Bmmmm
Rrrrrrrrrr

# Valoración de la exposición a ruido en puestos de trabajo con niveles sonoros muy variables.

***Mario Martín Bachiller***
*Ingeniero Técnico Industrial*
*Técnico superior en Prevención*
*de Ibermutuamur*

***Correspondencia:***
*Condesa de Venadito, 1-3ª*
*28027 - Madrid*

## Introducción.

La entrada en vigor en el año 1.989 del R.D. 1316/89 "sobre protección de los trabajadores contra el ruido" supuso un paso importante en nuestro país en lo que se refiere a la lucha contra dicho agente contaminante en el ambiente laboral. Dicha normativa no solo se limita al establecimiento de unos límites, como sucedía con la legislación anterior, sino que además obliga a la implantación de un programa de conservación auditiva en cada empresa, graduando el mismo en función de el riesgo por exposición a ruido que se dé en sus trabajadores e indicando además las pautas para llevarlo a cabo.

El conocimiento de la dosis de exposición a ruido de cada trabajador es el elemento fundamental, a partir del cual, se derivan todas las actuaciones preventivas llevar a cabo, que en determinados casos, pueden suponer un esfuerzo importante (tanto técnica como económicamente) para la empresa, sobre todo, cuando se dan dosis diarias de ruido superiores a los 90 dB(A) que es la dosis límite a partir de la cual, la normativa referida obliga taxatívamente a mejorar las condiciones de trabajo.(Fig. 1).

Por otra parte, el R. D. 1316/89 recoge una serie de indicaciones sobre el proceso de evaluación que se ha de efectuar para obtener la mencionada dosis de ruido, siempre basándose en la medición de los niveles sonoros existentes y del tiempo de exposición a los mismos, no obstante, dichas indicaciones únicamente son directamente aplicables para actividades en las que los ciclos de trabajo están bien definidos y son repetitivos, así como, los niveles sonoros que se producen no presentan gran variabilidad.

## Resumen en Castellano:

Se expone un método estadístico para la valoración de la exposición a ruido, en puestos de trabajo con niveles sonoros muy variables, a partir de los resultados obtenidos en mediciones de larga duración efectuadas con dosímetros de ruido.
Dicho método fue puesto en práctica para la valoración de diversos colectivos de trabajadores de la industria aeronáutica habiéndose obtenido resultados repro-ducibles.

## Resumen en Inglés:

We have developed a statistic method, for the noise exposure asessment workplaces whit many fulctuant noise levels, from the results of long-term noise dosemeter measurements. This method has been put in practice in working populations of the aircraft industry getting satisfactory results.

**PALABRAS CLAVE**

**Niveles sonoros muy variables**

**Método de valoración estadístico**

**Dosis diaria de exposición a ruido**

**Estimador estadístico**

**Distribución normal teórica**

**Media logarítmica**

**Industria aeronáutica**

En la práctica, es frecuente encontrarse con puestos de trabajo en los que las anteriores hipótesis no se dan (por que los operarios no ocupan un lugar fijo de trabajo, los focos sonoros varían en intensidad y posición relativa durante la jornada ó entre días, etc.) y por tanto, conocer la dosis de ruido representativa para los mismos entraña gran dificultad. Para este tipo de casos, la referida normativa, únicamente se limita a decir que se podrá efectuar un tratamiento estadístico de los resultados que se pudieran obtener, al objeto de conseguir el menor margen de error posible, pero no especifica cual sería el procedimiento para llevarlo acabo.

En el presente trabajo se expone un método en el que a partir de un análisis estadístico de los resultados obtenidos en una medición, se puede llevar a cabo una estimación de la dosis de exposición a ruido que se dan en colectivos de trabajadores, que dentro de una empresa, desarrollan una misma actividad pero sin ciclos de trabajo definidos y con niveles sonoros muy variables.

Posteriormente, normas como la NFS 31-084 publicada en el año 1.987 por AFNOR en Francia ó documentos técnicos como la NTP-270 publicada en 1.991 por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (I.N.S.H.T.) en España o la Norma ISO 9612 "Guía para la medición y evaluación de la exposición a ruido" del año 1.997, se han ocupado del tema asumiendo también que los

| Actuación a seguir segun el R.D. 1316/89 sobre ruido | Nivel sonoro continuo equivalente para 8 horas/día (LAeq,d) | | |
|---|---|---|---|
| **La empresa debe:** | **>80 dB(A)** | **>85 dB(A)** | **>90 dB(A) ó nivel pico >140dB** |
| Elaborar y ejecutar un programa de medidas técnicas u organizativas. | | | x |
| Información y formación | x | x | x |
| Suministrar prendas de protección personal | A demanda* | A todos los expuestos | A todos los expuestos (uso obligatorio) |
| Señalizar los lugares con riesgo y establecer limitaciones de acceso a los mismos | | | x |
| Audiometrías | Quincenal | Trienal | Anual |
| Registro y archivo de datos | x | x | x |
| Evaluación de la exposición | Trienal | Anual | Anual |

Fig. 1. Acciones preventivas a llevar a cabo en una empresa, en función de las dosis diarias de ruido de sus trabajadores, de acuerdo con lo establecido por el R.D. 1316/89.

## Antecedentes.

Desde hace ya varios años, diversos autores y organizaciones han venido publicando documentos sobre las posibilidades de aplicar métodos estadísticos a la valoración de exposiciones a ruido en el ambiente laboral, sobre todo para aquellos casos en los que se dan ruidos muy variables, y con el doble objetivo de conseguir por un lado, la mejor estimación posible del valor de dosis de exposición a ruido en un puesto de trabajo y por otro, que ello no suponga un excesivo coste en las mediciones que se habrían de llevar a cabo.

En el año 1.984 los higiénistas ocupacionales A. Behar y R. Plener en un amplio estudio, analizaron los resultados sobre dosis de exposición a ruido que se habían obtenido en diversos tipos de actividades, comprobando que los mismos se ajustaban a una distribución normal y por tanto, podrían aplicarse sus propiedades para poder llevar a cabo estimaciones estadísticas que permitieran evaluar el riesgo de perdidas auditivas para un colectivo determinado de trabajadores. Propusieron, a partir de valores de dosis de ruido semanales, utilizar como estimador la medida aritmética y la distribución "t de Stundent" para el calculo de los límites de confianza.

valores de exposición a ruido siguen una distribución normal pero con discrepancias en lo que se refiere a los estimadores estadísticos a utilizar (media logarítmica, media aritmética, etc.), y normalmente, considerando muestreos llevados a cabo al azar y con muestras de corta duración (no superiores a 15 minutos).

Con objeto de comprobar la viabilidad de poder llevar a cabo "muestreos al azar" ó "muestreos ciegos" en las mediciones de ruido y saber cual sería el mejor estimador estadístico, así como, los límites de confianza asociados, el Institute National de Recherche et de Securite (I.N.R.S.) francés efectuó un amplio estudio (5) en el que se compararon los resultados obtenidos con los procedimientos estadísticos indicados y el valor real que se daba en cada puesto de trabajo, obtenido en una medición continua durante todo el intervalo de tiempo de medida considerado (8 horas).

En el mismo se llegó a la conclusión de que sea cual sea el estimador utilizado, se subestima el valor de la dosis real de exposición a ruido (en este caso la dosis diaria, Leq,d), si bien, el de tipo logarítmico era el que más se aproximaba, sobre todo cuando el valor real de dosis no se

distanciaba en más de 10 dB(A) de valor más predominante obtenido en la distribución de niveles sonoros y si éste estaba a su vez entre los valores más altos. Únicamente, en el caso de que se dieran ligeras variaciones entre los diferentes resultados obtenidos podría tenerse en cuenta los estimadores de tipo aritmético (Fig. 2).

| | |
|---|---|
| **Estimador aritmético** | $L_{Aeq,T} = (\sum_{i=1}^{n} L_{Aeqi}) / n$ |
| **Estimador logarítmico** | $L_{Aeq,T} = 10 \log 1/n \, (\sum_{i=1}^{n} 10^{'01LAeqi})$ |

Fig. 2. Tipos de estimadores estadísticos contemplados por diferentes Normas sobre ruido.

Por otra parte, se apreció que el factor "puesto de trabajo" era determinante, de forma que un muestreo llevado al azar solo podría ser viable cuando se da una distribución más o menos homogénea de los niveles sonoros que se producen en cada puesto, es decir, la existencia de niveles de corta duración pero de corta intensidad anularía por completo tal estrategia, ya que si no se toma ninguna muestra de dichos sucesos ruidosos se subestimaría en gran medida el valor real de dosis. Esto implica que hay que tener un conocimiento exhaustivo del puesto de trabajo previo a la medición. En la figura 3 se incluye un ejemplo de un modelo de exposición a ruido de este tipo.

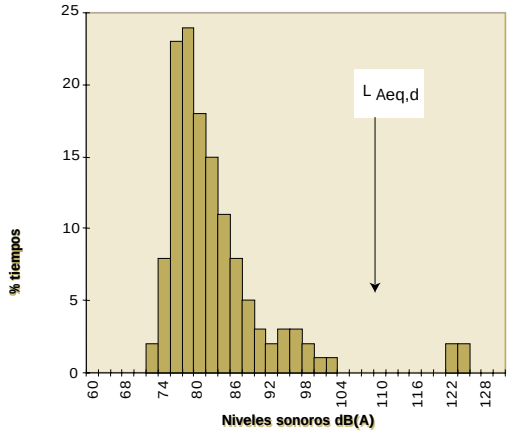



Fig. 3. Ejemplo de modelo de distribución de niveles sonoros en la que el valor de dosis de ruido diaria resultante (LAeq,d) sería difícilmente estimado por un muestreo al azar y con muestras de corta duración.

En lo que se refiere a la aleatoriedad con la que hay que tomar las muestras, se comprobó que ante situaciones en las que los niveles sonoros fluctúan aleatoriamente, no importa que la toma de resultados se hiciera de forma aleatoria ó regular, únicamente puede darse el riesgo de que los períodos de medición coincida con ciclos de trabajo repetitivos.

En cualquier caso, y como conclusión final de dicho estudio, se indicó que la descomposición de la exposición a ruido en períodos homogéneos en los que se estima el nivel sonoro y su duración, para calcular después el valor de dosis de ruido a partir de dichos períodos, conduce a un grado de precisión muy superior que cualquier muestreo al azar.

Lo anterior queda recogido en la siguiente expresión recogida en las Normas indicadas anteriormente, e incluso en el R.D. 1316/89 "sobre protección de los trabajadores contra el ruido", vigente en nuestro país, para aquellos puestos de trabajo en los que se dan ciclos de trabajo bien definidos.

$$L_{Aeq,T} = 10 \log 1/T \, (\sum_{i=1}^{n} 10^{0'1LAeqi})$$

**Siendo:**

LAeq,Ti= Nivel de presión acústica continuo equivalente ponderando A para un intervalo de tiempo "Ti".

T= $\sum_{i=1}^{n} Ti$

n= número de subintervalos de tiempo.

## Método estadístico para la valoración de exposición a niveles sonoros muy variables.

En la práctica es frecuente encontrarse con actividades industriales en las que varios trabajadores desarrollan, indistintamente, tareas muy variadas, sin ciclos de trabajo definidos y con la existencia de niveles sonoros muy variables.

Pensemos, por ejemplo, en un taller de cerrajería en el que trabaja un grupo de 15 operarios y cada uno de ellos puede utilizar cualquier útil o cualquier máquina de las disponibles y que además se puede situar en cualquier lugar del local en cualquier momento. Si se efectuara una medición de ruido a cada trabajador, por ejemplo durante una jornada, seguramente se obtendrían resultados muy diferentes en función de las tareas que cada uno haya realizado. ¿Cual de los 15 valores obtenidos en la medición sería el que serviría para poder evaluar el riesgo de perdidas auditivas de dicho colectivo? y más aún, ¿Cual sería el programa

preventivo a aplicar por la empresa?, de acuerdo con los límites establecidos por nuestra legislación (R.D. 1316/89). Como puede deducirse, la respuesta no es fácil, siendo una buena razón para pensar en utilizar la estadística para resolver el problema.

Ante dicha necesidad y considerando las conclusiones mencionadas en el punto anterior, se ha planteado un método de valoración en el que a partir de un conocimiento exhaustivo de los puestos de trabajo (en lo que se refiere a la actividad que se desarrolla, tareas más ruidosas, etc.), mediciones de larga duración efectuadas con dosímetros (que permitan obtener dosis diarias de ruido en las que se recojan los sucesos sonoros más significativos) y tras comprobar que los resultados que se han obtenido se ajustan a una distribución normal, se calcula una distribución teórica de niveles sonoros, que servirá de base para obtener el valor de dosis de ruido representativa a partir de la medida logarítmica de los mismos.

Todo ello, con objeto de obtener una relación porcentual de niveles y tiempos en la que no se subestímen los niveles de ruido más elevados que se pudieran generar, dado que son los que influyen de forma significativa en cualquier exposición de ruido.

Los pasos a seguir se podrían resumir de la siguiente forma:

Llevar a cabo mediciones de larga duración que permitan obtener valores de dosis diaria de ruido de al menos una jornada de trabajo. Cuando se dá una variabilidad muy significativa entre días, del ruido general existente en el local de trabajo, se debería considerar al muestreo de más de una jornada de trabajo. Por otra parte, se debe procurar coger el mayor número de trabajadores del grupo.

Una vez obtenidos los resultados se comprueba si los mismos se ajustan a una distribución normal para lo cual, se aplica un test de bondad de ajuste. A este respecto se ha elegido la prueba de Kolmogorov-Smirnov (tabla de Massey), dado que presenta un aceptable nivel de exigencia, y a su vez es aplicable a pequeños grupos muéstrales finitos.

Si el test no se supera el método no será aplicable y por tanto, habría que tomar un mayor número de muestras ó bien analizar los resultados, a partir de los histogramas de frecuencias, por si hubiese varios modelos de exposición bien diferenciados.

A partir de la media y la distribución típica de los resultados obtenidos se obtiene una distribución normal teórica de niveles sonoros ordenados en marcas de clase por ejemplo de 1 dB. (Fig. 4).

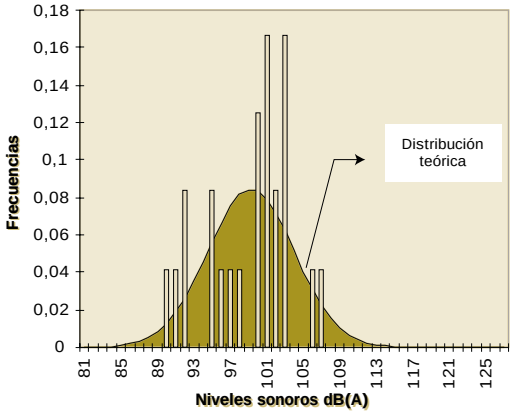



Fig. 4. Ajuste de curva real a teórica.

Por último, se procede al cálculo de la media logarítmica de los valores teóricos obtenidos por medio de la siguiente expresión.

$$L_{Aeq,T} = 10 \log 1 / F \left(\sum_{i=1}^{n} Fi.10^{0'1LAeqi}\right)$$

**Siendo:**

Considerando como valores LAeq,i las correspondientes marcas de clase y Fi la frecuencia correspondiente a cada uno de ellos, obtenida a la distribución teórica.

En definitiva lo que se ha intentado conseguir, a partir de un procedimiento estadístico, es estimar cual sería la distribución de niveles sonoros y tiempos de exposición a cada nivel que se da en un puesto de trabajo ó colectivo de trabajadores, para poder aplicar lo que la normativa sobre ruido en el ámbito laboral, recogida en el R. D. 1316/89, considera sobre la valoración que se ha de efectuar en un puesto de trabajo en el que se dan distintos tipos de ruido en intervalos de tiempo conocidos, recogido en la expresión (1).

## Aplicación práctica.

El método expuesto fue puesto en práctica en diversos colectivos de trabajadores de la industria aeronáutica en los que se efectuaban trabajos de montaje dándose las premisas indicadas anteriormente, es decir, se trataba de grupos de trabajadores que utilizaban, indistintamente, diversos útiles de tipo portátil (taladradoras, sierras, recanteadoras, pistolas de remachado, martillos, etc.), podían ocupar cualquier lugar del área donde se efectuaban los trabajos, se daban niveles sonoros muy variables (destacando las actividades de remachado del resto), tanto en los que generaba cada trabajador, como en los que procedían del resto y además, los niveles sonoros globales podían variar entre días. En la figura (5) se incluye una imagen de las actividades que se efectúan en los puestos estudiados.

No obstante, teniendo en cuenta que todos los trabajadores realizaban todas las tareas, dicho planteamiento podía ser simplificado considerando que los resultados obtenidos durante cualquier jornada, si bien son para cada operario específico, serían aplicables a cualquiera de sus compañeros. De esta forma, si las mediciones cubren suficiente número de jornadas, quedando recogidas las principales opciones de trabajo, y asumiendo que los resultados individuales son extensibles a cualquier trabajador del grupo, seria posible caracterizar al mismo con un valor de dosis obtenido a partir de aplicar una distribución a cada nivel registrado que fuera proporcional a la que pudieran presentar los resultados (según al método expuesto anteriormente).

A continuación se indican los resultados que se obtuvieron en un estudio llevado a cabo en dos

Fig. 5. Actividades de montaje llevadas a cabo en los puestos de trabajo estudiados.

Dichas consideraciones apuntaban a que la determinación de la dosis de ruido de cada trabajador, correspondiente a una jornada, necesitaría una medición que cubriese toda o la mayor parte de la misma con objeto de que fuera suficientemente precisa, pero el valor encontrado para cada operario no sería extensible de forma permanente al resto de su exposición laboral. Por tanto, para obtener un valor lo suficientemente representativo, para cada trabajador, se necesitaría mediciones a jornada completa durante un mínimo de ellas suficientemente grande, de forma que se pudiera conocer con suficientes garantías los distintos valores y su distribución porcentual.

"secciones de trabajo" con grupos de 10 y 12 trabajadores respectivamente, que realizaban las actividades mencionadas.

Dicho estudio comprende 2 tandas de mediciones en cada sección con un intervalo de tiempo, entre cada una de ellas, de 1 año. Todas las mediciones se efectuarón con dosímetros, con una duración aproximada de 5 horas por jornada y trabajador, durante 3 ó 4 jornadas en cada tanda y sobre grupos de 4 a 12 operarios. En este caso, la duración del muestreo estuvo determinada por la variabilidad de los niveles sonoros que se generaban en cada sección, motivada fundamentalmente por la destacada aportación de las actividades de remachado en el ruido global existente, dandose jornadas en las que las mismas son predominantes y otras en los que apenas se realizaban.

## Valores $L_{Aeq}$ obtenidos en las mediciones para cada jornada de trabajo y operario

| Sección 1 | | | | | | | Sección 2 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1er Año | | | | 2do Año | | | 1er Año | | | 2do Año | | |
| Jornada | | | | Jornada | | | Jornada | | | Jornada | | |
| 1ª | 2ª | 3ª | 4ª | 1ª | 2ª | 3ª | 1ª | 2ª | 3ª | 1ª | 2ª | 3ª |
| 107 | 92 | 100,5 | 97,5 | 92 | 96 | 92 | 97,5 | 102,5 | 94 | 98 | 103,5 | 93,5 |
| 106,5 | 90 | 100,5 | 98 | 89 | 89 | 89 | 97,5 | 103 | 92 | 93,5 | 104,5 | 89,5 |
| 96 | 102 | 101 | 101,5 | 92 | 107 | 88 | 99,5 | 101,5 | 92 | 90,5 | 99,5 | 89 |
| 103 | 101 | 103 | 101 | 92 | 108 | 92 | 99,5 | 101 | 91 | 102 | 88,5 | 97 |
| 103 | 92 | 102,5 | 100,5 | 87 | 92 | 90 | 94,5 | 102,5 | 94 | 98,5 | 88,5 | 98,5 |
| 95 | 91 | 103 | | 92 | 93 | 92 | 96 | 102,5 | 98,5 | 95 | 97 | 102 |
| 95,5 | | | | 86 | 92 | 109 | 96 | 102,5 | 103 | 87,5 | 95,5 | 99 |
| | | | | 87 | 97 | 108,5 | 96 | 103,5 | 100,5 | 92 | 88 | |
| | | | | 99 | 97 | | 97 | | 100 | 91 | 91 | |
| | | | | 101 | 93 | | | | | | | |
| | | | | 101 | 95 | | | | | | | |
| | | | | 101 | | | | | | | | |

**Siendo:**

Valor LAeq considerado como representa-tivo para la "sección 1" durante el primer año

Como puede observarse los valores obtenidos con los dosímetros (que reflejan la dosis diaria de ruido obtenida para cada trabajador en cada jornada) varían considerablemente, tanto en una misma jornada, como entre varias, lo que hace difícil elegir un resultado como representativo.

Por otra parte, en el cuadro siguiente se puede observar los resultados calculados con el método estadístico expuesto, agrupando todo el conjunto de resultados obtenidos en cada sección para cada año. Previamente, se comprobó que los mismos seguían una distribución normal mediante la aplicación del correspondiente test de bondad de ajuste.

## Valores $L_{Aeq}$ representativo obtenido por método de cálculo estadístico (para un nivel de Confianza de 95%)

| Sección 1 | | Sección 2 | |
|---|---|---|---|
| 1er Año | 2do Año | 1er Año | 2do Año |
| 101,5 | 100 | 98,5 | 98 |

Como puede observarse, se puede apreciar una coherencia razonable entre los valores de dosis de ruido representativos obtenidos en cada sección en años diferentes.

Por último, en la figura 6 se puede apreciar la tabla de cálculo utilizada en la que se aprecian los valores ordenados por marcas de clase de 1dB y como evoluciona el valor LAeq resultante de la media logarítmica, a medida que se va aumentando el número de marcas de clase que intervienen en su cálculo.

| Clases (dB(A)) | Frecuencias acumuladas | LAeq (media Logaritmica) |
|---|---|---|
| 90 | 0,031199403 | 88,8 |
| 91 | 0,049318865 | 89,7 |
| 92 | 0,074999195 | 90,6 |
| 93 | 0,109802208 | 91,5 |
| 94 | 0,154904107 | 92,4 |
| 95 | 0,210794261 | 93,2 |
| 96 | 0,277021774 | 94,0 |
| 97 | 0,352063593 | 94,8 |
| 98 | 0,433370762 | 95,6 |
| 99 | 0,517610671 | 96,4 |
| 100 | 0,60106855 | 97,1 |
| 101 | 0,680132889 | 97,8 |
| 102 | 0,751756358 | 98,4 |
| 103 | 0,813799105 | 99,0 |
| 104 | 0,865190326 | 99,5 |
| 105 | 0,905895496 | 99,9 |
| 106 | 0,936725417 | 100,4 |
| 107 | 0,959053768 | 100,7 |
| 108 | 0,974517045 | 101,0 |
| 109 | 0,984757207 | 101,2 |
| 110 | 0,991241651 | 101,4 |
| 111 | 0,9951681 | 101,5 |
| 112 | 0,997441572 | 101,6 |
| 113 | 0,998700333 | 101,7 |
| 114 | 0,999366775 | 101,7 |
| 115 | 0,999704177 | 101,8 |

Fig. 6. Evolución de la media logarítmica en función del número de clases que intervienen en su cálculo. La selección del valor representativo se efectúa a partir del 95 % de frecuencias acumuladas y en función de los valores máximos de exposición a ruido que pudieran darse en la situación real (dichos valores han tenido que ser detectados en la medición).

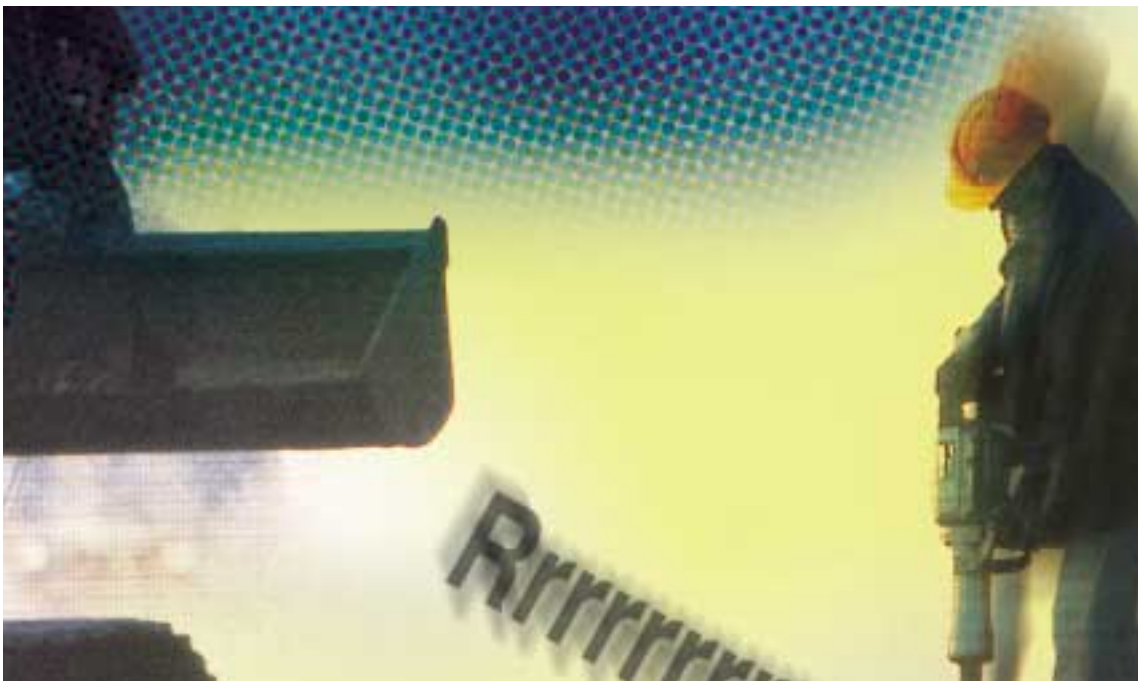
## Conclusiones

En el presente documento, se ha expuesto un método de valoración de la exposición a niveles sonoros basado en la estadística que puede servir de herramienta para los profesionales dedicados a la prevención del ruido en el ambiente laboral, que a menudo, se tienen que enfrentar a situaciones en las que la simple utilización de un equipo de medida no basta para poder conocer cual es el resultado más acertado que permita tomar decisiones adecuadas.

No se trata de un procedimiento en el que se lleven a cabo mediciones al azar, si no que, las mismas deben estar fundamentadas en un buen conocimiento de la actividad a evaluar, que permita obtener dosis de exposición a ruido (diarias, semanales, etc.) para calcular, a partir de las mismas, el valor más representativo.

Por último, se ha efectuado una aplicación práctica del mismo en colectivos de trabajadores de la industria aeronáutica, no obstante, podría ser valido para cualquier tipo de actividad laboral en la que se den modelos de exposición a niveles sonoros como los yá indicados anteriormente.

## Bibliografía


- 1. BEHAR, A and PLENER, R. Noise Exposure - Sampling Strategy and Risk Assessment, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 45 (2 ): 105-109, 1.984.
- 2. JACKSON, R. A. and BEHAR, A. Sample Size and Confidence Limit Calculatión. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 1.985.
- 3. Asociatión francaise de normalisatión. Norme franscaise NF S 31-084. Méthode de mesurage des nieveaux sonores en mileu de Travail en vie de evaluatión du nieveau d'expositión sonore quotidiane des travailleurs. Paris, AFNOR, 1987.
- 4. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Notas Técnicas d Prevención NTP-270. Evaluación de la Exposición a Ruido - Determinación de Niveles Representativos I.N.S.H.T., 1.991.
- 5. Damangeot, A. Pertinence de l´échantillonnage "en aveugle" pour l´estimatión des niveaux sonores en entreprises. Cahier de Notes Documentaires nº 139, 2º trimestre, 1.990.
- 6. B.O.E., 2 de Noviembre 1.989, Real Decreto 1316/89 de 27 de Octubre. Protección de los Trabajadores frente a Riesgos Derivados de la Exposición al Ruido Durante el Trabajo.
- 7. ISO 9612 : 1.997, Acoustics Guidelines for the measurement and assessment of exposure to noise in a working environment.
- 8. Gavilan Guirao, Joaquín. Utilización de Métodos Estadísticos en la Determinación de Niveles de Ruido. Boletin Informativo de Prevención. IBERMUTUA, Diciembre 1.996.