

ANEJO 1

Conceptos previos

ÍNDICE

A1.1	PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LAS ONDAS SONORAS	A1-3
A1.1.1	Amplitud	A1-3
A1.1.2	Período y frecuencia	A1-3
A1.1.3	Longitud de onda	A1-3
A1.1.4	Velocidad de propagación	A1-4
A1.2	ANÁLISIS ESPECTRAL: LAS BANDAS DE FRECUENCIA	A1-4
A1.3	LA ESCALA DE MEDIDA: EL dB	A1-6
A1.4	TIPOS DE RUIDO	A1-6
A1.5	CAMPO SONORO	A1-7
A1.6	AISLAMIENTO ACÚSTICO Y ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO	A1-8
A1.7	AISLAMIENTO ACÚSTICO	A1-10
A1.7.1	El ruido en la edificación	A1-10
A1.7.2	El problema del aislamiento acústico en obra	A1-11
A1.7.2.1	Vías de transmisión del sonido	A1-11
A1.7.2.2	Diferencias entre la NBE CA 88 y el DB HR del CTE	A1-12
A1.7.3	Aislamiento acústico a ruido aéreo	A1-13
A1.7.3.1	Índices de aislamiento acústico a ruido aéreo	A1-13
A1.7.3.2	Índices de aislamiento acústico para ruido aéreo exterior	A1-14
A1.7.3.3	Aislamiento acústico global expresado en dBA	A1-14
A1.7.3.4	Ley de masa para particiones de una hoja	A1-16
A1.7.3.5	Aislamiento mixto	A1-17

A1.7.4	Aislamiento acústico de fachadas	A1-19
A1.7.5	Aislamiento acústico a ruido de impactos	A1-20
	A1.7.5.1 Índices de aislamiento acústico a ruido de impactos	A1-20
A1.7.6	Resumen de las magnitudes de aislamiento acústico utilizadas en el DB HR	A1-21
	A1.7.6.1 Aislamiento acústico a ruido aéreo	A1-21
	A1.7.6.2 Aislamiento acústico a ruido de impactos	A1-22
A1.7.7	Las mejoras de aislamiento	A1-22
A1.8	ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO	A1-23
A1.8.1	Tiempo de reverberación y absorción acústica	A1-23
A1.8.2	Inteligibilidad de la palabra	A1-24

A1.1 Parámetros característicos de las ondas sonoras

Las ondas sonoras se caracterizan por los parámetros siguientes:

A1.1.1 Amplitud

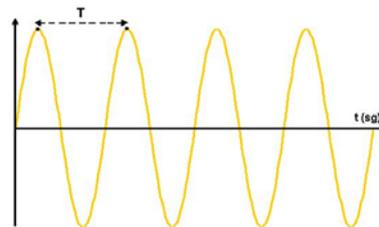
La **amplitud** es la magnitud con que se expresan las variaciones de presión de una onda sonora y es la responsable de la sensación sonora de intensidad o volumen de un sonido; a mayor amplitud mayor intensidad.

La unidad de medida absoluta de la amplitud es el Pascal ($\text{Pa} = \text{N/m}^2$). El rango audible está entre $20 \mu\text{Pa}$ y 100 Pa . Sin embargo, esta escala no es muy manejable al tener que manejar muchísimos valores fluctuando entre esos márgenes. Por otra parte el oído no responde a los estímulos de forma lineal sino logarímicamente. Por tanto se utiliza una escala relativa, en decibelios (dB), utilizando como referencia los $20 \mu\text{Pa}$ del umbral de audición.

A1.1.2 Período y frecuencia

El **período (T)** es el tiempo que tarda en producirse una oscilación completa. Se mide en segundos.

$$T = \frac{1}{f} \text{ [s]}$$

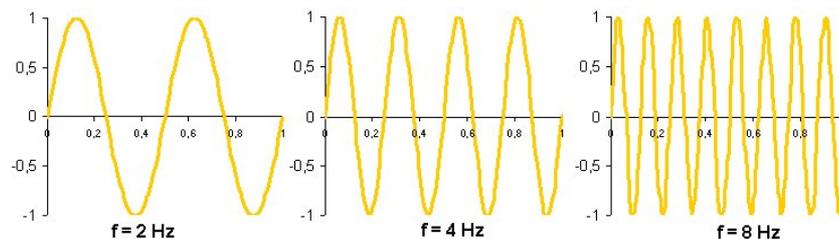


La **frecuencia (f)** es el número de oscilaciones (ciclos) por segundo. La unidad de medida es el Hertzio (Hz) que corresponde a un ciclo por segundo. El rango de frecuencias audibles para el oído humano va desde los 20 Hz a los 20kHz, siendo los valores por debajo de este margen infrasonidos y los valores por encima se ultrasonidos.

La frecuencia determina el tono de un sonido, siendo las frecuencias más bajas las que se corresponden con los sonidos graves y las frecuencias más altas las que se corresponden con los sonidos agudos.

Se calcula como el inverso del período:

$$f = \frac{1}{T} \text{ [Hz]}$$

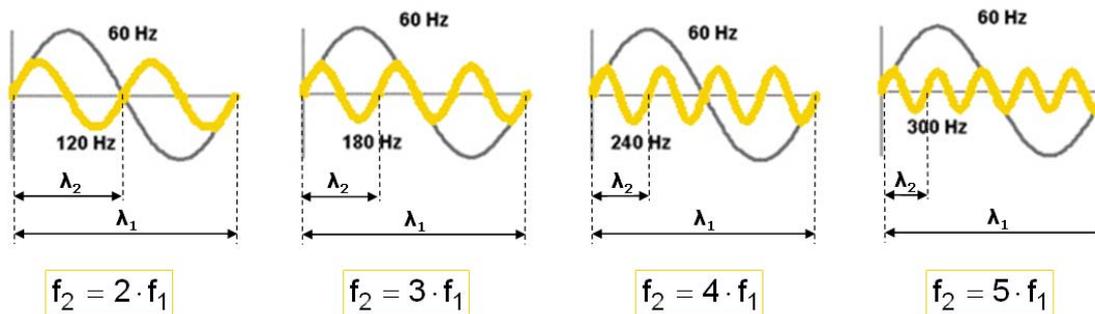


A1.1.3 Longitud de onda

La **longitud de onda (λ)** es la distancia recorrida por la onda en un ciclo o período completo. Se mide en unidades de longitud (m). Se relaciona con la frecuencia, el período y la velocidad de propagación del sonido:

$$c = \lambda \cdot f \text{ [m/s]}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ [m]}$$



A1.1.4 Velocidad de propagación

La velocidad de propagación del sonido es la velocidad con que se desplazan las ondas sonoras en un medio elástico. Depende de las condiciones ambientales (presión y temperatura). Cuando el medio de propagación es el aire, la velocidad del sonido es:

$$c = 344 \text{ [m/s]}$$

El sonido viaja mucho más deprisa en los sólidos que en el aire. Por ejemplo, la velocidad del sonido en ladrillo es aproximadamente 9 veces mayor que en el aire.

A1.2 Análisis espectral: Las bandas de frecuencia

Generalmente, las fuentes de ruido en edificación no son emisoras de una única frecuencia (tono puro) sino que generan sonidos que se componen de una combinación de ondas sonoras, a distintas frecuencias, y con distinto nivel de energía para cada una de ellas. Un **espectro sonoro** será, por tanto, la representación de los niveles de presión sonora en función de estas frecuencias, es decir, cómo se distribuye la energía de un sonido en función de las frecuencias que lo componen.

El interés del análisis espectral radica en que el comportamiento acústico de los materiales y de los sistemas constructivos depende de la frecuencia, así como de la respuesta del oído humano.

El aislamiento acústico y la absorción acústica dependen de la frecuencia.

En el análisis espectral se utilizan grupos de frecuencias de anchos normalizados: octavas o tercios de octava, normalmente. Posteriormente será posible caracterizar un ruido, un aislamiento, etc. mediante un único valor global en dB(A).

Banda de octava: Grupo de frecuencias comprendidas entre dos frecuencias f_1 y f_2 que cumplen:

$$f_2 = 2 \cdot f_1 \text{ [Hz]}$$

La frecuencia central de esta banda cumplirá: $f_c = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$ [Hz]

Se utilizan las octavas que tienen como frecuencia central:

125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
-----	-----	-----	------	------	------	------	----

En acústica arquitectónica, para aislamientos acústicos a ruido aéreo y a ruido de impactos, se suelen utilizar las bandas de octava de 125 a 4000 Hz.

Banda de 1/3 de octava: Se divide la octava en tres partes. Con un análisis en 1/3 de octava se obtiene información más detallada.

En cada banda se cumple la relación: $f_2 = 2^{1/3} \cdot f_1$ [Hz]

Y la relación entre los extremos de la banda y la frecuencia central:

$$f_1 = \frac{f_c}{2^{1/6}} \text{ [Hz]}$$

$$f_2 = f_c \cdot 2^{1/6} \text{ [Hz]}$$

Las frecuencias centrales de las bandas de 1/3 de octava son las siguientes:

OCTAVA (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1/3 OCTAVA (Hz)	100 125 160	200 250 315	400 500 630	800 1000 1250	1600 2000 2500	3150 4000 5000	6300 8000 10000

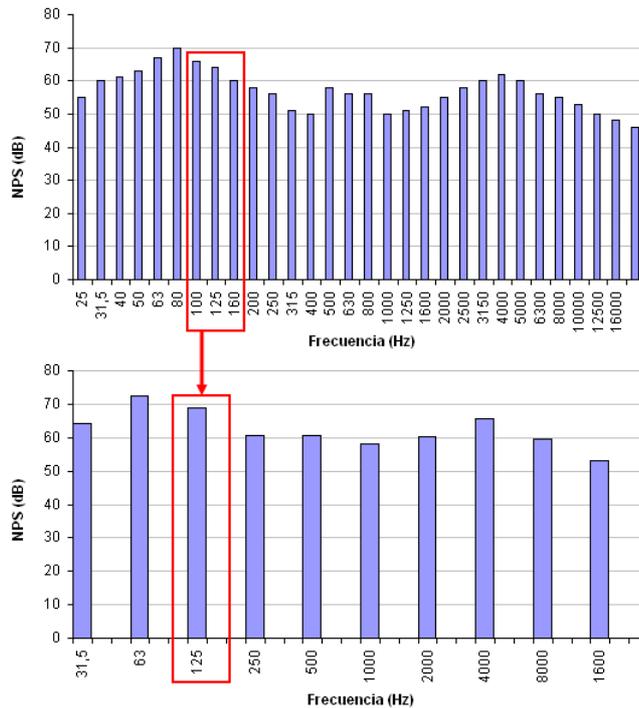


Figura A1.1 – Representación del espectro de un sonido en bandas de octava y de 1/3 de octava

A la frecuencia central de cada banda se le asigna el nivel resultante de componer los niveles de todas las frecuencias contenidas entre los límites superior e inferior del intervalo:

Ejemplo: Composición de niveles

$f_{1/3 \text{ OCT}}$	NPS (dBA)	f_{OCT}	NPS (dBA)
800 Hz	55 dBA	1000 Hz	64,3 dBA
1000 Hz	56 dBA		
1250 Hz	63 dBA		

$$NPS_{\text{Total } 1000\text{Hz}} = 10 \cdot \log \left(\sum_{i=1}^3 10^{\frac{NPS_i}{10}} \right) = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{55}{10}} + 10^{\frac{56}{10}} + 10^{\frac{63}{10}} \right) = 64,3 \text{ dBA}$$

A1.3 La escala de medida: El dB

Como se ha visto anteriormente el margen de variación de la presión acústica dentro del rango audible por el oído humano es muy amplio y, por tanto, se utiliza el **nivel de presión sonora (NPS ó L_p)** que se expresa en decibelios (dB). Existe una relación logarítmica entre la presión sonora y el nivel de presión sonora que consiste en comparar un determinado valor de presión sonora con un valor de referencia:

$$L_p = 10 \cdot \log\left(\frac{p^2}{p_0^2}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{p}{p_0}\right) \text{ [dB]}$$

Donde:

V volumen del recinto receptor, [m³]

L_p nivel de presión sonora, [dB]

p presión sonora, [Pa];

p_0 presión sonora de referencia de valor 20 μ Pa, que coincide con el umbral de audición.

Para adaptar el nivel de presión sonora (dB) a la sensibilidad del oído humano se aplican unas correcciones (reducción o aumento de nivel) y se obtienen niveles ponderados. La ponderación más utilizada, ya que es la que mejor refleja la respuesta del oído para niveles habituales de ruido, es la **curva de ponderación A**, obteniendo a partir de ella niveles ponderados A (dBA).

Frecuencia (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630
Curva de ponderación (dBA)	-19,1	-16,1	-13,4	-10,9	-8,6	-6,6	-4,8	-3,2	-1,9
Frecuencia (Hz)	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Curva de ponderación (dBA)	-0,8	0	0,6	1,0	1,2	1,3	1,2	1,0	0,5

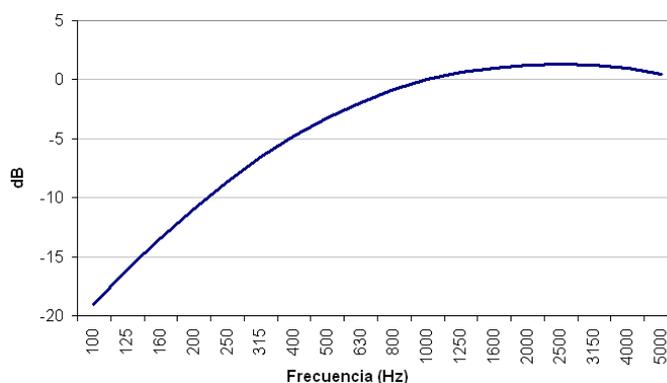


Figura A1.2 – Curva de ponderación A

Además de la Curva de Ponderación A, existen otras ponderaciones: B, C, D, con distintos usos.

A1.4 Tipos de ruido

Una vez definido el ruido (sonido indeseado) se puede hacer una clasificación del mismo atendiendo a dos dominios diferentes: tiempo y frecuencia.

Clasificación en el dominio del tiempo

- **Ruido estacionario:** Ruido cuyo nivel de presión sonora permanece constante a lo largo del tiempo. Por ejemplo, el ruido procedente de una unidad de aire acondicionado o de un motor eléctrico.
- **Ruido fluctuante:** Ruido cuyo nivel de presión sonora varía en función del tiempo. Las fluctuaciones pueden ser periódicas o aleatorias (no periódicas). Por ejemplo, el tráfico rodado.

- **Ruido intermitente:** Ruido que aparece solamente en determinados instantes. Por ejemplo, el accionamiento de un taladro.
- **Ruido impulsivo:** Ruido cuyo nivel de presión sonora aumenta de manera muy acusada por encima del ruido de fondo en instantes muy cortos de tiempo (impulsos). Los impulsos pueden presentarse de manera aleatoria o repetitiva. Suele ser bastante más molesto que el ruido continuo. Por ejemplo, una sucesión de martillazos.

Clasificación en el dominio de la frecuencia

- **Ruido Blanco:** Es un tipo de ruido con espectro plano, es decir, tiene la misma energía en todas las frecuencias. Si se representa esta energía en bandas de frecuencia el nivel aumenta 3dB por octava.
- **Ruido Rosa:** Es un tipo de ruido que no tiene respuesta uniforme en todo el ancho de banda, sino que el nivel de energía decrece a razón de 3dB por octava. Si se representa esta energía en bandas de frecuencia vemos que el nivel permanece constante.
- **Ruido Tonal:** Este tipo de ruido presenta en su espectro una marcada componente tonal y es puede oírse claramente el tono puro. Suele presentar armónicos de la frecuencia fundamental. Por ejemplo, un ventilador o un compresor.

Otros criterios

Por otra parte, en edificación es habitual diferenciar el ruido en función de su origen y forma de propagación. Se pueden distinguir:

- **Ruido aéreo:** Ruido que tiene origen en una perturbación en el aire, se transmite a través del aire (u otro medio sólido) y es percibido por el receptor a través del aire. Por ejemplo, ruido de tráfico o una conversación.
- **Ruido de impactos o ruido estructural:** Ruido que tiene origen en la excitación mecánica de elementos sólidos, se transmite por vía sólida (estructural) y es percibido por el receptor a través del aire. Dado que los sólidos tienen menor amortiguamiento interno, el ruido de impactos se transmite a gran distancia. Por ejemplo, pisadas, caídas de objetos o vibraciones de equipos e instalaciones.

A1.5 Campo sonoro

El sonido producido por una fuente continua dentro de un recinto cerrado, incide sobre las superficies límites del mismo, reflejándose una parte -absorbiéndose otra-, tendiendo estas reflexiones a aumentar el nivel de presión sonora en el recinto.

Cada nueva reflexión será afectada por el coeficiente de absorción de la superficie, disminuyendo así su intensidad (de forma diferente en cada frecuencia, según las características del material). También habrá disminución de intensidad por recorrido de distancia.

Se denomina **campo sonoro** en un recinto al valor que adquiere la presión sonora en cada punto del espacio. Tiene dos componentes:

Campo directo: Es aquella zona en la que el sonido llega a un punto determinado en línea directa desde la fuente, sin ninguna reflexión.

El nivel de presión sonora en el campo directo disminuye con la distancia a la fuente a razón de -6dB cada vez que se duplica la distancia (para fuentes puntuales).

Campo reverberante: Es aquella zona en la que el sonido sufre multitud de reflexiones que se superponen entre sí dando lugar a una distribución prácticamente uniforme del sonido, de manera que el nivel de presión sonora se mantiene constante.

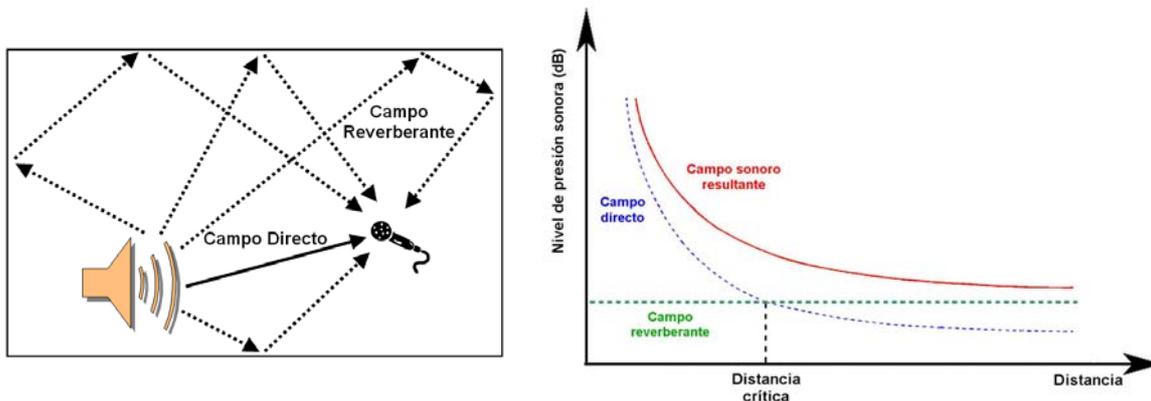


Figura A1.3 – Campo directo y campo reverberante

Analizando la relación temporal entre el sonido directo y el sonido reflejado (véase figura A1.4):

- La onda directa siempre será la primera en llegar al receptor, pues se propaga por el camino más corto posible.
- A partir de ese momento comienzan a llegar las distintas reflexiones.
- Si la separación temporal de onda directa y la primera reflexión supera un cierto tiempo, llega el fenómeno del eco. Asimismo, si el nivel de las ondas reflejadas es suficientemente alto, éstas se confunden con el sonido directo. Ambos fenómenos disminuyen la inteligibilidad de la sala.

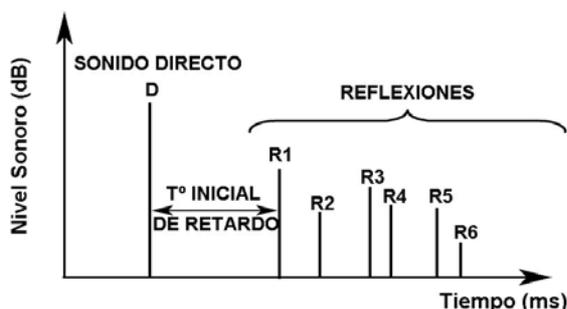


Figura A1.4 – Representación del sonido directo y reflejado en función del tiempo

A1.6 Aislamiento acústico y acondicionamiento acústico

Aislamiento acústico y acondicionamiento acústico son los dos conceptos principales en el ámbito de la acústica arquitectónica o acústica de la edificación. Los objetivos de uno y otro, aunque relacionados entre sí, son distintos pero deben emplearse conjuntamente para unir y complementar su potencial.



Aislamiento acústico

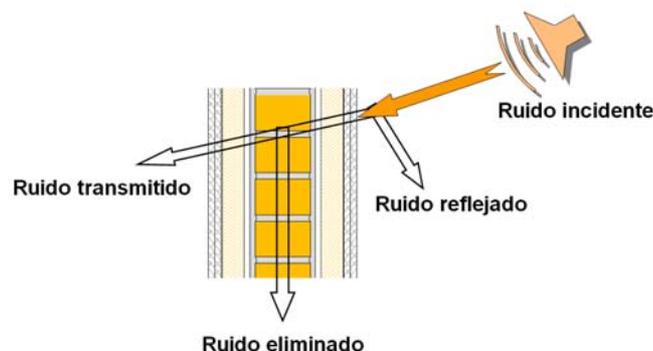
Se entiende por **aislamiento** al conjunto de procedimientos empleados para reducir o evitar la transmisión de ruidos (tanto aéreos como estructurales) de un recinto a otro o desde el exterior hacia el interior de un recinto o viceversa, con el fin de obtener una calidad acústica determinada. Cuando se habla de aislamiento siempre se tiene en consideración a dos recintos diferentes, es decir, se considera el sonido que se genera en un recinto, que se transmite y es percibido en otro recinto.

El aislamiento depende de las propiedades de los materiales, de las soluciones constructivas utilizadas y del contexto arquitectónico que las integra.

Definido en términos de magnitud física el aislamiento es la cantidad de energía sonora que se atenúa al propagarse del recinto emisor al recinto receptor. Cuando hablamos del aislamiento acústico de un elemento constructivo, nos referiremos a la cantidad de ruido que es capaz de disipar.

De la energía acústica incidente en una partición:

- Una parte es reflejada por la superficie;
- Una parte es absorbida por la superficie;
- El resto se transmite.



Al cociente entre la energía transmitida (E_t) y la energía incidente (E_i) se le llama **Coefficiente de transmisión**, siendo su inversa las **Pérdidas de transmisión o Aislamiento** (recordemos que esta magnitud es dependiente de la frecuencia):

$$PT = R = 10 \cdot \log \left(\frac{E_i}{E_t} \right) \quad [\text{dB}]$$

Acondicionamiento acústico

A diferencia del aislamiento acústico, el acondicionamiento acústico implica a un único recinto, es decir, el sonido es generado y percibido en el mismo recinto.

Por **acondicionamiento acústico** se entiende una serie de medidas que se toman para conseguir en un recinto unas condiciones acústicas y un ambiente sonoro interior determinados conforme al uso que se le va a dar al recinto. Por ejemplo:

- Una iglesia tiene muchas superficies reflectantes y por ello tiene una alta reverberación.
- Un aula o una sala de reuniones deberán tener superficies absorbentes para conseguir una correcta inteligibilidad de la palabra.

Ya hemos visto lo que es el **ruido reverberante**: cuando la onda sonora se propaga en el recinto, ésta se va reflejando en las superficies del recinto. Estas reflexiones seguirán propagándose, volviendo a incidir en las superficies y dando lugar a reflexiones de mayor orden. Es muy importante considerarlo porque:

- Contribuye al aislamiento;
- Determina la inteligibilidad de la palabra;
- Se obtiene un determinado confort acústico (ambiente sonoro).

Un correcto acondicionamiento acústico está vinculado a los tiempos de reverberación, y, por tanto, a la absorción acústica de las superficies del recinto, y se logrará mediante revestimientos de las superficies interiores, reduciendo las componentes reflejadas del sonido.

El acondicionamiento acústico pretende crear espacios de calidad o confort acústico para las actividades que se vayan a desarrollar en él.

A1.7 Aislamiento acústico

A1.7.1 El ruido en la edificación

Las fuentes de ruido en edificación son muy diversas. Fundamentalmente se pueden clasificar en ruido aéreo y ruido de impactos, es decir, aquellos ruidos que se originan en el aire y aquellos ruidos que se generan en los sólidos. Esta clasificación de los ruidos es muy importante ya que en función de que la naturaleza de un ruido sea una u otra, los mecanismos de actuación para la reducción de ruido serán diferentes.

Los ruidos que aparecen en edificación provienen de focos emisores con origen diverso:

- Ruido exterior (tráfico rodado, trenes, aviones, actividades comerciales o industriales, etc.);
- Ruido interior (conversaciones, televisión, electrodomésticos e instalaciones y cualquier otro tipo de actividad de los vecinos);
- Ruido de máquinas (ascensores, sistemas de climatización, salas de máquinas);
- Ruido de impactos (caída de objetos al suelo, pisadas, etc.).

Ruido aéreo

Una fuente de ruido aéreo en edificación emite ondas sonoras que inciden sobre los sistemas constructivos separadores entre recintos. Cuando dicha onda sonora incide sobre el elemento constructivo, éste responde a la excitación entrando en vibración y convirtiéndose en un nuevo foco sonoro, que transmite el ruido al recinto colindante.

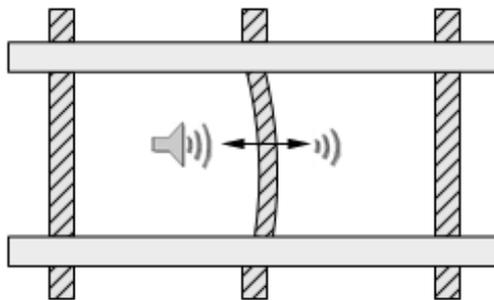
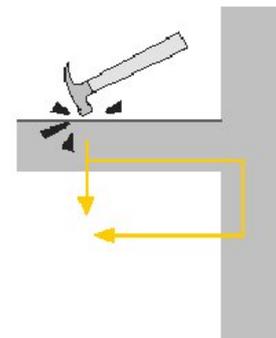


Figura A1.5 – Excitación de un elemento constructivo.

Ruido de impactos

Una fuente de ruido de impactos sobre el forjado de un recinto excita a éste mecánicamente; el forjado, o receptor del impacto, se convierte en un generador de ruido aéreo y estructural, originando una serie de vibraciones que se propagan por el forjado a los elementos constructivos conectados a éste, como pilares y tabiques, que son excitados y a su vez se convierten en fuentes de ruido aéreo. Habida cuenta que la velocidad de transmisión del ruido en los sólidos es más rápida que en el aire el ruido de impacto se transmite a gran distancia con muy escaso amortiguamiento.

La forma de actuar ante los ruidos de impacto consiste en interponer un material aislante elástico con el objeto de que la energía del impacto se transforme en una deformación elástica del material en vez de en energía sonora.



A1.7.2 El problema del aislamiento acústico en obra

A1.7.2.1 Vías de transmisión del sonido

El tema del aislamiento acústico en obra es un tema complejo ya que, como veremos a continuación, excepto bajo condiciones ideales de laboratorio, para determinar el aislamiento acústico de una partición hay que considerar que el sonido no se transmite de un recinto a otro únicamente a través de dicha partición sino que normalmente también se transmite a través de otras vías como conductos de instalaciones (de ventilación, por ejemplo), puentes acústicos, paredes laterales, etc.

La transmisión de ruido entre dos recintos (emisor y receptor), se produce por medio de dos vías diferenciadas (véase figura A1.6): la transmisión directa a través del elemento separador y la transmisión indirecta o por flancos.

El sonido no se propaga exclusivamente a través del elemento separador sino que existen otras vías de transmisión indirectas que tienen gran influencia en el aislamiento final in situ de un elemento constructivo.

Transmisión por vía directa:

Se produce a través del elemento de separación (Dd). Esta transmisión depende básicamente del tipo de elemento constructivo. La transmisión aérea directa incluye la transmisión (E), a través de rejillas, aireadores o dispositivos de menos de un metro cuadrado de superficie que atraviesen en el elemento de separación vertical.

Transmisión por vía indirecta:

Se distinguen dos tipos de transmisiones indirectas:

- Aérea indirecta, si la energía acústica se transmite de un recinto a otro a través de conductos de instalaciones tales como conductos tipo shunt, de aire acondicionado, falsos techos, suelos técnicos o puertas, (S).
- Transmisión indirecta estructural o por flancos, producida por las vibraciones de los elementos de flanco conectados al elemento de separación entre recintos. El campo acústico produce en los elementos constructivos una serie de vibraciones que no quedan confinadas en el elemento constructivo, sino que se disipan en parte en forma de calor, y en parte se transmiten a los elementos constructivos adyacentes. Ya sea desde el elemento de separación a un elemento de flanco (Df), desde un elemento de flanco al elemento de separación (Fd) o a través de los flancos. (Ff). Las transmisiones indirectas dependen del tipo de elementos constructivos de flanco y de sus formas de unión entre sí.

Asimismo, es muy importante vigilar la transmisión a través de **puentes acústicos**, por ejemplo cuando se conectan de forma rígida las dos hojas de una pared doble. Este defecto de ejecución puede darse por ejemplo en un paso de cables o de tuberías incorrecto, y va a degradar el aislamiento en gran medida.

En el caso de los conductos de instalaciones, por ejemplo, conductos de ventilación tipo shunt, deberá evitarse que los recintos emisor y receptor queden interconectados directamente a través de dichos conductos.

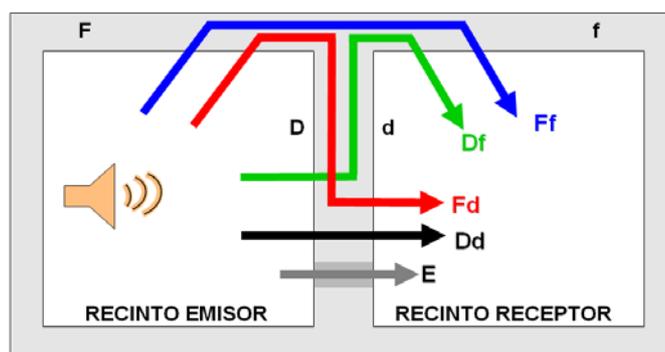


Figura A1.6 – Vías de transmisión del sonido entre dos recintos.

A1.7.2.2 Diferencias entre la NBE CA 88 y el DB HR del CTE

Todo esto que acabamos de ver acerca de las vías de propagación del sonido entre recintos pone de manifiesto cómo todos los elementos constructivos que conforman un recinto (y no sólo el elemento de separación como se ha considerado hasta ahora) están interrelacionados e influyen de forma conjunta en el valor de aislamiento final que se consiga.

La existencia de estas vías de transmisión indirectas además de la vía directa hace que el **aislamiento acústico final en obra** de un elemento, difiera del comportamiento en laboratorio, ya que aquí las transmisiones indirectas son despreciables. El nuevo enfoque del CTE se ajusta a un mejor comportamiento acústico de los elementos ya construidos ya que considera la existencia de todas estas vías de transmisión.

Para un mismo elemento constructivo, el aislamiento obtenido in situ, generalmente es menor que el aislamiento teórico o de laboratorio.

Respecto a la NBE-CA-88, el DB HR supone un aumento de las exigencias de aislamiento, lo que se traduce en un aumento del confort acústico de la edificación.

Otra de las diferencias, es que los índices que definen el aislamiento en el DB-HR y en la NBE CA-88 son distintos. El aislamiento de la norma básica se corresponde con el valor obtenido en laboratorio de los elementos constructivos; para ruido aéreo se trata del índice de reducción acústica ponderado A (R_A) y para ruido de impactos del nivel de presión de ruido de impactos de laboratorio (L_n).

Sin embargo, en el CTE, el aislamiento acústico a ruido aéreo viene definido como la diferencia de niveles estandarizada ponderada A, $D_{nT,A}$, que es un índice que evalúa el aislamiento a ruido aéreo entre recintos y no el aislamiento de elementos constructivos. Lo mismo sucede con el aislamiento a ruido de impactos, que está definido como el nivel global de presión de ruido de impactos estandarizado, $L'_{nT,w}$, que también evalúa el nivel de presión de ruido de impactos entre recintos y no únicamente el del forjado.

Tabla A1.1 – Índices en la NBE-CA-88 y en el DB HR

Índices de aislamiento	NBE-CA-88	DB HR - Protección frente al ruido
Ruido aéreo	R_A	$D_{nT,A}$
Ruido de impactos	L_n	$L'_{nT,w}$
Ruido procedente del exterior	a_g	$D_{2m,nT,Atr} / D_{2m,nT,A}$
	Valores de laboratorio	Valores obtenidos in situ

Además de las transmisiones por vía indirecta, existen otros motivos por los cuales el aislamiento acústico proporcionado por un elemento constructivo en una situación de campo es menor que el proporcionado por el mismo en laboratorio, como son:

- Defectos en la ejecución (falta de sellado, rozas no macizadas, etc.)
- Presencia de instalaciones que pueden actuar como puentes acústicos, transmitiendo el sonido entre las hojas que componen los elementos de separación.



Las nuevas exigencias de aislamiento del DB HR suponen que es necesario el cálculo de las transmisiones indirectas, y tener en cuenta que la solución constructiva no depende únicamente del elemento de separación, por ejemplo: una pared, sino de todos los elementos que están en contacto con ella, como son tabiques, fachada y forjados. Además se deberán poner en práctica, unas condiciones de ejecución en obra que eliminen los puentes acústicos que puedan disminuir el aislamiento final de la solución.

Otra de las aportaciones del CTE es la posibilidad medir el aislamiento in situ y obtener un valor comparable al de la exigencia. Esto no sucedía en la norma básica, en la que los índices son obtenidos en laboratorio. Por eso, en el caso de una medición in situ, el valor obtenido no es comparable con el valor de las exigencias de la NBE-CA-88.

El tratamiento de la envolvente del edificio, fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior es otra novedad en el CTE. El aislamiento a ruido aéreo de estos elementos se define en función del nivel de ruido exterior de la zona dónde se ubica el edificio y según el uso del recinto, y se expresa también mediante una magnitud de aislamiento in situ.

A1.7.3 Aislamiento acústico a ruido aéreo

A1.7.3.1 Índices de aislamiento acústico a ruido aéreo

El aislamiento acústico se puede determinar y expresar mediante una serie de índices. A continuación se muestran los principales índices empleados en aislamiento a ruido aéreo en acústica de la edificación:

Aislamiento acústico bruto o Diferencia de niveles entre recintos, D:

Es la diferencia, en dB, existente entre el nivel medio de presión sonora que existe en el recinto emisor (L_1) y el del recinto receptor (L_2). Es función de la frecuencia:

$$D = L_1 - L_2 \quad [\text{dB}]$$

Aislamiento acústico normalizado o Índice de reducción acústica, R^1 :

Es el aislamiento acústico, en dB, de un elemento constructivo medido en laboratorio. Es función de la frecuencia:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \cdot \lg \frac{S}{A} \quad [\text{dB}]$$

Como vemos la definición de este índice se basa en el aislamiento bruto, al que se le añade una corrección mediante el área de la muestra (S) y el área de absorción equivalente del recinto receptor (A).

- L_1 nivel medio de presión sonora en el recinto emisor, [dB];
- L_2 nivel medio de presión sonora en el recinto receptor, [dB];
- S área del elemento constructivo, [m²];
- A área de absorción acústica equivalente del recinto receptor, [m²].

Índice de reducción acústica aparente, R'^2 :

Es el aislamiento acústico, en dB, de un elemento constructivo medido in situ. Es función de la frecuencia:

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \cdot \lg \frac{S}{A} \quad [\text{dB}]$$

Diferencia de niveles estandarizada entre dos recintos interiores, D_{nT} :

Diferencia entre los niveles medios de presión sonora producidos en dos recintos por una o varias fuentes de ruido emitiendo en uno de ellos, normalizada al valor 0,5 s del tiempo de reverberación. Es función de la frecuencia:

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \cdot \lg \frac{T}{T_0} \quad [\text{dB}]$$

- T tiempo de reverberación del recinto receptor, [s]
- T_0 tiempo de reverberación de referencia, de valor 0,5 segundos, [s]

Relación entre las magnitudes D_{nT} y R' :

A partir de una magnitud se puede obtener la otra. En el DB-HR se emplea la magnitud D_{nT} .

$$D_{nT} = R' + 10 \cdot \lg \frac{0,16 \cdot V}{T_0 \cdot S_S} = R' + 10 \cdot \lg \left(\frac{0,032 \cdot V}{S_S} \right) \quad [\text{dB}]$$

¹ R: UNE EN ISO 140-3

² R': UNE EN ISO 140-4

V volumen del recinto receptor, [m³]

A1.7.3.2 Índices de aislamiento acústico para ruido aéreo exterior

El índice utilizado para expresar el aislamiento acústico entre un recinto y el exterior es el siguiente:

Diferencia de niveles estandarizada en fachadas, en cubiertas y en suelos en contacto con el aire exterior, $D_{2m,nT}$:

Aislamiento acústico a ruido aéreo, en dB, cuando la medida del nivel de ruido exterior, $L_{1,2m}$, se realiza a dos metros de la fachada. Es función de la frecuencia:

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \cdot \lg \frac{T}{T_0} \quad [\text{dB}]$$

Todas estas magnitudes dependen de la frecuencia. En principio siempre debería evaluarse el aislamiento de una solución constructiva analizando su espectro; sin embargo, para evaluar y comparar los resultados obtenidos tanto entre sí, como con las exigencias de la normativa, se puede caracterizar el aislamiento acústico mediante un único valor: **índice global ponderado para la valoración del aislamiento**, identificado mediante el **subíndice w** (por ejemplo, R_w , R'_w , $D_{nT,w}$, $D_{2m,nT,w}$, etc.)

El índice global representa el valor en dB, a 500 Hz de una curva de referencia que se desplaza para ajustarse a los valores de aislamiento obtenidos experimentalmente, según el método que especifica la norma UNE EN ISO 717-1.

Los índices globales dependen del espectro acústico de la fuente de ruido, por eso suelen acompañarse de un término de corrección espectral (C, C_{tr}):

- C es el término de adaptación espectral del índice de reducción acústica para ruido rosa incidente o ruido de tráfico ferroviario, en dB;

Se utilizará cuando estamos hablando de elementos constructivos y aislamiento acústico entre dos viviendas.

- C_{tr} es el término de adaptación espectral del índice de reducción acústica para ruido de automóviles y de aeronaves, en dB.

Se utilizará en los elementos constructivos y el aislamiento de fachadas.

Se obtienen del método de la curva de referencia de la norma UNE EN ISO 717-1.

Una vez que tenemos identificados los valores correspondientes al valor ponderado (por ejemplo, R_w), C y C_{tr} , la magnitud global se expresa de la siguiente manera $R_w(C; C_{tr})$.

Ejemplo:

En un catálogo de elementos constructivos podríamos encontrar un aislamiento ensayado en laboratorio de valor:

$$R_w(C; C_{tr}) = 52(-1;-4) \quad \rightarrow \quad R_w + C = 51 \text{ dB}$$

$$R_w + C_{tr} = 48 \text{ dB}$$

A1.7.3.3 Aislamiento acústico global expresado en dBA

Hemos visto cómo se expresan las magnitudes globales con los términos de adaptación espectral C y C_{tr} .

En el DB-HR del CTE las magnitudes de las exigencias de aislamiento a ruido aéreo tanto en interiores ($D_{nT,A}$) como frente al exterior ($D_{2m,nT,Atr}$, R_{Atr}), así como las magnitudes intermedias relativas al aislamiento de elementos constructivos (R_A), a los caminos de transmisión ($R_{Dd,A}$, $R_{Fd,A}$, $R_{Df,A}$, $R_{Ff,A}$), etc. vienen expresadas en dBA.

Un índice global expresado en dBA, lleva incorporado el término de adaptación espectral correspondiente.

Se aceptan como **aproximación**, para expresar las magnitudes en dBA, las relaciones siguientes:

Para los elementos constructivos:

$R_w + C$	como aproximación de R_A	entre recintos interiores
$R_w + C_{tr}$	como aproximación de R_{Atr}	entre un recinto y el exterior (automóviles)

Y para las magnitudes in situ:

$D_{nT,w} + C$	como aproximación de $D_{nT,A}$	entre recintos interiores
$D_{2m,nT,w} + C$	como aproximación de $D_{2m,nT,A}$	entre un recinto y el exterior (trenes)
$D_{2m,nT,w} + C_{tr}$	como aproximación de $D_{2m,nT,Atr}$	entre un recinto y el exterior (automóviles)

En el caso de aislamiento de fachadas a ruido de tráfico ($D_{2m,nT,Atr}$) y cuando no se disponga de la caracterización acústica de todos los elementos constructivos mediante los índices R_w , C y C_{tr} , se puede optar por calcular esta magnitud de forma conservadora mediante la expresión $D_{2m,nT,Atr} = D_{2m,nT,A} + C_{tr}$, utilizando como valor C_{tr} el coeficiente de adaptación espectral del elemento de aislamiento más débil (la ventana normalmente). Para el resto de elementos constructivos se podrá utilizar el índice global de reducción acústica, ponderado A (R_A).

En el DB HR se establece la siguiente definición para la Diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, entre recintos interiores, $D_{nT,A}$:

Es la valoración global, en dBA, de la diferencia de niveles estandarizada, entre recintos interiores, D_{nT} , para ruido rosa. Se define mediante la expresión siguiente:

$$D_{nT,A} = -10 \cdot \lg \sum_{i=1}^n 10^{(L_{Ar,i} - D_{nT,i})/10} \quad [\text{dBA}]$$

- $D_{nT,i}$ diferencia de niveles estandarizada en la banda de frecuencia i , [dB];
- $L_{Ar,i}$ valor del espectro normalizado del ruido rosa, ponderado A, en la banda de frecuencia i , [dBA];
- i recorre todas las bandas de frecuencia de tercio de octava de 100 Hz a 5 kHz.

En el caso de **aislamiento de fachadas** las magnitudes globales ponderadas A que se utilizan son las siguientes:

Diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, en fachadas, en cubiertas y en suelos en contacto con el aire exterior, $D_{2m,nT,A}$:

Valoración global, en dBA, de la diferencia de niveles estandarizada de una fachada, una cubierta o un suelo en contacto con el aire exterior, $D_{2m,nT}$, para ruido rosa:

$$D_{2m,nT,A} = -10 \cdot \lg \sum_{i=1}^n 10^{(L_{Ar,i} - D_{2m,nT,i})/10} \quad [\text{dBA}]$$

- $D_{2m,nT,i}$ diferencia de niveles estandarizada, en la banda de frecuencia i , [dB];
- $L_{Ar,i}$ valor del espectro normalizado del ruido rosa, ponderado A, en la banda de frecuencia i , [dBA];
- i recorre todas las bandas de frecuencia de tercio de octava de 100 Hz a 5 kHz.

En caso de ruido predominante de tráfico ferroviario o de estaciones ferroviarias también se utilizará este índice para la valoración global, pero usando los valores del espectro normalizado de ruido de tráfico ferroviario o de estaciones ferroviarias, ponderado A.

Diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, en fachadas, en cubiertas y en suelos en contacto con el aire exterior para ruido de automóviles, $D_{2m,nT,Atr}$:

Valoración global, en dBA, de la diferencia de niveles estandarizada de una fachada, una cubierta, o un suelo en contacto con el aire exterior, $D_{2m,nT}$ para un ruido exterior de automóviles:

$$D_{2m,nT,Atr} = -10 \cdot \lg \sum_{i=1}^n 10^{(L_{Atr,i} - D_{2m,nT,i})/10} \quad [\text{dBA}]$$

$D_{2m,nT,i}$ diferencia de niveles estandarizada, en la banda de frecuencia i , [dB];

$L_{Atr,i}$ valor del espectro normalizado del ruido de automóviles, ponderado A, en la banda de frecuencia i , [dBA];

i recorre todas las bandas de frecuencia de tercio de octava de 100 Hz a 5 kHz.

En caso de ruido predominante de aeronaves también se utilizará este índice para la valoración global, pero usando los valores del espectro normalizado de ruido de aeronaves, ponderado A.

Tabla A1.2 – Espectros normalizados.

Espectro normalizado de ruido rosa, ponderado A			
f_i (Hz)	$L_{Atr,i}$ (dBA)	f_i (Hz)	$L_{Atr,i}$ (dBA)
100	-30,1	800	-11,8
125	-27,1	1000	-11,0
160	-24,4	1250	-10,4
200	-21,9	1600	-10,0
250	-19,8	2000	-9,8
315	-17,8	2500	-9,7
400	-15,8	3150	-9,8
500	-14,2	4000	-10
630	-12,9	5000	-10,5

Espectro normalizado de ruido de automóviles, ponderado A			
f_i (Hz)	$L_{Atr,i}$ (dBA)	f_i (Hz)	$L_{Atr,i}$ (dBA)
100	-20	800	-9
125	-20	1000	-8
160	-18	1250	-9
200	-16	1600	-10
250	-15	2000	-11
315	-14	2500	-13
400	-13	3150	-15
500	-12	4000	-16
630	-11	5000	-18

Espectro normalizado de ruido ferroviario, ponderado A			
f_i (Hz)	$L_{Atr,i}$ (dBA)	f_i (Hz)	$L_{Atr,i}$ (dBA)
100	-20	800	-9
125	-20	1000	-8
160	-18	1250	-9
200	-16	1600	-10
250	-15	2000	-11
315	-14	2500	-13
400	-13	3150	-15
500	-12	4000	-16
630	-11	5000	-18

Espectro normalizado de ruido de aeronaves, ponderado A			
f_i (Hz)	$L_{Atr,i}$ (dBA)	f_i (Hz)	$L_{Atr,i}$ (dBA)
100	-23,8	800	-9,5
125	-20,2	1000	-10,5
160	-16,4	1250	-11,0
200	-13,1	1600	-12,5
250	-12,6	2000	-14,9
315	-10,4	2500	-15,9
400	-9,8	3150	-18,6
500	-8,5	4000	-23,3
630	-8,7	5000	-29,9

A1.7.3.4 Ley de masa para particiones de una hoja

Las particiones de una hoja son cerramientos compuestos por una sola capa de material o por varias capas de diferentes materiales que están rígidamente unidas entre sí (por ejemplo muros de hormigón, paredes de fabrica de ladrillo enlucidas, etc.) de manera que se mueve como se fueran una.

El aislamiento de una pared simple depende sobre todo de su masa por unidad de superficie, su rigidez y el amortiguamiento intrínseco en el material o en los bordes del panel.

Se espera un aumento en el aislamiento al aumentar la masa, ya que cuanto más pesada es la partición, menos vibra en respuesta a las ondas sonoras y, por tanto, menos energía radiará hacia el otro lado.

La **Ley de masa** es una expresión **teórica** que puede utilizarse para predecir el aislamiento de paredes homogéneas y simples en función exclusivamente de su masa:

$$R = 20 \cdot \log(m \cdot f) - 42 \quad [\text{dB}]$$

m densidad de masa por superficie, [kg/m^2]

f frecuencia, [Hz]

La constante depende según el autor.

La ley de masa predice que el aislamiento aumentará en 6dB al duplicar la masa superficial o la frecuencia (6dB/octava):

- Puede lograrse un aumento de masa aumentando el espesor del material o seleccionando materiales de mayor densidad de masa;
- Todos los materiales aíslan menos las bajas frecuencias (125 Hz, 250 Hz) que las frecuencias medias (500 Hz, 1000 Hz) y que las frecuencias altas (2000 Hz, 4000 Hz).

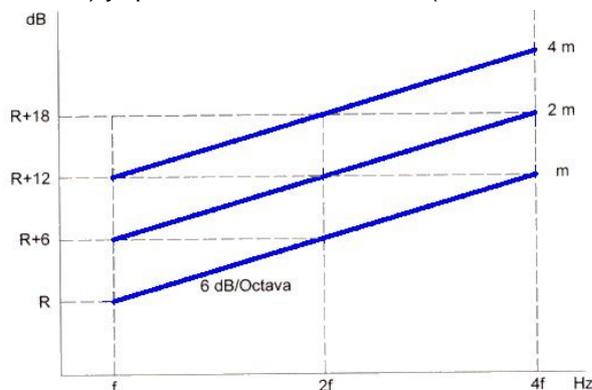


Figura A1.7 – Representación gráfica de la ley de masa.

La ley de masas se puede utilizar como primera aproximación para determinar el aislamiento de una partición pero no explica bien su comportamiento real. La ley de masa sólo se cumple en un cierto intervalo de frecuencias comprendida entre la *frecuencia de resonancia* (f_0) y la *frecuencia crítica o de coincidencia* (f_c) en las cuales tenemos una disminución importante del aislamiento:

- La frecuencia de resonancia (f_0): es la frecuencia a la que vibra de forma natural un tabique cuando recibe la onda acústica incidente; depende de la masa de la pared y de las sujeciones perimetrales de la hoja. Está en las bajas frecuencias e interesa que sea lo más pequeña posible para que se sitúe fuera del rango de frecuencias de interés. La f_0 disminuye al incrementar el espesor y las dimensiones de la pared.
- La frecuencia crítica o de coincidencia, (f_c): la energía acústica se transmite a través de la partición en forma de ondas de flexión, acopladas con las ondas acústicas en el aire, con la consiguiente disminución del aislamiento; depende exclusivamente del material de la pared y su espesor y no de sus dimensiones. La f_c disminuye al incrementarse el espesor de la partición.

También se buscaron expresiones que permitieran obtener un valor de **aislamiento acústico global** de un elemento constructivo a partir de su masa y, a partir de ensayos en laboratorio, se obtuvieron determinadas ecuaciones que constituyen la Ley de masa.

La Ley de masas empleada en el DB HR determina el aislamiento R_A en dBA, para un elemento constructivo de una hoja de materiales homogéneos, en función de la masa por unidad de superficie (m) expresada en kg/m^2 :

$$m \leq 150 \text{ kg/m}^2 \quad R_A = 16,6 \cdot \log(m) + 5 \quad [\text{dBA}]$$

$$m \geq 150 \text{ kg/m}^2 \quad R_A = 36,5 \cdot \log(m) - 38,5 \quad [\text{dBA}]$$

Los elementos constructivos formados por elementos blandos a flexión (aquellos con $f_c > 2000\text{Hz}$), por ejemplo, las particiones de placas de yeso laminado, no responden a estas ecuaciones. Su aislamiento suele mayor dependiendo en gran parte de su diseño y ejecución, por lo que aislamiento acústico se debe garantizar mediante ensayo.

A1.7.3.5 Aislamiento mixto

Un elemento constructivo mixto es aquel formado por dos o más partes de cuantías de aislamiento diferentes, hasta cubrir el total de la superficie. Es el caso de fachadas con ventanas, puertas, cristaleras, etc., el de cubiertas con claraboyas o el de paredes interiores con puertas.

El aislamiento acústico de estos elementos mixtos se calcula de la siguiente manera:

$$R_{m,A} = -10 \cdot \lg \left(\sum_{j=1}^n \frac{S_j}{S} \cdot 10^{\frac{-R_{i,A}}{10}} \right) \quad [\text{dBA}]$$

- $R_{m,A}$ índice global de reducción acústica ponderado A del elemento constructivo mixto, [dBA];
- $R_{i,A}$ índice global de reducción acústica ponderado A, del elemento i, [dBA];
- S área total del elemento constructivo mixto, [m²];
- S_i área del elemento i, [m²];

En esta ecuación, si un elemento constructivo tiene un aislamiento acústico menor que el de los demás elementos que constituyen la partición mixta, va a ser determinante en el aislamiento mixto final.

Las fachadas son el caso más representativo de elemento constructivo mixto; en ellas, estos elementos acústicamente más débiles y que limitan el aislamiento acústico que se puede alcanzar frente al ruido exterior suelen ser las ventanas.

En estos casos, el aislamiento mixto máximo que se puede obtener es 10 dB mayor que el aislamiento del elemento más débil (normalmente la ventana). Por ello, para mejorar el aislamiento acústico de fachadas, el esfuerzo hay que centrarlo en mejorar el aislamiento acústico de la ventana, empleando ventanas de mejor calidad.



La figura A1.8 ilustra esta influencia del elemento de menos aislamiento en el aislamiento global. Se puede apreciar cómo para porcentajes de huecos habituales 30 – 40 %, el aislamiento final que se puede obtener será como máximo entre 4 y 5 dB mayor que el valor de aislamiento de la ventana.

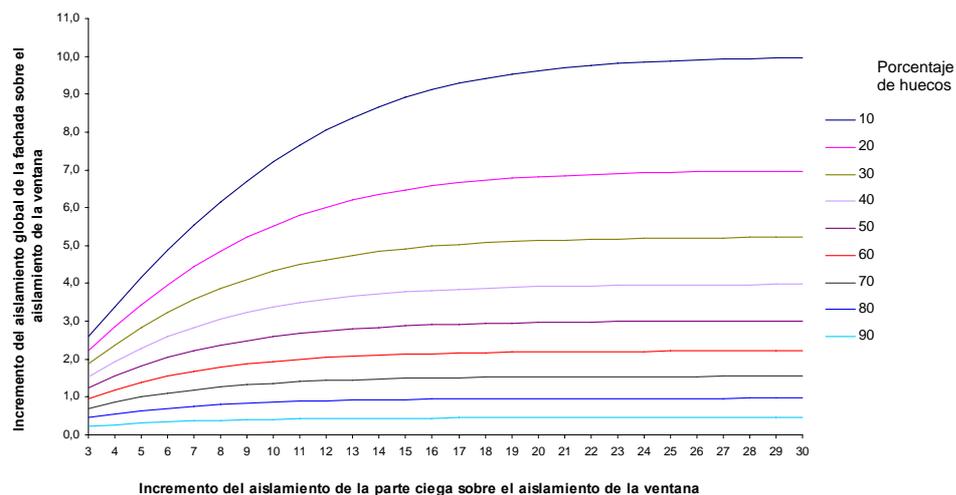


Figura A1.8 – Relación entre el aislamiento global, el aislamiento de la ventana y de la parte ciega, en función del % de huecos

Ejemplo: Aislamiento mixto

Se tiene un dormitorio de volumen $3,3 \times 3,5 \times 2,7 \text{ m} = 30,24 \text{ m}^3$ y 9 m^2 de fachada.

La parte ciega está formada por ladrillo macizo de 15 cm, con un índice de reducción sonora $R_{Atr} = 46 \text{ dBA}$ y se va a colocar una ventana de dimensiones $1,5 \times 1,5 \text{ m} = 2,25 \text{ m}^2$, con índice de reducción acústica $R_{Atr}=27 \text{ dBA}$.

En principio no cabe esperar un aislamiento mixto mayor que $27 + 10 = 37 \text{ dBA}$.

Si calculamos el aislamiento global:

$$R_{m,Atr} = -10 \cdot \lg \left(\frac{S_c \cdot 10^{-\frac{R_{A,tr,c}}{10}} + S_v \cdot 10^{-\frac{R_{A,tr,c}}{10}}}{S_{total,fachada}} \right) = -10 \cdot \lg \left(\frac{(9 - 2,25) \cdot 10^{-4,6} + 2,25 \cdot 10^{-2,7}}{9} \right) = 32,86 \text{ dBA}$$



A1.7.4 Aislamiento acústico de fachadas

Ya hemos visto cómo a la hora de estimar el aislamiento de una fachada tenemos que considerar a ésta no como un elemento homogéneo sino mixto. Existen tres componentes que dificultan esta estimación: la parte ciega, la carpintería y el acristalamiento; además, el aislamiento conseguido variará el función de la proporción de superficie acristalada con respecto a la superficie ciega. De estos tres elementos que componen la fachada, la parte ciega no presenta muchos problemas.

La calidad acústica de una **carpintería** viene fijada principalmente por su estanquidad al aire determinada mediante ensayo y clasificada por la normativa³ como Clase-1, Clase-2, Clase-3 y Clase-4. Es necesario elegir una carpintería con buena clasificación, normalmente Clases 3 y 4, y debe cuidarse el sellado del marco con la pared de fachada que es otra causa de debilitamiento acústico, llegando hasta pérdidas de entre 3 y 5 dBA (como indicaba la NBE-CA-88).

El **sistema de apertura** también tiene influencia en el aislamiento para una misma clasificación de carpintería, obteniéndose mayor aislamiento con ventanas abatibles que con correderas.

Otro elemento muy importante en la estanquidad de la carpintería es el **registro de la persiana** que puede provocar por sus rendijas pérdidas importantes de aislamiento. Se recomienda utilizar carpinterías con capialzado prefabricado frente al capialzado tradicional; cada vez es más frecuente la incorporación del capialzado a la propia carpintería de la ventana, de forma que la clasificación acústica comprenda al conjunto.

El capialzado exterior es el que proporciona una mayor estanquidad, no influye en el aislamiento y éste dependerá únicamente de la carpintería.

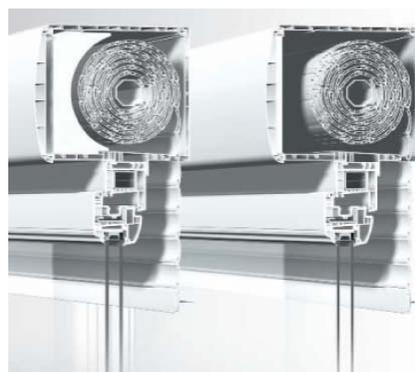


Figura A1.9 – Capialzado con y sin material absorbente.

Para minimizar estas pérdidas es recomendable rellenar el tambor de la persiana con un material absorbente acústico de al menos 25 mm de espesor de manera que se reduzca el ruido por absorción (véase figura A1.9) e incrementar la masa de la tapa de registro, por ejemplo añadiendo una lámina de plomo, una chapa de aluminio, una placa de yeso laminado, etc.

³ UNE EN 12207: 2000

En aquellos casos en los que el ruido exterior sea elevado, será necesario colocar una **ventana doble**. Colocando una carpintería con su registro de persiana correspondiente, enrasada por la cara interior de la fachada y colocando exteriormente otra carpintería enrasada por la cara exterior del muro, se consigue que las zonas de entrada del ruido en el registro queden dentro de la cámara formada por ambas carpinterías. El ancho de la cámara de aire que separa las hojas debe ser grande (más de 10cm), los vidrios gruesos y de distinto espesor y la estanquidad muy buena, siendo preferible evitar correderas en la hoja interior.

Por último, hay que considerar la influencia del **vidrio** según su capacidad como aislante acústico. Los tres tipos de acristalamientos principales son: monolítico, laminado y doble/triple y deberán elegirse en función de las necesidades de aislamiento que se requiera en cada situación.

Por otra parte, en fachadas también deben satisfacerse otros requisitos del CTE; en concreto, para facilitar el cumplimiento de la exigencia sobre **calidad del aire interior** desarrollada en el DB-HS3, una de las opciones, cuando se utilicen ventanas de Clase 2 o superior (recuérdese que por ruido se recomiendan Clases 3 y 4), es la disposición de **aireadores** en las carpinterías exteriores o en la parte opaca de la fachada. Estos aireadores pueden ser regulables y permiten la entrada de un caudal de aire fresco determinado en función del uso del local al que sirve y de su ocupación.

Los aireadores además deben cumplir con las exigencias de HR, por lo que deben proporcionar el aislamiento a ruido aéreo exterior adecuado.

A1.7.5 Aislamiento acústico a ruido de impactos

A1.7.5.1 Índices de aislamiento acústico a ruido de impactos

El aislamiento acústico se puede determinar y expresar mediante una serie de índices. A continuación se muestran los principales índices empleados en aislamiento a ruido de impactos en acústica de la edificación:

Nivel de presión de ruido de impactos normalizado, L_n :

Es el nivel de presión de ruido de impactos de un elemento constructivo horizontal ensayado en laboratorio cuando es excitado por la máquina de impactos normalizada. Es función de la frecuencia:

$$L_n = L + 10 \cdot \lg \frac{A}{10} \quad [\text{dB}]$$

L nivel de presión sonora de impactos medido en laboratorio (UNE EN ISO 140-6) en el recinto receptor, [dB]

Nivel de presión de ruido de impactos normalizado medido in situ, L'_n :

Es el nivel de presión de ruido de impactos de un elemento constructivo horizontal ensayado in situ cuando es excitado por la máquina de impactos normalizada. Es función de la frecuencia:

$$L'_n = L + 10 \cdot \lg \frac{A}{10} \quad [\text{dB}]$$

L nivel de presión sonora de impactos medido in situ (UNE EN ISO 140-7) en el recinto receptor, [dB]

Nivel de presión de ruido de impactos estandarizado, L'_{nT} :

Es el nivel de presión de ruido de impactos in situ, en dB, en el recinto receptor normalizado a un tiempo de reverberación de 0,5 s, cuando el elemento constructivo horizontal es excitado por la máquina de impactos normalizada. Es función de la frecuencia:

$$L'_{nT} = L - 10 \cdot \lg \frac{T}{T_0} \quad [\text{dB}]$$

T tiempo de reverberación del recinto receptor, [s]

T_0 tiempo de reverberación de referencia, de valor 0,5 segundos, [s]

Relación entre las magnitudes L'_{nT} y L'_n :

$$L'_{nT} = L'_n - 10 \cdot \lg \frac{0,16 \cdot V}{A_0 T_0} = L'_n - 10 \cdot \lg (0,032 \cdot V) \quad [\text{dB}]$$

V volumen del recinto receptor, $[\text{m}^3]$

Todas estas magnitudes dependen de la frecuencia. En principio siempre debería evaluarse el aislamiento de una solución constructiva analizando su espectro; sin embargo, para evaluar y comparar los resultados obtenidos tanto entre sí, como con las exigencias de la normativa, se puede caracterizar el aislamiento acústico mediante un único valor: **nivel global de presión de ruido de impactos** identificado mediante el **subíndice w** (por ejemplo, $L_{n,w}$, $L'_{n,w}$, $L_{nT,w}$, etc.)

El nivel global representa el valor en dB, a 500 Hz de una curva de referencia que se desplaza para ajustarse a los valores de aislamiento obtenidos experimentalmente, según el método que especifica la norma UNE EN ISO 717-2.

A1.7.6 Resumen de las magnitudes de aislamiento acústico utilizadas en el DB HR

A1.7.6.1 Aislamiento acústico a ruido aéreo

Como hemos visto hay una serie de magnitudes que:

- Dependen de la frecuencia (D_{nT})
- Expresan una magnitud global ($D_{nT,w}$, $D_{nT,A}$)
- Se refieren a un elemento constructivo (R_A)
- Se refieren a los recintos (R' , D_{nT})

La tabla siguiente resume todas estas magnitudes empleadas en aislamiento a ruido aéreo:

Tabla A1.3 – Magnitudes de aislamiento a ruido aéreo.

Relativas a elementos constructivos (Laboratorio)				Relativas a recintos (In Situ)			
Nombre	Por frecuencias	Global	Pond. A	Nombre	Por frecuencias	Global	Pond. A
				Índice de reducción acústica aparente	R'	R'_w	R'_A R'_{Atr}
Índice de reducción acústica	R	R_w	R_A R_{Atr}	Diferencia de niveles estandarizada	D_{nT}	$D_{nT,w}$	$D_{nT,A}$
				Diferencia de niveles estandarizada en fachadas	$D_{2m,nT}$	$D_{2m,nT,w}$	$D_{2m,nT,A}$ $D_{2m,nT,Atr}$

R_A es el aislamiento de un elemento constructivo en laboratorio.

NO SE PUEDE ENSAYAR IN SITU

$D_{nT,A}$ es el aislamiento in situ entre dos recintos → ENSAYO IN SITU

A1.7.6.2 Aislamiento acústico a ruido de impactos

Como hemos visto hay una serie de magnitudes que:

- Dependen de la frecuencia (L_n)
- Expresan una magnitud global ($L'_{nT,w}$)
- Se refieren a un elemento constructivo (L_n)
- Se refieren a los recintos (L'_n)

La tabla siguiente resume todas estas magnitudes empleadas en aislamiento a ruido de impactos:

Tabla A1.4 – Magnitudes de aislamiento a ruido de impactos.

Relativas a elementos constructivos (Laboratorio)			Relativas a recintos (In Situ)		
Nombre	Por frecuencias	Global	Nombre	Por frecuencias	Global
Nivel de presión de ruido de impactos normalizado	L_n	$L_{n,w}$	Nivel de presión de ruido de impactos normalizado medido in situ	L'_n	$L'_{n,w}$
			Nivel de presión de ruido de impactos estandarizado	L'_{nT}	$L'_{nT,w}$

L_n es el aislamiento de un elemento constructivo en laboratorio.

NO SE PUEDE ENSAYAR IN SITU

$L_{nT,w}$ es el aislamiento in situ entre dos recintos → ENSAYO IN SITU

A1.7.7 Las mejoras de aislamiento

El DB HR define el **revestimiento** como la “capa colocada sobre un elemento constructivo base o soporte. Se consideran revestimientos los *trasdosados* en elementos constructivos verticales, los *suelos flotantes*, las moquetas y los *techos suspendidos*, en elementos constructivos horizontales.”

Un revestimiento nos proporcionará una mejora del aislamiento a ruido aéreo (caso del trasdosado, techo suspendido y suelo flotante en menor medida), y en el caso del suelo flotante una mejora al aislamiento del ruido de impactos. El valor en que se incrementa el aislamiento debido a la adición de estos elementos depende del elemento constructivo sobre el que se aplican, siendo un factor muy a tener en cuenta.

Se emplean las magnitudes siguientes:

- **Mejora del índice de reducción acústica (ΔR):**
Es la mejora de aislamiento a ruido aéreo que aportan los trasdosados, suelos flotantes y techos suspendidos.
- **Reducción del nivel de presión de ruido de impactos o mejora del aislamiento acústico a ruido de impactos (ΔL)**
Es la mejora de aislamiento a ruido de impactos que aportan los techos suspendidos y fundamentalmente los suelos flotantes y las moquetas.

Las mejoras de aislamiento es dependiente de la frecuencia en ambos casos y, por tanto, sigue siendo aplicable el uso de las magnitudes globales: ΔL_w , ΔR_w , ΔR_A , etc.

A1.8 Acondicionamiento acústico

Como ya sabemos, el acondicionamiento acústico es una parte fundamental del diseño de salas y comprende todas aquellas técnicas necesarias para dotar a una sala de un campo acústico con unas características adecuadas, en función del uso que se le vaya a dar a la sala y supuesta ésta correctamente aislada del exterior.

Tradicionalmente el acondicionamiento acústico ha estado ligado a salas de acústica excepcional como es el caso de teatros, auditorios, etc. Sin embargo, éste es un aspecto que debe tenerse muy en cuenta en recintos que a priori puedan parecer de menor relevancia pero que deben ser dotados con un campo sonoro adecuado; es el caso de aulas y salas de conferencias, recintos en los que se va a necesitar una buena inteligibilidad de la palabra, y de restaurantes y comedores, recintos en los que es necesario limitar el ruido de fondo para proporcionar un mínimo confort acústico. Las zonas comunes de los edificios son otro caso importante a considerar puesto que si se les proporciona la absorción acústica adecuada contribuirán muy positivamente a mejorar el aislamiento con respecto a los recintos colindantes.

En el ámbito del acondicionamiento acústico se manejan dos conceptos fundamentales como son el tiempo de reverberación y la absorción acústica, que se describen en el apartado siguiente.

A1.8.1 Tiempo de reverberación y absorción acústica

En los recintos, el sonido se propaga en forma de ondas en todas direcciones que rebotan en todas las superficies produciéndose numerosas reflexiones. Las reflexiones producen un nivel sonoro suplementario que se suma al principal, por lo que el sonido recibido aumenta, llegando a veces a ser molesto.

Este fenómeno de persistencia de la energía sonora en el espacio, incluso una vez que cesa la fuente que la produce, se conoce como **reverberación**. Se mide por medio del **tiempo de reverberación** que es el tiempo que se requiere en un espacio cerrado para que un sonido en una frecuencia determinada disminuya 60dB, después de haber cesado la fuente o bien, el tiempo que transcurre hasta que la densidad de la energía acústica en el recinto decrece una millonésima de su valor inicial. El proceso de decaimiento de la energía es diferente para cada posición dentro del recinto y además, varía con la frecuencia.

Es habitual calcular el tiempo de reverberación mediante ecuaciones basadas en la teoría estadística; de ellas, la más conocida y empleada es la fórmula de Sabine:

$$T = 0,16 \cdot \frac{V}{A} \quad [\text{s}]$$

Donde vemos que el tiempo de reverberación, en segundos, depende del volumen del recinto (V en m^3) y de su absorción acústica (A en m^2).

La **absorción acústica** es la disminución de la energía acústica en un recinto, que se disipa en energía calorífica, al ser absorbida por el medio que atraviesa. Esta pérdida de energía se deberá a la absorción debida al aire, a los materiales y acabados empleados en los elementos constructivos, caracterizados por un coeficiente de absorción, a los objetos y mobiliario presentes en el recinto y a las personas que se encuentren dentro de la sala.

Para calcular la absorción acústica de un recinto es necesario sumar la absorción que aporta cada una de las superficies de distinto material del recinto, así como los objetos o mobiliario que pudiera contener y la absorción del aire.

La absorción de una superficie se obtiene multiplicando su coeficiente de absorción por su superficie:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i \quad [\text{m}^2]$$

Desarrollando la fórmula:

$$A = A_{\text{paramentos}} + A_{\text{objetos}} + A_{\text{aire}} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i + \sum_{j=1}^N N \cdot A_{Oj} + 4 \cdot m \cdot V \quad [\text{m}^2]$$

donde:

α_i coeficiente de absorción acústica de cada paramento en bandas de frecuencia

S_i área de paramento cuyo coeficiente de absorción es α_i , $[\text{m}^2]$

A_{Oj} área de absorción acústica media equivalente de cada objeto absorbente diferente en bandas de frecuencias, $[\text{m}^2]$

La absorción acústica de objetos se define como el área de absorción acústica equivalente, que es el área que tendría el objeto si su coeficiente de absorción fuera 1.

$4mV$ absorción en el seno del aire, $[\text{m}^2]$

m coeficiente de absorción acústica medio en el aire

V volumen del recinto, $[\text{m}^3]$

El **coeficiente de absorción acústica** de un material es una magnitud adimensional que se define como la relación entre la energía absorbida y la energía total incidente.

El coeficiente de absorción por el que se caracterizan los productos es el coeficiente de absorción acústica de Sabine o de cámara reverberante. Viene dado en 6 bandas de octava de 125 Hz a 4000Hz.

En ocasiones podemos encontrarnos con otros coeficientes como:

- **NRC (noise reduction criteria)**, que es la media aritmética de los valores del coeficiente de absorción para las frecuencias de 250, 500, 1000 y 2000 Hz. Expresada en múltiplos de 0,05.
- α_w , que es el coeficiente ponderado según la norma UNE EN ISO 11654. Acústica. Absorbentes acústicos para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica.

El valor de coeficiente de absorción de un material va a depender de los siguientes factores:

- La rugosidad del material y en especial su **porosidad**;
- La pérdida de energía por procesos viscoelásticos debido al paso del aire a través del material, que se puede caracterizar por la **resistencia al paso del flujo del aire**;
- La conducción térmica entre el material y el aire;
- La difracción de la onda sonora debido a las irregularidades superficiales del material.

Por tanto los materiales más absorbentes han de ser los que presenten una elevada porosidad y una resistencia al paso del flujo del aire pequeña; estos materiales se conocen como **materiales porosos** entre los que destacan las lanas minerales y las espumas de poliuretano. Otros ejemplos de estos materiales son los tesos y morteros acústicos o los revestimientos textiles (moquetas, cortinas, etc.)

A1.8.2 Inteligibilidad de la palabra

La inteligibilidad de la palabra es la capacidad de comprensión de la palabra en un recinto determinado, es decir, que en cualquier punto de la sala donde pueda situarse un oyente, éste sea capaz no sólo de oír el mensaje sino de entenderlo.

La inteligibilidad depende tanto de factores objetivos, por ejemplo el ruido de fondo, el tiempo de reverberación, la distancia al orador, su nivel y directividad de la voz, como de factores subjetivos como el conocimiento del orador, su forma de hablar, palabras que utiliza, etc.

Existen diferentes parámetros para cuantificar la inteligibilidad de la palabra como el %Alcons (porcentaje de pérdida de articulación de consonantes), el STI (sound transmisión index) o el RASTI (Rapid-STI).