



Documentación

NTP 638: Estimación de la atenuación efectiva de los protectores auditivos

Estimation de l'atténuation effective des protecteurs individuels contre le bruit
Estimation of effective attenuation of hearing protectors

Redactores:

Pablo Luna Mendaza
Ldo. Ciencias Químicas

Juan Guasch Farrás
Ldo. Ciencias Químicas

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

En esta NTP se describen los procedimientos normalizados para estimar la reducción de ruido que se puede conseguir, con el uso de un determinado protector auditivo, en función del tipo de ruido al que se le enfrenta, tal como se describen en la norma UNE EN ISO 4869 Acústica. Protectores auditivos contra el ruido, lo que permite, además, obtener la precisión del resultado según sea el procedimiento de cálculo utilizado. Por otro lado, se pone de manifiesto que, los protectores auditivos deben utilizarse durante la totalidad e la exposición, ya que su eficacia disminuye de forma exponencial al disminuir el tiempo de uso del protector.

Introducción

Los protectores auditivos (orejeras o tapones) están sometidos a la normativa que regula tanto la fabricación y comercialización como el uso de los Equipos de Protección Individual (EPI). Según dicha normativa, para obtener la necesaria certificación de la Unión Europea (CE), y puesto que se trata de EPI de categoría 2ª, se debe garantizar el cumplimiento de ciertas prestaciones a través de ensayos en laboratorio establecidos en la correspondiente normativa armonizada, en lo que constituye el examen de tipo. La prestación más importante es la atenuación que proporcionan.

Esta atenuación, es un valor constante para cada banda de octava, pero la protección global es diferente según el espectro de frecuencias del ruido en cuestión, por lo que puede decirse que, para un mismo protector, la protección varía en cada situación. Los correspondientes datos sobre la atenuación, deben figurar en el folleto informativo que el fabricante adjunta al protector auditivo. A partir de ellos se puede calcular la protección que ofrecerá dicho protector en cada caso.

Definiciones

El objetivo del cálculo es la obtención de la protección que ofrece un protector auditivo, denominada reducción predicha del nivel de ruido (PNR), y del valor del nivel de presión sonora efectivo ponderado A (L_A'), cuando se utiliza el protector en un ambiente caracterizado por un nivel de presión sonora L_A . La relación entre ellos es:

$$\text{PNR} = L_A - L_A' \quad (1)$$

Se definen por otra parte los siguientes parámetros pertenecientes al protector auditivo:

- Atenuación a alta frecuencia (H), representa el valor de PNR cuando la diferencia entre los niveles de presión sonora del ruido ambiental ponderados A y C es $L_C - L_A = -2$ dB.
- Atenuación a media frecuencia (M), representa el valor de PNR cuando la diferencia entre los niveles de presión sonora del ruido ambiental ponderados A y C es $L_C - L_A = +2$ dB.
- Atenuación a baja frecuencia (L), representa el valor de PNR cuando la diferencia entre los niveles de presión sonora del ruido ambiental ponderados A y C es $L_C - L_A = +10$ dB.
- Índice de reducción único (SNR), es el valor que se resta del nivel de presión sonora ponderado C (L_C) para estimar el nivel de presión sonora efectivo ponderado A (L_A').
- Protección asumida (APV_f) de un protector es un valor, por banda de octava, obtenido de restar del valor medio de atenuación por banda de octava (m_f), en diferentes ensayos de laboratorio, la desviación típica (σ) obtenida en dichos ensayos.

$$APV_f = m_f - \sigma \quad (2)$$

El valor de APV_f así calculado es la atenuación de que se dispondrá con una probabilidad del 84% o, lo que es lo mismo, es la atenuación de que dispondrán 84 de cada 100 personas que lo utilicen. Si se desea aumentar la eficacia de la atenuación al 95% se utilizará $APV_f = m_f - 1,64\sigma$. Otros valores de eficacia de atenuación se dan en la **tabla 1**.

Tabla 1
Porcentaje de protección y protección asumida de un protector auditivo

Eficacia de protección (%)	Protección asumida (dB)
75	$APV_f = m_f - 0,67\sigma$
80	$APV_f = m_f - 0,84\sigma$
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	$APV_f = m_f - 2,58\sigma$

Dado que el valor de APV_f interviene en el cálculo de PNR, H, M, L y SNR es básico conocer el porcentaje de eficacia utilizado. Habitualmente, salvo que se indique (p.e: H_{95} ó PNR_{80}), la eficacia es del 84%.

La información que suministra el folleto informativo de los protectores auditivos incluye los valores de H, M, L, SNR y APV_f para las octavas de frecuencia central entre 63 y 8000 Hz.

Los valores de H, M y L, que son independientes del ruido ambiental, se calculan a partir del comportamiento del protector (APV_f) respecto a ocho espectros de ruido diferentes y normalizados.

El valor del índice de ruido único (SNR) se obtiene para cada protector a partir de la protección asumida APV_f y el efecto que ésta tiene sobre un ruido rosa (ruido que entre otras características posee iguales niveles de presión acústica en todas las octavas) cuyo espectro está normalizado. Por este motivo el SNR es independiente del ruido ambiental.

Método de las bandas de octava

Requiere conocer los niveles de presión sonora, en bandas de octava, del ruido ambiental. Es el método más fiable.

Cuando se utiliza un protector auditivo se obtiene el valor del nivel de presión sonora efectivo ponderado A (L_A'), aplicando la siguiente expresión

$$L_A' = 10 \log \sum_{f=63 \text{ Hz}}^{f=8000 \text{ Hz}} 10^{0,1(L_f + A_f - APV_f)} \quad (3)$$

donde A_f es la ponderación A en cada octava y L_f el nivel de presión sonora por octava, sin ponderar.

El valor resultante de L_A' debe redondearse al entero más próximo.

Ejemplo:

Se desea conocer el nivel de presión sonora efectivo ponderado A, en un ambiente de trabajo cuando se utiliza un determinado protector auditivo. El nivel de presión sonora, por bandas de octava, del ruido ambiental y las características de atenuación del protector se indican en las **tablas 2 y 3**.

Tabla 2
Espectro de frecuencias en bandas de octava del ruido en cuestión

Frecuencia (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_f (dB)	85	85	87	90	90	85	82	78

Tabla 3
Datos de atenuación del protector (datos del fabricante)

Frecuencia (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
mf	24,9	25,4	25,9	27,8	28,3	33,2	30,9	40,2
σ	6,4	6,1	3,8	2,5	3,4	4,9	5,2	4,9

$$H = 27 \text{ dB } M = 25 \text{ dB } L = 23 \text{ dB } \text{SNR} = 28 \text{ dB}$$

Se calcula el valor de APV_f , según la expresión (2) como aparece en la **tabla 4**, en la que se ha escogido una eficacia de protección del 84%

Tabla 4
Cálculo de atenuación del protector

Frecuencia (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
m_f	24,9	25,4	25,9	27,8	28,3	33,2	30,9	40,2
σ	6,4	6,1	3,8	2,5	3,4	4,9	5,2	4,9
APV_f	18,5	19,3	22,1	25,3	24,9	28,3	25,7	35,3

A continuación se aplica, por suma de los valores correspondientes, (ver **tabla 5**) la ponderación A (**fila 2**) al nivel de presión sonora en cada octava (**fila 1**) y a continuación se le restan los valores de la protección asumida también de forma vertical (**fila 4**). Los valores resultantes por octava se suman en horizontal (suma logarítmica). El resultado es el nivel de presión sonora efectivo, ponderado A (**fila 5**, final).

Así mismo por suma horizontal logarítmica de los valores de la **fila 1** se obtiene el nivel lineal de presión sonora no ponderado y en la **fila 3**, el nivel de presión sonora ponderado A.

La suma logarítmica se calcula así:

$$L_A' = 10 \log \sum_{f=63 \text{ Hz}}^{f=8000 \text{ Hz}} 10^{0,1 L_f} \quad (4)$$

La interpretación de los resultados es la siguiente:

En el puesto de trabajo el nivel de presión sonora no ponderado es de 96 dB, y siendo el espectro de frecuencias el que se ha indicado, el nivel de presión sonora ponderado A es de 93 dBA. Se utiliza un protector auditivo con el que el nivel de presión sonora efectivo ponderado A es $LA = 68 \text{ dBA}$, con una probabilidad del 84% o lo que es lo mismo, en 84 de cada 100 ocasiones que se use, por lo que la reducción predicha del nivel de ruido es $\text{PNR}_{84} LA - L_A' = 25 \text{ dBA}$.

Tabla 5
Cálculo del nivel de presión sonora efectivo.

Fila	Frecuencia (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	global
1	L_f	85	85	87	90	90	85	82	78	$L = 96$ dB
2	Ponderación A	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	
3	L_A	58,8	68,9	78,4	86,8	90	86,2	83	76,9	$L_A = 93$ dBA
4	APV_f	18,5	19,3	22,1	25,3	24,9	28,3	25,7	35,3	
5	L_A'	40,3	49,6	56,3	61,5	65,1	57,9	57,3	41,6	$L_A' = 68$ dBA

Los valores de L_A se representan gráficamente en la **figura 1**, y los APV_f y L_A' en la **figura 2**

Figura 1
Espectro de frecuencias de ruido (incluyendo la ponderación A)

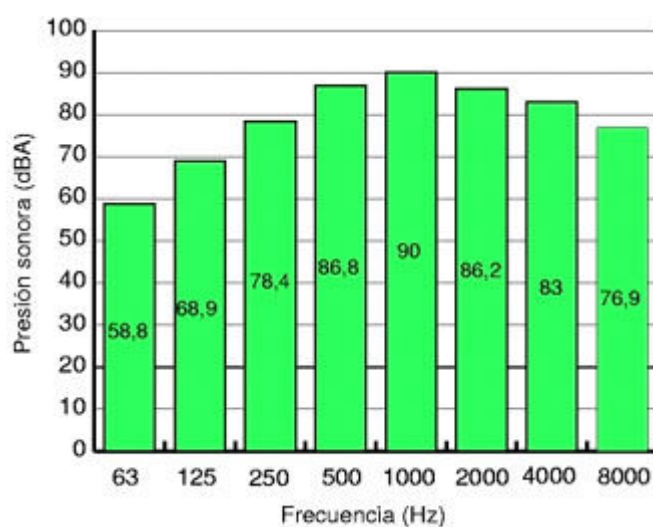
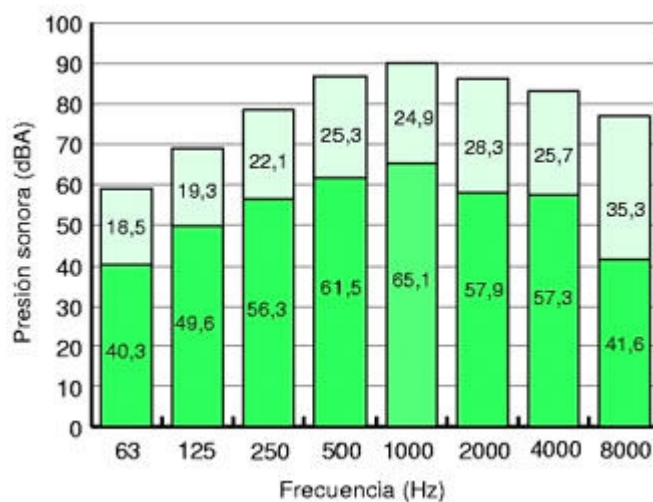


Figura 2
Espectro de frecuencias de ruido (incluyendo la ponderación A) y de atenuación del protector auditivo



Naturalmente la protección real está condicionada al uso correcto y al grado de mantenimiento del EPI.

Método de H, M y L

El método requiere conocer los valores de presión acústica ponderados A y C, así como los valores de H, M y L del protector auditivo. Se calcula el valor de PNR según la diferencia entre L_C y L_A de la siguiente manera:

Si la diferencia $L_C - L_A \leq 2$ dB se utilizara la expresión (5), en caso de $L_C - L_A \geq 2$, la expresión (6).

$$\text{PNR} = M - \frac{H - M}{4} (L_C - L_A - 2) \quad (5)$$

$$\text{PNR} = M - \frac{M - L}{8} (L_C - L_A - 2) \quad (6)$$

El valor resultante de L_A' debe redondearse al entero más próximo

Se puede utilizar el nivel de presión acústica no ponderado en lugar del L_C

Ejemplo

Calcular los valores de L_A' y PNR84 para el caso del ejemplo anterior:

En la práctica, el empleo de este método es apropiado cuando se poseen los valores de L_C y L_A obtenidos de la medición, en este caso, en el que ya conocemos el valor de L_A , se obtendrá L_C aplicando la ponderación C a los niveles de presión sonora en cada octava (tabla 6).

Así pues $L_C - L_A = 95 - 93 = 2$ dB

Se puede, en este caso, utilizar cualquiera de las expresiones (5) ó (6) para obtener la reducción predicha del nivel de ruido.

$$\text{PNR} = M - \frac{H - M}{4} (L_C - L_A - 2) =$$

$$25 - \frac{27 - 25}{4} (95 - 93 - 2) = 25 \text{ dB}$$

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

$$25 - \frac{25 - 23}{4} (95 - 93 - 2) = 25 \text{ dB}$$

Con este valor de PNR el nivel de presión sonora efectivo ponderado A, será

$$L_A = 93 - 25 = 68 \text{ dBA con una probabilidad del 84\%}$$

Tabla 6
Aplicación de la escala de ponderación C

Frecuencia(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
L_f	85	85	87	90	90	85	82	78	$L = 96$ dB
Ponderación C	-0,8	-0,2	0,0	0,0	0	-0,2	-0,8	-3	
L_C	84	85	87	90	90	85	81	75	$LC = 95$ dBC

Método del SNR

Se precisa el nivel de presión sonora ponderado C y el parámetro SNR del protector auditivo.

Se calcula el nivel de presión sonora efectivo ponderado A de la siguiente forma:

$$L_A' = L_C - \text{SNR} \quad (7)$$

Ejemplo: Continuando con los datos de los ejemplos anteriores, en este caso, será:

$$L_C = 95 \text{ dBC y } \text{SNR} = 28 \text{ dB, por lo que}$$

$$L_A = 95 - 28 = 67 \text{ dBA}$$

El nivel de presión sonora efectivo ponderado A será de 67 dBA con una probabilidad del 84%.

Cuando preponderan los niveles de presión sonora correspondientes a las frecuencias muy altas o muy bajas, del espectro del ruido en cuestión (ruidos agudos o graves) aumentan las diferencias halladas entre los PNR calculados por los tres métodos.

En la **tabla 7** se presentan los diferentes parámetros calculados para dos casos como los mencionados, cuyas características espectrales se dan en la **tabla 8**, utilizando el protector auditivo de los ejemplos anteriores.

Como se desprende de la **tabla 7**, en ambos casos y tomando como referencia los valores obtenidos a partir del método del espectro de bandas de octava, el método M H L ofrece una buena aproximación en el cálculo del PNR, mientras que se comete un gran error utilizando el SNR. Aunque los resultados también dependen del espectro de atenuación del protector auditivo, por regla general, cuando en los espectros del ruido en cuestión preponderan frecuencias bajas o muy altas, disminuye mucho la precisión del sistema de cálculo a partir del SNR, mientras que se mantiene una precisión aceptable en el método H M L.

Tabla 7
Parámetros de atenuación en los casos 1 y 2

Ejemplo	Parámetros del ruido				Método bandas de octava		Método H M L H = 27, M = 25, L = 23		Método SNR SNR = 28	
	L	L_A	L_C	$L_C - L_A$	PNR	LA	PNR	LA	PNR	LA
Caso 1	112	113	111	-2	26	87	27	86	30	83

Caso 2	112	97	111	14	22	75	22	75	14	83
--------	-----	----	-----	----	----	----	----	----	----	----

Tabla 8
Características espectrales de dos ruidos diferentes

Frecuencia (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Caso 1	70	75	82	86	96	102	111	102
Caso 2	110	106	98	94	90	87	84	80

Tiempo de utilización del protector auditivo

El tiempo de utilización del protector auditivo tiene gran influencia en la protección real que ofrece.

El nivel equivalente diario de presión sonora en un puesto de trabajo, puede calcularse como:

$$L_{AeqT} = 10 \log (1/T) \sum_n (T_1 \times 10^{0,1 L_{Aeq1}} + T_2 \times 10^{0,1 L_{Aeq2}} + \dots + T_n \times 10^{0,1 L_{Aeqn}})$$

Siendo L_{A1} , L_{A2} , ..., L_{An} los niveles de presión sonora existentes durante los periodos de tiempo T_1 , T_2 , ..., T_n .

De la misma forma, el cálculo del nivel equivalente (efectivo) durante un tiempo T si durante una parte T' se utiliza un protector auditivo de reducción predicha, PNR, y el resto del tiempo no se utiliza protector alguno, es el siguiente:

$$L_{AeqT} = 10 \log (1/T) \sum_n (T \times 10^{0,1 L_{Aeq,T}} + (T - T') \times 10^{0,1 L_{Aeq,(T-T')}})$$

Ejemplo

En el ejemplo anterior, el nivel de presión sonora efectivo ponderado A es $L_A' = 93 - 25 = 68$ dBA. Si ese nivel se mantiene durante 8 horas ese será también el nivel equivalente diario (efectivo). Si por el contrario el trabajador se desprende de vez en cuando del protector (supongamos que 5 minutos de cada hora de trabajo) el nivel equivalente diario (efectivo) será:

$$L_{Aeqd} = 10 \log (1/480) \sum_n (440 \times 10^{6,8} + 40 \times 10^{9,3}) = 83 \text{ dBA}$$

En la práctica el protector auditivo se comporta como si tuviese un valor de PNR = 93 - 83 = 10 dBA. En la **tabla 9** se presentan los valores del PNR suponiendo otras frecuencias de descanso.

En la **figura 3** se ha simulado la exposición del trabajador en función del tiempo de uso del protector. Puede observarse en ella, que el nivel equivalente diario (efectivo) sólo es igual o menor que 80 dBA, cuando el tiempo de utilización del protector supera el 95% de la jornada de 8 horas.

El efecto del tiempo de utilización del EPI en la reducción de la protección (PNR) de tres protectores diferentes (PNR = 10, 20 y 25 dBA) se puede extraer de la **figura 4**. Obsérvese que cuando el protector se usa sólo la mitad del tiempo de exposición los tres protectores ofrecen de hecho la misma protección.

En la práctica es muy frecuente que la persona que utiliza protectores auditivos "descanse" durante cortos espacios de tiempo de la molestia que puede suponer su uso. Ya se ha visto las consecuencias de la acumulación de esos periodos en los que habiendo exposición no hay protección, por lo que es recomendable que en la elección del protector auditivo intervenga directamente el usuario. Se tendrá en cuenta además que el "aislamiento" que provoca una excesiva protección, crea molestias añadidas, por lo que se recomienda que el protector ofrezca una protección PNR que garantice simplemente la reducción del nivel de ruido por debajo de 75 dBA.

Tabla 9.
Eficacia de protección del protector auditivo según la utilización

Frecuencia de descanso		Eficacia de la protección
El usuario no se desprende nunca del protector durante la exposición		$L_A' = 68$ PNR = 25
El usuario se desprende del protector	1 minuto de cada hora	$L_A' = 76$ PNR = 17
	2 minutos de cada hora	$L_A' = 79$ PNR = 14
	10 minutos de cada hora	$L_A' = 86$ PNR = 7
	15 minutos de cada hora	$L_A' = 87$ PNR = 6
	30 minutos de cada hora	$L_A' = 90$ PNR = 3

Figura 3
Nivel de exposición real, al ruido, al variar el tiempo de utilización del protector auditivo (PNR = 25 dB y $L_{Aeq, T} = 93$ dB)

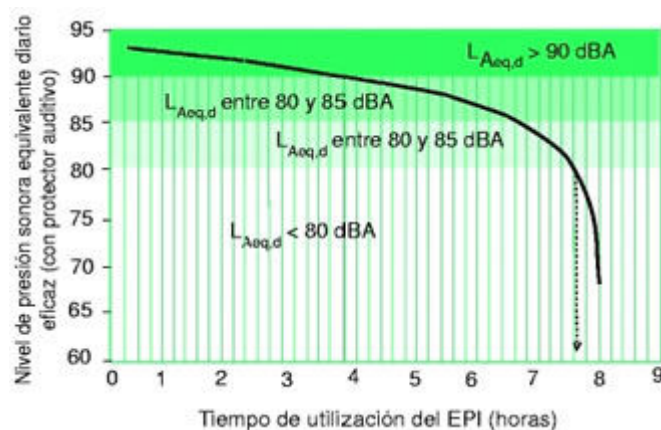
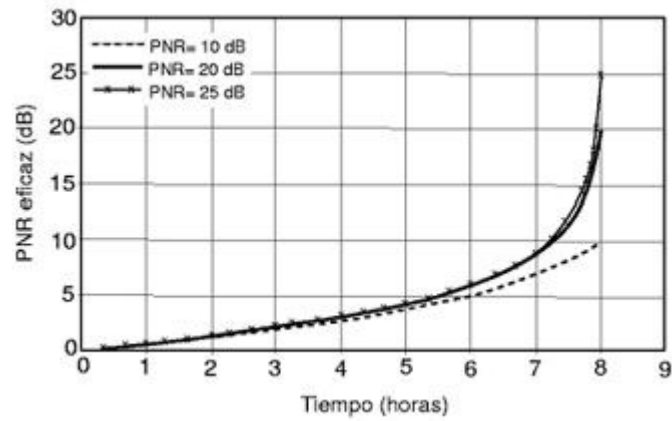


Figura 4
Variación del PNR con el tiempo de utilización del protector auditivo



Bibliografía

1. UNE EN ISO 4869-2
Acústica. Protectores auditivos contra el ruido . Parte 2: Estimación de los niveles efectivos de presión sonora ponderados A cuando se utilizan protectores auditivos.
AENOR 1996
2. ROBERT ANDERSON Y OTROS AUTORES.
The Noise Manual
AIHA 2000