

## Introducción y objetivos

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 ( BOE núm. 60 de 11 de marzo), establece en su artículo 7, punto 1, que “de no haber otros medios de prevenir los riesgos derivados de la exposición al ruido, se pondrán a disposición de los trabajadores, para que los usen, protectores auditivos individuales apropiados...” añadiendo en el apartado c del mismo punto que “los protectores auditivos se seleccionaran para que supriman o reduzcan al mínimo el riesgo”.

Por ello, en aquellas situaciones laborales en las que no es posible de una forma inmediata la aplicación de protección colectiva o bien mientras se ejecuta el programa de medidas técnicas u organizativas a las que se refiere el artículo 4.2 del este RD 286/2006, se podrán utilizar protectores auditivos individuales adecuados y seleccionados convenientemente para que supriman o minimicen los riesgos derivados de la exposición al ruido.

En esta ficha técnica se describen los diferentes métodos normalizados (UNE EN ISO 4869) para la selección de protectores auditivos en función de las características del ruido y de los valores de atenuación de los equipos de protección.

El objetivo principal de la misma es pues la exposición de los métodos de cálculo de la atenuación efectiva de los protectores auditivos, a los efectos de determinar el nivel real de exposición al ruido de la persona que los utiliza.

## Equipos de protección auditiva

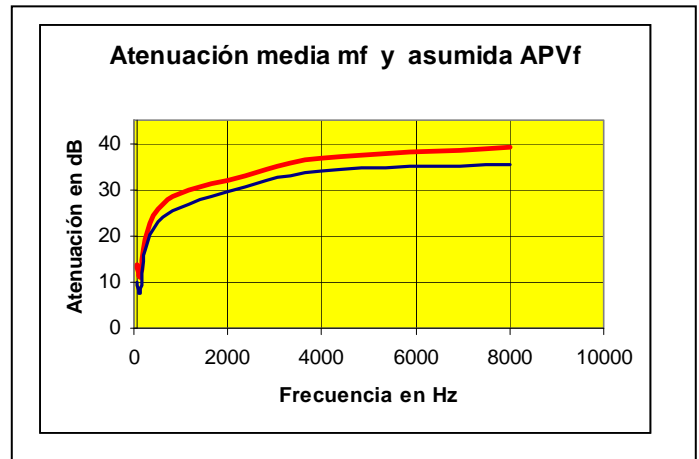
Los equipos de protección auditiva conocidos habitualmente como orejeras y tapones, quedan sometidos a diferentes disposiciones legales que regulan tanto su fabricación como su comercialización.

La característica más importante del protector auditivo es su atenuación del ruido en cada banda de frecuencia. Esta propiedad caracteriza a cada uno de los equipos en virtud del poder de atenuación en cada una de las bandas de octava en las que se realiza el análisis del ruido.

Las orejeras son básicamente cazoletas rellenas de un material absorbente provistas de almohadillas blandas que hacen de sello alrededor del pabellón auditivo para minimizar el ruido.



Los tapones están fabricados generalmente con espuma de recuperación lenta, lo que facilita la mejor combinación de comodidad y protección. Cuando se colocan en el interior del oído, previamente comprimidos, la espuma del tapón se expande proporcionando el ajuste adecuado a las paredes del oído externo donde se alojan.



## Conceptos y definiciones

El primer término que se utiliza en la determinación de la atenuación efectiva de los protectores auditivos es la reducción predicha del nivel de ruido, PNR.

El PNR representa la diferencia entre el nivel de presión sonora efectivo y ponderado,  $L_A$ , existente en un ambiente laboral y el nivel de presión sonora efectivo,  $L'_A$ , cuando se utiliza el equipo de protección auditiva.

$$PNR = L_A - L'_A$$

Así mismo se consideran los parámetros, H, M y L, propios de un determinado protector auditivo.

El parámetro H, indicador de la atenuación a alta frecuencia, representa el valor de PNR cuando la diferencia entre los niveles de presión sonora del ruido ambiental ponderados respectivamente en A y C es,

$$L_C - L_A = -2 \text{ dB}.$$

Igualmente, los parámetros M y L, indicadores de la atenuación a media y baja frecuencia, representan el valor de PNR cuando la diferencia entre los niveles de presión sonora del ruido son:

$$L_C - L_A = +2 \text{ dB}$$

$$\text{Y } L_C - L_A = +10 \text{ dB, respectivamente}$$

De otra parte se dispone del índice de reducción SNR, el cual se ha de restar al nivel de ruido expresado como  $L_C$  para estimar el nivel de presión sonora efectivo cuando se utiliza el protector auditivo.

$$L'_A = L_C - SNR.$$

El parámetro  $APV_f$ , representa el valor de la protección asumida de un protector auditivo indicado para cada banda de octava. Este valor se obtiene mediante la diferencia,

$$APV_f = m_f - k * \sigma,$$

Los términos de esta expresión representan:

.-  $m_f$  es la media de los valores obtenidos en la determinación de la atenuación de un protector auditivo dado y en una banda de frecuencia determinada,

.-  $\sigma$ , es la desviación típica de dicha serie de valores de atenuación

.-  $k$  es el número por el que se multiplica la desviación típica a los efectos de determinar la probabilidad de que los valores de la atenuación obtenidos para ese protector y banda de frecuencia sean mayores que un valor dado.

Asumiendo que para cada banda de octava los valores de atenuación obtenidos en los ensayos realizados por el fabricante del equipo sigan una distribución normal, la probabilidad de que dicho equipo tenga una atenuación mayor o igual  $m_f - k * \sigma$  viene dada por la expresión:

$$P(m_f - k * \sigma \leq APV_f \leq \infty) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} * \sigma} \int_{m_f - k * \sigma}^{\infty} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x - m_f}{\sigma} \right)^2} dx$$

Para cada valor de k obtendremos un valor de protección asumida y de eficacia de protección indicados en la tabla:

Valor de k	Protección asumida dB	Eficacia de protección %
0,67	$APV_f = m_f - 0,67 \times \sigma$	75
0,84	$APV_f = m_f - 0,84 \times \sigma$	80
1,00	$APV_f = m_f - 1,00 \times \sigma$	84
1,04	$APV_f = m_f - 1,04 \times \sigma$	85
1,28	$APV_f = m_f - 1,28 \times \sigma$	90
1,64	$APV_f = m_f - 1,64 \times \sigma$	95
2,58	$APV_f = m_f - 2,58 \times \sigma$	99.5

Es frecuente referir los parámetros descritos incluyendo sus porcentajes de protección mediante expresiones tales como,  $H_{84}$  ó  $PNR_{84}$  para cada uno de ellos.

### Método de las bandas de octava

En el método de bandas de octava se utilizan los niveles de ruido sin ponderar en cada una de las bandas de frecuencia comprendidas entre 63 y 8.000 Hz, a los cuales se les aplica de forma ordenada los valores correspondientes a la curva de ponderación A y la atenuación correspondiente de los protectores auditivos.

La expresión general toma la forma:

$$L'_A = 10 \log \sum_{63 \text{ Hz}}^{8000 \text{ Hz}} 10^{0,1 * (L_f + A_f - APV_f)}, \text{ donde}$$

$L'_A$  es el nivel de ruido ponderado en A recibido cuando se utilizan los protectores auditivos

$L_f$  es el nivel de ruido sin ponderación alguna obtenido con el analizador de bandas de octava.

$A_f$  son los valores de la curva de ponderación A para cada una de las frecuencias centrales.

$APV_f$  son los valores de atenuación de los protectores auditivos en cada una de las bandas de octava.

Veamos en un ejemplo la secuencia de cálculo: Ejemplo básico

1º.- Realizamos un análisis en bandas de octava del ruido, utilizando para ello un sonómetro integrador con capacidad para analizar el ruido en cada una de las bandas de frecuencia. Los valores del nivel de presión acústica sin ponderar obtenidos en cada banda de frecuencia son los siguientes:

Frec. Hz	63	125	250	500	1K	2K	4k	8K
L <sub>f</sub> dB	87	89	90	93	96	92	90	86

2º.- Tomamos los valores correspondientes a la curva de ponderación A,

Frec. Hz	63	125	250	500	1K	2K	4k	8K
"A" dB	-26.2	-16.1	-8.6	-3.2	0	1.2	1	-11

3º.- Igualmente se toman los valores de atenuación suministrados por el fabricante del equipo de protección auditiva.

Frec. Hz	63	125	250	500	1K	2K	4k	8K
m <sub>f</sub>	13,7	11,2	19,1	25,7	29,2	32	36,8	39
$\sigma$	3,9	3,2	2,2	2,7	3,1	2,3	2,7	3,7
SNR= 27			H=31		M= 24		L=16	

4º.- Determinamos el grado de protección asumido para cada banda de frecuencia,  $APV_f$ , en función de los datos aportados. Para este ejemplo tomamos k= 1, si bien se podría tomar cualquier otro valor en función del porcentaje de efectividad que se pretenda considerar.

Frec. Hz	63	125	250	500	1K	2K	4k	8K
m <sub>f</sub>	13,7	11,2	19,1	25,7	29,2	32	36,8	39
$K * \sigma$	3,9	3,2	2,2	2,7	3,1	2,3	2,7	3,7
APV <sub>f</sub>	9,8	8,0	16,9	23	26,1	29,7	34,1	35,3

5º.- Se disponen los valores L<sub>f</sub>, ponderación "A" y atenuación asumida APV<sub>f</sub>, según la tabla siguiente

Fre Hz	63	125	250	500	1K	2K	4k	8K
L <sub>f</sub>	87	89	90	93	96	92	90	86
"A"	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1
L <sub>A</sub>	60,8	72,9	81,4	89,8	96	93,2	91	84,9
APV <sub>f</sub>	-9,8	-8,0	-16,9	-23	-26,1	-29,7	-34,1	-35,3
L' <sub>A</sub>	51	64,9	64,5	66,8	69,9	63,5	56,9	49,6

Los valores de atenuación asumida, APV<sub>f</sub>, son esencialmente positivos. En la tabla se disponen como valores negativos a los efectos de obtener L'<sub>A</sub> como suma algebraica de L<sub>A</sub> y APV<sub>f</sub>.

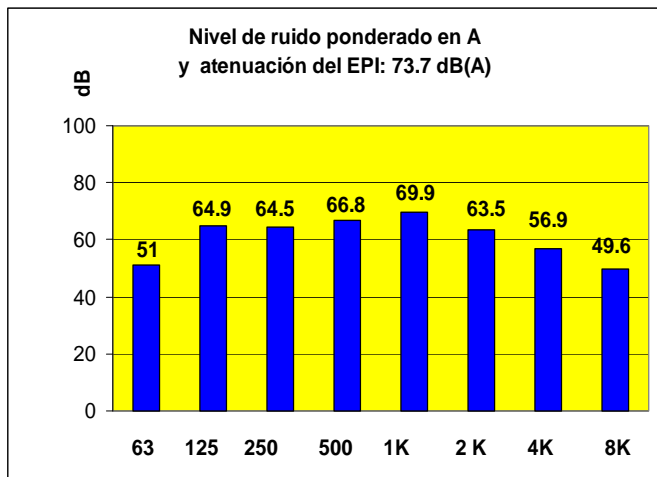
1º.- Nivel de ruido sin ponderar, L<sub>f</sub>

$$L_f = 10 \log \sum_{63 \text{ Hz}}^{8000 \text{ Hz}} 10^{0,1 * L_f} = 100,5 \text{ dB}$$

2º.- Nivel de ruido ponderado en A existente en el medio, L<sub>A</sub>.

$$L_A = 10 \log \sum_{63 \text{ Hz}}^{8000 \text{ Hz}} 10^{0,1 * (L_f + A_f)} = 99,4 \text{ dB(A)}$$

3º.- Nivel de ruido ponderado en A cuando se utiliza el protector auditivo, L'<sub>A</sub>



$$L'_A = 10 \log \sum_{63 \text{ Hz}}^{8000 \text{ Hz}} 10^{0,1 * (L_f + A_f - APV_f)} = 73,7 \text{ dB(A)}, \text{ con}$$

una eficacia de protección del 84%

Es necesario considerar aquí la importancia del valor que asignamos a K para determinar la protección asumida APVf. Si se toma K = 2,58, en lugar de K = 1, la eficacia de la protección alcanza el 99,5% y el nuevo valor de L'<sub>A</sub> sería:

Frec. Hz	63	125	250	500	1K	2K	4k	8K
mf	13,7	11,2	19,1	25,7	29,2	32	36,8	39
σ	3,9	3,2	2,2	2,7	3,1	2,3	2,7	3,7
2.58*σ	10,1	8,3	5,7	6,96	7,99	5,9	6,96	9,5
APVf	3,6	2,9	13,4	18,7	21,2	26,1	29,8	29,5

$$L'_A = 10 \log \sum_{63 \text{ Hz}}^{8000 \text{ Hz}} 10^{0,1 * (L_f + A_f - APV_f)} = 78,2 \text{ dB(A)}$$

Este valor es aún menor que el nivel inferior de exposición que da lugar a una acción según el RD 286/2006, ya referido anteriormente, y proporciona una eficacia de protección del 99,5%.

El protector auditivo más idóneo es aquel que da lugar a niveles de exposición significativamente inferiores a 80 dB(A) con la mayor eficacia de protección posible.

## Método HML

En numerosas ocasiones el fabricante de un protector auditivo no suministra los valores de atenuación del ruido de su equipo para cada una de las bandas de octava, aportando en su lugar los valores H, M y L del mismo.

En estos casos se puede determinar el nivel de exposición al ruido cuando se utiliza dicho equipo, mediante el siguiente procedimiento.

1º.- Las mediciones de ruido deben realizarse tanto con la ponderación "A" como con la ponderación "C", a los efectos de obtener los valores L<sub>A</sub> y L<sub>C</sub>, que corresponden al nivel de ruido existente medido en cada una de las ponderaciones indicadas.

Si no fuera posible realizar las mediciones de los niveles de ruido con la ponderación C, estos pueden obtenerse mediante los niveles de ruido en cada banda de octava sin ponderar y aplicando a continuación la ponderación C.

2º.- Se ha de realizar la diferencia L<sub>C</sub> - L<sub>A</sub>; es decir la diferencia en los niveles de ruido obtenidos con la ponderación C y A respectivamente.

3º.- Si la diferencia L<sub>C</sub> - L<sub>A</sub> es menor de 2, el valor PNR, diferencia entre el valor del nivel de ruido ponderado en A existente en el ambiente y el nivel de ruido ponderado en A al que está expuesto el trabajador cuando utiliza el protector auditivo, se calcula mediante:

$$PNR = L_A - L'_A = M - \frac{H - M}{4} * (L_C - L_A - 2)$$

Si la diferencia L<sub>C</sub> - L<sub>A</sub> es mayor de 2, el valor PNR se calculará mediante la expresión:

$$PNR = L_A - L'_A = M - \frac{M - L}{8} * (L_C - L_A - 2)$$

Obviamente si la diferencia L<sub>C</sub> - L<sub>A</sub> es exactamente 2, resulta indiferente la utilización de una u otra de las expresiones.

El fabricante del equipo de protección auditiva utilizado en el ejemplo del método de análisis en bandas de octava, indica que su protector tiene los siguientes parámetros de atenuación:

$$H=31 \quad M= 24, \quad L= 16$$

4º.- El nivel de ruido medido y ponderado en C es: L<sub>C</sub>= 100,3 dB(C).

De conformidad con lo indicado en el punto 1º de este método HML, para determinar el nivel de ruido ponderado en C, L<sub>C</sub>, cuando este no ha podido ser medido directamente, se puede proceder como se muestra en la tabla siguiente:

Frec. Hz	63	125	250	500	1K	2K	4k	8K
L <sub>f</sub> dB	87	89	90	93	96	92	90	86
Pond. "C"	-0,8	-0,2	0	0	0	-0,2	-0,8	-3
L <sub>c</sub>	86,2	88,8	90	93	96	91,8	89,2	83

$$L_C = 10 \log \sum_{63 \text{ Hz}}^{8000 \text{ Hz}} 10^{0,1 * L_c} = 100,3 \text{ dB(C)}$$

Vemos pues que L<sub>f</sub> = 100,5 dB y L<sub>C</sub> = 100,3 dB (C)

Puede apreciarse que los valores  $L_f$  y  $L_C$  difieren muy poco. Ello es debido a que la curva de ponderación "C" es muy plana y casi coincidente con la línea que correspondería a la ponderación lineal.

Igualmente el valor calculado anteriormente  $L_A = 99,4 \text{ dB(A)}$

Así pues la diferencia  $L_C - L_A = 100,3 - 99,4 = 0,9 \text{ dB}$

Dado que  $L_C - L_A < 2$  utilizamos la expresión:

$$PNR = L_A - L'_A = M - \frac{H - M}{4} * (L_C - L_A - 2)$$

Sustituyendo valores:

$$PNR = L_A - L'_A = 24 - \frac{31 - 24}{4} * (100,3 - 99,4 - 2) = 25,9$$

Consecuentemente el nivel de exposición al ruido cuando el trabajador utiliza este protector auditivo es de:

$$L'_A = L_A - PNR = 99,4 - 25,9 = 73,5 \text{ dB(A)}$$

## Método SNR

Con elevada frecuencia los fabricantes de equipos de protección auditiva, solamente suministran como información del grado de atenuación de sus equipos el valor SNR.

Con este valor es posible estimar el nivel de exposición al ruido de un trabajador que utiliza dicho equipo mediante un método de cálculo extremadamente simple.

Esta simplicidad tiene como contrapartida el margen de error que se puede cometer en la estimación de la protección que proporciona al usuario del equipo, toda vez que no tiene en cuenta las características del nivel de ruido existente, e ignora consecuentemente si dicho ruido es predominantemente un sonido de alta, media o baja frecuencia.

Para obtener el nivel de exposición al ruido cuando se utiliza un equipo de protección auditiva mediante el método SNR, es preciso conocer el nivel de ruido ponderado en "C",  $L_C$ , y proceder de la siguiente forma:

$$L'_A = L_C - SNR$$

Utilizando el mismo equipo de protección auditiva, para el cual el fabricante indicó un valor SNR= 27 y sustituyendo en la expresión los valores correspondientes:

$$L'_A = 100,3 - 27 = 73,3 \text{ dB(A)}$$

## Análisis comparativo de los métodos

Es necesario tener en cuenta que la determinación de los niveles de exposición al ruido cuando se utiliza un determinado protector auditivo, puede variar significativamente tanto en función del método utilizado para calcular la atenuación como por las características propias de dicho sonido.

Así el método de análisis en bandas de octava resulta ser el más preciso de los tres métodos ya que considera con detalle tanto las características del sonido como las del protector auditivo utilizado

El método HML sigue en precisión al anterior ya que considera valores de atenuación en frecuencias altas, medias y bajas.

Como contrapartida el método SNR resulta ser generalmente el más impreciso de los tres, llegando incluso a desaconsejarse su utilización en el caso de altos niveles de ruido que presenten marcadas diferencias en las distintas bandas de octava.

A fin de poner de manifiesto estas diferencias consideramos dos ejemplos adicionales con sonidos cuyas características para cada una de las bandas de frecuencia se muestran en la tabla siguiente:

Frec. Hz	63	125	250	500	1K	2K	4k	8K
Primer ejemplo adicional								
Lf dB	69	76	81	87	95	103	110	103
Segundo ejemplo adicional								
Lf dB	111	105	99	93	91	86	85	79

Los resultados sería los siguientes:

	Primer ejemplo adicional	Segundo ejemplo adicional	Ejemplo básico de la ficha
Método	Valor $L'_A$	Valor $L'_A$	Valor $L'_A$
Bandas de octava	79,6 dB(A)	82,7 dB(A)	73,7 dB(A)
HML	81,8 dB(A)	85,7 dB(A)	73,5 dB(A)
SNR	83,7 dB(A)	84,7 dB(A)	73,3 dB(A)

## Tiempo de utilización de los protectores auditivos

La protección frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido que se obtiene mediante la utilización de un protector auditivo es una función del nivel y/o los niveles de ruido existentes, la atenuación del equipo utilizado y del tiempo de exposición.

La expresión general que determina el nivel diario equivalente es:

$$L_{Aeq,d} = 10 * \log \frac{1}{8} \left( \sum_{i=1}^{i=n} T_i * 10^{0,1 * L_{Aeq,Ti}} \right)$$

La cual para n=1 toma la forma:

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 * \log \frac{T}{8}$$

Tomando los valores obtenidos en el Ejemplo básico los niveles continuos de exposición al ruido son:

$$L_{Aeq,T} = L'_A = 73,7 \text{ dB(A)} \text{ con protector auditivo}$$

$$L_{Aeq,T} = L_A = 99,4 \text{ dB(A)} \text{ sin protector auditivo}$$

Para una de exposición de 8 horas con protección auditiva ininterrumpida, el nivel diario equivalente sería:

$$L_{Aeq,d} = 73,7 \text{ dB(A)}$$

Si el trabajador prescindiese de los protectores auditivos 5 minutos en cada hora de trabajo, el tiempo total con protectores auditivos sería 7,33 horas y el nivel diario equivalente tomaría el valor:

$$L_{Aeq,d} = 10 * \log \frac{1}{8} (7,33 * 10^{7,37} + 0,66 * 10^{9,94}) = 88,7 \text{ dB(A)}$$

Nivel que supera el valor límite de exposición indicado en el RD 286/2006, de 10 de marzo.

## Bibliografía

- Norma UNE EN ISO 4869-2. Acústica. Protectores auditivos
- Higiene Industrial 2ª Edición. INSHT
- RD 286/2006, de 10 de marzo.