

## RUIDO INDUSTRIAL

### INTRODUCCIÓN

Ninguno de los distintos agentes agresivos para la salud que concurren en las instalaciones industriales lo hacen tanto como el ruido.

El ruido comporta, y las estadísticas corroboran esta afirmación, un riesgo permanente para la salud de los trabajadores. En la extensión e importancia de este riesgo inciden, entre otras, el incremento energético incorporado a las instalaciones de producción, la potencia de las máquinas y sus cada vez mayores dimensiones, los volúmenes de materias primas manipulados, así como los tamaños de los productos acabados, los ritmos de trabajo incorporados y la introducción de nuevas tecnologías.

Este panorama supone un reto para los distintos estamentos técnicos, médicos y jurídicos y cualquiera otro implicado en la protección de la salud ocupacional.

A la hora de definir el ruido nos encontramos con que es susceptible de una dualidad de enfoque en su enunciado. Por una parte, la sensación que produce en el ser humano nos conduce a la expresión subjetiva de su definición, y por otra, una definición objetiva implica en una aproximación al tema del ruido como fenómeno físico.

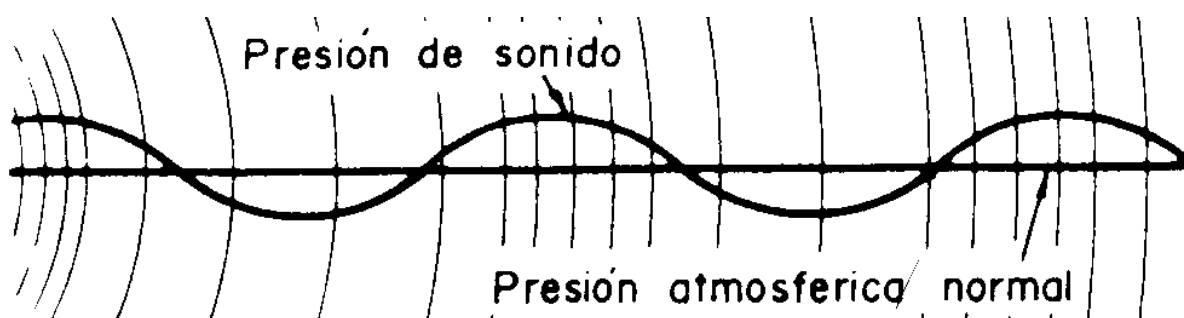
Dentro de las definiciones subjetivas encontramos, entre otras, aquellas que lo presentan como “sonido no grato” o “combinación de sonidos no coordinados que producen una sensación desagradable”, o aquella más amplia que lo identifica con “cualquier sonido que interfiera o impida alguna actividad humana”.

La vertiente subjetiva del ruido se manifiesta más claramente en el hecho de que la persona que ejecuta una operación ruidosa “siente” menos el ruido que otra persona próxima al foco, que no se encuentra “avisada” de que se va a producir una emisión de ruido. La explicación de este fenómeno reside en la posibilidad de actuación de músculos del oído medio, limitando la recepción sonora.

Desde el punto de vista físico, el ruido consiste en un movimiento ondulatorio producido en un medio elástico por una vibración. El desplazamiento complejo de moléculas de aire se traduce en una sucesión de variaciones muy pequeñas de la presión; estas alteraciones de presión pueden percibirse por el oído y se denomina “presión sonora”.

Si bien la partícula que vibra inicialmente puede oscilar muy poco alrededor de su posición de equilibrio, la onda o perturbación se propagará hasta el límite del sistema, salvo que su energía se disipe por razones de rozamiento.

Así pues, en el avance de una onda existe transporte de energía y no existe transporte de masa.



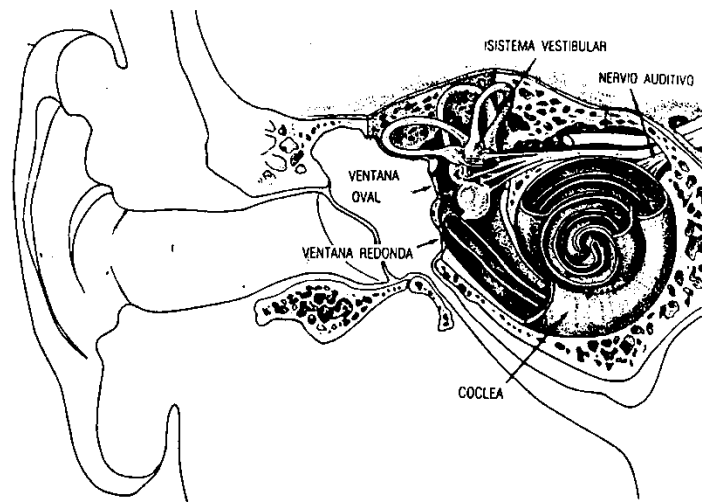
## **Efectos de la exposición al ruido**

Pretendiendo configurar los riesgos que para las personas comporta la exposición a los distintos tipos de ruido, tendremos que pasar por los criterios de nocividad y de la anatomía del sistema auditivo para la comprensión posterior de los efectos del ruido y los criterios de daño.

### **Estructura del sistema auditivo**

El oído es un órgano alojado en el hueso temporal. Desde el punto de vista anatómico y funcional, podemos dividir el oído en tres partes: oído externo, medio e interno.

#### **Oído externo**



**Figura 12.**—Esquema del sistema auditivo.

Se divide en dos partes: la parte exterior llamada pabellón u oreja y el llamado conducto auditivo externo. La oreja es la parte visible del sistema auditivo que ofrece unas características morfológicas adaptadas a su función como primera fase del proceso de captación sonora, con un perfil receptor. La morfología de la oreja hace que se recojan las ondas sonoras conduciéndolas hacia el canal auditivo externo que con una longitud de unos tres centímetros termina en la membrana del tímpano que se considera como frontera entre los oídos externo y medio.

En el conducto auditivo externo el sonido pasa a través del cerumen y llega a la membrana del tímpano, la hace vibrar comunicando este movimiento a su vez a los huesos del oído medio.

## Oído medio

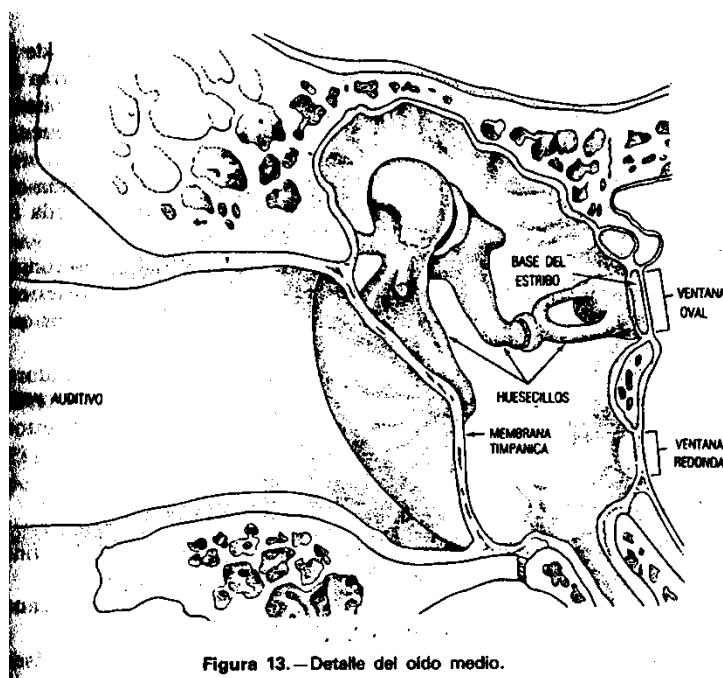


Figura 13. — Detalle del oído medio.

Es un espacio hueco llamado caja del tímpano. Está limitado en su parte más externa por la membrana del tímpano y en su parte más interna por la pared ósea del oído interno.

En el interior del oído medio se encuentra la cadena de huesillos (martillo, yunque y estribo) que tienen por función unir la membrana del tímpano con el oído interno a través de la ventana oval ubicada en la pared ósea del oído interno.

El techo del oído medio lo constituye la separación de éste del lóbulo temporal del cerebro y la parte inferior lo separa de la carótida, así como de la yugular.

En la parte frontal aparece la Trompa de Eustaquio, cuya función es de regulación de las presiones atmosféricas exteriores y la del oído medio. Por último, en la parte posterior aparecen las cavidades mastoideas.

En el oído medio se producen dos funciones fundamentales. La primera la transmisión del sonido hasta el oído interno y la segunda, de transformación del sonido amplificándolo o amortiguándolo.

La transmisión del sonido se efectúa a partir del movimiento de la membrana del tímpano que lo comunica al martillo, éste a su vez lo transmite al yunque y éste al estribo que termina en la ventana oval, donde comienza el oído interno.

El movimiento de la cadena de huesillos produce que la presión comunicada al martillo por la membrana se vea aumentada en razón de la menor o mayor longitud del estribo.

Otro mecanismo transformador del sonido en el oído medio lo constituye el efecto multiplicador que supone la diferencia de superficies entre la membrana timpánica y la base del estribo, esta mucho menor que aquella.

Finalmente, la función del oído medio no es siempre amplificadora. Ante la recepción de fuertes sonidos los músculos de inserción de la cadena de huesos actúan en el sentido de limitar la movilidad de éstos, lo que constituye una forma de amortiguación.

## Oído interno

En el oído interno radican importantes funciones: es el mecanismo final de audición y el receptor del equilibrio.

Tres partes forman el oído interno: la cóclea, el vestíbulo y los canales semicirculares.

La cóclea tiene forma de caracol soportado por una estructura ósea. En el conductor interior se distinguen dos canales pegados a la pared superior e inferior del conducto que se denominan rampa vestibular y rampa timpánica. Entre ambas rampas se encuentra el órgano de Corti con las células ciliares que es el órgano receptor de audición. La rampa vestibular comienza justamente debajo del estribo, en la ventana oval y continua por la parte superior del conducto coclear hasta el final de la espiral (helicotrema) a partir del cual, continuando por la parte inferior del conducto coclear, nos encontramos con la rampa timpánica que termina en la ventana redonda.

El sentido del equilibrio se asienta en el sistema vestibular próximo a la cóclea. Existen tres canales semicirculares (superior, posterior y lateral) que a partir del fluido que lo compone transmite a un sistema de redes nerviosas conectadas con el cerebro, la información necesaria sobre la posición del cuerpo.

El funcionamiento del oído interno como receptor del sonido podríamos resumirlo, de forma esquemática, como sigue:

A través de la ventana oval y debido a los movimientos del estribo, se acciona el fluido del oído interno. Esta a su vez, mediante las membranas basilar y tectoria lo trasmite a las células ciliares, que están conectadas con células nerviosas, las que, generando impulsos electroquímicos determinados según el sonido que ha producido la perturbación, lo condicen al cerebro a través del nervio auditivo.

La sensibilización a distintas frecuencias del sonido se localiza en diferentes puntos de la cóclea. Las bajas frecuencias son detectadas en la parte más interior de la cóclea, próxima al helicotrema. Las altas frecuencias por el contrario, se captan en la zona exterior de ésta (cóclea), es decir, de la ventana oval.

### **Factores de riesgo**

El riesgo fundamental que genera la exposición prolongada a altos niveles de presión sonora es el aumento del umbral de audición.

Existen cuatro factores de primer orden que determinan el riesgo de pérdida auditiva:

- Nivel de presión sonora,
- Tipo de ruido,
- Tiempo de exposición, y
- Edad.

Además de estos cuatro factores citados, existen otros, como son las características del sujeto receptor, ambiente de trabajo, distancia al foco sonoro y posición respecto a éste, sexo, enfermedades, osteoesclerosis y sorderas por traumatismo craneal.

La importancia del primer factor, mayor o menor nivel de ruido, es primordial. Aunque no pueda establecerse una relación exacta entre nivel de presión sonora y daño auditivo, si bien es evidente que cuanto mayor es el nivel de presión sonora mayor es el daño auditivo (pérdida de audición), pero la relación entre ambos no es lineal.

El tipo de ruido, considerado como otro de los factores importantes, influye, por una parte, en cuanto al espectro de frecuencias en que se presenta, así como en cuanto a su carácter de estable, intermitente, fluctuante o de impacto. Es generalmente aceptado que el ruido continuo se tolera mejor que el discontinuo.

Se considera habitualmente que un ruido que se distribuya en gran parte de las frecuencias superiores a 500 Hz presenta una mayor nocividad que otros cuyas frecuencias dominantes son mas bajas. También se consideran más peligrosos los ruidos de banda estrecha que los de banda ancha.

Los ruidos de impacto, cuando el nivel es suficientemente alto – hay estampidos que alcanzan los 140 dB – pueden generar una lesión por trauma sonoro inmediata.

El tiempo de exposición lo consideramos desde dos aspectos: por una parte, el correspondiente a las horas diarias o semanales de exposición – que es lo que normalmente es entendido por tiempo de exposición – y, por otra parte, la edad laboral o tiempo en años que el trabajador lleva actuando en un puesto de trabajo con un nivel de ruido determinado.

Hay que tener en cuenta que el oído va sufriendo con la edad, y al margen del tipo de exposición al ruido, unas pérdidas auditivas, que significan un aumento del umbral de audición.

### **Daño auditivo**

La observación y el estudio de colectivos de trabajadores sometidos al ruido industrial han podido poner de manifiesto la presencia de mayor grado de nerviosismo y/o agresividad en los trabajadores expuestos que en los que no lo están.

También pueden encontrarse trastornos de memoria, de atención, de reflejos e incluso una lenta merma de las facultades intelectuales de los sometidos largo tiempo al ruido.

La alteración nerviosa producida por el ruido puede reflejarse en el aparato digestivo, provocando trastornos de la digestión, ardores, dispepsias, etc.

Puede decirse, por último que la exposición a niveles moderados y altos de ruido, se corresponden con un aumento de la fatiga.

No obstante, el daño más importante que genera el ruido es el de la disminución de la capacidad auditiva.

Se puede considerar la sordera temporal (Temporary Threshold Shift, TTS, desplazamiento temporal del umbral de audición) y la sordera permanente, como las dos formas de plantearse la disminución de agudeza auditiva.

La sordera temporal aparece cuando las exposiciones a niveles de ruido, generalmente elevados, producen elevaciones del umbral de audición que se recupera posteriormente en los periodos de no-exposición, no obstante, queda siempre un resto acumulativo.

En la sordera permanente, el desplazamiento del umbral de audición - debido al ruido- se produce cuando la recuperación del nivel auditivo hacia la situación anterior a la agresión no tiene lugar. Este desplazamiento permanente del umbral ocurre cuando la lesión se localiza en el oído interno. En estos casos dicha lesión por trauma sonoro es coclear.

### **Características de la pérdida auditiva**

El desplazamiento temporal del umbral de audición, TTS, conlleva una recuperación posterior de la audición normal, al cabo de un tiempo del orden de las 10 horas, siempre que no se repita la exposición al ruido.

El desplazamiento del umbral suele alcanzar un máximo para frecuencias superiores a la octava siguiente al tono predominante de la exposición. Este desplazamiento tiende a producirse durante la primera hora de exposición y su amplitud depende del tipo de ruido, ruidos de frecuencias altas producen mayores desplazamientos que los de frecuencias bajas.

Estudios realizados demuestran que la recuperación es tanto más rápida cuanto mayor ha sido el desplazamiento, existiendo un límite del orden de 50 dB. A partir de los 60 dB, la vuelta a la normalidad es mucho más lenta, sobre todo para frecuencias superiores a 4.000 Hz, pudiendo aparecer incluso desplazamientos permanentes del umbral de audición.

### **Sordera de transmisión y de percepción**

El oído externo, aparte del obstáculo a la transmisión del sonido que pueda suponer la presencia de un tapón de cerumen, no presenta patología especial en cuanto a la sordera.

En el oído medio pueden presentarse anquilosis del tímpano, por esclerosis, o de la cadena de huesillos por artrosis, lo que daría origen a disminuciones de ampliación de los sonidos

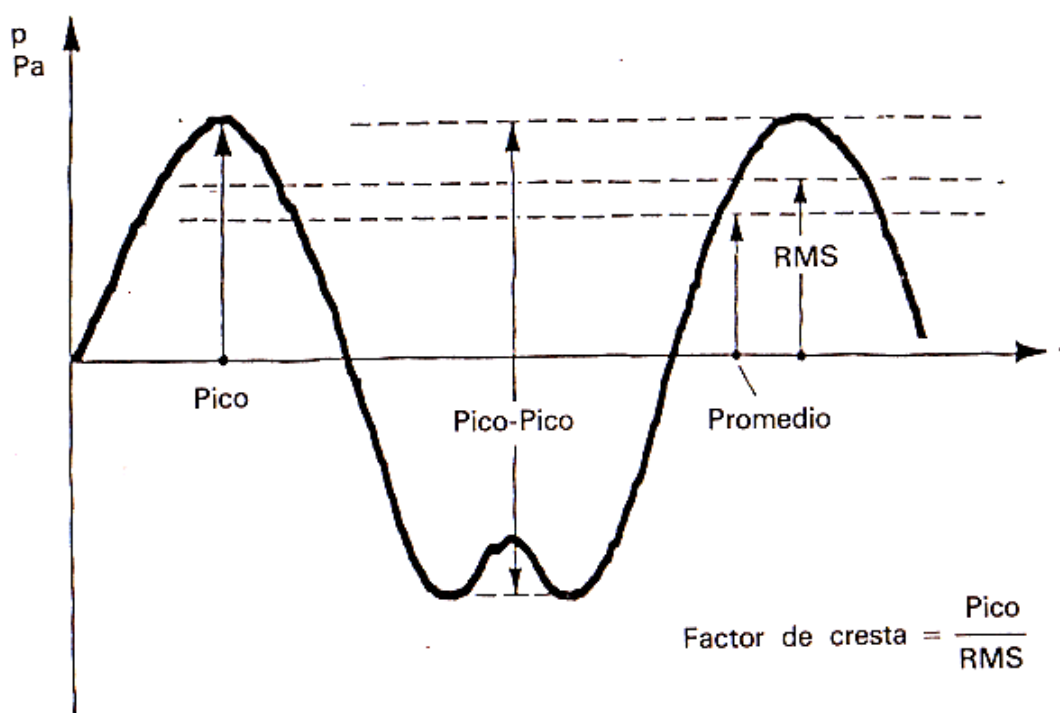
recibidos por el tímpano. Se interrumpiría, por lo tanto, en alguna medida la transmisión del oído medio hacia el oído interno. Nos encontramos en el caso de una **sordera por transmisión**. Este tipo de sordera es curable mediante tratamiento médico: quirúrgico o protésico.

Las circunstancias cambian si se considera la sordera ubicada en el oído interno. No hay ninguna forma de recuperar un oído dañado en la zona coclear o en el nervio auditivo. Nos encontraríamos en el caso irreversible de sordera como es la **sordera de percepción**. Las sorderas de tipo profesional son, en muchos casos, de percepción.

Para definir si la caída de audición es debida a lesión en el oído medio o en el interno, se realizan dos tipos de audiometrías: la de transmisión ósea y la de transmisión aérea, que dan origen a la curva de audición ósea (CO) y a la de audición aérea (CA).

Para la construcción de la curva de audición ósea, que refleje el funcionamiento real del nervio auditivo, se emplea un vibrador óseo que, aplicado al mastoide, hace llegar al oído interno sin el concurso del oído medio. Si la CO presenta disminución, a distintas frecuencias, de la agudeza auditiva nos encontramos ante una sordera de percepción – irreversible-. Si la curva de audición aérea (CA) esta separada de la CO y por debajo de ésta, a las distintas frecuencias, nos encontramos con una sordera de transmisión.

### Movimiento ondulatorio



Aunque el fenómeno sonoro responde a relaciones más complejas, para su mejor comprensión, vamos a considerar como si se adecuara al de un movimiento ondulatorio armónico simple de tipo sinusoidal.

Las magnitudes fundamentales que definen el citado movimiento son:

**FRECUENCIA:** símbolo  $f$ . Unidad Hertz (Hz). Es el número de pulsaciones de una onda acústica sinusoidal ocurrida en el tiempo de un segundo. A veces se utiliza el concepto de velocidad angular (o frecuencia angular), relacionado con la frecuencia mediante la expresión  $\omega = 2\pi f$ .

**PERÍODO:** Símbolo T. Unidad segundo (seg). Es el tiempo transcurrido en completar un ciclo. Su relación con la frecuencia es:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$$

**ELONGACION:** símbolo x. Es el desplazamiento del punto en vibración respecto a su posición de equilibrio. Cuando la elongación es máxima se denomina Amplitud (A) o altura de pico:

$$x = A \sin 2\pi f t \quad \text{ó} \quad x = A \sin \omega t$$

Entre los picos máximo y mínimo (expansión y compresión máximas) el espacio existente es el doble de la amplitud o amplitud pico a pico.

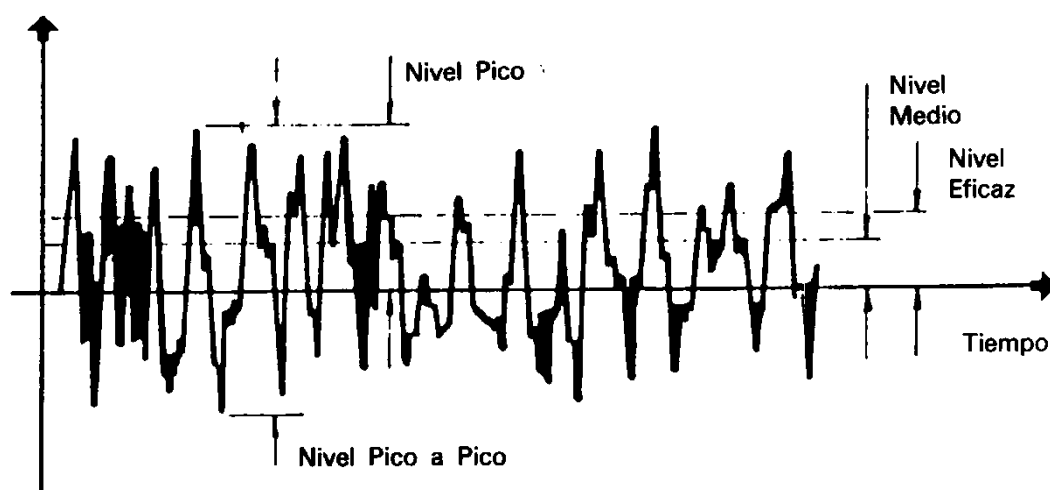
Habida cuenta de que los equipos de medición del sonido suelen presentar frecuentemente sus respuestas en valores eficaces o RMS (root mean square) vamos a considerar también este parámetro.

**VALOR EFICAZ (RMS):** Símbolo  $A_{ef}$ . Se define como la raíz cuadrada del valor medio de la elongación al cuadrado.

**VALOR MEDIO:** Símbolo  $A_m$ . Sin considerar el signo del desplazamiento, y a lo largo de un periodo, es el valor medio representativo de la sinusoides y viene dado por la expresión.

Los anteriores conceptos se simplifican dado que hemos considerado el movimiento de la onda como sinusoidal; las relaciones entre ellos serían entonces:

$$A_{ef} = \frac{1}{\sqrt{2}} A = 0.707 A$$



### Conceptos acústicos

#### Longitud de onda

La distancia recorrida por una onda durante un tiempo igual al periodo T, se llama longitud de onda.

$$\Lambda = C.T = C / f$$

### Cualidades del sonido

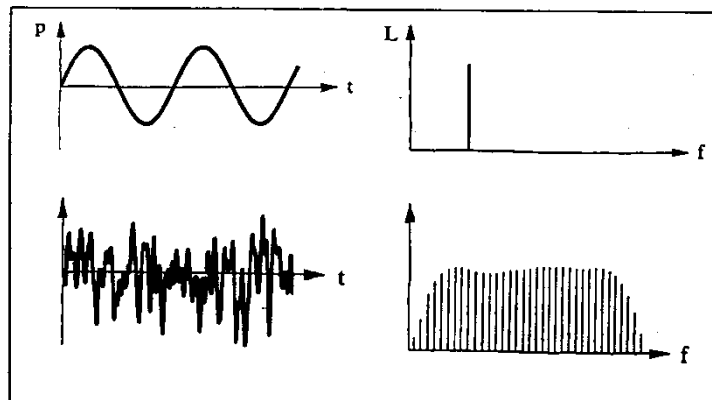


Figura 3. -- Diferencias en la representación en frecuencias entre un tono puro y un ruido.

### Intensidad

Según sea la vibración de un foco sonoro así será la amplitud, la intensidad es proporcional al cuadrado de dicha amplitud y podemos así clasificar los sonidos en fuertes o débiles.

En un campo libre, en la dirección de propagación y para ondas esféricas la intensidad viene dada por:

$$I = \frac{P^2}{\rho \cdot c}$$

$P =$  Presión sonora eficaz  
 $\rho =$  Densidad del medio  
 $c =$  Velocidad del sonido en el medio

### Tono

También llamado altura del sonido, es una cualidad mediante la cual distinguimos los sonidos en graves o agudos, de forma que la sensación sonora aguda procede de sonidos producidos por focos sonoros que vibran a frecuencias elevadas. La sensación sonora grave procede de sonidos producidos por focos sonoros que vibran a frecuencias bajas.

### Timbre

Cualidad mediante la cual podemos distinguir dos sonidos de igual intensidad e idéntico tono que han sido emitidos por focos sonoros diferentes. Físicamente el timbre de un sonido se relaciona con el hecho de que casi nunca un sonido es puro, es decir, nunca un sonido corresponde una onda dada por  $y = A \sin \omega t$ , sino que, dependiendo del tono, suele haber una frecuencia fundamental a la que pertenece la mayor parte de la energía de ese sonido, y otras frecuencias que también llevan asociadas unas cantidades de energía y responden a una ecuación similar.

$$y' = A \sin \omega' t$$

### Campo de audición. Nivel de presión sonora

Para que las variaciones de la presión puedan producir sensación auditiva es imprescindible que se produzcan de forma rápida, del orden de 20 a 20.000 veces por segundo, es esta forma esta definido el campo de audición para ruidos de frecuencias entre 20 a 20.000 Hz.



Al margen de la limitación que presenta la frecuencia para la audición, existe otra determinada por la presión sonora. De esta forma, el umbral de percepción para un individuo con buenas características auditivas, se produce a partir de una presión sonora de:

$$2 \times 10^{-5} \text{ pascal } (2 \times 10^{-4} \text{ } \mu\text{bar})$$

Por otra parte, el nivel de presión sonora máximo que el oído puede soportar sin que aparezcan efectos dolorosos – umbral de dolor – se considera de 20 pascal (200  $\mu$ bar). Entre estos límites, si pretendiéramos emplear las mencionadas unidades, tendríamos que utilizar una escala de un millón de unidades.

La escasa operatividad que supone la escala antes aludida ha traído consigo la utilización de otra, logarítmica, que utiliza como unidad el decibelio.

La magnitud de la presión sonora en decibelios (dB), viene dada por la expresión:

$$\text{Nivel de presión (dB)} = 20 \log \frac{\text{Presión acústica existente}}{\text{Presión acústica de referencia}} = 10 \log \frac{P^2_{\text{existente}}}{P^2_{\text{de referencia}}}$$

Se toma como presión acústica de referencia la correspondiente al umbral de percepción, es decir:

$$2 \times 10^{-5} \text{ pascal } (2 \times 10^{-4} \text{ } \mu\text{bar})$$

Según lo expuesto, en nivel de presión sonora, en dB, correspondiente al umbral de dolor sería:

$$L_p = 20 \log \frac{20}{2 \times 10^{-5}} = 20 \log 10^6 = 120 \text{ dB}$$

Nos hemos detenido en el Nivel de Presión Sonora (NPS) y su incidencia en el campo de audición dado que es el NPS uno de los resultados más habituales de los equipos de medida y como uno de los parámetros más reflejados en el establecimiento de niveles permisibles de distintas legislaciones.

Pasamos ahora a establecer su relación con la potencia e intensidad sonora.

### Nivel de intensidad sonora

Como indicábamos anteriormente, la intensidad sonora en un campo libre para ondas esféricas viene dada por la expresión:

$$I = \frac{P^2}{\rho \cdot c}$$

Y se define como la energía que atraviesa en la unidad de tiempo la unidad de superficie perpendicular a la dirección de propagación de las ondas.

El nivel de intensidad sonora se expresa como:

$$L_i = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$I$  = intensidad sonora considerada en  $W / m^2$ .

$I_0$  = intensidad sonora de referencia establecida en  $10^{-12} W / m^2$ .

Se corresponde con la energía sonora, por unidad de área que incide a una distancia 'r' del foco.

## Potencia sonora y nivel de potencia sonora

La potencia media radiada por unidad de superficie es  $W = I \times 4 \Pi r^2$ , la unidad es el Vatio.

Considerando la fuente como puntual en el centro de una esfera virtual de radio  $r$ . El nivel de potencia sonora responde a la expresión:

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0}$$

$W$  = potencia sonora en vatios.

$W_0$  = potencia sonora de referencia establecida en  $10^{-12}$  vatios.

Se define como la energía total por unidad de tiempo que produce un foco de ruido. Es independiente del medio y de la distancia del foco.

## Análisis espectral de ruidos

Anteriormente hemos citado, en el apartado de campo de audición, la influencia de la frecuencia de un sonido o ruido y la posibilidad de ser captado por el oído humano.

Para su mejor utilización se suele dividir en partes el campo de audición: bandas de octava, media octava, tercio de octava.

Para ello, a la hora de medir el ruido, se emplean filtros de forma que se eliminan los componentes cuyas frecuencias están por encima o debajo de unos límites o frecuencias de cada filtro, solo las frecuencias comprendidas entre las del filtro pasan a su través, esta banda de frecuencias permitidas se banda de paso y el valor  $(f_1 - f_2)$  se llama ancho de banda.

## Octava

Es el intervalo de frecuencia comprendido entre una determinada y otra igual al doble de la anterior.

## Frecuencias preferentes (o centrales) según normas

Para bandas de octava son: 31,5 – 63 – 125 – 250 – 500 – 1000 – 2000 y 4000 Hz.

Para tercios de octava: 100 – 125 – 160 – 200 – 250 – 315 – 400 – 500 – 630 – 800 – 1000 – 1250 – 2000 – 2500 – 3150 – 4000 y 5000 Hz.

Las anteriores son las frecuencias medias de la banda o frecuencias centrales, cuyos límites son definidos por:

$f_2 = 2 f_1$	Para bandas de octava
$f_c = \sqrt{(f_1 \times f_2)}$	
$f_2 = \sqrt{2} \times f_1$	Para bandas de media octava
$f_c = 2\sqrt{(f_1 \times f_2)}$	
$f_2 = \sqrt[3]{2} \times f_1$	Para bandas de tercio de octava
$f_c = 2\sqrt{(f_1 \times f_2)}$	

La estrechez de la banda implica una variación inversa del nivel de presión sonora que pasa. La relación que se establece es:

Nivel de octava = nivel media octava + 3 dB

Nivel de octava = nivel tercio de octava + 5 dB

### Factores de la sensación sonora

Como ya se ha indicado, un ruido se percibe con mayor o menor intensidad, aparte de las peculiaridades del sistema auditivo de la persona que escucha, dependiendo de dos factores físicos fundamentales: nivel de presión sonora y la frecuencia.

Además de estos factores existen otros de tipo subjetivo como la salud del receptor, la actitud ante el ruido, el ser o no sujeto generador del ruido, etc.

Por lo tanto, a la hora de definir un ruido hemos de tener en cuenta tanto su espectro de frecuencias como su presión sonora. Además, estos aspectos hay que enmarcarlos en su evolución en el tiempo.

En realidad, la magnitud cuya medición podría tener más interés sería la respuesta del ser humano a un ruido, lo que englobaría tanto el nivel de presión sonora y la frecuencia como la singular forma de recepción con que un oído humano se comporta ante él.

Este conjunto de factores físicos y comportamiento subjetivo no es mensurable por aparatos, y es necesaria la utilización de estudios experimentales con colectivos de individuos que, al dar respuesta a un número de sonidos estandarizados, configuran una explicación gráfica del comportamiento del oído.

### Curvas de igual sensación sonora

Estas curvas dan información sobre la respuesta del oído humano ante el sonido. A cada individuo del colectivo experimental se le somete a un sonido estándar de 1.000 Hz y a una presión sonora determinada. Posteriormente se les presenta un sonido a otra frecuencia distinta con un aumento progresivo de la presión sonora hasta que el individuo lo identifica como de la misma sensación sonora que el anterior.

Esta operación se repite manteniendo la frecuencia estándar de 1.000 Hz y variando los niveles de presión sonora y efectuando la comparación con sonidos emitidos a todas las frecuencias centrales del espectro de bandas de octava, construyéndose, con los datos obtenidos, las curvas de igual sensación sonora.

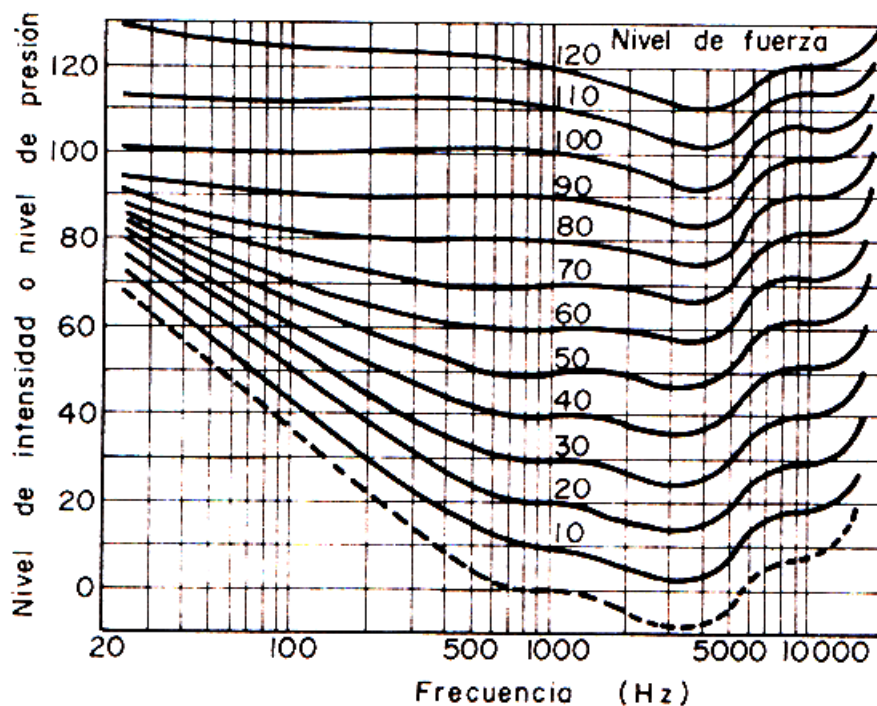


Figura 6.—Perfiles de igual sensación sonora de Fletcher-Munson.

En la figura se aprecia el desigual comportamiento del oído humano con el aumento de la presión a las distintas frecuencias. La respuesta del oído, y sobre todo, a las bajas frecuencias, se manifiesta en el sentido de falta de linealidad. Observando las curvas y tomando como referencia la frecuencia estándar (1.000 Hz), el comportamiento auditivo podría esquematizarse de la siguiente forma:

De 20 a 1.000 Hz	→	- zona de atenuación,
De 1.000 a 5.000 Hz	→	- zona de amplificación,
De 5.000 Hz en adelante	→	- zona de atenuación.

Esta división hay que considerarla en sus aspectos generales, ya que los perfiles de las curvas nos ofrecen otras matizaciones, como que las variaciones de atenuación – no tanto las de amplificación – van decreciendo a medida que se aproximan al perfil correspondiente a 100 dB.

La curva más baja a trazos representa el nivel de presión sonora a las distintas frecuencias, mínimo necesario para producir la sensación auditiva, y proporciona una explicación más completa de la dada al principio de este capítulo sobre el ‘umbral de audición’.

Como ejemplo de interpretación de las curvas de igual sensación sonora (isosónicas) un nivel de presión sonora de 20 dB a 1.000 Hz equivale a 60 dB, a una frecuencia de 60 Hz y a 15 dB a 3.000 Hz.

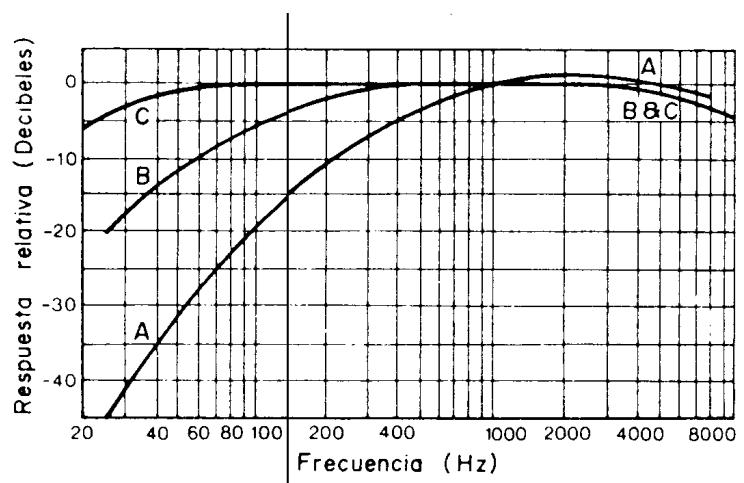
Como hemos indicado, dos sonidos puros del mismo nivel de intensidad, pero de distinta frecuencia, generan sensaciones sonoras diferentes.

### Escalas de ponderación

El comportamiento del oído, basándose en las curvas de igual sensación sonora, hizo pensar en la necesidad de introducir en los aparatos de medida del nivel de presión sonora – sonómetros o decibelímetros – filtros de corrección o atenuación que aproximasen la respuesta de éstos a la del oído humano. Esto dio como resultado la obtención de cuatro escalas de ponderación A, B, C y D.

La escala A está pensada como atenuación similar al oído cuando soporta niveles de presión sonora bajos a las distintas frecuencias, o dicho de otra forma, cuando se aproxima a las curvas de igual intensidad para bajos niveles de presión sonora.

La escala B representa atenuación para niveles intermedios y la C para altos. La escala de atenuación D esta pensada para muy altos niveles de presión sonora, por encima de los 120 dB, como el ruido producido por un reactor.



Al observar la figura de escalas de atenuación, se aprecia que en las bajas frecuencias, la red de ponderación “A” atenúa de forma importante, disminuyendo dicha atenuación a medida que nos aproximamos a los 1.000 Hz, donde la atenuación de la escala “A” es nula. Entre los 1.000 y 5.000 Hz, correspondiéndose con la tendencia de las curvas isosónicas, la escala “A” puede decirse que “amplifica” volviendo a “atenuar” a partir de los 5.000 Hz.

La escala B, es menos severa en cuanto a la atenuación en las bajas frecuencias no produciéndose a lo largo del espectro de frecuencias ningún tipo de fenómeno de ampliación. Entre los 400 y los 3.000 Hz esta escala se comporta de forma muy plana no generando atenuaciones.

La escala C es la que menos atenuaciones produce, ya que entre los 100 y los 3.000 su incidencia sobre el ruido emitido es nula.

Aunque la escala A es la más utilizada para efectuar mediciones por la mayoría de los organismos internacionales, los intervalos de presión sonora en los que la respuesta se adapta más a la realidad son los siguientes:

Escala A para < 55 dB,  
 Escala B para 55-85 dB,  
 Escala C para > 85 dB.

En la siguiente tabla vemos las atenuaciones a las distintas frecuencias.

Atenuaciones de cada escala			
Frecuencias	Escalas		
Hz	A	B	C
31,5	-39	-17	-3
63	-26	-9	-1
125	-16	-4	0
250	-9	-1	0
500	-3	0	0
1000	0	0	0
2000	+1	0	0
4000	+1	-1	-1
8000	-1	-3	-3

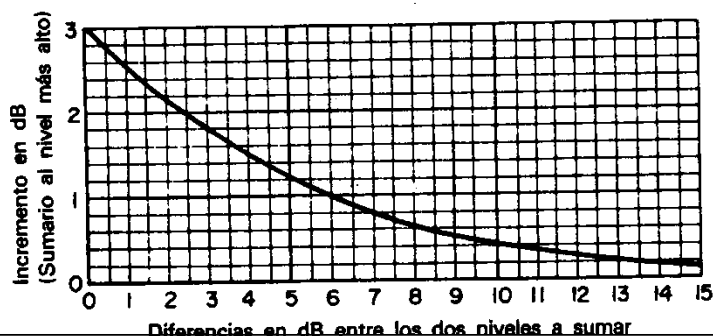
### **Suma de niveles de presión sonora**

Cuando sobre un mismo receptor inciden varios niveles de presión sonora y deseamos conocer el valor total de estos niveles, debemos operar con presiones sonoras y no con niveles, pues éstos vienen dados en unidades logarítmicas, las cuales no podemos usar algebraicamente. Lo mismo ocurre cuando tenemos el espectro de los niveles de ruido a distintas frecuencias y necesitamos conocer el nivel global.

### **Método numérico**

Trabajando con la definición de Nivel de Presión y conocido este dato es posible calcular la presión correspondiente y así sumar cada uno de los valores anteriores en base a ecuaciones donde se aplican logaritmos y antilogaritmos. Dado que el alumno desconoce la operación de logaritmos no se avanzará más allá.

## Método gráfico



Si tenemos varios niveles de presión sonora y queremos conocer la suma de estos, utilizando la figura, procederemos de la siguiente manera:

1. Ordenaremos los niveles de mayor a menor,
2. Obtendremos la diferencia entre el 1° y el 2°,
3. La diferencia obtenida la llevamos a las abscisas de la curva obteniendo en ordenadas el valor que hay que sumar al nivel mayor (incremento),
4. Obtenemos la suma de estos dos números sumando este incremento al mayor.
5. Con este nivel – suma así obtenido, procederemos a realizar el mismo cálculo con el 3° nivel, y así sucesivamente hasta terminar con todos los niveles o hasta que la diferencia entre niveles no pueda ser colocada en abscisas.

Ejemplo: dados los niveles 101, 84, 91, 97, 100, 101 y 99 (todos en dB), sumar los mismos.

1. Ordenamos los números: 101, 101, 100, 99, 97, 91 y 84.
2. Hacemos la diferencia de los dos primeros:  $101-101=0$ .
3. Ingresando en el gráfico con este valor de abscisa resulta un valor de ordenada de 3.
4. Sumamos al 1° (101) este incremento:  $101+3=104$ .
5. A este número (suma de los dos 1°) le sumamos el 3° (100), volviendo al punto 1 para sumarlos.

La tabla siguiente resume los pasos a seguir:

<b>Resta niveles</b>	<b>Abcisas gráfica</b>	<b>Ordenadas gráfica</b>	<b>Suma nivel equivalente</b>
104 -100	4	1,50	105,5
105,5- 99	6,5	0,90	106,4
106,4- 97	9,4	0,50	106,9
106,9- 91	15,9	Fuera de rango	—

## Tipos de ruido

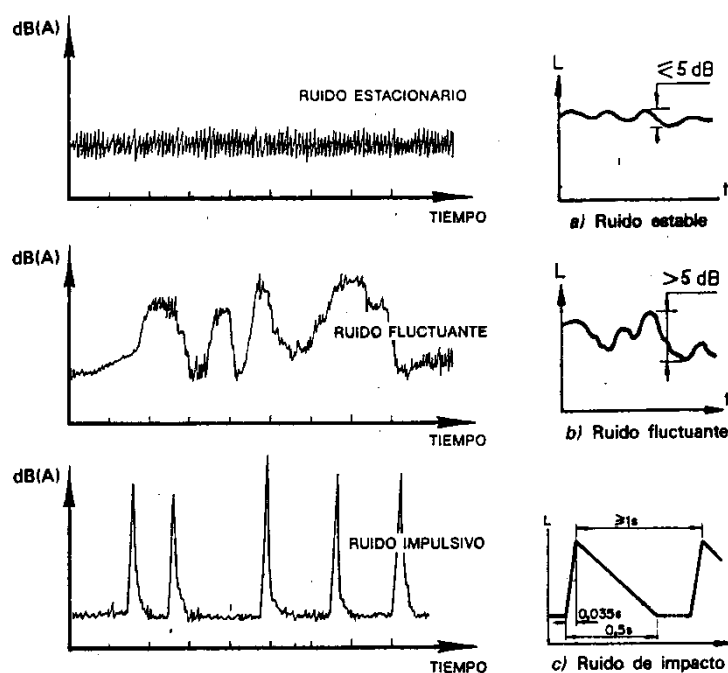


Figura 10.—Registros gráficos de ruidos estacionarios (estable), fluctuante e impulsivo y esquematización gráfica de estos conceptos.

Habíamos dicho que los límites de audición están entre los 20 y 20.000 Hz. El sonido producido por debajo de los 20 Hz, no audible, constituye el espacio acústico de los infrasonidos. Cuando el sonido se emite en frecuencias superiores a los 20.000 Hz se denomina ultrasonido.

Los autores establecen distintas divisiones de los diferentes tipos de ruido. No obstante, las diferencias son en la mayoría de los casos, de terminología y no existen fuertes contradicciones entre unas y otras. Vamos a establecer una división que en principio, nos parece sencilla y que engloba la mayor parte de los casos que se presentan en la realidad industrial.

**Ruido estable:** de banda ancha y nivel prácticamente constante que presenta fluctuaciones ( $\pm 5$ dB) durante el periodo de observación.

**Ruido intermitente fijo:** en el que se producen caídas bruscas hasta el nivel ambiental de forma intermitente volviéndose a alcanzar el nivel superior fijo. El nivel superior debe mantenerse durante más de un segundo antes de producirse una nueva caída de nivel ambiental.

**Ruido intermitente variable:** esta constituido por una sucesión de distintos niveles de ruidos estables.

**Ruido fluctuante:** durante la observación este ruido varía continuamente sin apreciarse estabilidad.

**Ruido de impulso / impacto:** se caracteriza por una elevación brusca de ruido en un tiempo inferior a 35 milisegundos y una duración total de menos de 500 milisegundos, el tiempo transcurrido entre crestas ha de ser igual o superior a un segundo. Este tipo puede darse junto a los anteriores: ruido estable – impulsivo, ruido fluctuante – impulsivo, intermitente - impulsivo.

## Clasificación de los equipos de medida de ruido

Existe una amplia gama de aparatos de medición de sonido y/o ruido. De los datos de medición que se desean obtener, así como del tipo de ruido que se pretende medir, depende la elección del equipo de medición adecuado.

Entre los más utilizados nos encontramos con:

- decibelímetros (sonómetros),
- dosímetros,
- analizadores de distribución estadística, y
- Analizadores de frecuencia.

### **Sonómetro o decibelímetro**

Es un instrumento que responde ante el sonido de una forma aproximada a como o hace el oído humano, y que da medidas objetivas y reproducibles.

Mide directamente el nivel de presión sonora de un fenómeno acústico. Nos presenta una lectura en dB con un nivel de referencia de  $2 \times 10^{-5}$  Pascal.

Cualquier tipo de sonómetro promedia niveles de presión sonora.

### **Dosímetros**

El dosímetro es un monitor de exposición que acumula el ruido constantemente, usando un micrófono y circuitos similares a los medidores de presión sonora la señal es acumulada. En la pantalla se lee el valor resultante o a través de tablas se encuentra el nivel de ruido medido.

### **Analizadores de frecuencia en tiempo real**

Son aparatos que indican la distribución del sonido en función de su frecuencia, pueden ser de bandas de octava o de tercios de octava.

## ***Criterios de valoración del ruido***

A la hora de establecer criterios que permitan valorar la mayor o menor nocividad de un ruido, se tropieza con un primer inconveniente: cualquiera que sea el nivel de ruido que se establezca como límite, existirá un porcentaje de individuos expuestos cuya salud será dañada.

El punto de partida será determinar a partir de la superación de que parámetros comienza el daño para la salud del individuo; el siguiente paso tiene que establecer alguna forma de relación entre la intensidad de la exposición y el daño producido. Esta relación, lo hemos afirmado anteriormente, no puede establecerse con precisión.

Las características particulares del individuo hacen que no pueda establecerse una separación entre los niveles de ruido que generan daño y los que son inofensivos y, como mucho, solo podemos aspirar a determinar el porcentaje de personas expuestas que sufra algún daño, en función de la intensidad de la exposición.

Por último, a la hora de establecer un criterio, habrá que definir que porcentaje de individuos afectados se esta dispuesto a admitir. Por lo tanto, el proceso comienza cuando establecemos el porcentaje de dañados, y a partir de aquí se deducirán los niveles de exposición considerados admisibles. El problema que se plantea a continuación es establecer y cuantificar los criterios de daño, o sea, cuando debemos considerar que comienzan las manifestaciones patológicas.

El criterio excesivamente genérico de definir el daño como la presencia de dificultades para la comunicación oral, no presenta el rigor ni las posibilidades de cuantificación que requiere un modelo practicable. La mayoría de los organismos encargados de la salud ocupacional establecen sus criterios en base al aumento del umbral de audición a distintas frecuencias.

Resumimos a continuación algunos de estos criterios:



## Criterios de la AAOO

El Subcomité de Ruido de la Academia Americana de Oftalmología y Otorrinolaringología (AAOO) considera disminuida la capacidad auditiva si el promedio de elevación de los umbrales de audición a 500, 1.000 y 2.000 Hz supera los 25 dB, referidos al nivel de base audiométrico definido por la norma ANSI 53/69.

## Criterio NIOSH

El Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH), considera más adecuadas las frecuencias 1.000, 2.000 y 3.000 Hz manteniendo los 25 Hz definidos anteriormente.

## Criterio británico

La Sociedad Británica de Higiene Ocupacional (BOHS), basado en los trabajos de Robinson, que elaboró el concepto de Inmisión Sonora como 'energía sonora total recibida por un individuo en el transcurso de su vida laboral', la BOHS publicó un trabajo en el que considera la pérdida auditiva.

Las frecuencias utilizadas son las de 500, 1.000, 2.000, 3.000, 4.000 y 6.000 Hz, considerándose en 48 dB la elevación del umbral.

Conocidos los criterios audiométricos queda por realizarse el estudio con colectivos de individuos expuestos a ciertos niveles de ruidos y de individuos no expuestos, obviando así la incidencia de los afectados por presbiacusia –sordera debida a la edad y no a la exposición acústica -.

Estos estudios aportan una relación entre niveles de ruido y porcentaje esperado de afectados por sordera profesional. Cada país adoptará el porcentaje deseable de individuos dañados, que dependerá del establecimiento del nivel de exposición consiguiente.

## Energía equivalente y efecto temporal

La forma en que se produce el daño del sistema auditivo ha dado lugar a dos teorías diferentes que, a su vez, han originado dos grandes tendencias: la europea y la americana.

La corriente europea sustenta su normativa de protección auditiva ocupacional en la Teoría de la Energía Equivalente, que afirma que el daño sonoro viene determinado por la cantidad de energía acústica recibida por el individuo, al margen de su distribución en el tiempo.

La corriente americana se basa en la Teoría del Efecto Temporal, que sustenta el criterio de que el daño producido en el oído se relaciona íntimamente con el efecto temporal que se aprecia en el mismo.

## Recomendación ISO 1999

Esta recomendación basada en la teoría de la energía equivalente establece la relación entre el nivel de presión sonora y tiempo de exposición y el porcentaje esperado de personas que sufrirán disminución de su capacidad auditiva.

La base de esta recomendación se encuentra en los estudios experimentales sobre 6.835 personas, efectuándoles audiometrías monoaurales (oído derecho).

El nivel sonoro continuo equivalente es el nivel sonoro en dB (A) que si estuviese presente durante toda la semana, daría el mismo índice compuesto de exposición al ruido que el correspondiente a los distintos niveles sonoros medios en una situación real.

Se admite, en general, que una persona tiene déficit auditivo cuando el nivel umbral de audición medio aritmético para las frecuencias 500, 1.000 y 2.000 Hz supera los 25 dB o es igual.

Asimismo se define riesgo de déficit auditivo como la diferencia entre el porcentaje de personas con déficit auditivo en una población expuesta al ruido y el tanto por ciento de personas con déficit auditivo en una población no expuesta al ruido.

Esta norma ha sido revisada en 1990 y se han corregido una serie de condicionantes que aparecían en la primera edición. Así las condiciones audiométricas de la población de control no expuesta al ruido se han modificado recogiendo ahora la norma dos posibilidades, la primera se una base de datos de una población ontológicamente normal según ISO, y la segunda posibilidad es la utilización de los datos de cualquier otra población que se considere apropiada y representativa de la población general.

La norma ISO no marca las frecuencias particulares, las combinaciones de frecuencias o las combinaciones ponderadas que deben ser empleadas para evaluar el déficit auditivo. La selección de estos parámetros se deja a discreción de quien lo utilice.

Esta recomendación expresa en términos estadísticos la relación existente entre la exposición al ruido y el desplazamiento permanente del umbral de audición inducido por el ruido (NIPTS) y facilita métodos de estimación del daño auditivo causado por la exposición al ruido en poblaciones no sujetas a otros daños auditivos que los provocados por el ruido.

La norma no fija el nivel máximo permitido de exposición al ruido ni las exigencias de protección precisas, las normas nacionales deben delimitar estos parámetros que la norma deja abiertos.

Para el cálculo de los NIPTS la norma considera:

- Los NIPTS son idénticos para hombres y mujeres.
- Los NIPTS se especifican como una distribución estadística.
- Es aplicable a ruidos de frecuencia audible.
- Es aplicable a ruidos con presión acústica instantánea hasta 200 Pa.
- El rango de niveles continuos equivalentes esta entre 75 y 100 dB(A).
- Es aplicable a periodos de exposición entre 0 y 40 años.
- Esta basado en datos de ruido continuo de banda ancha y sin componentes tonales.

## Resumen

En resumen, según esta norma para evaluar los efectos nocivos de la exposición al ruido, se calcula el riesgo de déficit auditivo provocado por la exposición al ruido. Para ello es preciso:

1. Definir un limite umbral de audición por encima del cual se supone existe un déficit auditivo.
2. Definir una base de datos para el umbral de audición debido a la edad.
3. Elegir una fórmula para la combinación lineal de los niveles umbrales de audición.
4. Calcular el fráctil de la población cuyo nivel umbral de audición promedio es igual o superior al límite umbral de audición elegido. El riesgo de déficit auditivo provocado por la exposición al ruido se obtiene como diferencia entre el fractil cuyo limite umbral de audición promedio es igual o superior al limite umbral de audición y el fractil cuyo umbral de audición debido a la edad es igual o superior al limite umbral de audición.

## Criterio de la ACGIH

Anualmente la ACGIH publica una lista de TLV, en 1969 contemplo por primera vez los estándares para el ruido. En 1975 modificó este valor en base a un estudio de la NIOSH sustituyendo la expresión del tiempo máximo de exposición, de la cual salen los valores siguientes:

<b>VALORES TLV PARA EL RUIDO</b>	
Duración por día (horas)	Nivel sonoro dB (A)
16	80
8	85
4	90
2	95
1	100
1/2	105
1/4	110
1/8	115

En dicho trabajo se estableció que exposiciones continuas de 8 horas /día a niveles de 85 dB(A) suponían una aceptación de riesgo del 10-15%. Asumiendo este nivel de riesgo se fijó, por lo tanto, en 85 dB(A) el límite del ruido continuo.

Cuando la exposición diaria al ruido se compone de dos más períodos de exposición al ruido a distintos niveles, se debe tomar en consideración el efecto global, en lugar del efecto individual de cada período. Si la suma de las fracciones:

$$D = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n}$$

Es mayor que la unidad, entonces se debe considerar que la exposición sobrepasa el valor límite. C indica la duración específica de ruido y T indica la duración total de la exposición permitida en ese nivel. En los cálculos citados, se usaran todas las exposiciones al ruido en el lugar de trabajo que alcancen o sean superiores a 80 dB(A).

En el ruido de impulso o impacto se recomienda que la exposición al ruido no sobrepase los límites señalados en la tabla siguiente:

<b>VALORES TLV PARA EL RUIDO DE IMPULSO O IMPACTO</b>	
Nivel sonoro dB	Nº de impulsos o impactos permitidos por día
140	100
130	1.000
120	10.000

No están permitidas las exposiciones a un nivel máximo de presión acústica que sobrepase los 140 decibeles. Se considera que el ruido de impulso o de impacto son aquellas variaciones de los niveles de ruido que suponen máximos a intervalos superiores a un segundo. Cuando los intervalos son inferiores a un segundo, el ruido se considera continuo.

### Criterio OSHA

En 1971 la recomendación de la ACGIH es recogida por el Ministerio de Trabajo de EEUU, convirtiéndola en norma legal. La expresión que determina el tiempo máximo de exposición (T) en horas/día, a un nivel de ruido (L), medido en dB(A), genera la siguiente tabla:

Nivel de ruido en DB(A)	Tiempo máximo de exposición (horas /día)
85	16
90	8

95	4
100	2
105	1
110	1/2
115	1/4

Cuando el ruido presente es de carácter variable, el límite máximo se superara si la expresión siguiente sobrepasa la unidad:

$$D = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n}$$

En marzo de 1983, se publica una modificación de la anterior en la que se introduce el concepto de NIVEL DE ACCIÓN o nivel a partir del cual es necesaria la adopción de medidas de control o administrativas. Este nivel se establece en 85 dB de nivel sonoro promedio ponderado para 8 horas de trabajo al día y medidas en escala A, o lo equivalente, una dosis del 50%.

### **Control del ruido**

El ruido es un fenómeno acústico que produce sensaciones auditivas desagradables, que o bien interfiere o impide alguna actividad humana que, en los casos más desfavorables, puede suponer la aparición de significativas incapacidades o limitaciones psicológicas.

La obtención de niveles sonoros adecuados es una cuestión que debería tratarse en la fase de proyecto de cada nueva planta industrial o cuando se planifique una remodelación. Cuando no se asume en el proyecto el aspecto sonoro de una instalación, los esfuerzos posteriores son siempre más laboriosos y costosos, llegando a ser imposibles de afrontar.

Dentro de la fase de proyecto se puede considerar el estudio de alternativas de utilización de máquinas o procesos silenciosos. En cualquier caso, siempre se puede marcar entre las especificaciones a cumplir por una determinada maquinaria un nivel de potencia o de presión sonora determinada.

La adopción de las medidas de control del ruido industrial deben fundamentarse en el estudio previo de las condiciones soportadas en los puestos de trabajo, en el que además de un análisis de los focos de ruido y de las causas que no originen, figure la información más completa posible acerca de los niveles de exposición, conformidad o disconformidad con los criterios de evaluación, tipos de ruidos, vías de transmisión, etc., de modo que la información suministrada, permita valorar las posibilidades de aplicación de los distintos procedimientos de control practicables.

Al analizar un ruido para corregir el nivel sonoro se debe tener en cuenta:

- Apreciación del equilibrado de elementos rotantes.
- Apreciación de impactos.
- Aceleraciones rápidas.
- Fricciones.
- Flujos de ruidos.
- Excitaciones.
- Paneles vibrantes.
- Suelos vibrantes.
- Elementos gastados o desajustados.
- Cajas de engranajes.

- Cojinetes.
- Válvulas.
- Herramientas de corte.

Los diferentes procedimientos de control de ruido industrial recogidos en este capítulo, se pueden dividir en:

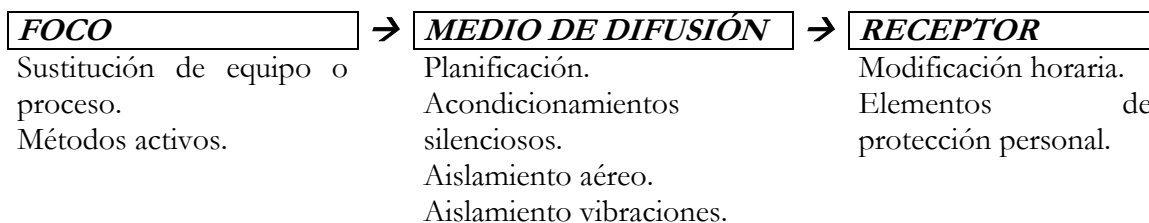
- Controles técnicos, activos y pasivos.
- Controles administrativos.
- Controles con material de protección personal.

Debe tenerse en cuenta que, no en todos los casos, control de ruido supone reducción de ruido. Hay situaciones en que puede resultar más adecuado modificar el espectro de frecuencias, sin que necesariamente se disminuya el ruido total. En algunas situaciones, la solución más acertada pasa por enmascarar el ruido que resulta desagradable. Sin embargo, en la industria el caso más frecuente es la protección frente a ruidos elevados, frente a los cuales la solución es la disminución de los mismos y es a esto métodos de control, a los que nos referiremos.

### Procedimientos técnicos de control

Las distintas técnicas de control del ruido se basan, fundamentalmente, en los diferentes tratamientos que pueden efectuarse con las ondas sonoras, que son la materialización del ruido y del sonido, y que se caracterizan por la sucesión periódica en el tiempo y en el espacio de expansiones y compresiones de aire.

Los procedimientos técnicos de control tratan de la reducción de los niveles de ruido en las fuentes de emisión o sobre los medios de transmisión o propagación del ruido.



Cuando lo que se pretende es la eliminación o reducción de la generación de ruido, sustituyendo equipos o componentes ruidosos por otros, se habla normalmente de procedimientos activos de control, mientras que a los tratamientos y acondicionamientos acústicos de locales, o al estudio de la ordenación y disposición de equipos ruidosos en los recintos, se los conoce como procedimientos pasivos de control, ya que si bien no evitan la generación de ruido, al menos atenúan las consecuencias sobre los receptores, que bien pueden tratarse de una persona, un grupo o incluso una comunidad.

En cualquier caso, siempre que se hace un planteamiento para el control de ruido producido por una máquina, se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

1. El control de ruido es un problema del conjunto máquina, medio y receptor.
2. El objetivo del control es un ambiente con un nivel de ruido aceptable a un costo también aceptable.
3. El éxito de un control se mide en función del resultado final, en este caso, reducción de un nivel de ruido conseguido.
4. El conjunto contiene muchos componentes diversos, que puede ser generados de ruido.
5. El control de ruido puede efectuarse en cualquier punto del conjunto.

6. Un control representa, normalmente, un compromiso entre éxito y costo.
7. Un diseño acústico debe ser compatible con otros aspectos generales como seguridad, calidad, accesibilidad, etc.

## Procedimientos activos de control de ruidos

### Reducción del ruido en el origen

Estos procedimientos suelen ser, con mucho, los más satisfactorios de los existentes para el control del ruido, pero poseen una serie de limitaciones entre las que cabe destacar el hecho de que los problemas en estos casos deben abordarse en la fase de diseño del equipo, máquina, útil o elemento generador del ruido, ya que una vez construidos, las soluciones de este tipo se convierten en costosas, difíciles o impracticables. Otra limitación que puede señalarse a estos procedimientos es que, en gran medida, carecen de soportes teóricos de cálculo, y en muchos casos debe trabajarse empíricamente a base de ensayos, modificaciones y correcciones, hasta lograr los resultados deseados. A pesar de esto, existen una serie de procedimientos muy comprobados para la reducción del ruido en el origen.

Una vez analizado el ruido y viendo cual es el foco del mismo, se pueden plantear diversas soluciones:

En los ruidos producidos por golpes, el origen es el choque de dos superficies duras, con lo cual se produce una transformación rápida de la energía de impacto. Si se sustituyen estas superficies duras por otras que sean absorbentes de esta energía, se impedirá su transformación en ruido. En este aspecto, es digno señalar la sustitución de engranajes metálicos por otros de material polimérico, la utilización de martillos con cabeza de material polimérico o la utilización de chapas sándwich o antirresonantes.

Otro enfoque para la reducción del ruido de impacto es aumentar el tiempo de impacto, dado que al distribuir la misma energía entre un tiempo mayor, la cantidad de energía desprendida por unidad de tiempo, será menor. Como ejemplo, la sustitución del impactado por prensado, la sustitución de engranajes normales por otros helicoidales, en los cuales el contacto entre dientes se produce de forma gradual. En los engranajes, de igual forma que en los cojinetes, la precisión en la construcción es importante a nivel de ruido producido por los mismos.

Muchas veces el ruido de impacto es debido a desajustes por desgaste de la máquina y a la fricción. En estos casos, la medida adecuada para el control del ruido será un correcto mantenimiento.

Cada día es más utilizado el aire comprimido en la industria, unas veces para aprovechar su energía para la extracción de piezas de sitios peligrosos de prensas; para la limpieza de piezas y orificios; para circuitos de control neumático y otras veces, para utilizar la energía del aire para el accionamiento de herramientas portátiles.

Las características de los chorros de aire son que, la presión que ejerce el chorro sobre la pieza es función directa del caudal y de la velocidad en tanto que el ruido, potencia sonora producida, es función del caudal y de la séptima potencia de la velocidad, siendo esta última, función de la presión de la red. Por tanto, una forma de controlar el ruido es regular la presión de salida a la mínima necesaria, para conseguir la expulsión de la pieza o restos que se necesite remover de su posición.

Otra característica de los chorros de aire es que su ruido aumenta con las turbulencias, por lo tanto se procurará que los chorros de aire salgan a través de boquillas adecuadamente diseñadas, para que la generación de turbulencias a la salida sea mínima. También se reduce el ruido producido en la boquilla colocando boquillas de orificios múltiples.

Cuando el chorro de aire incide sobre cantos, huecos, superficies irregulares o choca con paredes sólidas, se aumentan las turbulencias y por lo tanto, el ruido. Una buena orientación de los chorros es fundamental para reducir el ruido en estos casos.

Cuando la salida de gases se utiliza como escape, por ejemplo, en los sistemas de control neumático, es necesario utilizar silenciadores de material poroso, los cuales distribuyen el aire sobre una superficie mayor, consiguiendo una reducción de la velocidad. Estos silenciadores generan una pequeña pérdida de carga, que debe ser tenida en cuenta a la hora del diseño.

Otro foco de generación de ruido es las tensiones producidas en las partes móviles de las máquinas, así como los movimientos de aire, turbulencias, originados por estas partes móviles. Una solución sería reducir la velocidad de estas partes, pero ello es generalmente imposible, dado que la instalación debe tener un rendimiento adecuado. Por ello, la solución técnicamente satisfactoria pasara por un diseño adecuado, en el cual se tratara de conseguir en la máquina unos movimientos lo más uniformes posibles y con las dinámicamente equilibradas, evitando picos de fuerza debidos a impactos o choques, una alta calidad en las superficies deslizantes o rodantes, una velocidad de deslizamiento lo más baja posible, y finalmente, construir con perfiles aerodinámicos para evitar turbulencias en el aire que rodea las máquinas.

Debe tenerse en cuenta que las tensiones torsionales en máquinas giratorias pueden presentarse en máquinas equilibradas por una incorrecta alineación de engranajes y cojinetes.

Hay máquinas que producen ruido por las propias características del trabajo que realizan, así por ejemplo, los ventiladores, respecto a los cuales ya se ha hablado para ventilaciones.

Muchas veces las excitaciones mecánicas de una máquina son transmitidas a la carcasa que la recubre, la cual, a su vez, entra en vibración y se transforma en un foco de ruido. Estas carcasas o paneles se excitan con unas ciertas frecuencias características; modificando las dimensiones o la masa de la misma se modifica su capacidad de vibración. También se pueden evitar estas vibraciones modificando la rigidez del panel o carcasa mediante nervios o tirantes. Otras muchas veces, se puede impedir el paso de las vibraciones hasta la superficie radiante, interponiendo en las zonas de contacto material elástico que absorba las vibraciones.

Con objeto de evitar que las vibraciones se transmitan a través del suelo y otros elementos estructurales, se deben aislar las máquinas productoras de las vibraciones.

La unión de estas máquinas con conducciones debe realizarse mediante elementos elásticos y no rígidos, ya que estos últimos transmitirían la vibración a lo largo de la conducción.

Otra máquina que produce elevados niveles de ruido es la sierra de corte circular. El ruido en este tipo de máquina es producida por tensiones que se producen en el disco al chocar los dientes con el material y arrancarlo. Estas tensiones se transmiten por el disco y por la pieza a cortar y producen vibraciones en la misma que se traducen finalmente en ruido. Se han ideado diversas formas de reducir o eliminar estas tensiones, una de ellas consiste en producir hendiduras en el disco y rellenarlas con material elástico, al objeto de impedir la transmisión de las tensiones y absorber las que se produzcan. Otra posible solución es la modificación del número y tamaño de los dientes del disco. Finalmente, otra solución se basa en adosar al disco unas superficies de material elástico, que absorba las vibraciones de la sierra. Respecto a la vibración del material se puede reducir ligeramente, aumentando la sujeción de las piezas.

Finalmente, un método cada día de mayor uso es la cancelación del ruido. El método consiste en generar una segunda fuente de ruido, que teniendo sus ondas en oposición de fase con las del primer ruido, las anule. Este método se basa en la propiedad de las ondas de combinarse. Al combinarse dos ondas iguales y en oposición de fase su resultante es nula. Este método tiene el inconveniente de que solo resulta eficaz para fuentes de tonos puros, preferentemente a frecuencias bajas y solo actúa sobre un área pequeña.

## Sustitución de equipos o procesos

La sustitución de equipos o procesos ruidosos por otros que generan menos ruido pero que mantengan o mejoren los requerimientos técnicos y económicos no siempre es fácil, pero de modo general cuando es posible, se consiguen buenos resultados cuando se sustituye:

- El remachado por la soldadura,
- Las prensas mecánicas por las prensas hidráulicas,
- Los martillos neumáticos por los martillos de acción electromagnética,
- Las herramientas portátiles neumáticas (especialmente si no disponen de silenciadores en los escapes de aire) por las herramientas eléctricas.
- Los procedimientos de enderezado o conformado de perfiles metálicos por otros a base de gatos, prensas, etc.

### Modificación de los procesos de trabajo

Estos procedimientos se basan en la modificación parcial de los equipos o máquinas, de modo que el ruido generado o emitido sea menor con métodos tales como:

- Sustituir expulsores neumáticos por otros mecánicos.
- Reducir, en lo posible, las velocidades de rotación.
- Sustituir ventiladores helicoidales por otros centrífugos.
- Sustituir engranajes rectos por otros helicoidales o bien ambos por correas trapezoidales o por una transmisión por fricción o por engranaje de poliamida.
- Introducir escalonamientos en las operaciones con útiles de corte.

### Reducción de las fuerzas generadoras del ruido

Estos procedimientos consisten básicamente en la introducción de una serie de modificaciones o elementos que reduzcan las fuerzas generadoras del ruido, tales como:

- Equilibrando dinámicamente la maquinaria.
- Sustituyendo las piezas desgastadas.
- Engrasando y lubricando adecuadamente las partes móviles.
- Alineando cojinetes y engranajes.
- Disminuyendo la superficie de radiación de ruido.
- Modificando la rigidez de las superficies radiadoras de ruido.
- Modificando la masa de los equipos.
- Incluyendo uniones y anclajes elásticos.
- Instalando elementos antivibratorios.
- Interponiendo materiales amortiguadores entre superficies que chocan entre sí.
- Colocando silenciadores en escapes neumáticos y salidas de aire, etc.

### ***Procedimientos pasivos del control del ruido. Reducción del ruido en el medio de propagación***

Existen diversos procedimientos de control que tratan de atenuar los efectos del ruido sobre los receptores, modificando las condiciones de la transmisión y propagación de las ondas acústicas entre los focos emisores y las personas.

- La disposición y planificación adecuada de los equipos ruidosos en una planta.
- El acondicionamiento acústico de las superficies límites interiores de los recintos donde se instalen equipos ruidosos.



- La instalación de cabinas, envolventes, barreras totales o parciales interpuestas entre los focos de ruido y los receptores.
- El tratamiento de las trayectorias de propagación del ruido y de las vibraciones por aislamiento de más máquinas y elementos.

### ***Acondicionamiento acústico interior de locales y recintos***

El acondicionamiento acústico de un local o de una envolvente donde se encuentra un foco ruidoso, tiene como finalidad extraer energía sonora del campo acústico, absorbiéndola en los repetidos choques de las ondas contra las paredes.

El ruido existente dentro de un recinto comprende dos componentes: el ruido recibido directamente (onda acústica directa) y el ruido reflejado en las distintas superficies (onda acústica reflejada).

Dentro de un campo acústico existe una distancia a la que el nivel de presión sonora debido a las ondas reflejadas, se hace igual al de las ondas directas. A esta distancia es importante, ya que dentro de ella, el acondicionamiento acústico de las paredes no es apreciable, debido a que dominan las ondas directas.

Como norma práctica aproximada, puede definirse que el sonido directo es dominante dentro del interior de un cono teórico con el centro en la base de la máquina o foco de ruido, el vértice en el techo y el radio de la base igual a la altura. Como se ha indicado en el interior de dicho volumen, no son posibles reducciones apreciables del ruido de los acondicionamientos acústicos aplicados fuera de él.

Esto indica que los acondicionamientos acústicos de los techos y paredes con materiales absorbentes pueden, en igualdad de condiciones, ser más eficaces en recintos con los techos bajos que con los altos, ya que por ejemplo, en un recinto de 4 metros de altura, la distancia crítica se alcanza aproximadamente a los 2,5 metros de la máquina, mientras que en un recinto igual de 8 metros de altura, la distancia crítica se extenderá hasta los 6,5 metros a la altura de los oídos del operario.

Para el cálculo de la atenuación del ruido, fuera de la distancia crítica, producida por el acondicionamiento de las superficies del recinto (techos, paredes, etc.), recubriéndolo de materiales absorbentes al ruido, habrá que considerar los conceptos de absorción, reverberación y la Ley de Sabine.

### **Absorción (A)**

La absorción es la magnitud que cuantifica la energía extraída del campo acústico cuando la onda sonora atraviesa un medio determinado, o en el choque de la misma con las superficies límites del recinto. Puede calcularse con las siguientes expresiones:

$$A_f = \alpha_f \times S$$

$$A_m = \alpha_m \times S, \text{ donde:}$$

$A_f$ : absorción para la frecuencia  $f$ ,

$A_m$ : absorción media,

$\alpha_f$ : coeficiente de absorción del material para la frecuencia  $f$ ,

$\alpha_m$ : coeficiente medio de absorción,

$S$ : superficie del material.

## Tiempo de reverberación (T)

La reverberación es el fenómeno de persistencia del sonido en un punto determinado del interior de un recinto, debido a las reflexiones sucesivas en los cerramientos o límites del mismo. Se mide en segundos.

El tiempo de reverberación es el tiempo en el que la presión acústica se reduce a la millonésima parte de una potencia inicial o a la milésima de su presión inicial, una vez cesada la fuente sonora, esto es, el tiempo que tarda en disminuir o decaer 60 dB.

En general, es función de la frecuencia y puede calcularse, en aproximación, por la siguiente expresión:

$$T = 0,163 \frac{V}{A}$$

Donde V es el volumen del local en m<sup>3</sup> y A es la absorción en m<sup>2</sup>.

Cuando la absorción se expresa en unidades Sabine, la anterior expresión se conoce como Ley de Sabine.

La reducción de los niveles sonoros en los locales antes y después de un acondicionamiento acústico, se calcula por la expresión:

$$\Delta dB = 10 \log \frac{T_0}{T}$$

$$\Delta dB = 10 \log \frac{A_0}{A}$$

Donde los subíndices cero indican valores antes del tratamiento, y después del mismo.

Con esta expresión podemos estimar la reducción del ruido que se puede conseguir dentro de un local, calculando la variación de las unidades acústicas de absorción introducidas.

## Silenciadores

Los silenciadores son artificios que se colocan en los conductos de los gases, tanto en las entradas como en las salidas de los mismos, para amortiguar el ruido provocado por las turbulencias de los fluidos.

Para el cálculo de la eficacia se utiliza el concepto de coeficiente de Pérdidas de Transmisión, que se define como diez veces el logaritmo decimal del coeficiente de la energía sonora, incidente sobre la energía sonora radiada por el silenciador.

También se utiliza ampliamente el concepto de Atenuación, que se define como la diferencia de intensidad sonora en decibelios entre dos puntos del sistema acústico, normalmente un conducto.

Los principales silenciadores son de dos tipos: de absorción y de reacción.

**SILENCIADORES DE ABSORCIÓN.** Se basan en la absorción del sonido durante el paso del aire o gas a través del silenciador; para ello, se colocan placas de material absorbente con el que se han forrado paredes del conducto e incluso paredes separadoras intermedias.

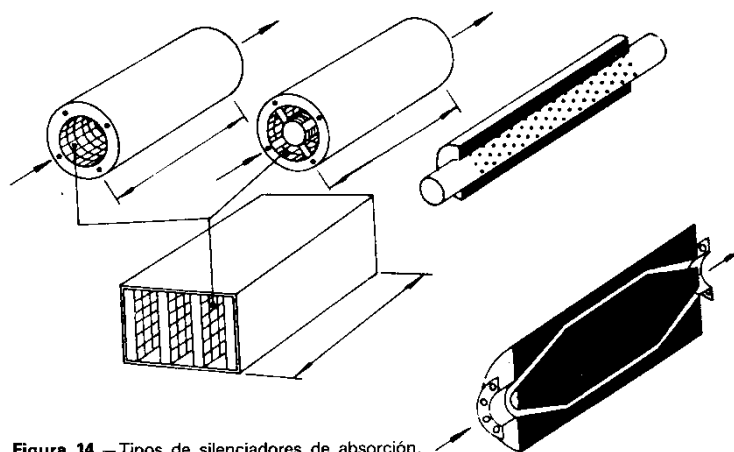


Figura 14. —Tipos de silenciadores de absorción.

La absorción y por lo tanto, la atenuación, depende del coeficiente de absorción del material empleado, de la superficie absorbente, de la disposición de las placas y de la longitud del conducto.

Sabine estudio el problema y obtuvo una fórmula empírica para calcular la atenuación. Dado que mejora la atenuación con el aumento del perímetro esto lleva a la colocación de paneles separadores.

Si se cubre el material absorbente con una chapa perforada, se obtendrá una mejora en la zona de bajas frecuencias ya que el valor de alfa se verá incrementado.

**SILENCIADORES DE REACCIÓN.** Se basan en las reflexiones de las ondas sonoras al modificarse la impedancia a lo largo del recorrido de las mismas en el conducto. El cambio de impedancia se produce por el cambio de las características geométricas. La característica principal es su selectividad para las frecuencias, produciéndose máximos y mínimos de atenuación que llegan a ser de 0 dB, por lo que puede llegar a ser necesario colocar varios en serie de distintas características.

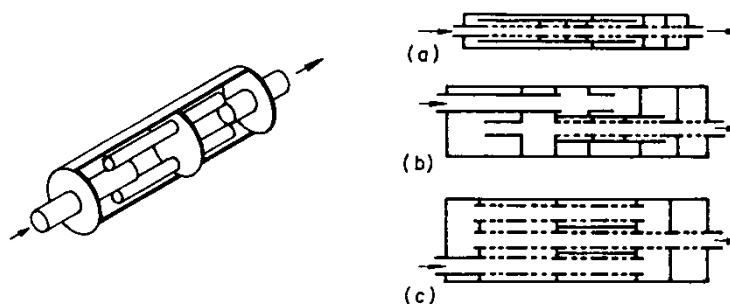


Figura 15. —Tipos de silenciadores de reacción.

Se utiliza este tipo de silenciador para salida de gases muy calientes y alta velocidad o bien cuando estos gases contienen un alto nivel de suciedad. El diseño de estos silenciadores es complicado, por lo que es preferible dejarlos en manos de expertos.

### Otras aplicaciones técnicas y dispositivos acústicos

Además de las disposiciones y tratamientos acústicos estudiados, existe otra serie de elementos y dispositivos encaminados a reducir el ruido, principalmente reflejado, dentro de un recinto, algunos de los cuales nos limitaremos a enunciar:

- **Baffles:** paneles verticales o inclinados con una o las dos caras recubiertas de material absorbente al ruido. Pueden suspenderse del techo o apoyarse sobre el suelo en las proximidades del foco ruidoso. Se pueden obtener atenuaciones del orden de 5-20 dB, según funcionen como elementos absorbentes o pantallas.
- **Diafragmas:** paneles múltiples de materiales finos que funcionan como membranas. Su aplicación está indicada para frecuencias comprendidas entre 100-300 Hz.
- **Resonadores:** cavidades rígidas comunicadas con el exterior por medio de orificios. La bolsa de aire reacciona a las ondas como un resorte para las frecuencias graves. Los resonadores se pueden dividir en resonadores simples (o de Helmholtz) y los resonadores acoplados. La frecuencia de resonancia de un resonador depende de la velocidad del aire, del volumen de la cavidad y de la longitud y sección del conducto. Los resonadores acoplados son un conjunto de resonadores simples agrupados en un solo panel y tienen sus principales aplicaciones en las placas porosas o perforadas, azulejos acústicos, etc.

### Aislamiento acústico aéreo

El aislamiento acústico es uno de los fenómenos más importantes en el campo técnico en Higiene Industrial, y normalmente consiste en interponer un obstáculo sólido no poroso en el camino de una onda acústica. Los elementos más comunes de aislamiento son las paredes, bien simples o compuestas.

El aislamiento acústico al igual que la absorción, en general es función de la frecuencia y se puede definir mediante la siguiente expresión:

$$a \text{ (en dB)} = 10 \log \frac{I_i}{I_t} = L_{ti} - L_{tt}$$

a = índice de aislamiento acústico,  
 I = intensidad acústica (i)ncidente o (t)ransmitida  
 L = nivel de intensidad acústica.

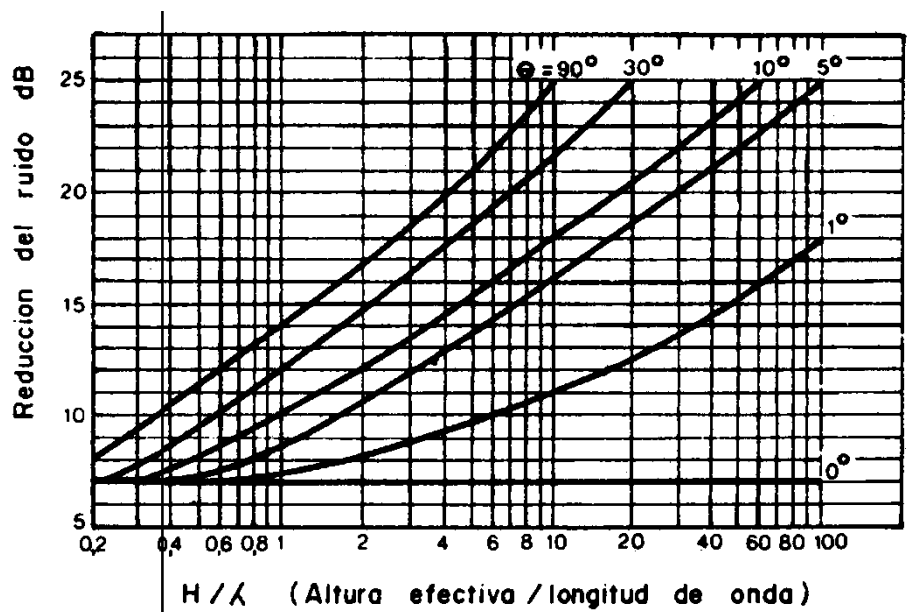
Al cociente  $I_t / I_i$  se lo conoce como coeficiente de transmisión ( $\tau$ ).

### Pantallas y barreras contra el ruido

Las pantallas o barreras se pueden considerar como un caso especial de las envolventes, pero que al contrario que en estas, en las pantallas dominan los espacios abiertos alrededor del foco de ruido. Una pantalla consiste en una barrera que se interpone entre la fuente de ruido y el receptor.

La atenuación del ruido de estas pantallas se basa en el fenómeno de la difracción del sonido y, por lo tanto, pueden ser muy eficaces en los casos de ruido en los que dominen las altas frecuencias, pero muy poco si las frecuencias dominantes son bajas.

La reducción del sonido depende fundamentalmente de la altura efectiva de la pantalla, de la longitud de la onda del sonido y del ángulo de deflexión.



Por otro lado, el índice de aislamiento de la pantalla debe estar en consonancia con la reducción del ruido esperado y se deben considerar las posibles reflexiones que pueden producirse sobre el techo, cuando este tenga un bajo coeficiente de absorción.

### Consideraciones sobre el aislamiento

- Es un método de control efectivo, pero que debe ser compatible con las exigencias de producción, por lo que es conveniente estudiar las posibles soluciones alternativas.
- El aislamiento debe ser suficiente y preverse la posibilidad de incrementarlo, si se modifican los límites legales.
- El cerramiento debe permitir un acceso fácil si las entradas son frecuentes y debe poder desmontarse lo necesario para efectuar las reparaciones oportunas.
- Las juntas de las diversas partes irán dotadas de burletes de estanqueidad, con el objetivo de evitar fisuras por las que escape el ruido. Lo mismo ocurre en todas las aberturas que sea necesario practicar en el cerramiento, que serán lo menor posibles, utilizándose un material elástico para conseguir el máximo cerramiento y donde sea necesario dejar una abertura, por ejemplo, para la ventilación se dotará de un silenciador.
- Respecto a los materiales utilizados, si la máquina aislada proyecta partículas, aceite, etc., el material deberá ser resistente a las mismas. Los vidrios utilizados en las mirillas de control deberán ser fácilmente recambiables.
- La máquina se aislará del suelo con material antivibratorio. Asimismo, deberá impedirse el contacto entre la máquina y el cerramiento, para impedir la transmisión de vibraciones.
- Con el mismo objeto, los controles y conducciones deben atravesar el cerramiento separado del mismo por un aislamiento elástico.

### Procedimientos de control de ruido con EPP

El empleo de protección personal es un procedimiento 'límite' al que, únicamente, hay que recurrir cuando otros procedimientos técnicos se han comprobado como inviables, hasta la implantación de los mismos o como aumento de medidas de control adoptadas; y así, se puede adoptar que por encima de NSCE superior a 80 dB(A) hay que utilizar protección personal uso que es obligatorio cuando se sobrepasan los 85 dB(A). Asimismo, está indicado el empleo de material de protección cuando el tiempo de exposición es muy pequeño, tales como exposiciones inferiores a un día a la semana.

Por lo tanto, se puede considerar que el empleo de material de protección personal no se trata propiamente de una medida de control, sino meramente de un procedimiento de protección.

Los protectores auditivos son elementos de protección personal, utilizados para reducir el ruido que percibe una persona situada en un ambiente ruidoso.

Los tipos de elementos de protección que existen son:

- Taponos auditivos,
- Orejeras, y
- Cascos antiruido.

El cálculo práctico para determinar si ante un ruido determinado un protector auditivo produce la suficiente atenuación, puede efectuarse por varios procedimientos.

Un primer procedimiento si disponemos del espectro de frecuencias del ruido por bandas de octava, consiste en restar del espectro del ruido el correspondiente al material de protección, menos el valor de dos desviaciones estándares, todo ello corregido a la escala de ponderación (A), y que sumando logarítmicamente los niveles por bandas de octava, bien matemáticamente o gráficamente, nos dará el resultado del nivel de ruido soportado con el empleo de dicho elemento de protección.

Vemos un ejemplo de dicho cálculo, donde resulta una reducción  $R = 104,3 - 79,6 = 24,7$  dB(A).

	Frecuencias centrales							Niveles globales dB
	125	250	500	1 K	2 K	4 K	8 K	
Nivel de ruido $L_i$ (dB)	90	93	95	98	100	96	88	104,3
Atenuación media del protector (dB)	-15	-20	-25	-32	-35	-42	-30	-
Ajuste con 2 desviaciones típicas	5	6	7	8	8	5	5	-
Atenuación efectiva del protector (dB) $A_i$	-10	-14	-18	-24	-27	-37	-25	-
Nivel de ruido resultante (dB) ( $L_i - A_i$ )	80	79	77	74	73	59	63	84,4
Ajuste escala «A»	-16	-9	-3	-0	+1	+1	-1	-
Nivel de ruido en el oído dB (A)	64	70	74	74	74	60	62	79,6 dB(A)

<b>RUIDO INDUSTRIAL</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>Efectos de la exposición al ruido</b> .....	<b>2</b>
Estructura del sistema auditivo.....	2
Oído externo.....	2
Oído medio.....	3
Oído interno.....	3
<b>Factores de riesgo</b> .....	<b>4</b>
<b>Daño auditivo</b> .....	<b>5</b>
Características de la pérdida auditiva .....	5
Sordera de transmisión y de percepción .....	5
<b>Movimiento ondulatorio</b> .....	<b>6</b>
<b>Conceptos acústicos</b> .....	<b>7</b>
Longitud de onda.....	7
<b>Cualidades del sonido</b> .....	<b>8</b>
Intensidad .....	8
Tono .....	8
Timbre .....	8
<b>Campo de audición. Nivel de presión sonora</b> .....	<b>8</b>
Nivel de intensidad sonora .....	9
Potencia sonora y nivel de potencia sonora .....	10
<b>Análisis espectral de ruidos</b> .....	<b>10</b>
Octava.....	10
Frecuencias preferentes (o centrales) según normas.....	10
<b>Factores de la sensación sonora</b> .....	<b>11</b>
Curvas de igual sensación sonora.....	11
Fonos y sonos .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>Escalas de ponderación</b> .....	<b>12</b>
<b>Suma de niveles de presión sonora</b> .....	<b>13</b>
Método numérico .....	13
Método gráfico .....	14
<b>Tipos de ruido</b> .....	<b>15</b>
<b>Clasificación de los equipos de medida de ruido</b> .....	<b>15</b>
Sonómetro .....	16
Dosímetros.....	16
Analizadores de frecuencia en tiempo real .....	16
<b>Criterios de valoración del ruido</b> .....	<b>16</b>
Criterios de la AAOO .....	17
Criterio NIOSH .....	17
Criterio británico .....	17
Energía equivalente y efecto temporal .....	17
Recomendación ISO 1999 .....	17
Resumen .....	18
Criterio de la ACGIH .....	18
Criterio OSHA.....	19
<b>Control del ruido</b> .....	<b>20</b>
Procedimientos técnicos de control .....	21
Procedimientos activos de control de ruidos .....	22
Sustitución de equipos o procesos .....	23

Modificación de los procesos de trabajo .....	24
Reducción de las fuerzas generadoras del ruido .....	24
<b>Procedimientos pasivos del control del ruido. Reducción del ruido en el medio de propagación.....</b>	<b>24</b>
<b>Acondicionamiento acústico interior de locales y recintos.....</b>	<b>25</b>
Absorción (A).....	25
Tiempo de reverberación (T).....	26
Silenciadores .....	26
Otras aplicaciones técnicas y dispositivos acústicos .....	27
Aislamiento acústico aéreo.....	28
Pantallas y barreras contra el ruido.....	28
Consideraciones sobre el aislamiento.....	29
<b>Procedimientos de control de ruido con EPP.....</b>	<b>30</b>