



Metodología de la evaluación sonora de un puesto de trabajo

JESÚS VELASCO ABÁSOLA
Licenciado en Ciencias Químicas.
Técnico de Prevención.
FREMAP, Mutua de Accidentes
de Trabajo (Bilbao).

SUMARIO

Uno de los problemas que se han planteado siempre en las evaluaciones higiénicas es el del diseño de una estrategia de muestreo, de forma que el resultado final de la evaluación sea representativo de las condiciones reales soportadas por el trabajador.

El resultado de una evaluación será tanto más representativo cuanto menor sea el error cometido en la misma. Debe tenerse en cuenta que la existencia del error es inherente a cualquier medición, y, sin embargo, en la práctica, se tiende a olvidar la existencia de errores y dar el resultado obtenido en la evaluación como nivel real de la exposición.

El error en una medición depende del error ligado a los aparatos y del error de la estimación de la medición.

Para valorar el error de la medición es necesario seguir un método estadístico adecuado.

En el año 1989 se aprobó el Real Decreto 1.316/1989 sobre Protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo, que supuso un importante desarrollo del cuerpo legal español en el campo de la higiene industrial, ya que si bien no es la primera legislación derivada de la U. E., sí afecta a una gran parte de la población laboral.

Como consecuencia de este Real Decreto, y a partir de 1990, se desarrolló una gran cantidad de mediciones, cuyo objetivo fue la evaluación y clasificación de los puestos de trabajo, mediciones que en muchas empresas fueron repetidas de forma periódica en cumplimiento del Real Decreto citado.

Palabras clave: Evaluación sonora, exposición al ruido, errores de medición.

Uno de los problemas que se ha planteado siempre en las evaluaciones higiénicas es el del diseño de una estrategia de muestreo, de forma que el resultado final de la evaluación sea representativo de las condiciones reales soportadas por el trabajador.

ERRORES DE LAS MEDICIONES

El resultado de una evaluación será tanto más representativo de una situación real cuanto menor sea el error cometido en la misma. Debe tenerse en cuenta que la existencia de error es inherente a cualquier medición, y, sin embargo, en la práctica, se tiende a olvidar la existencia de errores y dar el resultado obtenido en la evaluación como nivel real de la exposición.

El Real Decreto, en su artículo 4.º, dice: «Las mediciones de ruido deberán ser representativas de las condiciones de exposición...», y nos remite a los Anexos 2 y 3 del mismo Real Decreto.

En dicho artículo, y atendiendo a la existencia de trabajos de gran variabilidad, se contempla la posibilidad de evaluar una situación de exposición laboral al ruido en función de la exposición semanal, en lugar de la diaria.

En el Anexo 3 se hace referencia a los equipos que pueden utilizarse para la medición de ruido y las características que deben cumplir estos equipos de medición para que sean válidos los resultados obtenidos con ellos.

Básicamente, se les exige el cumplimiento de unas normas, como son la CEI 651 y CEI 804, y de acuerdo al grado de fiabilidad en el cumplimiento de estas normas y en los resultados de la medición, los instrumentos de medida quedan clasificados en los tipos 0, 1, 2 y 3.

El Anexo 2 indica la exigencia de calibración de los equipos antes y después de toda medición, lo cual previene de errores en la respuesta de los aparatos frente al ruido y, con ello, se elimina una posible fuente de error.

Otro error puede ser debido a una situación equivocada de los equipos en el punto de medición, que no coincida con el espacio realmente ocupado por el trabajador. Para minimizar este error el Anexo 2 nos indica cuál deberá ser el punto de medición, y en cualquier caso la utilización del dosímetro portado por el trabajador evita errores en cuanto a la situación espacial de los equipos.

Finalmente, el apartado 4 del Anexo 2 indica que «... el número, la duración y el momento de realización de las mediciones tendrán que elegirse te-

niendo en cuenta que el objetivo básico de éstas es el de posibilitar la toma de decisión sobre el tipo de actuación preventiva que deberá emprenderse...», y «... cuando uno de los límites o niveles establecidos se sitúe dentro del margen de error de las mediciones podrá optarse: a) por suponer que se supera dicho límite, y b) por incrementar el número de las mediciones y/o su duración, hasta conseguir la necesaria reducción del margen de error correspondiente».

CLASIFICACIÓN DE LOS PUESTOS SEGÚN EL REAL DECRETO

Antes de continuar con el tema, y prestando atención a lo citado en el párrafo anterior, es necesario destacar que el objetivo del Real Decreto no es obtener un resultado totalmente exacto y sin ningún tipo de error, el objetivo es la protección auditiva de los trabajadores, y la medición y evaluación sólo constituyen un medio para la clasificación de los puestos de trabajo en niveles, con el fin de determinar las acciones preventivas necesarias. Por tanto, el punto final de la evaluación higiénica de ruido no es

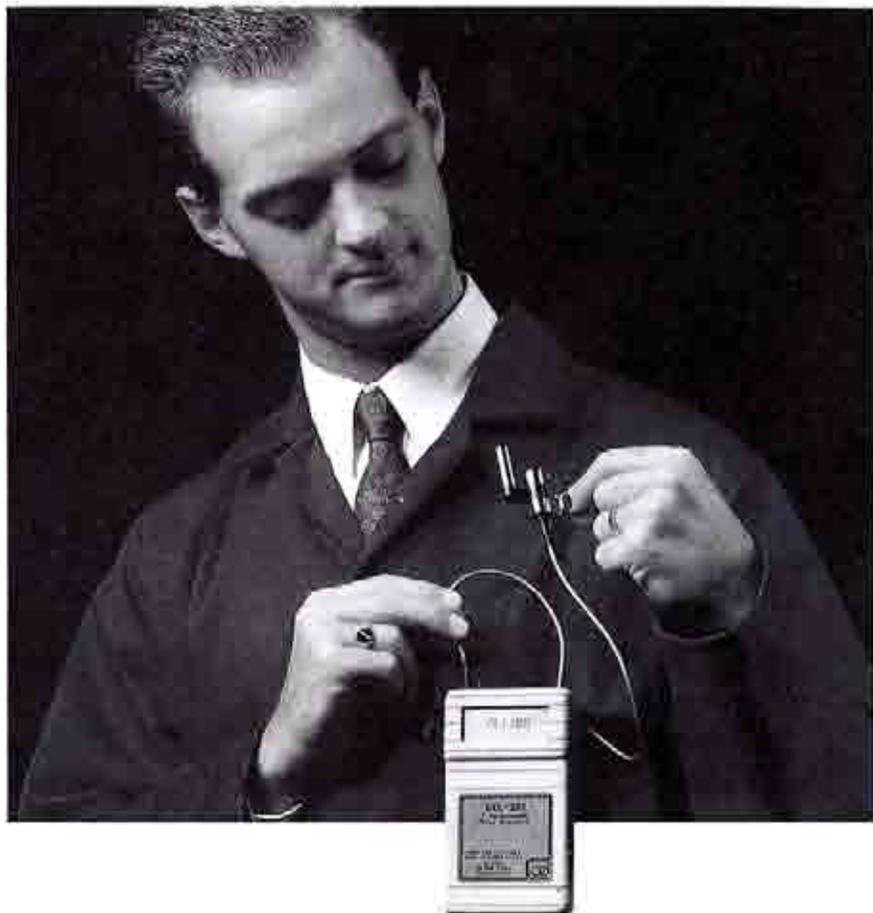
tanto dar una cifra exacta, sino determinar correctamente el nivel de exposición del trabajador para que, en función de ello, aplicarle lo indicado en los artículos 5.º, 6.º y 7.º del Real Decreto.

Como ejemplo de lo anterior se puede indicar que, a efectos del Real Decreto, implica exactamente lo mismo cualquier puesto que sobrepase los 90 dB (A) de nivel continuo equivalente diario ponderado A, tanto sea 91 dB (A) como 100 dB (A).

Sin embargo, hay puntos en los que la estimación de un nivel continuo equivalente diario puede resultar de una mayor exigencia, dado que un nivel continuo equivalente diario de 89 dB (A) implica una categorización y unas consecuencias totalmente distintas de un nivel continuo equivalente diario de 91 dB (A).

El Real Decreto establece tres niveles: (L_{Aeqd}) de 80, 85 y 90 dB (A)

El clasificar un puesto como inferior a 80 dB (A) de L_{Aeqd} implica excluirlo de la aplicación del Real Decreto, en tanto que clasificarlo con un L_{Aeqd} superior a 80 dB (A) implica un seguimiento del ruido existente en el puesto de trabajo mediante una evaluación



Colocación de un dosímetro.

Existe en la actualidad un proyecto de Directiva (93/C77/02) sobre las disposiciones mínimas de seguridad y salud, relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos.

periódica, un control de la capacidad auditiva del trabajador mediante reconocimientos médicos periódicos y un suministro al trabajador de equipos de protección individual, si lo solicita. Cada una de las tres medidas suponen un costo económico para el empresario.

El superar el L_{Aeqd} de 85 dB (A) sólo implica un ligero endurecimiento de las medidas anteriores, en cuanto a los plazos de los controles periódicos, y la obligatoriedad de dotación de equipos de protección individual a todos los trabajadores afectados.

El superar el L_{Aeqd} de 90 dB (A) implica un cambio significativo, ya que a partir de este nivel el Real Decreto obliga al desarrollo de un programa de medidas técnicas, destinado a disminuir la generación o propagación del ruido, u organizativas, encaminadas a reducir la exposición de los trabajadores al ruido, lo cual puede resultar un importante desembolso económico, según cual sea la solución técnicamente posible.

En la actualidad existe un proyecto de Directiva (93/C77/02) sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud, relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos. Es una Directiva particular de la 89/391, que previsiblemente entrará en vigor antes del 31 de diciembre de 1995.

En este proyecto se contempla el límite para tomar medidas de control en 85 dB (A) y establece un número límite de riesgo mayor en 105 dB (A), cuya superación implica una declaración de las actividades ante la autoridad competente.

Por tanto, existen unas zonas críticas en las que la exactitud en el resultado de la medición puede ser importante y la realización de unas mediciones más exhaustivas sean necesarias a pesar de su mayor coste económico, y otras zonas alejadas de los niveles límites, en los cuales se puede admitir una exactitud menor, ya que los límites de fiabilidad establecidos no implican el cambio de zona. Por tanto, será necesario, para cada puesto concreto, la estrategia de muestreo en función del nivel existente, la definición necesaria y la elevación del coste económico que puede resultar de una medición más exhaustiva.

CLASES DE RUIDOS. EQUIPOS

Aunque en el Real Decreto aparecen número y duración de las mediciones, no define nada al respecto ni marca una norma, por lo que, en lo que sigue y para desarrollar un tratamiento estadístico que permita objetivar los errores cometidos en la medición, se recogen unos criterios basados en la norma francesa NF S 31-084.

Como primer paso, se debe establecer el tipo de ruido que hay que evaluar. Dado que el Real Decreto diferencia ruido estable, el cual se puede medir mediante un sonómetro, y los restantes tipos de ruido, «ruido fluctuante», los mismos deberán, necesariamente, medirse con sonómetro integrador y/o con dosímetro.

Debido a que los ruidos estables son poco frecuentes en el ambiente laboral y que *a priori* es bastante difícil saber si un ruido va a ser estable o no, en la práctica las mediciones se efectúan bien con sonómetro integrador, bien con dosímetro.

El sonómetro integrador será adecuado para aquellos puestos en los que, siendo el ruido fluctuante, lo podemos dividir en ciclos o periodos discretos representativos de un trabajo.

Los dosímetros pueden ser utilizados en todas las circunstancias, si bien parecen más adecuados para puestos de trabajo con ruido fluctuante aleatorio o puestos móviles.

En cualquier caso, dependiendo del tipo (1, 2, 3), así será el error cometido.



Sonómetro integrador.

NÚMERO Y DURACIÓN DE LAS MEDICIONES

Para medir un ruido estable utilizando un sonómetro se deben efectuar varias mediciones separadas entre sí (mínimo de 15 segundos). Se efectuarán tres mediciones si el rango de variación es menor de 2 dB (A), y un mínimo de 5, si la variación se encuentra entre 2 y 5 dB (A).

Si durante la medición la variación es mayor de 5 dB (A), el ruido no es estable y no puede usarse el sonómetro.

El resultado final será el valor promedio de todas las mediciones efectuadas.

Para ruidos fluctuantes periódicos, el equipo utilizado será un sonómetro integrador, y los periodos de cada medición deberán abarcar uno o varios de estos periodos completos.

Si el rango de niveles obtenidos en las mediciones es inferior o igual a 2

El resultado de una evaluación será tanto más representativo de una situación real cuanto menor sea el error cometido en la misma.



Trabajador utilizando protectores auditivos del tipo orejera.

dB (A), el número de mediciones puede limitarse a tres. Para un rango entre 2 y 5 dB (A), el número mínimo de mediciones será de cinco, y para un rango superior se deberá efectuar un desarrollo que se explicará a continuación, en el apartado que hace referencia al «Método de estimación del L_{AeqT} » (Cuadro 1).

CUADRO 1

RUIDO ESTABLE

$$\left. \begin{array}{l} \Delta \text{ dB} < 2 \quad n = 3 \\ 2 < \Delta \text{ dB} < 5 \quad n = 5 \end{array} \right\} \bar{L}_F = L_{AeqT}$$

5 < Δ dB No válido.

RUIDO FLUCTUANTE
(Ciclos enteros)

$$\left. \begin{array}{l} \Delta \text{ dB} < 2 \quad n = 3 \\ 2 < \Delta \text{ dB} < 5 \quad n = 5 \end{array} \right\} \bar{L}_{Aeq} = L_{AeqT}$$

5 < Δ dB Método estadístico.
Jornada completa.

Para ruidos fluctuantes aleatorios se puede utilizar tanto un sonómetro integrador como un dosímetro, según las disponibilidades y la conveniencia de la persona que sea responsable de la evaluación.

En cuanto a los intervalos de medición, se puede recurrir a tomar un periodo de muestreo que cubra la totalidad del periodo de definición, normalmente la jornada laboral, o bien efectuar varias mediciones, distribuidas de forma aleatoria dentro del periodo de definición. En este tipo de medición, el error cometido va en función del número y duración de las mediciones.

PUESTOS A EVALUAR

Para reducir el número de mediciones necesarias, cuando varios trabajadores efectúen tareas similares, la norma admite, como posible, escoger un grupo representativo del conjunto y estimar que todo él está sometido al mismo nivel de exposición que el nivel medio para el equipo seleccionado. Lógicamente, el grupo representativo debe seleccionarse de forma lo más objetiva posible.

ERRORES DE LOS RESULTADOS

El error en un resultado obtenido en una medición depende del error ligado a los aparatos y del error de la estimación de la medición.

Respecto al error de los aparatos, cuando la medición se realiza con un equipo tipo 1, se considera que tiene un error despreciable; cuando la me-

dicación se realiza con un equipo tipo 2, el error cometido se puede estimar en +1 dB.

Respecto al error en la estimación de la medición se sigue un método estadístico adecuado para obtener un nivel de confianza del 95 por 100.

MÉTODO DE ESTIMACIÓN DEL L_{AeqT} MEDIANTE MUESTREO

El objetivo de este método es estimar, partiendo de un número limitado de muestras de una duración temporal determinada, el valor más probable del L_{AeqT} de un puesto de trabajo, así como establecer el intervalo de confianza en torno al valor obtenido.

La estimación del L_{AeqT} se obtiene mediante la fórmula:

$$L_{AeqT} = 10 \log \left[\frac{1}{t} \sum_{i=1}^n L_i \cdot 10^{0.1(t-t_i)} \right]$$

dada en el Real Decreto.

El error del muestreo viene dado según la fórmula:

$$e = \frac{t \cdot S_t}{\sqrt{n}}$$

donde:

t es la t de student, y se obtiene de la tabla correspondiente para un nivel de significación del 5 por 100 y n-1 grados de libertad.



Tacha con paneles absorbentes del nivel sonoro.

S_i : Desviación estándar de la muestra.

n : Tamaño de la muestra.

El margen de error total de una medida se obtiene como suma del error ligado al aparato y a la medición.

CLASIFICACIÓN DE LAS MEDICIONES

En función de la precisión de las mediciones, la norma establece tres clases de medición:

- Medición de referencia o de clase 1, con un error máximo permitido de 1,5 dB.
- Medición pericial o de clase 2, con un error permitido entre 1,5 y 3 dB.
- Medición de control o de clase 3, con un error permitido entre 3 y 6 dB.

Por tanto, en función del tipo de medición que se quiera realizar, el error permitido será mayor o menor, y de aquí nos vendrá definido el número y duración de las mediciones.

En el Real Decreto no se define el tipo de medición necesario tanto para la evaluación higiénica inicial como para las evaluaciones higiénicas periódicas, salvo lo indicado en su Anexo 2.4, que ya se ha comentado; no obstante, si parece lógico que la evaluación higiénica inicial (art. 3.º, 1,

1.º y 2.º) que debe servir de referencia para clasificar el puesto, sea una medición de clase 1, en tanto que las evaluaciones periódicas (art. 3.º, 2, 3.º) podrán ser de clase 2, ya que al ser evaluaciones de control la exactitud requerida es menor, si no ha habido cambios en el puesto evaluado. El error permitido en las mediciones de clase 3 es excesivo para ser utilizado en la aplicación del Real Decreto.

COMPARACIÓN CON LOS LÍMITES

- Si $L_{Aeqd} + \epsilon < L_{im}$, el resultado está por debajo del límite.
- Si $L_{Aeqd} - \epsilon > L_{im}$, el resultado supera al límite.
- Si $L_{Aeqd} - \epsilon < L_{im} < L_{Aeqd} + \epsilon$, estadísticamente no se puede obtener una conclusión, por lo que es necesario ampliar el número o duración de las mediciones, o bien, como indica el Real Decreto, se puede admitir que se supera el límite, Anexo 2.4.

ACTUACIONES PARA MINIMIZAR EL ERROR

Para reducir la incertidumbre se debe partir del estudio de los errores cometidos; por una parte, el error debido al equipo sólo puede reducirse mediante la selección de un equipo del tipo más fiable; es decir, trabajan-

Debido a que los ruidos estables son poco frecuentes en el ambiente laboral, en la práctica las mediciones se efectúan con sonómetro integrador o con dosímetro.

do con equipos de tipo 1, para los cuales el error es cero.

Para reducir el error cometido en la medición, si se tiene en cuenta la fórmula de cálculo:

$$\epsilon = \frac{t \cdot S_i}{\sqrt{n}}$$

y asumiendo un grado de significación determinado, lo que nos da un valor de t especificado en tablas y constante, sólo nos permite actuar sobre la desviación estándar y sobre el número de muestras tomado, y será aumentando el número de muestras como se reducirá el margen de error.

No obstante, al trabajar con muestras que a su vez son valores promedio, su valor se acercará o alejará del valor promedio cuanto mayor o menor sea su duración. Si se divide cada muestra en dos más pequeñas, una de ellas nos dará un valor mayor y otra menor que el promedio de la muestra total; por tanto, ocurre que al aumentar el número de muestras aumenta también la dispersión de los resultados, hecho éste que será tanto más significativo cuanto más aleatorio sea el ruido medido, por lo que cuanto más variable sea el ruido medido tanto mayor deberá ser el número de mediciones efectuado y el tiempo empleado en la medición, llegando, en casos extremos, a ser necesaria la medición durante toda la jornada laboral.

Existe una serie de actividades la-

borales para las cuales la medición de un día tampoco será representativa del ruido soportado, dada la gran variabilidad que presentan a lo largo de los días; ejemplos típicos pueden resultar los trabajadores de mantenimiento o de calderería. Para la correcta evaluación de estos puestos se precisaría una larga serie de mediciones aleatorias, y posiblemente el esfuerzo técnico y económico realizado no justifique el grado de exactitud conseguido en las mediciones, siendo más ajustado para estos puestos asumir que se supera el límite más desfavorable y conseguir una mejor definición, a medida que se vayan acumulando datos como consecuencia de las evaluaciones periódicas.

EJEMPLOS DE EVALUACIÓN

A continuación, se recogen en el Cuadro 2 una serie de puestos estudiados a partir de la historia del ruido, recogida en puestos reales de trabajo.

En el puesto 1, el nivel sonoro es tan elevado que se hace innecesario cualquier estudio estadístico, ya que en cualquier situación el límite inferior es mayor de 90 dB (A).

El puesto 2 es de difícil evaluación, ya que está situado muy próximo al límite y difícilmente se podrá reducir el error de forma satisfactoria, por lo que aceptar que sobrepasa el límite puede resultar la medida más acertada (Cuadro 3).

El puesto 3, cercano al límite, en

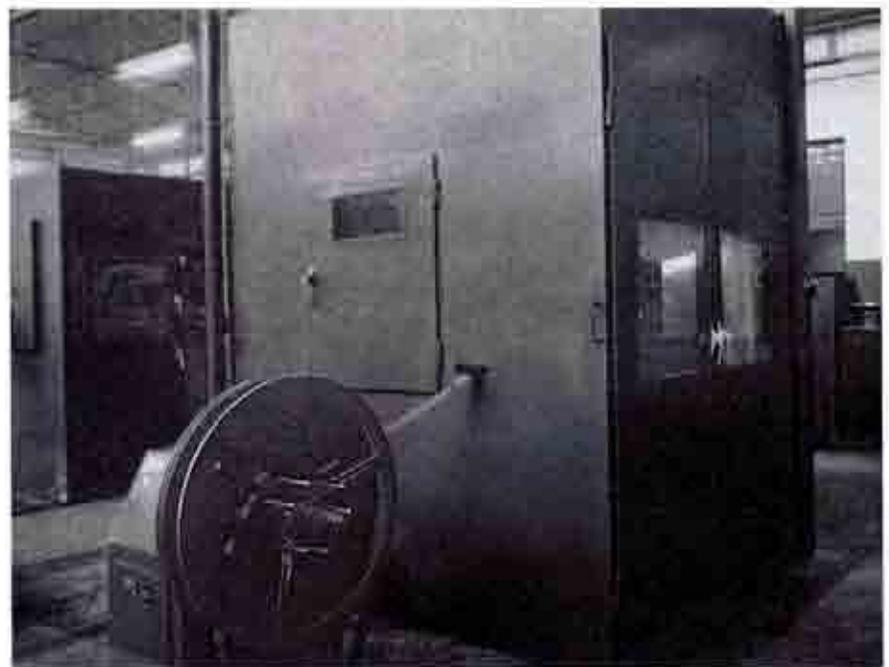
CUADRO 2

	Valor	5	10	E5	E10	Val. 5 máx. y mín.	Val. 10 máx. y mín.
Puesto 1	100,7	5,85	5,94	6,2	4,2	105,8 94,5	104,9 96,5
Puesto 2	84,8	2,72	2,85	2,9	2,0	87,7 81,9	86,8 82,8
Puesto 3	91,2	2,38	2,49	2,5	1,9	93,7 88,7	93,1 89,3
Puesto 4	83,8	1,61	3,3	1,6	2,5	95,4 92,2	96,3 91,3
Puesto 5	87,5	1,57	2,24	1,9	1,6	89,4 85,6	89,1 85,9

CUADRO 3

	Valor	5	10	20	E5	E10	E20	Val. máx. y mín.
Puesto 3	91,2	2,38	2,49	3,4	2,5	1,9	1,6	92,8 89,6
Puesto 4	83,8	1,61	3,3	3,80	1,6	2,5	1,8	95,6 92,0
Puesto 5	87,5	1,57	2,24	2,73	1,9	1,6	1,4	88,9 86,1

El error debido al equipo sólo puede reducirse mediante la selección de un equipo del tipo más fiable, es decir, del tipo 1, para los cuales el error es cero.



Máquinas protegidas con cerramientos acústicos.



Bases anhybratorias para máquinas ruidosas.

principio se podría pensar en una situación similar a la anterior, sin embargo, al elevar el número de mediciones a 20 se llega a un límite inferior muy próximo a aquel en que la desviación es menor que en el caso anterior; tomando un número ligeramente superior de mediciones se obtendrá una perfecta definición del puesto.

En el puesto 4, al aumentar el número de mediciones se produce un importante aumento en la disposición de los resultados, ello es debido a que corresponderá a un puesto de trabajo con niveles sonoros muy fluctuantes. Para este puesto no parece aconsejable el método estadístico, siendo más aconsejable recurrir en este caso a una medición de larga duración, durante toda la jornada, mediante la utilización de un dosímetro.

El puesto 5 se encuentra perfectamente definido con sólo cinco resul-

Uno de los métodos seguidos para la reducción de los errores es el tratamiento estadístico de los resultados, según métodos generalmente aceptados.

tados, y el aumentar el número de mediciones, aunque nos reduce el margen de error cometido, no nos da una mayor información a la hora de clasificar el puesto de trabajo, por lo que el aumento de las mediciones genera un aumento de trabajo, pero no mejora los resultados de la evaluación.

CONCLUSIÓN

Al efectuar una evaluación del nivel sonoro de un puesto de trabajo se debe tener presente que en toda medición se cometerán errores en la apreciación de los resultados, y uno de los objetivos del técnico que realice la evaluación será siempre minimizar estos errores.

Uno de los métodos seguidos para la reducción de los errores es el tratamiento estadístico de los resultados según métodos aceptados.

La reducción de los márgenes de error por métodos estadísticos suele llevar consigo un aumento del número de las mediciones, lo cual también representa un aumento del coste de la evaluación y del tiempo necesario para su realización.

Dado que el objetivo final de la evaluación es clasificar el puesto de trabajo, según el Real Decreto se debe optimizar el número de mediciones a este objetivo, sin aumentar innecesariamente el número de las mismas, dado que ello no repercute en una mejora de la definición.

BIBLIOGRAFÍA

- KREYSZIG: *Estadística Matemática*. LIMUSA.
- HEMINGWAY CHRISTENSEN: *Sources of Error in Noise Dose Measurements*.
- S. ATZEVI: *Impostazione metodologica della misura dell'esposizione personale al rumore*. Med. Lav., 1992.
- Norma ISO-1990: -Determination of Occupational noise exposure and estimation of noise induced hearing impairments-
- Norma CEI 651.
- Norma CEI 804.
- Norma NF S 31-084.