



# *Conceptos fundamentales del sonido*

## ÍNDICE

<b>1. EL SONIDO</b>	pag
EL SONIDO COMO FENÓMINO FÍSICO .....	3
Ciclo .....	3
Amplitud de vibración.....	4
Amplitud pico a pico de la vibración.....	4
Período.....	4
Frecuencia .....	4
Longitud de onda .....	4
Velocidad de propagación .....	5
Espectro de frecuencias.....	5
Banda.....	5
Banda de octava y tercio de octava.....	5
Ruidos blanco y rosa.....	6
Frecuencia fundamental.....	6
Armónico .....	6
Ruido.....	6
Presión acústica.....	6
Impedancia acústica específica .....	7
El decibelio (dB).....	7
Nivel de presión sonora .....	7
Potencia acústica .....	8
Nivel de potencia acústica .....	8
Patrón direccional .....	8
Índice de directividad .....	8
 EL SONIDO COMO FENÓMINO FISIOLÓGICO.....	 9
Tono .....	10
Timbre .....	10
Nivel de intensidad.....	10
Sonoridad.....	10
Son .....	11
Nivel de sonoridad .....	11
Curvas de ponderación.....	12
Escala ponderada A (dBA) .....	12
 <b>2. ASPECTOS GEOMÉTRICOS DEL SONIDO</b>	
REFLEXIÓN .....	13
ABSORCIÓN.....	13
TRANSMISIÓN .....	14
DIFRACCIÓN .....	14
REFRACCIÓN.....	15

<b>3. PROPAGACIÓN EL SONIDO EN RECINTOS</b>	pag
CAMPO SONORO DIRECTO.....	16
ATENUACIÓN POR DISTANCIA.....	17
CAMPO SONORO REVERBERANTE.....	17
TIEMPO DE REVERBERACIÓN .....	18
ABSORCIÓN ACÚSTICA.....	19
<b>4. SISTEMAS ABSORBENTES</b>	
MATERIALES POROSOS .....	20
RESONADORES .....	21
MIXTOS.....	21
<b>5. AISLAMIENTO ACÚSTICO</b>	
A RUIDO AÉREO.....	22
Aislamiento acústico bruto y estandarizado.....	22
Aislamiento acústico normalizado.....	22
Expresión del aislamiento en un único valor.....	23
Aislamiento de un elemento constructivo simple .....	23
Aislamiento de un elemento constructivo doble .....	25
Transmisiones indirectas .....	26
A RUIDO DE IMPACTO .....	26
Nivel de presión de ruido de impactos normalizado .....	26
Mejora del aislamiento a ruido de impacto .....	27
Expresión del aislamiento en un único valor.....	27
Nivel de presión acústica de impactos en forjados homogéneos.....	27
Suelos flotantes.....	28
<b>6. SILENCIADORES</b>	
SILENCIADORES DISIPATIVOS.....	29
Conductos revestidos.....	29
Silenciadores rectangulares.....	29
Silenciadores cilíndricos.....	29
Rejillas acústicas.....	30
SILENCIADORES REACTIVOS .....	30
PÉRDIDA POR INSERCIÓN.....	30
REDUCCIÓN DE RUIDO .....	30

# 1.EL SONIDO

El sonido se define como una vibración mecánica que se propaga a través de un medio material elástico y denso (habitualmente el aire), y que es capaz de producir una sensación auditiva.

Atendiendo a esta definición podemos considerar el sonido desde dos aspectos diferentes:

- Como fenómeno físico.
- Como fenómeno fisiológico.

## EL SONIDO COMO FENÓMENO FÍSICO

Consideremos una varilla sujeta por uno de sus extremos (Figura 1). Si la doblamos por el otro hasta la posición ( $a'$ ), al soltarla oscilará alrededor de su posición de equilibrio creando unas presiones y depresiones en el aire que la rodea, produciendo así ondas sonoras.

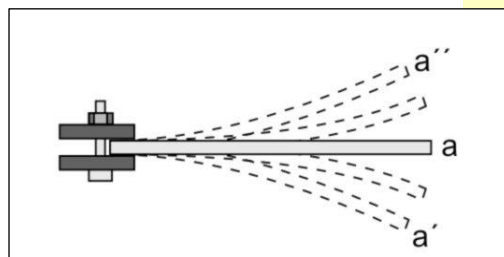


Figura 1

Por tanto, el sonido como fenómeno físico puede definirse como la perturbación producida por un cuerpo en vibración dentro de un medio, identificado por sucesivas variaciones de presión que dan lugar a un determinado tipo de ondas sonoras, longitudinales o de presión que se propagan a través de este medio, transportando energía a una determinada velocidad.

Se enumeran a continuación las principales características de una onda sonora.

- Ciclo.
- Amplitud de la vibración.
- Amplitud pico a pico de la vibración.
- Período.
- Frecuencia.
- Longitud de onda.

## CICLO

Es el recorrido efectuado por la varilla al pasar por la posición ( $a$ ) dos veces consecutivas y en el mismo sentido.

## AMPLITUD DE VIBRACIÓN

Es el máximo desplazamiento que recorre la varilla desde su posición de equilibrio a un extremo, recorrido ( $a-a'$ ).

## AMPLITUD PICO A PICO DE LA VIBRACIÓN

Es la distancia máxima que recorre la varilla de un extremo a otro, recorrido ( $a'-a''$ ).

## PERÍODO

Es el tiempo empleado por la varilla en completar un **ciclo** completo. Se mide en segundos (**s**) y su símbolo es **T**.

## FRECUENCIA

Es la inversa del período y representa el número de **ciclos** efectuados en un segundo. La unidad es el hertz (**Hz**) y su símbolo es **f**.

$$f = 1/T$$

Todo el proceso descrito se representa gráficamente en función del tiempo en la Figura 2:

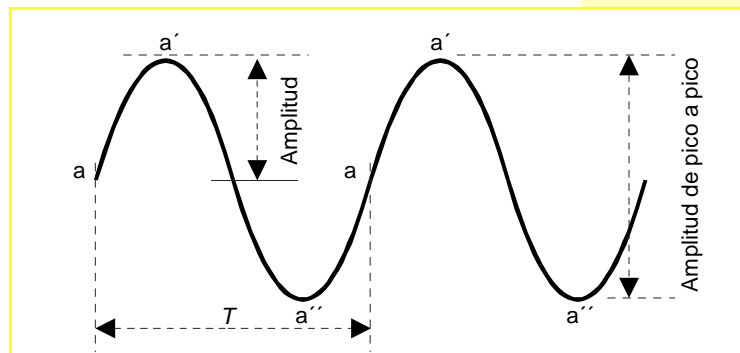


Figura 2

## LONGITUD DE ONDA

Es la distancia que recorre una onda sonora en el tiempo de un período. Depende de la velocidad de propagación y de la frecuencia. La unidad de medida utilizada es el metro (**m**). Su símbolo es  $\lambda$ .

$$\lambda = c/f$$

Asimismo como la frecuencia es la inversa del período se tiene que:

$$\lambda = cT$$

$\lambda$  longitud de onda, en m

**c** velocidad de propagación del sonido, en m/s

**T** período, en s

**f** frecuencia, en Hz

## VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN

La velocidad de propagación del sonido es la velocidad a la que se propagan las ondas sonoras a través del medio. Sólo depende de las características del mismo. Se mide en **m/s**.

Según lo anterior, sabiendo que la longitud de onda es la distancia recorrida por un frente de ondas en un tiempo igual a un período y que la velocidad es igual al espacio recorrido dividido por el tiempo empleado tenemos que:

$c$  velocidad de propagación, en m/s

$\lambda$  longitud de onda, en m

$T$  período, en s

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

A continuación se presenta una tabla con la velocidad de propagación del sonido en diferentes medios.

Aire a 0°C	331 m/s
Aire a 20°C	343 m/s
Agua	1290 m/s
Madera	1000-5000 m/s
Cemento	4000 m/s
Acero	4700-5000 m/s
Vidrio	5000-6000 m/s
Goma	40-150 m/s

## ESPECTRO DE FRECUENCIAS

Es una representación de la distribución de energía de un sonido en función de sus frecuencias componentes. Frecuentemente, en lugar de intensidad, el espectro representa el nivel de presión sonora en función de la frecuencia.

### BANDA

Corresponde a un segmento del espectro. El conjunto de bandas forman el espectro de frecuencias de un sonido determinado.

### BANDA DE OCTAVA Y TERCIO DE OCTAVA

Una octava es el intervalo de frecuencias entre una frecuencia determinada y otra igual al doble de la anterior. Si llamamos  $f_2$  a la frecuencia superior de la banda y  $f_1$  a la inferior, la relación es:

Banda de octava

$$f_2 = 2 f_1$$

Banda de tercio de octava

$$f_2 = 2^{1/3} f_1$$

Si consideramos el espectro de frecuencias del rango audible del oído humano, que va de 20 Hz hasta 20000 Hz, encontramos 10 bandas de octava cuyas frecuencias centrales son: 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 y 16000 Hz.

## RUIDOS BLANCO Y ROSA

Son ruidos utilizados para efectuar las medidas normalizadas. Se denomina ruido blanco al que contiene la misma energía en todas las frecuencias. Su espectro es una recta con pendiente de 3 dB/octava.

Si el espectro en bandas de octava es un valor constante, se denomina ruido rosa. El ruido rosa tiene una energía proporcional a  $(1/f)$  en todas las frecuencias, lo que se corresponde con una corrección de -3 dB/octava respecto al ruido blanco.

## FRECUENCIA FUNDAMENTAL

Es la frecuencia natural más baja de un sistema oscilatorio.

## ARMÓNICO

Recibe el nombre de sonido armónico de otro dado, el que tiene una frecuencia múltiplo de la frecuencia fundamental (o primer armónico) de éste. Todo sonido complejo puede considerarse como adición de un sonido fundamental, caracterizado por la frecuencia fundamental y diversos sonidos armónicos.

## RUIDO

Es una mezcla compleja de sonidos con frecuencias diferentes. En un sentido amplio, puede considerarse ruido cualquier sonido no deseado o que interfiere en alguna actividad humana.

## PRESIÓN ACÚSTICA

Anteriormente se ha comentado como el movimiento de la varilla creaba unas presiones y depresiones en el aire; estas variaciones originan lo que se denomina presión acústica y se define como la variación entre la presión ambiental en un punto dado y la presión estática en ese mismo punto.

Estas variaciones suelen ser normalmente muy débiles y no todas son percibidas como sonido por el oído; para su medida se utiliza el microbar ( $\mu\text{bar}$ ) que es la millonésima parte del bar (unidad de presión atmosférica), o el pascal (**Pa**).

$$1\text{Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 10\mu\text{bar}$$

## IMPEDANCIA ACÚSTICA ESPECÍFICA

Es la mayor o menor dificultad que ofrece el medio (sólido, líquido o gaseoso) a la propagación de las ondas sonoras.

Se define como el cociente entre la presión acústica y la velocidad de propagación. Se mide en rayleighs (**rayl**):

$$Z_s = \frac{p}{v} \quad 1 \text{ rayl} = 1 \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^3}$$

$Z_s$  impedancia acústica específica, en rayl  
 $p$  presión acústica, en Pa  
 $v$  velocidad de propagación en el medio, en m/s

## EL DECIBELIO (dB)

Es una unidad que denota la relación entre dos cantidades. Se define por la expresión siguiente:

$$10 \log \frac{X_2}{X_1}$$

## NIVEL DE PRESIÓN SONORA

El oído humano es capaz de captar variaciones muy pequeñas de la presión estática y no saturarse con valores muy elevados de la misma. Además la sensación de la intensidad de la variación de un sonido para el oído es aproximadamente logarítmica. Eso significa que si reducimos la presión eficaz a la mitad, la sensación que recibimos es que se ha reducido mucho menos de la mitad.

La unidad de medida utilizada para expresar todo lo anterior es el decibelio (**dB SPL**), que se define como 20 veces el logaritmo de la relación entre la presión sonora y una presión de referencia correspondiente al umbral de presión auditiva (20  $\mu\text{Pa}$ ).

$$L_p = 20 \log \left( \frac{p}{p_o} \right)$$

$L_p$  nivel de presión sonora (nivel sonoro), en dB SPL  
 $p$  presión acústica eficaz, en Pa  
 $p_o$  presión acústica eficaz de referencia, valor  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa



## POTENCIA ACÚSTICA

Es la cantidad de energía radiada por unidad de tiempo de una fuente de ruido. Se expresa en vatios (**W**) y sirve para caracterizar una fuente, ya que es un parámetro intrínseco de la misma.

## NIVEL DE POTENCIA ACÚSTICA

Es la magnitud que se utiliza por comodidad para expresar la potencia acústica de una fuente sonora, ya que el campo de los valores de la potencia es muy grande. Se evalúa respecto a una potencia de referencia de 1 pW ( $1 \cdot 10^{-12}$  W).

$$L_w = 10 \log \left( \frac{W}{W_o} \right)$$

$L_w$  nivel de potencia sonora, en dB SWL

$W$  potencia acústica, en W

$W_o$  potencia acústica de referencia, valor  $1 \cdot 10^{-12}$  W

## PATRÓN DIRECCIONAL

La mayoría de las fuentes de ruido poseen características direccionales definidas, es decir, radian más energía en algunas direcciones que en otras. Estas características dependen, entre otras cosas, de la frecuencia.

El patrón direccional aporta información de la distribución de la energía acústica radiada por una fuente en relación a un plano de referencia.

## ÍNDICE DE DIRECTIVIDAD

Son los dB que se reciben en la dirección preferente de la fuente direccional respecto a los que daría una fuente omnidireccional de la misma potencia. Es la expresión en dB del factor de directividad (Q). Dentro del término Q se incluye la influencia de lo que se conoce como factor de espacio. Este término consiste en un incremento de la energía debido a que la fuente sonora se encuentra sobre uno o varios planos reflectantes. La energía se reradia hacia la zona libre del espacio.

## EL SONIDO COMO FENÓMENO FISIOLÓGICO

Desde el punto de vista fisiológico, el sonido es una perturbación del medio que produce sensaciones auditivas al alcanzar el oído.

Los sonidos pueden ser periódicos o pseudoperiódicos con o sin carácter musical, o también no periódicos (ruidos). Los sonidos periódicos podemos distinguirlos por su **tono**, que aumenta cuando se pasa de los sonidos graves (bajas frecuencias) a los sonidos agudos (altas frecuencias), por su **timbre** y por su **intensidad**.

En lo que respecta al oído, podemos decir que el margen de presiones acústicas sobre las que puede operar el oído humano es muy extenso, ya que no sólo puede resistir sonidos con una presión que exceda de los 1.000  $\mu\text{bar}$ , sino que puede percibir sonidos con una presión de tan sólo 0,0001  $\mu\text{bar}$ , es decir presiones 10 millones de veces más pequeñas de las que puede soportar.

Por otra parte el oído humano es capaz de responder a frecuencias comprendidas entre 20 y 20.000 Hz y distinguir entre ellas con gran selectividad. Este rango audible se descompone generalmente en tres bandas frecuenciales: frecuencias bajas o graves ( $f < 250$  Hz), medias ( $250 \text{ Hz} < f < 1.000$  Hz) y altas o agudas ( $f > 1.000$  Hz).

La sensibilidad del oído no es igual a todas las frecuencias sino que varía en función de la misma (

Figura 3).

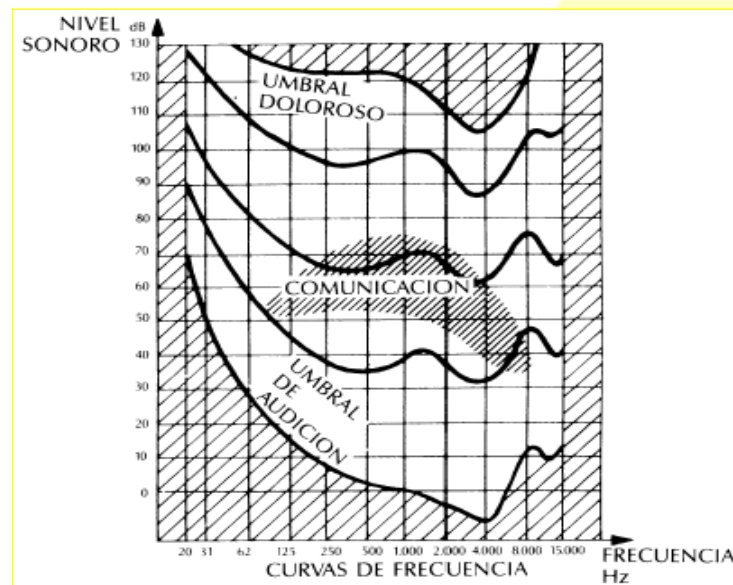


Figura 3

Como se puede observar la sensibilidad es máxima para las frecuencias cercanas a las de la voz humana siendo notablemente inferior para los graves.

El umbral auditivo es aquel a partir del cual el oído comienza a percibir sensaciones sonoras. Su valor de presión es de  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa (para una frecuencia de 1 kHz).

El umbral doloroso aparece cuando la presión acústica supera los 200 Pa (140 dB), pudiendo ocasionar lesiones graves e irreversibles en el oído.

## TONO

Es la cualidad de los sonidos que permite distinguir entre los agudos y graves.

El tono de un sonido queda determinado por la frecuencia del mismo, o por la frecuencia del sonido fundamental en el caso de que no sea puro.

## TIMBRE

Dos instrumentos musicales, interpretando la misma nota, no producen la misma impresión a nuestro oído. Por ejemplo, una nota producida por un piano no es igual a la misma nota producida por un violín, aunque ambas notas tengan idéntica frecuencia, es decir el mismo tono. La cualidad que distingue a ambas notas se denomina timbre. El timbre hace posible que cada instrumento pueda tener un “color” determinado y particular que lo distinga de otros aun cuando su espectro sonoro pueda parecer similar.

El timbre viene determinado por el número e intensidad de los armónicos que acompañan a un sonido fundamental cuando éste es emitido, y depende de las características de cada fuente sonora.

El sonido puro, es decir, desprovisto de armónicos, no existe. Los sonidos reales siempre van acompañados de un cierto número de armónicos.

## NIVEL DE INTENSIDAD

Es la energía que atraviesa una superficie en la unidad de tiempo. Es proporcional al cuadrado de la presión acústica, se mide en  $W/m^2$  y se define como 10 veces el logaritmo de la relación entre la intensidad acústica y el umbral auditivo referido a dicha intensidad ( $I_0=10^{-12} W/m^2$ ):

$$L_I = 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

$L_I$  nivel de intensidad, en dB

$I$  intensidad acústica, en  $W/m^2$

$I_0$  umbral auditivo de intensidad acústica ( $10^{-12} W/m^2$ )

Estableciendo una relación entre nivel de presión sonora ( $L_p$ ) y nivel de intensidad acústica tenemos que:

$$L_p = 20 \log \left( \frac{p}{p_0} \right) = 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right) = L_I$$

## SONORIDAD

La sonoridad es el atributo de los sonidos, percibido subjetivamente, que permite al oyente ordenar su magnitud sobre una escala, de bajo a alto. Debido a que es una sensación propia del oyente, no es factible tomar una medida física directa. El procedimiento básico de medida es subjetivo, basado en enjuiciamientos respecto a sonidos de referencia con niveles de presión conocidos.

La sonoridad depende fundamentalmente del nivel de presión sonora del estímulo y, en menor medida, de su frecuencia, duración y complejidad.

## SON

La unidad de sonoridad es el son que se define como la sonoridad de un tono de 1000 Hz, con un nivel de presión sonora de 40 dB. La escala de sonoridad es una escala subjetiva y ha sido establecida de manera que un sonido con una sonoridad de 2 sons es doblemente sonoro que el sonido de referencia de 40 dB de 1 son. Un cambio de 10 dB en el nivel de presión sonora equivale, aproximadamente, a doblar la sonoridad.

## NIVEL DE SONORIDAD

Los enjuiciamientos de igual sonoridad para tonos puros de varias frecuencias y niveles ha dado lugar a curvas de igual sonoridad. En estas curvas se recoge la relación existente entre el nivel de energía mecánica medido en dB, la sensación de intensidad producida medida en fons y la frecuencia del tono medida en Hz. El experimento se realizó comparando un tono puro de 1.000 Hz con otro tono puro de diferente frecuencia, variando el nivel de energía de este último hasta igualar la sensación producida por ambos, lo que dio lugar a las curvas del gráfico adjunto (

Figura 3) llamadas también curvas isofónicas. A lo largo de cada curva los sonidos nos parecerán igualmente intensos, aunque los niveles de presión varíen considerablemente, naciendo de esta consecuencia la unidad de medida de nivel sonoro: el fon.

Se dice que el nivel de sonoridad de un sonido o de un ruido es de "n" fon cuando, a juicio de un oyente normal, la sonoridad producida por el sonido o ruido es equivalente a la de un sonido puro de 1.000 Hz continuo, que incide frente al oyente y cuyo nivel de presión acústica es de "n" dB superior a la presión de referencia  $P_0$ .

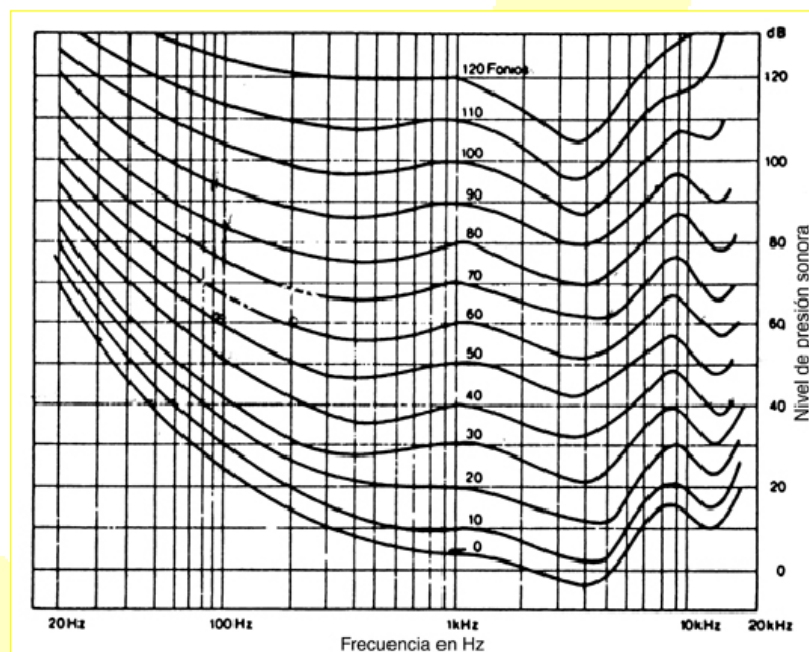


Figura 4

## CURVAS DE PONDERACIÓN

Para compensar la diferente sensibilidad que presenta el oído a las distintas frecuencias de un sonido, se crean las curvas de ponderación que aproximan la percepción del oído al nivel acústico generado.

Existen varias curvas de ponderación que compensan de distinta manera las diferencias de sensibilidad. Las más usadas son las curvas de ponderación A y C, existiendo también la ponderación B. Cuando se aplica alguna de estas ponderaciones, la unidad de medida así debe reflejarlo. Por ejemplo, si se utiliza la curva de ponderación C la unidad será el decibelio C (**dB(C)**).

### ESCALA PONDERADA A (dBA)

Esta curva de ponderación es la comúnmente utilizada y por la que se rige la mayoría de normativa. Las ponderaciones a aplicar están normalizadas y, tal y como se aprecia en la siguiente figura, penaliza preferentemente las frecuencias graves.

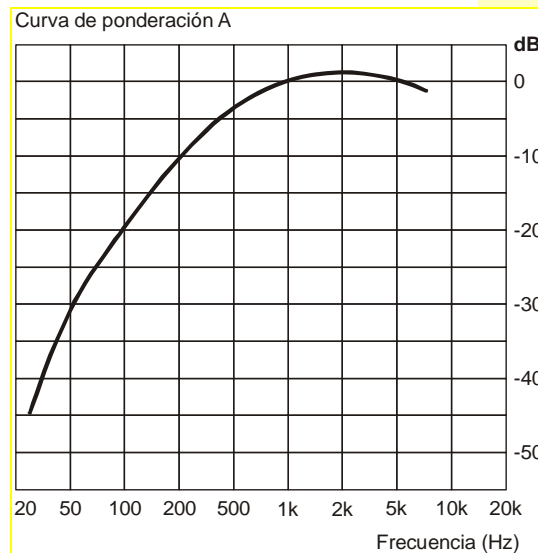


Figura 5

Los valores numéricos de la curva se expresan en la tabla siguiente:

f [Hz]	63	125	250	500	1k	2k	4k
dB pond.A	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1

Mediante la aplicación de esta tabla un espectro en dB pasaría a ser un espectro ponderado A (dBA).

## 2. ASPECTOS GEOMÉTRICOS DEL SONIDO

Según la Teoría Geométrica el sonido se considera como una serie de rayos (sin entidad física, debido a que son tratados como líneas que se dibujan perpendiculares al frente de onda) que se propagan por el interior del recinto en línea recta y en todas direcciones.

La Teoría Geométrica se utiliza para determinar puntos acústicamente conflictivos, como por ejemplo las focalizaciones del sonido producidas por una vuelta arquitectónica o una superficie cóncava. Esta Teoría también es útil para calcular los retrasos relativos entre la señal directa y las reflexiones y analizar el efecto de ecos o reflexiones problemáticas.

Los métodos utilizados verifican la **Ley de la Reflexión de la Óptica Geométrica** que se enuncia de la siguiente manera: "Los rayos sonoros incidentes y reflejados permanecen en el mismo plano, donde el ángulo de incidencia y el de reflexión son iguales."

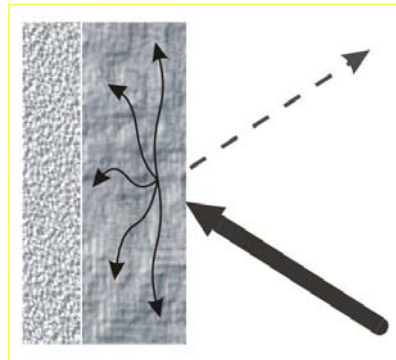


Figura 6

### REFLEXIÓN

La onda reflejada conserva la misma frecuencia y longitud de onda que la onda incidente, pero disminuye su amplitud y por tanto su intensidad.

Cuando la onda choca con cualquier obstáculo, la onda reflejada actúa como si procediera de una fuente sonora virtual situada detrás del obstáculo a una distancia igual a la de la fuente sonora real.

El comportamiento de las ondas reflejadas depende por tanto de la forma del local y de las características de su superficie. Si la superficie de impacto es convexa la onda se dispersará y si es cóncava se producirá un efecto de concentración.

### ABSORCIÓN

Es el fenómeno debido al cual una parte de la energía sonora que incide sobre una superficie se disipa en forma de calor mediante varios procesos de rozamiento y no se refleja ni transmite.

El **coeficiente de absorción ( $\alpha$ )** de un material expresa la cantidad de energía sonora que es absorbida por el mismo. Se define como la relación entre la energía sonora absorbida por el material y la energía sonora incidente:

$$\alpha = \frac{E_{\text{absorbida}}}{E_{\text{incidente}}}$$

El coeficiente de absorción de un material es función de su naturaleza, es decir, densidad, porosidad, espesor, características constructivas, etc.

A modo de ejemplo, el valor  $\alpha$  a 1000 Hz del mármol es de 0,01 y el de lana de roca de 30 mm de espesor es de 0,92.

## TRANSMISIÓN

Cuando un frente de ondas incide sobre una pared de una sala que se halla conectada a otra por una pared común, ésta se pone en movimiento vibratorio radiando energía hacia la sala receptora.

La relación entre la energía transmitida y la energía incidente sobre una pared divisoria que separa dos salas se denomina factor de transmisión sonora ( $\tau$ ) y viene dado por la expresión:

$$\tau = \frac{E_{\text{transmitida}}}{E_{\text{incidente}}}$$

La energía que incide sobre una superficie se absorbe, refleja y/o transmite, cumpliéndose la expresión:

$$E_{\text{incidente}} = E_{\text{absorbida}} + E_{\text{transmitida}} + E_{\text{reflejada}}$$

## DIFRACCIÓN

En la difracción una onda puede rodear un obstáculo o propagarse a través de una pequeña abertura. Aunque este fenómeno es general, su magnitud depende de la relación que existe entre la longitud de onda y el tamaño del obstáculo o abertura. Si una abertura (obstáculo) es grande en comparación con la longitud de onda, el efecto de la difracción es pequeño y la onda se propaga en líneas rectas o rayos, de forma semejante a como lo hace un haz de partículas. Sin embargo, cuando el tamaño de la abertura (obstáculo) es comparable a la longitud de onda, los efectos de la difracción son grandes y la onda no se propaga simplemente en la dirección de los rayos rectilíneos, sino que se dispersa como si procediese de una fuente puntual localizada en la abertura. Un ejemplo de este fenómeno es la difracción de sonido que se produce sobre una pared, creándose una zona de sombra acústica:

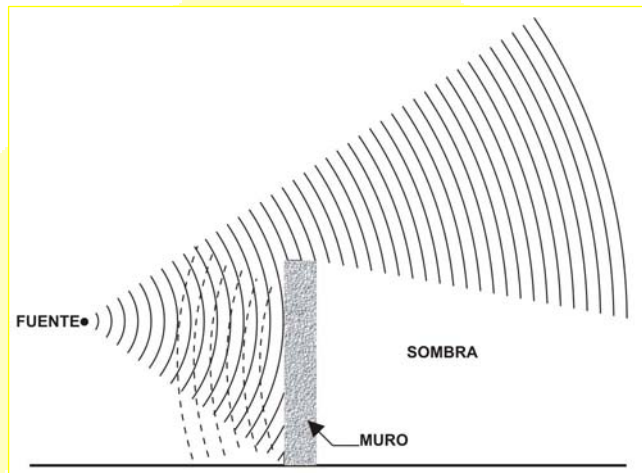


Figura 7

### REFRACCIÓN

Recibe el nombre de refracción el cambio de dirección que sufre una onda sonora al pasar de un medio a otro con distintas propiedades mecánicas. Este cambio se produce por la variación que sufre la velocidad de la onda sonora.

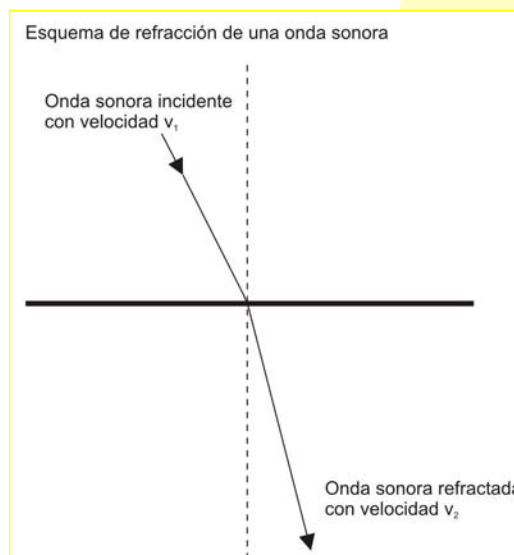


Figura 8



### 3. PROPAGACIÓN DEL SONIDO EN RECINTOS

En un recinto o local cerrado las ondas emitidas por una fuente llegan a un punto determinado básicamente por dos caminos. Por una parte, se recibe energía sonora directamente de la fuente y, por otra, las ondas sonoras chocan con las superficies que limitan el local dando origen a ondas reflejadas las cuales a su vez se reflejan nuevamente repitiéndose el fenómeno multitud de veces.

Por tanto, la presión acústica que existe en un punto determinado del recinto después de haberse producido varias reflexiones del sonido, es la resultante de las presiones de las ondas emitidas en distintos momentos y las recibidas en el instante de la observación. Dicho en términos más sencillos, la presión en dicho punto es el resultado de la presión del campo directo y la del campo reverberante.

Considerando una fuente con radiación omnidireccional ( $Q=1$ ), el nivel de presión sonora  $L_p$  en un punto viene dado por la expresión:

$$L_p = L_w + 10 \log \left( \frac{Q(=1)}{4\pi d^2} + \frac{4}{R} \right)$$

$$R = \frac{S\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$$

$L_w$  nivel de potencia sonora de la fuente.

$d$  distancia del punto considerado a la fuente.

$R$  constante del recinto. Da idea de la "cantidad" de absorción acústica de la sala.

$\bar{\alpha}$  coeficiente de absorción medio del recinto.

$S$  superficie total.

#### CAMPO SONORO DIRECTO

El campo sonoro directo es el que se transmite directamente de la fuente al punto de observación y no considera reflexiones de sonido en las superficies del recinto por lo que es independiente del mismo.

El nivel de presión sonora de campo directo tiene el mismo valor a una distancia determinada que el que tendría al aire libre alejado de cualquier superficie reflectante.

La expresión simplificada que determina el nivel de presión sonora de campo directo para una fuente de potencia  $L_w$  con radiación omnidireccional a una distancia  $d$ , es:

$$L_{PD} = L_w - 20 \log d - 11$$

## ATENUACIÓN POR DISTANCIA

En campo libre y lejano y para una fuente sonora puntual con propagación esférica se cumple que el nivel de presión sonora decae a razón de 6 dB cada vez que se dobla la distancia entre la fuente y el receptor, lo que se representa en la siguiente ecuación:

$$L_{P1} - L_{P2} = 20 \log \left( \frac{d_2}{d_1} \right)$$

$L_{P1}$  nivel de presión en un punto dado cercano a la fuente.

$L_{P2}$  nivel de presión en otro punto.

$d_2$  distancia del punto 2 a la fuente de ruido.

$d_1$  distancia del punto 1 a la fuente de ruido.

Esta relación es válida en campo libre, donde no existen reflexiones. En el caso de recintos, esta relación sigue siendo válida, pero además debe añadirse la componente de campo reverberante.

Si la fuente sonora es lineal (ejemplo: autopista) y en campo libre la propagación es cilíndrica, la reducción es de 3 dB por cada duplicación de la distancia.

## CAMPO SONORO REVERBERANTE

El campo sonoro reverberante es la energía sonora que llega al punto de observación y que corresponde a las ondas sonoras que han impactado una o múltiples veces contra las superficies que limitan el local.

El nivel de presión producto del campo sonoro reverberante depende de la potencia de la fuente sonora  $L_W$  y de las características acústicas del recinto únicamente (formas geométricas, coeficientes de absorción de los materiales, volumen de la sala, etc.)

Si el nivel de presión sonora es uniforme en todo el local, se dice que el sonido es difuso. Ahora bien, el sonido en un local es perfectamente difuso si las ondas sonoras reflejadas viajan en todas las direcciones con igual probabilidad.

El nivel de presión sonora del sonido reflejado en un local cerrado  $L_{PR}$ , considerando que la fuente de ruido ha estado funcionando el tiempo suficiente como para alcanzar un nivel sonoro estable, viene dado por:

$$L_{PR} = L_W - 10 \log A + 6$$

$L_W$  nivel de potencia sonora de la fuente.

$A$  absorción total del recinto en Sabins.

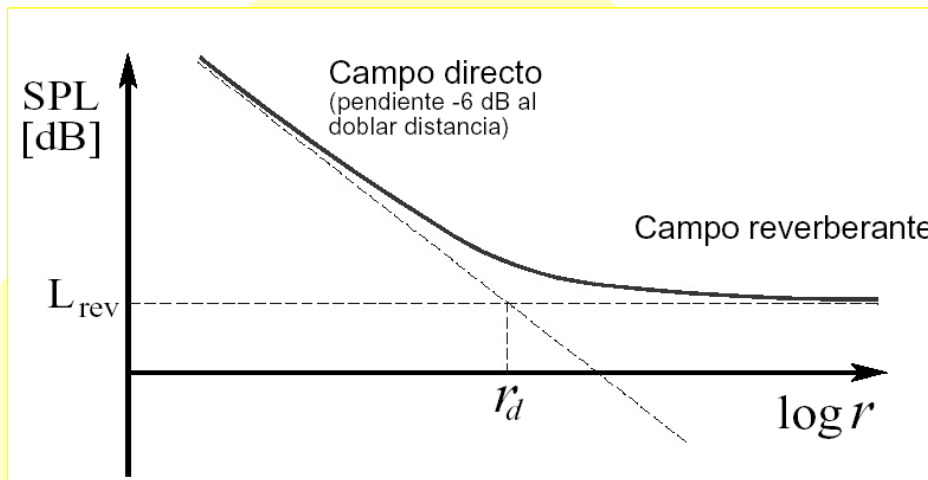


Figura 9

En cada punto del recinto se tiene la contribución del campo sonoro directo (pendiente  $-6\text{dB}$  al doblar distancia) y del reverberado (constante para cualquier distancia). Tal y como se aprecia en la

Figura 9, a medida que la distancia del receptor a la fuente aumenta, la contribución del campo directo es menos importante en favor de la del campo reverberado hasta llegar a la **distancia crítica** ( $r_d$ ) en la que ambas contribuciones al campo total son iguales.

### TIEMPO DE REVERBERACIÓN

El tiempo de reverberación ( $TR_{60}$ ) es el tiempo en segundos que tarda el nivel de presión sonora en reducirse  $60\text{ dB}$  después de interrumpir la emisión de la fuente sonora.

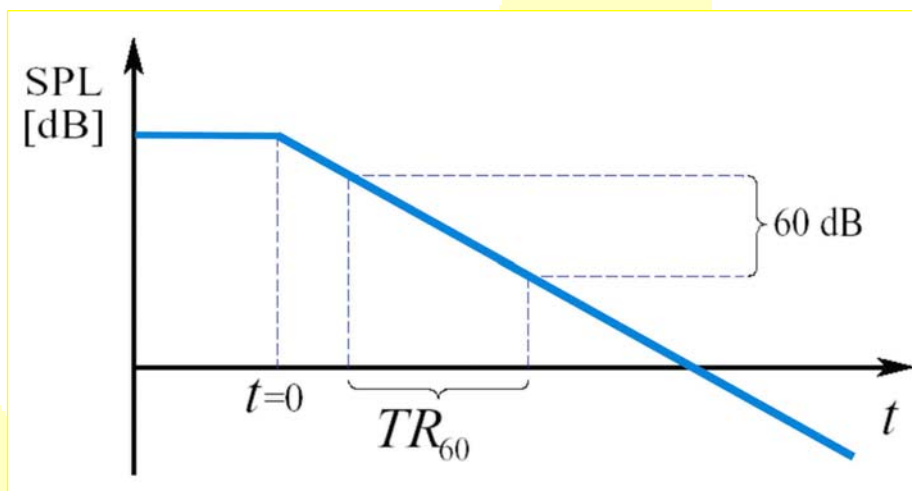


Figura 10

Puede calcularse con la aproximación de Sabine según la siguiente expresión:

$V$  volumen del local en  $m^3$ .

$A$  absorción del local en Sabins.

$$TR_{60} = \frac{0,163V}{A}$$

El tiempo de reverberación es dependiente de la frecuencia, como se verá a continuación.

### ABSORCIÓN ACÚSTICA

La absorción acústica de un recinto se obtiene multiplicando el área de cada superficie del local por su coeficiente de absorción sonora  $\alpha$ , dependiente de la frecuencia. La suma de cada término es la absorción total del local:

$$A = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n$$

$\alpha_n$  coeficiente de absorción de cada material (variable con  $f$ ).

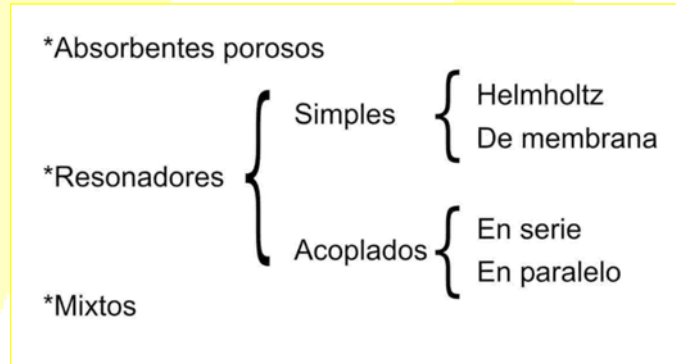
$S_n$  superficie del material en  $m^2$  con coeficiente de absorción  $\alpha_n$ .

La unidad de absorción es el Sabin. 1 Sabin equivale a  $1m^2$  de superficie absorbente con coeficiente de absorción 1 (ventana abierta).

Una sala de elevada absorción, por tanto con tiempo de reverberación bajo, es una sala "apagada" (pej. estudio de grabación). En caso contrario se puede hablar de una sala "viva" (pej. lavabo alicatado).

## 4.SISTEMAS ABSORBENTES

Para dar solución a los problemas ocasionados por la excesiva reverberación de los locales cerrados - lo que puede debilitar el aislamiento de un recinto o empeorar la calidad acústica de una sala - existen varios sistemas o dispositivos creados para tal fin, que se pueden clasificar según:



### MATERIALES POROSOS

Estos materiales presentan un gran número de pequeñas cámaras de aire o poros que se comunican entre sí. Su estructura puede ser alveolar, granular, fibrosa, etc. Actúan convirtiendo la energía sonora en calor, debido al rozamiento entre el aire y la superficie del material. Los materiales con celdas interiores de superficie cerrada no son buenos absorbentes.

El coeficiente de absorción de un material poroso aumenta con la frecuencia por norma general y está además influenciado por el espesor del material. No obstante, como la mayoría de espesores que se utilizan normalmente está limitado por problemas de espacio y costo, la absorción acústica de los materiales porosos es elevada a altas frecuencias y limitada en los graves. Los factores que rigen el comportamiento de un material absorbente son: densidad, porosidad, geometría estadística de las celdillas, rigidez de la estructura, colocación respecto superficies rígidas, etc.

A continuación se representa una curva típica de absorción de materiales porosos y un esquema simplificado de su efecto.

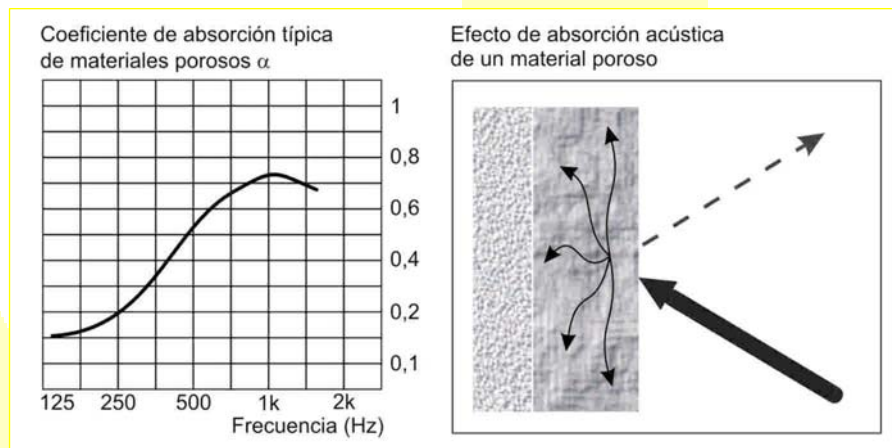


Figura 11

La velocidad con que se mueve el aire debido a una onda sonora, es máxima a una determinada distancia de las superficies rígidas correspondiente a un cuarto de la longitud de onda de la onda incidente ( $v_{\text{máx}}$  a  $d=\lambda/4$ ). Para la velocidad máxima, también es máximo el rozamiento y, por tanto, la absorción.

A modo de ejemplo se muestran en la siguiente tabla los coeficientes de absorción de dos materiales de comportamiento muy distinto, el mármol que es un mal absorbente y una lana mineral:

Material / frecuencia [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k
Mármol	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Lana de roca 30 mm	0,07	0,40	0,88	0,92	0,96	1,05

## RESONADORES

Un resonador acústico de Helmholtz consta de una cavidad que comunica con el exterior a través de un conducto estrecho o cuello (pej. botella de cristal). Tal y como su nombre indica, la absorción de energía se produce mediante un proceso de resonancia, parecido al de un sistema masa-muelle. Un resonador de membrana consiste en una placa (membrana) colocada a una determinada distancia de la superficie rígida y que se desplaza disipando así la energía de la onda incidente.

Estos dispositivos absorbentes actúan preferentemente para bandas estrechas de frecuencia, alrededor de la frecuencia de resonancia del sistema  $f_r$ , para la cual la absorción es máxima. En el caso del resonador de Helmholtz (Figura 12), esta frecuencia depende del volumen de la cavidad y del tamaño del cuello. En los resonadores de membrana la  $f_r$  depende de la masa de la membrana oscilante y de la distancia a la superficie rígida.

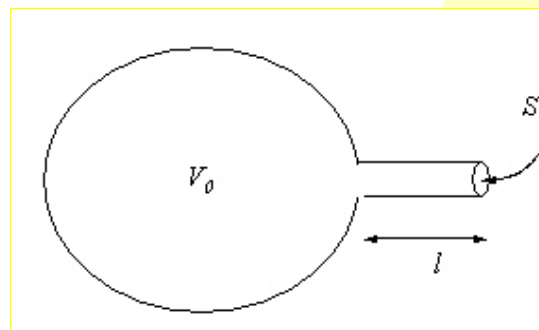


Figura 12

Un resonador de tipo Helmholtz o membrana es un resonador simple. Los resonadores acoplados son un conjunto de resonadores de Helmholtz dispuestos en serie o paralelo. Un claro ejemplo de estos últimos son los paneles perforados

## Mixtos

Resultan de la combinación de absorbentes resonadores y materiales porosos, los cuales se suelen aplicar forrando el interior de las cavidades que componen el resonador, mejorando así las características de absorción del sistema.

## 5. AISLAMIENTO ACÚSTICO

### A RUIDO AÉREO

El aislamiento a los ruidos transmitidos por vía aérea consiste en la reducción mediante reflexión sobre un obstáculo de la transmisión del sonido o de los ruidos que se propagan por vía aérea, de un ambiente emisor a un ambiente receptor. El obstáculo que desarrolle la función aislamiento puede ser una pared divisoria, el muro de una fachada, un techo, un cerramiento insonorizante, etc. En definitiva se trata de interponer en el camino del sonido un medio cuya impedancia sea lo más distinta posible a la del medio por el que se propaga el sonido. Un índice ampliamente utilizado para caracterizar el aislamiento de un material es el **TL** (*Transmission Loss*), inversamente proporcional al factor de transmisión sonora (apartado 0):

$$TL = 10 \log \left( \frac{1}{\tau} \right)$$

### AISLAMIENTO ACÚSTICO BRUTO Y ESTANDARIZADO

Según la norma UNE-EN ISO 140-4 (Medición *in situ* del aislamiento al ruido aéreo entre locales), la diferencia de niveles **D** se define como la diferencia, en decibelios, del promedio espacio-temporal de los niveles de presión sonora producidos en los dos recintos por una o varias fuentes de ruido situadas en uno de ellos:

$$D = L_1 - L_2$$

$L_1$  nivel de presión acústica medio en el recinto emisor.

$L_2$  nivel de presión acústica medio en el recinto receptor.

El aislamiento acústico bruto obtenido *in situ* entre dos locales depende, en primer lugar, de la **TL** de la partición de separación entre locales y de las vías de propagación secundarias, pero además está influenciado por las características del local receptor. El aislamiento acústico normalizado  **$D_{nT}$**  (diferencia de niveles estandarizada) añade un término corrector a la magnitud **D** teniendo en cuenta el tiempo de reverberación del recinto receptor normalizándolo respecto a 0,5 s (valor de referencia estándar para una habitación amueblada). Se define según:

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \left( \frac{TR_{60}}{0,5} \right)$$

### AISLAMIENTO ACÚSTICO NORMALIZADO

El índice de reducción sonora **R** (según nomenclatura ISO 140) o el aislamiento acústico normalizado a ruido aéreo (según norma NBE CA-88), se define como el aislamiento de un elemento constructivo medido en laboratorio según la norma ISO 140-3. No está influenciado ni por las características de la sala receptora ni por las vías de transmisión secundarias. Su expresión es:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \left( \frac{S}{A} \right)$$

$L_1$  nivel de presión acústica medio en el recinto emisor.

$L_2$  nivel de presión acústica medio en el recinto receptor.

$S$  superficie del elemento separador en  $m^2$

$A$  área de absorción sonora equivalente en el recinto receptor en  $m^2$  (puede obtenerse midiendo el  $TR_{60}$  y aplicando la fórmula del apartado **tiempo de reverberación**).

Esta misma magnitud medida *in situ* recibe el nombre de índice de reducción sonora aparente  $R'$  y está afectada por las vías de transmisión secundarias.

## EXPRESIÓN DEL AISLAMIENTO EN UN ÚNICO VALOR

La ISO 717-1 normaliza un método por el cual la dependencia frecuencial del aislamiento a ruido aéreo puede convertirse en un solo número que caracteriza las propiedades acústicas. Este número es el resultado de añadir a  $R_W$  (índice ponderado de reducción sonora) o a  $R'_W$  o a  $D_{nTW}$ , el término de adaptación al espectro ( $C$  o  $C_{tr}$ ) para tener en cuenta las características de un espectro de ruido en particular. Según cuál sea la fuente de ruido el término a utilizar será:

- $C$ : actividades humanas (conversación, música, radio, TV), trenes a velocidades medias y altas, autopistas a velocidades >80km/h, aviones a reacción a distancias cortas, factorías que emiten a medias y altas frecuencias...
- $C_{tr}$ : tráfico urbano, trenes a velocidades bajas, aviones de propulsión, música de discotecas, factorías que emiten a bajas y medias frecuencias...

El rango frecuencial considerado por defecto es [100 Hz - 3150 Hz], pero también se consideran otros márgenes frecuenciales ampliados. La totalidad de parámetros existentes son:

$$R_W(C;C_{tr}) \quad C_{50-3150} \quad C_{50-5000} \quad C_{100-5000} \quad C_{tr,50-3150} \quad C_{tr,50-5000} \quad C_{tr,100-5000}$$

## AISLAMIENTO DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO SIMPLE

El aislamiento específico de un elemento constructivo es función de sus propiedades mecánicas, y puede calcularse aproximadamente por la ley de masa, que establece que la reducción de intensidad acústica a través de un determinado elemento es función del cuadrado del producto de la masa superficial  $m$  por la frecuencia considerada  $f$ .

$$a = 10 \log (fm)^2$$

De donde se deduce que para una frecuencia fija, el aislamiento aumenta en 6 dB cuando se duplica la masa. Análogamente, para una masa fija, el aislamiento crece 6 dB al duplicar la frecuencia.



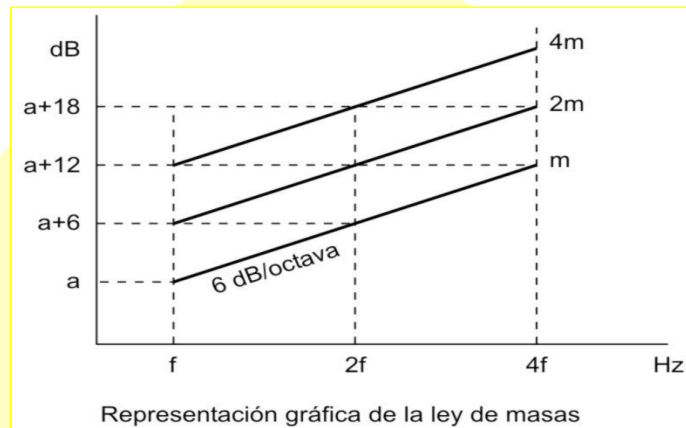


Figura 13

El comportamiento real de una pared simple dista en algunos aspectos de la ley de masa como muestra la siguiente figura:

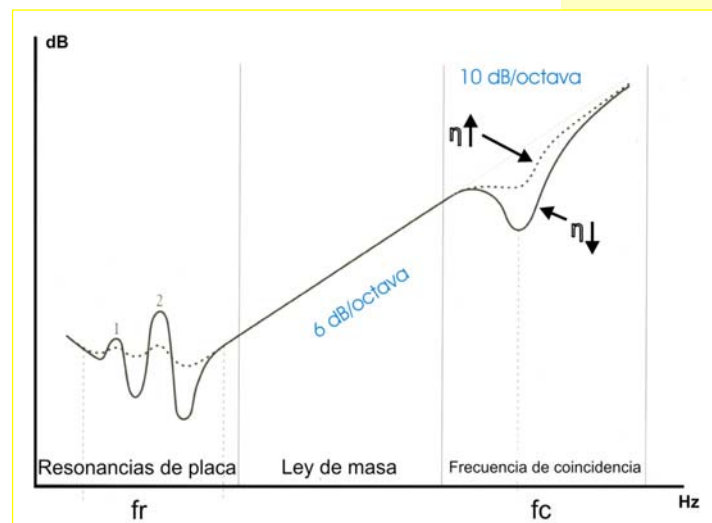


Figura 14

A frecuencias bajas se producen pérdidas de aislamiento debido a las resonancias de la propia placa ( $f_r$ ), dependientes en buena parte de sus dimensiones geométricas. Para  $f=f_c$  frecuencia de coincidencia o crítica, la energía acústica incidente en la pared se transmite a través del paramento en forma de ondas de flexión, que se acoplan con las ondas de campo acústico produciéndose una merma de aislamiento entorno a esa frecuencia. Esta merma será más acusada cuanto menor sea el coeficiente de amortiguamiento o factor de pérdidas ( $\eta$ ) del paramento.

La  $f_c$  en paredes se sitúa en la octava de 500 Hz en tabiquería ligera, en la octava de 250 Hz en paredes de ladrillo hueco o perforado de 15 cm, en la de 125 Hz para elementos pesados de hormigón y en la de 2500 Hz para elementos blandos a la flexión como las placas cartón-yeso.

En la NBE CA-88 se dan expresiones orientativas para calcular el aislamiento global a ruido rosa (dBA) de un elemento constructivo con  $f_c < 2000$  Hz, según sea su masa superficial:

$$\text{Si } m \leq 150 \text{ kg/m}^2 \quad R[dBA] = 16,6 \log(m) + 2$$

$$\text{Si } m \geq 150 \text{ kg/m}^2 \quad R[dBA] = 36,5 \log(m) - 41,5$$

El aislamiento a ruido rosa en dBA se relaciona con los valores de aislamiento de la norma ISO 717-1 (apartado 0) según:

$$R[dBA] - 1 \approx R_w + C$$

### AISLAMIENTO DE UN ELEMENTO CONSTRUCTIVO DOBLE

La dependencia entre el aislamiento y la masa hacen preciso aumentar la masa cuando el aislamiento buscado es elevado. En paredes ligeras puede ser viable doblar la masa para aumentar 6 dB el aislamiento, pero para paredes pesadas ya no es rentable a partir de 300 kg/m<sup>2</sup>. Por ello se opta por particiones dobles con cámara intermedia.

En una doble pared se produce un acoplamiento en la frecuencia de resonancia  $f_o$  de la cavidad o cámara de aire que las separa, con la consiguiente pérdida de aislamiento a esa frecuencia.

$$f_o = 85 \sqrt{\frac{1}{d} \left( \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)}$$

$d$  distancia entre las dos paredes en metros

$m_1$  masa superficial de una pared en kg/m<sup>2</sup>

$m_2$  masa superficial de la otra pared en kg/m<sup>2</sup>

Esta frecuencia será tanto más baja cuanto mayores sean las masas y la distancia entre paredes. A la  $f=f_o$  el aislamiento del conjunto es muy bajo, por lo que interesa que esta frecuencia esté situada en la parte más baja del espectro. Para mitigar la pérdida de aislamiento conviene colocar material poroso absorbente en la cámara.

En aislamiento acústico de viviendas es conveniente situar la frecuencia de resonancia por debajo de los 90 Hz para evitar un bajo aislamiento a bajas frecuencias en que, además, la frecuencia crítica de cada pared simple también debilita el aislamiento. Para locales musicales la frecuencia de resonancia debe colocarse por debajo de los 30 Hz para evitar la coincidencia con las octavas de 63 Hz y 125 Hz, en que el nivel sonoro generado en estos locales es elevado.

Para frecuencias inferiores a la de resonancia la pared doble se comporta como una pared simple con  $m=m_1+m_2$ ; para frecuencias superiores el aislamiento es superior al de sólo la masa y para  $f=f_0$  el aislamiento es inferior al que se obtendría con una pared simple de masa  $m_1+m_2$ .

## TRANSMISIONES INDIRECTAS

La emisión de ruido aéreo que impacta contra las paredes o forjados de una estructura se propaga por múltiples caminos o vías de transmisión directa o indirecta de la vibración generada. El conocimiento de esas vías o caminos de transmisión es básico para dictaminar soluciones de aislamiento completas. Como referencia de la pérdida de aislamiento que puede tener una partición debido a las transmisiones indirectas, se puede decir que:

- En construcciones homogéneas, cuando el elemento separador y los adyacentes son de la misma masa, las transmisiones por vía indirecta reducen el aislamiento del elemento separador en alrededor 5 dB.
- En construcciones no homogéneas, cuando el elemento separador tiene una masa sensiblemente superior a la de los adyacentes, la reducción es superior a 5 dB.
- En construcciones no homogéneas, cuando el elemento separador es ligero en comparación con los adyacentes, las transmisiones por vía indirecta pueden despreciarse frente a la transmisión directa.

## A RUIDO DE IMPACTO

El ruido transmitido por una estructura está producido por fuerzas dinámicas que actúan sobre ella. Estas fuerzas pueden provenir de fuentes estables (unidades impulsoras de aire acondicionado, lavadoras, bombas hidráulicas...) o bien de fuentes de impacto (pisadas, portazos, caídas de objetos...). Cualquier fuerza de vibración introducida en una estructura, puede recorrerla llevando lejos parte de esa energía que será radiada por las superficies en contacto con la estructura.

## NIVEL DE PRESIÓN DE RUIDO DE IMPACTOS NORMALIZADO

El nivel de presión de ruido de impactos normalizado ( $L_n$ ) es el nivel de presión de ruido de impactos  $L_i$  (nivel de presión sonora medio en banda de un tercio de octava en la cámara receptora cuando el suelo bajo ensayo es excitado por la máquina de impactos normalizada, expresado en dB) aumentado mediante un término de corrección, dado en dB, que es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el área de absorción equivalente medido  $A$  de la cámara receptora y el área de absorción equivalente de referencia  $A_0$ , expresado en dBA.

$$L_n = L_i + 10 \log \left( \frac{A}{A_0} \right)$$

donde  $A$  puede obtenerse a partir del volumen de la sala y de su tiempo de reverberación.

## MEJORA DEL AISLAMIENTO A RUIDO DE IMPACTO

Para una banda de tercio de octava dada, la reducción del nivel de presión de ruido de impactos normalizado resultante de la instalación del revestimiento bajo ensayo, se expresa en decibelios:

$$\Delta L = L_{n0} - L_n$$

con  $L_{n0}$  el nivel de presión de ruido de impactos normalizado de un forjado pesado normalizado sin revestimiento alguno y  $L_n$  es el nivel de presión de ruido de impactos normalizado de un forjado pesado normalizado con el revestimiento.

## EXPRESIÓN DEL AISLAMIENTO EN UN ÚNICO VALOR

La norma ISO 717-2 normaliza un método por el cual la dependencia frecuencial del aislamiento a ruido de impactos se convierte en un solo número que caracteriza las propiedades acústicas (el comportamiento acústico). Las magnitudes globales definidas en esta norma pretenden clasificar el aislamiento acústico y simplificar la formulación de los requisitos acústicos en los códigos de la edificación.

- Magnitud global para la valoración del aislamiento a ruido de impactos ( $L_{n,w}$ ) -derivada de mediciones en bandas de tercio de octava-: es el valor en decibelios, a 500 Hz, de la curva de referencia una vez ajustada a los valores experimentales según el método especificado en la norma ISO 717-2.
- Reducción ponderada del nivel de presión sonora de impactos: es la diferencia entre los niveles ponderados de la presión de impactos normalizada de un suelo de referencia sin y con un revestimiento del suelo obtenidos con el método especificado en la norma ISO 717-2. Esta magnitud se designa con  $\Delta LW$  y se expresa en decibelios.
- Término de adaptación espectral,  $C$ : es el valor en decibelios que ha de añadirse a la magnitud global para tener en cuenta la carencia de ponderación del nivel sonoro de impactos, por lo cual representa las características de espectro del ruido de pasos.

## NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA DE IMPACTOS EN FORJADOS HOMOGÉNEOS

Así como en las paredes simples (aislamiento acústico a ruido aéreo) el factor predominante de aislamiento es la masa ( $\text{kg/m}^2$ ), en los forjados homogéneos se cumple que la suma del índice de reducción a ruido aéreo  $R$  y el nivel de presión de ruido de impactos normalizado  $L_n$  sólo depende de la frecuencia. Por tanto se puede estimar  $L_n$  para cada banda de octava según:

$$L_n = 43 + 30 \log f - R$$

## SUELOS FLOTANTES

Los suelos flotantes atenúan la energía del impacto transmitida a la estructura del edificio colocando, entre el forjado estructural y el elemento que recibe los impactos, un material elástico que absorbe parte de la energía transmitida por el elemento que sufre el impacto. El nivel de atenuación de ruidos de impacto de una losa flotante depende de la naturaleza y espesor de la capa elástica (definida por la rigidez dinámica del material) y de la masa superficial propia más sobrecarga del elemento flotante. Estos dos factores determinan la frecuencia de resonancia  $f_0$  del sistema según:

$$f_0 = 160 \sqrt{s'/m'}$$

$s'$ : rigidez dinámica por unidad de área de la capa elástica en MN/m<sup>3</sup>

$m'$ : densidad superficial de masa del suelo flotante en kg/m<sup>2</sup>

Cuanto menor sea la frecuencia de resonancia de un sistema, mayor será la atenuación conseguida, siempre teniendo en cuenta que no debe sobrecargarse la capa elástica con demasiado peso que la comprima en exceso. La reducción  $\Delta L$  en dB por tercios de octava para la frecuencia central  $f$  y suelos flotantes húmedos es:

$$\Delta L = 30 \log \frac{f}{f_0}$$

## 6.SILENCIADORES

Un silenciador puede ser definido como un filtro acústico que se inserta en conductos que transportan fluidos (aire o gases). Los silenciadores se pueden clasificar según su funcionamiento en: disipativos o absorbentes y reactivos.

Los silenciadores absorbentes contienen materiales porosos o fibrosos y su funcionamiento depende de la absorción de estos materiales.

Los silenciadores reactivos no contienen materiales absorbentes pero su funcionamiento depende de la reflexión o expansión de las ondas sonoras y utilizan la autocancelación como mecanismo básico de reducción de ruido. Algunos tipos de silenciadores combinan las características de los silenciadores disipativos y reactivos.

### SILENCIADORES DISIPATIVOS

Este tipo de silenciadores es ampliamente usado en tratamientos de control de ruido donde se mueven grandes volúmenes de fluido (aire, gas, etc.) a una presión estática relativamente baja. Se utilizan para el control del ruido en frecuencias medias y altas. Su capacidad de reducción de ruido se basa en la absorción de una gran parte de la energía incidente en el interior de los conductos.

Están formados por cámaras y conductos que han sido revestidos con materiales que poseen un alto coeficiente de absorción. La absorción obtenida con este silenciador depende en gran medida de la cantidad y coeficientes de absorción de los materiales utilizados.

La atenuación sonora que introducen está limitada por el ruido autogenerado, que se produce por el rozamiento del fluido sobre las superficies absorbentes que recubren las paredes del silenciador.

### CONDUCTOS REVESTIDOS

Es la forma más sencilla de silenciador disipativo. Consiste en revestir interiormente el conducto con un material que posea un elevado coeficiente de absorción. La atenuación de este tipo de silenciador depende tanto del perímetro del conducto revestido de material absorbente como de su longitud.

### SILENCIADORES RECTANGULARES

Poseen una atenuación similar a los conductos revestidos pero con mucha menor longitud. Esto se logra insertando separadores o baffles, construidos con materiales absorbentes, en el interior del conducto. La atenuación que introducen está ligada al número, forma, disposición y longitud de los baffles absorbentes.

### SILENCIADORES CILÍNDRICOS

Estos dispositivos siguen un principio similar al del conducto revestido con material absorbente. La diferencia está en que pueden incluir un separador central a modo de núcleo, consistente en un baffle cilíndrico concéntrico al silenciador, que incrementa la superficie revestida de absorbente y, por tanto, la atenuación del silenciador.

## REJILLAS ACÚSTICAS

Una rejilla acústica es un silenciador muy corto con una gran área transversal y es, por tanto, la combinación de una rejilla normal con un silenciador disipativo. Las rejillas acústicas se utilizan en cerramientos acústicos en los que se necesita mucha ventilación y además sirven cuando la longitud disponible está limitada pero no el área frontal.

## SILENCIADORES REACTIVOS

Los silenciadores reactivos consisten en una o más cámaras de expansión por las cuales pasa el frente de onda que se va atenuando. La atenuación se produce por reflexión, ya que la onda sonora que se desplaza por el conducto encuentra una discontinuidad con un cambio brusco de impedancia, con lo cual sólo una pequeña parte de la energía fluye a través de la discontinuidad y el resto de la energía se convierte en una onda reflejada con origen en la discontinuidad y que se propaga en sentido hacia la fuente.

El comportamiento de un silenciador reactivo es selectivo espectralmente. Por esta razón el silenciador debe estar diseñado o sintonizado a una frecuencia concreta, característica de la fuente emisora a silenciar. Estos silenciadores se utilizan frecuentemente cuando el ruido que se quiere atenuar contiene tonos puros a frecuencias fijas (pej. máquinas rotatorias), pero pierde efectividad cuando se utiliza en conductos de gran diámetro y a altas frecuencias.

## PÉRDIDA POR INSERCIÓN

Este parámetro permite evaluar el comportamiento acústico de un silenciador. La pérdida por inserción (**IL**: *insertion loss*) corresponde a la diferencia de dos niveles de presión sonora medidos en el mismo punto, antes y después de insertar el silenciador. Se obtiene mediante la expresión:

$$IL = L_P - L'_P$$

$L_P$  nivel sonoro medido en un punto sin el silenciador.

$L'_P$  nivel sonoro medido en el mismo punto una vez se ha colocado el silenciador.

## REDUCCIÓN DE RUIDO

Una alternativa para evaluar el comportamiento de un silenciador de forma más minuciosa es el índice **NR** (*Noise Reduction*). Corresponde a la diferencia entre el nivel de presión sonora medido en el extremo del silenciador que da a la fuente y en el extremo opuesto. Se obtiene mediante la expresión:

$$NR = L_{P1} - L_{P2}$$

$L_{P1}$  nivel sonoro medido en el extremo del silenciador que da a la fuente.

$L_{P2}$  nivel sonoro medido en el extremo del silenciador opuesto.

Generalmente el comportamiento de un silenciador viene dado espectralmente, con lo cual se tiene un valor en dB para cada banda de octava.



C/ Narcís Monturiol, Nave 1-A, Políg. Ind. Can Magre  
Apartado de Correos 24  
08187 Sta. Eulàlia de Ronçana Barcelona (Spain)  
Tel. +34 938 449 476  
Fax. +34 938 449 478  
[www.sintecinsonorizacion.com](http://www.sintecinsonorizacion.com)  
e-mail: [sintec@sintecinsonorizacion.com](mailto:sintec@sintecinsonorizacion.com)