma UNE EN ISO 9612:2009 consistente en un archivo Excel que permite calcular la incertidumbre de medida del ruido y que aporta este factor $c_1 * u$, sin necesidad de recurrir a la tabla 3 de la parte II de esta NTP y aproximar. El valor en este caso es de 1,49.

BIBLIOGRAFÍA

CANETTO, P., THIÉRY, L.

Évaluer et mesurer l'exposition professionnelle au bruit.

INRS. 2009:77.

GRZEBYK, M., THIÉRY, L.

Confidence Intervals for the Mean of Sound Exposure Levels.

AIHA Journal. 2003;64(5):640-645.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO

Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición de los trabajadores al ruido. 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO

Calculadores para la prevención. 2011.

Disponible en: <http://calculadores.insht.es:86/Incertidumbredelruido/Introducción.aspx>.

MAUE, JH.

Messunsicherheit bei Lärmmessungen an Arbeitsplätzen nach ISO 9612.

In: Deutsche Jahrestagung für Akustik, Dresden.; 2008:2.

NORDTEST METHOD NT ACOU 114.

Measurement of occupational noise exposure of workers: Part I: Survey method. 2003:12.

NORDTEST METHOD NT ACOU 115.

Measurement of occupational noise exposure of workers: Part II: Engineering method. 2003:19.

OIML. G 1-100

Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement. 2008:120.

NORMA UNE EN ISO 9612

Acústica - Determinación de la exposición al ruido en el trabajo – Método de ingeniería. 2009:51.

NORMA UNE EN ISO 9612:2009 ERRATUM

Acústica - Determinación de la exposición al ruido en el trabajo – Método de ingeniería. 2011:1.