

# Guía Práctica para el Análisis y la Gestión del Ruido Industrial



Robert R. Näf Cortés



**FREMAP**

*Mutua de Accidentes de Trabajo y Enfermedades Profesionales de la Seguridad Social Número 61*



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE INCLUSIÓN, SEGURIDAD SOCIAL Y MIGRACIONES

SECRETARÍA DEL ESTADO DE LA SEGURIDAD SOCIAL Y PENSIONES

DIRECCIÓN GENERAL DE ORGANIZACIÓN DE LA SEGURIDAD SOCIAL

PLAN DE ACTIVIDADES PREVENTIVAS DE LA SEGURIDAD SOCIAL 2023



**Guía Práctica para el Análisis**  
**y la Gestión del Ruido Industrial**

© FREMAP

Ctra. de Pozuelo, n.º 61

28222 MAJADAHONDA (MADRID)

Depósito Legal: M-16620-2013

Maquetación e Impresión: Imagen Artes Gráficas, S. A.

# ÍNDICE

	<u>Página</u>
<b>PRÓLOGO.....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO 1. PARÁMETROS BÁSICOS QUE CARACTERIZAN EL RUIDO INDUSTRIAL .</b>	<b>8</b>
1.1. Frecuencia .....	11
1.2. Velocidad del sonido.....	12
1.3. Longitud de onda .....	12
1.4. Espectro de frecuencia .....	14
1.5. Escalas de ponderación.....	16
1.6. Nivel de presión acústica, $L_p$ .....	17
1.6.1. Nivel de presión acústica ponderado “A”, $L_{pA}$ .....	18
1.7. Nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A”, $L_{Aeq,T}$ .....	18
1.8. Nivel de exposición diario equivalente, $L_{Aeq,d}$ .....	19
1.9. Nivel de exposición semanal equivalente, $L_{Aeq,s}$ .....	21
1.10. Nivel de pico, $L_{pico}$ .....	21
1.11. Cómputos con decibelios.....	23
1.11.1. Adición de niveles de presión acústica (suma logarítmica).....	23
1.11.2. Corrección por ruido de fondo (resta logarítmica).....	24
1.11.3. Promedio energético (promedio logarítmico) .....	24
<b>CAPÍTULO 2. DETERMINACIÓN DE LA EXPOSICIÓN LABORAL AL RUIDO .....</b>	<b>27</b>
2.1. Etapa 1: Análisis de las condiciones de trabajo .....	30
2.2. Etapa 2: Selección de la estrategia de medición.....	30
2.3. Etapa 3: Plan de mediciones .....	32
2.3.1. Medición basada en la tarea .....	32
2.3.1.1. Metodología para el uso de la estrategia de medición basada en la tarea.....	32
2.3.2. Medición de una jornada completa.....	36
2.3.2.1. Metodología para el uso de la estrategia de medición por jornada completa.....	37
2.3.3. Medición basada en el muestreo durante el trabajo (función).....	37
2.3.3.1. Metodología para el uso de la estrategia de medición basada en el muestreo durante el trabajo (función).....	38
2.3.4. Los instrumentos de medición .....	40
2.3.4.1. Sonómetro integrador-promediador.....	40
2.3.4.2. Dosímetro personal.....	41

2.3.4.3. Calibrador acústico .....	42
2.3.4.4. Comprobación in-situ del sonómetro integrador-promediador y del dosímetro personal.....	42
2.3.4.5. Ficha de medición de los niveles de ruido.....	43
2.3.4.6. Declaración de conformidad y verificación primitiva .....	44
2.3.4.7. Verificación periódica .....	44
2.3.4.8. Certificado de calibración .....	44
2.4. Etapa 4: Tratamiento de la incertidumbre en las mediciones.....	46
2.4.1. Cálculo de la incertidumbre expandida para la estrategia de medición basada en la tarea.....	48
2.4.2. Cálculo de la incertidumbre expandida para la estrategia de medición basada en la jornada completa o en el muestreo durante el trabajo (función)	57
2.5. Etapa 5: Comparación de los resultados obtenidos con los valores de referencia .....	65
2.5.1. Valores límite de exposición .....	66
2.5.2. Valores superiores de exposición que dan lugar a una acción.....	68
2.5.3. Valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción .....	69
2.6. Informe de evaluación .....	71
2.7. Confort acústico .....	72
<b>CAPÍTULO 3. CONTROL DE LA EXPOSICIÓN LABORAL AL RUIDO .....</b>	<b>73</b>
3.1. Medidas técnicas .....	75
3.1.1. Actuaciones en la fuente .....	75
3.1.1.1. Selección y adaptación de equipos de trabajo para que generen el menor nivel posible de ruido.....	75
3.1.1.2. Métodos de trabajo o procedimientos que minimicen la exposición al ruido.....	76
3.1.2. Actuaciones en el medio .....	76
3.1.2.1. Actuaciones en la transmisión aérea del ruido.....	77
3.1.2.2. Actuaciones en la transmisión del ruido en sólidos.....	78
3.1.3. Actuaciones en el receptor.....	78
3.1.3.1. Selección de la protección auditiva .....	78
3.1.3.2. Instalación de cabinas insonorizadas .....	79
3.2. Medidas organizativas .....	79
3.2.1. Programas apropiados de mantenimiento de los equipos, del lugar y de los puestos de trabajo.....	79
3.2.2. Limitación de la duración e intensidad de la exposición.....	79
3.2.3. Concepción y disposición de los lugares de trabajo .....	81
3.2.4. Señalización.....	81
3.2.5. Información y formación a los trabajadores .....	81
3.2.6. Vigilancia de la salud.....	82

<b>CAPÍTULO 4. PROTECCIÓN AUDITIVA .....</b>	<b>89</b>
4.1. Criterios de selección .....	92
4.2. Métodos para la evaluación de la atenuación de un protector auditivo .....	93
4.2.1. Método de bandas de octava.....	96
4.2.2. Método de H, M, L .....	97
4.2.3. Método de H, M, L simplificado .....	100
4.2.4. Método SNR .....	101
4.2.5. Método para la estimación de la atenuación del nivel de pico .....	103
4.3. Aproximación a la atenuación real del protector auditivo .....	105
4.4. Tiempo de utilización del protector auditivo .....	106
4.5. Método para la obtención del tiempo máximo de exposición sin superar un determinado nivel de exposición.....	108
 <b>CAPÍTULO 5. EFECTOS DEL RUIDO EN LA SALUD.....</b>	<b>111</b>
5.1. Estructura del oído humano.....	113
5.1.1. Oído externo .....	113
5.1.2. Oído medio.....	113
5.1.3. Oído interno .....	113
5.2. Mecanismo de la audición .....	114
5.3. Efectos de la lesión auditiva.....	114
5.4. Interacción del ruido con agentes ototóxicos.....	116
5.5. Exposición laboral al ruido y embarazo .....	116
 <b>CAPÍTULO 6. GLOSARIO DE FÓRMULAS .....</b>	<b>119</b>
 <b>CAPÍTULO 7. NORMATIVA DE REFERENCIA .....</b>	<b>133</b>



# PRÓLOGO

Dentro de nuestra labor, dirigida a promocionar la prevención en nuestras empresas asociadas y con el fin de dar respuesta a la alta demanda de asesoramiento sobre los aspectos relativos a la exposición al ruido, se ha elaborado esta publicación, que pretende aportar a los responsables de prevención e ingeniería una herramienta de consulta sobre la evaluación y control de este factor de riesgo.

Gestionar la exposición al ruido no es una actividad compleja, si bien requiere un alto nivel de conocimiento sobre los parámetros físicos, las particularidades de los instrumentos necesarios para llevar a cabo la medición, los criterios para evaluar los valores obtenidos y la implantación de medidas para minimizarlos.

Atendiendo las consultas técnicas que con mayor frecuencia recibimos y los aspectos indicados, la guía sigue un orden lógico con respecto al proceso integral de gestión del ruido, que parte con el análisis de los parámetros básicos que lo caracterizan, la determinación de la exposición y los diferentes criterios aplicables para controlar los niveles obtenidos, que se complementa con capítulos específicos para orientar sobre la selección de la protección auditiva y explicar los diferentes efectos que ocasiona el ruido sobre la salud.

Con el fin de facilitar los cálculos que se describen en el desarrollo de los procesos, se incorporan casos prácticos que ayudan a su comprensión. Asimismo, se proporciona un glosario que recopila todas las fórmulas mostradas en los diferentes capítulos de la publicación.

La guía ha sido elaborada por D. Robert R. Náf Cortés, Ingeniero Agrónomo y Licenciado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos que, desde su ingreso en el Área de Prevención de FREMAP, ha centrado su actividad profesional en la prevención de los agentes físicos, interviniendo en numerosas actividades de investigación, divulgación y formación, así como en el asesoramiento técnico de las empresas.

**D. José Luis Checa Martín**

*Subdirector General de Gestión de FREMAP*







**1**  
**CAPÍTULO**

---

**Parámetros Básicos que caracterizan**

---

**el Ruido Industrial**

---



Las oscilaciones de la presión del aire provocadas por las ondas sonoras dan lugar al sonido. Estas oscilaciones se convierten en ondas mecánicas en el oído y mediante los impulsos generados por las células nerviosas son percibidas por el cerebro.

Las ondas sonoras comportan un riesgo laboral en el caso de que se superen unos determinados niveles de exposición.

El ruido se define como aquel sonido molesto, producido por una mezcla de ondas sonoras con distintas frecuencias y niveles de presión.

## 1.1 FRECUENCIA

Se entiende por frecuencia, el número de oscilaciones o variaciones de presión en un segundo. Su unidad es el Hertzio, *Hz*, que equivale a un ciclo por segundo; los humanos percibimos los sonidos que se encuentran en el intervalo que comprende los 20 y los 20.000 *Hz*. Por debajo del umbral inferior de percepción se encuentran los infrasonidos, y por encima de dicho umbral se encuentran los ultrasonidos.

La frecuencia viene dada por la expresión:

$$f = \frac{1}{T}$$

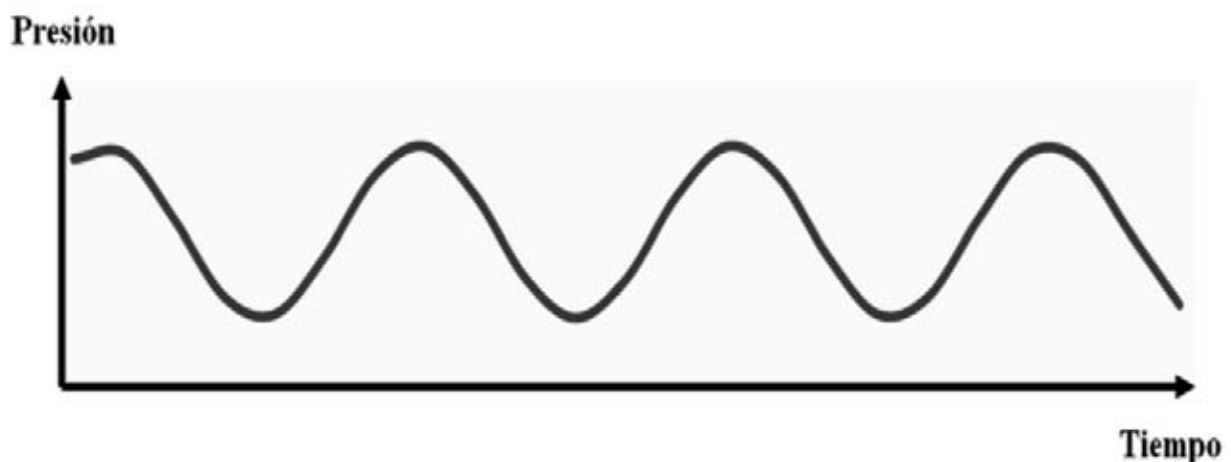
donde:

*T* es el período de la onda o lo que es lo mismo, el tiempo necesario para cumplir un ciclo, expresado en segundos.

Los sonidos se distinguen en graves o agudos en función de la velocidad de la vibración de la onda:

- Una vibración lenta significa que su frecuencia es baja (sonido grave). Un ejemplo sería el ruido que genera un compresor.

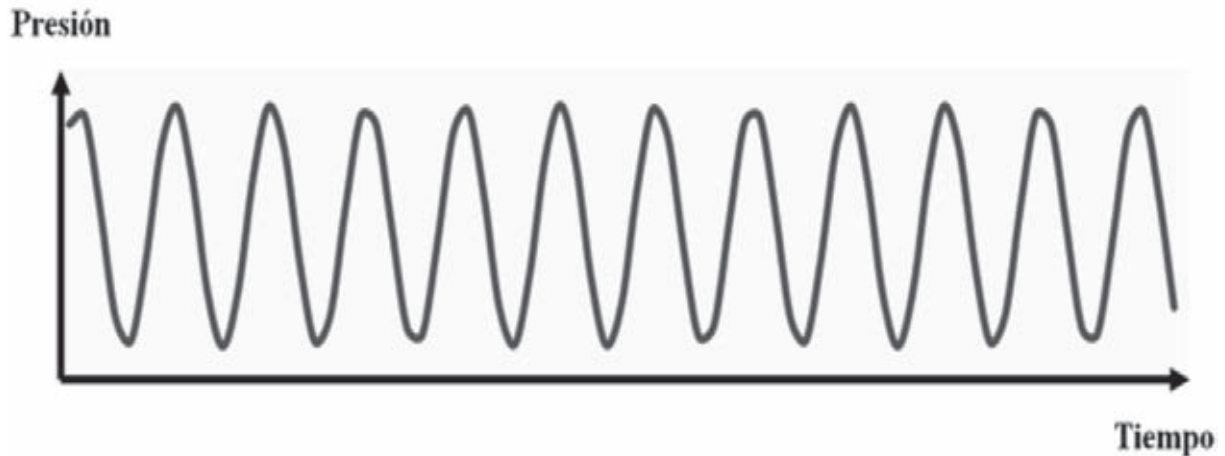
Representación gráfica de un sonido grave





- Una vibración rápida significa que su frecuencia es alta (sonido agudo). Un ejemplo sería el ruido que genera una sierra de calar.

Representación gráfica de un sonido agudo



#### **Cálculo de la frecuencia de un sonido que tiene un período de 0,005 segundos**

Se analiza una onda acústica y se observa que su período es de 0,005 segundos. ¿Cuál es la frecuencia de este sonido?

Solución:

La frecuencia se calcula del siguiente modo:

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = 1/0,005 = 200 \text{ Hz}$$

## **1.2. VELOCIDAD DEL SONIDO**

El sonido necesita un medio para propagarse y dependiendo de las condiciones de éste, es decir, de sus condiciones físicas y químicas, variará su velocidad.

En el aire, con una atmósfera de presión y una temperatura de 20°C, el sonido alcanza una velocidad de 340 metros/segundo.

## **1.3. LONGITUD DE ONDA**

Es la distancia entre dos puntos análogos en dos ondas sucesivas, o lo que es lo mismo, la distancia de un ciclo completo de una onda desde su inicio hasta su final. Los sonidos graves se caracterizan por tener una longitud de onda elevada. Por el contrario, el sonido será más agudo conforme su longitud de onda sea menor.

La longitud de onda,  $\lambda$ , viene dada por la expresión:

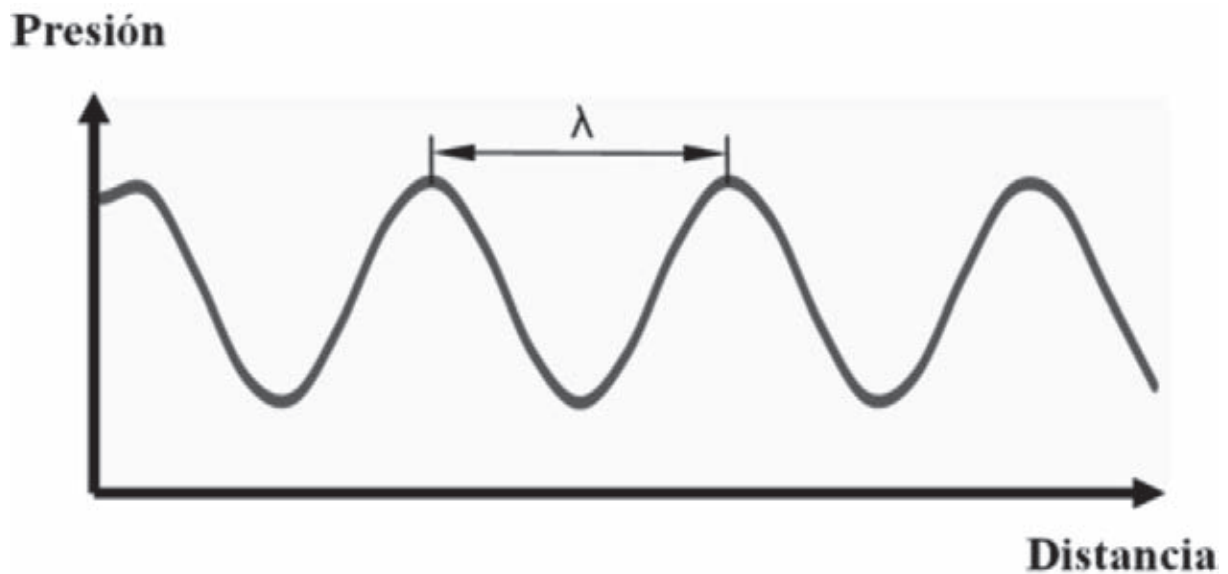
$$\lambda = \frac{c}{f}$$

donde:

$c$  es la velocidad del sonido, en metros/segundo;

$f$  es el número de ciclos por segundo de la onda, en Hertzios.

Representación gráfica de la longitud de onda



### **Ejemplo de obtención de la longitud de onda de un sonido agudo con una frecuencia de 4.000 Hz**

Se analiza una onda acústica y se observa que su frecuencia es de 4.000 Hz. ¿Cuál es la longitud de onda de este sonido?

Solución:

La velocidad del sonido en condiciones normales alcanza una velocidad de 340 m/s por lo que su longitud de onda sería:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

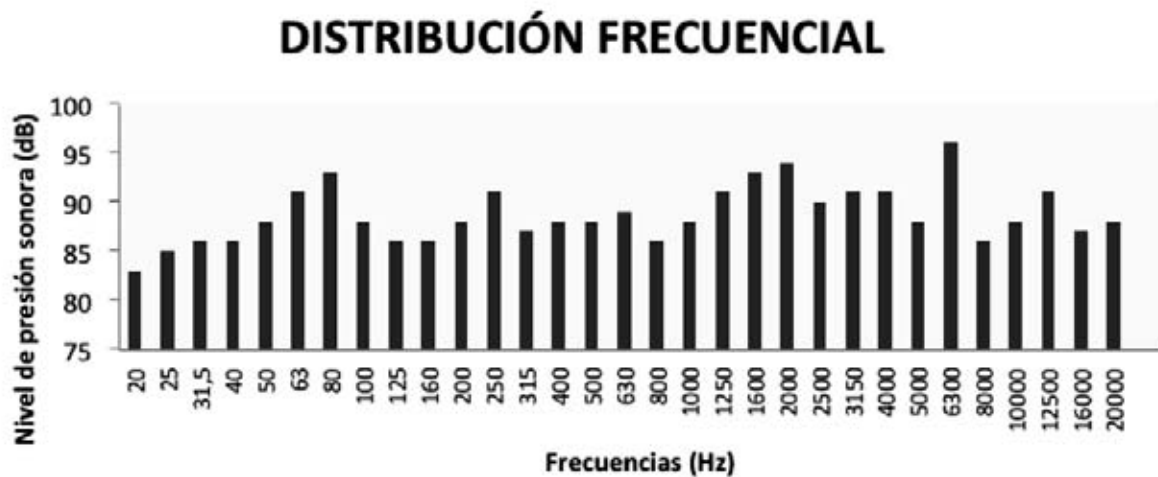
$$\lambda = \frac{340}{4.000} = 0,085 \text{ metros}$$



## 1.4. ESPECTRO DE FRECUENCIA

El espectro de un ruido se define como la representación de la distribución de la energía sonora en función de la frecuencia. Con los instrumentos de medición de ruido (sonómetros integradores-promediadores o dosímetros personales) el técnico puede obtener el nivel de presión sonora global. Algunos de estos instrumentos también facilitan el nivel de presión sonora por bandas de octava o por bandas de tercio de octava.

A continuación, se presenta un nivel de presión sonora analizado por tercios de octava:



El nivel de presión acústica se calcula mediante el sumatorio de la contribución de la energía sonora en las distintas frecuencias usando la expresión:

$$L_{pA,Total} = 10 \log \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{pA,n}}{10}}$$

donde:

$L_{pA,n}$  es el nivel de presión acústica por banda de octava.

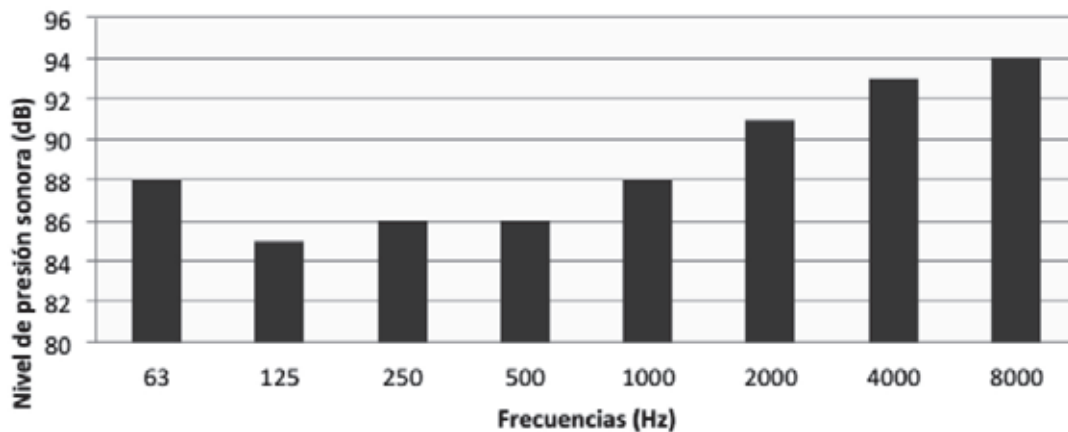
Un análisis del ruido por bandas de octava es útil para seleccionar de manera óptima un protector auditivo y para decidir la medida técnica necesaria con objeto de reducir el ruido generado por una máquina. Ha de tenerse en cuenta que dos máquinas con un mismo nivel de presión sonora pueden tener una distribución energética muy diferente.

## Cálculo del nivel de presión acústica a partir de los niveles de presión acústica por bandas de octava

Se desea conocer el nivel de presión sonora global tras obtenerse en una medición el espectro frecuencial del ruido por bandas de octava, con los siguientes resultados:

$f_c$ (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{Aeq,f}$ (dB)	88	85	86	86	88	91	93	94

### DISTRIBUCIÓN FRECUENCIAL



Solución:

El nivel de presión sonora global se calcula con la expresión:

$$L_{pA,Total} = 10 \log \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{pA,n}}{10}}$$

$$L_{pA,Total} = 10 \log \left( 10^{\frac{88}{10}} + 10^{\frac{85}{10}} + 10^{\frac{86}{10}} + 10^{\frac{86}{10}} + 10^{\frac{88}{10}} + 10^{\frac{91}{10}} + 10^{\frac{93}{10}} + 10^{\frac{94}{10}} \right) = 99,1 \text{ dB(A)}$$





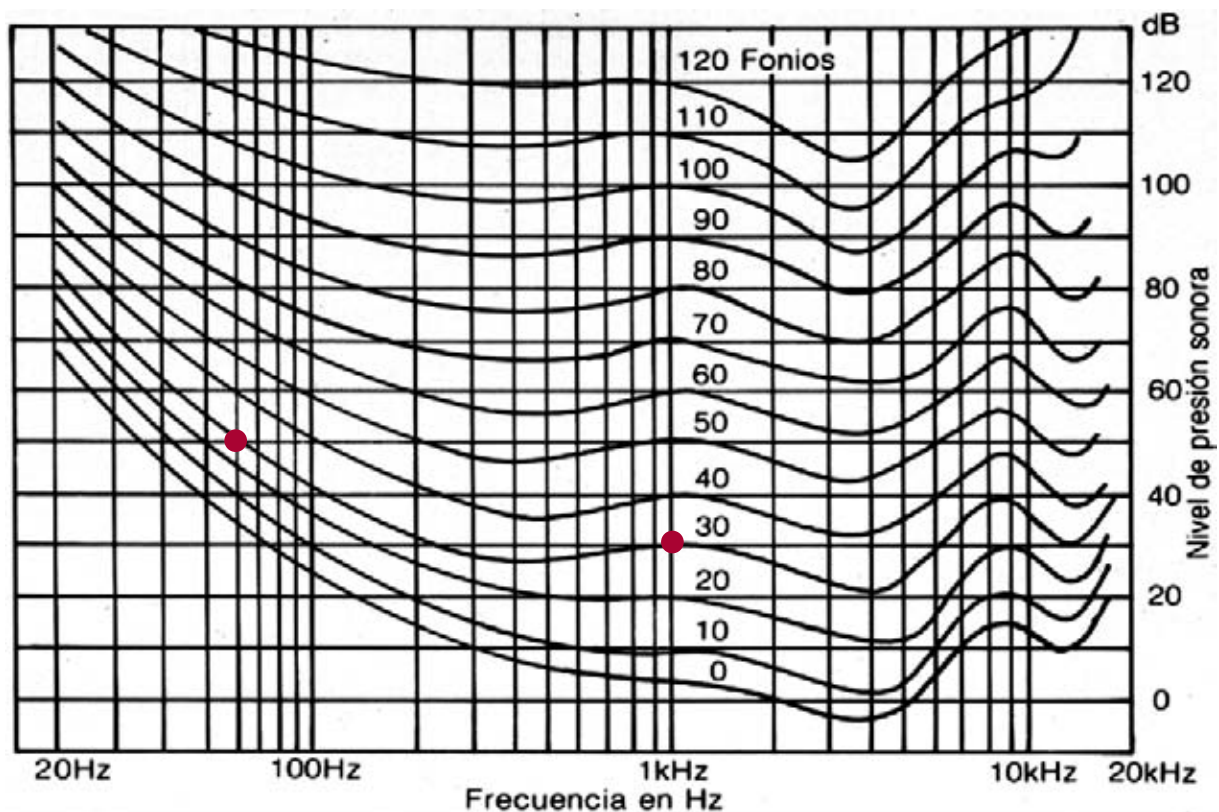
## 1.5. ESCALAS DE PONDERACIÓN

Las escalas de ponderación permiten estimar el comportamiento del oído en función de las características del ruido al que esté expuesto, ya que dependiendo del nivel de presión sonora y su espectro frecuencial, éste puede atenuarlo o amplificarlo.

Las curvas de igual sonoridad *de Fletcher y Munson* estiman la relación correspondiente entre la frecuencia y la intensidad (en dB), de tal modo que cualquier punto de la curva tiene una misma sensación sonora.

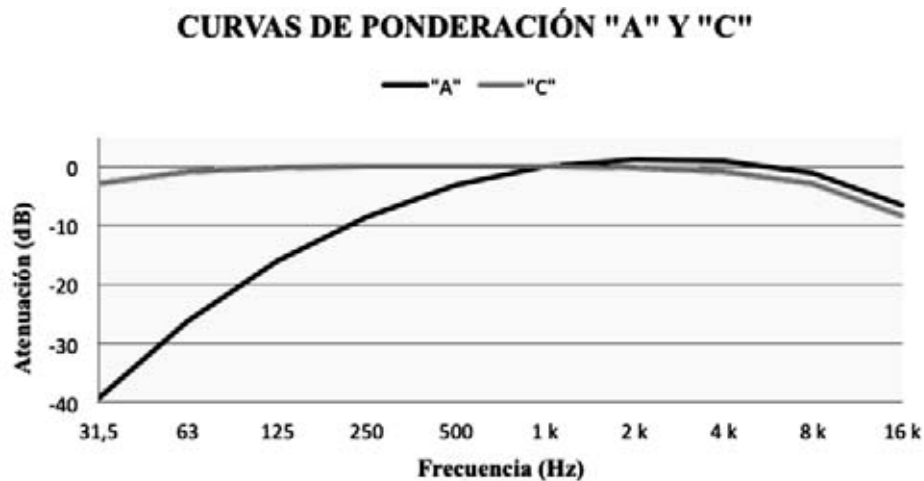
A continuación, se muestra un ejemplo de interpretación de las mismas donde un nivel de presión sonora de 30 dB a 1.000 Hz, equivale a 50 dB a una frecuencia de 60 Hz.

**CURVAS DE IGUAL SONORIDAD DE FLETCHER Y MUNSON**



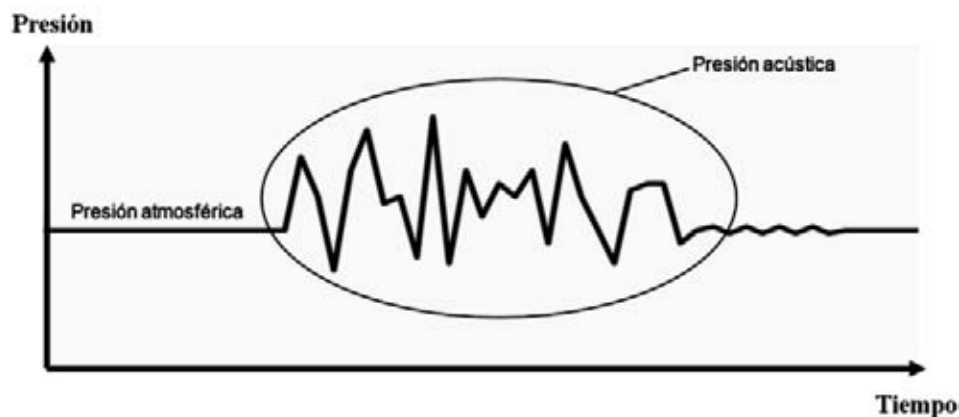
A partir de las curvas de igual sonoridad, se establecieron las escalas de ponderación “A” y “C” que se emplean para aproximar la respuesta de los instrumentos de medición a las características de atenuación o amplificación del oído humano, ante los distintos niveles de presión sonora. La normativa establece que se aplique:

- La escala de ponderación “A” para el nivel de presión acústica continuo equivalente.
- La escala de ponderación “C” para el nivel de pico.



## 1.6. NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA, $L_p$

Las ondas sonoras, al transportar energía acústica, provocan una variación de la presión respecto a la presión atmosférica existente. Este fenómeno puede observarse en la siguiente representación gráfica que muestra el momento anterior y posterior de una perturbación acústica.



El umbral de audición se establece en  $2 \cdot 10^{-5}$  pascales (*Newton/m<sup>2</sup>*) en medios gaseosos. El umbral del dolor por su parte, es el nivel máximo de presión acústica que es capaz de percibir, y se establece en 200 pascales. Para trabajar con valores más operativos se usa la escala logarítmica con la que se obtiene un valor adimensional, el decibelio (*dB*) y su intervalo comprende desde los 0 decibelios (umbral de audición) hasta los 140 decibelios (umbral de dolor).

El nivel de presión acústica permite cuantificar la energía asociada al sonido. Por otro lado, indicar que los niveles de presión acústica expresados en pascales se convierten a decibelios del siguiente modo:

$$L_p = 10 \log \left( \frac{P}{P_0} \right)^2$$

donde:

$P$  es la presión acústica existente, en pascales;

$P_0$  es la presión acústica de referencia, es decir,  $2 \cdot 10^{-5}$  pascales.



### 1.6.1. Nivel de presión acústica ponderado "A", $L_{pA}$

La escala de ponderación "A" se usa para equiparar el posible daño en el oído en función de la distribución energética del nivel de presión sonora al que se esté sometido. Dependiendo de si las frecuencias predominantes son graves, medias o agudas, el oído amortiguará o incluso amplificará ese sonido.

Los niveles de presión acústica con filtro de ponderación "A" expresados en pascales, se convierten a decibelios mediante la expresión:

$$L_{pA} = 10 \log \left( \frac{P_A}{P_0} \right)^2$$

donde:

$P_A$  es la presión acústica existente, en pascales, con el filtro de ponderación frecuencial "A";

$P_0$  es la presión acústica de referencia, es decir,  $2 \cdot 10^{-5}$  pascales.

#### Cálculo del nivel de presión sonora en decibelios

Se desea obtener (en decibelios) el nivel de presión sonora emitido por un martillo neumático generador de 10 pascales de presión acústica.

Solución:

Se convierten las unidades de presión acústica expresadas en pascales a decibelios:

$$L_{pA} = 10 \log \left( \frac{P_A}{P_0} \right)^2$$

$$L_{pA} = 10 \log \left( \frac{10}{2 \cdot 10^{-5}} \right)^2 = 114 \text{ dB(A)}$$

### 1.7. NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA CONTINUO EQUIVALENTE PONDERADO "A", $L_{Aeq,T}$

Es aquel nivel de ruido constante que posee la misma energía que el ruido variable en el período de tiempo estudiado y se obtiene mediante la expresión:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \frac{1}{T} \left[ \int_{t_1}^{t_2} \left( \frac{P_A(t)}{P_0} \right)^2 dt \right]$$

donde:

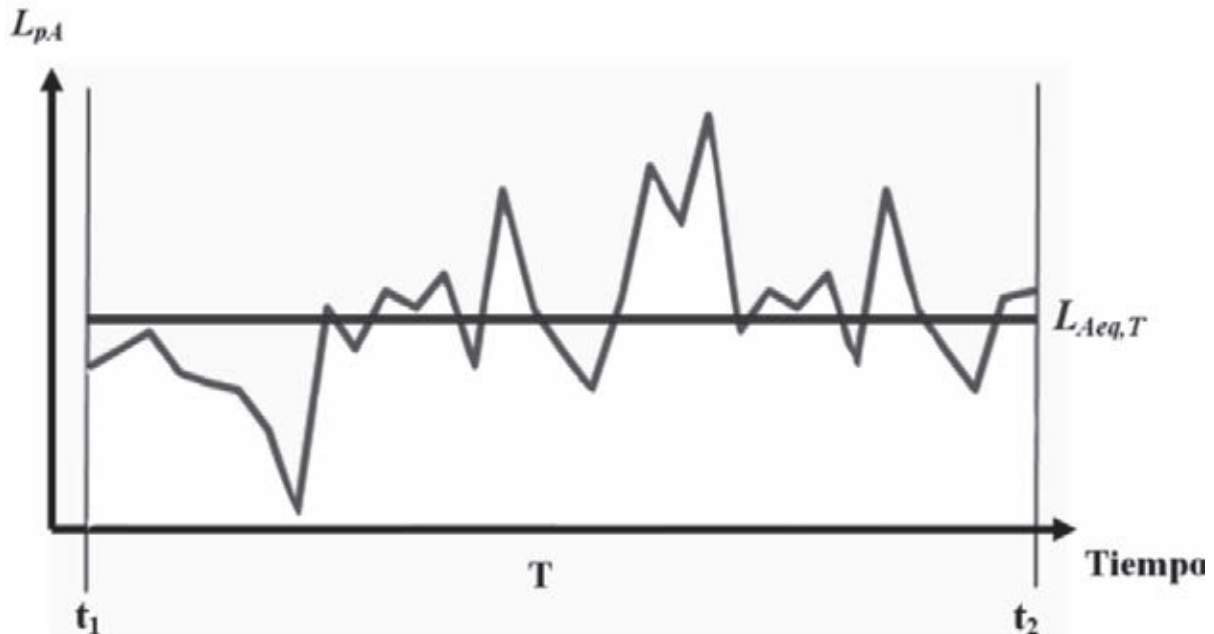
T es el tiempo de exposición al ruido, en horas/día;

$t_2 - t_1$  es el tiempo de exposición del trabajador al ruido;

$P_A(t)$  es la presión acústica instantánea en pascales con el filtro de ponderación frecuencial "A";

$P_0$  es la presión acústica de referencia, es decir,  $2 \cdot 10^{-5}$  pascales.

Representación gráfica del nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado "A",  $L_{Aeq,T}$



## 1.8. NIVEL DE EXPOSICIÓN DIARIO EQUIVALENTE, $L_{Aeq,d}$

Es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado "A",  $L_{Aeq,T}$ , promediado a un tiempo de exposición de 8 horas, siendo su expresión:

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \log \left( \frac{T}{8} \right)$$

donde:

$L_{Aeq,T}$  es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado "A";

$T$  es el tiempo de exposición al ruido, en horas/día.

**Cálculo del nivel de exposición diario equivalente,  $L_{Aeq,d}$ , cuando se dispone del nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado "A",  $L_{Aeq,T}$ , de una tarea con exposición al ruido y la duración de ésta**

Un trabajador efectúa tareas de pulido durante 2 horas al día que generan un nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado "A",  $L_{Aeq,T}$ , de 93 dB(A). Tras analizar las condiciones de trabajo, se concluye que es despreciable la exposición al ruido durante el resto de la jornada laboral. ¿Cuál es el nivel de exposición diario equivalente al que está expuesto el trabajador?



Solución:

El nivel de exposición diario equivalente se estima mediante la expresión:

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \log\left(\frac{T}{8}\right)$$

$$L_{Aeq,d} = 93 + 10 \log\left(\frac{2}{8}\right) = 87 \text{ dB(A)}$$

El nivel de exposición diario equivalente,  $L_{Aeq,d}$  se calcula a partir de los niveles de presión acústica continuos equivalentes ponderados "A",  $L_{Aeq,T}$  de las tareas que efectúa a lo largo de la jornada y la duración de éstas. Para ello, se utiliza la expresión:

$$L_{Aeq,d} = 10 \log \frac{1}{8} \sum_{n=1}^N T_n \cdot 10^{0,1L_{Aeq,T,n}}$$

donde:

$T_n$  es el tiempo de exposición a cada tarea, en horas/día;

$L_{Aeq,T,n}$  es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado "A" correspondiente a cada tarea.

## Cálculo del nivel de exposición diario equivalente cuando se conocen los niveles de presión acústica continuos equivalentes ponderados “A” de cada una de las tareas que conllevan exposición al ruido en la jornada laboral y sus duraciones

En un puesto de trabajo se obtienen los niveles de presión acústica continuos equivalentes ponderados “A”,  $L_{Aeq,T}$ , de las tres tareas que conllevan exposición al ruido, que son forjar, cortar y soldar. A su vez, se estima el tiempo dedicado a cada una de ellas.

Toda esta información viene reflejada en el siguiente cuadro:

Tarea	$L_{Aeq,T}$	Duración (horas)
forjar	89	3
cortar	84	1
soldar	87	2

¿Cuál es el nivel de exposición diario equivalente,  $L_{Aeq,d}$ ?

Solución:

El cálculo del nivel de exposición diario equivalente se efectúa del siguiente modo:

$$L_{Aeq,d} = 10 \log \frac{1}{8} \sum_{n=1}^N T_n \cdot 10^{0,1L_{Aeq,T,n}}$$

$$L_{Aeq,d} = 10 \log \frac{1}{8} ((3 \cdot 10^{0,1 \cdot 89}) + (1 \cdot 10^{0,1 \cdot 84}) + (2 \cdot 10^{0,1 \cdot 87})) = 86,6 \text{ dB(A)}$$



## 1.9. NIVEL DE EXPOSICIÓN SEMANAL EQUIVALENTE, $L_{Aeq,s}$

El nivel de exposición semanal equivalente,  $L_{Aeq,s}$ , podrá utilizarse en lugar del nivel de exposición diario equivalente,  $L_{Aeq,d}$ , en aquellas circunstancias en las que sea posible justificarlo debidamente, siempre que conste de forma explícita en la evaluación de riesgos y para las actividades en las que la exposición diaria al ruido varíe considerablemente de una jornada laboral a otra.

Será condición indispensable para evaluar la exposición mediante este criterio que:

- El nivel de exposición semanal al ruido obtenido mediante un control apropiado no sea superior al valor límite de exposición de 87 dB(A).
- Se adopten medidas adecuadas para reducir al mínimo el riesgo asociado a dichas actividades.

El criterio semanal viene dado por la expresión:

$$L_{Aeq,s} = 10 \log \frac{1}{5} \sum_{i=1}^{i=m} 10^{0,1L_{Aeq,d,i}}$$

donde:

$i$  es el número de días a la semana con exposición al ruido (el número máximo es 7);

$L_{Aeq,d,i}$  es el nivel de exposición diario equivalente correspondiente al día  $i$ .

## 1.10. NIVEL DE PICO, $L_{pico}$

Es el nivel máximo de la presión acústica instantánea a la que está expuesto un trabajador. Los niveles de presión acústica en pascales (con filtro de ponderación frecuencial "C") se convierten a niveles de presión acústica en decibelios mediante la expresión:

$$L_{pico} = 10 \log \left( \frac{P_{pico}}{P_0} \right)^2$$

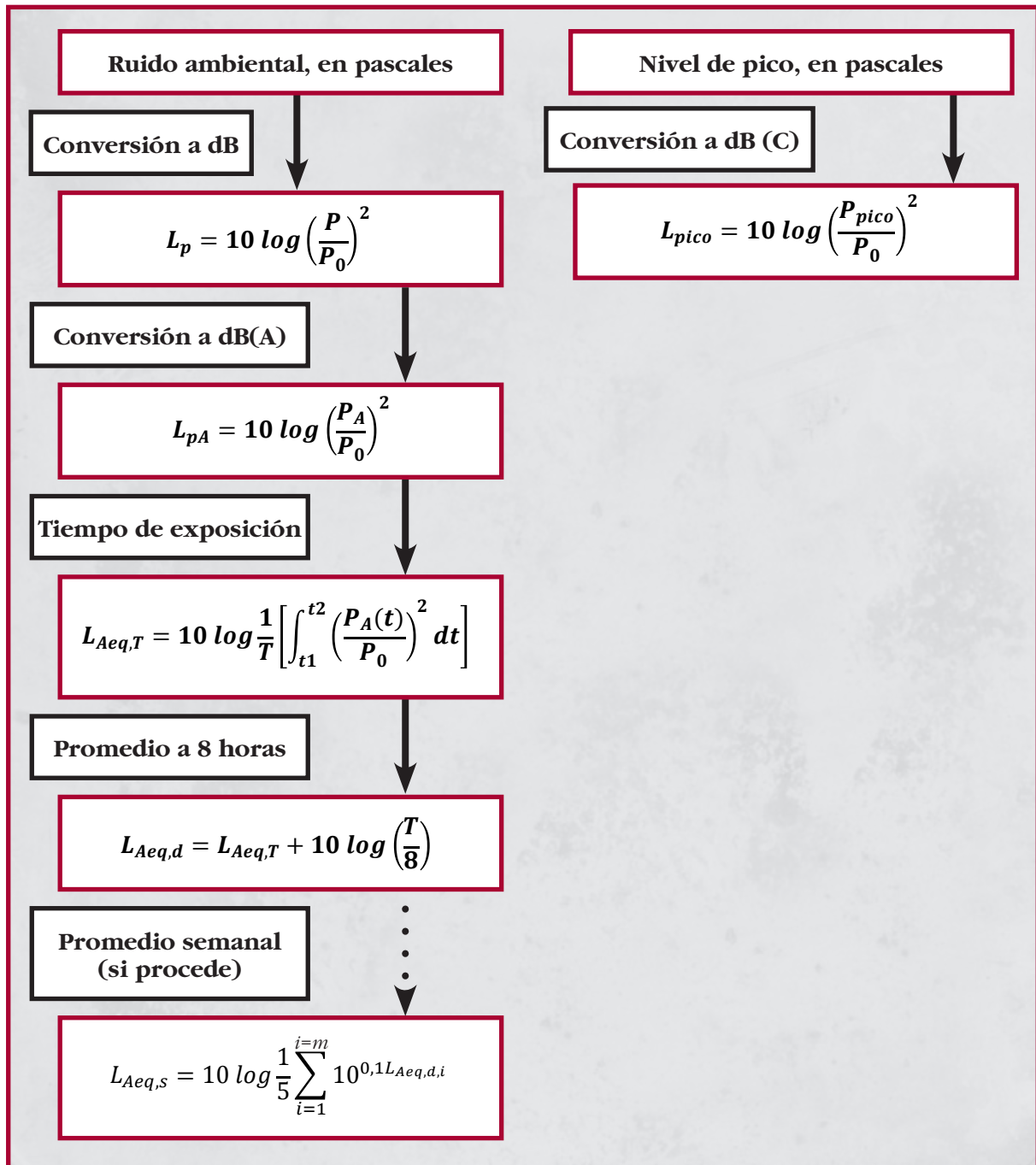
donde:

$P_{pico}$  es el valor máximo de la presión acústica instantánea, en pascales, con el filtro de ponderación frecuencial "C";

$P_0$  es la presión de referencia, es decir,  $2 \cdot 10^{-5}$  pascales.

# Guía Práctica para el Análisis y la Gestión del Ruido Industrial

El esquema relaciona los conceptos anteriormente tratados:







## 1.11. CÓMPUTOS CON DECIBELIOS

Para operar con decibelios debe tenerse en cuenta que su escala es logarítmica y por lo tanto, las sumas, restas y promedios logarítmicos difieren con respecto a las operaciones aritméticas elementales.

### 1.11.1. Adición de niveles de presión acústica (suma logarítmica)

La unidad operativa del ruido es el decibelio, dB, que es un valor adimensional. Las sumas logarítmicas se realizan del siguiente modo:

$$L_{pA,Total} = 10 \log \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{pA,n}}{10}}$$

donde:

$L_{pA,n}$  son los niveles de presión acústica generados por cada fuente.

#### Suma de niveles de presión acústica

El ruido generado por una máquina se compone del sumatorio de los niveles de presión acústica que provocan distintas partes de ésta.

Se desea obtener el nivel de presión acústica resultante de una máquina en la que:

- El motor genera 88 dB(A)
- El ventilador genera 83 dB(A)
- Los engranajes generan 80 dB(A)

Solución:

Para sumar los niveles de presión acústica se usa la expresión:

$$L_{pA,Total} = 10 \log \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{p,n}}{10}}$$

$$L_{pA,Total} = 10 \log \left( 10^{\frac{80}{10}} + 10^{\frac{83}{10}} + 10^{\frac{88}{10}} \right) = 89,7 \text{ dB(A)}$$

## 1.11.2. Corrección por ruido de fondo (resta logarítmica)

La resta de decibelios es útil para obtener el nivel de presión acústica generado por una máquina que está ubicada junto a otras también ruidosas. Es necesario medir el nivel de presión acústica total (condiciones habituales con la máquina en marcha) y también efectuar la medición del nivel de presión acústica de fondo (con la máquina parada). Con los valores obtenidos en dicha medición, ha de usarse la expresión:

$$L_{pA,resta} = 10 \log\left(10^{\frac{L_{pA,Total}}{10}} - 10^{\frac{L_{pA,Fondo}}{10}}\right)$$

donde:

$L_{pA,Total}$  es el nivel de presión acústica total;

$L_{pA,Fondo}$  es el nivel de presión acústica de fondo.

### Resta de niveles de presión acústica

El nivel de presión sonora en una nave en la que se encuentran varias máquinas en funcionamiento continuo es de 96 dB(A). Tras desconectar una de ellas, se obtiene un valor de 90 dB(A). ¿Qué nivel de ruido genera dicha máquina?

Solución:

La resta de los niveles de presión sonora se obtiene de la siguiente manera:

$$L_{pA,resta} = 10 \log\left(10^{\frac{L_{pA,Total}}{10}} - 10^{\frac{L_{pA,Fondo}}{10}}\right)$$

$$L_{pA,resta} = 10 \log\left(10^{\frac{96}{10}} - 10^{\frac{90}{10}}\right) = 94,7 \text{ dB(A)}$$



### 1.11.3. Promedio energético (promedio logarítmico)

Cuando se efectúan varias mediciones del nivel de presión sonora en un puesto de trabajo y se desea conocer el promedio energético de los valores obtenidos, se usa la siguiente expresión:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{Aeq,T,n}}{10}} \right]$$

donde:

$L_{Aeq,T,n}$  es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado "A" obtenido en la medición n;

$N$  es el número total de mediciones efectuadas.

#### **Cálculo del promedio energético de varios niveles de presión acústica**

El resultado de la medición de los niveles presión acústica continuos equivalentes ponderados "A",  $L_{Aeq,T}$ , en un puesto de trabajo, son 86 dB(A), 85 dB(A) y 83,5 dB(A). ¿Cuál es el promedio energético de estos niveles de ruido?

Solución:

El promedio energético de los tres niveles de presión acústica continuos equivalentes ponderados "A",  $L_{Aeq,T}$ , se calcula del siguiente modo:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{Aeq,T,n}}{10}} \right]$$

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[ \frac{1}{3} \left( 10^{\frac{86}{10}} + 10^{\frac{85}{10}} + 10^{\frac{83,5}{10}} \right) \right] = 85 \text{ dB(A)}$$



**2**  
**CAPÍTULO**

---

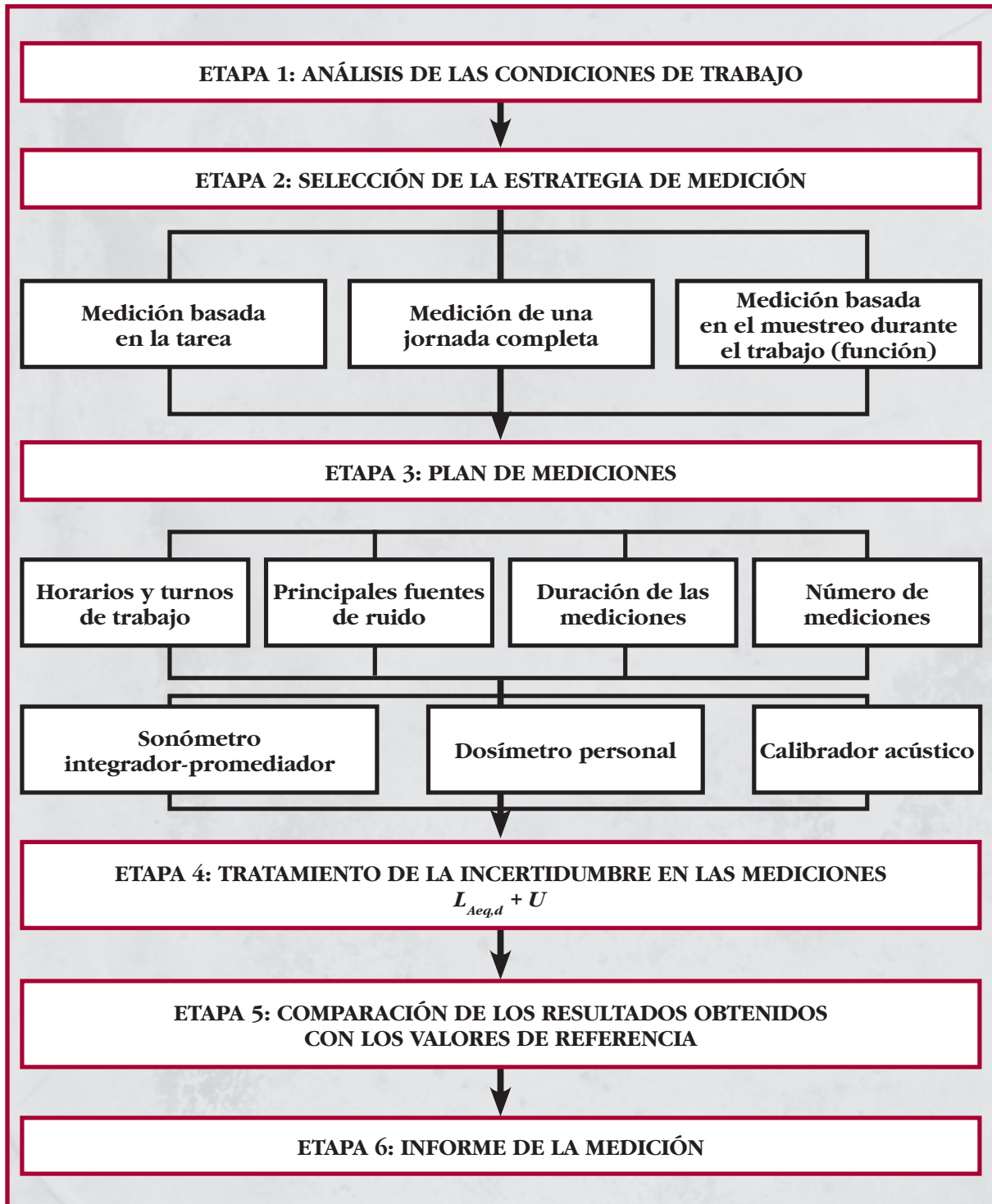
**Determinación de la**  
**Exposición Laboral al Ruido**

---



# Guía Práctica para el Análisis y la Gestión del Ruido Industrial

La exposición real al ruido se estima aplicando un método que incluye las etapas que se muestran continuación:





## 2.1. ETAPA 1: ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE TRABAJO

Un exhaustivo análisis de las condiciones de trabajo ha de proporcionar la información necesaria relacionada con el puesto de trabajo para poder seleccionar adecuadamente la estrategia de medición. En dicho análisis, se recopilará información de aspectos tales como:

- La identificación de aquellos puestos de trabajo con una exposición al ruido susceptible de superar los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción ( $L_{Aeq,d} = 80$  dB(A) y/o  $L_{pico} = 135$  dB(C)).
- Las tareas encomendadas, fuentes de ruido existentes, exposiciones concomitantes (por ejemplo ototóxicos, vibraciones), sucesos acústicos (martillazos para el forjado de piezas) y posibles variaciones en el trabajo diario.
- La duración de la jornada laboral, pausas que disfruta el trabajador, tiempos de descanso y, si procede, la duración de cada una de las tareas.
- Los datos de producción, materias primas utilizadas, puestos de trabajo, etc.
- La revisión de las mediciones anteriores, si las hubiere.

Una vez analizadas las condiciones de trabajo y establecidos los puestos de trabajo objeto de medición, deben definirse los grupos homogéneos de exposición, que serán aquellos grupos de trabajadores con condiciones de trabajo semejantes y, por consiguiente, expuestos a niveles de ruido similares durante su jornada laboral.

La elaboración de grupos homogéneos de exposición disminuye el número de mediciones necesarias para estimar la exposición laboral al ruido, ya que los valores obtenidos se extrapolan al resto de trabajadores incluidos en dicho grupo.

## 2.2. ETAPA 2: SELECCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MEDICIÓN

En la evaluación de la exposición al ruido deben tenerse en cuenta todos los eventos significativos, por lo que es fundamental seleccionar correctamente la estrategia de medición\*:

- **Medición basada en la tarea**

El trabajo realizado durante la jornada se analiza dividiéndolo en las distintas tareas efectuadas. Para cada una de ellas, se llevan a cabo mediciones por separado del nivel de presión sonora.

Con objeto de que el resultado final sea coherente con la exposición real del trabajador, es necesario estimar adecuadamente la duración de las mismas, asegurándose de que todos los episodios de exposición al ruido queden incluidos en las tareas que se definan y en sus correspondientes mediciones.

---

\* Estas estrategias están basadas en la norma UNE-EN ISO 9612 "Determinación de la exposición al ruido en el trabajo. Método de ingeniería" por lo que se recomienda su lectura, si se desea profundizar en el conocimiento de dichas estrategias.

## • Medición de una jornada completa

El nivel de presión sonora durante una jornada laboral completa se mide de forma continua. Esta estrategia de medición asegura tener en cuenta todos los episodios significativos de ruido cuando el puesto tiene un patrón de trabajo complejo o impredecible, o en el caso de que se desconozca la exposición al mismo, al ser insuficiente el análisis de las condiciones del puesto de trabajo.

## • Medición basada en el muestreo durante el trabajo (función)

Las mediciones se efectúan aleatoriamente a los trabajadores que sean integrantes de un mismo grupo homogéneo de exposición en distintos momentos de la jornada laboral. Es especialmente útil cuando no es operativo o adecuado realizar un análisis de las condiciones de trabajo muy detallado por tener el puesto un patrón de trabajo complejo y sin posibilidad de dividirlo en tareas claramente definidas.

En el siguiente cuadro, se muestran recomendaciones para seleccionar óptimamente la estrategia de medición que mejor se adapte a las condiciones de trabajo:

Selección de la estrategia de medición				
Características del puesto de trabajo		Características del puesto de trabajo		
Tipo de puesto	Tipo o pauta de trabajo	Basada en la tarea	Basada en muestreos durante el trabajo (función)	Basada en la jornada completa
FIJO	Tarea simple o una única operación	RECOMENDADA	-	-
FIJO	Tarea compleja o varias operaciones	RECOMENDADA	APLICABLE	APLICABLE
MÓVIL	Patrón de trabajo definido y con pocas tareas	RECOMENDADA	APLICABLE	APLICABLE
MÓVIL	Trabajo definido con muchas tareas o un patrón de trabajo complejo	APLICABLE	APLICABLE	RECOMENDADA
MÓVIL	Patrón de trabajo impredecible	-	APLICABLE	RECOMENDADA
FIJO O MÓVIL	Tarea compuesta de muchas operaciones cuya duración es impredecible	-	RECOMENDADA	APLICABLE
FIJO O MÓVIL	Sin tareas asignadas, a demanda	-	RECOMENDADA	APLICABLE





## 2.3. ETAPA 3: PLAN DE MEDICIONES

El plan de mediciones es distinto en función de la estrategia de medición seleccionada y, por consiguiente, también los instrumentos necesarios, las horas de dedicación del técnico de prevención para elaborar las mediciones o las indicaciones a los trabajadores para que no interfieran en el resultado de las mediciones, entre otros.

### 2.3.1. Medición basada en la tarea

La jornada de trabajo objeto de estudio debe poder dividirse en tareas bien definidas y limitadas en el tiempo. Las mediciones se efectuarán con un dosímetro personal o un sonómetro integrador-promediador.

Para llevar a cabo esta estrategia de medición, ha de realizarse un exhaustivo análisis de las condiciones de trabajo y disponer de una estimación fiable de la duración de cada una de las tareas.

Un ejemplo en el que puede usarse esta estrategia de medición, es aquel en el que el trabajador durante su jornada laboral ejecuta únicamente las tareas de forjar, cortar y soldar piezas.

#### *2.3.1.1. Metodología para el uso de la estrategia de medición basada en la tarea*

La duración de la medición debe ser lo suficientemente amplia para que el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A” estimado, sea representativo del ruido existente durante la tarea, por lo que es necesario conocer si el ruido es estable o fluctuante, ya que de esta circunstancia dependerá el tiempo mínimo de las mediciones.

- Ruido fluctuante

Cuando la duración de la tarea es inferior a 5 minutos, cada medición debe ser igual a la duración de la misma. Mientras que en aquellas que lo superen, la medición debe ser al menos de 5 minutos para garantizar que el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A”,  $L_{Aeq,T}$ , sea representativo.

Si el ruido durante la tarea es cíclico, la medición debe cubrir al menos tres ciclos enteros. En el caso de que la duración de los tres ciclos sea inferior a cinco minutos, cada medición debe durar al menos ese tiempo cubriendo un número entero de ciclos.

## Estimación de la duración adecuada de las mediciones de tareas con ruidos fluctuantes

Un trabajador efectúa a lo largo de su jornada laboral cuatro tareas bien definidas, que son:

- Tarea A: El ruido generado en esta tarea no es cíclico, siendo la duración de ésta de 4 minutos
  - Tarea B: El ruido generado en esta tarea es cíclico. Cada ciclo dura 7 minutos.
  - Tarea C: El ruido generado en esta tarea no es cíclico, siendo la duración de ésta de 2 horas.
  - Tarea D: El ruido generado en esta tarea es cíclico. Cada ciclo dura 1 minuto.
- ¿Cuáles son los tiempos mínimos de medición para cada una de las tareas?

Solución:

Las duraciones mínimas de las mediciones de cada una de las tareas son:

Tarea	Nº mediciones	Duración mínima de cada medición (minutos)
A	3	4
B	3	21 (3 ciclos enteros)
C	3	5
D	3	5 (5 ciclos enteros)

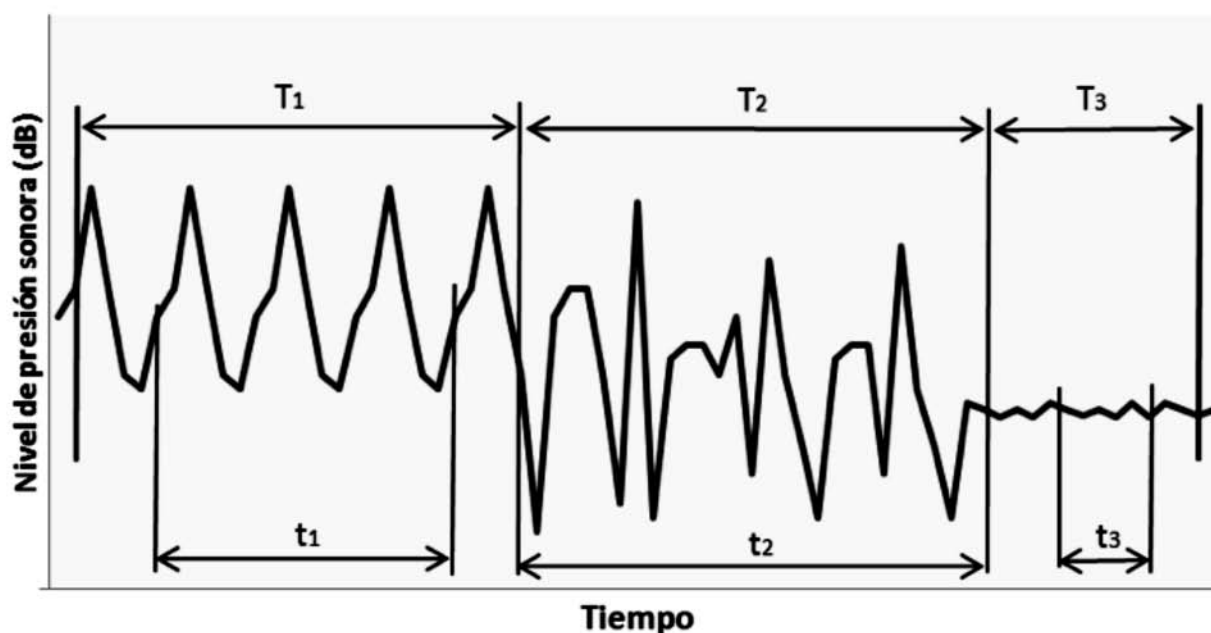


- Ruido estable

La duración de la medición puede ser muy inferior a la duración de la tarea. Si bien no es posible establecer un tiempo mínimo de aplicación general, éste debe ser de al menos un minuto.

En la gráfica se observa el tiempo mínimo de medición, en función del tipo de ruido de cada tarea.

### Tiempo de medición en función del tipo de ruido



donde:

$T_1$  es la duración de la tarea 1;

$t_1$  es la duración de la medición de la tarea 1 (ruido fluctuante y cíclico);

$T_2$  es la duración de la tarea 2;

$t_2$  es la duración de la medición de la tarea 2 (ruido fluctuante de manera aleatoria);

$T_3$  es la duración de la tarea 3;

$t_3$  es la duración de la medición de la tarea 2 (ruido estable);

En todo caso, deben efectuarse al menos tres mediciones del ruido generado en la tarea, a ser posible en diferentes momentos de ésta o en distintos trabajadores de un mismo grupo. Si los resultados de las tres mediciones difieren en 3 dB o más, se optará por una de las siguientes actuaciones:

- Llevar a cabo al menos tres mediciones más de la tarea, siempre que se pueda alargando el tiempo de medición de la misma.
- Observar si las tareas pueden subdividirse.

Para llevar a cabo la estrategia de medición basada en la tarea, se establecen las siguientes fases:

## Fase 1:

Cálculo de la media aritmética,  $\bar{T}_m$ , de la duración de la tarea  $m$ , a partir de la información proporcionada por el personal entrevistado o mediante varias observaciones, haciendo uso de la expresión:

$$\bar{T}_m = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J T_{m,j}$$

donde:

$T_{m,j}$  es la estimación de la duración de la tarea  $m$ ;

$J$  es el número de estimaciones de la duración de la tarea  $m$ .

El sumatorio de las duraciones de las diferentes tareas efectuadas en la jornada laboral debe corresponderse con la duración efectiva de ésta, de tal modo que:

$$T_e = \sum_{m=1}^M \bar{T}_m$$

donde:

$T_e$  es la duración de la jornada de trabajo nominal;

$\bar{T}_m$  es la duración de cada una de las tareas que se desarrollan en la jornada laboral;

$M$  es el número de tareas efectuadas a lo largo de la jornada laboral.

## Fase 2:

Estimación del nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado "A" de cada tarea mediante la expresión:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{Aeq,T,m,n}}{10}} \right]$$

donde:

$L_{Aeq,T,m,n}$  es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado "A" obtenido en la medición de la tarea  $m$ ;

$N$  es el número total de mediciones llevadas a cabo de la tarea.



### Fase 3:

Análisis de la contribución de cada tarea al nivel de exposición diario equivalente de la jornada mediante la expresión:

$$L_{Aeq,d,m} = L_{Aeq,T,m} + 10 \log \left( \frac{\bar{T}_m}{8} \right)$$

donde:

$L_{Aeq,T,m}$  es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A” de la tarea  $m$ ;  
 $\bar{T}_m$  es el valor medio de la duración de dicha tarea.

### Fase 4:

Estimación del nivel de exposición diario equivalente de la jornada mediante la expresión:

$$L_{Aeq,d} = 10 \log \sum_{m=1}^M 10^{\frac{L_{Aeq,d,m}}{10}}$$

donde:

$L_{Aeq,d,m}$  es la contribución de cada tarea al nivel de exposición diario equivalente;  
 $M$  es el número total de tareas.

## 2.3.2. Medición de una jornada completa

La medición debe cubrir la totalidad de la jornada, por lo que se registrarán tanto los períodos con altas contribuciones de ruido como aquellos con un menor nivel de presión sonora, garantizando que los días escogidos sean representativos de la exposición habitual al ruido. Dichas mediciones son efectuadas usualmente con un dosímetro personal.

Es posible que no se puedan llevar a cabo las mediciones durante una jornada laboral completa. En ese caso, se garantizará que las mediciones tengan en cuenta todos los períodos significativos de la exposición al ruido.

Ejemplos en los que puede usarse esta estrategia de medición, son los puestos de carretillero y el personal de mantenimiento.

En las mediciones existe el riesgo de incluir contribuciones falsas de ruido, por lo que es necesario hacer especial hincapié en averiguar si todos los eventos significativos de ruido ocurridos son motivados por una exposición laboral habitual. Para ello es necesario consultar a los trabajadores sobre las actividades realizadas y las posibles incidencias. En algunos casos pueden efectuarse mediciones puntuales con un sonómetro integrador-promediador para validar los niveles de exposición al ruido que se han obtenido con los dosímetros personales.

## 2.3.2.1. Metodología para el uso de la estrategia de medición por jornada completa

Esta estrategia exige llevar a cabo tres mediciones sobre tres jornadas completas y en el caso de que los resultados obtenidos difieran en más de 3 dB, se realizarán mediciones en al menos dos jornadas adicionales. Para llevarla a cabo, es necesario actuar del siguiente modo:

### Fase 1:

El nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado “A” para la duración efectiva de la jornada laboral viene dado por:

$$L_{Aeq,Te} = 10 \log \left[ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{Aeq,T,n}}{10}} \right]$$

donde:

$L_{Aeq,T,n}$  es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A” obtenido en la medición  $n$ ;

$N$  es el número total de mediciones de jornadas completas efectuadas.

### Fase 2:

El nivel de exposición diario equivalente se calcula del siguiente modo:

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,Te} + 10 \log \left( \frac{T_e}{8} \right)$$

donde:

$L_{Aeq,Te}$  es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A” para la duración efectiva de la jornada laboral;

$T_e$  es la duración efectiva de la jornada laboral.

## 2.3.3. Medición basada en el muestreo durante el trabajo (función)

En el transcurso de las tareas identificadas en el análisis de las condiciones de trabajo se practican mediciones aleatorias de la exposición al ruido, habitualmente mediante un dosímetro personal.

Al conjunto de tareas realizadas por un trabajador a lo largo de la jornada se le puede denominar *función*, por lo que en ocasiones, a esta estrategia de medición también se la conoce como “estrategia de medición basada en la función”.

No es recomendable esta estrategia de medición cuando durante la jornada de trabajo puedan soportarse exposiciones a ruidos muy intensos y de corta duración.

Ejemplos en los que puede usarse ésta, son los de un operario de una cadena de producción y un encargado de taller.



### 2.3.3.1. Metodología para el uso de la estrategia de medición basada en el muestreo durante el trabajo (función)

Con objeto de estimar el nivel de exposición diario equivalente, es necesario conocer el tiempo mínimo de las mediciones para que el valor obtenido sea representativo. Dicho tiempo depende del número de trabajadores que estén incluidos en un mismo grupo homogéneo de exposición, que serán aquellos trabajadores con una exposición similar al ruido.

Las etapas necesarias en esta estrategia de medición son:

#### Fase 1:

Establecimiento del grupo homogéneo de exposición y selección del tiempo mínimo necesario de las mediciones, en función del número de trabajadores que componen dicho grupo. Para ello se usa la siguiente tabla:

Selección de la duración del muestreo	
Número de trabajadores, $G$ , del grupo homogéneo de exposición	Duración mínima acumulada de las mediciones, en horas
$G < 5$	5
$5 < G < 15$	$5 + (G-5)/2$
$15 < G < 40$	$10 + (G-15)/4$
$G > 40$	17 o fraccionar el grupo

#### Fase 2:

Toma de muestras aleatorias del ruido de tal modo que el sumatorio de tiempos de éstas sea igual o superior a la duración mínima necesaria de las mediciones. Mediante la expresión indicada a continuación, se calcula el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado "A" para la duración efectiva de la jornada laboral.

$$L_{Aeq,Te} = 10 \log \left[ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{Aeq,T,n}}{10}} \right]$$

donde:

$L_{Aeq,T,n}$  es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado "A" obtenido en la medición  $n$ ;

$N$  es el número total de mediciones efectuadas.

## Fase 3:

Cálculo del nivel de exposición diario equivalente de los trabajadores integrantes del grupo homogéneo de exposición mediante la expresión:

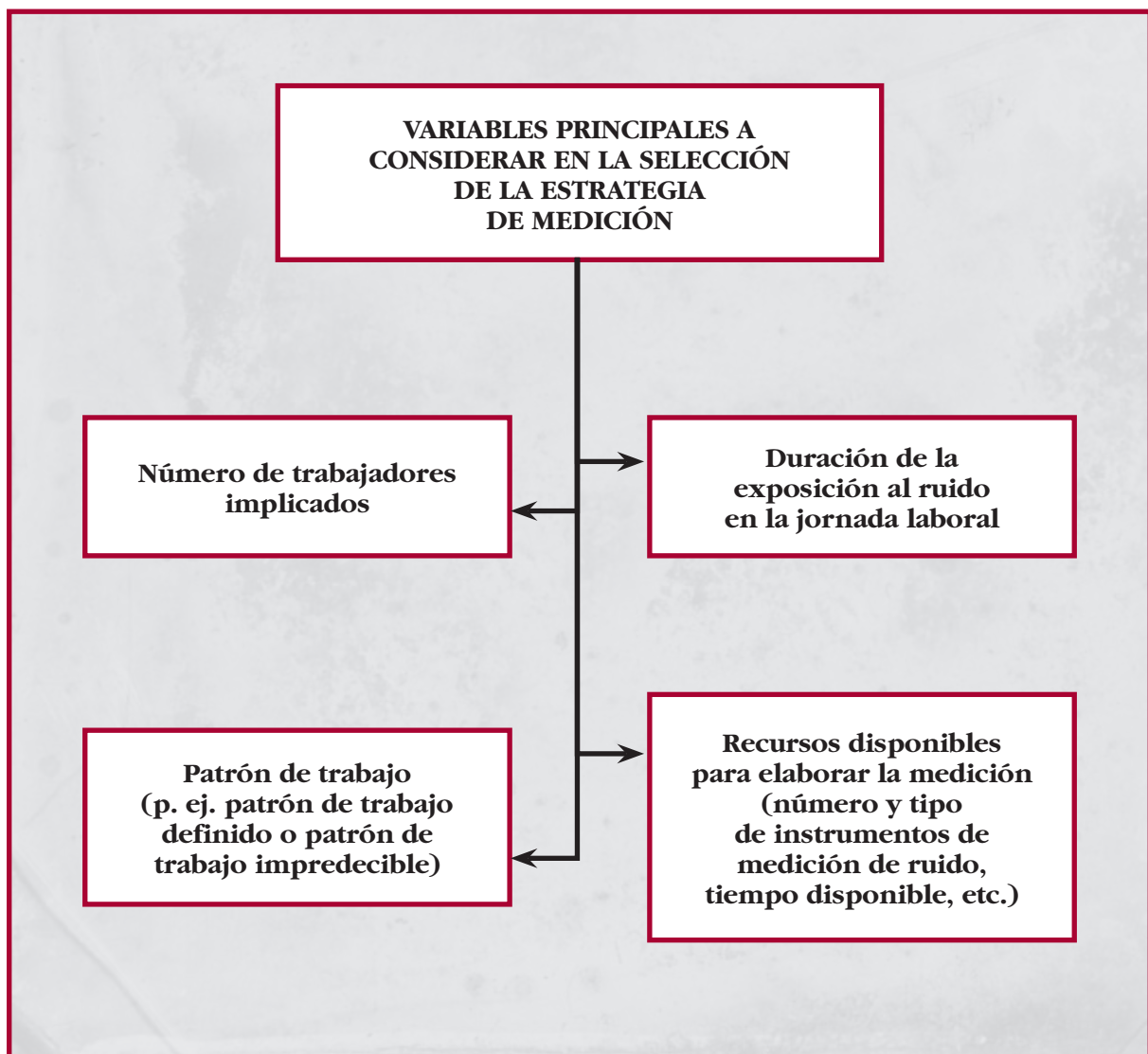
$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,Te} + 10 \log \left( \frac{T_e}{8} \right)$$

donde:

$L_{Aeq,Te}$  es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado "A" para la duración efectiva de la jornada laboral;

$T_e$  es la duración efectiva de la jornada laboral.

En el siguiente esquema se presentan las variables principales a considerar para seleccionar adecuadamente la estrategia de medición:







### **Estimación de la duración mínima acumulada de las mediciones en la estrategia de medición basada en el muestreo durante el trabajo (función)**

El análisis de las condiciones de trabajo concluye que se dispone de un grupo homogéneo de exposición con 17 integrantes. ¿Cuál será la duración mínima acumulada de las mediciones?

Solución:

La duración mínima acumulada de las mediciones se calcula mediante la expresión:

$$10 + (G-15)/4$$

$$10 + (17-15)/4 = 10,5 \text{ horas}$$

Se llevan a cabo mediciones teniendo en cuenta que el sumatorio de tiempos de las mismas sea igual o superior a 10,5 horas, por lo que se decide realizar 11 mediciones con una duración de 1 hora cada una. Deben ser representativas de la exposición al ruido a lo largo de la jornada laboral, por lo tanto, deben efectuarse en distintas horas y con varios trabajadores.

#### **2.3.4. Los instrumentos de medición**

Los instrumentos que pueden utilizarse en una evaluación higiénica de ruido son:

- Sonómetro integrador-promediador.
- Dosímetro personal.
- Calibrador acústico.

##### *2.3.4.1. Sonómetro integrador-promediador*

El sonómetro integrador-promediador obtiene el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado "A" y el nivel de pico. En función de la precisión en la medición pueden ser de clase 1 o 2, siendo los primeros más exactos.

Los instrumentos de medición, es decir, los sonómetros integradores-promediadores y los dosímetros personales disponen de varias velocidades de seguimiento del ruido. En función del tipo de ruido se seleccionará:

- Respuesta lenta (*Slow*, "S"): Con una constante de tiempo de 1 segundo. Para ruidos estables.
- Respuesta rápida (*Fast*, "F"): Con una constante de tiempo de 0,125 segundos. Para ruidos fluctuantes, por lo que ésta será la velocidad de seguimiento del ruido generalmente usada.

- Respuesta pico (*peak*, “P”): Con una constante de tiempo en ascenso igual o inferior a 100 microsegundos. Esta respuesta sirve para evaluar el riesgo en el oído ante impulsos muy cortos pero intensos. El nivel de pico se expresa en dB(C).

## Medición con un sonómetro integrador-promediador

Es recomendable que el micrófono se ubique en ausencia del trabajador y a la altura de su cabeza. En el caso de que su presencia sea necesaria, se situará el micrófono a una distancia aproximada de 10 - 40 centímetros del oído más expuesto. Cuando no se pueda ubicar el micrófono a una distancia igual o inferior a 40 centímetros, se utilizará el dosímetro personal.

El instrumento de medición, siempre que sea posible, se sujetará con un trípode. Si no se dispone del mismo o no es viable esta opción, se recomienda que el técnico mantenga el brazo bien extendido durante la medición y se coloque de tal forma que no provoque un apantallamiento del ruido con su cuerpo.

### 2.3.4.2. Dosímetro personal

Los dosímetros personales están diseñados para ser portados por el trabajador, por lo que es recomendable el uso de los mismos cuando en el puesto de trabajo se observe alguna de las situaciones siguientes:

- El puesto implica movilidad y su patrón de trabajo es complejo o impredecible, tal como ocurre en el puesto de carretillero.
- La variación del nivel de ruido es muy grande o impredecible a lo largo de la jornada, como en el caso de un chapista.

Los valores obtenidos pueden ser sensiblemente diferentes al nivel de ruido real por incidencias en la medición, tales como roces del micrófono con la ropa, golpes, gritos, etc., por lo que es conveniente efectuar también mediciones con un sonómetro integrador-promediador con objeto de comparar ambos valores.

El dosímetro personal obtiene el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A” y el nivel de pico. Su precisión en la medición equivale a la de un sonómetro integrador-promediador de clase 2.

## Medición con un dosímetro personal

El micrófono se coloca a unos 10 centímetros del oído más expuesto al ruido y a unos 4 centímetros por encima del hombro, a fin de evitar roces con el cuello y la ropa.

Algunas recomendaciones para llevar a cabo una correcta medición con dosímetro personal son:

- Encenderlo cuando ya se ha colocado el micrófono y apagarlo antes de proceder a quitarlo para evitar contribuciones falsas, como pueden ser las provocadas por roces del micrófono con la ropa o golpes fortuitos.
- Informar a los trabajadores sobre la finalidad de dicho equipo, solicitando que eviten cualquier contacto con el micrófono o proferir gritos durante la medición.



- Completar la medición con un sonómetro integrador-promediador para cotejar los niveles proporcionados con el dosímetro personal.

Al finalizar la medición se registrará toda la información que pueda ser necesaria para una correcta evaluación del riesgo por exposición al ruido. La información mínima necesaria que ha de registrarse consiste en:

- Una breve descripción del proceso, de las tareas realizadas por el trabajador y la duración aproximada de éstas.
- Las posibles incidencias que puedan afectar a la medición o su interpretación.
- Las fuentes de ruido secundarias, tales como los puestos de trabajo adyacentes en los que se genere ruido.
- El instrumento/s de medición y calibrador/es utilizado.
- La protección auditiva utilizada por el trabajador.

#### *2.3.4.3. Calibrador acústico*

Un calibrador acústico es un dispositivo que genera un nivel de presión sonora, usualmente de 94, 104 o 114 dB a una frecuencia de 1.000 Hz, con el que se comprueba la aptitud de los instrumentos de medición (sonómetros integradores-promediadores y dosímetros personales) al comparar el nivel de presión sonora obtenido por el instrumento de medición con el nivel generado por el calibrador acústico.

En función de su precisión puede ser de dos clases:

- Clase 1. Comprueba instrumentos de medición de clase 1 y 2.
- Clase 2. Comprueba instrumentos de medición de clase 2.

#### *2.3.4.4. Comprobación in-situ del sonómetro integrador-promediador y del dosímetro personal*

Antes y después de la medición, se ha de comprobar (no ajustar) que el sonómetro integrador-promediador y/o el dosímetro personal obtienen un valor correcto del nivel de presión sonora que genera el calibrador acústico. Si dicho valor supera las tolerancias admitidas por la normativa referente a los instrumentos de medición, éste debe ser revisado por el fabricante.

En caso de que sea necesaria una reparación del equipo, deberá efectuarse una verificación post-reparación.

# Guía Práctica para el Análisis y la Gestión del Ruido Industrial

## 2.3.4.5. Ficha de medición de los niveles de ruido

A continuación se presenta un ejemplo de ficha de medición de los niveles de ruido, donde se anotará todo aquello que se considere útil para realizar una evaluación correcta del ruido en el puesto de trabajo.

Sección:										
Puesto de trabajo / características:										
Nº trabajadores / grupo homogéneo de exposición:										
Exposición a ototóxicos / vibraciones:										
Fecha de la medición:										
Personas presentes en la medición:										
Configuración del puesto de trabajo:										
Sonómetro integrador – promediador		Marca/modelo:				Nº serie:				
Dosímetro personal		Marca/modelo:				Nº serie:				
Calibrador acústico		Marca/modelo:				Nº serie:				
Tareas		Sonometría/ Dosimetría	Nombre del Trabajador	Tiempo exposición	Tiempo de muestreo	$L_{Aeq,T}$	$L_{Ceq,T}$	$L_{pico}$	$L_{Aeq,d}$	
Tarea 1:										
Tarea 2:										
Tarea 3:										
Tarea 4:										
<i>Análisis en bandas de octava:</i>										
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz		
Tarea 1:										
Tarea 2:										
Tarea 3:										
Tarea 4:										
<i>Información del protector auditivo:</i>										
Marca / modelo:		H		M		L		SNR		
		$APV_f$	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	8k Hz
Observaciones:										



#### *2.3.4.6. Declaración de conformidad y verificación primitiva*

La declaración de conformidad la emite el fabricante del equipo, declarando que éste cumple con la normativa y estándares de fabricación. Mientras que la verificación primitiva la realiza un laboratorio autorizado (Organismo de Control Metrológico) antes de la comercialización del equipo, y es el primer paso necesario para cumplir con la metrología legal. Es la primera “revisión” que se realiza en el laboratorio en el que se comprueba la aptitud del mismo.

#### *2.3.4.7. Verificación periódica*

Para que las mediciones tengan validez legal, es obligatorio efectuar una verificación con una periodicidad anual, por un Organismo de Control Metrológico autorizado por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, tal y como establece la *Orden ITC/2845/2007, de 25 de septiembre, por la que se regula el control metrológico del Estado de los instrumentos destinados a la medición de sonido audible y de los calibradores acústicos*. Mediante los ensayos realizados se comprueba que el instrumento mantiene desde su última verificación las características metrológicas que le son aplicables.

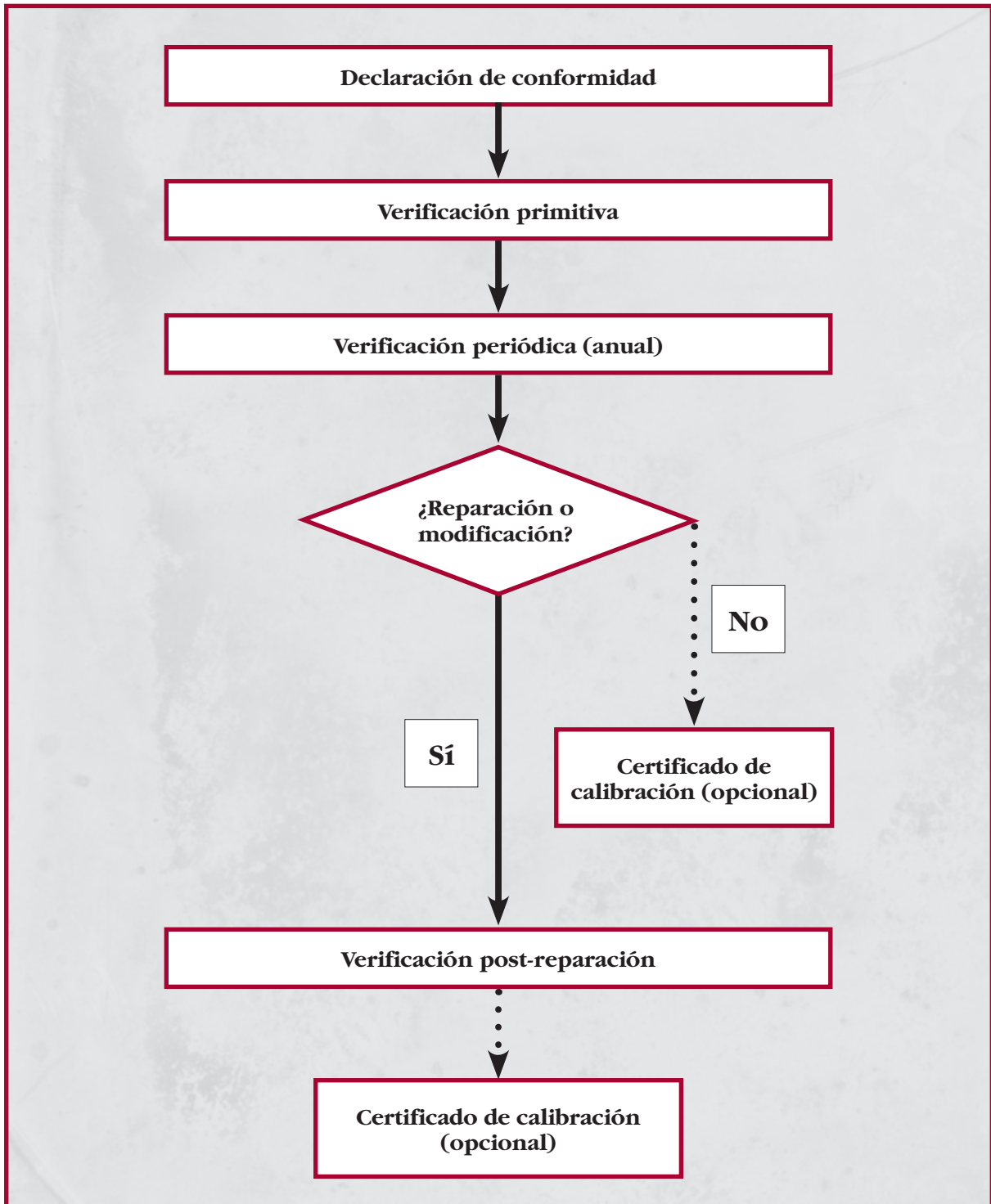
La verificación periódica es obligatoria en todos aquellos instrumentos necesarios para llevar a cabo las mediciones, como son el calibrador acústico, el sonómetro integrador-promediador o en su caso, el dosímetro personal. Por otro lado, también será necesario proceder a la verificación cuando los instrumentos hayan sido modificados o reparados. Si estos equipos después de su reparación o modificación no superan los ensayos, han de ser puestos fuera de servicio hasta que se subsane la deficiencia que ha provocado dicha situación.

Superada la verificación periódica o verificación post-reparación, se hará constar la conformidad del equipo mediante la adhesión de una etiqueta en un lugar visible del instrumento.

#### *2.3.4.8. Certificado de calibración*

No es obligatorio realizar los ensayos necesarios con objeto de obtener el certificado de calibración, pero la superación de los mismos conlleva la emisión de un documento donde se indican los valores numéricos obtenidos durante dicha calibración, junto con la incertidumbre de cada una de las medidas. En la calibración se comprueban exhaustivamente todos los parámetros de medición del equipo.

La siguiente tabla presenta los requisitos que deben cumplir los instrumentos para realizar las mediciones de ruido.





## 2.4. ETAPA 4: TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE EN LAS MEDICIONES

Antes de comenzar a efectuar las mediciones de ruido, es conveniente plantearse una serie de cuestiones:

- ¿Con qué instrumentos llevarlas a cabo (*calibrador acústico, sonómetro integrador-promediador y/o dosímetro personal*)?
- ¿Están operativos los instrumentos (*calibración in-situ, verificación del mismo, batería suficiente, etc.*)?
- ¿Ha sido informado el empresario de la fecha de la medición (*la empresa debe informar a los delegados de prevención del día en que se efectuarán las mediciones por si desean estar presentes*)?
- ¿Qué estrategia de medición es la más apropiada para obtener unos niveles de exposición representativos de la exposición real de los trabajadores?
- ¿Cuáles son las condiciones de trabajo (*presencia de ototóxicos, variabilidad en los niveles de exposición en función de la materia prima usada, activación periódica de señales acústicas, horario de trabajo, pausas...*)?
- ¿Cuáles son los grupos homogéneos de exposición?
- ¿Qué medidas preventivas ya han sido implementadas (*máquinas con cerramientos integrales, rotación de tareas, uso de protección auditiva, etc.*)?

A pesar de desarrollar un análisis detallado de las condiciones de trabajo y realizar adecuadamente las mediciones, los resultados de las mismas tienen un intervalo de incertidumbre que debe tenerse en cuenta, tal y como refleja el *Anexo II* del *RD 286/2006* cuando establece:

• *Número y duración de las mediciones: El número, la duración y el momento de realización de las mediciones tendrán que elegirse teniendo 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 en virtud de lo dispuesto en el presente real decreto. Por ello, cuando uno de los límites o niveles establecidos en el mismo se sitúe dentro del intervalo de incertidumbre del resultado de la medición podrá optarse: a) por suponer que se supera dicho límite o nivel, o b) por incrementar (según el instrumental utilizado) el número de las mediciones (tratando estadísticamente los correspondientes resultados) y/o su duración (llegando, en el límite, a que el tiempo de medición coincida con el de exposición), hasta conseguir la necesaria reducción del intervalo de incertidumbre correspondiente.*

*En el caso de la comparación con los valores límites de exposición, dicho intervalo de incertidumbre deberá estimarse teniendo en cuenta la incertidumbre asociada a la atenuación de los protectores auditivos.*

En función del resultado de la medición y su incertidumbre asociada puede estimarse si se supera un valor de referencia, según muestra la siguiente tabla:

<b>Valoración del <math>L_{Aeq,d}</math> con los valores de referencia (valores inferiores y superiores que dan lugar a una acción, y valores límite de exposición)</b>	
<b>Si <math>L_{Aeq,d} &lt; L_{ref} &lt; L_{Aeq,d} + U</math></b>	Al poder superarse el valor de referencia, $L_{ref}$ , se ha de elegir entre una de estas dos opciones: - Suponer que se supera el valor de referencia, $L_{ref}$ (recomendable). - Incrementar el número de mediciones hasta reducir suficientemente la incertidumbre expandida.
<b>Si <math>L_{Aeq,d} + U \leq L_{ref}</math></b>	No se sobrepasa el valor de referencia.

Las fuentes de incertidumbre más usuales en la medición son:

- Las variaciones en el trabajo diario, tanto por las variaciones en los niveles de ruido, como por el tiempo de exposición.
- La instrumentación empleada.
- La posición del micrófono.
- Las falsas contribuciones provocadas por el viento, impactos en el micrófono o roce del mismo con la ropa, entre otros.
- El análisis inadecuado de las condiciones de trabajo.
- La estrategia de medición errónea.
- La contribución de fuentes de ruido atípicas tales como la voz humana, la música, las señales de alarma o los comportamientos anormales.

Para reducir la incertidumbre en el resultado de la medición, será competencia del técnico:

- Tener una razonable certeza de que las condiciones de trabajo son las habituales en el día que se va a medir. Para ello será necesario realizar un análisis previo de dichas condiciones.
- Comprobar que el micrófono del dosímetro personal no roce con la ropa del trabajador y que el cable de conexión, si lo tuviese, está sujeto a la ropa del trabajador con objeto de no provocar falsas contribuciones provocadas por el efecto triboeléctrico.
- Evitar las mediciones cuando haya corrientes de aire. Si esto no es posible, debe comprobarse que el micrófono dispone de una pantalla antiviento.

Al trabajador, previa instrucción por parte del técnico de prevención, le compete evitar cualquier contacto con el micrófono y proferir gritos en la dirección del mismo, vigilar que el micrófono del dosímetro personal no se descuelgue de la ropa en la que se ha fijado y observar si se producen fenómenos acústicos extraordinarios, como puede ser la activación de una alarma de emergencia.

Mediante estas indicaciones, puede reducirse la incertidumbre en el resultado de la medición pero no eliminarse, por lo que en el nivel de exposición diario equivalente debe incluirse el margen de ésta.





La incertidumbre estándar combinada,  $u$ , asociada al nivel de exposición al ruido, se calcula mediante el sumatorio de las contribuciones de las diferentes fuentes de incertidumbre:

$$u^2 = \sum c_i^2 u_i^2$$

donde:

$c_i$  son los coeficientes de sensibilidad relacionados con cada magnitud de entrada, es decir, una medida de cómo se ve afectado el nivel de exposición al ruido por los cambios en los valores de las respectivas magnitudes;

$u_i$  es la desviación estándar de cada magnitud de entrada.

La incertidumbre expandida,  $U$ , viene dada por  $U = k u$ , donde  $k$  es un factor de cobertura ( $k = 1,65$ ) para obtener un intervalo de confianza unilateral con un 95% de nivel de confianza, o lo que es lo mismo, que el 95 % de los valores están por debajo del límite superior,  $L_{Aeq,d} + U$ .

A continuación, se describe cómo obtener la incertidumbre expandida en las tres estrategias de medición que son, como ya se indicó anteriormente, la estrategia basada en la tarea, en la jornada completa o en el muestreo durante el trabajo (función).

Para agilizar los cálculos, se recomienda el uso del “*Calculador de la incertidumbre asociada a las mediciones de ruido*” disponible en la página web del INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo).

#### 2.4.1. Cálculo de la incertidumbre expandida para la estrategia de medición basada en la tarea

Después de estimar el nivel de exposición diario equivalente, el siguiente paso es averiguar la incertidumbre que conlleva este valor, por lo que todas las tareas inherentes al puesto deben estar definidas correctamente y la estimación de la duración de la misma ha de corresponderse con la realidad. La incertidumbre expandida,  $U$ , se calcula del siguiente modo:

##### Fase 1:

Se halla la incertidumbre estándar combinada,  $u$ , a partir de los valores numéricos de las contribuciones a la incertidumbre:

$$u^2(L_{Aeq,d}) = \left( \sum_{m=1}^M \left[ c_{1a,m}^2 (u_{1a,m}^2 + u_{2,m}^2 + u_3^2) + (c_{1b,m} \cdot u_{1b,m})^2 \right] \right)$$

donde:

$u_{1a,m}$  es la incertidumbre estándar debida al muestreo del nivel de ruido en la tarea  $m$ ;

$u_{1b,m}$  es la incertidumbre estándar debida a la estimación de la duración en la tarea  $m$ ;

$u_{2,m}$  es la incertidumbre estándar debida a los instrumentos utilizados en la medición de la tarea  $m$ .

La tabla indica los valores asociados a cada equipo:

Tipo de instrumento	Desviación estándar, $u_{2,m}$ de la medición en la tarea $m$ en dB
Sonómetro de clase 1	0,7
Sonómetro de clase 2	1,5
Dosímetro personal	1,5

$u_3$  es la incertidumbre estándar debida a la posición del micrófono que será, en todo caso de 1 dB;

$c_{1a,m}$  los coeficientes de sensibilidad relativos a la instrumentación,  $c_{2,m}$ , a la posición del micrófono,  $c_{3,m}$  y al muestreo del nivel de ruido,  $c_{1a,m}$ , tienen el mismo valor, es decir,  $c_{2,m} = c_{3,m} = c_{1a,m}$ .

Por este motivo se simplifica la expresión para obtener la incertidumbre estándar combinada, quedando únicamente reflejado el valor de  $c_{1a,m}$ :

$c_{1b,m}$  es el coeficiente de sensibilidad asociado a la incertidumbre provocada por la estimación de la duración de la exposición para la tarea  $m$ ;

$M$  es el número total de tareas.

La incertidumbre estándar debida al muestreo del nivel de ruido de la tarea  $m$  se calcula del siguiente modo:

$$u_{1a,m} = \sqrt{\frac{1}{I(I-1)} \left[ \sum_{i=1}^I (L_{Aeq,T,m,i} - \bar{L}_{Aeq,T,m})^2 \right]}$$

donde:

$\bar{L}_{Aeq,T,m}$  es la media aritmética de  $I$  niveles de presión acústica continuos equivalentes ponderados "A" de la tarea  $m$ ;

$L_{Aeq,T,m,i}$  son los niveles de presión acústica continuos equivalentes ponderados "A" obtenidos en las mediciones de la tarea  $m$ ;

$I$  es el número total de muestras de la tarea.

La incertidumbre estándar debida a la estimación de la duración para la tarea  $m$  se calcula como sigue:

$$u_{1b,m} = \sqrt{\frac{1}{J(J-1)} \left[ (T_{m,j} - \bar{T}_m)^2 \right]}$$



donde:

$\bar{T}_m$  es la media aritmética de las duraciones obtenidas de la tarea  $m$ , en horas;

$T_{m,j}$  es la duración observada de la tarea  $m$ ;

$J$  es el número total de observaciones de la duración de la tarea.

El coeficiente de sensibilidad asociado al muestreo del nivel de ruido para la tarea  $m$ , se calcula mediante la expresión:

$$c_{1a,m} = \frac{\bar{T}_m}{8} 10^{\frac{L_{Aeq,T,m} - L_{Aeq,d}}{10}}$$

donde:

$\bar{T}_m$  es la media aritmética de las duraciones obtenidas de la tarea  $m$ , en horas;

$L_{Aeq,T,m}$  es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado "A" en la tarea  $m$ ;

$L_{Aeq,d}$  es el nivel de exposición diario equivalente en el puesto de trabajo.

El coeficiente de sensibilidad asociado a la incertidumbre estimada de la duración de la exposición en la tarea  $m$ , viene dado por la expresión:

$$c_{1b,m} = 4,34 \times \frac{c_{1a,m}}{\bar{T}_m}$$

donde:

$c_{1a,m}$  es el coeficiente de sensibilidad asociado al muestreo del nivel de ruido, en la tarea  $m$ ;

$\bar{T}_m$  es la media aritmética de las duraciones obtenidas de la tarea  $m$ , en horas.

## Fase 2:

Se calcula la incertidumbre expandida,  $U$ . Tal y como se indicó anteriormente, para obtener un intervalo de confianza unilateral con un 95% de nivel de confianza, debe aplicarse el siguiente factor de corrección:

$$U = 1,65 \times u$$

### **Cálculo de la incertidumbre estándar, $u_{1b,m}$ , debida a la estimación de la duración de la tarea $m$**

Tras analizar las condiciones de trabajo del puesto de oficial de ebanistería, se concluye que la tarea consistente en cortar tablones de madera mediante sierra de calar, tiene unas duraciones aproximadas dependiendo de las necesidades de producción, de 1 hora, 2,5 horas o 3 horas. ¿Cuál es la incertidumbre estándar debida a la estimación de la duración de la tarea?

Solución:

La incertidumbre estándar debida a la estimación de la duración de la tarea se obtiene como sigue:

$$u_{1b,m} = \sqrt{\frac{1}{J(J-1)} [(T_{m,j} - \bar{T}_m)^2]}$$

donde:

$\bar{T}_m$  es la media aritmética de las duraciones aproximadas de la tarea, por lo que se promediará con los valores de 1, 2,5 y 3;

$T_{m,j}$  es la duración aproximada de la tarea, por lo que su valor será 1 hora, 2,5 horas y 3 horas;

$J$  es el número de veces de posibles duraciones aproximadas de la tarea, que en este caso es 3.

$$u_{1b} = \sqrt{\frac{1}{3(3-1)} [(1 - 2,2)^2 + (2,5 - 2,2)^2 + (3 - 2,2)^2]} = 0,6 \text{ horas}$$



### **Cálculo del nivel de exposición diario equivalente y su incertidumbre expandida aplicando la estrategia de medición basada en la tarea**

En una empresa de cartonaje, el operario de producción desempeña tres tareas bien definidas que consisten en:

- La introducción del cartón en la troqueladora.
- La supervisión y manipulación de la plegadora.
- La recogida del cartón después de haber sido flejado.

La duración efectiva de la jornada laboral es de 8 horas. Tras consultar al jefe de producción, el tiempo empleado en la introducción del cartón en la troqueladora se estima que fluctúa entre 1,5 horas y 2,5 horas. Por su parte, las tareas con la plegadora y la recogida del cartón en la flejadora tienen una duración aproximada, cada una de ellas, de entre 2 y 4 horas. Esta información se resume en el cuadro siguiente:

<b>Tareas</b>	<b>Duración aproximada (en horas)</b>
<b>Introducción del cartón en la troqueladora</b>	2
<b>Supervisión y manipulación de la plegadora</b>	3
<b>Recogida del cartón tras haber sido flejado</b>	3
<b>Total</b>	8

Con un sonómetro integrador-promediador de clase 1 se efectuaron tres mediciones de 10 minutos cada una, de las tres tareas en las que consiste el puesto de trabajo, siendo los resultados obtenidos los que se reflejan a continuación:

<b>Tareas</b>	$L_{Aeq,T,m1}$	$L_{Aeq,T,m2}$	$L_{Aeq,T,m3}$	<b>Máxima diferencia entre valores</b>
<b>Introducción del cartón en la troqueladora</b>	89,4	88,2	87,7	2,1
<b>Supervisión y manipulación de la plegadora</b>	82,2	85,8	84,4	3,6
<b>Recogida del cartón tras haber sido flejado</b>	87,1	86,8	85,0	1,7

Al diferir en más de 3 dB los valores obtenidos en la tarea de supervisión y manipulación de la plegadora, es necesario llevar a cabo tres mediciones adicionales.

<b>Tareas</b>	$L_{Aeq,T,m1}$	$L_{Aeq,T,m2}$	$L_{Aeq,T,m3}$	$L_{Aeq,T,m4}$	$L_{Aeq,T,m5}$	$L_{Aeq,T,m6}$
<b>Introducción del cartón en la troqueladora</b>	89,4	88,2	87,7	-	-	-
<b>Supervisión y manipulación de la plegadora</b>	82,2	85,8	84,4	84,7	88,4	85,9
<b>Recogida del cartón tras haber sido flejado</b>	87,1	86,8	85,0	-	-	-

Solución:

## Etapa 1: Selección de la estrategia

Este puesto de trabajo tiene pocas tareas, están bien definidas y limitadas en el tiempo por lo que se considera que la estrategia de medición basada en la tarea es la más adecuada.

## Etapa 2: Cálculo del nivel de exposición diario equivalente y su incertidumbre expandida

En primer lugar, se calcula la media aritmética de las duraciones de las distintas tareas del siguiente modo:

$$\bar{T}_m = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J T_{m,j}$$

$$\bar{T}_{\text{troquelado}} = \frac{(1,5 + 2,5)}{2} = 2 \text{ horas}$$

$$\bar{T}_{\text{plegado}} = \frac{(2 + 4)}{2} = 3 \text{ horas}$$

$$\bar{T}_{\text{flejado}} = \frac{(2 + 4)}{2} = 3 \text{ horas}$$

Se comprueba que el sumatorio de las duraciones medias es igual a la duración efectiva de la jornada laboral:

$$T_e = \sum_{m=1}^M \bar{T}_m$$

$$T_e = (2+3+3) = 8 \text{ horas}$$

El nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado "A", de cada tarea viene dado por:

$$L_{Aeq,T,m} = 10 \log \left[ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{Aeq,T,m,n}}{10}} \right]$$

$$L_{Aeq,T,troquelado} = 10 \log \left[ \frac{1}{3} (10^{89,4/10} + 10^{88,2/10} + 10^{87,7/10}) \right] = 88,5 \text{ dB(A)}$$

$$L_{Aeq,T,plegado} = 10 \log \left[ \frac{1}{6} (10^{82,2/10} + 10^{85,8/10} + 10^{84,4/10} + 10^{84,7/10} + 10^{88,4/10} + 10^{85,9/10}) \right] = 85,6 \text{ dB(A)}$$

$$L_{Aeq,T,flejado} = 10 \log \left[ \frac{1}{3} (10^{87,1/10} + 10^{86,8/10} + 10^{85/10}) \right] = 86,4 \text{ dB(A)}$$



La contribución de cada tarea al nivel de exposición diario equivalente se calcula del siguiente modo:

$$L_{Aeq,d,m} = L_{Aeq,T,m} + 10 \log \left( \frac{\bar{T}_m}{8} \right)$$

$$L_{Aeq,d,troquelado} = 88,5 + 10 \log \left( \frac{2}{8} \right) = 82,5 \text{ dB(A)}$$

$$L_{Aeq,d,plegado} = 85,6 + 10 \log \left( \frac{3}{8} \right) = 81,3 \text{ dB(A)}$$

$$L_{Aeq,d,flejado} = 86,4 + 10 \log \left( \frac{3}{8} \right) = 82,1 \text{ dB(A)}$$

El nivel global de exposición diario equivalente se calcula aplicando la expresión:

$$L_{Aeq,d} = 10 \log \left[ \sum_{m=1}^M 10^{\frac{L_{Aeq,d,m}}{10}} \right]$$

$$L_{Aeq,d} = 10 \log (10^{82,5/10} + 10^{81,3/10} + 10^{82,1/10}) = \mathbf{86,8 \text{ dB(A)}}$$

Cálculo de la incertidumbre:

La incertidumbre estándar debida al muestreo en las distintas tareas se obtiene mediante la expresión:

$$u_{1a,m} = \sqrt{\frac{1}{I(I-1)} \left[ \sum_{i=1}^I (L_{Aeq,T,m,i} - \bar{L}_{Aeq,T,m})^2 \right]}$$

Obsérvese que es necesario conocer la media aritmética del nivel de presión acústica de cada tarea.

$$u_{1a,troquelado} = \sqrt{\frac{1}{3 \cdot (3-1)} [(89,4 - 88,4)^2 + (88,2 - 88,4)^2 + (87,7 - 88,4)^2]} = \mathbf{0,5 \text{ dB(A)}}$$

$$u_{1a,plegado} =$$

$$\sqrt{\frac{1}{6 \cdot (6-1)} (82,2 - 85,2)^2 + (85,8 - 85,2)^2 + (84,4 - 85,2)^2 + (84,7 - 85,2)^2 + (88,4 - 85,2)^2 + (85,9 - 85,2)^2}$$
$$= \mathbf{0,84 \text{ dB(A)}}$$

$$u_{1a,flejado} = \sqrt{\frac{1}{3 \cdot (3-1)} [(87,1 - 86,3)^2 + (86,8 - 86,3)^2 + (85 - 86,3)^2]} = \mathbf{0,66 \text{ dB(A)}}$$

La incertidumbre estándar provocada por la estimación de la duración de la tarea se obtiene como sigue:

$$u_{1b,m} = \sqrt{\frac{1}{J(J-1)} [(T_{m,j} - \bar{T}_m)^2]}$$

$$u_{1b,troquelado} = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot (2-1)} (1,5 - 2)^2 + (2,5 - 2)^2} = 0,5 \text{ horas}$$

$$u_{1b,plegado} = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot (2-1)} (2 - 3)^2 + (4 - 3)^2} = 1 \text{ hora}$$

$$u_{1b,flejado} = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot (2-1)} (2 - 3)^2 + (4 - 3)^2} = 1 \text{ hora}$$

La medición se efectuó con un sonómetro integrador-promediador de clase 1, por lo que la incertidumbre debida al instrumento de medición,  $u_{2,m}$ , es de 0,7 dB, mientras que la debida a la posición del micrófono,  $u_3$ , es de 1 dB.

El coeficiente de sensibilidad asociado al muestreo del nivel de ruido de cada una de las tareas, se obtiene así:

$$c_{1a,m} = \frac{\bar{T}_m}{8} 10^{\frac{L_{Aeq,T,m} - L_{Aeq,d}}{10}}$$

$$c_{1a,troquelado} = \frac{2}{8} 10^{\frac{88,5 - 86,8}{10}} = 0,37$$

$$c_{1a,plegado} = \frac{3}{8} 10^{\frac{85,6 - 86,8}{10}} = 0,29$$

$$c_{1a,flejado} = \frac{3}{8} 10^{\frac{86,4 - 86,8}{10}} = 0,34$$





El coeficiente de sensibilidad asociado a la incertidumbre provocada por la estimación de la duración de la exposición, de cada una de las tareas, se obtiene del siguiente modo:

$$c_{1b,m} = 4,34 \times \frac{c_{1a,m}}{T_m}$$

$$c_{1b,troquelado} = 4,34 \times \frac{0,37}{2} = 0,80$$

$$c_{1b,plegado} = 4,34 \times \frac{0,29}{3} = 0,42$$

$$c_{1b,flejado} = 4,34 \times \frac{0,34}{3} = 0,49$$

A modo de resumen, se muestra esta tabla con el balance de la incertidumbre:

Balance de incertidumbre		Símbolos	Tarea 1: Troquelado (dB)	Tarea 2: Plegado (dB)	Tarea 3: Flejado (dB)
Nivel de ruido	Incertidumbre estándar	$u_{1a,m}$	0,50	0,84	0,66
	Coeficiente de sensibilidad	$c_{1a,m}$	0,37	0,29	0,34
Duración	Incertidumbre estándar	$u_{1b,m}$	0,50	1,00	1,00
	Coeficiente de sensibilidad	$c_{1b,m}$	0,80	0,42	0,49
Incertidumbre estándar debida al instrumento de medición		$u_{2,m}$	0,7		
Incertidumbre estándar debida a la posición del micrófono		$u_3$	1		

La incertidumbre estándar combinada se calcula mediante la expresión:

$$u^2(L_{Aeq,d}) = \left( \sum_{m=1}^M \left[ c_{1a,m}^2 (u_{1a,m}^2 + u_{2,m}^2 + u_3^2) + (c_{1b,m} \cdot u_{1b,m})^2 \right] \right)$$

$$u^2(L_{Aeq,d}) = 0,37^2 \cdot (0,5^2 + 0,7^2 + 1^2) + 0,29^2 \cdot (0,84^2 + 0,7^2 + 1^2) + 0,34^2 \cdot (0,66^2 + 0,7^2 + 1^2) + (0,80 \cdot 0,5)^2 + (0,42 \cdot 1)^2 + (0,49 \cdot 1)^2 = 1,22$$

$$u(L_{Aeq,d}) = \sqrt{1,22} = 1,10 \text{ dB}$$

Mientras que la incertidumbre expandida se obtiene así:

$$U(L_{Aeq,d}) = 1,65 \times u$$

$$U(L_{Aeq,d}) = 1,65 \times 1,10 = 1,8 \text{ dB}$$

El siguiente cuadro presenta los resultados obtenidos:

Puesto de trabajo	Operario de producción
Nivel de exposición diario equivalente, $L_{Aeq,d}$	86,8 dB(A)
Incertidumbre expandida, $U$	1,8 dB

## 2.4.2. Cálculo de la incertidumbre expandida para la estrategia de medición basada en la jornada completa o en el muestreo en el trabajo (función)

Los cálculos necesarios para conocer la incertidumbre expandida,  $U$ , del nivel de exposición diario equivalente,  $L_{Aeq,d}$  son los mismos en el caso de que se hayan efectuado las mediciones teniendo en cuenta la estrategia de medición basada en la jornada completa o en el muestreo durante el trabajo (función). En ambos casos, la incertidumbre expandida se calcula como se refiere a continuación:

### Fase 1:

La incertidumbre estándar,  $u$ , de los niveles de presión acústica continuos equivalentes ponderados "A",  $L_{Aeq,T,n}$ , muestreados viene dada por:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \left[ \sum_{n=1}^N (L_{Aeq,T,n} - \bar{L}_{Aeq,T})^2 \right]}$$

donde:

$L_{Aeq,T,n}$  es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado "A" de la muestra  $n$ ;

$\bar{L}_{Aeq,T}$  es la media aritmética de  $N$  muestras del nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado "A", es decir,  $\bar{L}_{Aeq,T} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N L_{Aeq,T,n}$ .



### Fase 2:

Los valores de la incertidumbre debida a los instrumentos de medición,  $u_2$ , y a la posición del micrófono,  $u_3$ , se obtienen del siguiente modo:

$u_2$  es la incertidumbre estándar debida a los instrumentos utilizados. En esta tabla se indican los valores de la desviación estándar asociada a cada equipo:

Tipo de instrumento	Desviación estándar, $u_2$ , en dB
Sonómetro de clase 1	0,7
Sonómetro de clase 2	1,5
Dosímetro personal	1,5

$u_3$  es la incertidumbre estándar debida a la posición del micrófono que será, en todo caso, de 1 dB;

### Fase 3:

La contribución a la incertidumbre,  $c_1 u_1$ , de los muestreos del nivel de ruido, en decibelios, (aplicable a un conjunto de  $N$  valores medidos,  $L_{Aeq,T,n}$ ) y de la incertidumbre estándar,  $u_1$ , se obtiene en la tabla siguiente:

N	Contribución a la incertidumbre $c_1 u_1$ de los valores medidos $L_{Aeq,T,n}$ (dB)											
	Incertidumbre estándar, $u_1$											
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
3	0,6	1,6	3,1	5,2	8,0	11,5	15,7	20,6	26,1	32,2	39,0	46,5
4	0,4	0,9	1,6	2,5	3,6	5,0	6,7	8,6	10,9	13,4	16,1	19,2
5	0,3	0,7	1,2	1,7	2,4	3,3	4,4	5,6	6,9	8,5	10,2	12,1
6	0,3	0,6	0,9	1,4	1,9	2,6	3,3	4,2	5,2	6,3	7,6	8,9
7	0,2	0,5	0,8	1,2	1,6	2,2	2,8	3,5	4,3	5,1	6,1	7,2
8	0,2	0,5	0,7	1,1	1,4	1,9	2,4	3,0	3,6	4,4	5,2	6,1
9	0,2	0,4	0,7	1	1,3	1,7	2,1	2,6	3,2	3,9	4,6	5,4
10	0,2	0,4	0,6	0,9	1,2	1,5	1,9	2,4	2,9	3,5	4,1	4,8
12	0,2	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,7	2,0	2,5	2,9	3,5	4,0
14	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5	1,8	2,2	2,6	3,0	3,5
16	0,1	0,3	0,5	0,6	0,8	1,1	1,3	1,6	2,0	2,3	2,7	3,2
18	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,1	2,5	2,9
20	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6
25	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0	2,3
30	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0

Notas: Cuando  $c_1 u_1$  es superior a 3,5 dB (valores sombreados) se recomienda revisar o modificar el plan de medición para reducir  $u_1$ .

Los valores para  $N=3$  y  $N=4$  sólo se usan en la estrategia de medición de jornada completa.

Obsérvese que la incertidumbre estándar,  $u_1$ , de los niveles de presión acústica continuos equivalentes ponderados "A" muestreados,  $L_{Aeq,T,n}$ , se calcula únicamente para utilizarlo como valor de entrada en esta tabla.

## Fase 4:

La incertidumbre combinada estándar se calcula a partir de los valores de todas las contribuciones a la incertidumbre:

$$u^2(L_{Aeq,d}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2)$$

## Fase 5:

La incertidumbre expandida viene dada por:

$$U(L_{Aeq,d}) = 1,65 \times u$$

### **Cálculo del nivel de exposición diario equivalente y su incertidumbre expandida aplicando la estrategia de medición basada en la jornada completa**

El personal de mantenimiento de una empresa textil realiza distintas tareas en función de la demanda, por lo que el patrón de trabajo es impredecible. Los cinco trabajadores de mantenimiento trabajan a turnos de 8 horas con dos pausas de 15 minutos incluidas. Después de analizar sus condiciones de trabajo, se concluye que todos ellos constituyen un mismo grupo homogéneo de exposición al ruido.

Con tres dosímetros personales que funcionan durante toda la jornada laboral, excepto en los descansos en los que estos equipos son puestos en “pausa” por el técnico, se efectuaron tres mediciones.

Al diferir los resultados de las mediciones en más de 3 dB, se realizaron otras 3 mediciones incorporando a los dos trabajadores que no fueron objeto de la medición en un principio.

Trabajador	Día	$L_{Aeq,T,n}$
1	1	86,8
2	1	90,1
3	1	88,6
4	2	89,9
5	2	87,4
1	2	87,7

Solución:

#### **Etapa 1: Selección de la estrategia**

No hay un patrón de trabajo definido y, por consiguiente, se desconoce la duración de cada una de las tareas. Por este motivo, se considera que la estrategia basada en mediciones de la jornada completa es la más adecuada.



## Etapa 2: Cálculo del nivel de exposición diario equivalente y su incertidumbre expandida

El nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado "A" para la duración efectiva de la jornada laboral viene dado por:

$$L_{Aeq,Te} = 10 \log \left[ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{Aeq,T,n}}{10}} \right]$$

$$L_{Aeq,Te} = 10 \log \left[ \frac{1}{6} (10^{86,8/10} + 10^{90,1/10} + 10^{88,6/10} + 10^{89,9/10} + 10^{87,4/10} + 10^{87,7/10}) \right] = 88,6 \text{ dB(A)}$$

A continuación, se promedia a 8 horas para conocer el nivel de exposición diario equivalente:

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,Te} + 10 \log \left( \frac{T_e}{8} \right)$$

$$L_{Aeq,d} = 88,6 + 10 \log \left( \frac{7,5}{8} \right) = 88,3 \text{ dB(A)}$$

La incertidumbre debida al muestreo se calcula del siguiente modo:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \left[ \sum_{n=1}^N (L_{Aeq,T,n} - L_{Aeq,T})^2 \right]}$$

$u_1$

$$= \sqrt{\frac{1}{(6-1)} [(86,8 - 88,4)^2 + (90,1 - 88,4)^2 + (88,6 - 88,4)^2 + (89,9 - 88,4)^2 + (87,4 - 88,4)^2 + (87,7 - 88,4)^2]} \\ = 1,36$$

La contribución a la incertidumbre del muestreo del nivel de ruido,  $c_1 u_1$ , es función del número de mediciones del muestreo ( $N = 6$ ) y del valor de la componente de incertidumbre estándar debida al muestreo ( $u_1 = 1,4$ ).

Contribución a la incertidumbre $c_i u_i$ de los valores medidos $L_{Aeq,T,n}$ (dB)												
N	Incertidumbre estándar, $u_i$											
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
3	0,6	1,6	3,1	5,2	8,0	11,5	15,7	20,6	26,1	32,2	39,0	46,5
4	0,4	0,9	1,6	2,5	3,6	5,0	6,7	8,6	10,9	13,4	16,1	19,2
5	0,3	0,7	1,2	1,7	2,4	3,3	4,4	5,6	6,9	8,5	10,2	12,1
6	0,3	0,6	0,9	1,4	1,9	2,6	3,3	4,2	5,2	6,3	7,6	8,9
7	0,2	0,5	0,8	1,2	1,6	2,2	2,8	3,5	4,3	5,1	6,1	7,2
8	0,2	0,5	0,7	1,1	1,4	1,9	2,4	3,0	3,6	4,4	5,2	6,1
9	0,2	0,4	0,7	1	1,3	1,7	2,1	2,6	3,2	3,9	4,6	5,4
10	0,2	0,4	0,6	0,9	1,2	1,5	1,9	2,4	2,9	3,5	4,1	4,8
12	0,2	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,7	2,0	2,5	2,9	3,5	4,0
14	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5	1,8	2,2	2,6	3,0	3,5
16	0,1	0,3	0,5	0,6	0,8	1,1	1,3	1,6	2,0	2,3	2,7	3,2
18	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,1	2,5	2,9
20	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6
25	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0	2,3
30	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0

La contribución a la incertidumbre,  $c_i u_i$ , de los valores medidos es de 0,82 dB. El resultado se obtiene del siguiente modo:

$$\frac{(1,5-1)}{(0,9-0,6)} = \frac{(1,5-1,36)}{(0,9-X)} ; x = 0,82$$

La incertidumbre típica debida al instrumento de medición,  $u_2$ , es de 1,5 dB, y la estándar debida a la posición del micrófono,  $u_3$ , es de 1 dB.

Los coeficientes de sensibilidad debidos respectivamente, al instrumento empleado y a la posición del micrófono son  $c_2 = c_3 = 1$ .

La incertidumbre combinada estándar del resultado, se calcula mediante la expresión:

$$u^2(L_{Aeq,d}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2)$$

$$u^2(L_{Aeq,d}) = 0,82^2 + 1,5^2 + 1^2 = 3,92$$

$$u(L_{Aeq,d}) = 1,98 \text{ dB}$$

La incertidumbre expandida del resultado se determina como sigue:

$$U(L_{Aeq,d}) = 1,65 \times u$$

$$U(L_{Aeq,d}) = 1,65 \times 1,98 = 3,3 \text{ dB}$$

El cuadro presenta los resultados obtenidos:

<b>Puesto de trabajo</b>	<b>Personal de mantenimiento</b>
<b>Nivel de exposición diario equivalente, <math>L_{Aeq,d}</math></b>	88,3 dB(A)
<b>Incertidumbre expandida, <math>U</math></b>	3,3 dB



### **Cálculo del nivel de exposición diario equivalente y su incertidumbre expandida aplicando la estrategia de medición basada en el muestreo durante el trabajo (función)**

El trabajo en una cadena de montaje de electrodomésticos consiste básicamente en recibir productos, atornillarlos, intervenir en caso de incidencia en la cadena y retirar el producto manufacturado. El tiempo empleado en cada una de las tareas encomendadas fluctúa en función de las necesidades de producción y no se observan variaciones significativas en las mismas, por lo que se infiere que la exposición al ruido es similar.

Tras analizar las condiciones de trabajo, se concluye que los veinte operarios ubicados en ese área son un grupo homogéneo de exposición al ruido con una duración efectiva de exposición al ruido de 7,5 horas. El horario de los turnos de trabajo del grupo es de 06:00 a 14:00 o de 14:00 a 22:00 horas.

Para llevar a cabo las mediciones se dispone de dos dosímetros personales.

Solución:

#### **Etapa 1: Selección de la estrategia**

Al analizar el trabajo de este grupo homogéneo de exposición al ruido se concluye que no será práctico ni operativo efectuar mediciones de cada una de las múltiples tareas que desarrollan, por lo que se decide que se obtendrá un valor de exposición más fiable utilizando la estrategia de medición basada en muestreos durante el trabajo (función).

#### **Etapa 2: Mediciones**

La expresión con la que se averigua el tiempo mínimo necesario de las mediciones en un grupo homogéneo de exposición con veinte integrantes, se obtiene en la siguiente tabla:

<b>Número de trabajadores, G, del grupo homogéneo de exposición</b>	<b>Duración mínima acumulada de las mediciones, en horas</b>
<b><math>G \leq 5</math></b>	5
<b><math>5 &lt; G \leq 15</math></b>	$5 + (G-5)/2$
<b><math>15 &lt; G \leq 40</math></b>	$10 + (G-15)/4$
<b><math>G &gt; 40</math></b>	17 o fraccionar el grupo

El tiempo mínimo necesario es:

$$10 + (20-15)/4 = 11,25 \text{ horas}$$

Se desarrollan 12 horas de mediciones repartidas en 6 mediciones de 2 horas cada una.

Posteriormente, se selecciona aleatoriamente a seis trabajadores de entre los veinte integrantes del grupo de exposición homogéneo al ruido, siendo los resultados de las mediciones los que se indican a continuación:

Día	Turno	Operarios	Período de medición	Resultados, $L_{Aeq,T}$
1	mañana	1	06:30 a 08:30	84,1
1	mañana	1 operario distinto	09:00 a 11:00	85,3
1	mañana	1 operario distinto	12:00 a 14:00	84,8
2	tarde	1 operario distinto	14:30 a 16:30	86,0
2	tarde	1 operario distinto	17:00 a 19:00	85,9
2	tarde	1 operario distinto	20:00 a 22:00	82,1

No se detecta ninguna fuente potencial de errores. A los trabajadores se les consulta si han observado alguna incidencia que podría alterar los resultados, por ejemplo la activación de una alarma acústica.

### Etapa 3: Cálculo del nivel de exposición diario equivalente y su incertidumbre expandida

El nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado "A" de los muestreos de los niveles de ruido se calcula como sigue:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{Aeq,T,n}}{10}} \right]$$

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[ \frac{1}{6} (10^{84,1/10} + 10^{85,3/10} + 10^{84,8/10} + 10^{86,0/10} + 10^{85,9/10} + 10^{82,1/10}) \right] = 84,9 \text{ dB(A)}$$

La duración efectiva de la jornada laboral es de 7,5 horas, por lo que el nivel de exposición diario equivalente es:

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T_e} + 10 \log \left( \frac{T_e}{8} \right)$$

$$L_{Aeq,d} = 84,9 + 10 \log \left( \frac{7,5}{8} \right) = 84,6 \text{ dB(A)}$$





La incertidumbre estándar debida al muestreo en las diferentes mediciones se calcula mediante la expresión:

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \left[ \sum_{n=1}^N (L_{Aeq,T,n} - L_{Aeq,T})^2 \right]}$$

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{(6-1)} (84,1 - 84,7)^2 + (85,3 - 84,7)^2 + (84,8 - 84,7)^2 + (86,0 - 84,7)^2 + (85,9 - 84,7)^2 + (82,1 - 84,7)^2} = 1,5 \text{ dB}$$

La contribución a la incertidumbre del muestreo del nivel de ruido,  $c_1 u_1$ , es función del número de mediciones del mismo ( $N = 6$ ) y del valor de la componente de incertidumbre estándar debida a dicho muestreo ( $u_1 = 1,5$ ), obteniéndose el valor haciendo uso de esta tabla:

Contribución a la incertidumbre $c_1 u_1$ de los valores medidos $L_{Aeq,T,n}$ (dB)												
N	Incertidumbre estándar, $u_1$											
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
3	0,6	1,6	3,1	5,2	8,0	11,5	15,7	20,6	26,1	32,2	39,0	46,5
4	0,4	0,9	1,6	2,5	3,6	5,0	6,7	8,6	10,9	13,4	16,1	19,2
5	0,3	0,7	1,2	1,7	2,4	3,3	4,4	5,6	6,9	8,5	10,2	12,1
6	0,3	0,6	0,9	1,4	1,9	2,6	3,3	4,2	5,2	6,3	7,6	8,9
7	0,2	0,5	0,8	1,2	1,6	2,2	2,8	3,5	4,3	5,1	6,1	7,2
8	0,2	0,5	0,7	1,1	1,4	1,9	2,4	3,0	3,6	4,4	5,2	6,1
9	0,2	0,4	0,7	1	1,3	1,7	2,1	2,6	3,2	3,9	4,6	5,4
10	0,2	0,4	0,6	0,9	1,2	1,5	1,9	2,4	2,9	3,5	4,1	4,8
12	0,2	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,7	2,0	2,5	2,9	3,5	4,0
14	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5	1,8	2,2	2,6	3,0	3,5
16	0,1	0,3	0,5	0,6	0,8	1,1	1,3	1,6	2,0	2,3	2,7	3,2
18	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,1	2,5	2,9
20	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6
25	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0	2,3
30	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0

La contribución a la incertidumbre,  $c_1 u_1$ , de los valores medidos es de 0,9 dB.

La incertidumbre estándar debida al instrumento de medición,  $u_2$ , es de 1,5 dB.

La incertidumbre estándar debida a la posición del micrófono,  $u_3$ , es de 1 dB.

El coeficiente de sensibilidad debido al instrumento empleado y a la posición del micrófono es  $c_2 = c_3 = 1$ .

La incertidumbre combinada estándar del resultado se calcula mediante la expresión:

$$u^2(L_{Aeq,d}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2)$$

$$u^2(L_{Aeq,d}) = 0,9^2 + 1,5^2 + 1^2 = 4$$

$$u(L_{Aeq,d}) = 2 \text{ dB}$$

La incertidumbre expandida del resultado es:

$$U(L_{Aeq,d}) = 1,65 \times u$$

$$U(L_{Aeq,d}) = 1,65 \times 2 = 3,3 \text{ dB}$$

El presente cuadro destaca los resultados obtenidos:

<b>Puesto de trabajo</b>	<b>Operario de cadena de montaje</b>
<b>Nivel de exposición diario equivalente, <math>L_{Aeq,d}</math></b>	84,6 dB(A)
<b>Incertidumbre expandida, <math>U</math></b>	3,3 dB

## 2.5. ETAPA 5: COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS VALORES DE REFERENCIA

El empresario ha de llevar a cabo la evaluación basándose en la medición de los niveles de ruido a los que están expuestos los trabajadores, excepto si el técnico competente considera que es posible llegar a una conclusión sin necesidad de medir, como puede ocurrir en la evaluación de puestos de trabajo en locales comerciales, oficinas, almacenes, etc.

En el caso de que sea necesaria la medición y evaluación de los niveles de presión sonora, el RD 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido establece tres niveles de exposición laboral:

**VALORES LÍMITE DE EXPOSICIÓN  $L'_{Aeq,d} > 87 \text{ dB(A)}$  y/o  $L'_{pico} > 140 \text{ dB(C)}$**   
(Al aplicar los valores límite se tendrá en cuenta la atenuación que proporciona el protector auditivo)

**VALORES SUPERIORES DE EXPOSICIÓN QUE DAN LUGAR A UNA ACCIÓN**  
 $L_{Aeq,d} > 85 \text{ dB(A)}$  y/o  $L_{pico} > 137 \text{ dB(C)}$

**VALORES INFERIORES DE EXPOSICIÓN QUE DAN LUGAR A UNA ACCIÓN**  
 $L_{Aeq,d} > 80 \text{ dB(A)}$  y/o  $L_{pico} > 135 \text{ dB(C)}$



La superación de cada uno de los niveles de referencia conlleva una serie de medidas específicas que debe asumir el empresario:

Valores de exposición	V.I.E.A.	V.S.E.A.	V.L.E.*
<b>Actuación</b>	$L_{Aeq,d}$ > 80 dB(A) O $L_{pico}$ > 135 dB(C)	$L_{Aeq,d}$ > 85 dB(A) O $L_{pico}$ > 137 dB(C)	$L'_{Aeq,d}$ > 87 dB(A) O $L'_{pico}$ > 140 dB(A)
<b>Evaluación higiénica</b>	Trienal	Anual	Anual
<b>Formación e información</b>	Sí	Sí	Sí
<b>Vigilancia de la salud: control audiométrico preventivo</b>	Sí. Quinquenal como mínimo	Sí Trienal como mínimo	Sí Trienal como mínimo
<b>Equipo de protección auditiva</b>	A disposición. Optativo su uso	Entrega y uso obligatorios	Entrega y uso obligatorios
<b>Señalización</b>	Recomendable	Obligatorio	Obligatorio
<b>Elaboración y ejecución de un programa de medidas técnicas y/o de organización</b>	Recomendable	Obligatorio	Obligatorio

\* Al aplicar los valores límite, se tendrá en cuenta la atenuación que proporciona el protector auditivo.

Los niveles de exposición diarios equivalentes,  $L_{Aeq,d}$  y los niveles de pico,  $L_{pico}$ , se comparan con los valores de exposición que dan lugar a una acción y con los valores límite de exposición tal y como se expone a continuación. En el único caso en el que podrá utilizarse el criterio del nivel de exposición semanal equivalente para evaluar la exposición al ruido, se encuentra el referido en el apartado 1.9. Nivel de exposición semanal equivalente,  $L_{Aeq,s}$ .

### 2.5.1. Valores límite de exposición

Para conocer si se superan los valores límite de exposición, se tendrá en cuenta la atenuación que proporciona el protector auditivo. Estos valores límite no pueden sobrepasarse salvo en situaciones excepcionales y debidamente justificadas en las que el uso pleno y adecuado de la protección auditiva conlleve un riesgo mayor para la seguridad y salud del trabajador.

En aquellos puestos de trabajo en los que la exposición diaria a ruido pueda variar sensiblemente y sea posible usar el criterio del nivel de exposición semanal equivalente,  $L_{Aeq,s}$  ha de tenerse en cuenta que:

- Podrá superarse el valor límite de exposición del nivel diario equivalente,  $L'_{Aeq,d}$  siempre y cuando no se superen los 87 dB(A) en el criterio del nivel de exposición semanal equivalente.
- El valor límite de exposición del nivel de pico no puede sobrepasarse en ninguna circunstancia.

Los niveles de ruido efectivos en el oído que conllevan la superación de los valores límite de exposición son  $L'_{Aeq,d} = 87$  dB(A) y/o  $L'_{pico} = 140$  dB(C).

El término  $L'$  corresponde a:

$$L'_{Aeq} = (L_{Aeq} - \text{atenuación del protector})$$

## **Valoración de la posible superación del valor límite de exposición**

En un puesto de trabajo con un nivel diario equivalente,  $L_{Aeq,d}$  de 94 dB(A) los trabajadores usan protectores auditivos durante toda la jornada laboral. Tras calcular la atenuación que proporcionan los mismos (*léase el Capítulo 4. Protección Auditiva*) se concluye que el nivel de exposición diario equivalente que llega al oído,  $L_{Aeq,d}$  es de 83 dB(A). ¿Esta exposición significa que se supera el valor límite?

Solución:

Las conclusiones extraídas del enunciado del ejemplo son:

- No se supera el valor límite, ya que el nivel de exposición diario equivalente que llega al oído,  $L_{Aeq,d}$  es de 83 dB(A), es decir, inferior a los 87 dB(A).
- A todos los efectos se considera que el nivel de exposición diario equivalente del puesto de trabajo son 94 dB(A) y por consiguiente, se sobrepasa el valor superior de exposición que da lugar a una acción ( $L_{Aeq,d} = 85$  dB(A)).

Si a pesar de las medidas adoptadas por el empresario se comprobaran exposiciones por encima de los valores límite de exposición, éste debería adoptar las siguientes acciones:

- Tomar inmediatamente medidas para reducir la exposición por debajo de los valores límite de exposición, incidiendo en:
  - La reducción del nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A” en los lugares de trabajo.
  - La disminución de los tiempos de exposición.
  - Seleccionar y velar por la utilización de los protectores auditivos.
- Determinar las razones de la sobreexposición que, entre otras, pueden ser debidas a:
  - Los incrementos del tiempo de exposición.
  - Los cambios en los procedimientos de trabajo.
  - La incorporación de nuevas fuentes de ruido.
  - El mantenimiento inadecuado de los equipos de trabajo.
  - La incorrecta selección del protector auditivo.
  - La colocación y/o mantenimiento inadecuado del protector auditivo.
- Corregir las medidas de prevención y protección a fin de evitar que vuelva a producirse una reincidencia.
- Informar a los delegados de prevención de tales circunstancias, concretamente sobre:
  - La magnitud con que se han superado los valores límite.
  - Dónde y en qué circunstancias ha ocurrido.



- Las medidas que con carácter de urgencia se consideran apropiadas para la reducción inmediata de la exposición.
- Las causas que han motivado la sobreexposición.
- Las acciones previstas para evitar reincidencias.

En el caso de que se considere que la utilización plena y adecuada de los protectores auditivos provoque un riesgo mayor para la seguridad o la salud del trabajador que el hecho de prescindir de ellos, el empresario podrá tomar la decisión de renunciar a los mismos estando obligado a:

- Razonarlo y justificarlo, previa consulta a los trabajadores y/o sus representantes, en su caso.
- Hacerlo constar de forma fehaciente en la evaluación de riesgos laborales.
- Comunicarlo a la autoridad laboral mediante el envío de la parte de la evaluación de riesgos donde se justifica la excepción, así como el período de tiempo estimado en el que permanecerán las circunstancias que la motivan, a efectos de que la misma pueda comprobar que se dan esas condiciones que la justifican.
- Adoptar las medidas técnicas y organizativas que garanticen, teniendo en cuenta las circunstancias particulares, la reducción a un mínimo de los riesgos derivados de ellas.
- Llevar a cabo la vigilancia de la salud de forma más intensa, según se establezca para cada caso en el protocolo de vigilancia sanitaria específica.

### **2.5.2. Valores superiores de exposición que dan lugar a una acción**

En la comparación de los resultados obtenidos en las mediciones de ruido con los valores de exposición que dan lugar a una acción, tanto inferiores como superiores, no se tendrá en cuenta la atenuación proporcionada por los protectores auditivos.

Cuando la exposición laboral sobrepase uno o ambos valores superiores de exposición que dan lugar a una acción ( $L_{Aeq,d} = 85$  dB(A) y/o  $L_{pico} = 137$  dB(C)), el empresario debe llevar a cabo las siguientes medidas:

- Un plan de medidas técnicas y/o de organización.
- La señalización de la obligatoriedad del uso del protector auditivo.
- La evaluación y medición de los niveles de ruido con una periodicidad mínima anual.
- Los controles audiométricos con una periodicidad mínima trienal.
- El suministro y control del uso del protector auditivo.
- La información y formación relativas a los riesgos derivados de la exposición al ruido.
- Si es viable desde el punto de vista técnico y el riesgo de exposición lo justifica, en la periferia de la zona con riesgo al ruido se señalizará éste y se delimitará la zona.

El uso del protector auditivo ha de plantearse como la última opción posible para proteger al trabajador, por lo que mediante el plan de medidas técnicas y/o de organización se procurará reducir la exposición hasta niveles aceptables.

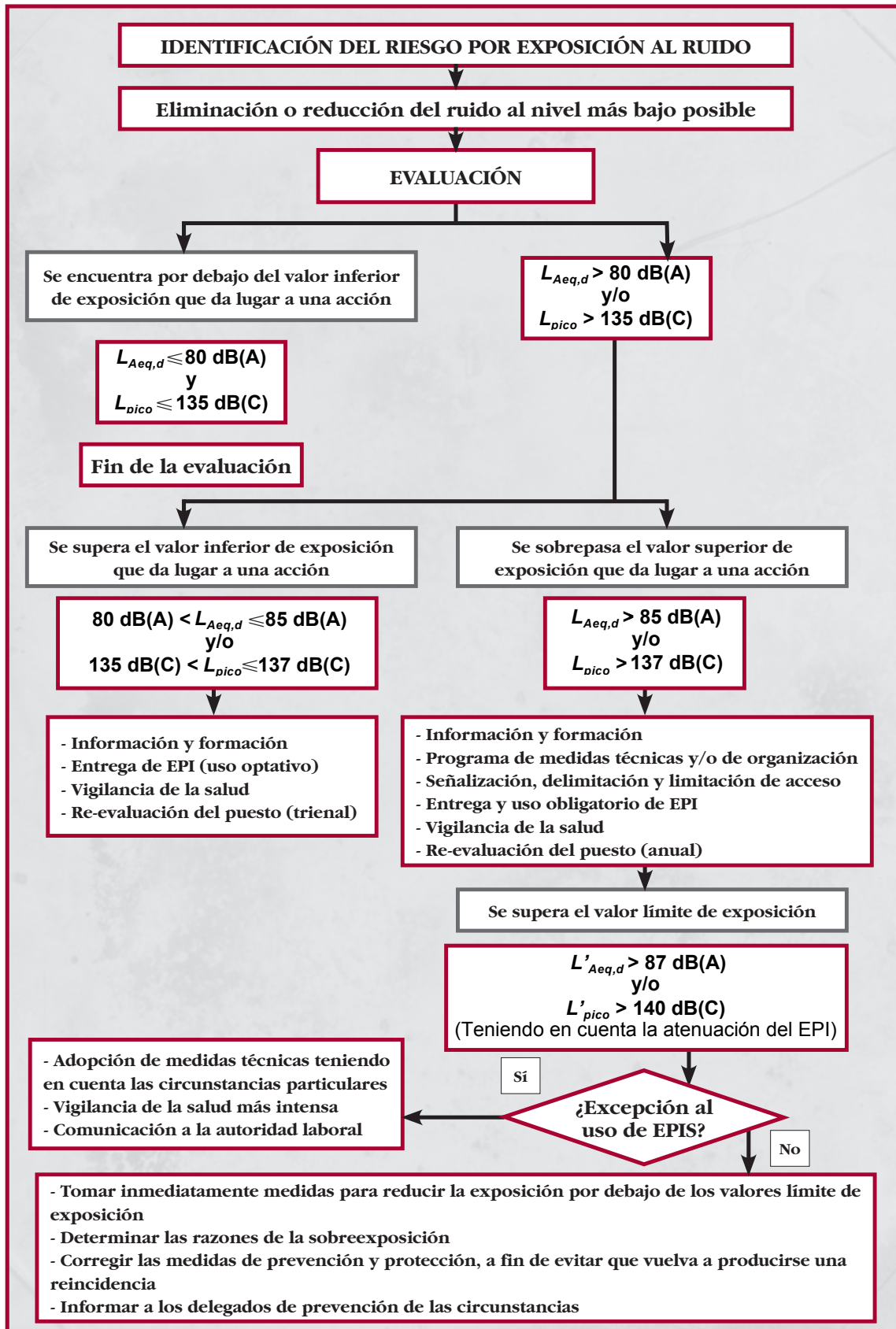
### 2.5.3. Valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción

Cuando la exposición laboral supere uno o ambos valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción ( $L_{Aeq,d} = 80$  dB(A) y/o  $L_{pico} = 135$  dB(C)), el empresario debe llevar a cabo estas actuaciones:

- Evaluar y medir los niveles de ruido con una periodicidad mínima trienal.
- Poner a disposición de los trabajadores los protectores auditivos (optativo su uso).
- Realizar controles audiométricos con una periodicidad mínima quinquenal.
- Informar y formar con respecto a los riesgos derivados de la exposición al ruido.



A continuación, se presenta un flujograma con las medidas que debe llevar a cabo el empresario en función de los niveles de exposición:



## **Valoración del resultado de las mediciones de ruido en un puesto de trabajo con respecto a los niveles de exposición que establece la legislación vigente**

Los trabajadores usan protectores auditivos durante las 8 horas de su jornada laboral en un puesto de trabajo en el que hay un nivel de exposición diario equivalente,  $L_{Aeq,d}$  de 86 dB(A). Se estima una atenuación efectiva del protector de 15 dB(A), por lo que el nivel de exposición diario equivalente que llega al oído del trabajador,  $L'_{Aeq,d}$  es de 73 dB(A).

Determinar si esta exposición al ruido sobrepasa el valor superior de exposición que da lugar a una acción (V.S.E.A.).

Solución:

A pesar de que el nivel de ruido que llega al oído del trabajador es de 73 dB(A), se sobrepasa el V.S.E.A., al ser el nivel de exposición diario equivalente,  $L_{Aeq,d}$  superior a 85 dB(A).

Obsérvese que en la comparación con los valores de acción, tanto inferiores como superiores que dan lugar a una acción, no se tiene en cuenta la atenuación que proporcionan los protectores auditivos. Esto exige al empresario ejecutar todas las medidas que establece la legislación vigente (RD 286/2006) en el caso de que se sobrepasase el V.S.E.A., tales como la elaboración de un plan de medidas técnicas y/o de organización.

## **2.6. INFORME DE LA EVALUACIÓN**

El informe de higiene industrial, con respecto al ruido en el puesto de trabajo, debe incluir los siguientes apartados:

### **INFORME DE HIGIENE INDUSTRIAL: EVALUACIÓN DE RUIDO SEGÚN RD 286/2006**

- 1. Identificación de la empresa y personas que intervienen en la evaluación** (*fecha, firma del técnico de prevención y del responsable de la empresa, etc.*).
- 2. Objeto del informe:** *por exposición al ruido.*
- 3. Criterios de evaluación:**
  - Instrumentación empleada (*sonómetro integrador-promediador, dosímetro personal...*).
  - Parámetros utilizados ( $L_{Aeq,T}$ ,  $L_{Aeq,d}$ ,  $L_{pico}$  y  $L_{Aeq,s}$  *si procede*).
- 4. Estrategia de medición** (*justificación de la estrategia de medición empleada y exposición del plan de medición*).





### 5. Evaluación por lugar / puesto de trabajo

- Descripción del puesto de trabajo.
- Condiciones cuando se realizan las medidas (*horario, incidencias, exposición a agentes ototóxicos, etc.*).
- Trabajador/es muestreado/s.
- Resultados de las mediciones.
- Valoración de las mediciones.
- Medidas preventivas.

### 6. Anexos

- Relación de trabajadores por puesto de trabajo o grupos homogéneos de exposición.
- Información que facilita la comprensión del puesto de trabajo (*planos, fotos, croquis...*).

## 2.7. CONFORT ACÚSTICO

En ambientes laborales en los que no haya riesgo de pérdida de audición por exposición al ruido, como las oficinas, los comercios o los laboratorios entre otros, pueden darse casos de molestias debidas al mismo (irritación, distracciones, interferencias en la comunicación...) procedentes principalmente del ruido del exterior, de las instalaciones de ventilación y climatización, de los equipos de trabajo y de los propios ocupantes.

El método más comúnmente usado para evaluar esta exposición es el Rc Mark II con el que se obtiene el grado de desequilibrio sonoro en el lugar de trabajo.

Ha de tenerse en cuenta que este método no está enfocado para la evaluación en locales que han de tener condiciones sonoras muy bajas, como pueden ser los estudios de grabación.



**3**  
**CAPÍTULO**

---

**Control de la exposición**

---

**laboral al ruido**

---



Cuando se identifique el riesgo por exposición al ruido, deben adoptarse medidas que lo eliminen o lo reduzcan al mínimo posible. En caso de que se sobrepasen los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción, será necesario establecer y ejecutar un plan de medidas técnicas y/o de organización.

A continuación, se plantean medidas técnicas y organizativas para reducir los niveles de exposición al ruido.

## 3.1. MEDIDAS TÉCNICAS

Los procedimientos técnicos de control reducen los niveles de ruido en los focos de emisión y/o sobre los medios de transmisión o propagación del mismo. Es fundamental que en la fase de diseño de la máquina se implementen todas aquellas medidas que reduzcan el ruido final que ésta emite, ya que las medidas técnicas que se lleven a cabo a posteriori serán más costosas. Además, en muchos casos no se obtendrá un resultado satisfactorio y son susceptibles de perder su eficacia por el envejecimiento del material aislante, roturas del mecanismo insonorizante o por un uso inadecuado por parte de los trabajadores.

### 3.1.1. Actuaciones en la fuente

Las actuaciones con objeto de reducir el ruido en la fuente emisora suelen ser las más efectivas, sobre todo si ya fueron incluidas al diseñar la máquina, como se indicó anteriormente:

- Evaluar y medir los niveles de ruido con una periodicidad mínima trienal.
- Poner a disposición de los trabajadores los protectores auditivos (optativo su uso).
- Realizar controles audiométricos con una periodicidad mínima quinquenal.
- Informar y formar con respecto a los riesgos derivados de la exposición al ruido.

A continuación, se muestran las medidas que debe llevar a cabo el empresario en función de los niveles de exposición:

#### *3.1.1.1. Selección y adaptación de equipos de trabajo para que generen el menor nivel posible de ruido*

Un análisis sonoro del equipo permite conocer cuál es el principal foco generador de ruido con objeto de actuar sobre él y reducirlo. Es recomendable implementar en el programa de compras de la empresa que se prime la adquisición del equipo de trabajo más silencioso entre los existentes en el mercado.

El *Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas* dispone que los manuales de los equipos deben incluir información sobre:

- El nivel de presión acústica de emisión ponderado “A” en los puestos de trabajo cuando éste supere los 70 dB(A); si el nivel fuera inferior o igual a 70 dB(A), debe mencionarse este hecho.
- El valor máximo de la presión acústica instantánea ponderado “C”, cuando supere los 130 dB.
- El nivel de potencia acústica ponderado “A” emitido por la máquina, si el nivel de presión acústica de emisión ponderado “A” supera en los puestos de trabajo los 80 dB(A).



### 3.1.1.2. Métodos de trabajo o procedimientos que minimicen la exposición al ruido

En muchos procesos industriales puede reducirse significativamente la exposición laboral del trabajador al ruido mediante métodos de trabajo o procedimientos, como los que se presentan a continuación:

- Reducción del ruido de impacto

El choque de dos superficies duras provoca una transformación rápida de la energía de impacto en ruido y calor. Es posible reducir sensiblemente el ruido generado si se sustituyen estas superficies duras por otras que sean capaces de absorber buena parte de la energía de impacto. También pueden minimizarse los niveles de pico incrementando el tiempo en el que se produce el mismo. De este modo, se distribuye la misma energía durante más tiempo. Así la energía desprendida por unidad de tiempo es menor y, por consiguiente, el nivel de pico se reduce.

El ruido de impacto, siempre que sea posible, puede ser minimizado llevando a cabo las siguientes actuaciones:

- Utilizar martillos que tengan la cabeza de material polimérico.
- Reducir la altura de caída de las piezas.
- Utilizar planchas perforadas en vez de macizas.
- Recubrir con material absorbente las superficies en las que impactan los productos.
- Sustituir engranajes metálicos por otros con material polimérico.
- Sustituir engranajes normales por helicoidales, en los cuales el contacto entre dientes se produce de forma gradual.
- Sustituir prensas mecánicas por prensas hidráulicas para que las deformaciones en los materiales se produzcan por presión en vez de por un golpe.

- Reducción del ruido provocado por el aire comprimido

La limpieza de piezas con aire comprimido genera un foco de ruido significativo, siendo posible reducirlo siguiendo las recomendaciones que se indican:

- Regular la presión de salida del aire a la mínima necesaria.
- Usar boquillas con silenciadores que minimicen las turbulencias en la salida del mismo.
- Evitar que el chorro incida sobre cantos, huecos, superficies irregulares o que choque con paredes sólidas, con el fin de reducir las turbulencias.

### 3.1.2. Actuaciones en el medio

Los procesos industriales pueden transmitir ruido, tanto por vía aérea, como por vibraciones en la estructura de la nave, generando nuevas ondas acústicas en puntos que pueden estar distantes de la fuente emisora del ruido.

### 3.1.2.1. Actuaciones en la transmisión aérea del ruido

En un centro de trabajo en el que existan múltiples focos generadores de ruido y, por tanto, sea difícil actuar sobre cada uno de ellos, puede optarse por intervenir sobre la transmisión aérea del ruido mediante actuaciones como las expuestas.

#### Uso de materiales absorbentes en el recubrimiento del local

Los materiales absorbentes reducen la reflexión del ruido que incide sobre ellos, por lo que son eficaces cuando el ruido soportado por los trabajadores proviene mayoritariamente del reflejado y no del directo de la fuente.

El nivel sonoro reflejado disminuye generalmente mediante el uso de materiales porosos tipo fibras, como la lana de vidrio, la lana de roca o las sintéticas, por su alta capacidad para transformar la energía acústica en energía mecánica. Esto es debido a que al entrar en contacto la onda acústica con la superficie del material, gran parte de la misma se cuela por los intersticios haciendo entrar en vibración a las fibras.

Los materiales porosos suelen instalarse suspendidos en el techo o fijados en las paredes, proporcionando los resultados más satisfactorios en las frecuencias altas (ruidos agudos).

La capacidad de absorción de un material se define mediante el coeficiente de absorción,  $\alpha_p$ , que relaciona la energía absorbida con el total de la energía acústica incidente, situándose los valores en el intervalo de 0 (ausencia de absorción) a 1 (absorción total). Dicha cualidad fluctúa en cada material en función de si el ruido al que está expuesto tiene la mayoría de la energía acústica distribuida en las frecuencias altas, medias o intermedias.

A modo de ejemplo se presentan a continuación diversos materiales en los que se observa su capacidad de absorción en función de la frecuencia del ruido recibido.

Coefficiente de absorción ( $\alpha_p$ )	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
<b>Fibra de vidrio (50 kg/m<sup>3</sup>)</b> espesor 25 mm espesor 50 mm	0,08 0,17	0,25 0,50	0,65 0,75	0,85 0,90	0,80 0,85	0,75 0,80
<b>Ladrillo visto</b>	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
<b>Hormigón</b>	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
<b>Vidrio en ventana</b> espesor 3 mm espesor 6 mm	0,35 0,10	0,25 0,08	0,18 0,04	0,12 0,03	0,07 0,02	0,04 0,02
<b>Ventana abierta</b>	1	1	1	1	1	1



### Aislamiento de la fuente mediante cerramientos

Para que sea efectivo el aislamiento de la máquina, deben tenerse en cuenta actuaciones como:

- La instalación de algún elemento antivibratorio entre la máquina y el cerramiento.
- El recubrimiento con materiales absorbentes de las superficies internas de los cerramientos para reducir la reverberación del sonido.
- La puesta en la parte externa del cerramiento, de un material con elevada masa para generar una mayor resistencia a la propagación del ruido.
- El tratamiento acústico mediante túneles de absorción, cortinas aislantes, etc., de aquellas aberturas que disponga la máquina, tales como las necesarias para la recepción y expedición de materiales, la ventilación, etc.

### Uso de barreras

Con objeto de la correcta instalación de las barreras, se destaca una serie de recomendaciones a adoptar:

- Ubicarlas lo más cerca posible de los trabajadores.
- Procurar que el nivel de las barreras tenga al menos, el doble de la altura del trabajador.
- Recubrirlas con materiales absorbentes.
- Considerar que son más eficaces para limitar la transmisión de ruidos en las altas frecuencias.

El uso de barreras resulta beneficioso en la limitación de la transmisión del ruido en espacios abiertos, como las carreteras o los aeropuertos. Sin embargo, suelen ser poco eficaces en lugares cerrados.

#### *3.1.2.2. Actuaciones en la transmisión del ruido en sólidos*

Con objeto de reducir la transmisión del ruido por la vibración de las máquinas, es necesario tener presente que:

- Si se detecta un alto nivel de vibraciones de la máquina en su conjunto, es conveniente instalar elementos antivibratorios, ya que dichas vibraciones podrían transmitirse a través de la estructura de la nave.
- Es útil sellar las máquinas y las carcasas con elementos elásticos que absorban las vibraciones para que las excitaciones mecánicas de las mismas no se transmitan y generen un foco de ruido.

### **3.1.3. Actuaciones en el receptor**

#### *3.1.3.1. Selección de la protección auditiva*

Como última opción para reducir la exposición al ruido, se opta por el uso del protector auditivo. Para seleccionarlo se tendrán en cuenta las características del puesto, su capacidad

de atenuación del ruido y la comodidad del mismo, aspecto clave para que tenga una buena aceptación por parte de los trabajadores con objeto de que no rechacen su uso.

### 3.1.3.2. *Instalación de cabinas insonorizadas*

Cuando el aislamiento de la máquina no sea posible o resulte insuficiente para reducir el nivel de ruido hasta valores aceptables, puede plantearse la opción de ubicar al trabajador en una cabina insonorizada, <teniendo en cuenta que:

- La cabina no es un método eficaz para la protección del trabajador si éste debe ausentarse de ella repetidamente o durante períodos de tiempo prolongados. Sí puede ser útil en industrias muy automatizadas en las que el control del proceso es la función básica de los trabajadores.
- La cabina es un lugar de trabajo, por lo que en su fase de diseño debe asegurarse que la misma cumpla con los requerimientos relativos a la ventilación, iluminación, temperatura, etc.
- Las aberturas necesarias para la ventilación han de incluir un suficiente aislamiento para que el ruido no se introduzca en el interior cabina.
- La superficie en la que se apoya la cabina no debe transmitir al interior de la misma las vibraciones que puedan llegar a través de la estructura de la nave.

## 3.2. MEDIDAS ORGANIZATIVAS

Las medidas organizativas serán todas aquellas actuaciones que reduzcan los daños producidos por el ruido y que no se encuentren incluidas en las medidas técnicas o de protección personal.

A continuación, se presentan diversas opciones con objeto de reducir los niveles de ruido soportados por el trabajador.

### 3.2.1. **Programas apropiados de mantenimiento de los equipos, del lugar y de los puestos de trabajo**

Con el paso del tiempo, los equipos de trabajo suelen convertirse en equipos más ruidosos por lo que el programa de mantenimiento debe incluir actuaciones como:

- Engrasar y lubricar regularmente las máquinas para evitar fricciones, así como equilibrarlas dinámicamente.
- Sustituir las piezas desgastadas.
- Alinear adecuadamente los engranajes y cojinetes.

### 3.2.2. **Limitación de la duración e intensidad de la exposición**

La cantidad de energía sonora que recibe el trabajador depende de dos variables, el nivel de presión sonora al que está expuesto y el tiempo de exposición.

Las rotaciones a puestos más silenciosos son útiles para reducir el tiempo de exposición al ruido, pero esta medida suele ser poco efectiva ya que una breve exposición puede ser suficiente para recibir una elevada cantidad de energía sonora. Además, en centros de trabajo con altos niveles de ruido, suele ser difícil disponer de puestos en los que éste sea bajo y, si





los hubiese, el trabajador tendría que permanecer allí durante una parte considerable de la jornada laboral para que se redujese sensiblemente la dosis recibida.

La organización del trabajo ha de entenderse como una medida complementaria para reducir el ruido soportado por el trabajo y no como una solución única en sí misma.

**Cálculo del tiempo de rotación de un puesto con objeto de reducir la cantidad de energía sonora que recibe el trabajador**

Un trabajador soporta un nivel de exposición diario equivalente,  $L_{Aeq,d}$ , de 84 dB(A) durante una jornada laboral de 7 horas. Para reducir su exposición se plantea rotarle a un área exenta de ruido. ¿Cuánto tiempo tendrá que ocupar dicho puesto para que su nivel de exposición diario equivalente sea de 82 dB(A)?

Solución:

Al conocerse el nivel de exposición diario equivalente y el tiempo de exposición, puede obtenerse el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado "A",  $L_{Aeq,T}$ , del siguiente modo:

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \log \left( \frac{T}{8} \right)$$

$$84 = L_{Aeq,T} + 10 \log (7/8)$$

$$L_{Aeq,T} = 84,6 \text{ dB(A)}$$

Posteriormente, se sustituye el nivel de exposición diario equivalente de 84 dB(A) por el valor deseado que es 82 dB(A) para obtener el tiempo de exposición máximo al ruido.

$$82 = 84,6 + 10 \log (T/8)$$

$$-0,26 = \log (T/8)$$

Se despeja  $T$  aplicando el antilogaritmo:

$$10^{-0,26} = (T/8)$$

$$T = 4,4 \text{ horas}$$

Con el fin de que el nivel de exposición diario equivalente sea de 82 dB(A), el tiempo de exposición a un nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado "A" de 84,6 dB(A) sería de 4,4 horas. Por lo tanto, durante el resto de su jornada laboral el operario debería permanecer en el área de trabajo exenta de ruido.

### 3.2.3. Concepción y disposición de los lugares de trabajo

Una concepción y disposición adecuada de los lugares de trabajo permite disminuir el número de trabajadores expuestos y minimizar el ruido soportado por los trabajadores.

Para ello se plantean las recomendaciones siguientes:

- Disponer los equipos emisores de ruido teniendo en cuenta la ubicación habitual de los trabajadores.
- Organizar el trabajo de tal forma que sólo estén expuestos a las operaciones más ruidosas aquellos trabajadores que realicen dicha tarea, por ejemplo, efectuar el soplado con aire comprimido en el exterior de la nave.
- Utilizar los equipos más ruidosos en los turnos de trabajo con menor presencia de trabajadores.
- Alejar a los trabajadores de los equipos más ruidosos, ya que se reducen 6 dB cada vez que se duplica la distancia al foco de ruido en condiciones de campo libre y sin barreras, y entre 3 y 4 dB en espacio reverberante.

Estas acciones reducen sensiblemente la exposición de los trabajadores al ruido, siendo habitualmente poco costosas y con baja interferencia en el proceso productivo.

### 3.2.4. Señalización

Es preceptivo señalar la obligatoriedad del uso de la protección auditiva cuando se presente alguna de las situaciones siguientes:

- Puestos de trabajo permanentes, en los que se sobrepasen los niveles superiores de exposición que dan lugar a una acción.
- Puestos de trabajo itinerantes, en los que puedan sobrepasarse los niveles superiores de exposición que dan lugar a una acción. Esto sucede cuando un operario debe permanecer un tiempo prolongado en un área de trabajo con un nivel de presión sonora elevado o por el sumatorio de exposiciones al ruido en varios lugares de trabajo.

En aquellos centros donde se sobrepasen los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción, cuando sea posible, se colocarán señales de advertencia que informen del riesgo de exposición al ruido y se limitará el acceso a la zona. De este modo, sólo estará permitido exclusivamente a las personas que lo precisen por índole laboral y que además porten protección auditiva.

### 3.2.5. Información y formación a los trabajadores\*

Los trabajadores que desarrollen sus tareas en lugares donde puedan superarse los niveles inferiores de exposición que dan lugar a una acción, deben recibir información y formación relativa a los riesgos derivados de la exposición al ruido, en particular sobre:

- La naturaleza de tales riesgos, es decir, el origen de la misma, sus consecuencias y los síntomas iniciales de la hipoacusia. En determinadas ocasiones deben valorarse otros efectos que derivan de la exposición al ruido, como la falta de concentración o la dificultad en la comunicación entre otras.



- Medidas tomadas para eliminar o reducir al mínimo posible los riesgos derivados del ruido.
- Los valores límite de exposición y los valores de exposición que dan lugar a una acción.
- Los resultados de las evaluaciones y mediciones del ruido, junto con una explicación de su significado y los riesgos potenciales.
- El uso y mantenimiento correcto de los protectores auditivos, así como su capacidad de atenuación.
- Criterios para que el propio trabajador pueda detectar indicios de pérdida auditiva.
- Circunstancias en las que los trabajadores tienen derecho a una vigilancia de la salud y su finalidad.
- Prácticas de trabajo seguras, con el fin de reducir al mínimo la exposición.

### 3.2.6. Vigilancia de la salud

El empresario debe garantizar la vigilancia de la salud de los trabajadores en función de los riesgos inherentes al trabajo. En cuanto a la exposición al ruido, la periodicidad mínima de los controles audiométricos debe ser:

- Reconocimiento inicial

Con objeto de llevar a cabo un seguimiento de la salud del trabajador y disponer de información suficiente para detectar a trabajadores sensibles a ciertos riesgos, se efectuará el reconocimiento inicial en la incorporación al trabajo o tras la asignación de nuevas tareas que entrañen riesgos para los que no se disponga de vigilancia de la salud específica.

Al trabajador puede considerársele especialmente sensible cuando se presenten situaciones como:

- La exposición a ototóxicos (origen laboral o extralaboral, por ejemplo, los medicamentos).
- El embarazo (se han establecido riesgos a partir de la semana 20-25 de gestación).
- Las personas que ya sufren hipoacusia o presbiacusia\*.
- El estado de salud (hipertensión arterial, mayores de 50 años, infecciones óticas, etc.).

- Reconocimiento médico periódico

- Cada 3 años como mínimo, para los trabajadores cuya exposición sobrepase los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción.

---

\* *Presbiacusia: Es la pérdida progresiva de audición debida al deterioro asociado a la edad del sistema auditivo.*

- Cada 5 años como mínimo, para los trabajadores cuya exposición supere los valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción.

Puede ser necesario un incremento en la frecuencia de reconocimientos si se detecta una especial sensibilidad (exposición concomitante a ototóxicos, hipertensión arterial, etc.) o en circunstancias de exposición atípicas o de difícil evaluación, como la prolongación de la exposición al ruido después de la exposición laboral, pero motivada por ésta (silvicultores que se desplacen a su lugar de trabajo por carreteras no asfaltadas...).

- Reconocimiento médico después de una ausencia prolongada por motivos de salud

Es necesario llevar a cabo un reconocimiento después de una ausencia prolongada por motivos de salud con el propósito de descubrir si guardan relación o pueden atribuirse a la exposición al ruido, así como para observar si se ha generado una especial sensibilidad, ya sea temporal o permanente.

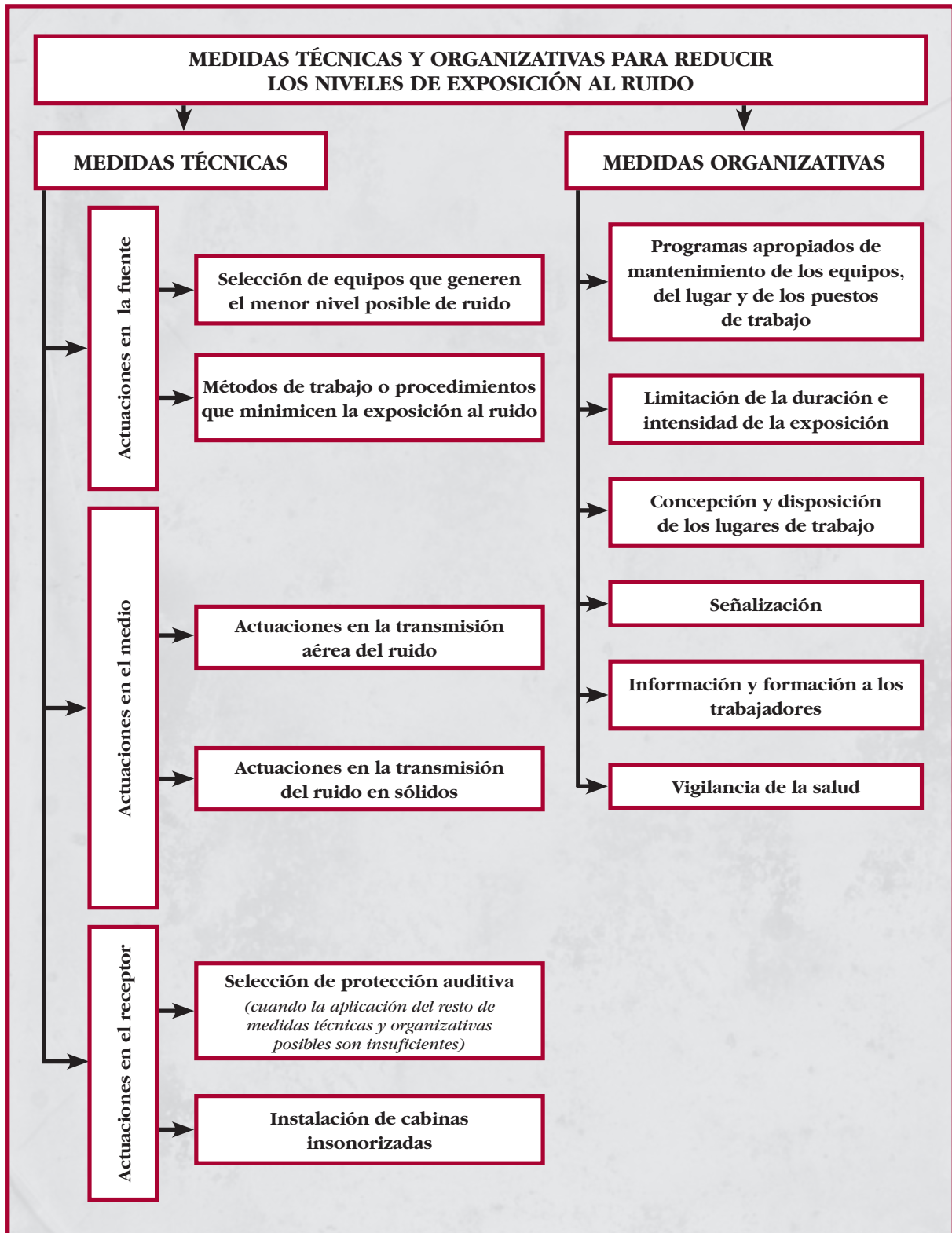
Cuando se detecte en los controles audiométricos una lesión auditiva diagnosticable, el médico de vigilancia de la salud ha de evaluar si puede ser por consecuencia de una exposición al ruido durante el trabajo. Si concluye que es motivada por ésta, el médico u otro personal sanitario competente debe comunicar al trabajador el resultado e informar al empresario en términos de aptitud.

Por su parte, el empresario una vez recibido el informe preceptivo sobre la aptitud del trabajador, ha de acometer las siguientes acciones:

- Revisar la evaluación de riesgos y las medidas previstas para eliminar o reducir los riesgos.
- Exigir el uso de protectores durante la revisión de las medidas previstas y hasta que se eliminen o reduzcan los riesgos.
- Tener en cuenta las recomendaciones del médico responsable de la vigilancia de la salud.
- Disponer una vigilancia sistemática de la salud de todos los trabajadores que hayan sufrido una exposición similar.



A continuación se presenta un esquema con medidas técnicas y organizativas encaminadas a reducir los niveles de exposición al ruido:



Es obligatorio implementar un programa de medidas técnicas y/o de organización cuando se sobrepasen los valores superiores de exposición que dan lugar a una acción. Dicho programa se encuentra dentro del ámbito de la planificación de la actividad preventiva por lo que debe implicar a todos los niveles jerárquicos; desde la dirección de la empresa que será la responsable de su implantación y supervisión, hasta los trabajadores o sus representantes que han de ejecutar las funciones asignadas en el programa, ser consultados en relación a éste y ejercer su derecho de participación si lo consideran oportuno. El programa incluye:

- Acciones concretas a emprender: medidas técnicas y/o de organización, establecimiento de prioridades y el plazo para llevarlas a cabo.
- Designación de los responsables de su ejecución: éstos deben estar suficientemente formados para implantar el programa y puede ser necesaria la intervención de especialistas ajenos a la empresa.
- Recursos financieros disponibles: presupuesto en el que se contemple la adquisición de materiales para la reducción del ruido, protectores auditivos, gastos generados por los recursos humanos, etc.
- Comprobación periódica de las actividades planificadas: observar, tanto el progreso en su ejecución, como la eficacia de éstas.

Al finalizar la ejecución del citado programa, se verificará si el resultado final cumple con los objetivos previamente fijados, realizándose revisiones periódicas. Si no se cumplen dichos objetivos, se estudiarán las causas de su fracaso y con las conclusiones obtenidas se modificará el mismo.


Todas las fases del programa deberán documentarse y ser accesibles para las autoridades competentes y los representantes de los trabajadores.




\* Información y formación a los trabajadores: Con respecto a la información facilitada al trabajador, como ejemplo se presenta un tríptico elaborado por el Área de Prevención de FREMAP que contiene recomendaciones de seguridad y salud relacionadas con la exposición al ruido.

Recomendaciones para la utilización de

## EQUIPOS DE PROTECCIÓN AUDITIVA



Con la colaboración de:




### FREMAP

Mutua de Accidentes de Trabajo y Enfermedades Profesionales de la Seguridad Social Número 81

### DÓNDE UTILIZAR LA PROTECCIÓN AUDITIVA

- Según recoge el R.D.286/06 es obligatorio el uso de protectores auditivos en todos los puestos de trabajo en los que se sobrepasen los 85 dB(A) de nivel de exposición diario equivalente o que presenten picos de ruido superiores a 137 dB.
- El Real Decreto recomienda su utilización en todos los puestos de trabajo en los que se superen los 80 dB(A) de nivel de exposición diario equivalente o picos de 135 dB.
- Se deben utilizar en todas las operaciones especiales que sean ruidosas, sobre todo en aquellas que por ser de corta duración se consideran poco significativas, aunque no se supere el nivel de 87 dB(A) de nivel de exposición diario equivalente o picos de 140 dB.



- El uso de protectores auditivos está especialmente aconsejado para aquellas personas que presentan una disminución de la capacidad auditiva detectada por los reconocimientos médicos.

### CLASES DE PROTECTORES AUDITIVOS

- Tapones.
- Tapones con amés.
- Orejeras.

### EQUIPOS ESPECIALES.

### SELECCIÓN DEL EQUIPO

Para la selección del equipo de protección auditiva se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones:

#### GENERALES

- Todos los equipos deberán llevar la marca de certificación.
- Antes de su implantación, se deberá determinar técnicamente que la protección sea adecuada al nivel de ruido y a su distribución en frecuencias.
- Para que resulten eficaces los protectores auditivos deberán llevarse durante todo el tiempo que dure la exposición. La no utilización durante períodos de tiempo, aunque sean muy cortos disminuye considerablemente la eficacia obtenida.
- Habrà de tenerse en cuenta la comodidad del trabajador que vaya a usar el equipo y el ambiente de trabajo en el que vaya a utilizarse.
- Se considerará la compatibilidad entre el protector auditivo y otros equipos que el trabajador se vea obligado a llevar.
- Si bien los problemas dermatológicos generalmente no son contemplados en las normas de certificación, se deberán tener dichos problemas en personas sensibilizadas o delicadas.

#### RESPECTO A LA COMODIDAD

Aunque en la actualidad no existe un criterio objetivo de valoración de la comodidad, se deberá prestar atención a:

- La elección del tamaño del protector auditivo ya que, aunque el tamaño normal puede resultar adecuado para la mayor parte de las personas, puede darse el caso que se necesiten tallas especiales.

- ◆ Otros factores o características tales como el peso, la presión, el tipo o clase de protector, etc.

## AMBIENTE DE TRABAJO Y ACTIVIDAD

- ◆ Los ambientes de elevada temperatura y humedad crean unas atmósferas en las que resultarán más adecuados los tapones que las orejeras. Similares reflexiones podrían hacerse en ambientes con presencia de polvo, que puede acumularse entre la orejera y la piel.
- ◆ En puestos de trabajo en los que se manipulen sustancias que puedan adherirse a la piel, resultarán más adecuadas las orejeras que los tapones, ya que así se evitará la manipulación necesaria para la colocación de éstos últimos.
- ◆ En trabajos con exposición intermitente de corta duración resultan más adecuadas las orejeras por su mayor facilidad de colocación.

## COMPATIBILIDAD CON OTROS EQUIPOS

- ◆ Cuando los trabajadores deban portar más equipos de protección individual deberá tenerse en cuenta la posible pérdida de eficacia de los equipos, como por ejemplo puede ocurrir con las patillas de las gafas que suelen disminuir la eficacia de las orejeras.
- ◆ Siempre que vaya a llevarse más de un protector individual deberá estudiarse previamente las compatibilidades entre los equipos utilizados. En otras ocasiones los equipos de protección auditiva están diseñados para ser llevados junto con cascos de seguridad.

## PROBLEMAS DE SALUD

- ◆ Las personas propensas a sufrir irritaciones u otros problemas de la piel, así como las que sufren de dolor de oídos, acumulación de cerumen y cualquier otro trastorno auditivo, deberán consultar con el médico sobre el equipo más adecuado.

## RECOMENDACIONES DE USO Y MANTENIMIENTO

- ◆ Los protectores auditivos habrán de limpiarse y mantenerse periódicamente, sobre todo cuando debe estar expuesto a ambientes muy sucios.
- ◆ Los protectores auditivos Y, sobre todo, los tapones, deberán manipularse con las manos limpias.
- ◆ Los tapones son de uso exclusivamente individual.



- ◆ Si las orejeras van a ser usadas excepcionalmente por más de una persona, deberán limpiarse tras cada uso y deberán llevarse con almohadillas.

- ◆ Las orejeras no deberán ser manipuladas por los trabajadores, ni para modificar el apriete, ni perforar los casquetes, ni de ninguna otra forma que pueda afectar a su eficacia.



## NORMATIVA APLICABLE

La normativa aplicable referente al uso de la protección auditiva viene reflejada en:

- ◆ RD 286/06 sobre ruido y su Guía Técnica.
- ◆ RD 773/97 sobre EPI y su Guía Técnica.

## RECUERDE

- ✓ El uso de protectores auditivos será obligatorio en todos aquellos puestos de trabajo en los que se superasen los 85 dB(A) de nivel de exposición diario equivalente o con picos de ruido superiores a 137 dB.
- ✓ Todos los equipos de protección auditiva deberán llevar la marca de certificación.
- ✓ La elección de la protección auditiva a emplear deberá tener en cuenta factores de comodidad como el tamaño, el peso, la presión, etc.
- ✓ Para que resulten eficaces los protectores auditivos deberán llevarse durante todo el tiempo que dure la exposición.
- ✓ Las personas propensas a sufrir irritaciones u otros problemas de la piel, así como las que sufren de dolor de oídos, acumulación de cerumen y cualquier otro trastorno auditivo, deberán consultar con el médico sobre el equipo más adecuado.
- ✓ Los protectores auditivos habrán de limpiarse y mantenerse periódicamente, sobre todo cuando debe estar expuesto a ambientes muy sucios.

© FREMAP  
Ctra. de Pozuelo nº 61  
28220 Majadahonda (Madrid)







**4**  
**CAPÍTULO**

---

**Protección Auditiva**

---






El protector auditivo se implantará cuando no sea posible prevenir los riesgos derivados de la exposición al ruido mediante otros medios o éstos sean insuficientes. Para seleccionarlo, han de tenerse en cuenta los niveles de exposición al ruido, las características propias del puesto y la comodidad del mismo. Es recomendable que en la selección participen el técnico de prevención y los trabajadores que vayan a hacer uso de él.

Los derechos y obligaciones del empresario y de los trabajadores en cuanto al uso de los protectores auditivos son:

- En caso de sobrepasarse los valores inferiores de exposición, el empresario pondrá a disposición de los trabajadores los protectores auditivos.
- Cuando se sobrepasen los valores superiores de exposición y mientras se ejecute el programa de medidas técnicas y/o de organización, el empresario suministrará y velará por el uso de los protectores auditivos.

En la tabla se muestran los protectores auditivos pasivos más usuales y las características principales que han de tenerse en cuenta para seleccionar el más adecuado.

PROTECTORES AUDITIVOS PASIVOS	
Tipo	Características a tener en cuenta para su correcta selección
<p><b>Orejas</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso.</li> <li>• Disponible en varias tallas.</li> <li>• Posibilidad de recambios (insertos de espuma y almohadillas).</li> </ul>
<p><b>Tapones premoldeados</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponible en varias tallas.</li> <li>• En colores llamativos para facilitar el control de su uso.</li> </ul>
<p><b>Tapones moldeados</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material fácilmente moldeable para facilitar su colocación y extracción.</li> <li>• Disponible en colores llamativos para facilitar el control de su uso.</li> </ul>



## PROTECTORES AUDITIVOS PASIVOS

### Tapones premoldeados con arnés



- Disponible en varias tallas.
- Comodidad del protector auditivo teniendo en cuenta tanto la presión del arnés como el tipo de tapón premoldeado.

Los protectores auditivos no pasivos pueden poseer otras funciones adicionales, siendo los más habituales:

## PROTECTORES AUDITIVOS NO PASIVOS

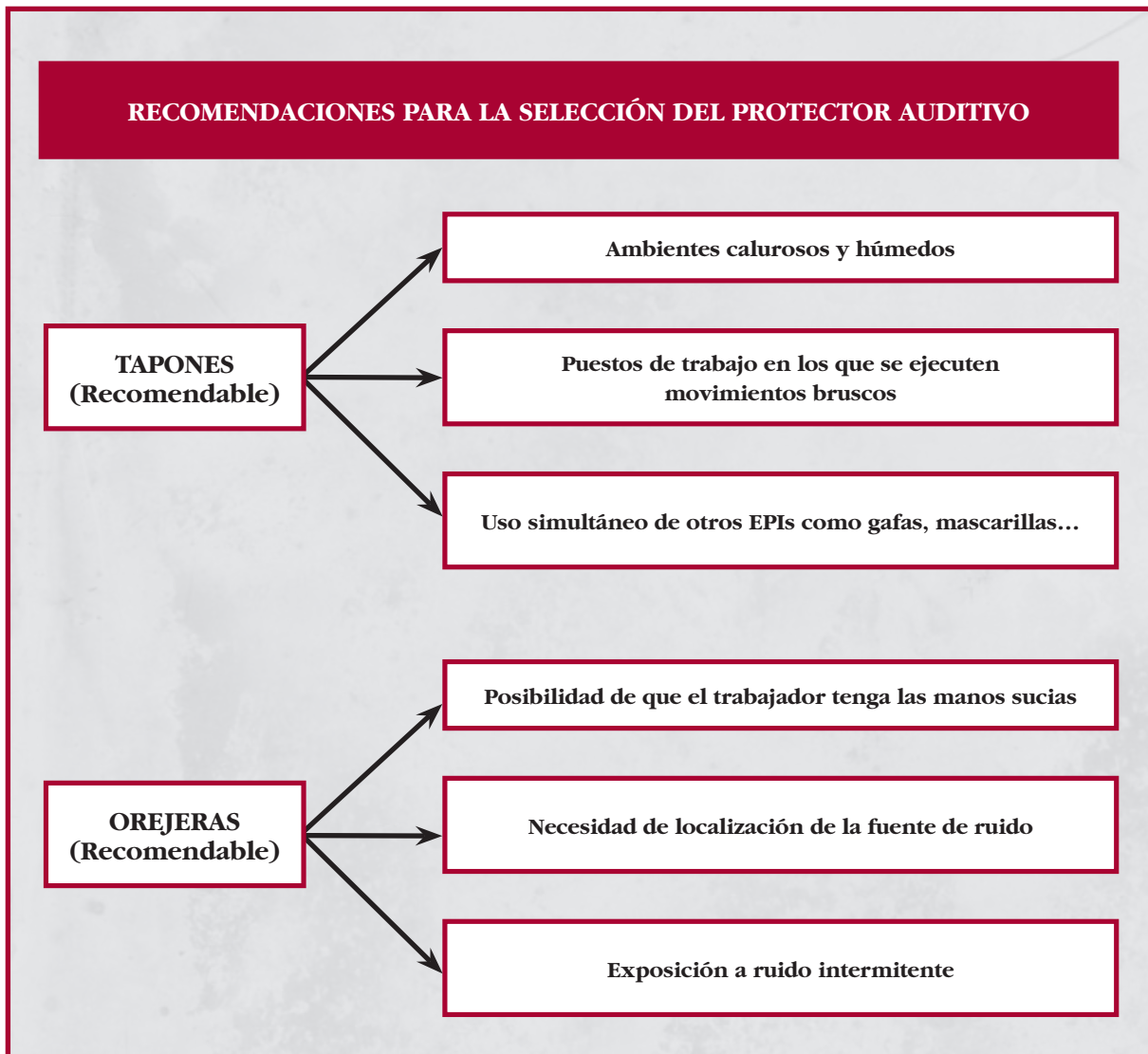
Tipo	Características
<b>Protectores auditivos con reducción activa del ruido (ANR)</b>	Disponen de un circuito de cancelación del ruido y suelen usarse en entornos con un nivel alto de ruido en el que predominen las bajas frecuencias.
<b>Protectores auditivos dependientes del nivel</b>	Mediante un sistema de restauración del sonido, las orejeras o tapones son capaces de incrementar su atenuación conforme aumenta el nivel sonoro. Suelen amplificar las frecuencias conversacionales por lo que son útiles para la comunicación entre los trabajadores.
<b>Orejeras con sistema de comunicación</b>	Permiten la comunicación oral, la escucha de señales de alarma y atenúan el ruido del lugar de trabajo. Posibilitan una correcta comunicación en lugares ruidosos en los que se precisen instrucciones detalladas.

### 4.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN

Con objeto de llevar a cabo una selección eficaz de un protector auditivo, deben valorarse los dos aspectos siguientes:

- La atenuación del protector auditivo. El trabajador ha de estar debidamente protegido, pero sin llegar al extremo de que la atenuación del protector auditivo sea excesiva por todos los inconvenientes que esto puede provocar. Por ejemplo, entrañar nuevos riesgos por la falta de audición de alguna señal de alarma.

- La comodidad del trabajador. Para que no provoque rechazo en los trabajadores el uso del protector auditivo, es fundamental que sea confortable y esto dependerá, tanto del tipo de trabajo, como de las condiciones termohigrométricas (ambiente frío, húmedo y caluroso...).



## 4.2. MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA ATENUACIÓN DE UN PROTECTOR AUDITIVO

La información que el fabricante proporciona con respecto a la atenuación acústica del protector auditivo, es la siguiente:

<b>SNR</b>	Valor global de la atenuación del protector
<b>H</b>	Valor de la atenuación del protector en las altas frecuencias
<b>M</b>	Valor de la atenuación del protector en las medias frecuencias
<b>L</b>	Valor de la atenuación del protector en las bajas frecuencias
<b>Bandas de octava</b>	Valor de la atenuación en cada una de las octavas de frecuencia central entre 125 Hz y 8.000 Hz (la frecuencia de 63 Hz es opcional)



La siguiente tabla es un ejemplo de la información suministrada por el fabricante en relación a la atenuación del protector auditivo:

DATOS DE ATENUACIÓN								
	SNR = 26 dB		H = 31 dB		M = 23 dB		L = 15 dB	
Frecuencia (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Atenuación Media (dB)	14,2	13,8	13,7	24,1	31,6	33,1	36,0	35,3
Desviación Estándar (dB)	3,3	3,4	2,1	2,3	2,7	3,5	3,3	3,9
Protección Asumida ( $APV_f$ dB)	10,9	10,4	11,6	21,8	28,9	29,6	32,7	31,4

Existen varios métodos que estiman el nivel de presión sonora efectivo en el oído cuando se usa el protector auditivo,  $L'_{Aeq}$ . Éste se seleccionará en función de la información disponible del nivel de ruido en el puesto de trabajo y la precisión deseada en el valor obtenido.

Los métodos de evaluación de la atenuación acústica de un protector auditivo expuestos a continuación, están basados en la norma UNE-EN 458 “*Protectores auditivos. Recomendaciones relacionadas a la selección, uso, precauciones de empleo y mantenimiento. Documento guía*”.

La protección asumida de un protector auditivo,  $APV_f$ , es un valor por banda de octava que se obtiene de restar al valor medio de atenuación por banda de octava,  $m_f$ , su desviación estándar,  $\sigma$ , (previamente obtenida en ensayos de laboratorio), es decir:

$$APV_f = m_f - \sigma$$

donde:

$APV_f$  es el valor de la protección asumida del protector auditivo por banda de octava;

$m_f$  es el valor medio de atenuación por banda de octava;

$\sigma$  es la desviación estándar obtenida en los ensayos.

La atenuación de los protectores auditivos se evalúa habitualmente con la información facilitada por el fabricante sin aplicarle ningún factor de corrección al valor que proporciona de la desviación estándar. En ese caso, se opera con datos de atenuación que tienen una fiabilidad del 84%. Si se desea evaluar la atenuación del protector auditivo con un mayor grado de fiabilidad, se aplican estos factores de corrección a la desviación estándar:

EFICACIA DE PROTECCIÓN (%)	PROTECCIÓN ASUMIDA (dB)
84	$APV_f = m_f - 1,00 \sigma$
85	$APV_f = m_f - 1,04 \sigma$
90	$APV_f = m_f - 1,28 \sigma$
95	$APV_f = m_f - 1,64 \sigma$
99,5	$APV_f = m_f - 2,58 \sigma$

Los valores obtenidos se cotejan con la siguiente tabla para estimar si la atenuación proporcionada por los protectores auditivos, es la adecuada:

VALORACIÓN DE LA ATENUACIÓN ACÚSTICA DE UN PROTECTOR AUDITIVO			
Nivel de presión sonora efectivo en el oído, $L'_{Aeq}$	Índice de protección	Nivel de pico efectivo en el oído, $L'_{pico}$	Índice de protección
> 80 dB(A)	Insuficiente	$\geq 135$ dB(C)	Insuficiente
Entre 80 dB(A) y 75 dB(A)	Aceptable		
Entre 75 dB(A) y 70 dB(A)	Satisfactorio		
Entre 70 dB(A) y 65 dB(A)	Aceptable	< 135 dB(C)	Adecuado
< 65 dB(A)	Excesivo (sobrepotección)		

De acuerdo a la legislación vigente, el nivel de exposición diario equivalente que soporte el oído del trabajador teniendo en cuenta la atenuación que proporciona el protector auditivo,  $L'_{Aeq,d}$  no debe superar los 87 dB(A), ni los 140 dB(C) de nivel de pico,  $L'_{pico}$ .

A su vez, un protector auditivo que provoque sobrepotección será inadecuado y el trabajador podrá llegar a dejar de usarlo por la dificultad en la comunicación con otros trabajadores o en la audición de señales de alarma o aviso, así como por la sensación de sentirse aislado del entorno.

Los métodos para la evaluación de la atenuación acústica de un protector auditivo, ordenados de mayor a menor exactitud, se describen en los puntos siguientes:





#### 4.2.1. Método de bandas de octava

Es el de mayor exactitud, si bien es necesario obtener los niveles de presión acústica continuo equivalente por bandas de octava y disponer de los valores de protección asumida por bandas de octava proporcionados por el fabricante del protector auditivo.

Se calcula el nivel de presión acústica efectivo ponderado “A” que recibe el oído, como sigue:

$$L'_{Aeq} = 10 \log \sum_{f=63 \text{ Hz}}^{8000} 10^{0,1(L_{Aeq,f} - APV_f)}$$

donde:

$f$  es la frecuencia central de cada banda de octava en Hz;

$L_{Aeq,f}$  es el nivel de presión acústica continuo equivalente por banda de octava ponderado “A”;

$APV_f$  es el valor de la protección asumida del protector auditivo por banda de octava.

#### Evaluación de la atenuación de un protector auditivo mediante el método de bandas de octava

En una medición se obtienen los siguientes niveles de presión sonora por bandas de octava:

<b>ESPECTRO POR BANDAS DE OCTAVA DEL NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA CONTINUO EQUIVALENTE</b>								
<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>63</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>	<b>8000</b>
<b><math>L_{Aeq,f}</math> (dB)</b>	88	87	90	89	96	98	98	97

Se desea conocer el nivel de presión sonora efectivo ponderado “A”,  $L'_{Aeq}$ , que llega al oído de los trabajadores, con una eficacia de protección del 84 %, cuando usan una orejera con las siguientes características de atenuación:

<b>DATOS DE ATENUACIÓN DEL PROTECTOR AUDITIVO</b>								
	<b>SNR = 28 dB</b>		<b>H = 27 dB</b>		<b>M = 25 dB</b>		<b>L = 23 dB</b>	
<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>63</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>	<b>8000</b>
<b><math>m_f</math></b>	24,8	24,3	27,9	23,7	28,7	31,3	32,1	39,6
<b><math>\sigma_f</math></b>	6,3	6,4	5,8	6,2	4,5	4,9	5,3	5,0
<b><math>APV_f</math></b>	18,5	17,9	22,1	17,5	24,2	26,4	26,8	34,6

En primer lugar, se obtiene la diferencia entre el nivel de presión sonora por bandas de octava y la protección asumida de la orejera, con objeto de conocer el nivel de presión sonora efectivo ponderado “A”,  $L'_{Aeq,f}$  que llega al oído.

Frecuencia (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{Aeq,f}$ (dB)	88	87	90	89	96	98	98	97
$APV_f$	18,5	17,9	22,1	17,5	24,2	26,4	26,8	34,6
$L'_{Aeq,f}$ (resta de $L_{Aeq,f}$ - $APV_f$ )	69,5	69,1	67,9	71,5	71,8	71,6	71,2	62,4

Finalmente, se estima el nivel global de presión sonora efectivo ponderado “A” que llega al oído mediante la suma logarítmica del nivel de ruido resultante por octava:

$$L'_{Aeq} = 10 \log \sum_{f=63}^{8000} 10^{0,1(L_{Aeq,f} - APV_f)}$$

$$L'_{Aeq} = 10 \log (10^{6,95} + 10^{6,91} + 10^{6,79} + 10^{7,15} + 10^{7,18} + 10^{7,16} + 10^{7,12} + 10^{6,24}) = 79 \text{ dB(A)}$$

#### 4.2.2. Método de H, M, L

Este método precisa disponer de los valores de atenuación H, M y L que proporciona el fabricante del protector auditivo y conocer los niveles de presión acústica continuos equivalentes ponderados “A” y “C” ( $L_{Aeq}$  y  $L_{Ceq}$ ). Con esta información se calcula el valor de la reducción prevista del nivel de ruido, PNR.

El nivel de presión sonora efectivo ponderado “A” que recibe al oído,  $L'_{Aeq}$ , se estima del siguiente modo:

##### Fase 1:

Cálculo de la diferencia entre los niveles de presión sonora con ponderaciones “C” y “A”,  $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ .

##### Fase 2:

Estimación de la atenuación del nivel de ruido, PNR, con la expresión que corresponda:

$$PNR = M - \frac{(H-M)(L_{Ceq} - L_{Aeq} - 2)}{4} \quad \text{para } (L_{Ceq} - L_{Aeq}) \leq 2 \text{ dB}$$

$$PNR = M - \frac{(M-L)(L_{Ceq} - L_{Aeq} - 2)}{8} \quad \text{para } (L_{Ceq} - L_{Aeq}) > 2 \text{ dB}$$



donde:

$L_{Aeq}$  es el nivel de presión sonora ponderado “A” en el lugar o puesto de trabajo objeto de estudio;

$L_{Ceq}$  es el nivel de presión sonora ponderado “C” en el lugar o puesto de trabajo objeto de estudio;

$H$  es el valor de la atenuación para el intervalo de frecuencias altas (proporcionado por el fabricante);

$M$  es el valor de la atenuación para el intervalo de frecuencias medias (proporcionado por el fabricante);

$L$  es el valor de la atenuación para el intervalo de frecuencias bajas (proporcionado por el fabricante).

### **Fase 3:**

Cálculo del nivel de presión sonora efectivo ponderado “A” que recibe el oído mediante la expresión:

$$L'_{Aeq} = L_{Aeq} - PNR$$

donde:

$L_{Aeq}$  es el nivel de presión sonora ponderado “A” en el lugar o puesto de trabajo objeto de estudio;

$PNR$  es la reducción prevista de ruido mediante el uso del protector auditivo.

### **Fase 4:**

El valor obtenido del nivel de presión sonora efectivo ponderado “A” que recibe el oído,  $L'_{Aeq}$ , ha de compararse con la tabla de valoración de la atenuación acústica del protector auditivo.

## Evaluación de la atenuación de un protector auditivo mediante el método H, M, L

En las mediciones de ruido efectuadas cerca de una hormigonera se obtienen los niveles de presión acústica continuos equivalentes ponderados “A”,  $L_{Aeq,T}$  de 91 dB(A) y ponderados “C”,  $L_{Ceq,T}$  de 94 dB(C). Se conocen los valores de atenuación H, M y L del protector auditivo y se desea averiguar el nivel de presión sonora efectivo ponderado “A” que llega al oído de los trabajadores cuando éstos se encuentren en las inmediaciones de la hormigonera.

DATOS DE ATENUACIÓN								
	SNR = 26 dB		H = 31 dB		M = 23 dB		L = 15 dB	
Frecuencia (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Atenuación Media: $m_f$ (dB)	14,2	13,8	13,7	24,1	31,6	33,1	36,0	35,3
Desviación Estándar: $\sigma_f$ (dB)	3,3	3,4	2,1	2,3	2,7	3,5	3,3	3,9
Protección Asumida: $APV_f$ (dB)	10,9	10,4	11,6	21,8	28,9	29,6	32,7	31,4

Solución:

Se calcula la diferencia entre  $L_{Ceq}$  y  $L_{Aeq}$ :

$$L_{Ceq} - L_{Aeq} = 94 - 91 = 3 \text{ dB}$$

Una vez hecho esto, se usa la expresión correspondiente para averiguar la reducción prevista del nivel de ruido, PNR.

$$PNR = M - \frac{(M-L)(L_{Ceq}-L_{Aeq}-2)}{8} = 23 - \frac{(23-15)(94-91-2)}{8} = 22 \text{ dB(A)}$$

El nivel de presión sonora ponderado “A” en el oído, cuando se usa el protector auditivo sería:

$$L'_{Aeq} = L_{Aeq} - PNR = 91 - 22 = 69 \text{ dB(A)}$$



### 4.2.3. Método de H, M, L simplificado

Este método es útil cuando no se dispone ni del nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A” expresado por bandas de octava,  $L_{Aeq,f}$ , ni del nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “C” ( $L_{Ceq}$ ).

Mediante escucha o haciendo uso de una lista de ejemplos, se averigua si el ruido es eminentemente grave, agudo o de una frecuencia intermedia.

El proceso a seguir para evaluar la atenuación que proporciona un protector auditivo es:

#### Fase 1:

Valorar si el ruido tiene la mayoría de la energía distribuida en el intervalo de las frecuencias medias o altas, o en el intervalo de las frecuencias bajas, para lo que puede usarse el siguiente listado de ejemplos de ruido que emiten principalmente en frecuencias medias o altas y en frecuencias bajas:

EJEMPLOS DE RUIDO DE CLASE HM (RUIDO CON FRECUENCIAS PREDOMINANTES MEDIAS O ALTAS)	
embotelladoras	amoladoras
conductos de aire comprimido	máquinas trituradoras
máquinas para trabajar la madera	radiales

EJEMPLOS DE RUIDO DE CLASE L (RUIDO CON FRECUENCIAS PREDOMINANTES BAJAS)	
excavadoras	compresores
altos hornos	equipos de movimiento de tierras
sopladoras	máquinas de limpieza a chorro

#### Fase 2:

En función del tipo de ruido, se selecciona la expresión correspondiente:

- Ruido con la mayoría de la energía distribuida en el intervalo de las frecuencias medias o altas:  $L'_{Aeq} = L_{Aeq} - M$ .

- Ruido con la mayoría de la energía distribuida en el intervalo de las frecuencias bajas:  $L'_{Aeq} = L_{Aeq} - L$ .

## Evaluación de la atenuación de un protector auditivo mediante el método H, M y L simplificado

En una planta embotelladora se obtiene un nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A”,  $L_{Aeq,T}$  de 91 dB(A). Se desea conocer el nivel de presión sonora efectivo ponderado “A” que llega al oído de los trabajadores que se encuentran en ese área y que usen el protector auditivo con las características de atenuación siguientes:

DATOS DE ATENUACIÓN								
	SNR = 21 dB		H = 25 dB		M = 17 dB		L = 15 dB	
Frecuencia (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Atenuación Media: $m_f$ (dB)	22,7	20,7	22,4	22,7	23,8	32,3	42,2	36,2
Desviación Estándar: $\sigma_f$ (dB)	8,7	7,8	8,7	9,2	7,0	5,7	4,6	8,2
Protección Asumida: $APV_f$ (dB)	13,9	12,9	13,7	13,5	16,8	26,6	37,6	28,0

Solución:

Mediante escucha o usando la lista de ejemplos se concluye que la energía sonora generada por la embotelladora está mayoritariamente distribuida en las frecuencias medias o altas, por lo que para conocer el nivel de presión sonora efectivo ponderado “A” en el oído con el protector auditivo colocado,  $L'_{Aeq}$ , se utiliza la expresión:

$$L'_{Aeq} = L_{Aeq} - M$$

$$L'_{Aeq} = 91 - 17 = 74 \text{ dB(A)}$$

### 4.2.4. Método SNR

Para utilizar este método es necesario conocer el nivel de presión sonora ponderado “C” en el lugar o puesto de trabajo objeto de estudio y el valor de atenuación  $SNR$  que proporciona el fabricante del protector auditivo.

Este método es el que menos exactitud proporciona y probablemente, el más usado.

El nivel de presión sonora ponderado “A” en el interior del protector auditivo se obtiene de la diferencia entre el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado “C” y el parámetro de atenuación global  $SNR$ , tal y como se expresa a continuación:

$$L'_{Aeq} = L_{Ceq} - SNR$$

donde:

$L_{Ceq}$  es el nivel de presión sonora ponderado “C” en el lugar o puesto de trabajo objeto de estudio;

$SNR$  es el valor global de la atenuación del protector.



### **Evaluación de la atenuación de un protector auditivo mediante el método SNR**

Los operarios de una nave de fabricación de piezas industriales soportan un nivel de exposición diario equivalente,  $L_{Ceq,d}$  de 92 dB(C) durante sus 8 horas laborales.

Averiguar la exposición que recibirá el oído de los trabajadores que lleven durante toda la jornada laboral el protector auditivo con las características de atenuación siguientes:

<b>DATOS DE ATENUACIÓN</b>								
	<b>SNR = 26 dB</b>		<b>H = 31 dB</b>		<b>M = 23 dB</b>		<b>L = 15 dB</b>	
<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>63</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>	<b>8000</b>
<b>Atenuación Media: <math>m_f</math> (dB)</b>	14,2	13,8	13,7	24,1	31,6	33,1	36,0	35,3
<b>Desviación Estándar: <math>\sigma_f</math> (dB)</b>	3,3	3,4	2,1	2,3	2,7	3,5	3,3	3,9
<b>Protección Asumida: <math>APV_f</math> (dB)</b>	10,9	10,4	11,6	21,8	28,9	29,6	32,7	31,4

Solución:

Se calcula el nivel de exposición diario equivalente que soporta el oído de los trabajadores que durante toda la jornada laboral usan el protector auditivo:

$$L'_{Aeq,d} = L_{Ceq,d} - SNR$$

$$L'_{Aeq,d} = 92 - 26 = 66 \text{ dB(A)}$$

En función del resultado, puede observarse que no se supera el valor límite de exposición al no recibir el oído del trabajador un nivel de exposición diario equivalente,  $L'_{Aeq,d}$  superior a 87 dB(A).

No obstante, a todos los efectos se considerará que en este puesto de trabajo se sobrepasa el valor superior de exposición que da lugar a una acción y, por consiguiente, deberán tomarse todas las medidas específicas que contempla la legislación vigente, tales como la elaboración e implantación de un plan de medidas técnicas o de organización, en su caso.

## 4.2.5. Método para la estimación de la atenuación del nivel de pico

Este método estima si el protector auditivo proporciona una atenuación suficiente frente a los ruidos de impacto. El modo de proceder es el siguiente:

### Fase 1:

Mediante escucha, se tendrá que determinar si el ruido de impacto tiene la mayoría de la energía distribuida en el intervalo de las frecuencias predominantes bajas, medias-altas o altas, considerándose:

- Ruido de impacto de tipo 1: la mayoría de la energía se distribuye en el intervalo de las bajas frecuencias.
- Ruido de impacto de tipo 2: la mayoría de la energía se distribuye en el intervalo de las frecuencias medias y altas.
- Ruido de impacto de tipo 3: la mayor parte de la energía se distribuye en el intervalo de las frecuencias altas.

### Fase 2:

Después de estimar el intervalo de frecuencias predominantes, se aplica la expresión:

$$L'_{pico} = L_{pico} - d_m$$

El valor de la atenuación del protector auditivo frente al nivel de pico,  $d_m$ , en función del tipo de ruido de impacto es:

VALORES DE LA ATENUACIÓN ACÚSTICA MODIFICADA	
Tipo de ruido de impacto	Atenuación del protector auditivo frente al nivel de pico, $d_m$ *
Tipo 1 (frecuencias bajas)	L - 5
Tipo 2 (frecuencias medias y altas)	M - 5
Tipo 3 (frecuencias altas)	H
* Los valores H, M y L se han obtenido de los datos de atenuación suministrados por el fabricante	





### **Evaluación de la atenuación de un protector auditivo frente a niveles de pico**

Averiguar si es suficiente la atenuación que proporciona el protector auditivo ante un ruido de impacto generado por una prensa mecánica con un nivel de pico de 140 dB(C).

<b>DATOS DE ATENUACIÓN</b>								
	<b>SNR = 19 dB</b>		<b>H = 24 dB</b>		<b>M = 16 dB</b>		<b>L = 13 dB</b>	
<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>63</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>	<b>8000</b>
<b>Atenuación Media: <math>m_f</math> (dB)</b>	20,6	18,0	19,3	20,0	22,7	30,3	38,6	32,3
<b>Desviación Estándar: <math>\sigma_f</math> (dB)</b>	8,9	8,6	7,7	9,3	5,6	5,5	4,6	7,1
<b>Protección Asumida: <math>APV_f</math> (dB)</b>	11,7	9,4	11,6	10,7	17,1	24,8	34,0	25,2

Solución:

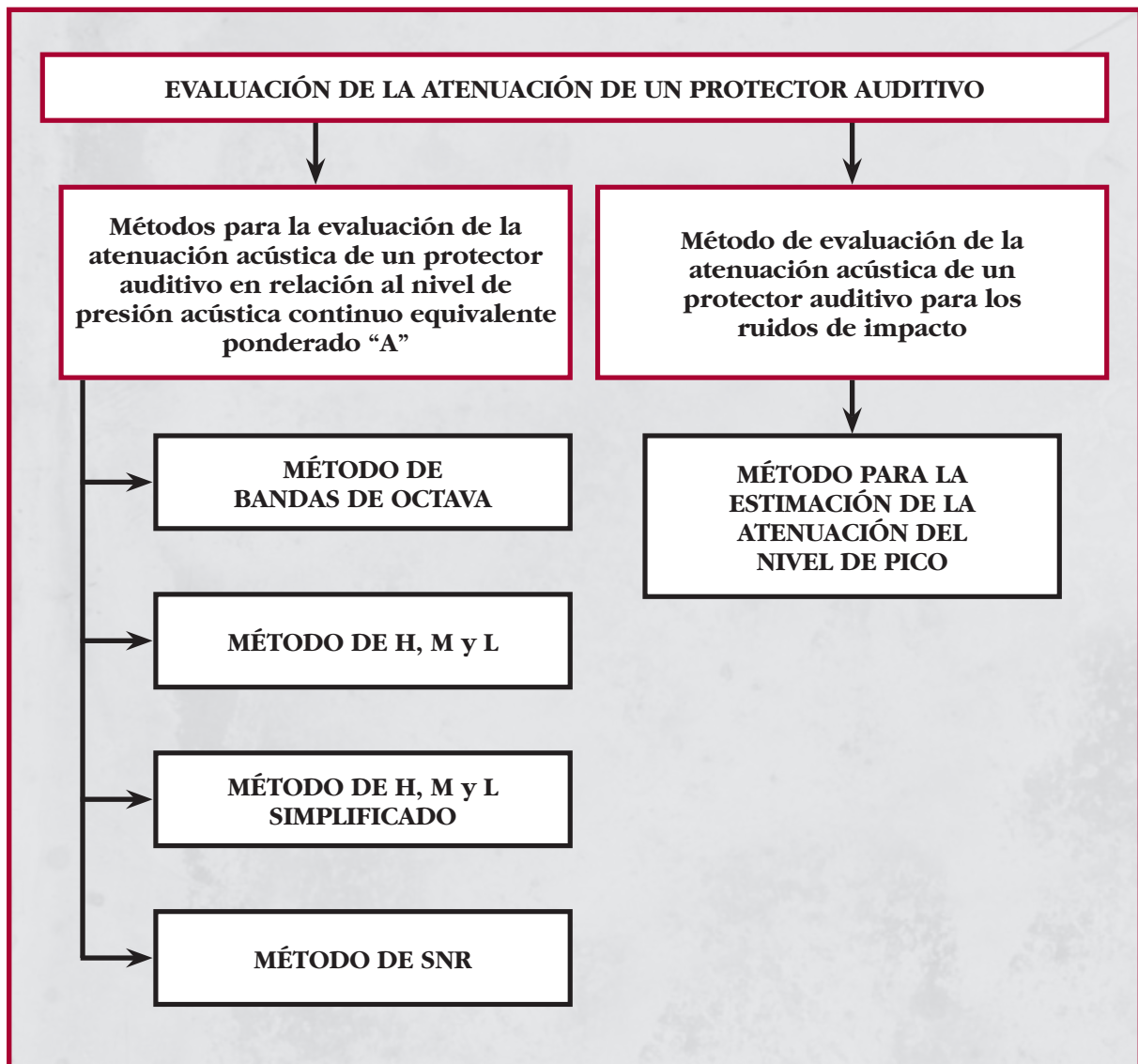
Se selecciona la expresión para niveles de pico que tengan la mayoría de la energía distribuida entre las frecuencias medias y altas.

$$L'_{pico} = L_{pico} - d_m = L_{pico} - (M-5)$$

$$L'_{pico} = 140 - (16-5) = 129 \text{ dB(C)}$$

Al recibir el oído del trabajador un nivel de pico,  $L'_{pico}$ , por debajo del valor inferior de acción (135 dB(C)), puede considerarse aceptable la atenuación del protector auditivo.

Se presenta el siguiente esquema a modo de resumen de los distintos métodos de evaluación de la atenuación de un protector auditivo:



### 4.3. APROXIMACIÓN A LA ATENUACIÓN REAL DEL PROTECTOR AUDITIVO

Es recomendable reducir la atenuación acústica indicada por el fabricante con objeto de lograr un valor lo más cercano posible a la verdadera protección que ofrecen los protectores auditivos, ya que ésta puede verse mermada por diversos motivos de índole práctica, como la colocación incorrecta por parte del trabajador o el mantenimiento inadecuado.

Diversos organismos como el OSHA (Occupational Safety and Health Administration, EE.UU.), el NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health, EE.UU.) o el HSE (Health and Safety Executive, Gran Bretaña) han elaborado procedimientos con el fin de alcanzar un valor lo más aproximado posible a la verdadera protección que ofrecen las orejeras y tapones auditivos. El HSE propone reducir en 4 dB la atenuación estimada mediante alguno de los métodos de cálculo anteriormente citados, excepto para los ruidos de impacto, a los que no se les aplicará ninguna reducción en la atenuación estimada del protector auditivo.



### **Estimación de la atenuación efectiva mediante el método SNR, teniendo en cuenta distintos aspectos de índole práctica que restan su eficacia**

El nivel de presión acústica en una fábrica de producción de piezas de aluminio es de 93 dB(C). Mediante el método SNR se estima que el nivel de presión sonora efectivo ponderado “A” en el oído,  $L'_{Aeq}$ , es de 67 dB(A).

Tener en cuenta la recomendación del HSE para lograr una aproximación al valor real de la atenuación del protector auditivo.

Solución:

Para aproximarse al valor real de atenuación del protector auditivo se reduce en 4 dB la atenuación estimada, por lo que el valor resultante es:

$$L''_A = L'_A + 4 = 67 + 4 = 71 \text{ dB(A)}$$

## **4.4. TIEMPO DE UTILIZACIÓN DEL PROTECTOR AUDITIVO**

La atenuación efectiva del protector auditivo se reduce drásticamente cuando el trabajador no lo utiliza durante todo el intervalo de exposición al ruido, por lo que es imprescindible conocer el tiempo real de utilización para estimar el nivel de presión sonora efectivo ponderado “A”, que llega al oído del trabajador a lo largo de toda la jornada laboral.

Mediante la siguiente expresión, se calcula el nivel equivalente efectivo en el oído,  $L'_{Aeq,T}$ , cuando el trabajador usa intermitentemente el protector auditivo.

$$L'_{Aeq,T} = 10 \log \frac{1}{T} [(T_{EPI} \cdot 10^{0,1L_{Aeq} T_{EPI}} + (T - T_{EPI}) \cdot 10^{0,1L_{Aeq}(T - T_{EPI})}]$$

donde:

$T$  es el tiempo de exposición al ruido, en minutos;

$T_{EPI}$  es el tiempo de exposición en el que el trabajador usa del protector auditivo;

$T - T_{EPI}$  es el tiempo de exposición en el que el trabajador no usa el protector auditivo;

$L_{Aeq T_{EPI}}$  es el nivel de presión sonora efectivo ponderado “A” que llega al oído del trabajador cuando hace uso del protector auditivo;

$L_{Aeq (T - T_{EPI})}$  es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A” que llega al oído del trabajador cuando no utiliza el protector auditivo.

## Atenuación del protector cuando el tiempo real de uso es inferior al tiempo total de exposición

En un puesto de trabajo con un nivel de presión sonora de 92 dB(A) y 93 dB(C) se selecciona el protector auditivo con las características que se muestran a continuación. Comparar el nivel de presión sonora efectivo ponderado “A” en el oído del trabajador que lleva el protector auditivo durante las 6 horas de exposición al ruido, en relación con un trabajador que se lo quite 5 minutos cada hora.

DATOS DE ATENUACIÓN								
	SNR = 26 dB		H = 31 dB		M = 23 dB		L = 15 dB	
Frecuencia (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Atenuación Media: $m_y$ (dB)	14,2	13,8	13,7	24,1	31,6	33,1	36,0	35,3
Desviación Estándar: $\sigma_f$ (dB)	3,3	3,4	2,1	2,3	2,7	3,5	3,3	3,9
Protección Asumida: $APV_f$ (dB)	10,9	10,4	11,6	21,8	28,9	29,6	32,7	31,4

Solución:

Se selecciona, por ejemplo, el método H, M y L para obtener la atenuación que proporciona el protector auditivo, por lo que en primer lugar se calcula la diferencia entre  $L_{Ceq}$  y  $L_{Aeq}$ :

$$L_{Ceq} - L_{Aeq} = 93 - 92 = 1 \text{ dB}$$

El valor de reducción prevista,  $PNR$ , del nivel de ruido se calcula seleccionando la expresión correspondiente:

$$PNR = M - \frac{(H-M)(L_{Ceq}-L_{Aeq}-2)}{4}$$

$$PNR = 23 - \frac{(31-23)(93-92-2)}{4} = 25 \text{ dB}$$

El nivel de presión sonora ponderado “A” efectivo en el oído del trabajador que hace uso del protector auditivo durante las 6 horas sería:

$$L'_{Aeq} = L_{Aeq} - PNR$$

$$L'_{Aeq} = 92 - 25 = 67 \text{ dB(A)}$$



Para conocer el nivel de presión sonora efectivo ponderado “A” en el oído del trabajador que se quita el protector 5 minutos en cada hora de exposición, se utiliza la expresión siguiente:

$$L'_{Aeq,T} = 10 \log \frac{1}{T} [(T_{EPI} \cdot 10^{0,1L_{Aeq,T_{EPI}}} + (T - T_{EPI}) \cdot 10^{0,1L_{Aeq,(T-T_{EPI})}})]$$

$$L'_{Aeq,T} = 10 \log \frac{1}{360} [(330 \cdot 10^{6,7}) + ((360 - 330) \cdot 10^{9,2})] = 81 \text{ dB(A)}$$

donde:

$T$  es el tiempo total de exposición (360 minutos);

$T_{EPI}$  es el tiempo de exposición en el que el trabajador usa del protector auditivo (330 minutos);

$T - T_{EPI}$  es el tiempo de exposición en el que el trabajador no usa el protector auditivo (30 minutos);

$L_{Aeq,T_{EPI}}$  es el nivel de presión sonora efectivo ponderado “A” que llega al oído del trabajador cuando hace uso del protector auditivo (67 dB(A));

$L_{Aeq,(T-T_{EPI})}$  es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A” que llega al oído del trabajador cuando no utiliza el protector auditivo (92 dB(A)).

#### 4.5. MÉTODO PARA LA OBTENCIÓN DEL TIEMPO MÁXIMO DE EXPOSICIÓN SIN SUPERAR UN DETERMINADO NIVEL DE EXPOSICIÓN

En algunas situaciones debidamente justificadas en las que no sea posible el uso del protector auditivo, es útil conocer cuánto tiempo puede permanecer el trabajador en un área con unos niveles de ruido elevados sin recibir una exposición que supere un determinado nivel, por ejemplo, sin superar el nivel inferior de exposición que da lugar a una acción ( $L_{Aeq,d} = 80 \text{ dB(A)}$ ). En dichos casos, se usa la expresión:

$$T_{\text{máximo de exposición}} = 8 \cdot 10^{\frac{(\text{Nivel que no se desea superar} - L_{Aeq,T})}{10}}$$

donde:

$L_{Aeq,T}$  es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A” al que está expuesto el trabajador;

*Nivel que no se desea superar* nivel de exposición al ruido que el técnico fija, en dB(A).

Haciendo uso de esta expresión, es posible elaborar tablas en las que se indique el tiempo máximo de exposición al ruido a determinados niveles de presión acústica continuos equivalentes ponderados “A”,  $L_{Aeq,T}$  para no superar el nivel de exposición diario equivalente,  $L_{Aeq,d}$ , que el técnico fije.

La tabla siguiente muestra los tiempos máximos de exposición para no superar un nivel de exposición diario equivalente,  $L_{Aeq,d}$  de 85 dB(A), en relación a unos determinados niveles de presión acústica continuos equivalentes ponderados “A”,  $L_{Aeq,T}$

Exposición al ruido, $L_{Aeq,T}$	Tiempo máximo de exposición	Nivel de exposición diario equivalente, $L_{Aeq,d}$
85 dB(A)	8 horas	85 dB(A)
88 dB(A)	4 horas	
91 dB(A)	2 horas	
94 dB(A)	1 hora	
97 dB(A)	30 minutos	
100 dB(A)	15 minutos	
103 dB(A)	7,5 minutos	

*Nota: Como se puede observar, un incremento de 3 dB(A) en la exposición al ruido provoca que se doble la dosis que recibe el trabajador.*

### **Obtención del tiempo máximo de exposición para no recibir el oído del trabajador niveles que superen el valor inferior de exposición que da lugar a una acción ( $L_{Aeq,d} = 80$ dB(A))**

En un ambiente de trabajo no es posible el uso de protector auditivo y el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A”,  $L_{Aeq,T}$  es de 85 dB(A). ¿Cuánto tiempo pueden permanecer los trabajadores sin recibir una energía sonora que supere el valor inferior de exposición que da lugar a una acción ( $L_{Aeq,d} = 80$  dB(A))?

Solución:

El tiempo máximo de exposición se calcula con la expresión:

$$T_{\text{máximo de exposición}} = 8 \cdot 10^{\frac{(\text{Nivel que no se desea superar} - L_{Aeq,T})}{10}}$$

$$T_{\text{máximo de exposición}} = 8 \cdot 10^{\frac{(80-85)}{10}} = 2,5 \text{ horas}$$

El nivel de exposición diario equivalente que soportarán los trabajadores superará los 80 dB(A) cuando el tiempo de exposición sobrepase las 2,5 horas.





**5**  
**CAPÍTULO**

---

**Efectos del Ruido en la Salud**

---





La exposición a niveles elevados de ruido provoca efectos en la salud que no se reducen a daños en el órgano auditivo, aunque éstos sean los más destacables y los mejor documentados.

A continuación, se describe brevemente la estructura del oído humano, su interacción frente al ruido y los principales efectos en el organismo que provoca dicha exposición.

## 5.1. ESTRUCTURA DEL OÍDO HUMANO

El oído es el responsable de la audición y el equilibrio. En su estructura se diferencian tres áreas que son el oído externo, el oído medio y el oído interno.

### 5.1.1. Oído externo

Es el órgano de transmisión que recoge las ondas sonoras del ambiente y las envía al interior del oído. El oído externo se subdivide en:

- Pabellón auricular, constituido por el cartílago recubierto de piel.
- Conducto auditivo externo, que se extiende desde el pabellón auricular hasta el tímpano. Se compone de cartílago elástico, tejido óseo y piel blanda recubierta de pelos y cerumen, siendo su función la de impedir el paso de polvo y microorganismos. Su comunicación con el oído medio se realiza a través del tímpano.

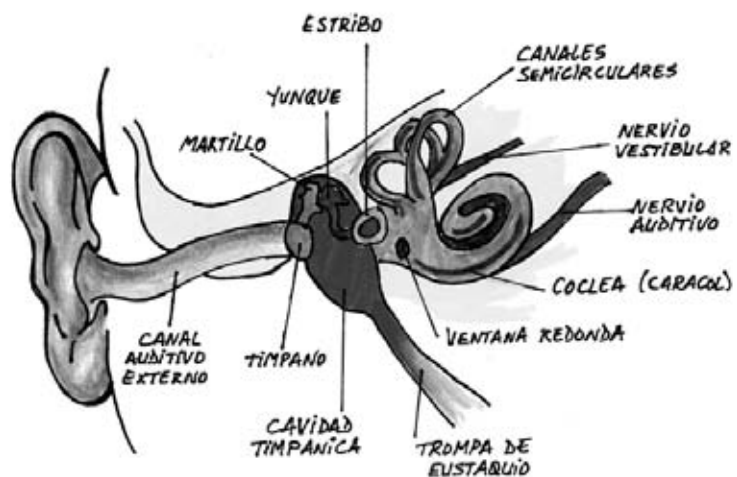
### 5.1.2. Oído medio

Está compuesto principalmente por la cavidad timpánica, la membrana timpánica y la tuba faringotimpánica o trompa de Eustaquio. En él también se alojan los osteocillos óticos (martillo, yunque y estribo) que forman una cadena entre la membrana timpánica (área exterior) y la ventana oval.

### 5.1.3. Oído interno

Esta cavidad ósea se encuentra en continuidad con el oído medio. En la parte anterior de la misma, se encuentra la cóclea que es el órgano específico de la audición. Tiene una forma enrollada sobre sí misma de tal forma que se asemeja y se la denomina comúnmente “el caracol”.

Junto a la cóclea, se alojan el vestíbulo y los canales semicirculares. Estos canales son tres tubitos arqueados en semicírculos con un líquido en su interior para proporcionar el equilibrio de la cabeza y del cuerpo.





## 5.2. MECANISMO DE LA AUDICIÓN

Las ondas de presión sonora se captan por el conducto auditivo externo y desde allí se dirigen al tímpano provocándole que vibre, transmitiendo dicho movimiento al oído medio. La vibración es recibida por los tres huesecillos articulados en cadena (yunque, martillo y estribo) que en su extremo se une con la membrana denominada ventana oval y a través de ésta se acciona el fluido del oído interno que pone en movimiento a las células ciliadas. Dichas células están conectadas con células nerviosas que generan impulsos transmitidos por el nervio auditivo hasta el cerebro, el cual los interpreta como sonido.

## 5.3. EFECTOS DE LA LESIÓN AUDITIVA

El ruido puede afectar a la salud provocando efectos dañinos como la hipertensión arterial, pero fundamentalmente afectará a la salud al inducir daños en el órgano auditivo. Las alteraciones auditivas que pueden ser temporales o permanentes desencadenan:

- La fatiga auditiva; alteración transitoria de la capacidad auditiva. No hay lesión y se recupera la capacidad con el descanso sonoro, siendo el tiempo necesario dependiente de la intensidad y la duración de la exposición.

- La hipoacusia permanente; se sufre tras una exposición al ruido elevada en intensidad sonora y en tiempo. Al inicio, la pérdida de audición no afecta a nivel conversacional, ya que las frecuencias afectadas se encuentran en el intervalo de 4.000 y 6.000 Hz. Si la exposición continúa, la pérdida se extiende a frecuencias más elevadas y posteriormente a frecuencias más bajas, incluso a las frecuencias conversacionales que se encuentran comprendidas en el intervalo de los 500 y 4.000 Hz.

*El Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro incluye la hipoacusia como enfermedad profesional.*

Su codificación en el cuadro de enfermedades profesionales se muestra a continuación:

Grupo	Agente	Subagente	Actividad	Código	Enfermedades profesionales con la relación de las principales actividades capaces de producirlas
2					Enfermedades profesionales provocadas por agentes físicos
	A				Hipoacusia o sordera provocada por el ruido:
		01			Sordera profesional de tipo neurosensorial, frecuencias de 3 a 6 KHz, bilateral simétrica e irreversible.  Trabajos que exponen a ruidos continuos cuyo nivel sonoro diario equivalente sea igual o superior a 80 dB(A), especialmente:
			01	2A0101	Trabajos de calderería.
			02	2A0102	Trabajos de estampado, embutido, remachado y martillado de papeles.
			03	2A0103	Trabajos en telares de lanzadera batiente.
			04	2A0104	Trabajos de control y puesta a punto de motores de aviación, reactores o de pistón.
			05	2A0105	Trabajos con martillos y perforadores neumáticos en minas, túneles y galerías subterráneas.
			06	2A0106	Trabajos en salas de máquinas y navíos.
			07	2A0107	Tráfico aéreo (personal de tierra, mecánicos y personal de navegación, de aviones a reacción).
			08	2A0108	Talado y corte de árboles con sierras portátiles.
			09	2A0109	Salas de recreación (discotecas, etc.).
			10	2A0110	Trabajos de obras públicas (rutas, construcciones...) efectuados con máquinas ruidosas como los bulldozers, excavadoras o palas mecánicas.
			11	2A0111	Motores diesel, en particular en las dragas y los vehículos de transportes de ruta, ferroviarios y marítimos.
			12	2A0112	Recolección de basura doméstica.
			13	2A0113	Instalación y pruebas de equipos de amplificación de sonido.
			14	2A0114	Empleo de vibradores en la construcción.
			15	2A0115	Trabajo en la imprenta rotativa en la industria gráfica.
			16	2A0116	Molienda de caucho, de plástico y la inyección de estos materiales para moldeo. Manejo de maquinaria de transformación de la madera, sierras circulares, de cinta, cepilladoras, tupies, fresas.
			17	2A0117	Molienda de piedras y minerales.
			18	2A0118	Expolio y destrucción de municiones y explosivos.

La exposición continuada a ruidos con una cierta intensidad puede provocar hipoacusia y ésta ser catalogada como enfermedad profesional, pero en el caso de sufrir el trabajador un trauma acústico sonoro, se la considerará como accidente de trabajo. El trauma acústico sonoro se produce instantáneamente por ruidos muy intensos que por su alta presión dañan al tímpano o pueden provocar fracturas o luxaciones en los huesecillos del oído medio, así como en sus articulaciones. Su síntoma principal es una sordera que aparece súbitamente y que suele ser temporal, ya que generalmente la audición se recupera de forma total.



## 5.4. INTERACCIÓN DEL RUIDO CON AGENTES OTOTÓXICOS

La evaluación de riesgos debe considerar la eventual interacción entre el ruido y diversas sustancias químicas industriales denominadas ototóxicas, ya que éstas pueden sensibilizar el oído interno y provocar una mayor susceptibilidad del trabajador a los niveles de presión sonora. El médico de vigilancia de la salud tendrá en cuenta qué tipo de fármacos consume el trabajador porque algunos de éstos contienen sustancias ototóxicas.

Los límites de exposición profesional al ruido no tienen en cuenta la coexposición a los ototóxicos, por lo que se deben replantear las medidas preventivas independientemente del nivel de exposición.

A continuación, se presentan algunos ejemplos de ototóxicos y puestos de trabajo con posible coexistencia de los mismos y de ruido.

<b>Ototóxicos</b>	
<b>Tolueno</b>	<b>Xileno</b>
<b>Estireno</b>	<b>Tricloroetileno</b>
<b>Mercurio</b>	<b>Manganeso</b>
<b>Plomo</b>	<b>Arsénico</b>
<b>Monóxido de carbono</b>	<b>Cianuro de hidrógeno</b>
<b>Puestos de trabajo con posible coexistencia de ruido y ototóxicos</b>	
<b>Talleres de mecanización</b>	<b>Imprentas</b>
<b>Pinturas</b>	<b>Automoción</b>
<b>Astilleros</b>	<b>Fabricación de muebles</b>
<b>Fabricación de plásticos</b>	<b>Construcción</b>
<b>Manufactura del petróleo</b>	<b>Mantenimiento de aviones</b>

## 5.5. EXPOSICIÓN LABORAL AL RUIDO Y EMBARAZO

El riesgo de sufrir daños en el órgano auditivo de la embarazada es idéntico al de cualquier otro trabajador, por lo que las medidas de actuación para controlar la exposición al ruido se dirigen principalmente a la protección del oído del feto.

La SEGO (Sociedad Española de Ginecología y Obstetricia) propone en su informe “Orientaciones para la valoración del riesgo laboral y la incapacidad temporal durante el embarazo” el relevo de la actividad en condiciones de ruido excesivo (más de 80 dB) a partir de la semana 20-22 de gestación.

Por su parte, el INSHT considera en su publicación “Directrices para la evaluación de riesgos y protección de la maternidad en el embarazo” que el período de riesgo comienza a partir de

la semana 25 de gestación y las características de las exposiciones laborales en las que se debe prestar atención, son puestos de trabajo donde:

- El nivel de exposición diario equivalente,  $L_{Aeq,d}$ , alcance o pueda alcanzar los 80 dB(A).
- El ruido presenta un espectro rico en bajas frecuencias.
- Se produzcan ruidos intensos de tipo impacto que en algún momento puedan alcanzar los 135 dB(C).
- Sin alcanzar esos niveles, se generen, simultáneamente al ruido, vibraciones o exposición a sustancias ototóxicas (gases, disolventes orgánicos, etc.).
- Se observen efectos del ruido como agente estresante en la posible disminución de la producción de la leche materna.





**6**  
**CAPÍTULO**

---

**Glosario de Fórmulas**

---





## PARÁMETROS BÁSICOS QUE CARACTERIZAN AL RUIDO INDUSTRIAL

### • FRECUENCIA

$$f = \frac{1}{T}$$

donde:

$T$  es el período de la onda o lo que es lo mismo, el tiempo necesario para cumplir un ciclo, expresado en segundos.

### • VELOCIDAD

En el aire, con una atmósfera de presión y una temperatura de 20° C, el sonido alcanza una velocidad de 340 metros/segundo.

### • LONGITUD DE ONDA

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

donde:

$c$  es la velocidad del sonido, en metros/segundo;

$f$  es el número de ciclos por segundo de la onda, en Hertzios.

### • NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA, $L_p$

$$L_p = 10 \log \left( \frac{P}{P_0} \right)^2$$

donde:

$P$  es la presión acústica existente, en pascales;

$P_0$  es la presión acústica de referencia, es decir,  $2 \cdot 10^{-5}$  pascales.

### • NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA PONDERADO "A", $L_{pA}$

$$L_{pA} = 10 \log \left( \frac{P_A}{P_0} \right)^2$$

donde:

$P_A$  es la presión acústica existente, en pascales, con el filtro de ponderación frecuencial "A";

$P_0$  es la presión acústica de referencia, es decir,  $2 \cdot 10^{-5}$  pascales.



• **NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA CONTINUO EQUIVALENTE PONDERADO “A”,  $L_{Aeq,T}$**

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \frac{1}{T} \left[ \int_{t_1}^{t_2} \left( \frac{P_A(t)}{P_0} \right)^2 dt \right]$$

donde:

$T$  es el tiempo de exposición al ruido, en horas/día;

$t_2-t_1$  es el tiempo de exposición del trabajador al ruido;

$P_A(t)$  es la presión acústica instantánea en pascales con el filtro de ponderación frecuencial “A”;

$P_0$  es la presión acústica de referencia, es decir,  $2 \cdot 10^{-5}$  pascales.

• **NIVEL DE EXPOSICIÓN DIARIO EQUIVALENTE,  $L_{Aeq,d}$**

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \log \left( \frac{T}{8} \right)$$

donde:

$L_{Aeq,T}$  es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A”;

$T$  es el tiempo de exposición al ruido, en horas/día.

• **NIVEL DE EXPOSICIÓN DIARIO EQUIVALENTE,  $L_{Aeq,d}$  A PARTIR DE VARIOS NIVELES DE PRESIÓN SONORA Y SUS TIEMPOS DE EXPOSICIÓN**

$$L_{Aeq,d} = 10 \log \frac{1}{8} \sum_{n=1}^N T_n \cdot 10^{0,1L_{Aeq,T,n}}$$

donde:

$T_n$  es el tiempo de exposición a cada tarea, en horas/día;

$L_{Aeq,T,n}$  es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A” correspondiente a cada tarea.

• **NIVEL DE EXPOSICIÓN SEMANAL EQUIVALENTE,  $L_{Aeq,s}$**

$$L_{Aeq,s} = 10 \log \frac{1}{5} \sum_{i=1}^{i=m} 10^{0,1L_{Aeq,d,i}}$$

donde:

$i$  es el número de días a la semana con exposición al ruido (el número máximo es 7);

$L_{Aeq,d,i}$  es el nivel de exposición diario equivalente correspondiente al día  $i$ .

- **NIVEL DE PICO,  $L_{pico}$**

$$L_{pico} = 10 \log \left( \frac{P_{pico}}{P_0} \right)^2$$

donde:

$P_{pico}$  es el valor máximo de la presión acústica instantánea (en pascales) con el filtro de ponderación frecuencial “C”;

$P_0$  es la presión de referencia, es decir,  $2 \cdot 10^{-5}$  pascales.

## CÓMPUTOS CON DECIBELIOS

- **ADICIÓN DE NIVELES DE PRESIÓN ACÚSTICA (SUMA LOGARÍTMICA)**

$$L_{pA,Total} = 10 \log \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{pA,n}}{10}}$$

donde:

$L_{pA,n}$  son los niveles de presión acústica generados por cada fuente.

- **CORRECCIÓN POR RUIDO DE FONDO (RESTA LOGARÍTMICA)**

$$L_{pA,resta} = 10 \log \left( 10^{\frac{L_{pA,Total}}{10}} - 10^{\frac{L_{pA,Fondo}}{10}} \right)$$

donde:

$L_{pA,Total}$  es el nivel de presión acústica total;

$L_{pA,Fondo}$  es el nivel de presión acústica de fondo.

- **PROMEDIO ENERGÉTICO (PROMEDIO LOGARÍTMICO)**

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{Aeq,T,n}}{10}} \right]$$

donde:

$L_{Aeq,T,n}$  es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A” obtenido en la medición  $n$ ;

$N$  es el número total de mediciones efectuadas.



## ESCALAS DE PONDERACIÓN “A” Y “C”

Banda de frecuencia	Corrección, en dB, para aplicar la escala de ponderación “A”	Corrección, en dB, para aplicar la escala de ponderación “C”
31,5	- 39,4	- 3,0
63	- 26,2	- 0,8
125	- 16,1	- 0,2
250	- 8,6	0
500	- 3,2	0
1000	0	0
2000	+ 1,2	- 0,2
4000	+ 1,0	- 0,8
8000	- 1,1	- 3,0
16000	- 6,6	- 8,5

### ESTRATEGIAS DE MEDICIÓN

- SELECCIÓN DE LA DURACIÓN DEL MUESTREO PARA LA ESTRATEGIA DE MEDICIÓN BASADA EN MUESTREOS DURANTE EL TRABAJO (FUNCIÓN)

Selección de la duración del muestreo	
Número de trabajadores, G, del grupo homogéneo de exposición	Duración mínima acumulada de las mediciones, en horas
$G \leq 5$	5
$5 < G \leq 15$	$5 + (G-5)/2$
$15 < G \leq 40$	$10 + (G-15)/4$
$G > 40$	17 o fraccionar el grupo

- OBTENCIÓN DE LA DURACIÓN DE UNA TAREA

$$\bar{T}_m = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J T_{m,j}$$

donde:

$T_e$  es la duración de la jornada de trabajo nominal;

$T_{m,j}$  es la estimación de la duración de la tarea  $m$ ;

$J$  es el número de estimaciones de la duración de la tarea  $m$ .

## • CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE EXPANDIDA PARA LA ESTRATEGIA DE MEDICIÓN BASADA EN LA TAREA

- Cálculo de la incertidumbre estándar combinada,  $u$ :

$$u^2(L_{Aeq,d}) = \left( \sum_{m=1}^M [c_{1,am}^2(u_{1a,m}^2 + u_{2,m}^2 + u_3^2) + (c_{1b,m} \cdot u_{1b,m})^2] \right)$$

donde:

$u_{1a,m}$  es la incertidumbre estándar debida al muestreo del nivel de ruido de la tarea  $m$ ;

$$u_{1a,m} = \sqrt{\frac{1}{I(I-1)} \left[ \sum_{i=1}^I (L_{Aeq,T,m,i} - \bar{L}_{Aeq,T,m})^2 \right]}$$

donde:

$\bar{L}_{Aeq,T,m}$  es la media aritmética de  $I$  niveles de presión acústica continuos equivalentes ponderados "A" de la tarea  $m$ ;

$L_{Aeq,T,m,i}$  son los niveles de presión acústica continuos equivalentes ponderados "A" obtenidos en las mediciones de la tarea  $m$ ;

$I$  es el número total de muestras de la tarea.

$u_{1b,m}$  es la incertidumbre estándar debida a la estimación de la duración en la tarea  $m$ ;

$$u_{1b,m} = \sqrt{\frac{1}{J(J-1)} [(T_{m,j} - \bar{T}_m)^2]}$$

donde:

$\bar{T}_m$  es la media aritmética de las duraciones obtenidas de la tarea  $m$ , en horas;

$T_{m,j}$  es la duración observada de la tarea  $m$ ;

$J$  es el número total de observaciones de la duración de la tarea.

$u_{2,m}$  es la incertidumbre estándar debida a los instrumentos utilizados en la medición de la tarea  $m$ . En la tabla se indican los valores asociados a cada equipo:

Tipo de instrumento	Desviación estándar, $u_{2,m}$ , en la medición de la tarea $m$ en dB
Sonómetro de clase 1	0,17
Sonómetro de clase 2	5
Dosímetro personal	1,5



$u_3$  es la incertidumbre estándar debida a la posición del micrófono que será, en todo caso, de 1 dB;

$c_{1a,m}$  el coeficiente de sensibilidad asociado al muestreo del nivel de ruido para la tarea  $m$ .

$$c_{1a,m} = \frac{\bar{T}_m}{8} 10^{\frac{L_{Aeq,T,m} - L_{Aeq,d}}{10}}$$

donde:

$\bar{T}_m$  es la media aritmética de las duraciones obtenidas de la tarea  $m$ , en horas;

$L_{Aeq,T,m}$  es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado "A" en la tarea  $m$ ;

$L_{Aeq,d}$  es el nivel de exposición diario equivalente en el puesto de trabajo.

$c_{1b,m}$  es el coeficiente de sensibilidad asociado a la incertidumbre en la estimación de la duración de la exposición en la tarea  $m$ , viene dado por la expresión:

$$c_{1b,m} = 4,34 \times \frac{c_{1a,m}}{\bar{T}_m}$$

donde:

$c_{1a,m}$  es el coeficiente de sensibilidad asociado al muestreo del nivel de ruido, en la tarea  $m$ ;

$\bar{T}_m$  es el valor medio de los valores obtenidos del tiempo de la duración de la exposición, en horas.

- Cálculo de la incertidumbre expandida,  $U$

$$U = 1,65 \times u$$

• **CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE EXPANDIDA PARA LA ESTRATEGIA DE MEDICIÓN BASADA EN LA JORNADA COMPLETA O EN MUESTREOS DURANTE EL TRABAJO (FUNCIÓN)**

- Cálculo de la incertidumbre estándar combinada,  $u$ :

$$u^2(L_{Aeq,d}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2)$$

donde:

$u_1$  es la incertidumbre estándar.

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{(N-1)} \left[ \sum_{n=1}^N (L_{Aeq,T,n} - \bar{L}_{Aeq,T})^2 \right]}$$

donde:

$L_{Aeq,T,n}$  es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A” de la muestra  $n$ ;

$\bar{L}_{Aeq,T}$  es la media aritmética de N muestras del nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A”, es decir,  $\bar{L}_{Aeq,T} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N L_{Aeq,T,n}$ .

$c_1 u_1$  se obtiene mediante la tabla:

Contribución a la incertidumbre $c_1 u_1$ de los valores medidos $L_{Aeq,T,n}$ (dB)												
N	Incertidumbre estándar, $u_1$											
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
3	0,6	1,6	3,1	5,2	8,0	11,5	15,7	20,6	26,1	32,2	39,0	46,5
4	0,4	0,9	1,6	2,5	3,6	5,0	6,7	8,6	10,9	13,4	16,1	19,2
5	0,3	0,7	1,2	1,7	2,4	3,3	4,4	5,6	6,9	8,5	10,2	12,1
6	0,3	0,6	0,9	1,4	1,9	2,6	3,3	4,2	5,2	6,3	7,6	8,9
7	0,2	0,5	0,8	1,2	1,6	2,2	2,8	3,5	4,3	5,1	6,1	7,2
8	0,2	0,5	0,7	1,1	1,4	1,9	2,4	3,0	3,6	4,4	5,2	6,1
9	0,2	0,4	0,7	1	1,3	1,7	2,1	2,6	3,2	3,9	4,6	5,4
10	0,2	0,4	0,6	0,9	1,2	1,5	1,9	2,4	2,9	3,5	4,1	4,8
12	0,2	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,7	2,0	2,5	2,9	3,5	4,0
14	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5	1,8	2,2	2,6	3,0	3,5
16	0,1	0,3	0,5	0,6	0,8	1,1	1,3	1,6	2,0	2,3	2,7	3,2
18	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,1	2,5	2,9
20	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6
25	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0	2,3
30	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0

Notas:

Cuando  $c_1 u_1$  es superior a 3,5 dB (valores sombreados) se recomienda revisar o modificar el plan de medición para reducir  $u_1$ .

Los valores para  $N=3$  y  $N=4$  sólo se usan en la estrategia de medición de jornada completa.

Obsérvese que la incertidumbre estándar,  $u_1$  de los niveles de presión acústica continuos equivalentes ponderados “A” muestreados,  $L_{Aeq,T,n}$ , se calcula únicamente para utilizarlo como valor de entrada en esta tabla.





$u_2$  es la incertidumbre estándar debida a los instrumentos utilizados.

Tipo de instrumento	Desviación estándar, $u_2$ , en dB
Sonómetro de clase 1	0,7
Sonómetro de clase 2	1,5
Dosímetro personal	1,5

$u_3$  es la incertidumbre estándar debida a la posición del micrófono que será, en todo caso, de 1 dB.

En estas estrategias de medición los coeficientes de sensibilidad debidos al instrumento empleado y a la posición del micrófono son respectivamente  $c_2 = c_3 = 1$ .

- Cálculo de la incertidumbre expandida,  $U$ :

$$U = 1,65 \times u$$

### ATENUACIÓN DEL PROTECTOR

#### • EFICACIA DEL PROTECTOR AUDITIVO

Eficacia de protección (%)	Protección asumida (dB)
84	$APV_f = m_f - 1,00 \sigma$
85	$APV_f = m_f - 1,04 \sigma$
90	$APV_f = m_f - 1,28 \sigma$
95	$APV_f = m_f - 1,64 \sigma$
99,5	$APV_f = m_f - 2,58 \sigma$

#### • VALORACIÓN DE LA ATENUACIÓN ACÚSTICA DEL PROTECTOR AUDITIVO

VALORACIÓN DE LA ATENUACIÓN ACÚSTICA DE UN PROTECTOR AUDITIVO			
Nivel de presión sonora efectivo en el oído, $L'_{Aeq}$	Índice de protección	Nivel de pico efectivo en el oído, $L'_{pico}$	Índice de protección
> 80 dB(A)	Insuficiente	≥ 135 dB(C)	Insuficiente
Entre 80 dB(A) y 75 dB(A)	Aceptable		
Entre 75 dB(A) y 70 dB(A)	Satisfactorio	< 135 dB(C)	Adecuado
Entre 70 dB(A) y 65 dB(A)	Aceptable		
< 65 dB(A)	Excesivo (sobreprotección)		

## • MÉTODO DE BANDAS DE OCTAVA

$$L'_{Aeq} = 10 \log \sum_{f=63 \text{ Hz}}^{8000} 10^{0,1(L_{Aeq,f} - APV_f)}$$

donde:

$f$  es la frecuencia central de cada banda de octava en Hz;

$L_{Aeq,f}$  es el nivel de presión acústica continuo equivalente por banda de octava ponderado “A”;

$APV_f$  es la protección asumida del protector auditivo por banda de octava.

## • MÉTODO DE H, M, L

$$L'_{Aeq} = L_{Aeq} - PNR$$

Seleccionar la expresión que corresponda:

$$PNR = M - \frac{(H-M)(L_{Ceq} - L_{Aeq} - 2)}{4} \quad \text{para } (L_{Ceq} - L_{Aeq}) \leq 2 \text{ dB}$$

$$PNR = M - \frac{(M-L)(L_{Ceq} - L_{Aeq} - 2)}{8} \quad \text{para } (L_{Ceq} - L_{Aeq}) > 2 \text{ dB}$$

donde:

$L_{Aeq}$  es el nivel de presión sonora ponderado “A” en el lugar o puesto de trabajo objeto de estudio;

$L_{Ceq}$  es el nivel de presión sonora ponderado “C” en el lugar o puesto de trabajo objeto de estudio;

$H$  es el valor de la atenuación para el intervalo de frecuencias altas (proporcionado por el fabricante);

$M$  es el valor de la atenuación para el intervalo de frecuencias medias (proporcionado por el fabricante);

$L$  es el valor de la atenuación para el intervalo de frecuencias bajas (proporcionado por el fabricante).

## • MÉTODO DE H, M, L SIMPLIFICADO

- Ruido con frecuencias predominantes medias o altas:  $L'_{Aeq} = L_{Aeq} - M$ .

- Ruido con frecuencias predominantes bajas:  $L'_{Aeq} = L_{Aeq} - L$ .



• **MÉTODO SNR**

$$L'_{Aeq} = L_{Ceq} - SNR$$

donde:

$L_{Ceq}$  es el nivel de presión sonora ponderado “C” en el lugar o puesto de trabajo objeto de estudio;

$SNR$  es el valor global de la atenuación del protector.

• **MÉTODO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA ATENUACIÓN DEL NIVEL DE PICO**

$$L'_{pico} = L_{pico} - d_m$$

donde:

VALORES DE LA ATENUACIÓN ACÚSTICA MODIFICADA	
Tipo de ruido de impacto	Atenuación del protector auditivo frente al nivel de pico, $d_m$ *
1 (frecuencias bajas)	$L - 5$
2 (frecuencias medias y altas)	$M - 5$
3 (frecuencias altas)	$H$
* Los valores H, M y L se han obtenido de los datos de atenuación suministrados por el fabricante	

• **OBTENCIÓN DEL NIVEL CONTINUO EQUIVALENTE EFECTIVO,  $L'_{Aeq,T}$ , EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE UTILIZACIÓN DEL PROTECTOR AUDITIVO**

$$L'_{Aeq,T} = 10 \log \frac{1}{T} [(T_{EPI} \cdot 10^{0,1L_{Aeq T_{EPI}}} + (T - T_{EPI}) \cdot 10^{0,1L_{Aeq(T-T_{EPI})}})]$$

donde:

$T$  es el tiempo de exposición al ruido, en minutos;

$T_{EPI}$  es el tiempo de exposición en el que el trabajador usa del protector auditivo;

$T - T_{EPI}$  es el tiempo de exposición en el que el trabajador no usa el protector auditivo;

$L_{Aeq T_{EPI}}$  es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A” que llega al oído del trabajador cuando hace uso del protector auditivo;

$L_{Aeq (T-T_{EPI})}$  es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A” que llega al oído del trabajador cuando no utiliza el protector auditivo.

- **MÉTODO PARA OBTENER EL TIEMPO MÁXIMO DE EXPOSICIÓN SIN SUPERAR UN DETERMINADO NIVEL DE EXPOSICIÓN**

$$T_{\text{máximo de exposición}} = 8 \cdot 10^{\frac{(\text{Nivel que no se desea superar} - L_{Aeq,T})}{10}}$$

donde:

$L_{Aeq,T}$  es el nivel de presión acústica continuo equivalente ponderado “A” al que está expuesto el trabajador;

*Nivel que no se desea superar* nivel de exposición al ruido que el técnico fija, en dB(A).





**7**  
**CAPÍTULO**

---

**Normativa de Referencia**

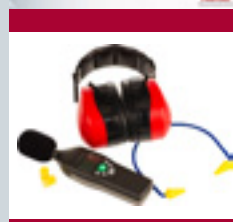
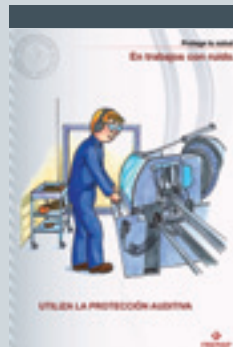


- Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la prevención y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.
- Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro.
- Real Decreto 298/2009, de 6 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, en relación con la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud en el trabajo de la trabajadora embarazada, que haya dado a luz o en período de lactancia.
- Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas
- Orden ITC/2845/2007, de 25 de septiembre, por la que se regula el control metrológico del Estado de los instrumentos destinados a la medición de sonido audible y de los calibradores acústicos.
- Guía Técnica para la evaluación y la prevención de los riesgos relacionados con la exposición de los trabajadores al ruido.
- Directrices para la evaluación de riesgos y protección de la maternidad en el trabajo (INSHT).
- Código de conducta con orientaciones prácticas para el cumplimiento del RD 286/2006 en los sectores de la música y el ocio (INSHT).
- NORMA UNE - EN ISO 9612. Acústica. Determinación de la exposición al ruido en el trabajo. Método de ingeniería.
- NORMA UNE – EN 458. Protectores auditivos. Recomendaciones relativas a la selección, uso, precauciones de empleo y mantenimiento. Documento guía.
- NORMA UNE – EN 352. Protectores auditivos (8 partes).
- NORMA UNE – EN 61672. Electroacústica. Sonómetros (3 partes).
- NORMA UNE – EN 61252. Electroacústica. Especificaciones para medidores personales de exposición sonora.
- NORMA UNE-EN ISO/IEC 17025. Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.
- Notas técnicas de prevención del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo:
  - NTP 960: Ruido: control de la exposición (I). Programa de medidas técnicas o de organización.
  - NTP 959: La vigilancia de la salud en la normativa de prevención de riesgos laborales.
  - NTP 952: Estrategias de medición y valoración de la exposición al ruido (III): ejemplos de aplicación.
  - NTP 951: Estrategias de medición y valoración de la exposición al ruido (II): tipos de estrategias.
  - NTP 950: Estrategias de medición y valoración de la exposición al ruido (I): incertidumbre de la medición.





- 
- NTP 865: Ruido en los sectores de la música y el ocio (II).
  - NTP 864: Ruido en los sectores de la música y el ocio (I).
  - NTP 795: Evaluación del ruido en ergonomía: criterio Rc Mark II.
  - NTP 638: Estimación de la atenuación efectiva de los protectores auditivos.



**FREMAP**

*Mutua de Accidentes de Trabajo y Enfermedades  
Profesionales de la Seguridad Social Número 61*