

AISLACIÓN ACÚSTICA

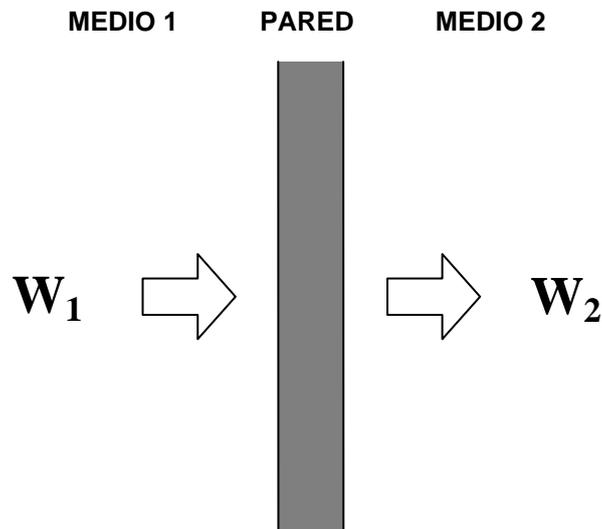
**Tema elaborado para el
Curso de Acondicionamiento Acústico
por *Arq. Ricardo Estellés Díaz*
Profesor Titular del Curso en la
Facultad de Arquitectura de Montevideo
UdelaR**

2005-10

PÉRDIDA por TRANSMISIÓN

REDUCCIÓN SONORA

Es la expresión logarítmica del cociente entre la potencia sonora que incide sobre un material y la que es transmitida hacia el otro lado.

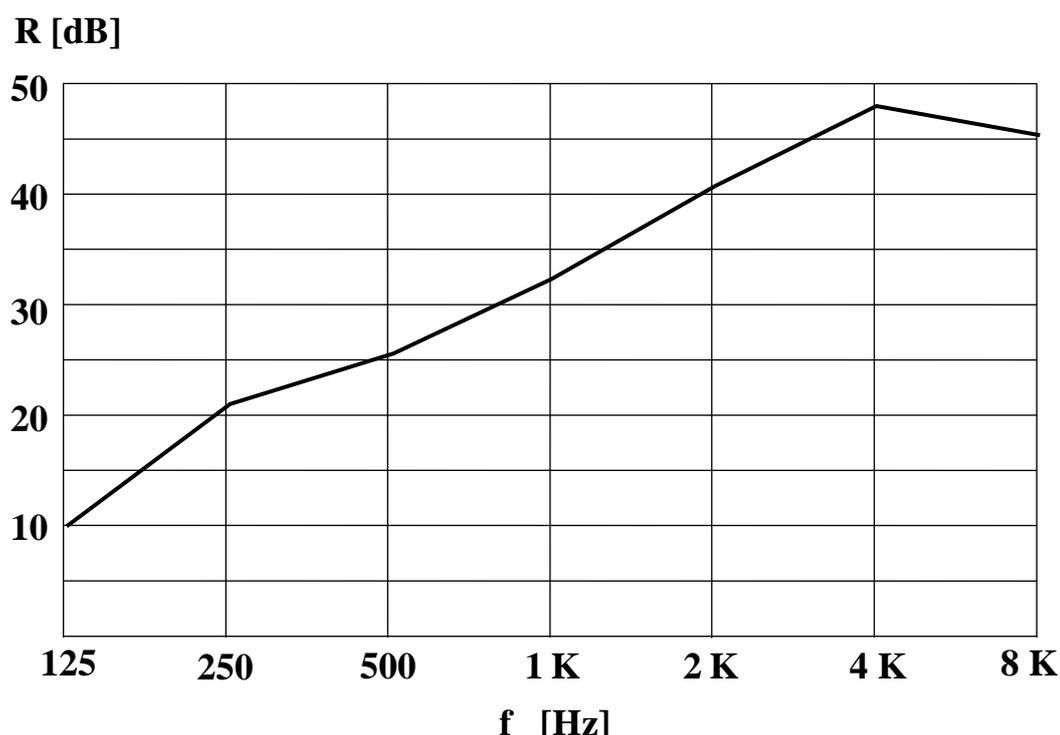


$$R = 10 \log_{10} \frac{W_1}{W_2}$$

Otras denominaciones:

- Índice de reducción acústica (ISO) **IR**
- Pérdida por transmisión (transmission lost) **TL**

Depende de la frecuencia:



La pérdida de transmisión es una propiedad del material, con relación a la incidencia de la onda sonora.

NÚMERO ÚNICO DE AISLAMIENTO

Dado que R depende de la frecuencia, es difícil darse una idea rápida del comportamiento global de un material. Se ha introducido un número único, R_w , que cumple esa función.

Se denomina **índice de reducción acústica compensado**, y permite comparar los materiales según su efectividad para aislar dos ambientes con respecto a la palabra:

R_w	Grado de privacidad de la palabra
≤ 25	La voz normal se entiende perfectamente
30	La voz alta se entiende bastante bien
35	La voz alta es audible pero no se entiende
42	La voz alta se escucha como un murmullo
45	La voz alta se percibe con esfuerzo
48	La voz alta es escasamente audible
> 50	La voz alta no se escucha en absoluto

Los fabricantes dan los valores detallados para cada frecuencia y, además, R_w.

En la tabla se tienen recomendaciones sobre valores mínimos deseables.

Divisorio entre	R_w mínimo [dB]
Ambientes de una misma vivienda (casa o apartamento)	37
Aulas y pasillos o escaleras en establecimientos educativos	40
Aulas en establecimientos educativos	44
Apartamentos u oficinas en un mismo edificio	44
Apartamentos y espacios comunes	44
Paredes medianeras	48
Apartamentos u oficinas de edificios colindantes (medianeros)	48
Locales públicos y viviendas	56

Locales ruidosos y habitaciones de hospedaje u hospital	56
Salas de música en establecimientos educativos	56
Salas de música y aulas en establecimientos educativos	56

Divisorio entre	R_w mínimo [dB]
Particiones interiores (de una misma propiedad) entre áreas de igual uso	30
Particiones interiores (de una misma propiedad) entre áreas de distinto uso	35
Paredes separadoras de propiedades o usuarios distintos	45
Paredes separadoras de zonas comunes interiores	45
Fachadas de locales de descanso	30
Elementos horizontales de separación de propiedades o usuarios distintos	45
Techado	45

PAREDES SIMPLES

Las paredes simples son las que están constituidas por una pieza acústicamente homogénea. En primera aproximación responden a la “ley de la masa y la frecuencia”.

LEY DE LA MASA

Dice que la pérdida de transmisión crece al aumentar la masa por m^2 y al aumentar la frecuencia, a razón de 6 dB por cada duplicación de la masa o de la frecuencia:

$$R = 20 \log_{10} f \cdot \delta - 48 \text{ dB}$$

Ejemplo: Una pared de 15 cm de espesor de ladrillo ($\delta = 300 \text{ kg/m}^2$) tiene, a 500 Hz:

$$R = 20 \log_{10} 500 \cdot 300 - 48 = 55 \text{ dB}$$

y a 50 Hz:

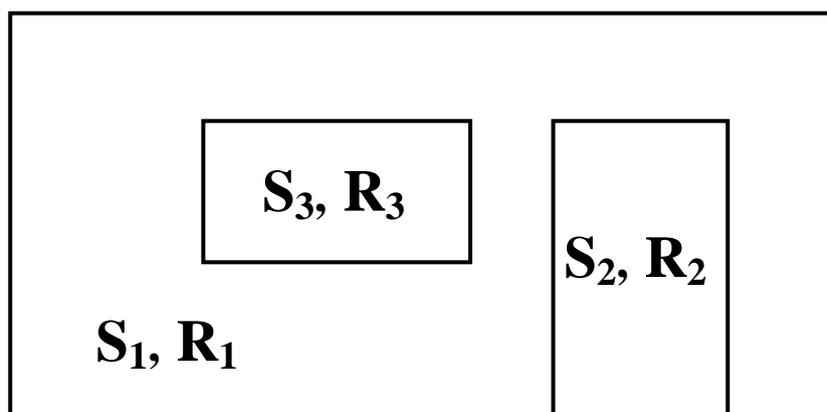
$$R = 20 \log_{10} 50 \cdot 300 - 48 = 35 \text{ dB}$$

Vemos que a baja frecuencia, la pérdida de transmisión disminuye mucho. Una pared gruesa, por ser más pesada, tendrá mayor pérdida de transmisión. Sin embargo, la relación costo/beneficio empeora cuando la pared se vuelve muy gruesa.

Así, 10 cm más cuando la pared es de 10 cm de espesor aporta 6 dB, pero cuando es de 25 cm, aporta sólo dB.

PÉRDIDA DE TRANSMISIÓN COMPUESTA

En general las particiones constan de más de un elemento. Ejemplo: pared y puerta y ventana:



Es necesario en estos casos encontrar el Índice de reducción equivalente R_{eq} que: con el área total del cerramiento produzca una reducción acústica igual a la que tendrán en forma combinada los materiales utilizados.

El R_{eq} se determina conociendo los R_i de los elementos componentes así como la áreas S_i de los mismos.

El R_{eq} se puede determinar en forma analítica según la ecuación siguiente o mediante el ábaco que se presenta

$$R_{eq} = 10 \log_{10} \frac{S_{total}}{S_1 \cdot 10^{-R_1/10} + \dots + S_n \cdot 10^{-R_n/10}}$$

donde:

S_1 : Área del elemento 1

S_n : Área del elemento n

S_{total} : Área total de la partición

R_1 : Pérdida de transmisión del elemento 1

R_n : Pérdida de transmisión del elemento n

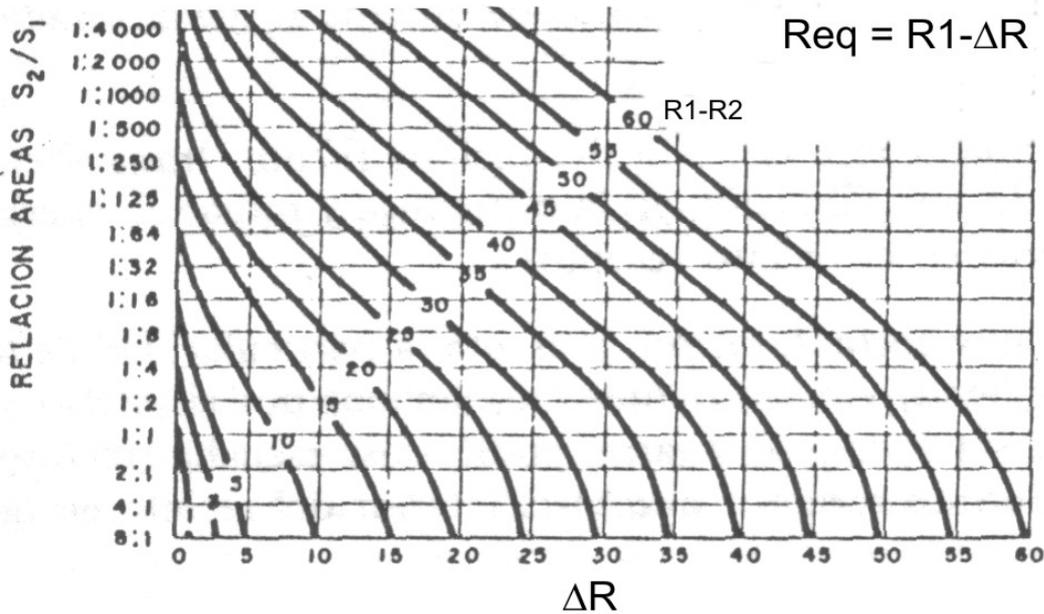
Ejemplo: Obtener la pérdida de transmisión de una pared de ladrillo de 3 m por 4 m y de 15 cm de espesor ($R = 55$ dB), y una puerta de madera ($R = 25$ dB) de 0,80 m por 2 m.

$$R_{eq} = 10 \log_{10} \frac{12}{10,4 \cdot 10^{-55/10} + 1,6 \cdot 10^{-25/10}}$$

es decir,

$$R_{eq} = 33,7 \text{ dB}$$

Aunque la parte de ladrillo es mucho más extensa, R está más próxima a la del elemento más débil (la puerta).



Abaco para determinar el Req entre dos materiales

IMPORTANCIA DE LAS FUGAS

También llamadas “cortocircuitos acústicos”, las fugas son intersticios en un material de alta pérdida de transmisión, como las ranuras debajo o en el perímetro de una puerta, o una grieta.

Ejemplo: En una puerta con $R = 30$ dB, suponer una ranura de 3 mm en todo el perímetro, y estudiar cómo se modifica la pérdida de transmisión.

El aire tiene una pérdida de transmisión de 0 dB. Entonces

$$R = 10 \log_{10} \frac{1,6}{0,017 \cdot 10^{-0/10} + 1,6 \cdot 10^{-30/10}}$$

es decir,

$$R = 19,4 \text{ dB}$$

La ranura deterioró en más de 10 dB la pérdida de transmisión de la puerta.

Esto muestra la importancia de corregir todo tipo de fugas, ya sea con selladores en el caso de grietas o con burletes o almohadillas perimetrales en el caso de puertas y ventanas. Vale la siguiente tabla:

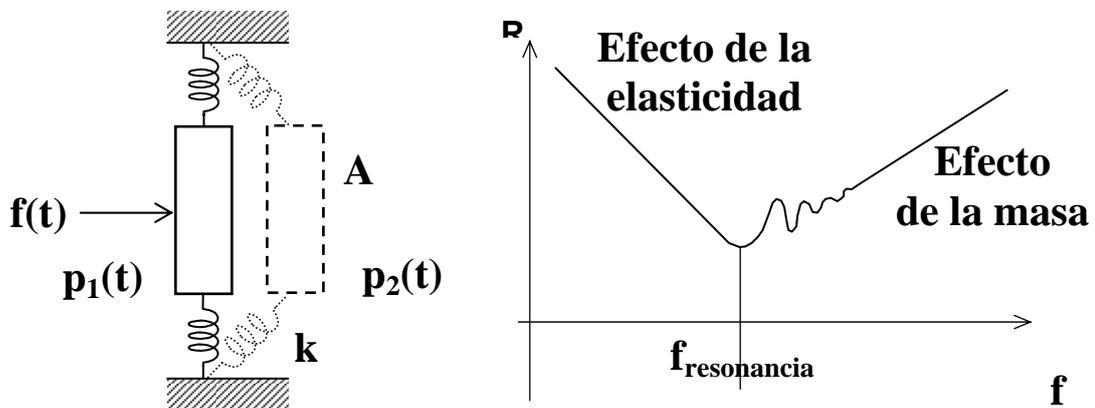
S_{fuga}/S_{total} [%]	$R_{m\acute{a}xima}$ [dB]
10	10
1	20
0,1	30
0,01	40

LAS TRES REGIONES DE LAS PAREDES SIMPLES

La ley de la masa sólo se cumple en un rango restringido de frecuencias. En baja frecuencia predomina la **elasticidad**, y en alta frecuencia, el efecto de **coincidencia**.

ELASTICIDAD

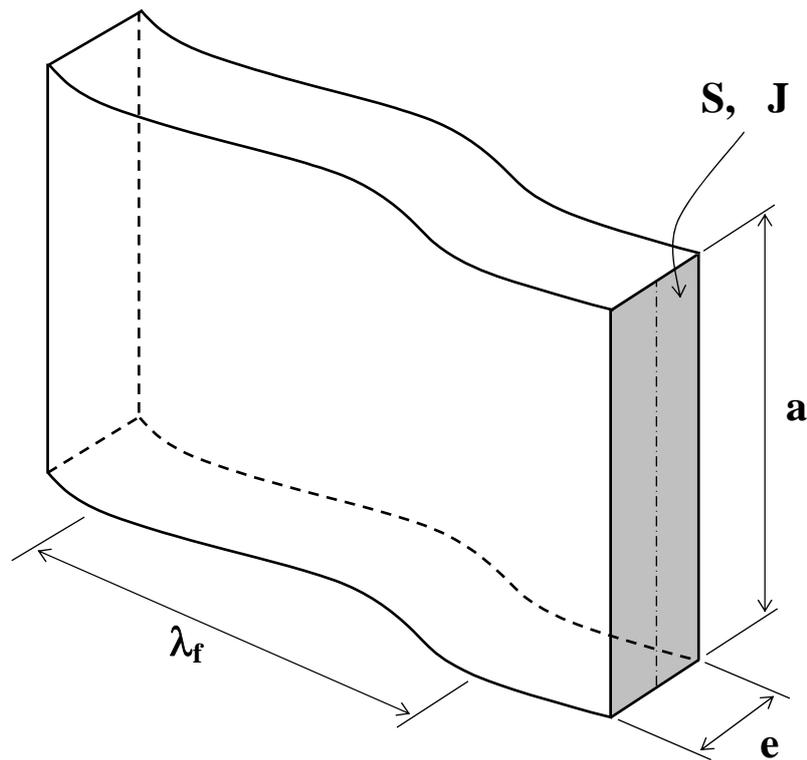
En baja frecuencia la inercia tiene poca importancia y entonces la fuerza principal que se opone al movimiento es elástica:



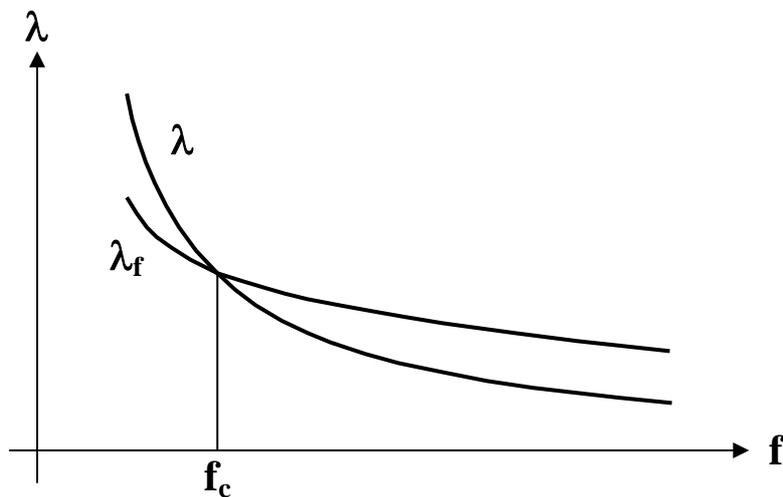
La frecuencia $f_{resonancia}$ es el límite entre ambos efectos. En general es muy baja, e inclusive puede ser subsónica (inferior a 20 Hz), por lo cual el aumento de R por debajo de ella no es aprovechable.

EFFECTO DE COINCIDENCIA

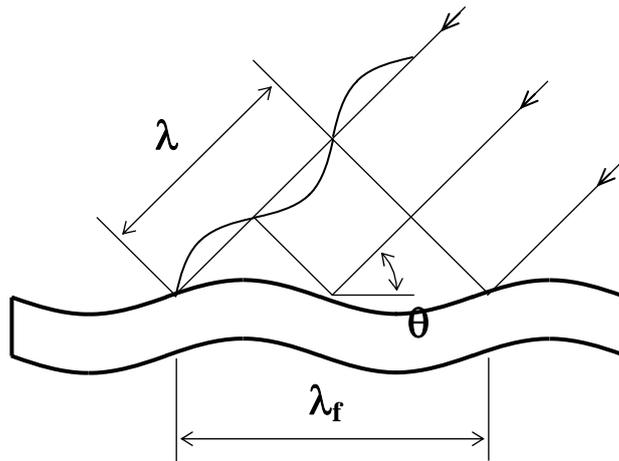
Se produce por las ondas de flexión que tienen lugar en cualquier objeto sólido cuyo espesor es mucho menor que la extensión, como una lámina, una placa o una pared:



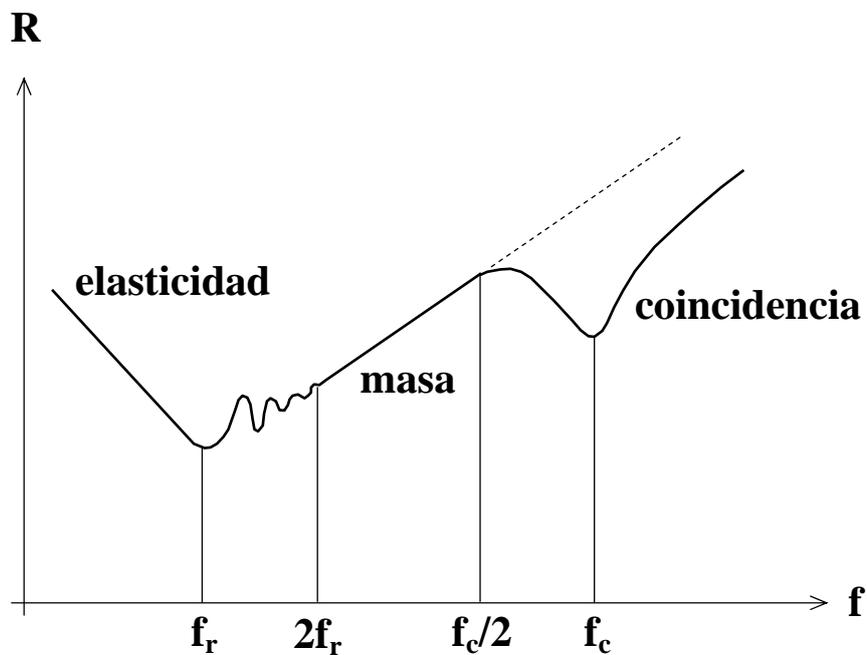
Estas ondas son similares al flamear de una bandera con el viento. La longitud de las ondas de flexión, λ_f , disminuye al aumentar la frecuencia, pero no lo hace tan rápido como la longitud de las ondas sonoras en el aire:



Para alguna frecuencia f_c , la longitud de las ondas aéreas (proyectada sobre la pared) coincide con la longitud de las ondas de flexión:



Cuando ello sucede, la pared entra en resonancia, vibra fuertemente y se convierte en un emisor muy efectivo del otro lado. El resultado es una disminución del aislamiento:



La reducción de R continúa en alta frecuencia, porque a partir de la frecuencia de coincidencia este fenómeno se produce siempre para algún ángulo de incidencia.

En alta frecuencia, la coincidencia tiene lugar en ondas de incidencia casi perpendicular a la pared.

La frecuencia crítica (de coincidencia) para cada material varía inversamente con el espesor. Para **10 cm** se tienen los valores de la tabla siguiente.

Material (espesor 10 cm)	Frecuencia crítica [Hz]
Acero	130
Vidrio	130
Aluminio	130
Hormigón	190
Yeso	270
Ladrillo	270
Madera aglomerada	270
Hormigón liviano	450
Plomo	560

Para otros espesores se multiplica por **10 cm** y se divide por el espesor real.

Algunos materiales de construcción habituales como el hormigón y el ladrillo tienen una frecuencia crítica demasiado baja, por lo cual no es práctico ir mucho más allá de 30 cm de espesor.

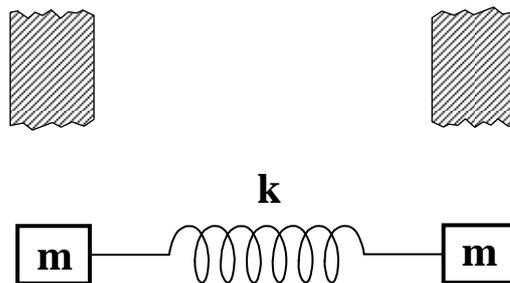
Ejemplo 1: Una pared de ladrillo de 20 cm de espesor, tiene una frecuencia crítica de 135 Hz, lo cual significa que, alrededor de una octava antes, es decir, a los 70 Hz, la pérdida de transmisión comienza a decaer con respecto a la ley de la masa. Al llegar a 135 Hz, **R** es unos 15 dB menor que lo que predice la ley de la masa, es decir 26 dB en lugar de 41 dB. Para frecuencias mayores, se mantiene unos 10 dB por debajo del valor previsible. Por ejemplo, a 500 Hz cabría esperar 53 dB y sólo se obtiene 43 dB.

Ejemplo 2: Si reemplazamos el ladrillo por plomo de igual densidad superficial, es decir, una plancha de plomo de 20 mm, la frecuencia crítica sería de 2800 Hz, donde se esperaría **R** = 68 dB y se obtiene realmente **R** = 53 dB. El plomo es un material mucho mejor como aislador acústico, por su alta frecuencia crítica, pero es también mucho más caro. Sólo se usa en láminas de hasta 2 mm para refuerzo de aislamiento.

PAREDES DOBLES

Lograr una alta pérdida de transmisión con paredes simples es difícil porque la mayoría de los materiales constructivos tiene una frecuencia crítica demasiado baja.

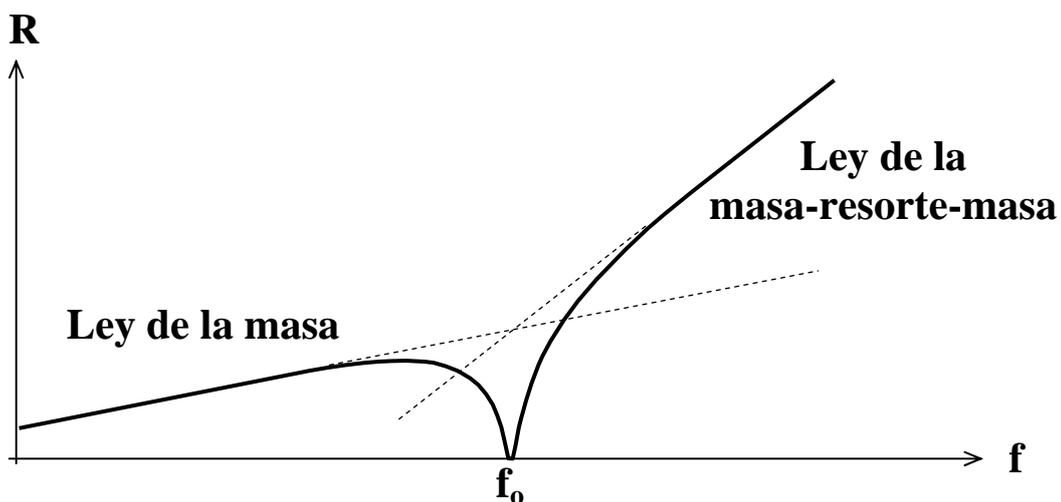
Se recurre entonces a las paredes dobles, formadas por dos paredes separadas por un espacio de aire. Responden a la ley de la masa-resorte-masa, que es más efectiva para aislar que la ley de la masa. Cada pared actúa como una masa, y el aire estanco entre ambas, como un resorte:



Como en todo sistema de este tipo, hay una frecuencia de resonancia f_0 . Alcanzada esa frecuencia, la pérdida de transmisión se reduce mucho, y para que el aislamiento sea efectivo, f_0 debe estar por debajo de las frecuencias de interés.

Para frecuencias mayores que f_0 , la pérdida de transmisión crece más rápido que la ley de la masa aplicada a una pared simple de igual masa total:

La f_0 es la siguiente:



$$f_0 = 84 \sqrt{\frac{\delta_1 + \delta_2}{L \delta_1 \delta_2}}$$

donde

L: distancia entre ambas paredes [m]

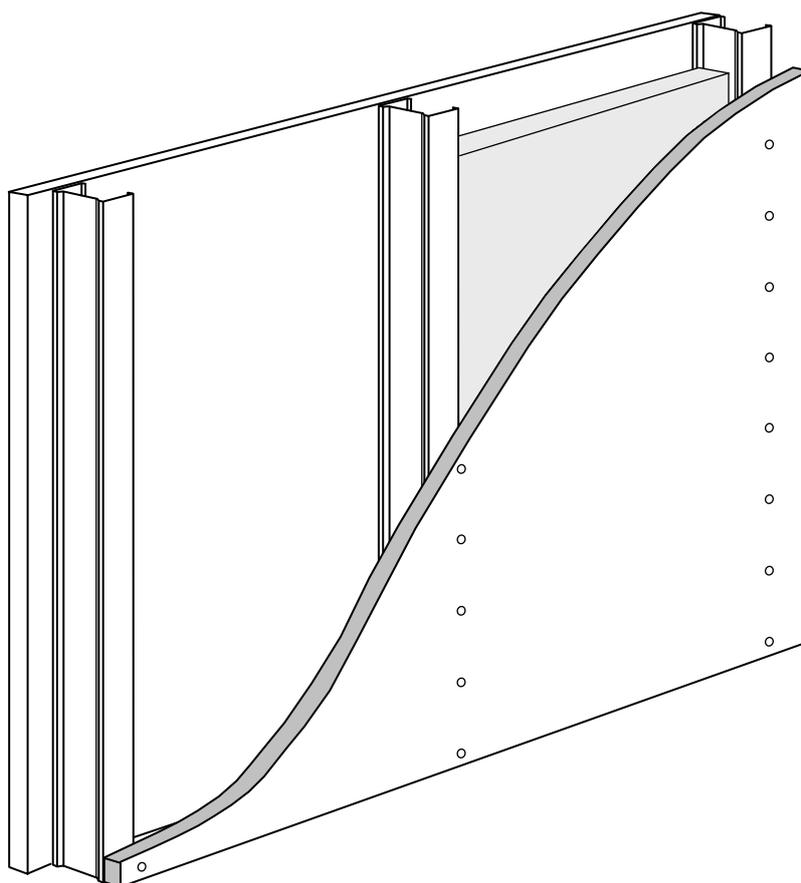
δ_1 : densidad superficial de la pared 1 [kg/m²]

δ_2 : densidad superficial de la pared 2 [kg/m²]

Ejemplo: Un par de placas de cartón-yeso de 12,5 mm (16 kg/m²) separadas 70 mm tienen una frecuencia de resonancia $f_0 = 112$ Hz. Esto significa que algunos tonos de la voz humana las atravesarán, aunque no se entenderá lo que se dice.

Cuando se requiere **mayor aislamiento** que el que proporciona este tipo de estructura, puede agregarse material absorbente en la cavidad entre ambas paredes.

El material por excelencia para esta aplicación es la lana mineral o la lana de vidrio:



Se logra no sólo amortiguar la resonancia, sino además evitar o reducir la acumulación de sonido reverberante en la cavidad (que aumentaría la emisión hacia el otro lado).

Para que la mejora sea efectiva, las conexiones no deben ser rígidas (“puentes acústicos”) sino elásticas.

No es fácil predecir el valor de la pérdida de transmisión R a partir de los valores de los componentes de una pared doble. Sin embargo, en el caso en que no hay conexión estructural entre ambas partes, la cavidad es grande, y está rellena con material absorbente, vale, aproximadamente,

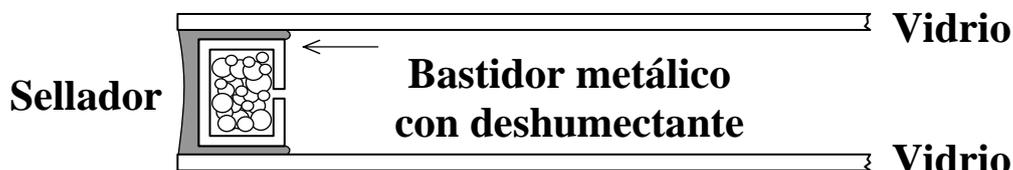
$$R \cong \begin{cases} R_1 + R_2 + 20 \log \frac{4\pi f L}{c} & \text{si } f < \frac{c}{2\pi L} \\ R_1 + R_2 + 6 \text{ dB} & \text{si } f > \frac{c}{2\pi L} \end{cases}$$

donde c es la velocidad del sonido, R_1 , R_2 las pérdidas de transmisión de los componentes, L la separación, f la frecuencia y R la pérdida de transmisión total.

Ejemplo: Dos hojas de cartón-yeso de 12,5 mm superpuestas ($R_1 = 26$ dB), y separadas 90 mm de una tercera hoja de 12,5 mm ($R_2 = 20$ dB) tienen, a 250 Hz, una pérdida de transmisión de 44 dB. En este caso $250 \text{ Hz} < c/2\pi L = 610 \text{ Hz}$, por lo cual se usó la primera expresión.

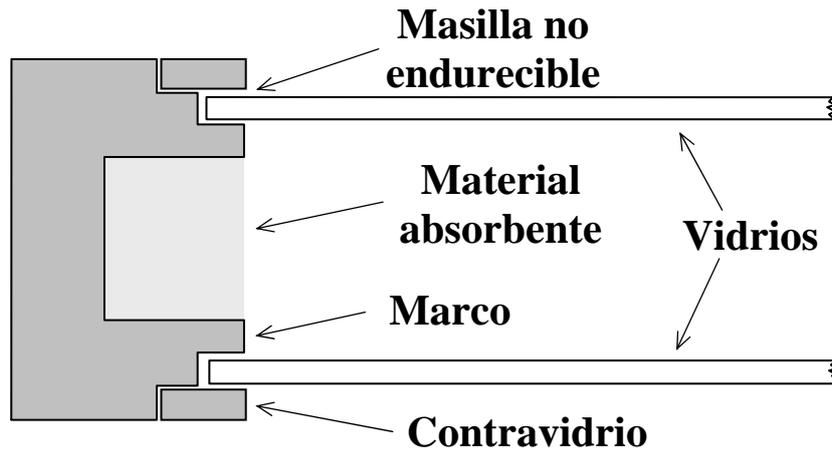
VENTANAS DOBLES

Un caso particular de partición doble es la ventana doble. Hay tres posibilidades, según las exigencias de aislamiento. La más simple es el **panel vidriado doble**:



Esta solución, originalmente concebida como aislador térmico, se aprovecha en los casos de aislamiento acústico poco exigentes. La separación entre cristales no es muy grande: de 6 a 20 mm, según el espacio disponible.

Sigue la ventana de doble sobre un mismo bastidor con absorción perimetral:



La ventaja es que la separación es mayor, y además la absorción perimetral absorbe parte del sonido (en este caso, por visibilidad no se puede rellenar todo el espacio con material absorbente). La masilla no endurecible (silicona) ayuda a reducir la conexión rígida debida al bastidor.

La última posibilidad es un montaje formado por dos ventanas independientes vinculadas sólo elásticamente. Se usa en casos comprometidos, como estudios de radiofonía.

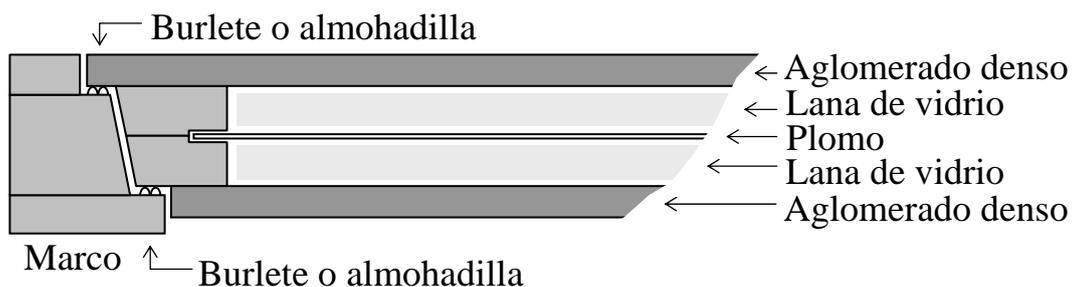
En todos los casos hay que cuidar que la frecuencia de resonancia:

$$f_0 \cong 1150 \sqrt{\frac{d_1 + d_2}{L \cdot d_1 \cdot d_2}}$$

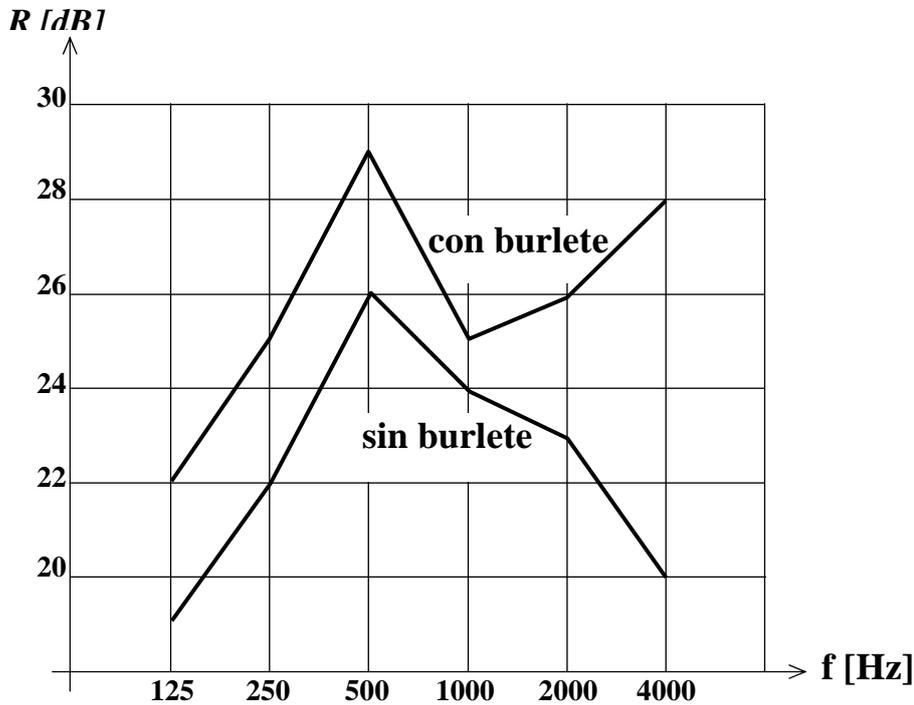
(donde d_1 y d_2 son los espesores de los cristales, y L la separación entre ellos, todos en mm) no esté en la banda de frecuencia que se quiere aislar. Por ejemplo, si se quiere aislar la voz, debería ser $f_0 < 80$ Hz.

PUERTAS

El problema de una puerta acústica es complejo, ya que se requiere a la vez que sea pesada y que sus herrajes sean de alta precisión. Se usan estructuras multicapa y de doble contacto:



Las almohadillas o burletes perimetrales deben tener un buen ajuste. La El problema de una puerta acústica es complejo, ya que se requiere a la vez que sea pesada y que sus herrajes sean de alta precisión. Se usan estructuras multicapa y de doble contacto:

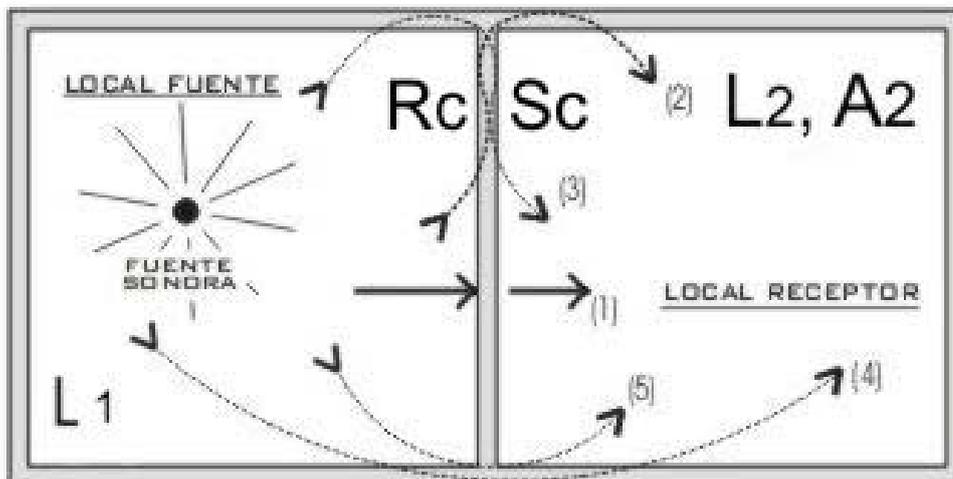


Comparación entre el R de una puerta sin burlete y con burlete.

AILACIÓN ACUSTICA

DEFINICIÓN: Aislación acústica aparente, entre espacios contiguos o debilitamiento D , es la diferencia entre el nivel sonoro L_1 existente en un local y el nivel sonoro L_2 que se transmite al contiguo. $D=L_1-L_2$ en dB

Cuando las vías de transmisión indirectas, pueden ser despreciadas (2, 3,...,n) y resulta claramente predominante la transmisión por vía directa (1).



Entonces: **$D=Rc+ 10.\log(A2/Sc)$**

Donde:

D debilitamiento

Rc reducción acústica del cerramiento

A2 absorción del local receptor

Sc área de cerramiento de separación

$D=Rc+ 10.\log(A2/Sc)$

Entonces: **$L2=L1-D$**

AISLACION ENTRE RECINTOS

AISLACION EXTERIOR A INTERIOR

Verificación: Recordemos que **$R=10.\log(w1/w2)$**

$w2/w1=t :: R=10.\log(1/t)$

Considerando que: **$I2=I1.Sc.t/A2$** entonces:

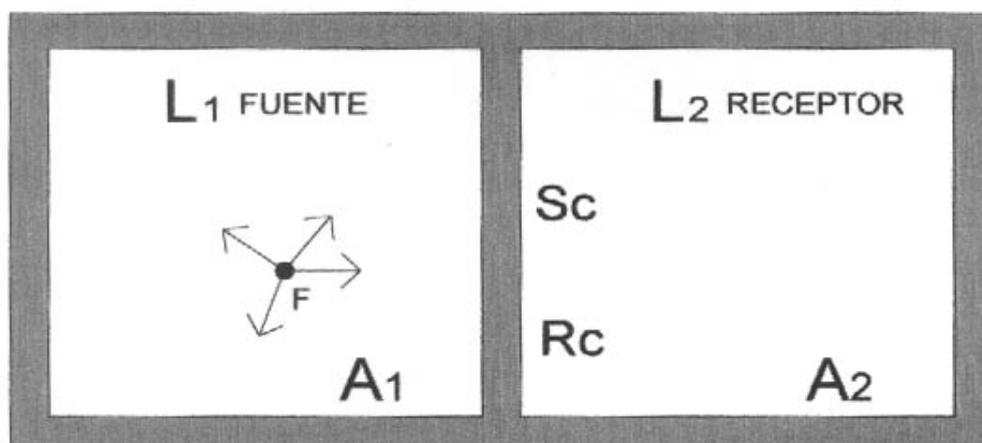
$I2/I1=Sc.t/A2$ ordenando e invirtiendo la expresión

$I1/I2=A2/(Sc.t)$ aplicando logaritmación

$\log(I1/I2)=\log(A2/Sc)+\log(1/t)$ multiplicando X 10

$10.\log(I1/I2)=10.\log(A2/Sc)+10.\log(1/t)$

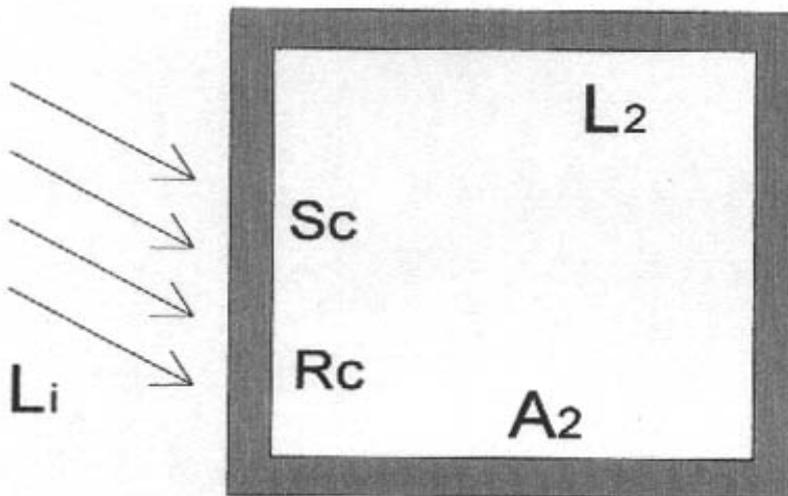
$L1-L2=Rc+10.\log(A2/Sc) = D$



AISLACION EXTERIOR A INTERIOR

$$D_{\text{ext-int}} = R_c + 10 \log A_2 / S_c - 6 \text{ (dB)}$$

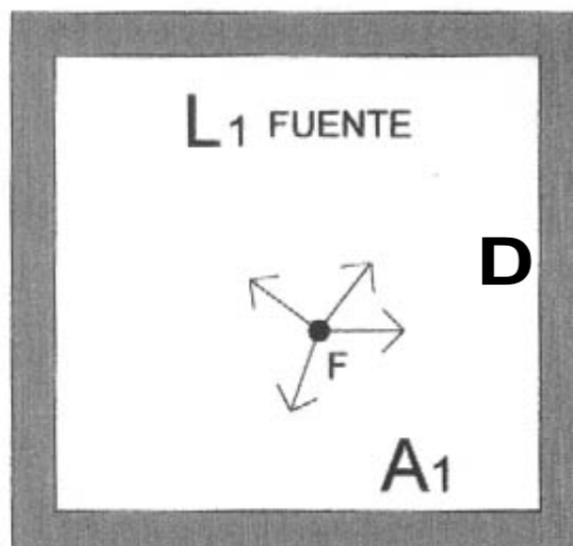
$$L_2 = L_i - D_{\text{ext-int}}$$

AISLACION INTERIOR A EXTERIOR

$$L_{\text{sale}} = L_{\text{int}} - (R+6) \quad \therefore D = R+6$$

$$L_w \text{ sale} = L_{\text{sale}} + 10 \log S_c$$

Exterior Receptor



Ejemplos de aplicación:

E1)

En un edificio de vdas. se consideran dos dormitorios iguales, de unidades diferentes, separados por una pared de ladrillo macizo revocado por ambas caras, de 15 cm de espesor (3.20 x 2.40) m. Determinar la aislación acústica existente.

La absorción del dormitorio receptor es de 15 Sabines.

- **Resolución:**

1º Determinar en una tabla de materiales el R_w , el R_m o el R correspondiente a la banda o bandas, en este caso consideraremos el R_w .

2º Determinar la absorción del local receptor, que en este caso es dato, pero podría ser dada en forma indirecta, como por el volumen, el tiempo de reverberación, la calidad de los materiales y los elementos contenidos.

3º Aplicar la formula correspondiente al caso considerado.

- **Resolución:**

Ladrillo macizo $e=15$ cm. R_w según tabla 47 dB

Abs.= 15 Sabines :: formula aplicable $D_{int-int}$

$D = R + 10 \cdot \log(A/S)$ entonces:

$$D = 47 + 10 \cdot \log(15/7.7) = 47 + 2,9 = 49,9 \text{ dB}$$

E2)

Se considera una discoteca, donde se produce un nivel sonoro interior de $L_1=100$ dB.

Se quiere saber el nivel sonoro L_2 , que incide en la ventana de una habitación de un sanatorio que dista 60 m de la fachada de la discoteca.

Datos: Superficie de la fachada sobre la calle 50 m². Req de la fachada 20 dB, coef de reflexión calle $r = 0.90$, distancia reflexión 64 m.

- **Resolución:**

1º $L_{sale} = L_{int} - (R+6)$ $L_{sale} = 100 - (20 + 6) = 74 \text{ dB}$

2º $L_{wsale} = L_{sale} + 10 \cdot \log S_c$ $L_{wsale} = 74 + 10 \cdot \log 50 = 91 \text{ dB}$

3º L_2 a 60 m de distancia $L_d = L_w - 20 \cdot \log d - 11$

$$L_d = 91 - 20 \cdot \log 60 - 11 = 91 - 35,6 - 11 = 44,4 \text{ dB}$$

$$L_r = 91 - 20 \cdot \log 64 - 11 + 10 \cdot \log(0.9) = 91 - 36,1 - 11 - 0,46 = 43,5 \text{ dB}$$

$$L_2 = 44,4 + 43,5 = 47 \text{ dB} \quad L_2 = 47 \text{ dB}$$

E3)

Para la habitación del sanatorio del ejemplo anterior, determinar el nivel sonoro intruso debido al funcionamiento de la discoteca.

Datos: Ventana de vidrio de 4 mm de espesor normalmente cerrada, de 2 m² de área, Absorción total de la habitación 8 Sabines. $L_{ext} = 47 \text{ dB}$

• Resolución:

1º Determinar la formula aplicable $D_{ext-int} = R_c + 10 \cdot \log A_2/S_c - 6 \text{ (dB)}$

2º Determinar el R del cerramiento, ver tabla de Indices de Reducción Sonora de diversos Elementos Constructivos. Para el caso utilizar R_w del tipo N°238 $R_c = 25 \text{ dB}$. Se considera que el elemento de mayor transmisión de la fachada es la ventana y se desprecia la transmisión por la mampostería que en general, es muy inferior (R mucho mayor), se comete un cierto error pero es pequeño y queda del lado de la seguridad.

$$D_{ext-int} = 25 + 10 \cdot \log (8/2) - 6 \quad D_{ext-int} = 25 + 6 - 6 = 25 \text{ dB}$$

$$L_{int} = 47 - 25 = 22 \text{ dB}$$

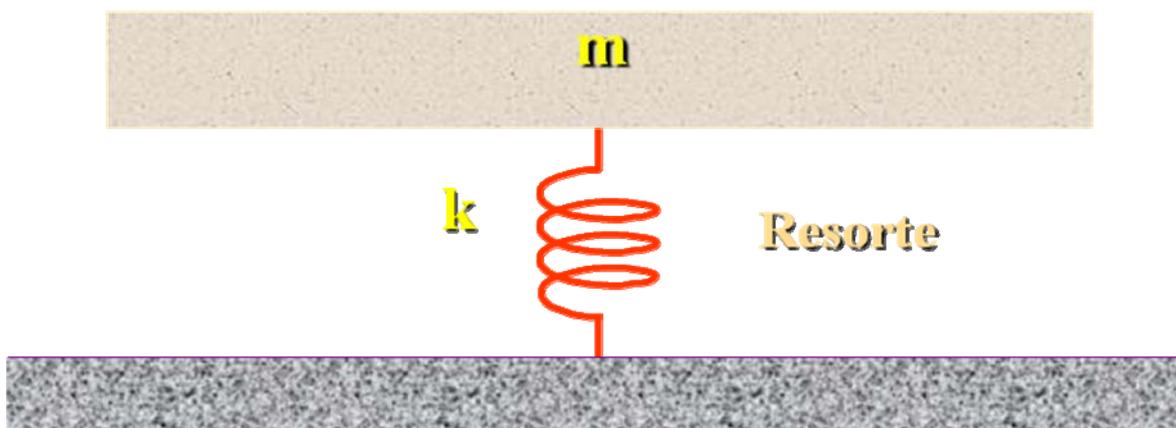
AISLACION DE RUIDOS DE IMPACTO

LOSAS FLOTANTES

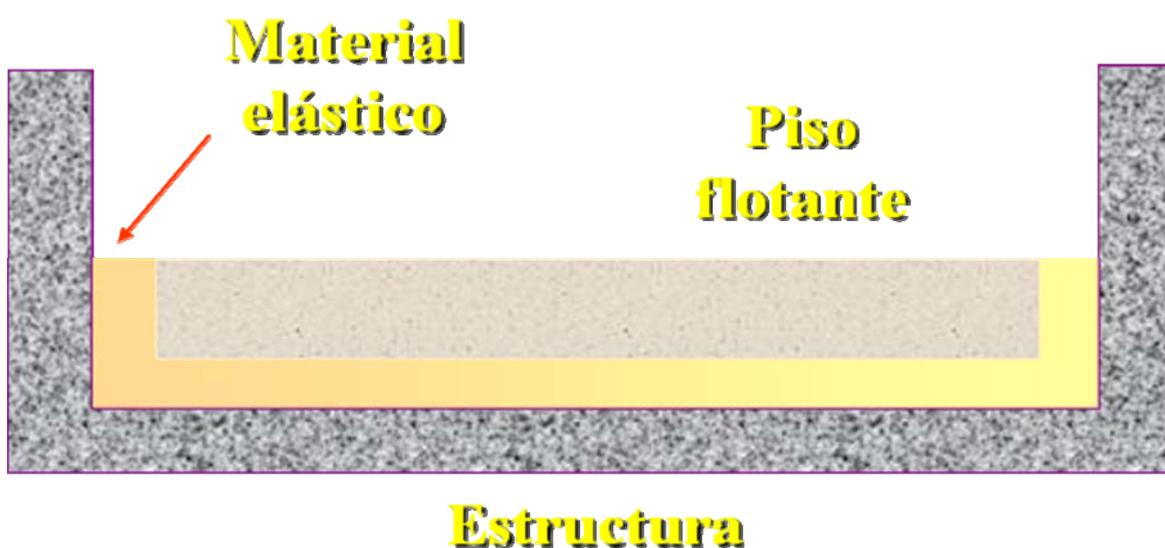
Consisten en un piso de masa considerable apoyado sobre la losa o piso estructural por medio de un elemento elástico. Se comportan como una estructura masa-resorte.

El piso flotante es una buena solución para evitar la transmisión de ruidos y vibraciones sobre todo derivados de impactos, golpes, pisadas, arrastre de mueble etc.

Es otro tipo de estructura masa-resorte



Actúan como la suspensión de un vehículo, impidiendo el paso de las vibraciones de la estructura hacia el interior del recinto o viceversa.



La lana de vidrio actúa a la vez como material elástico (resorte) y como absorbente, creando así desde el punto de vista acústico una estructura que responde a la ley de la masa-resorte-masa con amortiguamiento, que resulta muy efectiva para aislar los ruidos producidos por impactos sobre entrepisos.

La ejecución de este tipo de dispositivos debe ser sumamente cuidadosa, evitando la creación de “puentes acústicos” que reducen en forma drástica la eficacia del sistema.

En el diseño debe tenerse en cuenta el pasaje de otras instalaciones (calefacción, sanitaria, eléctrica) a los efectos de no producir los “puentes acústicos”

También debe evitarse el deterioro de la capa de material elástico durante la ejecución.

No apoyar tabiques sobre la losa flotante y no superar el área de 25 m² en paños continuos.

BIBLIOGRAFÍA y REFERENCIAS

Beranek, Leo L.: “Acústica”. Editorial Hispanoamericana S. A. Buenos Aires (Arg.), 1961.

Beranek, Leo L.: “Concert Opera Halls: How they Sound”. Acoustical Society of America. New York (USA), 1996.

Everest, F. Alton: “The Master Handbook of Acoustics”. McGraw-Hill. Blue Ridge Summit (USA) 1989.

Knudsen, Vern O.; Harris, Cyril M.: “Acoustical Designing in Architecture”. American Institute of Physics. 1978.

Miyara, Federico: “Acústica y Sistemas de Sonido”. UNR Editora. Rosario (Arg.), 1999.

Hakas, Jorge: “Apuntes y Fichas de clase”. Fac. Arquitectura UDELAR 1985 :: 2003